



Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca
M286 – ESAME DI STATO DI ISTITUTO TECNICO INDUSTRIALE

CORSO DI ORDINAMENTO

Indirizzo: ELETTRONICA E TELECOMUNICAZIONI

Tema di: TELECOMUNICAZIONI
TELECOMUNICAZIONI E PROGETTAZIONE

(Testo valevole per i corsi di ordinamento e per i progetti sperimentali assistiti)

Un sistema di monitoraggio delle condizioni chimico-fisiche delle acque di un allevamento ittico è costituito da nove sensori che forniscono in uscita segnali analogici con banda di frequenze comprese tra 100 e 200 Hz e range di variabilità in tensione pari a 90 mV. I segnali in oggetto devono essere digitalizzati garantendo un errore di conversione non maggiore dello 0,5%. Inoltre lo standard qualitativo dell'informazione richiede un numero di campioni per periodo pari a quattro.

I dati ottenuti devono essere organizzati in una trama PCM che utilizza per la conversione A/D un dispositivo con caratteristica di quantizzazione lineare e gamma di valori in tensione di ingresso compresa tra 0 e 5 Volt. La trama, che prevede un canale di sincronismo, viene successivamente inviata su una linea dedicata.

Il candidato, effettuate le ipotesi aggiuntive che ritiene opportune:

1. determini il numero di bit necessari alla codifica per ottenere la precisione richiesta e la velocità minima di cifra della linea che consente la corretta trasmissione;
2. valuti il fattore di amplificazione che garantisce il completo adattamento del segnale proveniente dai sensori al range del convertitore analogico digitale in uso;
3. proponga uno schema a blocchi del possibile sistema di acquisizione e trasmissione dei dati dettagliando la funzionalità dei singoli blocchi e motivando le scelte dimensionali effettuate;
4. raffiguri graficamente la trama realizzata in base temporale.

Inoltre supponendo di avere a disposizione una linea con velocità di cifra pari a 96 Kb/s:

5. determini il numero di bit massimo consentito per la conversione dei dati e ridefinisca la percentuale di errore ottenuta;
6. descriva le possibili tipologie di codifica dei dati digitali per trasmissione numerica in banda base.

Durata massima della prova: 6 ore.

È consentito l'uso di manuali tecnici e di calcolatrici non programmabili.

È consentito l'uso del dizionario bilingue (italiano-lingua del paese di provenienza) per i candidati di madrelingua non italiana.

Non è consentito lasciare l'Istituto prima che siano trascorse 3 ore dalla dettatura del tema.

1. Numero di bit necessari

L'errore di conversione coincide con l'errore di quantizzazione ed è pari a $|e_{\max}| = \frac{q}{2}$ dove q è il quanto di conversione.

Detto n il numero di bit con cui si effettua la conversione, il quanto q è dato, nel caso di conversione uniforme, da $q = \frac{V_{pp}}{2^n}$ dove V_{pp} è il range di variabilità del segnale proveniente dai sensori.

Dobbiamo garantire un errore inferiore allo 0.5% quindi:

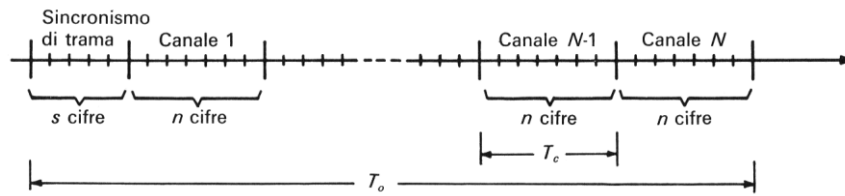
$$|e_{\max} \%| = \frac{q}{V_{pp}} \cdot 100 = \frac{V_{pp}}{2^n} \cdot 100 = \frac{100}{2^{n+1}} < 0,5$$

$$2^{n+1} > 200$$

$$n > \log_2(200) - 1 = 6,64$$

Per garantire l'errore desiderato bastano 7 bit.

