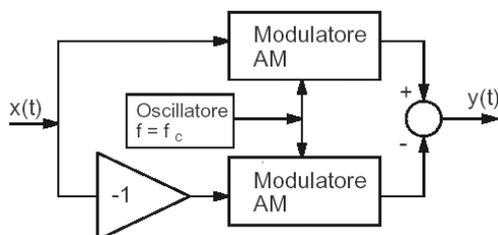


# Esame di Teoria dei Segnali e Comunicazioni Elettriche

Appello del 07/02/2013

## Domanda 1

Un segnale passabasso  $x(t)$ , avente densità spettrale di potenza costante e pari a 1 W/Hz fino alla frequenza di 10 kHz e 0 altrove, entra nello schema in figura. I due modulatori AM del ramo superiore e inferiore hanno coefficiente di modulazione pari al valore massimo possibile e al 20% di tale valore, rispettivamente, mentre la portante ha ampiezza unitaria e frequenza 100 kHz.

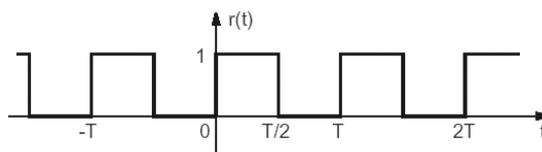


Assumendo che la fase dello spettro del segnale sia nulla, trovare l'espressione del segnale modulato  $y(t)$  e dire a quale modulazione corrisponde. Calcolare infine la potenza di  $y(t)$ .

[SUGGERIMENTO: si approssimi il minimo di  $x(t)$  con la posizione del primo minimo della funzione seno nella sua espressione]

## Domanda 2

Sia  $r(t)$  la funzione onda rettangolare, periodica di periodo  $T$ , in figura:



Calcolare i coefficienti  $c_n$  della serie di Fourier della sua derivata e spiegare perché non è possibile calcolare quelli del suo integrale. Calcolare infine il valor medio di  $r(t)$ .

## Domanda 3

Illustrare il funzionamento di un demodulatore di inviluppo per un segnale analogico modulato in ampiezza.

## Domanda 4

È dato il segnale  $s(t) = 2\text{rect}(\frac{t-3}{6}) \cdot 5\text{rect}(\frac{t-4}{2}) \cdot 3 \cdot \text{triang}(\frac{t-4}{2})$ , dove i valori sono espressi in volt ed i tempi in millisecondi. Disegnarlo e determinarne la trasformata di Fourier e l'energia.

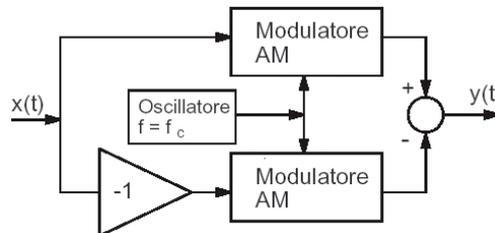
Se si replicasse infinite volte il tratto di  $s(t)$  compreso nell'intervallo  $0 < t < 6$  ottenendo così un segnale periodico  $r(t)$ , quale sarebbe il valore della componente alla frequenza fondamentale della trasformata di Fourier di  $r(t)$ ?

# Esame di Comunicazioni Analogiche e Digitali

Appello del 07/02/2013

## Domanda 1

Un segnale passabasso  $x(t)$ , avente densità spettrale di potenza costante e pari a 1 W/Hz fino alla frequenza di 10 kHz e 0 altrove, entra nello schema in figura. I due modulatori AM del ramo superiore e inferiore hanno coefficiente di modulazione pari al valore massimo possibile e al 20% di tale valore, rispettivamente, mentre la portante ha ampiezza unitaria e frequenza 100 kHz.

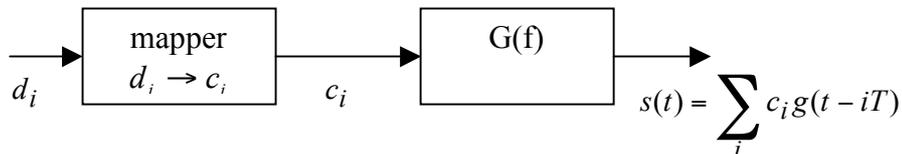


Assumendo che la fase dello spettro del segnale sia nulla, trovare l'espressione del segnale modulato  $y(t)$  e dire a quale modulazione corrisponde. Calcolare infine la potenza di  $y(t)$ .

[SUGGERIMENTO: si approssimi il minimo di  $x(t)$  con la posizione del primo minimo della funzione seno nella sua espressione]

## Domanda 2

Calcolare la densità spettrale di potenza, l'energia media per simbolo e la potenza media del segnale modulato il cui equivalente in banda base è rappresentato in figura.



$T$  è il tempo di simbolo, i simboli  $d_i$  appartengono all'alfabeto  $D = \{0,2\}$  di simboli indipendenti, equiprobabili. In uscita al blocco mapper si ha  $c_i = d_i + 2d_{i-1}$ .

## Domanda 3

Giustificare il fatto che il coefficiente  $\gamma$ , che caratterizza il comportamento di un modem analogico in presenza di rumore AWGN, nel caso della modulazione AM-SSB è pari a 1.

## Domanda 4

È dato il segnale  $s(t) = 2\text{rect}(\frac{t-3}{6}) \cdot 5\text{rect}(\frac{t-4}{2}) \cdot 3 \cdot \text{triang}(\frac{t-4}{2})$ , dove i valori sono espressi in volt ed i tempi in millisecondi. Disegnarlo e determinarne la trasformata di Fourier e l'energia.

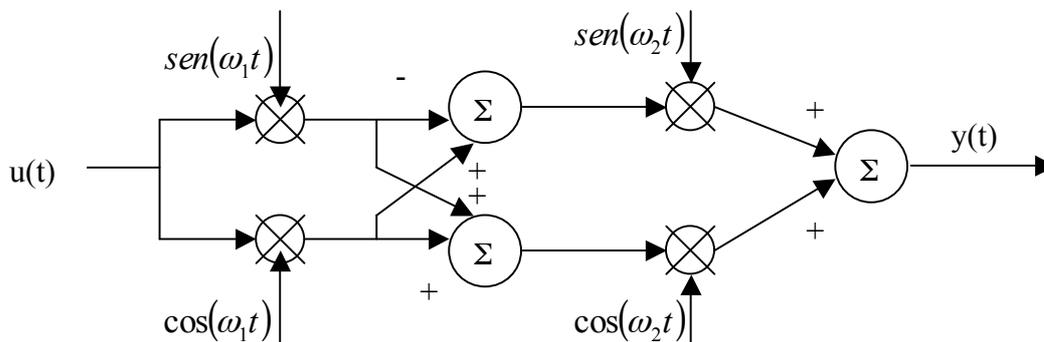
Se si replicasse infinite volte il tratto di  $s(t)$  compreso nell'intervallo  $0 < t < 6$  ottenendo così un segnale periodico  $r(t)$ , quale sarebbe il valore della componente alla frequenza fondamentale della trasformata di Fourier di  $r(t)$ ?

