



Autore: Francesco Marino
<http://www.francescomarino.net>
info@francescomarino.net

Esame di Stato (2)

ESAME DI STATO DI ISTITUTO TECNICO INDUSTRIALE A.S. 2000/2001

Indirizzo: INFORMATICA, CORSO SPERIMENTALE - PROGETTO "ABACUS"

Tema di: ELETTRONICA, TELECOMUNICAZIONI

Si devono moltiplicare in FDM tre canali fonici che, in banda base, presentano le seguenti caratteristiche:

1° canale:	banda lorda (0 ÷ 4)	kHz
2° canale:	banda lorda (0 ÷ 12)	kHz
3° canale:	banda lorda (0 ÷ 16)	kHz

Il complesso che modula è formato, per ciascun canale da:

- un filtro attivo passa-basso, che limita ai valori indicati le frequenze dei canali in banda base;
- un modulatore d'ampiezza che sopprime la portante;
- un filtro di banda che permette la trasmissione della sola banda superiore.

Il candidato, dopo aver formulato le eventuali ipotesi aggiuntive:

1. disegni uno schema a blocchi di principio del sistema descritto, individuando, per ciascun modulatore, il valore della frequenza portante, sapendo che la frequenza massima dei canali moltiplicati è di 95 kHz e che i tre canali devono essere così distanziati in linea:
 - il secondo 1 kHz dal primo
 - il terzo 2 kHz dal secondo
2. tracci il piano di modulazione e indichi la banda occupata;
3. progetti, a scelta, uno dei tre filtri attivi passa-basso, sapendo che per ciascuno di essi il guadagno in banda deve essere di 20 dB e la pendenza della curva di attenuazione fuori banda deve essere di 20 dB/dec.

Nel caso in cui, invece, si vogliono moltiplicare a divisione di tempo TDM i tre canali sopra descritti, organizzati in una trama PCM a 8 bit, con l'aggiunta di un primo canale di sincronismo e di un canale di servizio inserito tra il secondo e il terzo canale fonico, il candidato, sempre dopo aver formulato le eventuali ipotesi aggiuntive:

1. illustri, con uno schema, i blocchi principali che costituiscono il sistema per la multiplazione TDM dei cinque canali in oggetto;
2. ricavi il tempo di trama t_f , il tempo di canale t_c , il tempo di bit t_b , utilizzando una frequenza di campionamento maggiore del 25% della frequenza di Nyquist;
3. esprima considerazioni personali, sulla base dei risultati trovati, in relazione ai due sistemi di multiplazione.

SOLUZIONE

Multiplazione FDM

Nello svolgimento della soluzione si ipotizza che i filtri di banda per la soppressione della banda laterale inferiore abbiano un comportamento ideale (figura 1), in modo tale da lasciar passare la banda laterale superiore eliminando del tutto le componenti armoniche al di fuori di essa. Questo permetterà di svolgere il punto uno sulla base delle bande lorde dei segnali e delle distanze indicate. Si ipotizza inoltre che i tre segnali vengano disposti sull'asse delle frequenze nell'ordine 1 - 2 - 3.

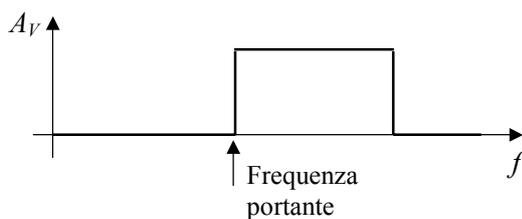


Figura 1

Punti 1 e 2

Viene adottata una modulazione AM-SSB (modulatore AM-DSB seguito da filtro di soppressione della LSB), che determina in questo caso una banda traslata, per ciascun segnale modulato, con inizio alla frequenza della portante e estensione pari alla banda base. Sulla base di tale premessa si ottiene il seguente prospetto per le frequenze delle portanti:

- $f_3 = 95 - 16 = 79$ kHz;
- $f_2 = 79 - 2 - 12 = 65$ kHz;
- $f_1 = 65 - 1 - 4 = 60$ kHz.

La banda occupata dal segnale FDM si estende quindi nell'intervallo 60 ÷ 95 kHz, con larghezza di banda pari a 35 kHz (figura 2).

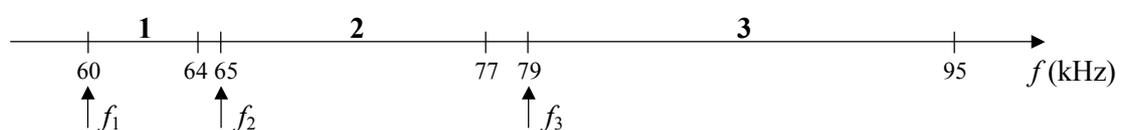


Figura 2

Lo schema a blocchi del sistema di modulazione (figura 3) prevede, per ciascun segnale, i dispositivi descritti nella traccia opportunamente dimensionati; un blocco sommatore realizza la moltiplicazione dei segnali.