Dato che viene richiesto il campionamento del segnale con 4 campioni per ciclo, ogni segnale viene campionato con $f_c = 4 \cdot f_{\max} = 4 \cdot 200 = 800\text{Hz}$. Con questa frequenza di campionamento, il periodo di una trama completa è pari a $T_0 = 1250\mu\text{s}$. In questo intervallo devono essere trasmessi tutti i campioni di tutti i segnali (e gli eventuali segnali di sincronismo).



Nell'intervallo di $1250\mu\text{s}$ dobbiamo trasmettere il segnale di tutti i nove sensori ed i bit relativi al sincronismo di trama. Supponendo che il sincronismo di trama occupi un canale ($s = n$), ne segue che il tempo T_c a disposizione di ogni canale è pari a $T_c = \frac{T_0}{10} = 125\mu\text{s}$.

Dato che per ogni sensore trasmettiamo 7 bit, la durata del singolo bit vale $T_{bit} = \frac{T_c}{7} = 17,8\mu\text{s}$.

La velocità di cifra vale quindi $f_t = \frac{1}{17,8} = 56,2\text{ kb/s}$.

Commercialmente gli ADC sono a 8 bit. L'uso del bit in più fornito dall'ADC riduce ulteriormente l'errore di conversione.

Usando 8 bit si ottiene un tempo di bit $T_{bit} = \frac{T_c}{8} = 15,625\mu\text{s}$ ed una velocità di cifra $f_t = \frac{1}{15,625} = 64\text{ kb/s}$.

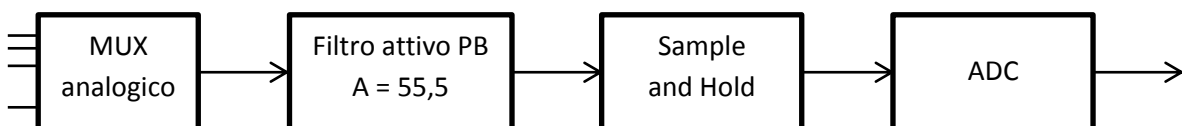
2. Amplificazione necessaria per l'adattamento del segnale

Supponendo che i sensori forniscano una tensione compresa tra 0 e 90 mV, il fattore di amplificazione necessario per garantire il completo adattamento vale $A = \frac{5}{90 \cdot 10^{-3}} = 55,5$

3. Schema a blocchi

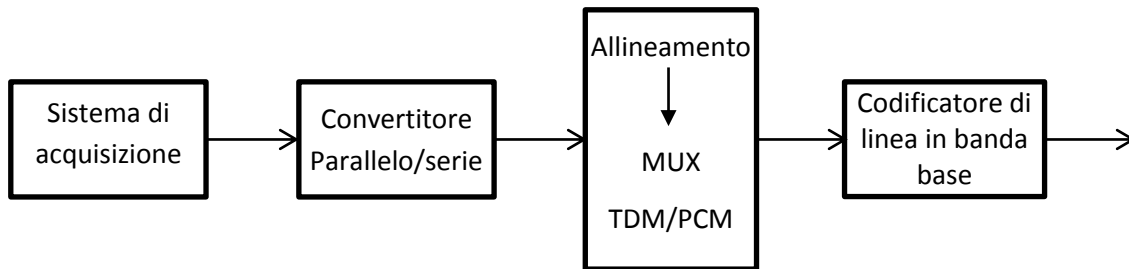
Dato che vogliamo utilizzare un solo convertitore al quale inviamo i segnale dei nove sensori in sequenza, faremo precedere l'ADC da multiplexer analogico.

Sistema di acquisizione



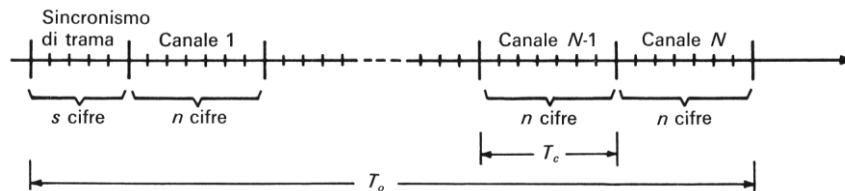
Sistema di trasmissione

Nel sistema di trasmissione è presente un MUX TDM/PCM che provvede a generare ed inserire il sistema di sincronismo.



