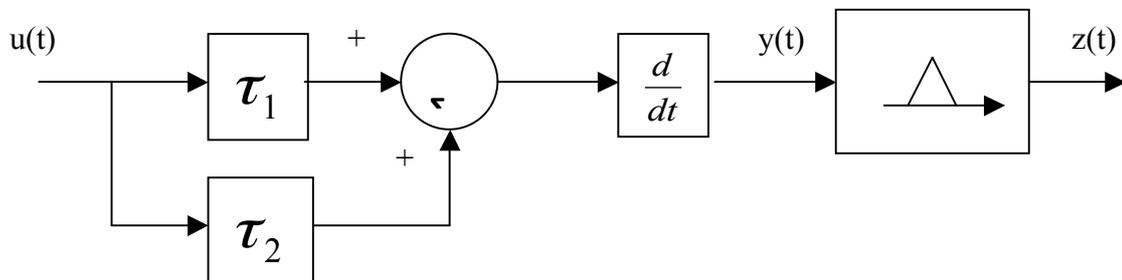


# Esame di Teoria dei Segnali e Comunicazioni Elettriche

Appello del 13/02/2014

## Domanda 1

È dato il seguente circuito:



Il segnale  $u(t)$  in ingresso è descritto dalla relazione:  $u(t) = 1,5 \text{rect}\left(\frac{t+1}{2}\right)$ . I due blocchi di sinistra realizzano un ritardo nel segnale, di entità pari a  $\tau_1 = 2$  e  $\tau_2 = 3$  rispettivamente; tutti i tempi citati nell'esercizio sono espressi in millisecondi e le ampiezze in Volt. Scrivere l'espressione dello spettro in frequenza di  $y(t)$ . Sapendo infine che l'ultimo blocco a destra nella catena ha una risposta impulsiva costituita da un segnale a triangolo, centrato nell'origine dei tempi, alto 4 e di durata 1 ms, determinare il valore di  $z(t)$  all'istante  $t = 2,25$  ms.

## Domanda 2

Si descriva il comportamento in presenza del rumore della modulazione FM a banda larga e si giustifichi perché, a fronte di un'occupazione di banda più ampia, risulta più robusta al rumore della modulazione FM a banda stretta.

## Domanda 3

Siano dati due segnali periodici  $s_1(t)$  ed  $s_2(t)$ , entrambi con periodo  $T_0$ . Dimostrare che, se entrambi i segnali vengono modulati AM con portanti rispettivamente a  $f = f_1$  e  $f = f_1 + 0,5f_0$  ( $f_0 = 1/T_0$ ), i due segnali modulati, pur avendo banda infinita come i due segnali originali, sono distinguibili (cioè non si sovrappongono) in frequenza.

## Domanda 4

Si supponga di avere un segnale sinusoidale che viene moltiplicato per un'altro coseno che dovrebbe avere lo stesso periodo, ma in realtà ha periodo che ogni volta varia ed è (ogni volta) pari a  $k$  volte quello del primo segnale, dove  $k \in [1, 1.1]$  è una variabile casuale con funzione densità di probabilità costante nel proprio intervallo di definizione.

Il segnale prodotto viene passato attraverso un filtro passabanda ideale centrato ad una frequenza doppia di quella segnale sinusoidale e largo  $1/10$  della stessa. Esprimere, in funzione di  $k$ , la potenza del segnale in uscita dal filtro.

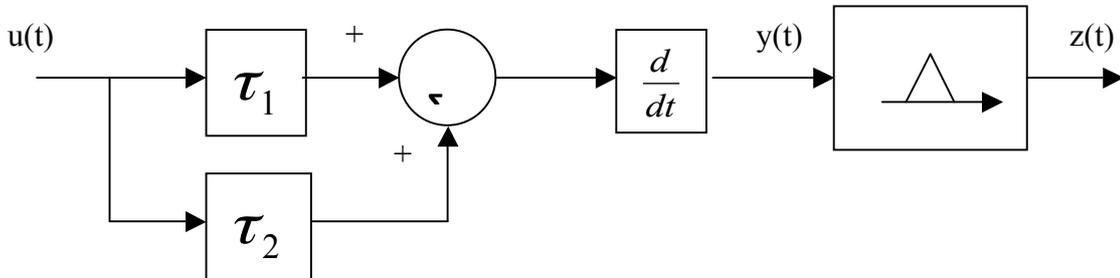
Dato che  $k$  è una variabile casuale, anche la potenza lo è: qual è la sua funzione densità di probabilità? Qual è quindi la potenza media del segnale in uscita dal filtro passabanda?

# Esame di Comunicazioni Analogiche e Digitali

Appello del 13/02/2014

## Domanda 1

È dato il seguente circuito:



Il segnale  $u(t)$  in ingresso è descritto dalla relazione:  $u(t) = 1,5 \text{rect}\left(\frac{t+1}{2}\right)$ . I due blocchi di sinistra realizzano un ritardo nel segnale, di entità pari a  $\tau_1 = 2$  e  $\tau_2 = 3$  rispettivamente; tutti i tempi citati nell'esercizio sono espressi in millisecondi e le ampiezze in Volt. Scrivere l'espressione dello spettro in frequenza di  $y(t)$ . Sapendo infine che l'ultimo blocco a destra nella catena ha una risposta impulsiva costituita da un segnale a triangolo, centrato nell'origine dei tempi, alto 4 e di durata 1 ms, determinare il valore di  $z(t)$  all'istante  $t = 2,25$  ms.

## Domanda 2

Si descriva il comportamento in presenza del rumore della modulazione FM a banda larga e si giustifichi perché, a fronte di un'occupazione di banda più ampia, risulta più robusta al rumore della modulazione FM a banda stretta.

## Domanda 3

Siano dati due segnali periodici  $s_1(t)$  ed  $s_2(t)$ , entrambi con periodo  $T_0$ . Dimostrare che, se entrambi i segnali vengono modulati AM con portanti rispettivamente a  $f = f_1$  e  $f = f_1 + 0.5f_0$  ( $f_0 = 1/T_0$ ), i due segnali modulati, pur avendo banda infinita come i due segnali originali, sono distinguibili (cioè non si sovrappongono) in frequenza.

## Domanda 4

Si consideri la costellazione binaria composta dai simboli  $(1, 0)$  e  $(-3, 0)$ , la si rappresenti graficamente nel piano complesso e si disegni il confine delle regioni di decisione per il decisore ottimo.

Si consideri il segnale analogico  $s(t) = 3\sin(3000\pi/2t)$ , campionato con un tempo di campionamento pari a  $10^{-3}$  secondi. Tale tempo soddisfa la condizione di Nyquist?

Si assuma che il segnale campionato venga quantizzato su 4 livelli: qual è l'intervallo di esistenza del segnale? Quali saranno gli intervalli rappresentati da ogni livello in modo da coprirlo tutto? Quali saranno le codifiche binarie associate a questi livelli?

Si prendano infine i primi 3 campioni del segnale di cui sopra a partire dall'istante  $t = 5 \cdot 10^{-3}$  sec. Si indichi i quattro valori, il livello corrispondente dopo la quantizzazione e la codifica e si calcoli il tempo di bit  $T_b$ .