# Esame di Teoria dei Segnali e Comunicazioni Elettriche

Appello del 22/02/2013

## Domanda 1

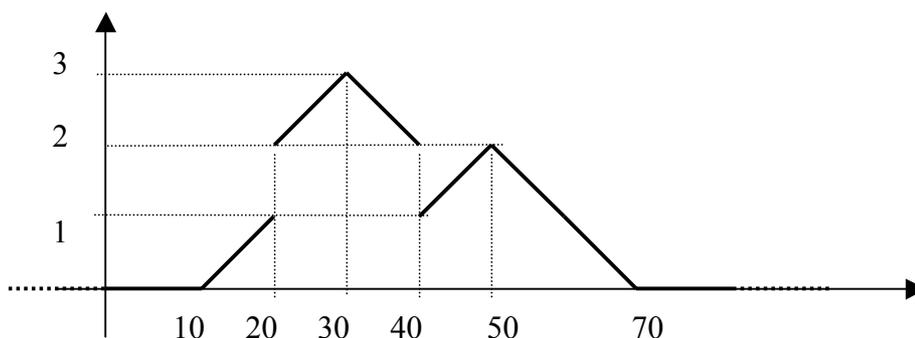
È dato il circuito in figura:



Lo spettro di  $u(t)$  è non nullo tra 0 e 10 kHz, mentre  $\omega_1 = 2 \cdot \pi \cdot 250$  kHz e  $\omega_2 = 2 \cdot \pi \cdot 3$  MHz. Si scriva innanzitutto l'espressione analitica di  $y(t)$  in funzione di  $u(t)$ , poi si calcoli con i dati forniti la banda occupata dal segnale  $y(t)$  e qual è la percentuale di sfruttamento dello spettro (quanta banda è effettivamente occupata rispetto alla distanza tra la minima e la massima frequenza di  $y(t)$ ).

## Domanda 2

È dato il segnale  $s(t)$  rappresentato nella figura sottostante, nella quale i tempi (sull'asse delle ascisse) sono espressi in microsecondi.



Scrivere la trasformata di Fourier del segnale  $s(t)$ . Calcolare l'energia del tratto di segnale compreso tra 0 e 40  $\mu$ s. Senza fare il relativo calcolo, si può stimare se l'energia del tratto restante (da 40  $\mu$ s in avanti) è superiore o inferiore a questa? Quanto vale il coefficiente  $a_0$  della serie di Fourier associata al segnale periodico  $s_p(t)$  che si ottiene replicando infinite volte la parte di  $s(t)$  compresa tra 0 ed 80  $\mu$ s?

## Domanda 3

Confrontare i principali pregi e difetti della modulazione DSBSC rispetto alla AM-DSB. Descrivere sommariamente un terzo tipo di modulazione che si può definire intermedio tra le due citate.

## Domanda 4

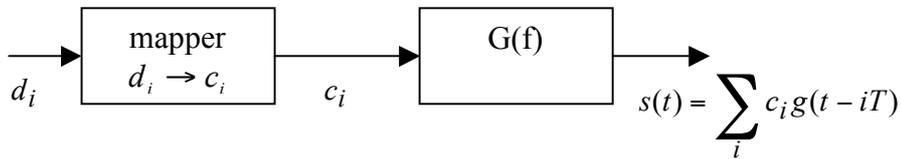
È data un'apparecchiatura in grado di simulare una variabile aleatoria  $X$  con funzione densità di probabilità costante in un determinato intervallo (compresi gli estremi) e nulla altrove. Gli estremi dell'intervallo sono forniti in ingresso all'apparecchiatura. Calcolare quali debbano essere tali estremi perché siano soddisfatte le seguenti condizioni: la probabilità di avere  $1 < X < 2$  Sia pari a 0.1,  $f(11)$  sia non nulla,  $f(1)$  sia nulla.

# Esame di Comunicazioni Analogiche e Digitali

Appello del 22/02/2013

## Domanda 1

Calcolare la densità spettrale di potenza, l'energia media per simbolo e la potenza media del segnale modulato il cui equivalente in banda base è rappresentato in figura.



$T$  è il tempo di simbolo, i simboli  $d_i$  appartengono all'alfabeto  $D = \{-1, 0\}$  di simboli indipendenti, equiprobabili. In uscita al blocco mapper si ha  $c_i = d_i + d_{i-2}$ .

## Domanda 2

Sono dati tre segnali  $s_1(t)$ ,  $s_2(t)$ ,  $s_3(t)$ , che hanno media nulla ed occupano le bande  $[0; 10 \text{ kHz}]$ ,  $[0; 15 \text{ kHz}]$ ,  $[0; 5 \text{ kHz}]$  rispettivamente. Il primo segnale,  $s_1(t)$ , viene elevato al quadrato e quindi utilizzato per modulare AM una portante posta a 800 kHz.  $s_2(t)$ , invece, è integrato nel tempo prima di modulare DSBSC una seconda portante posta a 915 kHz.  $s_3(t)$ , infine, è ritardato di 10 ms ed utilizzato per modulare FM a banda larga una terza portante collocata a 880 kHz. I tre segnali modulati sono tutti inviati sullo stesso canale avente per banda passante l'intervallo 750-950 kHz. Si supponga di voler impiegare per il terzo segnale modulato la banda più larga possibile, senza però disturbare i segnali adiacenti. Determinare il  $\Delta f$  di modulazione del terzo segnale, ed evidenziare quali intervalli di frequenze sul canale rimangono disponibili per eventuali altre trasmissioni in parallelo a quelle già menzionate, illustrando la situazione con un semplice schema.

## Domanda 3

Giustificare (con una dimostrazione che ne calcoli l'espressione) il fatto che per la modulazione FM il coefficiente  $\gamma$ , che caratterizza il comportamento di un modem analogico in presenza di rumore AWGN, possa essere maggiore di 1.

## Domanda 4

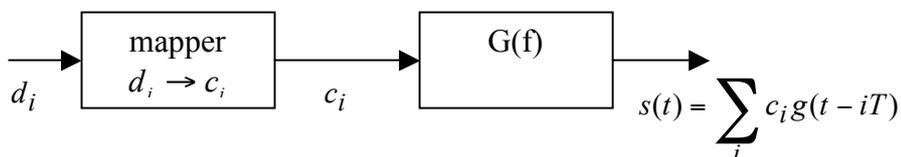
È data un'apparecchiatura in grado di simulare una variabile aleatoria  $X$  con funzione densità di probabilità costante in un determinato intervallo (compresi gli estremi) e nulla altrove. Gli estremi dell'intervallo sono forniti in ingresso all'apparecchiatura. Calcolare quali debbano essere tali estremi perché siano soddisfatte le seguenti condizioni: la probabilità di avere  $1 < X < 2$  sia pari a 0.1,  $f(1)$  sia non nulla,  $f(1)$  sia nulla.

# Esame di Comunicazioni Elettriche e elementi di teoria dell'Informazione

Appello del 22/02/2013

## Domanda 1

Calcolare la densità spettrale di potenza, l'energia media per simbolo e la potenza media del segnale modulato il cui equivalente in banda base è rappresentato in figura.



$T$  è il tempo di simbolo, i simboli  $d_i$  appartengono all'alfabeto  $D = \{-1, 0\}$  di simboli indipendenti, equiprobabili. In uscita al blocco mapper si ha  $c_i = d_i + d_{i-2}$ .

