



ESAME DI STATO 2007 PER ISTITUTI TECNICI INDUSTRIALI

Indirizzo: Elettronica e telecomunicazioni

Tema di: Telecomunicazioni

Gaetano D'Antona

*Il testo dell'Esame
di Stato 2007 è
valevole per i corsi
di ordinamento e per
i corsi sperimentali
del Progetto "SIRIO"-
Elettronica e
Telecomunicazioni*

Si vuole campionare, digitalizzare e trasmettere su linea numerica seriale un segnale in tensione che passa ciclicamente da -2,5 [V] a +2,5 [V] con velocità non superiore a 2,5 [mV/μs]. È richiesto un rapporto segnale/rumore di quantizzazione non inferiore a 45 [dB]; si sa, inoltre, che al segnale è sovrapposto un rumore con andamento compreso tra le tensioni di -8 [mV] e +8 [mV].

Il candidato, fatte le ipotesi aggiuntive che ritiene opportune:

1. proponga lo schema a blocchi del sistema di acquisizione, trasmissione e ricostruzione del segnale, illustrando la funzione e le caratteristiche principali di ciascun blocco;
2. analizzi le caratteristiche spettrali essenziali del segnale;
3. valuti la velocità, in bit al secondo, necessaria per la trasmissione sulla linea numerica;
4. esamini la possibilità di migliorare ulteriormente la fedeltà del segnale ricostruito se non è possibile aumentare la velocità di trasmissione rispetto a quanto valutato al punto precedente;
5. spieghi come sia possibile trasmettere diversi segnali distinti, con caratteristiche identiche a quelle sopra citate, usando una sola linea numerica seriale e valuti quanti se ne potrebbero inviare su un collegamento che operi alla velocità di 256 [Kbit/s];
6. illustri, infine, i vantaggi delle trasmissioni di segnali analogici per via numerica.

SOLUZIONE

Sappiamo che il segnale passa ciclicamente da -2,5 [V] a +2,5 [V] con velocità non superiore a 2,5 [mV/μs], ma non conosciamo la legge con cui varia. In questo caso, per avere un'idea approssimata delle grandezze in gioco si può fare l'ipotesi che il segnale sia di tipo sinusoidale, di valore massimo 2,5 [V]

$$v = V \sin \omega t = 2,5 \sin \omega t$$

La velocità di variazione del segnale sinusoidale la supponiamo uguale a quella del valore massimo del segnale da trasmettere, cioè, 2,5 [mV/μs].

Sappiamo che per calcolare la velocità di variazione di un segnale basta calcolarne la derivata rispetto al tempo; per il segnale sinusoidale, la velocità di variazione sarà:

$$\frac{dv}{dt} = \omega 2,5 \cos \omega t$$

da cui si vede che il massimo della velocità di variazione è $2,5 \omega$.

La pulsazione massima ω del segnale sinusoidale, avente la stessa velocità di variazione massima del segnale da trasmettere, si calcola:

$$2,5\omega = 2,5 \text{ [mV/μs]} \text{ da cui} \\ \omega = 1000 \text{ [rad/s]}; \text{ e quindi } f \sim 160 \text{ Hz}$$

Si dimostra che il rapporto segnale-rumore di quantizzazione, quando il segnale è sinusoidale, è

$$S/N = 1,76 + 6,2B \text{ [dB]}$$

Dove B rappresenta il numero di bit disponibili per codificare i campioni all'uscita del codificatore.

Poichè è richiesto un rapporto segnale/rumore di quantizzazione non inferiore a 45 [dB], possiamo calcolare il numero di bit minimo per realizzare ciò, come segue:

$$S/N = 1,76 + 6,02B > 45 \text{ [dB]} \quad \text{da cui} \quad B > (45 - 1,72)/6,02; \quad B > 7,18$$

Quindi, per avere un rapporto segnale/rumore di quantizzazione non inferiore a 45 [dB] basta che il numero di bit B sia almeno di 8.

Sappiamo che al segnale è sovrapposto un rumore con andamento compreso tra le tensioni di -8 [mV] e +8 [mV].

Vediamo ora di valutare la degradazione, (Δ_{dB}), definita come la differenza tra il rapporto segnale-rumore in ingresso al quantizzatore e il rapporto segnale-rumore in uscita, cioè

$$\Delta_{dB} = SNR_{i,dB} - SNR_{uq,dB}$$

Dove $SNR_i = S/N_i$ è il rapporto segnale/rumore all'ingresso del quantizzatore
Che espresso in dB sarà

$$SNR_{i,dB} = 24,9 \text{ [dB]}.$$

si definisce il rapporto segnale-rumore d'uscita del quantizzatore $SNR_{uq} = S/(N_i + N_q)$
dove N_q è la potenza dell'errore di quantizzazione.