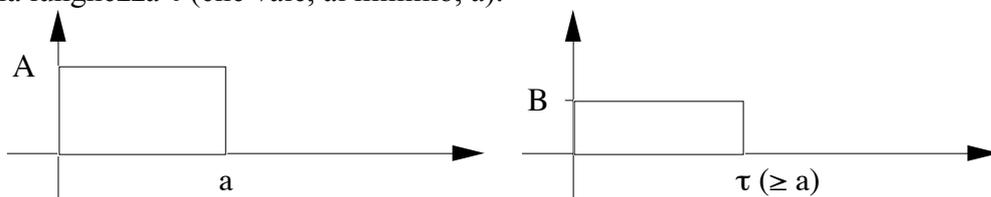
Infine, supponendo che il segnale digitale abbia una funzione di forma  $g(t) = \text{triang}(t/T_b)$ , si disegni il segnale digitale corrispondente ai tre campioni di cui sopra.

# Esame di Comunicazioni Elettriche e Fondamenti di Teoria dell'Informazione

Appello del 14/02/2014

## Domanda 1

Si considerino i due segnali in figura. Si calcoli e disegni la loro cross-correlazione all'aumentare della lunghezza  $\tau$  (che vale, al minimo,  $a$ ).



Si discuta come tale funzione può essere usata per riconoscere la lunghezza del secondo segnale.

## Domanda 2

Si supponga di avere un segnale digitale in cui vengono trasmesse parole di tre bit, ove ogni bit di valore 1 è rappresentato da un impulso alto 1, mentre ogni bit di valore 0 è rappresentato da un impulso alto  $-1$ . Si supponga che al segnale si sovrapponga un rumore con funzione densità di probabilità costante nell'intervallo  $(-2,2)$ .

Calcolare:

- la probabilità di ricevere un bit sbagliato;
- la probabilità che il valore (in numeri decimali) della parola ricevuta differisca di più di 2 dal valore (in numeri decimali) della parola trasmessa;
- la probabilità che il valore (in numeri decimali) della parola ricevuta differisca di meno di 3 dal valore (in numeri decimali) della parola trasmessa.

## Domanda 3

Si descriva il demodulatore FM nelle due tipologie presentate a lezione (cioè descrivendo anche il Phased Locked Loop).

## Domanda 4

Si consideri un sistema di telecomunicazioni composto da:

1. una sorgente senza memoria con alfabeto composto dai simboli  $\{-1, 0, 1, 2\}$ , equiprobabili;
2. un sommatore con memoria che sottrae al simbolo attuale quello precedente di un intervalli di simbolo;

Indicare (e giustificare):

- a. l'alfabeto in uscita dal sommatore con le probabilità dei diversi simboli;
- b. una possibile codifica di Huffman di questo alfabeto, quantificando il guadagno in termini di numero medio di bit rispetto ad una codifica binaria "standard".

# Esame di Teoria dei Segnali e Comunicazioni Elettriche

Appello del 27/02/2014

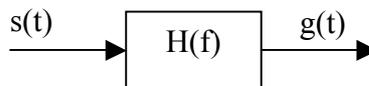
## Domanda 1

È dato un segnale  $s(t)$  la cui trasformata è rappresentata dalla funzione:

$$S(f) = A \cdot \text{rect}\left(\frac{f}{B}\right) \cdot \left(2 - \frac{|f|}{B}\right)$$

dove  $A$  e  $B$  sono costanti prefissate. Il segnale  $s(t)$  entra in un blocco lineare avente funzione di trasferimento  $H(f)$  e quindi dal blocco esce il segnale  $g(t)$ , la cui trasformata di Fourier è  $G(f)$ . Si determini:

1. La funzione di trasferimento  $H(f)$  affinché la  $G(f)$  abbia un valore costante e pari a  $2A$  nell'intervallo di frequenze  $(-B/2, +B/2)$ , nullo altrove.
2. L'espressione analitica di  $s(t)$  (antitrasf. di  $S(f)$ ).
3. L'espressione analitica di  $g(t)$  (antitrasf. di  $G(f)$ ).



## Domanda 2

Si descriva il demodulatore AM a involuppo e se ne spieghi il funzionamento.

## Domanda 3

Sono dati due segnali  $s_1(t)$ ,  $s_2(t)$  i cui spettri monolateri occupano le bande  $[0, 5 \text{ kHz}]$  e  $[0, 20 \text{ kHz}]$  rispettivamente. Il primo entra in un sistema PCM e viene campionato nel tempo in modo da non perdere informazione, poi quantizzato con una precisione migliore dell'1%. Infine, è trasmesso in banda base con un bit per simbolo. Sullo stesso canale si trasmette il secondo segnale modulato VSB con la banda laterale superiore completa e la banda inferiore ridotta al 20% dell'occupazione originale di banda. Si sceglie la frequenza  $f_c$  della portante in modo che i due segnali (PCM binario + FM) occupino la minore banda possibile e che non si disturbino a vicenda in modo sensibile. Dire quale deve essere  $f_c$  e quanta banda in totale si viene ad occupare sul canale.

Si supponga ora, **invece**, di usare la somma  $s_1(t)+s_2(t)$  per modulare SSB (banda inferiore) una portante a 100 kHz. Il segnale così modulato è poi trasmesso. Supponendo di volere mandare sul canale anche un segnale  $s_3(t)$  in banda base, si dica quanta banda è disponibile per  $s_3(t)$ .

## Domanda 4

Si supponga di avere un sistema di trasmissione binario ad impulsi, nel quale al valore binario 0 corrisponde un impulso di altezza  $-\pi/2$ , ed al valore binario 1 corrisponde un impulso di altezza  $+\pi/2$ . I due simboli vengono emessi con uguale probabilità. Alla ricezione, il tipo di impulso emesso (0 o 1) è riconosciuto confrontando l'altezza dell'impulso ricevuto con una soglia  $s$ .

Sul canale del sistema di trasmissione, al segnale utile si somma un rumore caratterizzabile come una variabile casuale con funzione densità di probabilità  $f_x(x) = \begin{cases} k(1 + \cos(x)) & \forall x \in [-\pi, +\pi] \\ 0 & \text{altrove} \end{cases}$

. Calcolare qual è la probabilità di riconoscere erroneamente un bit nei due casi:

# Esame di Comunicazioni Analogiche e Digitali

## Esame di Comunicazioni Elettriche (NO) e fondamenti T.I.

Appello del 13/02/2014

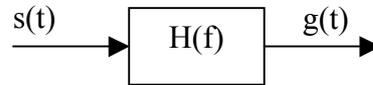
### Domanda 1

È dato un segnale  $s(t)$  la cui trasformata è rappresentata dalla funzione:

$$S(f) = A \cdot \text{rect}\left(\frac{f}{B}\right) \cdot \left(2 - \frac{|f|}{B}\right)$$

dove  $A$  e  $B$  sono costanti prefissate. Il segnale  $s(t)$  entra in un blocco lineare avente funzione di trasferimento  $H(f)$  e quindi dal blocco esce il segnale  $g(t)$ , la cui trasformata di Fourier è  $G(f)$ . Si determini:

- La funzione di trasferimento  $H(f)$  affinché la  $G(f)$  abbia un valore costante e pari a  $2A$  nell'intervallo di frequenze  $(-B/2, +B/2)$ , nullo altrove.
- L'espressione analitica di  $s(t)$  (antitrasf. di  $S(f)$ ).
- L'espressione analitica di  $g(t)$  (antitrasf. di  $G(f)$ ).



### Domanda 2

Si descriva il demodulatore AM a involuppo e se ne spieghi il funzionamento.