## Domanda 2

Sono dati tre segnali  $s_1(t)$ ,  $s_2(t)$ ,  $s_3(t)$ , che hanno media nulla ed occupano le bande  $[0; 10 \text{ kHz}]$ ,  $[0; 15 \text{ kHz}]$ ,  $[0; 5 \text{ kHz}]$  rispettivamente. Il primo segnale,  $s_1(t)$ , viene elevato al quadrato e quindi utilizzato per modulare AM una portante posta a 800 kHz.  $s_2(t)$ , invece, è integrato nel tempo prima di modulare DSBSC una seconda portante posta a 915 kHz.  $s_3(t)$ , infine, è ritardato di 10 ms ed utilizzato per modulare FM a banda larga una terza portante collocata a 880 kHz. I tre segnali modulati sono tutti inviati sullo stesso canale avente per banda passante l'intervallo 750-950 kHz. Si supponga di voler impiegare per il terzo segnale modulato la banda più larga possibile, senza però disturbare i segnali adiacenti. Determinare il  $\Delta f$  di modulazione del terzo segnale, ed evidenziare quali intervalli di frequenze sul canale rimangono disponibili per eventuali altre trasmissioni in parallelo a quelle già menzionate, illustrando la situazione con un semplice schema.

## Domanda 3

Introdurre e discutere il concetto di capacità di canale.

## Domanda 4

È data un'apparecchiatura in grado di simulare una variabile aleatoria  $X$  con funzione densità di probabilità costante in un determinato intervallo (compresi gli estremi) e nulla altrove. Gli estremi dell'intervallo sono forniti in ingresso all'apparecchiatura. Calcolare quali debbano essere tali estremi perché siano soddisfatte le seguenti condizioni: la probabilità di avere  $1 < X < 2$  Sia pari a 0.1,  $f(1)$  sia non nulla,  $f(1)$  sia nulla.

# Esame di Teoria dei Segnali e Comunicazioni Elettriche

## Esame di Comunicazioni Elettriche

Appello straordinario del 03/04/2013

### Domanda 1

Si supponga che il segnale  $s(t)$  abbia una densità spettrale di energia

$$G(f) = 4b^2 \operatorname{sinc}^2(fa) \cos^2(2\pi fa)$$

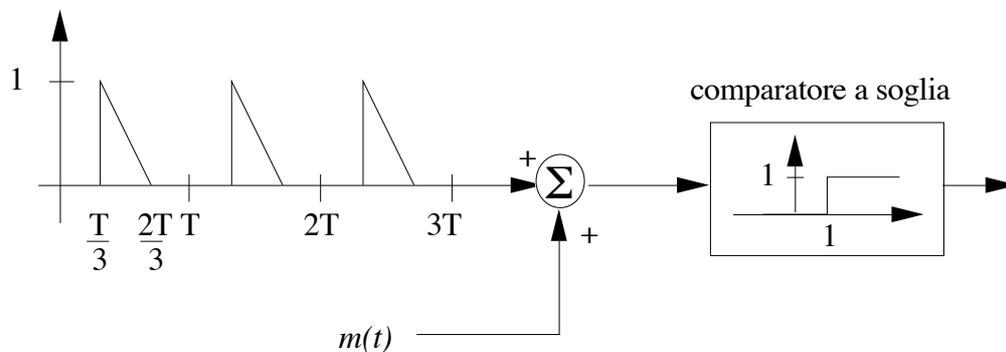
Calcolare la autocorrelazione di  $s(t)$ . Inoltre, sapendo che la fase della trasformata di  $s(t)$  è ovunque nulla, sfruttare questo risultato per ricavare l'espressione originale del segnale  $s(t)$ .

### Domanda 2

La modulazione FM con il metodo indiretto (modulatore di Armstrong): schema a blocchi, funzionamento, limitazioni e problemi.

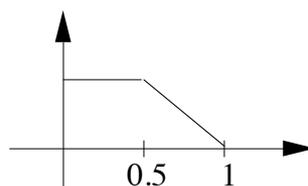
### Domanda 3

Dimostrare graficamente che lo schema in figura permette di ottenere, a partire dal segnale  $m(t)$  (che può assumere valori compresi tra 0 e 1 ed ha banda B) una sequenza di impulsi con durata proporzionale all'ampiezza del segnale negli istanti considerati. Dire qual è il valore massimo di T per consentire di ricostruire il segnale  $m(t)$ .



### Domanda 4

Nel caso in cui il segnale  $m(t)$  dell'esercizio precedente si possa rappresentare mediante una variabile casuale con funzione densità di probabilità come in figura, si calcoli il valor medio e la varianza della durata degli impulsi, nonché il valor medio della loro energia.



# Esame di Comunicazioni Analogiche e Digitali

Appello straordinario del 03/04/2013

## Domanda 1

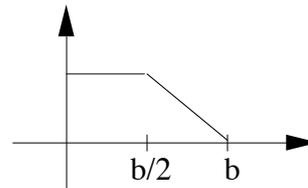
Descrivere il ricevitore e calcolare la probabilità d'errore per una trasmissione binaria su canale AWGN per la quale l'involuppo complesso è  $s(t) = \sum_i (c_i - jc_i)g(t - iT)$ , con  $c_i \in \{1, -1\}$  e  $g(t)$

filtro a radice di coseno rialzato. Confrontare il risultato ottenuto con la probabilità d'errore, sempre su AWGN, di un segnale antipodale modulato BPSK.

## Domanda 2

Sia dato un segnale che ha, istante per istante, ampiezza rappresentabile da una variabile casuale  $X$  con funzione densità di probabilità come in figura.

Si assuma che il segnale sia modulato PCM con 3 bit e che la quantizzazione avvenga suddividendo l'intervallo di possibili valori del segnale in sottointervalli tutti di dimensioni uguali, rappresentati ognuno dal proprio valor medio. Determinare:



- gli estremi e il livello rappresentativo di ogni intervallo;
- la codifica PCM associata ad ogni intervallo;
- la probabilità di avere ciascuna codifica;
- supponendo che un bit = 1 sia rappresentato da un impulso alto 1 V e di durata 1  $\mu$ S, e il bit = 0 da un impulso alto -1 V e di stessa durata, calcolare la potenza trasmessa con la codifica rappresentante un qualunque livello.

## Domanda 3

La modulazione FM con il metodo indiretto (modulatore di Armstrong): schema a blocchi, funzionamento, limitazioni e problemi.

## Domanda 4

Data una sequenza di simboli  $\pm 1$ , rappresentati da impulsi rettangolari di ampiezza  $\pm 1$  e lunghezza  $\tau$  che si susseguono con periodicità  $T$ . La probabilità di avere un simbolo pari a +1 è 0.75, e la probabilità di avere un simbolo pari a -1 è 0.25. Calcolare

- l'energia di ogni impulso;
- l'energia media del segnale trasmesso.

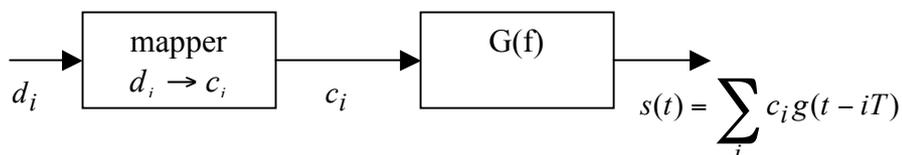
Supponendo che al segnale si aggiunga un rumore indipendente rappresentabile come una variabile casuale  $X$  con funzione di densità costante nell'intervallo  $[-1, 1]$ , calcolare l'energia del segnale assieme al rumore.