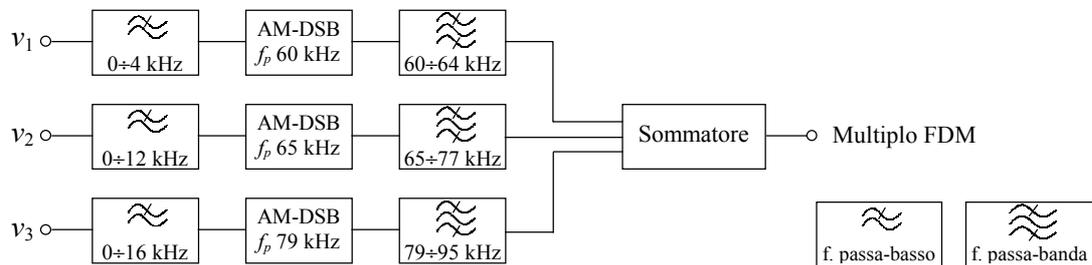


Figura 3

Punto 3

Il filtro attivo passa-basso deve essere del primo ordine (pendenza fuori banda di 20 dB/decade) e deve avere un guadagno alle basse frequenze pari a 10 ($20 \log 10 = 20$ dB). Si può in realtà osservare che un filtro del primo ordine presenta una zona di transizione piuttosto estesa e che quindi il suo utilizzo non si accorda con il piano di modulazione, in cui la banda di guardia tra canali adiacenti è piuttosto esigua. Proponendosi di progettare il filtro relativo al segnale 1, si può imporre una frequenza di taglio pari a 4 kHz, ipotizzando trascurabile l'attenuazione delle alte frequenze del segnale (si ricorda che alla frequenza di taglio il guadagno del filtro è già ridotto di un fattore 0,707 rispetto al guadagno in banda). Il più semplice filtro attivo che risponde ai requisiti richiesti è il filtro invertente basato su amplificatore operazionale rappresentato in figura 4. La frequenza di taglio e il modulo del guadagno di tensione alle basse frequenze di tale filtro sono pari rispettivamente a

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad \text{e} \quad A_v = \frac{R}{R_1}$$

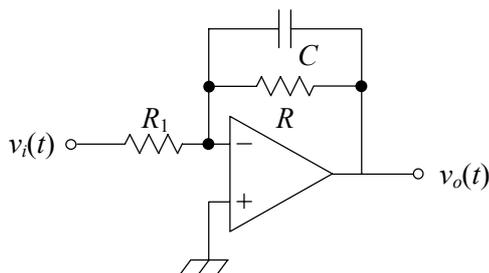


Figura 4

Si ricorda che nelle configurazioni che utilizzano un amplificatore operazionale è opportuno che il valore della resistenza di reazione non sia né troppo piccolo, per non richiedere eccessiva potenza all'integrato, né troppo grande, per non indurre tensioni di offset sull'uscita troppo elevate. Di norma sono ritenuti ottimali valori dell'ordine di grandezza di 10 kΩ. Per ottenere un guadagno alle basse frequenze pari a 10, una possibile scelta dei valori delle resistenze può essere quindi $R = 10$ kΩ e $R_1 = 1$ kΩ. Per ottenere una frequenza di taglio pari a 4 kHz la capacità C deve essere pari a

$$C = \frac{1}{2\pi R f_0} = 3,98 \text{ nF}$$

Moltiplicazione TDM

Nello svolgimento della soluzione si intende che la trama PCM a 8 bit è una trama in cui i segnali PCM, codificati su 8 bit per campione, sono multiplati parola per parola. La moltiplicazione parola per parola implica la presenza in ogni trama di 8 bit per ciascun segnale, sia informativo sia di sincronismo o di servizio. Per la codifica PCM vengono utilizzati convertitori a 8 bit con quantizzazione lineare.

Punto 1

Lo schema a blocchi del sistema di moltiplicazione TDM (figura 5) comprende i blocchi necessari alla codifica PCM di ciascun segnale, e cioè:

- filtro passa-basso antialea, la cui funzione è quella di eliminare le componenti fuori banda evitando così il non rispetto della condizione di Shannon e la conseguente apparizione di componenti fantasma nei segnali riconvertiti in analogico (aliasing);
- circuito sample and hold (S/H), la cui funzione è quella di campionare e mantenere i segnali da convertire, in modo tale da fornire un valore costante all'ingresso del convertitore A/D per tutta la durata della conversione;
- convertitore analogico-digitale (ADC) a otto bit con quantizzazione lineare, dotato di buffer di uscita per la memorizzazione del campione codificato;
- registro PISO (Parallel Input Serial Output) per la serializzazione (presentazione su un'unica linea) dell'uscita del convertitore A/D.