### Domanda 3

Sono dati due segnali  $s_1(t)$ ,  $s_2(t)$  i cui spettri monolateri occupano le bande  $[0, 5 \text{ kHz}]$  e  $[0, 20 \text{ kHz}]$  rispettivamente. Il primo entra in un sistema PCM e viene campionato nel tempo in modo da non perdere informazione, poi quantizzato con una precisione migliore dell'1%. Infine, è trasmesso in banda base con un bit per simbolo. Sullo stesso canale si trasmette il secondo segnale modulato VSB con la banda laterale superiore completa e la banda inferiore ridotta al 20% dell'occupazione originale di banda. Si sceglie la frequenza  $f_c$  della portante in modo che i due segnali (PCM binario + FM) occupino la minore banda possibile e che non si disturbino a vicenda in modo sensibile. Dire quale deve essere  $f_c$  e quanta banda in totale si viene ad occupare sul canale.

Si supponga ora, **invece**, di usare la somma  $s_1(t)+s_2(t)$  per modulare SSB (banda inferiore) una portante a 100 kHz. Il segnale così modulato è poi trasmesso. Supponendo di volere mandare sul canale anche un segnale  $s_3(t)$  in banda base, si dica quanta banda è disponibile per  $s_3(t)$ .

### Domanda 4

Si consideri la costellazione binaria composta dai simboli  $(0, j)$  e  $(0, -2j)$ , la si rappresenti graficamente nel piano complesso e si disegni il confine delle regioni di decisione per il decisore ottimo.

Si consideri il segnale analogico  $s(t) = 2\cos(500\pi t)$ , campionato con un tempo di campionamento pari a  $10^{-3}$  secondi. Tale tempo soddisfa la condizione di Nyquist?

Si assuma che il segnale campionato venga quantizzato su 8 livelli: qual è l'intervallo di esistenza del segnale? Quali saranno gli intervalli rappresentati da ogni livello in modo da coprirlo tutto? Quali saranno le codifiche binarie associate a questi livelli?

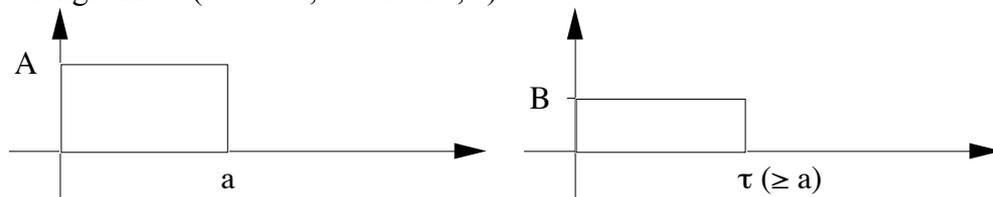
Si prendano infine i primi 3 campioni del segnale di cui sopra a partire dall'istante  $t = 0$ , se ne indichino i valori, il livello corrispondente dopo la quantizzazione, la codifica e si calcoli il tempo di bit  $T_b$ .

# Esame di Comunicazioni Elettriche (VO)

Appello del 27/02/2014

## Domanda 1

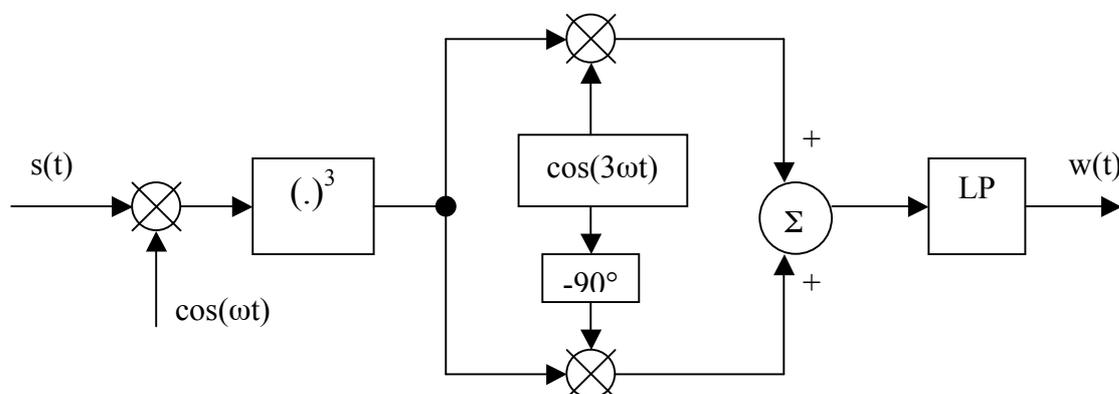
Si considerino i due segnali in figura. Si calcoli e disegni la loro cross-correlazione all'aumentare della lunghezza  $\tau$  (che vale, al minimo,  $a$ ).



Si discuta come tale funzione può essere usata per riconoscere la lunghezza del secondo segnale.

## Domanda 2

È dato il segnale  $s(t)$  avente banda  $[0; B]$ , con  $2\pi B \ll \omega$ , e lo schema seguente:



Determinare l'espressione analitica del segnale  $w(t)$  in uscita dal sistema, e stabilire quali elementi dello schema potrebbero essere eliminati senza che tale espressione abbia a cambiare. Dato  $w(t)$ , è possibile ricostruire esattamente il segnale  $s(t)$ ? Se no, giustificare la risposta. Se sì, proporre uno schema adatto alla ricostruzione di  $s(t)$ .

## Domanda 3

Si descriva il demodulatore FM.

## Domanda 4

Sono dati due segnali  $s_1(t)$ ,  $s_2(t)$  i cui spettri monolateri occupano le bande  $[0, 5 \text{ kHz}]$  e  $[0, 20 \text{ kHz}]$  rispettivamente. Il primo entra in un sistema PCM e viene campionato nel tempo in modo da non perdere informazione, poi quantizzato con una precisione migliore dell'1%. Infine, è trasmesso in banda base con un bit per simbolo. Sullo stesso canale si trasmette il secondo segnale modulato VSB con la banda laterale superiore completa e la banda inferiore ridotta al 20% dell'occupazione originale di banda. Si sceglie la frequenza  $f_c$  della portante in modo che i due segnali (PCM binario + FM) occupino la minore banda possibile e che non si disturbino a vicenda in modo sensibile. Dire quale deve essere  $f_c$  e quanta banda in totale si viene ad occupare sul canale.

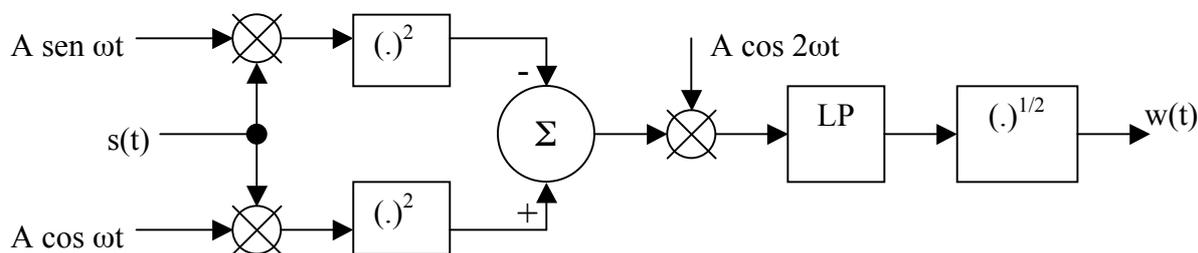
Si supponga ora, **invece**, di usare la somma  $s_1(t)+s_2(t)$  per modulare SSB (banda inferiore) una portante a 100 kHz. Il segnale così modulato è poi trasmesso. Supponendo di volere mandare sul canale anche un segnale  $s_3(t)$  in banda base, si dica quanta banda è disponibile per  $s_3(t)$ .