# Esame di Comunicazioni Elettriche e elementi di teoria dell'Informazione

Appello straordinario del 03/04/2013

## Domanda 1

Calcolare la densità spettrale di potenza, l'energia media per simbolo e la potenza media del segnale modulato il cui equivalente in banda base è rappresentato in figura.

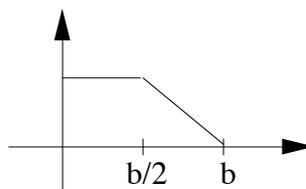


$T$  è il tempo di simbolo, i simboli  $d_i$  appartengono all'alfabeto  $D = \{-1, 0\}$  di simboli indipendenti, equiprobabili. In uscita al blocco mapper si ha  $c_i = d_i + d_{i-2}$ .

## Domanda 2

Sia dato un segnale che ha, istante per istante, ampiezza rappresentabile da una variabile casuale  $X$  con funzione densità di probabilità come in figura.

Si assuma che il segnale sia modulato PCM con 3 bit e che la quantizzazione avvenga suddividendo l'intervallo di possibili valori del segnale in sottointervalli tutti di dimensioni uguali, rappresentati ognuno dal proprio valor medio. Determinare:



- gli estremi e il livello rappresentativo di ogni intervallo;
- la codifica PCM associata ad ogni intervallo;
- la probabilità di avere ciascuna codifica;
- supponendo che un bit = 1 sia rappresentato da un impulso alto 1 V e di durata 1  $\mu$ S, e il bit = 0 da un impulso alto -1 V e di stessa durata, calcolare la potenza trasmessa con la codifica rappresentante un qualunque livello.

## Domanda 3

Introdurre e discutere il concetto di capacità di canale.

## Domanda 4

È data un'apparecchiatura in grado di simulare una variabile aleatoria  $X$  con funzione densità di probabilità costante in un determinato intervallo (compresi gli estremi) e nulla altrove. Gli estremi dell'intervallo sono forniti in ingresso all'apparecchiatura. Calcolare quali debbano essere tali estremi perché siano soddisfatte le seguenti condizioni: la probabilità di avere  $1 < X < 2$  Sia pari a 0.1,  $f(11)$  sia non nulla,  $f(1)$  sia nulla.

# Esame di Teoria dei Segnali e Comunicazioni Elettriche

## Esame di Teoria dei Segnali

### Esame di Comunicazioni Elettriche (VO)

Appello del 10/06/2013

#### **Domanda 1**

Calcolare la autocorrelazione di un segnale avente spettro costante nella banda 0 – 1 kHz e 2 – 3 kHz. Si assuma che nella 2° banda lo spettro abbia valore pari alla metà di quello che vale nella 1° banda.

#### **Domanda 2**

Si consideri un segnale AM-DSB. Disegnare lo schema a blocchi di un modulatore bilanciato e di un demodulatore coerente e spiegarne il funzionamento, eventuali difetti e/o vantaggi.

#### **Domanda 3**

Si assuma di avere un segnale con spettro piatto (alto  $K$ ) nella banda  $(0, B)$ , a cui è sovrapposto un disturbo nella forma di un segnale sinusoidale alla frequenza  $B/2$ , con ampiezza  $A \gg K$ .

Si supponga di mettere il segnale e il disturbo in ingresso ad un demodulatore AM coerente, il cui oscillatore locale possa avere una frequenza variabile tra 0 e  $B$ . L'uscita di tale demodulatore entra in un blocco che ne estrae solo la componente in continua.

Si faccia il grafico della potenza di questa componente al variare della frequenza dell'oscillatore locale e se ne deduca un metodo per separare un segnale da un disturbo sinusoidale in banda.

#### **Domanda 4**

Siano due variabili casuali  $X$  e  $Y$ . Si consideri che  $X$  abbia una funzione densità di probabilità costante nell'intervallo  $[-a, a]$ , e  $Y = X^2$ . Qual la funzione densità di probabilità di  $Y$ ?  $X$  e  $Y$  sono indipendenti?

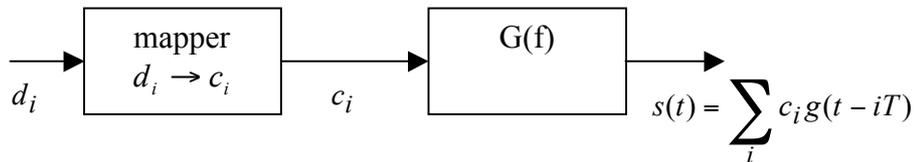
# Esame di Comunicazioni Elettriche (NO)

## Esame di Comunicazioni Analogiche e Digitali

Appello del 10/06/2013

### Domanda 1

Calcolare la densità spettrale di potenza, l'energia media per simbolo e la potenza media del segnale modulato il cui equivalente in banda base è rappresentato in figura 1.



$T$  è il tempo di simbolo, i simboli  $d_i$  appartengono all'alfabeto  $D = \{1,0\}$  di simboli indipendenti, equiprobabili. In uscita al blocco mapper si ha  $c_i = d_i - d_{i-1}$ .

Come al solito, la risposta in frequenza del filtro  $g(t)$  è di tipo a radice di coseno rialzato.

### Domanda 2

Sia dato il segnale  $s(t)$  ottenuto dal prodotto della coppia di segnali  $a(t)$  e  $b(t)$  sotto riportati. Supponendo di trasmettere  $s(t)$  mediante una modulazione AM, calcolare il valore massimo dell'indice di modulazione, la potenza del segnale modulante e si imponga che quella del segnale modulato non superi 100W. Approssimando poi la banda del segnale modulante all'inverso del suo periodo, calcolare la banda del segnale AM.

Assumendo infine che lo stesso segnale modulante sia modulato FM con lo stesso  $\gamma$  della modulazione AM, si calcoli la banda occupata **in più** dal segnale FM rispetto al precedente segnale AM.

$$a(t) = 0.5 \cos(2\pi f_1 t)$$

$$b(t) = 1 - 3 \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{rect}\left(\frac{2(t - nT_1)}{T_1}\right)$$

### Domanda 3

Si consideri un segnale AM-DSB. Disegnare lo schema a blocchi di un modulatore bilanciato e di un demodulatore coerente e spiegarne il funzionamento, eventuali difetti e/o vantaggi.

### Domanda 4

Si assuma di avere un segnale con spettro piatto (alto K) nella banda  $(0, B)$ , a cui è sovrapposto un disturbo nella forma di un segnale sinusoidale alla frequenza  $B/2$ , con ampiezza  $A \gg K$ .

Si supponga di mettere il segnale e il disturbo in ingresso ad un demodulatore AM coerente, il cui oscillatore locale possa avere una frequenza variabile tra 0 e B. L'uscita di tale demodulatore entra in un blocco che ne estrae solo la componente in continua.