4. Trama temporale

La trama temporale è quella già mostrata al punto 1.



In base ai dati del testo ed alle supposizioni fatte, il numero di cifre s del sincronismo di trama è pari al numero n di cifre del segnale da trasmettere ed il numero di canali N è pari a 9.

5. Numero di bit a 96 kb/s

Il tempo T_c a disposizione di ogni canale è $125 \mu\text{s}$ che corrisponde ad una frequenza di 8 kHz. Alla velocità di 96 kb/s possono essere trasmessi $m = \frac{96000}{8000} = 12$ bit.

Utilizzando questo numero di bit la percentuale di errore del sistema di acquisizione si riduce a:

$$|e_{\max} \%| = \frac{q}{V_{pp}} \cdot 100 = \frac{2 \cdot 2^m}{V_{pp}} \cdot 100 = \frac{100}{2^{m+1}} < 0,012\%$$

6. Tipologie di codifica

Per quanto riguarda la tipologia di codifica dei dati digitali per la trasmissione in banda base, si hanno diverse opzioni. Alcune di queste sono:

- il codice di linea NRZ (Non Return Zero) che associa un livello di tensione diverso a ciascuno dei valori logici che può assumere un bit nelle due varianti NRZ unipolare e NRZ bipolare
- il codice di linea RZ (Return to Zero) che si ottiene normalmente dall'NRZ riducendo a metà la durata dell'impulso che si emette in corrispondenza di un "1" logico
- il codice AMI (Alternate Mark Inversion) che si ottiene da un segnale bipolare invertendo alternativamente la polarità degli impulsi corrispondenti agli "1". In particolare, il codice AMI è caratterizzato da avere valore medio nullo e quindi è particolarmente adatto alla trasmissione in banda base.

Mario Mariani e Massimo Mastroserio (docenti di elettronica - ITIS Feltrinelli Milano)

SECONDA PROVA SCRITTA

Materia: **TELECOMUNICAZIONI**

SOLUZIONE DELLA PROVA

Supponiamo che i segnali forniti dai sensori siano unipolari e quindi variabili da 0 a 90 mV, ipotesi che semplificherà il progetto del circuito di condizionamento.

1. Assumiamo che l'errore di conversione menzionato nel testo consista nell'errore di quantizzazione e che il valore pari allo 0.5% sia riferito alla tensione di fondo scala del convertitore A/D. Con queste ipotesi, il massimo valore dell'errore di conversione è

$$E_q = \frac{q}{2} = 0.5 \cdot \frac{V_{FS}}{100}$$

e poiché il passo di quantizzazione q corrisponde a

$$q = \frac{V_{FS}}{2^n}$$

essendo n la risoluzione del convertitore A/D (espressa in numero di bit), si trova

$$\frac{V_{FS}}{2^n} = 2 \cdot 0.5 \cdot \frac{V_{FS}}{100} \Rightarrow 2^n = 100$$

e il minimo valore intero di n che soddisfa la condizione è $n = 7$. Tuttavia, è più conveniente scegliere $n = 8$, in quanto la conversione a 8 bit corrisponde a uno standard più diffuso.

Data la banda del segnale, compresa fra 100 e 200 Hz, il teorema di Shannon - Nyquist suggerirebbe una frequenza di campionamento non inferiore a 400 Hz, corrispondenti a un periodo di campionamento di 2.5 ms ovvero due campioni per ogni periodo della componente del segnale a 200 Hz ($T = 5$ ms). Il testo propone un campionamento a frequenza più alta; quattro campioni per ogni periodo corrispondono a un periodo di campionamento effettivo $T_c = 1.25$ ms e ad una frequenza di campionamento $f_c = 800$ Hz. Assumiamo che il segnale di sincronismo sia composto da 8 bit per trama, da cui la velocità di cifra della linea, ovvero la velocità di trasmissione richiesta risulta

$$v_b = N_c \cdot n \cdot f_c = (9+1) \cdot 8 \cdot 800 = 64 \text{ kbit/s}$$

essendo N_c il numero dei segnali da trasmettere (nove analogici digitalizzati e un decimo di sincronismo).