# Esame di Teoria dei Segnali e Comunicazioni Elettriche

Appello del 11/04/2014

## Domanda 1

È dato il seguente schema a blocchi:



Sapendo che  $s(t)$  ha spettro non nullo solo nell'intervallo di frequenze  $[0; B]$ , che  $\frac{\omega}{2\pi} \gg B$ , determinare l'espressione analitica del segnale  $w(t)$ . Dal segnale  $w(t)$  è possibile risalire al segnale originale  $s(t)$ ? Perché? Che relazione c'è tra il valore del parametro  $A$  (ampiezza delle portanti) e la potenza del segnale  $w(t)$ , fissato  $s(t)$ ?

## Domanda 2

Si descriva il demodulatore FM a involuppo e se ne spieghi il funzionamento.

## Domanda 3

E' dato un sistema PCM nel quale entrano tre segnali  $s_1(t)$ ,  $s_2(t)$ ,  $s_3(t)$ , aventi densità spettrale di potenza non nulla rispettivamente negli intervalli  $[0,5 \text{ kHz}]$ ,  $[0,2 \text{ kHz}]$ ,  $[0,4 \text{ kHz}]$ . I segnali  $s_1(t)$  ed  $s_3(t)$  sono campionati ognuno alla minima frequenza necessaria per poter essere ricostruiti senza ambiguità, mentre  $s_2(t)$  è campionato al doppio della frequenza minima per non avere ambiguità. Dopo il campionamento, i tre segnali sono quantizzati con 6, 7, 8 bit per campione rispettivamente. Determinare qual è il numero totale di bit per secondo emesso mediamente a regime dal sistema PCM, e qual è il massimo errore percentuale commesso sui campioni di ognuno dei tre segnali. Calcolare, infine, la posizione delle portanti per trasmettere LSB i tre segnali, occupando una banda di frequenze minima possibile a partire da 1,5 MHz a salire.

## Domanda 4

Si supponga di avere un sistema di trasmissione con quattro simboli  $s_1$ ,  $s_2$ ,  $s_3$  and  $s_4$ , codificati in binario, al valore 0 corrisponde un impulso di altezza 1, ed al valore 1 corrisponde un impulso di altezza -2. I quattro simboli vengono emessi con probabilità 0.3, 0.1, 0.2 e 0.4, rispettivamente. Alla ricezione, il tipo di impulso emesso (0 o 1) è riconosciuto confrontando l'altezza dell'impulso ricevuto con una soglia  $V_T$ . Qual è il valore ottimale di questa soglia (giustificare la risposta)?

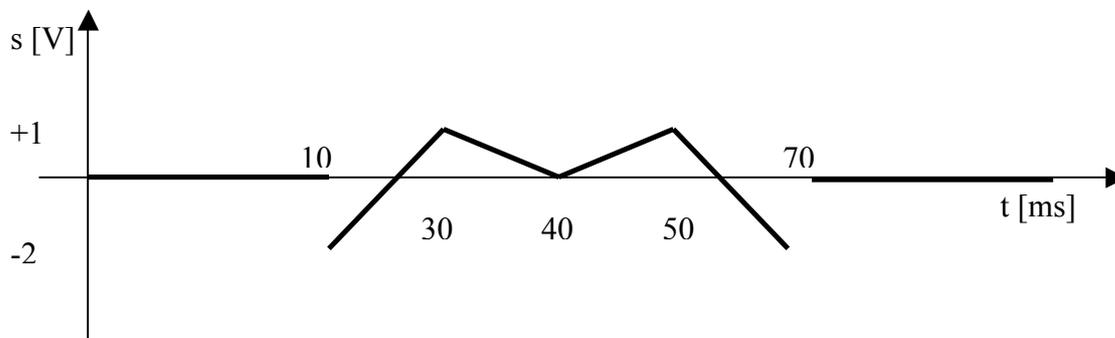
Sul canale del sistema di trasmissione, al segnale utile si somma un rumore gaussiano a media nulla e con varianza  $\sigma_N^2$ . Qual è la probabilità di sbagliare in ricezione e non riconoscere il simbolo  $s_1$ ? Qual è la probabilità di sbagliare un qualunque simbolo?

# Esame di Comunicazioni Elettriche (VO)

Appello del 11/04/2014

## Domanda 1

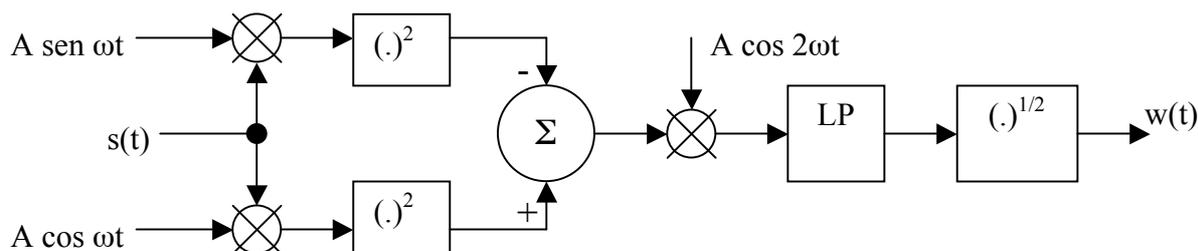
È dato il segnale  $s(t)$  rappresentato nel grafico sottostante:



Scrivere l'espressione analitica e la trasformata di Fourier.

## Domanda 1

È dato il seguente schema a blocchi:



Sapendo che  $s(t)$  ha spettro non nullo solo nell'intervallo di frequenze  $[0; B]$ , che  $\frac{\omega}{2\pi} \gg B$ , determinare l'espressione analitica del segnale  $w(t)$ . Dal segnale  $w(t)$  è possibile risalire al segnale originale  $s(t)$ ? Perché? Che relazione c'è tra il valore del parametro  $A$  (ampiezza delle portanti) e la potenza del segnale  $w(t)$ , fissato  $s(t)$ ?

## Domanda 3

Si descriva il demodulatore AM coerente e le sue prestazioni rispetto al rumore.

## Domanda 4

È dato un sistema PCM nel quale entrano tre segnali  $s_1(t)$ ,  $s_2(t)$ ,  $s_3(t)$ , aventi densità spettrale di potenza non nulla rispettivamente negli intervalli  $[0,5 \text{ kHz}]$ ,  $[0,2 \text{ kHz}]$ ,  $[0,4 \text{ kHz}]$ . I segnali  $s_1(t)$  ed  $s_3(t)$  sono campionati ognuno alla minima frequenza necessaria per poter essere ricostruiti senza ambiguità, mentre  $s_2(t)$  è campionato al doppio della frequenza minima per non avere ambiguità. Dopo il campionamento, i tre segnali sono quantizzati con 6, 7, 8 bit per campione rispettivamente. Determinare qual è il numero totale di bit per secondo emesso mediamente a regime dal sistema PCM, e qual è il massimo errore percentuale commesso sui campioni di ognuno dei tre segnali. Calcolare, infine, la posizione delle portanti per trasmettere LSB i tre segnali, occupando una banda di frequenze minima possibile a partire da 1,5 MHz a salire.

# Esame di Comunicazioni Elettriche [504021]

Appello del 12/06/2014

## Domanda 1

Si supponga di avere un segnale periodico indicato dalla seguente formula, ove  $T_1$  vale 2 mS.

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{rect}\left(\frac{t - (2n-1)T_1}{T_1}\right) \cdot (0.4 + \cos(\omega_1 t))$$

Se ne calcoli prima di tutto lo spettro e la potenza.