Si dimostra che vale

$$1/SNR_{uq} = (1/SNR_i) + (1/SNR_q),$$

dove SNR_q rappresenta il rapporto segnale-rumore di quantizzazione che, per il segnale in ingresso di tipo sinusoidale, vale

$$SNR_q = 3/2 * 2^{2B}$$

dove B è il numero di bit di quantizzazione.

Facendo i calcoli ed esprimendo in dB l' SNR_{uq} si ottiene

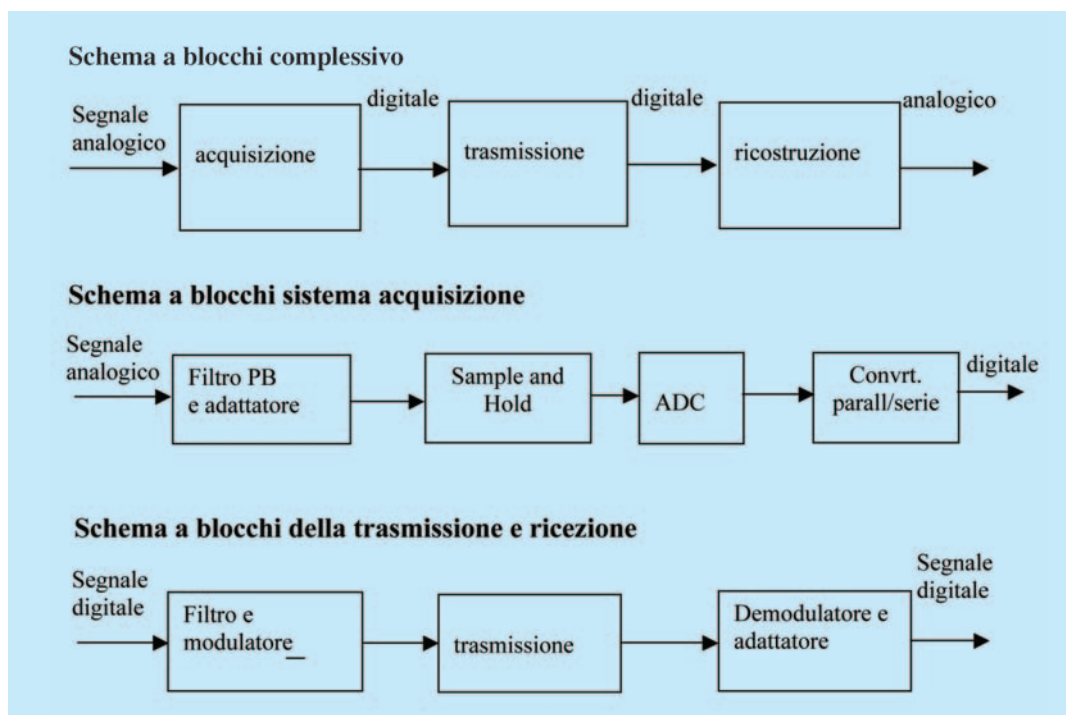
$$SNR_{uq,dB} \approx 24,9 \text{ [dB]}.$$

Per cui vale

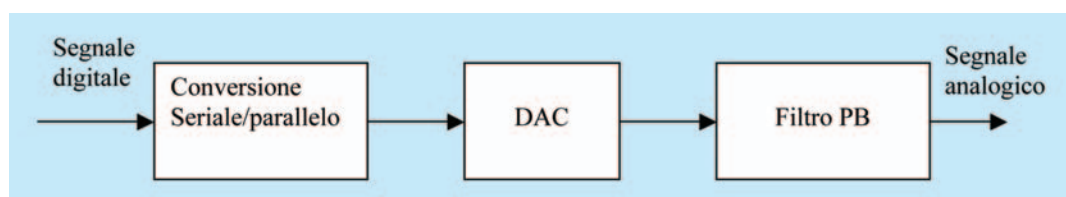
$$\Delta_{dB} = SNR_{i,dB} - SNR_{uq,dB} \approx 0$$

Cioè la degradazione introdotta dal quantizzatore è non apprezzabile.