2. Per adattare la dinamica dei segnali in uscita dai sensori alle tensioni di funzionamento del convertitore A/D è necessaria un'amplificazione pari a

$$A_v = \frac{V_{FS}}{V_{sensore}} = \frac{5}{90 \cdot 10^{-3}} = 55.6$$

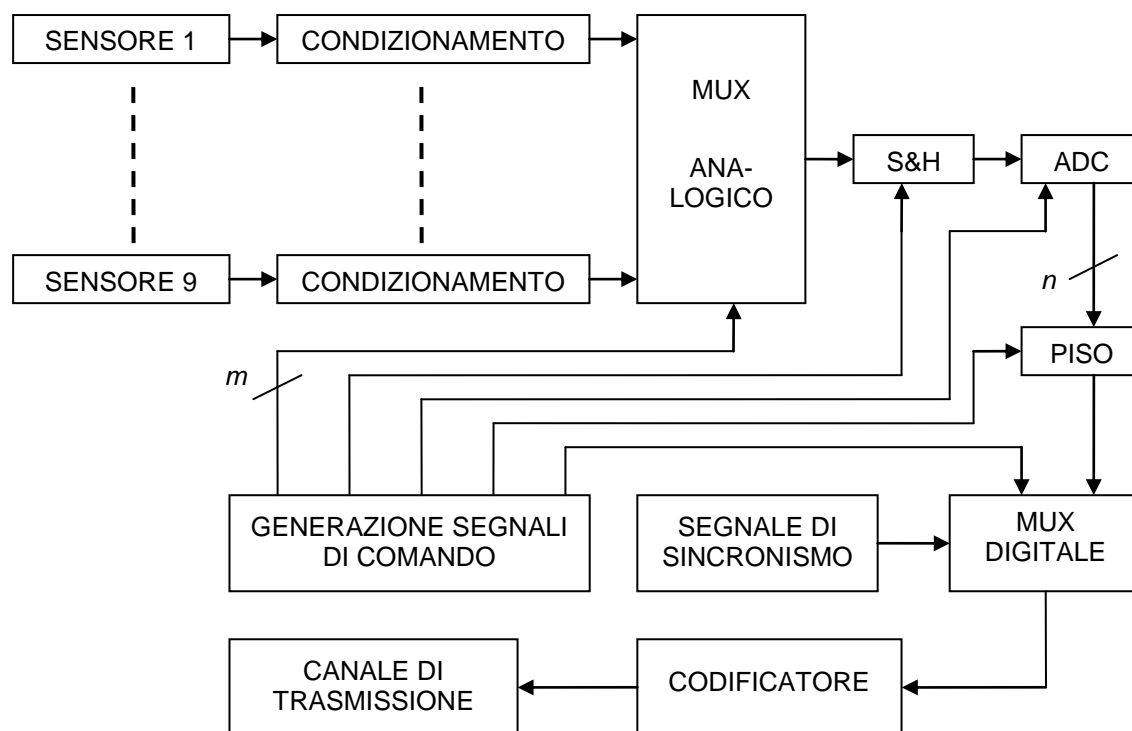
corrispondenti a circa 35 dB.

3. Il sistema di acquisizione è del tipo a più canali. Sono possibili due architetture:

a) con multiplexer analogico e un singolo convertitore A/D seguito da un multiplexer digitale per l'inserimento del segnale di sincronismo;

b) con un convertitore A/D per ogni sensore e un multiplexer digitale.

La prima soluzione comporta un minor numero di blocchi e sarà pertanto qui sviluppata. Ne deriva lo schema sotto riportato.



I circuiti di condizionamento, fra loro uguali, forniscono la necessaria amplificazione di tensione calcolata al punto precedente e potranno contenere anche un filtro passa – basso utile a eliminare le componenti spurie dei segnali acquisiti. Per la moltiplicazione dei segnali condizionati, si propone un multiplexer analogico a 16 canali, indirizzato attraverso 4 ingressi di selezione opportunamente pilotati dal blocco indicato in figura come “Generazione segnali di comando”.