Si calcoli poi qual è il coefficiente di modulazione massimo utilizzabile se questo segnale è posto in ingresso ad un modulatore AM-DSB con portante di ampiezza unitaria, calcolandone il valore entro i limiti per utilizzare un demodulatore ad involuppo ma senza che la potenza massima del segnale modulato superi 0.7 W.

Infine, si calcoli il  $\gamma$  del demodulatore associato a questo segnale modulato e il  $\Delta f$  di un modulatore FM che avesse (con in ingresso lo stesso segnale) un livello di robustezza al rumore triplo.

## Domanda 2

Si consideri un segnale vocale, con banda 4kHz, campionato e quantizzato con una precisione non inferiore allo 0.1%. Il segnale PCM viene moltiplicato per una portante a 50 MHz. Determinare

- la banda del segnale così ottenuto;
- la potenza di rumore di quantizzazione del segnale, assumendo che il segnale vocale abbia valori tra 0 e 1;
- la probabilità di errore supponendo che il segnale PCM venga trasmesso mediante una modulazione OOK con distanza tra i simboli  $d=5$ , immersa in un rumore AWGN con densità spettrale di potenza di  $10^{-14}$  W/Hz;
- la soglia ottimale per la decisione e la probabilità di errore nel caso in cui il rumore non sia AWGN, ma abbia funzione densità di probabilità costante nell'intervallo  $[-15, 10]$ .

## Domanda 3

Dimostrare la formula del  $\gamma$  della modulazione FM, spiegando le ragioni dell'effetto soglia associato e calcolando la potenza del rumore spike.

# Esame di Teoria dei Segnali e Comunicazioni Elettriche [502482]

# Esame di Teoria dei Segnali e Comunicazioni Elettriche [62315]

Appello del 12/06/2014

## Domanda 1

Si consideri un segnale con banda 4kHz, campionato e quantizzato con una precisione non inferiore allo 0.1%. Il segnale PCM viene moltiplicato per una portante a 3 MHz. Determinare

- la banda del segnale così ottenuto;
- la potenza di rumore di quantizzazione del segnale, assumendo che il segnale vocale abbia valori tra 0 e 1;
- Il numero di simboli richiesti per avere la stessa precisione ma usando simboli ternari o quaternari;
- la soglia ottimale per la decisione e la probabilità di errore nel caso in cui il rumore non sia AWGN, ma abbia funzione densità di probabilità costante nell'intervallo  $[-15, 10]$ .

## Domanda 2

Si supponga di avere un segnale periodico indicato dalla seguente formula, ove  $T_1$  vale 1 mS.

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{rect}\left(\frac{t-2nT_1}{T_1}\right) \cdot (\cos(\omega_1 t) - 0.4)$$

Se ne calcoli prima di tutto lo spettro e la potenza.

Si calcoli poi qual è il coefficiente di modulazione massimo utilizzabile se questo segnale è posto in ingresso ad un modulatore AM-DSB con portante di ampiezza unitaria, calcolandone il valore entro i limiti per utilizzare un demodulatore ad involuppo ma senza che la potenza massima del segnale modulato superi 0.7 W.

Infine, si calcoli il  $\gamma$  del demodulatore associato a questo segnale modulato e il  $\Delta f$  di un modulatore FM che avesse (con in ingresso lo stesso segnale) un livello triplo di robustezza al rumore.

## Domanda 3

Introdurre e spiegare il modulatore AM-SSB a sfasamento. Qual è il  $\gamma$  associato a questa modulazione? Perché?

## Domanda 4

Sia dato un segnale PAM ottenuto campionando idealmente un segnale  $s(t)$  con funzione densità spettrale di potenza a forma di triangolo isoscele tra  $-f_M$  e  $f_M$ . Si supponga che tale segnale sia posto in ingresso al sistema in figura (il primo blocco è un filtro passabasso).



Supponendo che il segnale di partenza sia esprimibile come un processo casuale stazionario i cui valori si distribuiscono nell'intervallo  $[-2, 2]$  con densità di probabilità pari a  $k|x|$ , trovare:

- l'espressione della autocorrelazione di  $s(t)$ ;
- la potenza media del segnale in uscita dal filtro passa basso (la cui frequenza di taglio è  $f_M$ );
- la funzione densità di probabilità della variabile in uscita.

# Esame di Comunicazioni Analogiche e Digitali [502508]

## Esame di Comunicazioni Elettriche e fondamenti T.I. [502509]

Appello del 12/06/2014

### Domanda 1

Si consideri un segnale con banda 4kHz, campionato e quantizzato con una precisione non inferiore allo 0.1%. Il segnale PCM viene moltiplicato per una portante a 3 MHz. Determinare

- la banda del segnale così ottenuto;
- la potenza di rumore di quantizzazione del segnale, assumendo che il segnale vocale abbia valori tra 0 e 1;
- Il numero di simboli richiesti per avere la stessa precisione ma usando simboli ternari o quaternari.

### Domanda 2

Introdurre e spiegare il modulatore FM di Armstrong.

### Domanda 3

Si supponga di avere un segnale periodico indicato dalla seguente formula, ove  $T_1$  vale 1 mS.

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{rect}\left(\frac{t-2nT_1}{T_1}\right) \cdot (\cos(\omega_1 t) - 0.4)$$

Se ne calcoli prima di tutto lo spettro e la potenza.

Si calcoli poi qual è il coefficiente di modulazione massimo utilizzabile se questo segnale è posto in ingresso ad un modulatore AM-DSB con portante di ampiezza unitaria, calcolandone il valore entro i limiti per utilizzare un demodulatore ad involuppo ma senza che la potenza massima del segnale modulato superi 0.7 W.

Infine, si calcoli il  $\gamma$  del demodulatore associato a questo segnale modulato e il  $\Delta f$  di un modulatore FM che avesse (con in ingresso lo stesso segnale) un livello triplo di robustezza al rumore.

### Domanda 4

Sia dato un segnale PAM ottenuto campionando idealmente un segnale  $s(t)$  con funzione densità spettrale di potenza a forma di triangolo isoscele tra  $-f_M$  e  $f_M$ . Si supponga che tale segnale sia posto in ingresso al sistema in figura (il primo blocco è un filtro passabasso).



Supponendo che il segnale di partenza sia esprimibile come un processo casuale stazionario i cui valori si distribuiscono nell'intervallo  $[-2, 2]$  con densità di probabilità pari a  $k|x|$ , trovare:

- l'espressione della autocorrelazione di  $s(t)$ ;
- la potenza media del segnale in uscita dal filtro passa basso (la cui frequenza di taglio è  $f_M$ );
- la densità spettrale di potenza del segnale in uscita.

# Esame di Comunicazioni Elettriche [504021]

Appello del 3/07/2014

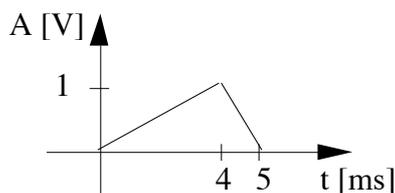
## Domanda 1

Si supponga di avere un segnale binario digitale, in cui il segnale 0 è rappresentato da un impulso lungo il tempo di bit e alto 1V, mentre il simbolo 1 da un impulso con la stessa durata, ma alto  $(1+\Delta)$  V. Il segnale è stato ottenuto campionando un segnale analogico con 10 kHz di banda, quantizzato con una precisione migliore dello 0.1%.