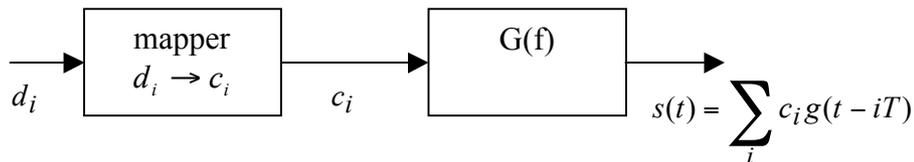
Si faccia il grafico della potenza di questa componente al variare della frequenza dell'oscillatore locale e se ne deduca un metodo per separare un segnale da un disturbo sinusoidale in banda.

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

Appello del 10/06/2013

## Domanda 1

Calcolare la densità spettrale di potenza, l'energia media per simbolo e la potenza media del segnale modulato il cui equivalente in banda base è rappresentato in figura 1.



$T$  è il tempo di simbolo, i simboli  $d_i$  appartengono all'alfabeto  $D = \{1,0\}$  di simboli indipendenti, equiprobabili. In uscita al blocco mapper si ha  $c_i = d_i - d_{i-1}$ .

Come al solito, la risposta in frequenza del filtro  $g(t)$  è di tipo a radice di coseno rialzato.

## Domanda 2

Sia dato il segnale  $s(t)$  ottenuto dal prodotto della coppia di segnali  $a(t)$  e  $b(t)$  sotto riportati. Supponendo di trasmettere  $s(t)$  mediante una modulazione AM, calcolare il valore massimo dell'indice di modulazione, la potenza del segnale modulante e si imponga che quella del segnale modulato non superi 100W. Approssimando poi la banda del segnale modulante all'inverso del suo periodo, calcolare la banda del segnale AM.

Assumendo infine che lo stesso segnale modulante sia modulato FM con lo stesso  $\gamma$  della modulazione AM, si calcoli la banda occupata **in più** dal segnale FM rispetto al precedente segnale AM.

$$a(t) = 0.5 \cos(2\pi f_1 t)$$
$$b(t) = 1 - 3 \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{rect}\left(\frac{2(t - nT_1)}{T_1}\right)$$

## Domanda 3

Si consideri un segnale AM-DSB. Disegnare lo schema a blocchi di un modulatore bilanciato e di un demodulatore coerente e spiegarne il funzionamento, eventuali difetti e/o vantaggi.

## Domanda 4

Si consideri un sistema di telecomunicazioni composto da:

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

## Esame di Teoria dei Segnali

Appello del 19/07/2013

### Domanda 1

Calcolare la funzione di trasferimento alla frequenza  $f = \omega/2\pi$  di un sistema avente in ingresso un segnale  $A \cos(\omega t)$  e in uscita un segnale  $B \cos(\omega t + \phi)$ . Possiamo dire qualcosa sulla funzione di trasferimento alle altre frequenze?

Suggerire un metodo per estrarre la funzione di trasferimento completa del sistema in questione facendo opportunamente cambiare il segnale in ingresso.

### Domanda 2

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

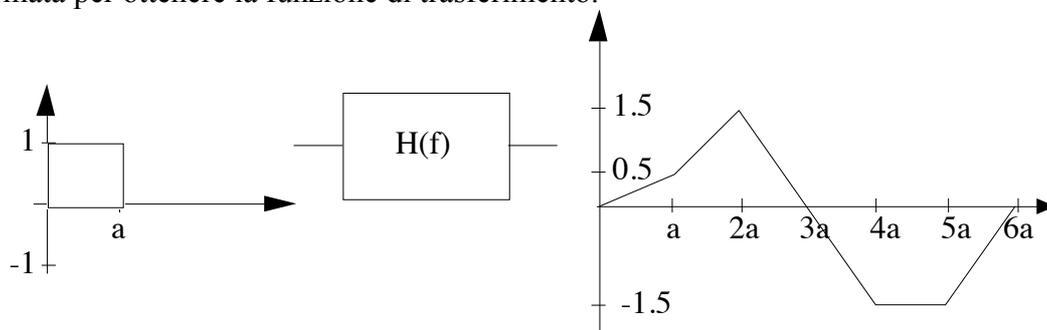
### Domanda 3

Sia dato un segnale  $s(t)$  in ingresso ad un modulatore FM la cui portante risulta pari a  $A \cos(\omega_0 t + \alpha)$ . Cosa si ottiene in uscita dal demodulatore, in assenza di rumore ma in presenza di un  $\alpha \neq 0$  e in particolare

- 1) costante;
- 2) pari a  $\sin(t)$ ?

### Domanda 4

Si consideri il sistema in figura e se ne identifichi dapprima la risposta impulsiva e poi se ne calcoli la trasformata per ottenere la funzione di trasferimento.



# Esame di Comunicazioni Elettriche (NO)

## Esame di Comunicazioni Analogiche e Digitali

Appello del 10/06/2013

### Domanda 1

Si consideri un segnale con banda di 30 kHz, che entra in un modulatore PCM a 256 livelli (8 bit) da cui esce una sequenza di bit codificati mediante un valore 1V (bit di valore 0) o  $-1$  V (bit di valore 1). Dopo aver indicato quale sia il valore massimo del tempo di campionamento e del tempo di bit, si assuma che al segnale sia aggiunto un rumore con funzione densità di probabilità costante nell'intervallo  $[-A, A]$  V. Supponendo che in ricezione si campioni il bit esattamente al centro del tempo di bit e si riconosca il bit 0 o 1 nel caso in cui il campione sia positivo o negativo rispettivamente, quale deve essere il valore di  $A$  per avere una probabilità di errore in ricezione pari a 1 centesimo?

### Domanda 2

Un segnale FM a banda stretta in cui segnale modulante è rappresentabile come un processo ergodico pari a  $B \cos(\omega_1 t)$  con ampiezza  $A$  variabile, da ciclo a ciclo. La variabile casuale  $B$  ha funzione densità di probabilità costante nell'intervallo  $[0, 2]$ .

Qual è la banda media occupata dal segnale FM?

Se il segnale viene demodulato mediante un demodulatore FM con filtro passabanda iniziale pari a questo valor medio, qual è la percentuale di tempo per cui in uscita dal demodulatore non si avrà nulla?

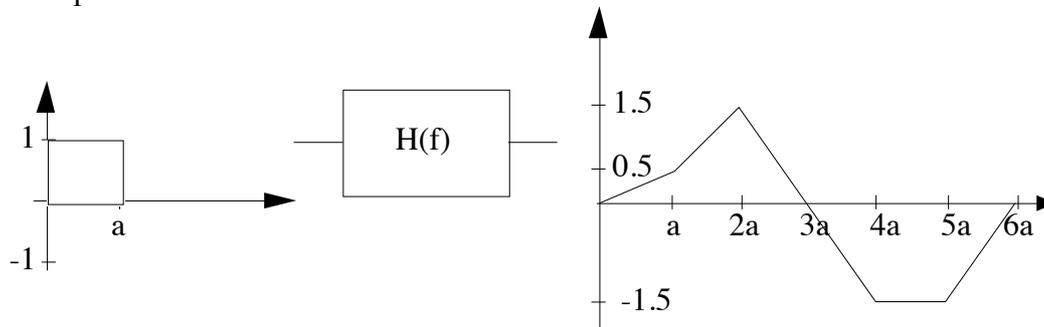
Si sa suggerire un rimedio a questo problema?