Il blocco S&H (“Sample and hold”) agevola le operazioni di conversione del successivo ADC (Analog to Digital Converter) che, in considerazione delle frequenze dei segnali da acquisire, può essere del tipo a gradinata o ad approssimazioni successive.

Il registro PISO (Parallel Input Serial Output) serializza l’uscita del convertitore A/D per alimentare il successivo multiplexer digitale; quest’ultimo aggiunge un byte di sincronismo ogni 9 byte di informazione e crea la trama PCM. Il blocco codificatore effettua le codifiche di canale e di linea cui si accennerà più avanti.

4. Sulla base delle ipotesi sopra avanzate e dello schema proposto, si può prevedere un’organizzazione dei dati da trasmettere nella trama sotto rappresentata.

IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Supponiamo di riservare al segnale di sincronismo lo “slot” temporale IT0 e di assegnare i restanti nove “slot” ai canali informativi. La trasmissione è del tipo PCM – TDM con la seguente temporizzazione:

$$T_{trama} = T_c = 1,25ms$$

$$T_{canale} = \frac{T_c}{N_C} = \frac{1,25 \cdot 10^{-3}}{10} = 125 \mu s$$

$$T_{bit} = \frac{T_{canale}}{n} = \frac{125 \cdot 10^{-6}}{8} = 15,625 \mu s$$

Si può verificare che il reciproco del tempo di bit T_{bit} coincide con la velocità di trasmissione già calcolata.

5. Se la velocità di cifra sale a 96 kbit/s, mantenendo costante la frequenza di campionamento è possibile quantizzare i segnali di misura con una risoluzione superiore, che risulta da

$$v_b = N_c \cdot n \cdot f_c \Rightarrow n' = \frac{v'_b}{N_c \cdot f_c} = \frac{96000}{10 \cdot 800} = 12 bit$$

ne deriva un errore di quantizzazione inferiore che, in termini percentuali, vale ora

$$\varepsilon\% = \frac{E'_q}{V_{FS}} \cdot 100 = \frac{V_{FS} / 2^{n+1}}{V_{FS}} \cdot 100 = \frac{100}{2^{n+1}} = 0.012\%.$$

Rispetto al precedente errore percentuale di quantizzazione (che, con una risoluzione a 8 bit risultava pari allo 0.2%) si ha quindi una riduzione di un ordine di grandezza.

6. Le trasmissioni digitali in banda base avvengono su fibra ottica, anche per distanze chilometriche, oppure su cavi in rame per distanze assai minori. Dal contesto proposto non è possibile identificare univocamente il supporto trasmissivo, indicato come “linea dedicata” dalla traccia ministeriale.

Un’eventuale codifica di canale può aggiungere bit di ridondanza per la rilevazione e, se richiesta, la correzione di errori di trasmissione. La codifica di linea ha invece lo scopo di adattare le caratteristiche elettriche dei segnali al supporto fisico impiegato.

Per le fibre ottiche si adottano codici unipolari finalizzati a facilitare l’estrazione del clock in ricezione. Per le linee in rame si adottano preferibilmente codici bipolari, fra i quali è possibile trovare esempi anche nei manuali scolastici (fra i più semplici: NRZ bipolari, Manchester, HDB).

L’interfaccia fra il supporto trasmissivo e i dati binari potrà essere fornita da un modem in banda base (o Terminal Adapter).

M286- ESAME DI STATO DI ISTITUTO TECNICO INDUSTRIALE

CORSO DI ORDINAMENTO

Indirizzo: ELETTRONICA E TELECOMUNICAZIONI

Tema di: TELECOMUNICAZIONI
PROGETTAZIONE E TELECOMUNICAZIONI

Sessione d'esame: 2013

**Soluzione della prova
a cura di Pierpaolo Maini**

Punto 1

Per calcolare la precisione nella conversione analogica digitale occorre dimensionare il numero di bit del convertitore.