- Si calcoli l'espressione della probabilità d'errore per un filtro adattato in ricezione di questo segnale più un rumore AWGN con densità spettrale di potenza pari a  $2.5 \cdot 10^{-5}$  W/Hz (sarà una funzione di  $\Delta$ ).
- Si estraiga poi qual è il valore di  $\Delta$  per ottenere un errore pari a  $10^{-6}$ , usando la figura sul secondo foglio.
- Con questo valore, supponendo che il secondo simbolo duri adesso  $2/3$  del tempo di bit, si ricalcoli la probabilità di errore.
- Ponendo infine  $\Delta = 0$  e supponendo che i due segnali abbiano durata diversa, il primo pari al tempo di bit e il secondo pari al tempo di bit  $-\Delta\tau$ , di definisca il valore di  $\Delta\tau$  che permette di avere una probabilità di errore pari a  $10^{-4}$ .

## Domanda 2

Si assuma di avere un segnale AM-SSB, con segnale modulante come in figura.

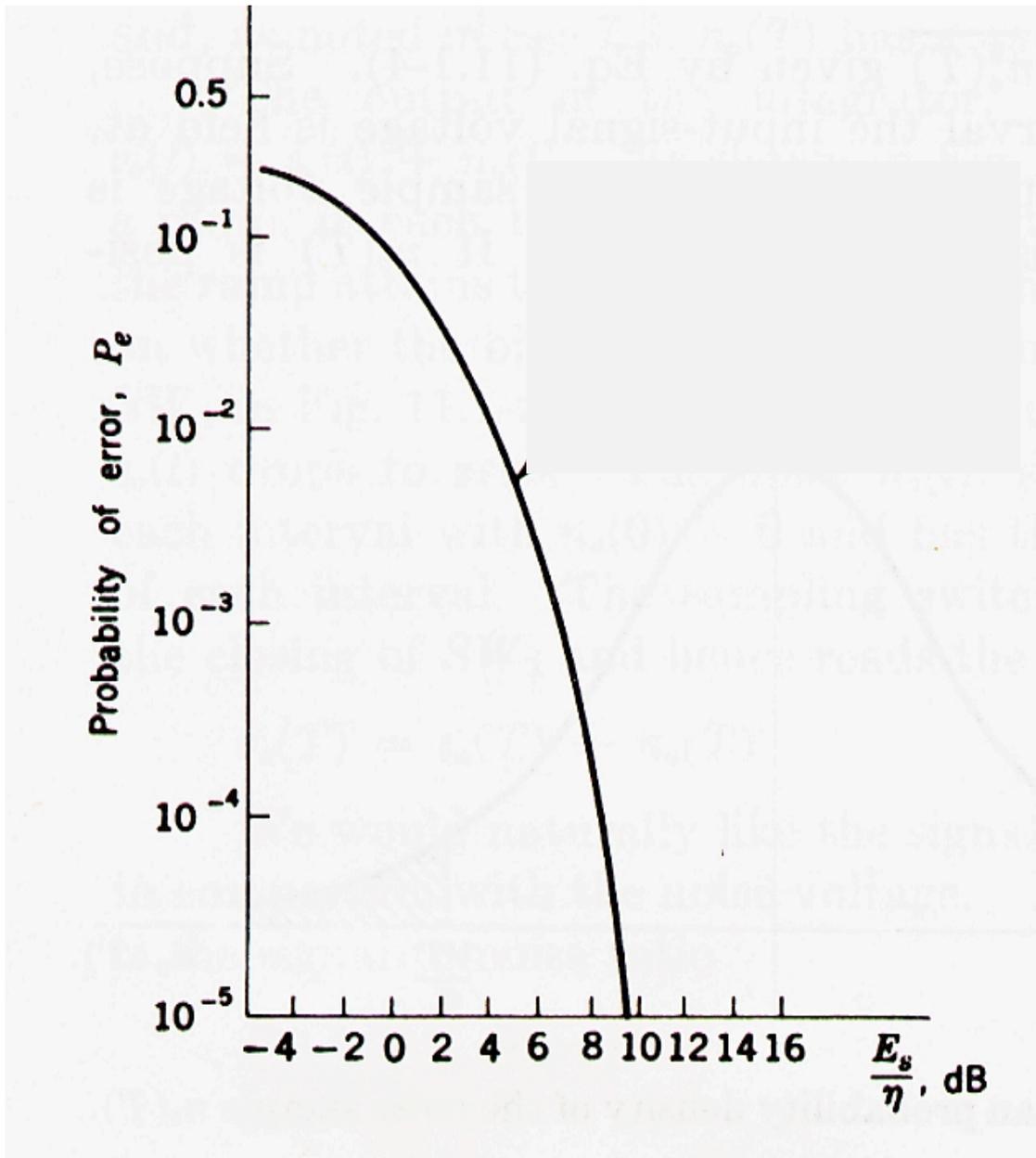


Calcolare (non disegnare):

- 1) lo spettro del segnale modulante;
- 2) lo spettro del segnale modulato, ricordando che la trasformata di Hilbert corrisponde a moltiplicare per  $j$  le frequenze positive e per  $-j$  le frequenze negative dello spettro di un segnale;
- 3) la densità spettrale di potenza e la potenza del segnale.

## Domanda 3

Dimostrare il teorema di Parseval sia per i segnali aperiodici che per quelli periodici.



# Esame di Teoria dei Segnali e Comunicazioni Elettriche [502482]

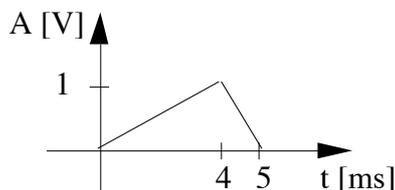
# Esame di Teoria dei Segnali e Comunicazioni Elettriche [62315]

# Esame di Comunicazioni Elettriche [62163]

Appello del 3/07/2014

## Domanda 1

Si assuma di avere un segnale AM-SSB, con segnale modulante come in figura.

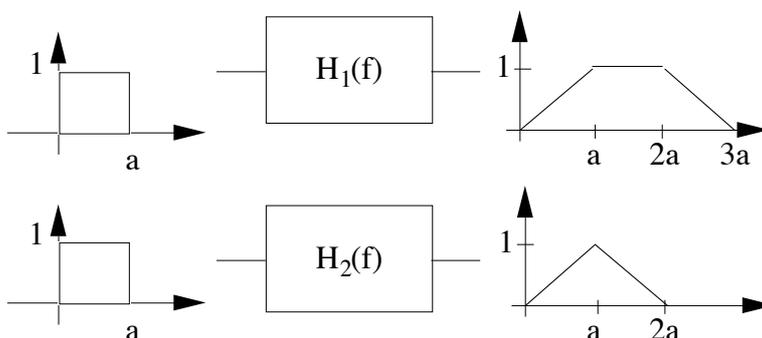


Calcolare (non disegnare):

- 1) lo spettro del segnale modulante;
- 2) lo spettro del segnale modulato;
- 3) la potenza del segnale.

## Domanda 2

Si considerino i due blocchi in figura. Ciascun blocco può essere pensato come un'approssimazione di un filtro passa basso. I due filtri però hanno banda (approssimata) diversa. Quale dei due ha la banda più ampia?



## Domanda 3

Introdurre e spiegare il demodulatore FM.