### Domanda 3

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

### Domanda 4

Si consideri il sistema in figura e se ne identifica dapprima la risposta impulsiva e poi se ne calcoli la trasformata per ottenere la funzione di trasferimento.



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

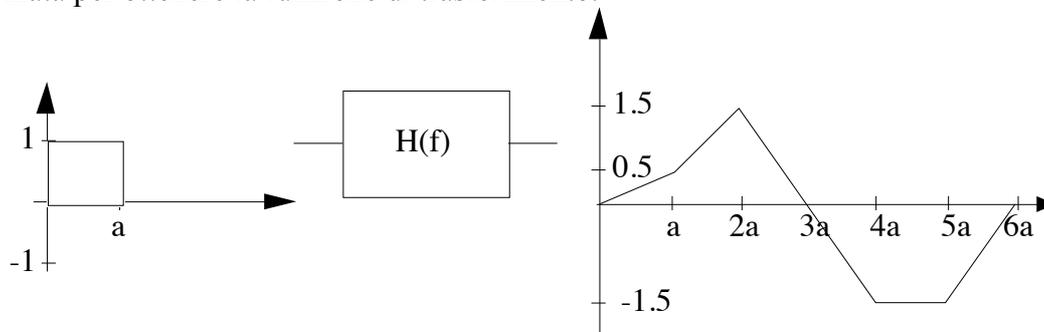
Appello del 19/07/2013

## Domanda 1

Si consideri un segnale con banda di 30 kHz, che entra in un modulatore PCM a 256 livelli (8 bit) da cui esce una sequenza di bit codificati mediante un valore 1V (bit di valore 0) o  $-1$  V (bit di valore 1). Dopo aver indicato quale sia il valore massimo del tempo di campionamento e del tempo di bit, si assuma che al segnale sia aggiunto un rumore con funzione densità di probabilità costante nell'intervallo  $[-A, A]$  V. Supponendo che in ricezione si campioni il bit esattamente al centro del tempo di bit e si riconosca il bit 0 o 1 nel caso in cui il campione sia positivo o negativo rispettivamente, quale deve essere il valore di  $A$  per avere una probabilità di errore in ricezione pari a 1 centesimo?

## Domanda 2

Si consideri il sistema in figura e se ne identifichi dapprima la risposta impulsiva e poi se ne calcoli la trasformata per ottenere la funzione di trasferimento.



## 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  $\{-2, -1, 0, 1\}$ , equiprobabili;
2. un sommatore con memoria che somma al simbolo attuale quello precedente di due 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".

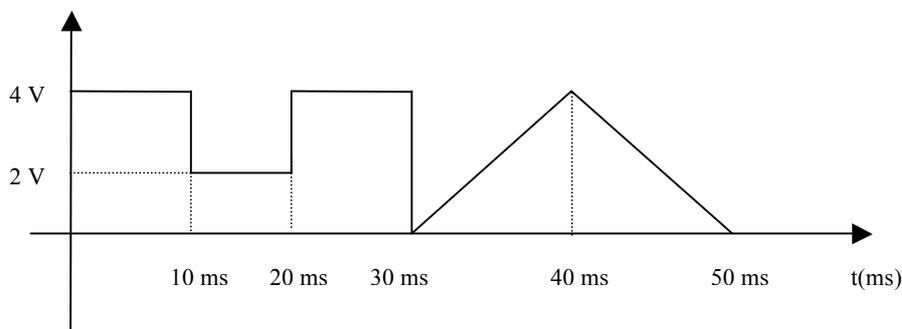
# Esame di Teoria dei Segnali e Comunicazioni Elettriche

## Esame di Comunicazioni Elettriche (V.O.)

Appello del 10/09/2013

### Domanda 1

Dato il segnale  $s(t)$  mostrato in figura, periodico di periodo  $T=50$  ms:



Calcolarne la trasformata di Fourier e la potenza di segnale. Supponendo di avere un secondo segnale periodico  $w(t)$ , con lo stesso periodo di  $s(t)$  ed uguale a  $s(t)$  solo tra 0 e 30 ms, costante nel resto del periodo, determinare quale valore dovrebbe assumere  $w(t)$  tra 30 e 50 ms per avere la componente di ordine 0 nella trasformata di Fourier pari all'analogica componente della trasformata di  $s(t)$ .

### Domanda 2

Si descriva la modulazione AM a singola banda laterale, indicando e spiegando i due modi per costruire il segnale modulato presentati a lezione e caratterizzandone il comportamento in presenza di rumore AWGN

### Domanda 3

Sono dati quattro segnali, indicati con  $s_1(t)$ ,  $s_2(t)$ ,  $s_3(t)$ ,  $s_4(t)$ . I loro spettri occupano gli intervalli di frequenze, espresse in kHz, pari a  $[0; 8]$ ,  $[6; 16]$ ,  $[0; 7]$ ,  $[0; 2]$  rispettivamente. Si ha a disposizione un canale equivalente ad passa alto ideale con frequenza di taglio 1.5 MHz, che introduce in banda un disturbo consistente in un rumore bianco con densità spettrale bilatera di potenza pari a  $\frac{N_0}{2}=10$   $\mu\text{W/Hz}$ . Si desidera inviare i quattro segnali sul canale dopo averli modulati rispettivamente: VSB con 25% di banda inferiore residua, DSBSC, FM a banda stretta, FM a banda larga. Quest'ultimo segnale modulato va inserito nel vuoto lasciato dallo spettro di  $s_2(t)$  modulato. Determinare le frequenze delle portanti da assegnare ai segnali modulati in modo da rispettare i seguenti vincoli:

- la massima frequenza occupata sia la più bassa possibile;
- ogni coppia di spettri sia distanziata da una banda di guardia di almeno 1 kHz;
- nessuno degli spettri sia tagliato durante la trasmissione.

Calcolare poi la banda complessivamente occupata nel canale (incluse le bande di guardia) e la potenza di rumore raccolta al ricevitore a valle di un filtro che lasci passare solo la parte informativa del segnale presente sul canale alla ricezione.

### Domanda 4

È dato un esperimento ripetibile il cui risultato è una variabile casuale continua  $X$  avente per distribuzione cumulativa di probabilità una funzione continua con le seguenti caratteristiche: è nulla a sinistra del valore 0; vale 1 a destra del valore 1; ha derivata nulla in 0; ha andamento parabolico crescente nell'intervallo tra 0 ed 1.

Si tracci la funzione, se ne ricavi la corrispondente densità di probabilità e si calcoli la probabilità che una seconda variabile casuale  $Y=2X+3$  assuma un valore compreso tra 3 e 4.