Sapendo che il *quanto* Q della conversione è dato da $Q = \frac{V_{FS}}{2^n}$, dove V_{FS} è la massima variazione della tensione in ingresso al convertitore ed n il numero dei bit del dato digitale, e che l'errore di conversione ε è dato da $\varepsilon = \frac{Q}{2}$, si può ricavare l'errore relativo in percentuale:

$$\varepsilon_{\%} = \frac{1}{2^{n+1}} \cdot 100$$

Poiché la richiesta del tema è che tale errore sia inferiore allo 0.5%, si possono ottenere i bit necessari alla codifica:

$$\frac{1}{2^{n+1}} \leq \frac{0.5}{100} \text{ da cui } n \geq (\log_2 200) - 1$$

risolvendo si ottiene

$$n > 6,64 \text{ e quindi } n = 7 \text{ bit}$$

In pratica dispositivi commerciali di conversione ed i dispositivi di trasmissione e ricezione lavorano almeno ad 8 bit, per cui si preferisce scegliere un **numero n di bit uguale ad 8**.

Così facendo la precisione è decisamente superiore al requisito richiesto e l'errore relativo percentuale è pari a:

$$\varepsilon_{\%} = \frac{1}{2^{8+1}} \cdot 100 = 0,195 \%$$

Per quel che riguarda la velocità minima di cifra della linea, qui chiamata anche frequenza di bit f_{bit} , si applica la seguente formula valida per le trasmissioni multiple TDM-PCM

$$f_{bit} = f_c \cdot n_{bit} \cdot N_{Canali}$$

f_c è la frequenza di campionamento che per il teorema di Shannon deve essere superiore al doppio della frequenza massima del segnale analogico (nel caso in esame 200 Hz). Il testo afferma che tale

frequenza deve prevedere quattro campioni per periodo, quindi un valore di 4 volte la frequenza massima del segnale analogico:

$$f_c = 4 \cdot f_{\max} = 4 \cdot 200 = 800 \text{ Hz}$$

Il numero dei canali N_{canali} è dato dalla somma dei segnali che si vogliono monitorare (9 sensori) e dei canali di servizio (uno solo, quello di sincronismo). Quindi $N_{canali}=10$.

Quindi si calcola il valore della frequenza di bit f_{bit}

$$f_{bit} = f_c \cdot n_{bit} \cdot N_{Canali} = 800 \cdot 8 \cdot 10 = 64 \text{ Kbit/sec}$$

Punto 2

Per rispettare la precisione richiesta occorre che il segnale analogico inviato al convertitore sfrutti tutta la dinamica di ingresso all'ADC, che il testo indica di 0÷5 V.

Quindi avendo una dinamica fornita dai sensori pari a 90 mV, il fattore F di amplificazione è dato da

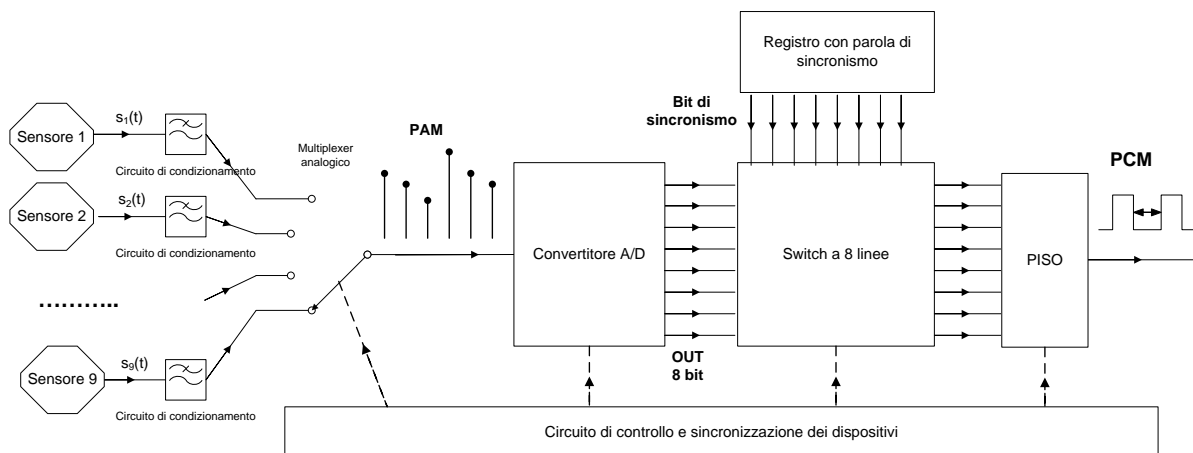
$$F = \frac{5V}{90mV} = 55,55$$

Tale amplificazione può essere facilmente realizzata con un amplificatore operazionale in configurazione non invertente.