## Domanda 4

Si consideri un segnale con banda 30kHz, spettro costante in quella banda con valore di  $5 \cdot 10^{-5}$  V/Hz. Il segnale viene sottocampionato ad  $1/3$  della frequenza di Nyquist. In ricezione, il segnale è recuperato attraverso un filtro passabasso con banda pari alla banda originale del segnale. Determinare:

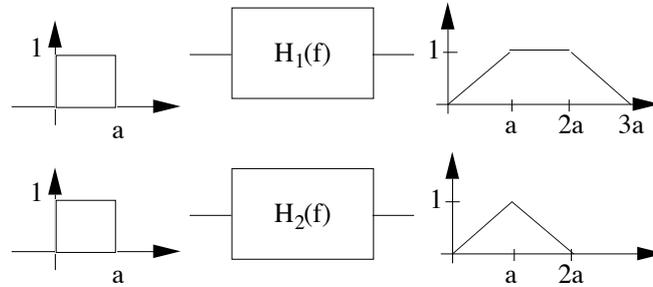
- a) lo spettro del segnale dopo il campionamento;
- b) lo spettro del segnale ricevuto;
- c) l'indice di modulazione supponendo di trasmettere il segnale originale in modulazione AM-DBS;
- d) il coefficiente  $\gamma$  per questa scelta dell'indice di modulazione, supponendo che la portante abbia ampiezza 1 V.

# Esame di Comunicazioni Analogiche e Digitali [502508]

Appello del 3/07/2014

## Domanda 1

Si considerino i due blocchi in figura. Ciascun blocco può essere pensato come una approssimazione di un filtro passa basso. I due filtri però hanno banda diversa. Quale dei due ha la banda più ampia?



## Domanda 2

Introdurre e spiegare il demodulatore FM.

## Domanda 3

Si supponga di avere un segnale binario digitale, in cui il segnale 0 è rappresentato da un impulso lungo il tempo di bit e alto 1V, mentre il simbolo 1 da un impulso con la stessa durata, ma alto  $(1+\Delta)$  V. Il segnale è stato ottenuto campionando un segnale analogico con 10 kHz di banda, quantizzato con una precisione migliore dello 0.1%.

- Si calcoli l'espressione della probabilità d'errore per un filtro adattato in ricezione di questo segnale più un rumore AWGN con densità spettrale di potenza pari a  $2.5 \cdot 10^{-5}$  W/Hz (sarà una funzione di  $\Delta$ ).
- Si estraiga poi qual è il valore di  $\Delta$  per ottenere un errore pari a  $10^{-6}$ .
- Con questo valore, supponendo che il secondo simbolo duri adesso  $2/3$  del tempo di bit, si ricalcoli la probabilità di errore.
- 

## Domanda 4

Si consideri un segnale con banda 30kHz, spettro costante in quella banda con valore di  $5 \cdot 10^{-5}$  V/Hz. Il segnale viene sottocampionato ad  $1/2$  della frequenza di Nyquist. In ricezione, il segnale è recuperato attraverso un filtro passabasso con banda pari alla banda originale del segnale. Determinare:

- a) lo spettro del segnale dopo il campionamento;
- b) lo spettro del segnale ricevuto;
- c) l'indice di modulazione supponendo di trasmettere il segnale originale in modulazione AM-DBS;
- d) il coefficiente  $\gamma$  per questa scelta dell'indice di modulazione, supponendo che la portante abbia ampiezza 1 V.

# Esame di Comunicazioni Elettriche [504021]

## Esame di Comunicazioni Analogiche e Digitali [502508]

Appello del 9/09/2014

### Domanda 1

Si consideri un campionatore in grado di campionare con un tempo minimo di 25 ms. In ingresso a questo campionatore viene posto un segnale ignoto, con valori compresi tra 0 e 4 V. Si calcoli:

- la banda del filtro passabasso necessario per evitare aliasing dopo il campionatore;
- la banda che dovrebbe avere lo stesso filtro volendo avere una banda di guardia del 10% tra le repliche in frequenza del segnale filtrato;
- il tempo di bit in relazione a questo secondo caso, assumendo che la quantizzazione sia operata su 8 bit;
- la potenza dell'errore di quantizzazione in quest'ultima situazione, nonché il massimo errore nella ricostruzione del segnale originale imputabile alla quantizzazione;
- l'espressione della probabilità di errore nel caso di una trasmissione digitale con modulazione BPSK e OOK, rispettivamente. Cosa manca per poter tradurre questa espressione in un numero?

### Domanda 2

Sono dati i segnali:  $m_1(t) = 10 \cdot \text{sinc}(20 \cdot 10^3 \cdot t)$ ;  $m_2(t) = 5 \cdot \text{sinc}^2(15 \cdot 10^3 \cdot t)$ .

Si usa il segnale  $m_1(t)$  per modulare USB una portante a frequenza  $f_1 = 1,5$  MHz, ed  $m_2(t)$  per modulare AM una seconda portante a frequenza  $f_2 > f_1$ . Si determini la  $f_2$  in modo che la frequenza massima contenuta nel secondo segnale modulato sia la più bassa possibile con gli spettri dei due segnali modulati che non si sovrappongono neanche parzialmente.

Se sulla linea di trasmissione dove è trasportato il segnale modulato si ha rumore bianco con  $N_0/2$  (bilatero) =  $3 \cdot 10^{-6}$  W/Hz, qual è la potenza totale del rumore che occupa la stessa banda dei due segnali modulati?

Si calcolino infine le frequenze minime  $f_{c1}$  ed  $f_{c2}$  alle quali è necessario campionare  $m_1(t)$  ed  $m_2(t)$  rispettivamente, in modo che questi ultimi segnali siano perfettamente ricostruibili dai campioni estratti.

### Domanda 3

Dire quali sono le condizioni sulla funzione di trasferimento  $H(f)$  di un canale che devono essere rispettate perché il segnale in uscita al canale  $g(t)$  sia non distorto rispetto a quello in ingresso  $s(t)$ . Si assuma che il segnale in ingresso  $s(t)$  abbia spettro nullo al di fuori dell'intervallo di frequenze  $[f_1, f_2]$ , con  $f_1 \gg 0$ .

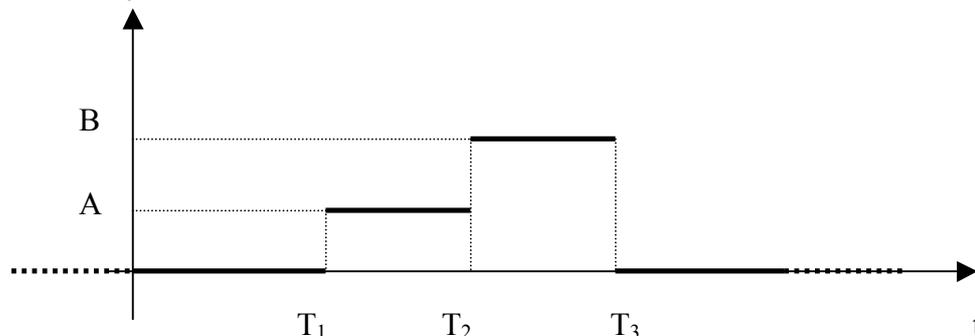
# Esame di Teoria dei Segnali e Comunicazioni Elettriche [62315]

## Esame di Comunicazioni Elettriche [62163]

Appello del 9/09/2014

### Domanda 1

È dato il segnale  $s(t)$  rappresentato nel seguente diagramma tensione-tempo, ove  $A = 1$  e  $B = 3$ ,  $T_1 = 3.5$ ,  $T_2 = 5.5$  e  $T_3 = 9.5$  millisecondi.



Dopo aver costruito l'espressione analitica del segnale, calcolarne l'energia e la trasformata di Fourier. Calcolare poi la trasformata di Fourier della versione  $v(t)$  del segnale  $s(t)$  traslata in modo che  $T_1$  coincida coll'origine dei tempi.

### Domanda 2

Sono dati i segnali:  $m_1(t) = 10 \cdot \text{sinc}(20 \cdot 10^3 \cdot t)$ ;  $m_2(t) = 5 \cdot \text{sinc}^2(15 \cdot 10^3 \cdot t)$ .