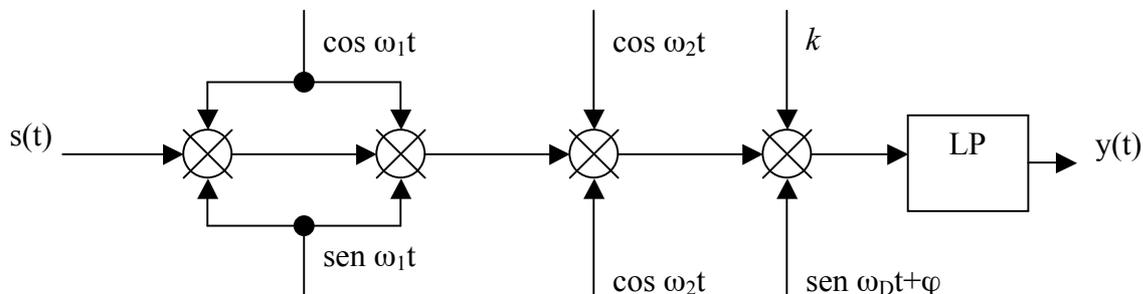
# Esame di Comunicazioni Elettriche (NO)

## Esame di Comunicazioni Analogiche e Digitali

Appello del 10/09/2013

### Domanda 1

È dato il seguente schema a blocchi, in cui  $\omega_1=70$  krad/s,  $\omega_2= 140$  krad/s, e la massima pulsazione nello spettro di  $s(t)$ , cioè  $2\pi B$ , è trascurabile rispetto ad entrambi questi valori:



Determinare la pulsazione  $\omega_D$ , la fase  $\varphi$  e la costante numerica positiva  $k$  in modo che  $y(t)$  sia uguale a  $s(t)$  per ogni  $t$ . Tenendo poi fisso  $k$  ed  $\omega_D$ , scegliere un nuovo valore della fase  $\varphi$  in modo che la potenza media di  $y(t)$  risulti dimezzata rispetto alla potenza media di  $s(t)$ . Infine, fissati tutti i valori dei parametri, dire entro quale intervallo la frequenza di taglio del filtro LP può variare senza che  $y(t)$  cessi di essere copia indistorta di  $s(t)$ .

### Domanda 2

Sono dati quattro segnali, indicati con  $s_1(t)$ ,  $s_2(t)$ ,  $s_3(t)$ ,  $s_4(t)$ . I loro spettri occupano gli intervalli di frequenze, espresse in kHz, pari a  $[0; 8]$ ,  $[6; 16]$ ,  $[0; 7]$ ,  $[0; 2]$  rispettivamente. Si ha a disposizione un canale equivalente ad passa alto ideale con frequenza di taglio 1.5 MHz, che introduce in banda un disturbo consistente in un rumore bianco con densità spettrale bilatera di potenza pari a  $\frac{N_0}{2}=10$   $\mu\text{W/Hz}$ . Si desidera inviare i quattro segnali sul canale dopo averli modulati rispettivamente: VSB con 25% di banda inferiore residua, DSBSC, FM a banda stretta, FM a banda larga. Quest'ultimo segnale modulato va inserito nel vuoto lasciato dallo spettro di  $s_2(t)$  modulato. Determinare le frequenze delle portanti da assegnare ai segnali modulati in modo da rispettare i seguenti vincoli:

- la massima frequenza occupata sia la più bassa possibile;
- ogni coppia di spettri sia distanziata da una banda di guardia di almeno 1 kHz;
- nessuno degli spettri sia tagliato durante la trasmissione.

Calcolare poi la banda complessivamente occupata nel canale (incluse le bande di guardia) e la potenza di rumore raccolta al ricevitore a valle di un filtro che lasci passare solo la parte informativa del segnale presente sul canale alla ricezione.

### Domanda 3

Si descriva la modulazione AM a singola banda laterale, indicando e spiegando i due modi per costruire il segnale modulato presentati a lezione e caratterizzandone il comportamento in presenza di rumore AWGN

### Domanda 4

Sia dato un modulatore BPSK. Nella trasmissione lungo il canale viene aggiunto del rumore AWGN, ma viene anche effettuato una traslazione rigida della costellazione di  $0.5+j0.2$  (valore complesso!). Calcolare la probabilità di errore dei simboli ricevuti.

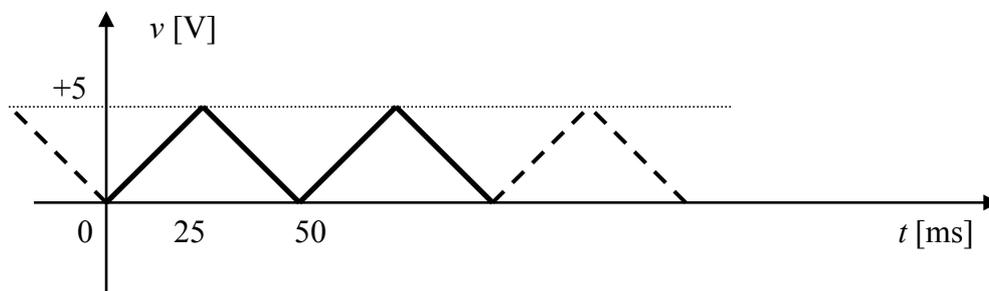
# Esame di Teoria dei Segnali e Comunicazioni Elettriche

## Esame di Comunicazioni Elettriche (V.O.)

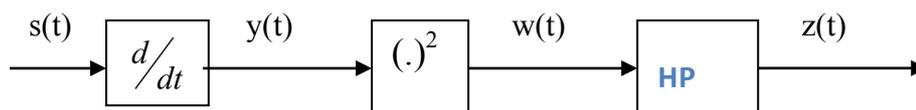
Appello del 25/09/2013

### Domanda 1

È dato il segnale periodico triangolare  $s(t)$  mostrato nel grafico sottostante, nel quale i tempi sono espressi in millisecondi e le tensioni in volt:



Il segnale  $s(t)$  viene immesso in un blocco derivatore rispetto al tempo, ed il risultato  $y(t)$  è immesso in un secondo blocco il quale effettua l'elevamento al quadrato, restituendo  $w(t)$ . Quest'ultimo segnale, infine, è fatto passare attraverso un filtro passa-alto ideale (HP), con frequenza di taglio  $f_T=100$  Hz, che restituisce  $z(t)$ .



Scrivere l'espressione dei coefficienti  $c_n$  delle serie di Fourier associate ai segnali  $y(t)$  e  $w(t)$ . Tracciare la forma d'onda in uscita dal filtro passa-alto e calcolare la sua potenza.

### Domanda 2

Si descriva il funzionamento del demodulatore FM e il suo comportamento rispetto al rumore AWGN.

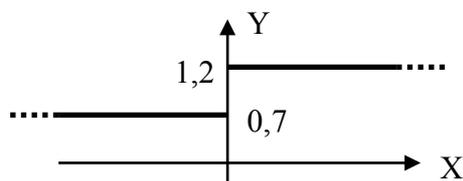
### Domanda 3

Dato un segnale modulante  $s(t)$  avente spettro di potenza non nulla solo nella gamma di frequenze comprese tra 0 e 10 kHz, calcolare il valore di  $\Delta f$  da assegnare ad una modulazione FM di  $s(t)$  su una portante ad 1 MHz in modo che non vi sia interferenza con nessuno degli spettri di altri due segnali modulati rispettivamente AM-SSB-LB e AM-DSB da  $s(t)$  su portanti a 1050 kHz ed a 900 kHz.

### Domanda 4

È data una variabile casuale  $X$  la cui funzione densità di probabilità  $f_X(x)$  ha le seguenti caratteristiche: è nulla al di fuori dell'intervallo  $[-1; +1]$ ; nell'intervallo  $[-1; +1]$  ha andamento linearmente crescente da zero ad un massimo.

