**Esercizio 1.** Siano dati 10 segnali musicali $x_1(t), x_2(t), \ldots, x_{10}(t)$ aventi frequenza massima $W = 20$ kHz. Si vogliono trasmettere tali segnali mediante un sistema di trasmissione digitale; a tal fine, si usano le tecniche PCM, TDM e PAM. Sono date le seguenti specifiche:

- ciascun segnale $x_i(t)$ ($i = 1, 2, \ldots, 10$) viene campionato con banda di guardia pari al 10% della sua frequenza massima;
- ciascun segnale $x_i(t)$ ($i = 1, 2, \ldots, 10$) è normalizzato nell'intervallo $[-3, 3]$;
- l'errore massimo di quantizzazione ammesso è $10^{-4}$;
- il canale di trasmissione ha funzione di trasferimento costante nella banda di trasmissione, ha fase nulla ed introduce un'attenuazione in ampiezza $L = 20$ dB;
- i sistemi PCM e PAM adottati sono entrambi binari.

Si risolvano i seguenti quesiti.

(a) Determinare il minimo numero di bit necessari a codificare ciascun campione e la minima banda necessaria ad effettuare la trasmissione.

(b) Sia $r_{bu}$ la *bit-rate* in uscita dal multiplexer TDM; la forma d'onda

$$g(t) = 2\,\mathrm{sinc}^2(r_{bu}\, t)\cos(2\pi r_{bu}\, t)$$

al campionatore del ricevitore PAM permette di evitare ISI? Si motivi opportunamente la risposta ed, in caso affermativo, si calcoli anche la corrispondente banda minima di trasmissione, confrontando il risultato con quanto ottenuto al punto (a).

(c) Determinare la funzione di trasferimento del filtro in trasmissione, assumendo che il filtro di ricezione sia un LPF ideale (guadagno unitario e fase nulla). Determinare inoltre la frequenza di taglio del filtro di ricezione.

a) $E_k \le \frac{\Delta}{2} \le 10^{-4}$ $\qquad \frac{6\,3}{2q} \le 10^{-4} \qquad q \ge 3 \cdot 10^4 \implies q = 30'000$

$\Delta = \frac{\text{dinamica}}{q}$

$n \le \log_2 q \qquad n \le \log_2 30'000 \qquad n \le 14{,}8$ ma $n \in \mathbb{N} \implies \boxed{n_{min} = 15 \text{ bit/campione}}$

$r_b = n \cdot f_c$

↑ bit-rate in uscita dal codificatore PCM

$f_c = 2W + B_g = 2W + 0{,}1W = 42$ KHz

$r_{bu} = N \cdot r_b = N n f_c$

↑ bit-rate in uscita dal multiplexer TDM

$B_T \ge \frac{r_{bu}}{2} = 5 r_b = 5 \cdot n \cdot f_c = 5 \cdot 15 \cdot 42 = 3{,}1$ MHz

$\boxed{B_{T,min} = 3{,}1 \text{ MHz}}$

b) $g(t) = 2\,\mathrm{sinc}^2(r_{bu} t)\cos(2\pi r_{bu} t)$

Nel dominio del tempo la condizione necessaria e sufficiente di assenza di ISI è

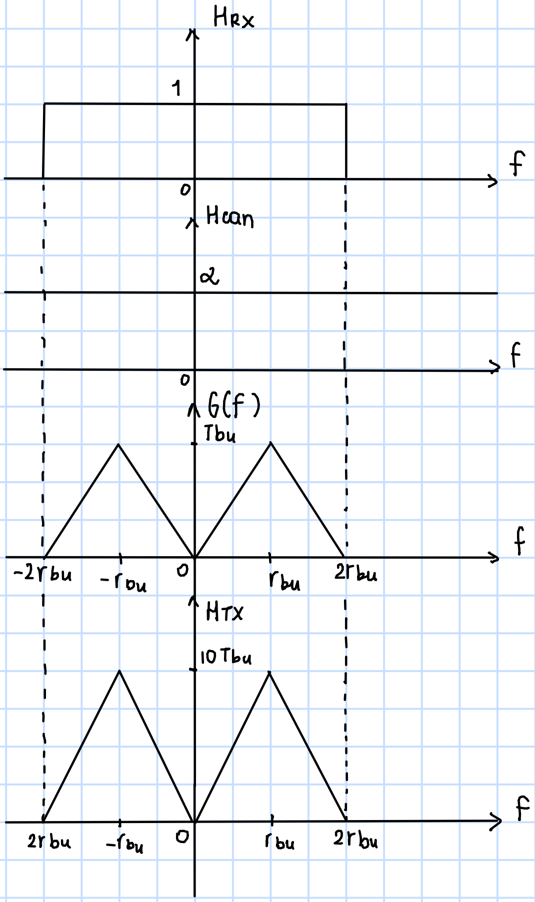
$$g(kT) = \begin{cases} C \neq 0 & k = 0 \\ 0 & k = \pm 1, \pm 2 \ldots \end{cases}$$

$$g(kT_{bu}) = 2\,\mathrm{sinc}^2(r_{bu} \cdot kT_{bu})\cos(2\pi r_{bu} \cdot kT_{bu}) = 2\,\mathrm{sinc}^2(k)\cos(2\pi k) = \begin{cases} 2 & k = 0 \\ 0 & k = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \ldots \end{cases}$$

Dunque la forma d'onda al campionatore $g(t)$ soddisfa la condizione di assenza di ISI

In questo caso la $B_T \overset{\text{II condizione di Nyquist}}{=} 2 r_{bu} = 12{,}6$ MHz dunque 4 volte più grande rispetto al punto a) dove assumevamo che al campionatore ci fosse $g(t) = \mathrm{sinc}(r_{bu} t)$

c)




$G(f) = H_{TX}(f) H_{RX}(f) H_{can}(f) H_{eq}(f)$

Non viene adottata alcuna tecnica di equalizzazione dunque $H_{eq}(f) = 0$

$$g(t) = 2\,\text{sinc}^2(r_{bu} t)\cos(2\pi r_{bu} t)$$

$$\updownarrow \mathcal{F}$$

$$G(f) = \frac{\cancel{2}}{r_{bu}} \Lambda\left(\frac{f}{r_{bu}}\right) * \frac{1}{\cancel{2}} \left[ \delta(f - r_{bu}) + \delta(f + r_{bu}) \right]$$

$$\alpha = 10^{-20/20} = 10^{-1} = 0{,}1$$

In ricezione scelgo $f_T = 2r_{bu}$ in modo da minimizzare la potenza del rumore in ricezione

Scelgo $H_{TX}(f) = 0$ per $|f| > 2r_{bu}$

Per $|f| \leq 2r_{bu}$ $\Rightarrow$ $G(f) = H(f) \cdot 0{,}1 \cdot 1$ $\Rightarrow$ $H(f) = 10\,G(f)$