Il funzionamento dei dispositivi menzionati, tranne il filtro, viene temporizzato da un segnale di clock la cui frequenza è pari al valore prescelto per il campionamento (ovviamente il registro PISO dovrà utilizzare un moltiplicatore $\times 8$ per temporizzare i singoli passi di scorrimento). Il moltiplicatore (MUX) TDM, a 4 ingressi (per i tre segnali più il canale di servizio), genera internamente il carattere per l'allineamento della trama ed è temporizzato dallo stesso clock utilizzato per i segnali.

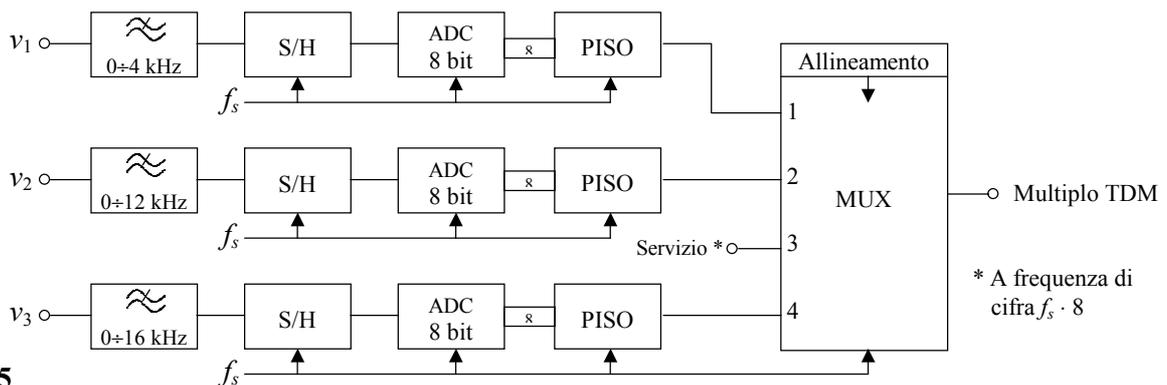


Figura 5

Punto 2

La frequenza di campionamento deve essere determinata con riferimento al segnale che ha la maggiore estensione di banda, e cioè al canale 3. Poiché la frequenza superiore della banda di quest'ultimo è pari a 16 kHz, la frequenza di Nyquist (limite inferiore teorico per la frequenza di campionamento) è pari a $f_N = 2 \cdot 16 = 32$ kHz. Sommando a tale valore il margine indicato del 25% di f_N , pari a $\frac{25 \cdot 32}{100} = 8$ kHz, si ottiene una frequenza di campionamento $f_s = 40$ kHz. Ogni trama trasmette un campione a 8 bit di ciascun segnale e pertanto ha una durata pari al periodo di campionamento: $t_t = \frac{1}{40 \cdot 10^3} = 25 \mu\text{s}$. Il tempo di canale (durata di un time-slot) è pari al tempo di trama diviso per il numero di segnali: $t_c = \frac{25}{5} = 5 \mu\text{s}$. Il tempo di bit, infine, è pari al tempo di canale diviso per il numero di bit presente in un time-slot: $t_b = \frac{5}{8} = 0,625 \mu\text{s}$ (oppure si può dividere il tempo di trama per il numero di bit che essa comprende: $t_b = \frac{25}{40} = 0,625 \mu\text{s}$).

Punto 3

Il segnale TDM ha una frequenza di cifra pari a $f_k = \frac{1}{t_b} = 1,6$ Mbit/s. Ipotizzando che il segnale attraversi un quadripolo formatore che ne determina uno spettro a coseno rialzato con fattore di roll-off pari a 0,5, la banda da esso occupata si estende dalla continua alla frequenza $f_M = \frac{3}{4} f_k = 1,2$ MHz. Confrontando tale dato con l'occupazione di banda del segnale FDM si può osservare che un sistema TDM che utilizza il PCM puro trasmettendo in formato binario richiede al mezzo trasmissivo una banda notevolmente maggiore rispetto ad un equivalente sistema FDM. Questa affermazione rimane valida, seppur in maniera più moderata, anche se si pensa di trasmettere il segnale TDM-PCM utilizzando una segnalazione a 2^n stati, con conseguente riduzione di un fattore n (nei casi pratici pari a qualche unità) dell'occupazione di banda. Per contro il sistema TDM realizza i ben noti vantaggi propri delle comunicazioni numeriche, tra cui:

- immunità a distorsione e rumore;
- assenza di interferenza tra canali;
- uso di circuiteria integrata;
- possibilità di trasporto di segnali fonici e dati;
- possibilità di criptare l'informazione in modo sicuro e senza perdita di qualità;
- possibilità di utilizzare le altissime capacità trasmissive raggiunte nei sistemi a fibra ottica.