Determinare esattamente la funzione  $f_X(x)$ , tracciare l'andamento della corrispondente  $F_X(x)$ , ed infine tracciare la  $f_Y(y)$  relativa alla variabile casuale  $Y$  che si ottiene dalla  $X$  attraverso la trasformazione descritta dalla seguente funzione:



# Esame di Comunicazioni Elettriche (NO)

## Esame di Comunicazioni Analogiche e Digitali

Appello del 25/09/2013

### **Domanda 1**

È dato un sistema asincrono di trasmissione di cifre binarie, nel quale le cifre 0 ed 1 si presentano mediamente con probabilità di 0.2 e 0.8, rispettivamente. La cifra 0 è rappresentata da un impulso di durata 10 millisecondi e di altezza  $+1V$ , la cifra 1 è rappresentata da un impulso di durata 5 millisecondi e di altezza  $-1V$ . Alla ricezione, il riconoscimento della cifra binaria è effettuato campionando il valore della tensione sul canale di trasmissione ad 1 millisecondo dall'inizio dell'impulso; se il valore campionato è positivo, si assume ricevuta una cifra 0, se è invece negativo, una cifra 1.

Il canale di trasmissione immette un disturbo in tensione modellizzabile in ogni istante come una variabile casuale il cui valore è espresso in V e la cui funzione densità di probabilità costante nell'intervallo  $[-2, +3]$ . Calcolare la probabilità di errore alla ricezione.

### **Domanda 2**

Si descriva il funzionamento del demodulatore FM e il suo comportamento rispetto al rumore AWGN.

### **Domanda 3**

Dato un segnale modulante  $s(t)$  avente spettro di potenza non nulla solo nella gamma di frequenze comprese tra 0 e 10 kHz, calcolare il valore di  $\Delta f$  da assegnare ad una modulazione FM di  $s(t)$  su una portante ad 1 MHz in modo che non vi sia interferenza con nessuno degli spettri di altri due segnali modulati rispettivamente AM-SSB-LB e AM-DSB da  $s(t)$  su portanti a 1050 kHz ed a 900 kHz.

### **Domanda 4**

Si consideri un sistema che trasmette i seguenti quattro simboli:  $2d$ ,  $2d+2j$ ,  $2j$ , 0. Dopo aver disegnato la costellazione, si trovi a quale costellazione nota ci si può riportare per calcolare la probabilità d'errore di un segnale digitale di questo tipo in presenza di rumore AWGN e si calcoli tale probabilità di errore in funzione di  $d$ . Dopo aver poi calcolato l'energia media di simbolo (assumendo che i simboli siano tutti equiprobabili), si riscriva il BER (NON la probabilità di errore) nel caso di una codifica di Gray in funzione dell'energia media dei simboli e si discuta perché tale valore è diverso da quello della costellazione nota indicata più sopra.

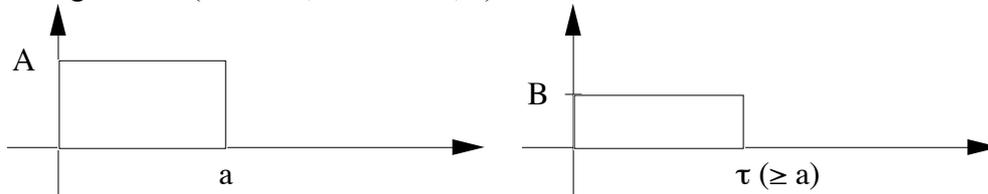
# Esame di Teoria dei Segnali e Comunicazioni Elettriche

## Esame di Comunicazioni Elettriche (VO)

Appello del 02/12/2013

### 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 descriva il comportamento in presenza del rumore della modulazione AM a singola banda laterale.

### Domanda 3

Si assuma un segnale con spettro triangolare nella banda da  $-5$  a  $5$  MHz, con valore massimo di tale spettro pari a 1. Calcolare:

- il tempo di campionamento massimo per questo segnale;
- il tempo di campionamento minimo;
- la banda richiesta per trasmetterlo mediante una modulazione PCM a 7 bit;
- la sua energia;
- il massimo indice di modulazione permesso se lo si trasmette mediante una modulazione AM.

### Domanda 4

Si supponga di avere un segnale  $v(t)=1+s(t)$  ove  $s(t)$  è un'onda quadra con duty cycle 0.8 e ampiezza 2 a cui si somma una variabile casuale  $X$  la cui funzione densità di probabilità è costante nell'intervallo  $[-a, a]$  ( $a$  è un parametro da determinarsi).

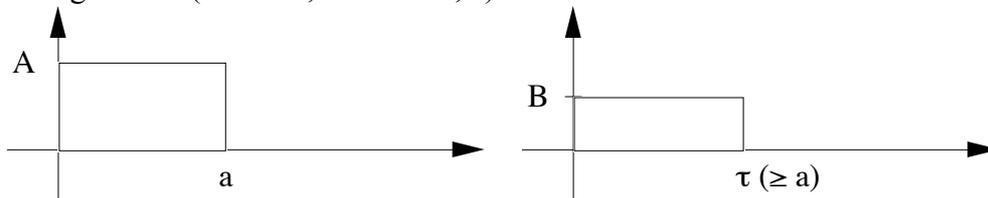
Calcolare la varianza che è richiesta a  $X$  perché la probabilità che il segnale più il rumore sia minore di zero sia uguale a 0.25.

# Esame di Comunicazioni Analogiche e Digitali

Appello del 02/12/2013

## 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 assuma un segnale triangolare di durata  $2.3 \cdot 10^{-3}$  sec. e ampiezza -10 in ingresso ad un modulatore AM a doppia banda laterale. Calcolare:

- la banda del segnale modulato;
- il valore massimo dell'indice di modulazione;
- la potenza del segnale modulato, supponendo che l'ampiezza della modulante sia pari a 8;
- la frequenza di campionamento minima per il segnale **modulato**.

**N.B.:** Dato che il segnale modulante ha banda idealmente infinita, si assuma come sua frequenza massima quella per cui la sua trasformata si annulla per la prima volta.

## Domanda 3

Si descriva il comportamento in presenza del rumore della modulazione AM a singola banda laterale.

## Domanda 4

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:

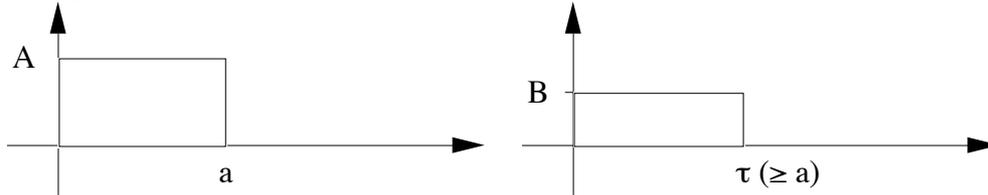
- la probabilità di ricevere un bit sbagliato;
- la probabilità che il valore (in bit) della parola ricevuta differisca di più di 2 bit dal valore (in bit) della parola trasmessa;
- la probabilità che il valore (in bit) della parola ricevuta differisca di meno di 3 bit dal valore (in bit) della parola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

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

Appello del 02/12/2013

## 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 bit) della parola ricevuta differisca di più di 2 bit dal valore (in bit) della parola trasmessa;
- la probabilità che il valore (in bit) della parola ricevuta differisca di meno di 3 bit dal valore (in bit) 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".