Si usa il segnale  $m_1(t)$  per modulare USB una portante a frequenza  $f_1 = 1,5$  MHz, ed  $m_2(t)$  per modulare AM una seconda portante a frequenza  $f_2 > f_1$ . Si determini la  $f_2$  in modo che la frequenza massima contenuta nel secondo segnale modulato sia la più bassa possibile con gli spettri dei due segnali modulati che non si sovrappongono neanche parzialmente.

Se sulla linea di trasmissione dove è trasportato il segnale modulato si ha rumore bianco con  $N_0/2$  (bilatero) =  $3 \cdot 10^{-6}$  W/Hz, qual è la potenza totale del rumore che occupa la stessa banda dei due segnali modulati?

Si calcolino infine le frequenze minime  $f_{c1}$  ed  $f_{c2}$  alle quali è necessario campionare  $m_1(t)$  ed  $m_2(t)$  rispettivamente, in modo che questi ultimi segnali siano perfettamente ricostruibili dai campioni estratti.

### Domanda 3

Dire quali sono le condizioni sulla funzione di trasferimento  $H(f)$  di un canale che devono essere rispettate perché il segnale in uscita al canale  $g(t)$  sia non distorto rispetto a quello in ingresso  $s(t)$ . Si assuma che il segnale in ingresso  $s(t)$  abbia spettro nullo al di fuori dell'intervallo di frequenze  $[f_1, f_2]$ , con  $f_1 \gg 0$ .

### Domanda 4

Sono dati due segnali  $s_1(t)$ ,  $s_2(t)$  i cui spettri monolateri occupano le bande  $[0, 5$  kHz] e  $[0, 20$  kHz] rispettivamente. Il primo entra in un sistema PCM e viene campionato nel tempo in modo da non perdere informazione, poi quantizzato con una precisione migliore dell'1%. Infine, è trasmesso in banda base con un bit per simbolo su un canale H. Sullo stesso canale si trasmette il secondo segnale modulato VSB con la banda laterale superiore completa e la banda inferiore ridotta al 20% dell'occupazione originale di banda. Si sceglie la frequenza  $f_c$  della portante in modo che i due segnali (PCM binario + FM) occupino la minore banda possibile e che non si disturbino a vicenda in modo sensibile. Dire quale deve essere  $f_c$  e quanta banda in totale si viene ad occupare sul canale. Si supponga ora, **invece**, di usare la somma  $s_1(t) + s_2(t)$  per modulare LSB una portante a 100 kHz. Il segnale così modulato è poi inviato sul canale H. Supponendo di volere mandare sul canale H anche un segnale  $s_3(t)$  in banda base, si dica quanta banda è disponibile per  $s_3(t)$ .

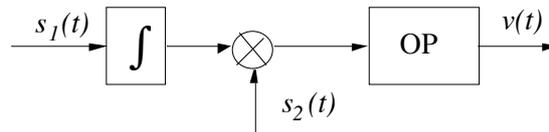
# Esame di Comunicazioni Elettriche [504021]

## Esame di Comunicazioni Analogiche e Digitali [502508]

Appello del 22/09/2014

### Domanda 1

Siano dati i segnali  $s_1(t)$  e  $s_2(t)$  in ingresso al blocco in figura. Calcolare lo spettro di  $v(t)$  e calcolare e disegnare l'autocorrelazione di  $s_1(t)$ .



		OP
$5 \operatorname{rect}\left(\frac{t-2}{3}\right) - 5 \operatorname{rect}\left(\frac{t-3}{3}\right)$	$\cos(8000\pi t)$	Ritardo di 2 sec

### Domanda 2

Il segnale  $m(t)$  di banda  $B$  viene modulato in AM-DSB-SC ( $v(t) = m(t) \cos(2\pi f_0 t)$ ) ed è posto in ingresso ad un demodulatore coerente il cui oscillatore locale è imperfetto, lavora alla frequenza  $f_1$  ( $f_1 = f_0 - \Delta f$ ) ed è affetto da un errore di fase  $\theta$ .

- Il filtro passa-basso del demodulatore è pure imperfetto, ed ha frequenza di taglio  $f_2$ , pari a  $f_0 + \Delta f$ . Qual è il segnale in uscita?
- Supponendo  $\Delta f = 0$ , qual è il valore massimo consentito di  $\theta$  per ottenere il 90% del segnale  $m(t)$  in uscita?
- Supponendo  $\theta = 0$  e  $B = 10$  kHz, qual è il valore minimo di  $\Delta f$  (a parte il valore nullo) per cui è possibile recuperare pienamente  $m(t)$  dal segnale prodotto?

### Domanda 3

Il teorema di Parseval: enunciato, dimostrazione, che cosa significa, perché è importante. Dimostrare anche la versione per segnali periodici.

# Esame di Teoria dei Segnali e Comunicazioni Elettriche [62315]

## Esame di Comunicazioni Elettriche [62163]

Appello del 22/09/2014

### Domanda 1

Si consideri una serie di impulsi delta di Dirac, distanziati di 1 ms l'uno dall'altro, e tutti di altezza unitaria. Questa serie di impulsi passa per un filtro passabasso ideale con frequenza di taglio di 1 kHz, e l'uscita viene campionata ad istanti ancora distanti 1 ms l'uno rispetto all'altro, ma in ritardo di una quantità  $\Delta\tau$  rispetto agli istanti della serie di partenza.

Esprimere in forma analitica e disegnare il segnale prima e dopo l'ultima operazione di campionamento. Calcolare infine la correlazione tra la sequenza iniziale e quella finale, assumendo  $\Delta\tau = 0$ .

### Domanda 2

Il segnale  $m(t)$  di banda  $B$  viene modulato in AM-DSB-SC ( $v(t) = m(t) \cos(2\pi f_0 t)$ ) ed è posto in ingresso ad un demodulatore coerente il cui oscillatore locale è imperfetto, lavora alla frequenza  $f_1$  ( $f_1 = f_0 - \Delta f$ ) ed è affetto da un errore di fase  $\theta$ .

- Il filtro passa-basso del demodulatore è pure imperfetto, ed ha frequenza di taglio  $f_2$ , pari a  $f_0 + \Delta f$ . Qual è il segnale in uscita?
- Supponendo  $\Delta f = 0$ , qual è il valore massimo consentito di  $\theta$  per ottenere il 90% del segnale  $m(t)$  in uscita?
- Supponendo  $\theta = 0$  e  $B = 10$  kHz, qual è il valore minimo di  $\Delta f$  (a parte il valore nullo) per cui è possibile recuperare pienamente  $m(t)$  dal segnale prodotto?

### Domanda 3

Descrivere la modulazione AM-SSB e disegnare un modulatore atto a ottenere un segnale modulato con la sola banda laterale inferiore.

### Domanda 4

Si supponga di avere un segnale PAM (Pulse Amplitude Modulation) costruito utilizzando come segnale campionario una sequenza di impulsi con periodicità 1  $\mu$ s e durata 0.1  $\mu$ s. Si indichi qual è la massima frequenza del segnale campionato che è possibile ricostruire senza problemi di aliasing. Sapendo che l'interruttore che campiona il segnale ha un ritardo di apertura compreso tra -0.001 e 0.003  $\mu$ s e un ritardo di chiusura compreso tra -0.002 e 0.004  $\mu$ s (con funzione densità di probabilità costante, in ambedue gli intervalli), si calcoli il valor medio della lunghezza di un impulso, la sua potenza media, nonché il valor medio della distanza tra un impulso e l'altro.