SCHEMI A BLOCCHI

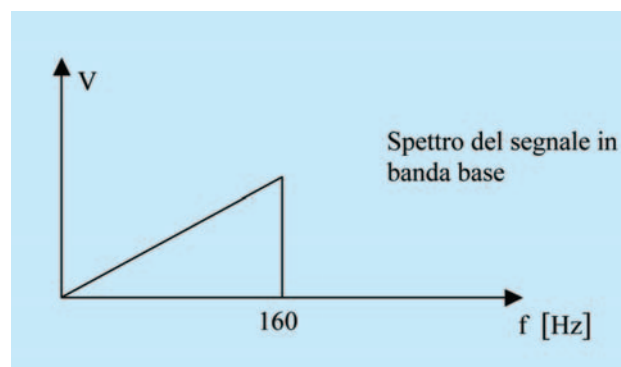


Schema a blocchi del sistema di ricostruzione del segnale



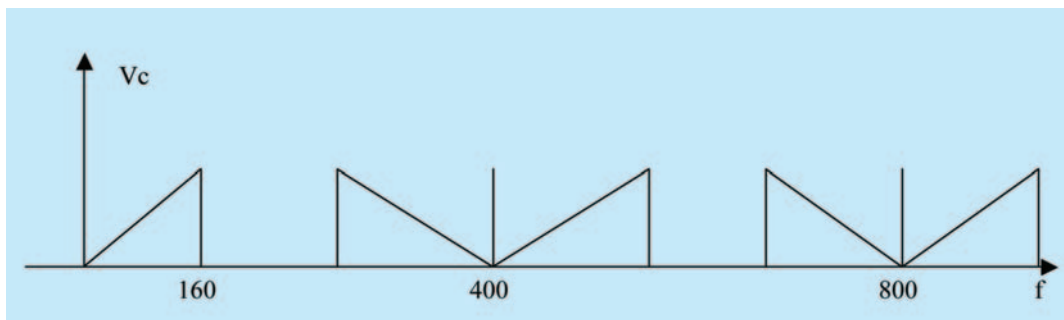
Analizziamo le caratteristiche spettrali essenziali del segnale

Per avere un'idea della frequenza del segnale analogico da trasmettere abbiamo fatto l'ipotesi di essere in presenza di un segnale sinusoidale; i calcoli hanno fatto individuare la relativa frequenza, pari a 160 Hz, che potrebbe essere considerata la massima frequenza del segnale da trasmettere. In realtà il segnale analogico da trasmettere avrà uno spettro continuo da 0 Hz a 160 Hz.



In base al teorema di Shannon/Nyquist, la frequenza di campionamento deve essere almeno il doppio della massima frequenza di banda base, si sceglie la frequenza di 400 Hz.

Lo spettro del segnale campionato sarà



Velocità della trasmissione digitale

Avendo scelto una frequenza di campionamento di 400 Hz, e un convertitore ad 8 bit, scelto per soddisfare i requisiti del rapporto segnale/rumore chiesti dal tema, la velocità di trasmissione dei segnali digitali sarà:

$$400 \cdot 8 = 3200 \text{ bit/s}$$

Miglioramento della qualità della trasmissione

La qualità della trasmissione dipende dal numero di bit del convertitore analogico/digitale. Abbiamo posto $B = 8\text{bit}$, per rispondere alle richieste del tema che fissa, da un lato il rapporto S/N, e dall'altro la velocità di trasmissione. Aumentare il numero di bit del convertitore A/D consentirebbe di migliorare il rapporto S/N, ma avremo una velocità di trasmissione, come abbiamo visto, più elevata, rispetto alle richieste del tema. Si potrebbe codificare a 12 bit, e poi comprimere il segnale ad 8 bit.

Con il segnale compresso ad 8 bit avremo ancora la velocità di 3200 bit/s, mentre il rapporto segnale rumore, con codifica a 12 bit diventa:

$$S/N = 1,76 + 6,02 \cdot 12 = 74 \text{ dB}$$

Trasmissione di più segnali

Per trasmettere più segnali contemporaneamente si utilizza la tecnica della moltiplicazione nel dominio del tempo. Il numero di bit al secondo di ogni canale è di 4 K bit/s, poichè la velocità di trasmissione disponibile è di 256 K bit/s, di conseguenza il numero di segnali trasferibili è di 64:

$$256\text{K}/4\text{K}.$$

Vantaggi della trasmissione digitale

- Moltiplicazione nel dominio del tempo che consente la trasmissione di più canali utilizzando una sola linea di trasmissione;
- Insensibilità al rumore;
- Trattamento dei dati trasmessi direttamente dai computer, mediante appositi software;
- Utilizzo delle fibre ottiche, che consentono velocità elevate e tratte lunghe per bassa attenuazione. □