Nel tema non si accenna ai valori minimo e massimo forniti dai sensori. Se tali valori non coincidono rispettivamente con 0 e 90 mV, è necessario che l'amplificatore sopracitato generi anche un offset sul segnale di uscita per far corrispondere, al valore minimo in uscita ai sensori, il valore di 0 V in ingresso all'ADC e al valore massimo in uscita ai sensori, il valore di 5 V in ingresso all'ADC.

Punto 3

Si propone il seguente schema:



Il circuito di condizionamento comprende sia l'amplificatore di guadagno $F=55,55$ sia l'eventuale sommatore per modificare l'offset del segnale in ingresso all'ADC, sia soprattutto un filtro anti-aliasing per evitare errori nel campionamento per disturbi spuri a frequenze elevate.

Tale filtro sarà di tipo passa-basso di un ordine almeno pari a 2, di tipo Butterworth, realizzabile in modo attivo con amplificatori operazionali.

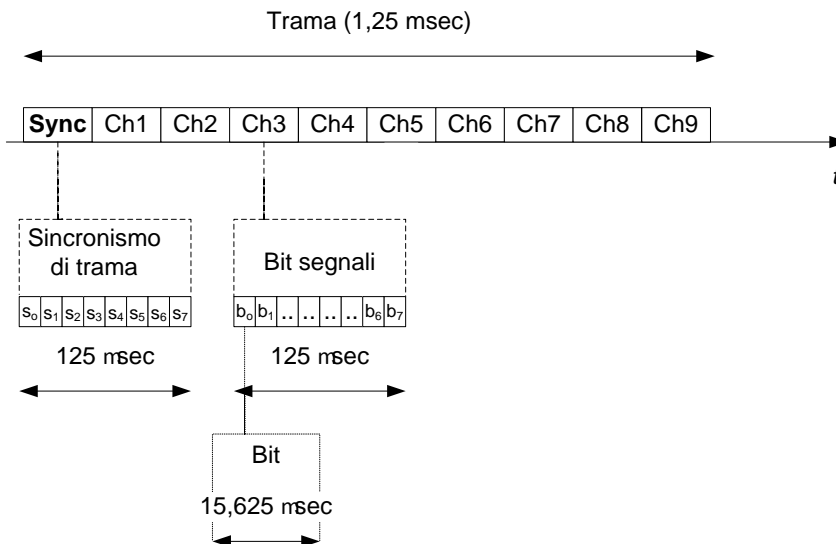
Lo switch a 8 linee serve per commutare le linee in ingresso dal convertitore (ogni 9 segnali) con quelle del registro che contiene la parola digitale di sincronismo della trama.

Il registro PISO serve per acquisire gli 8 bit di ogni campione ed inviarli in seriale sulla linea di uscita.

Il sincronismo tra le uscite dei vari blocchi sarà comandato da circuiti di temporizzazione che emetteranno segnali di comando ai vari circuiti in modo controllato.

Punto 4

Si rappresenta il grafico temporale della trama composta dai 9 canali contenuti i segnali provenienti dai sensori ed il canale di sincronismo, posto all'inizio della trama.



Punto 5

Supponendo che la linea consenta una trasmissione alla frequenza di 96 Kbit/sec, è possibile migliorare la risoluzione della conversione analogica/digitale. Applicando la formula precedente del calcolo della frequenza di bit, si ricava

$$n_{bit} = \frac{f_{bit}}{f_c \cdot N_{Canali}} = \frac{96 \cdot 10^3}{800 \cdot 10} = 12 \text{ bit}$$

In tale caso la precisione è sicuramente migliorata, portando l'errore di conversione relativo percentuale al valore di

$$\epsilon_{\%} = \frac{1}{2^{12+1}} \cdot 100 = 0,0122 \%$$

Punto 6

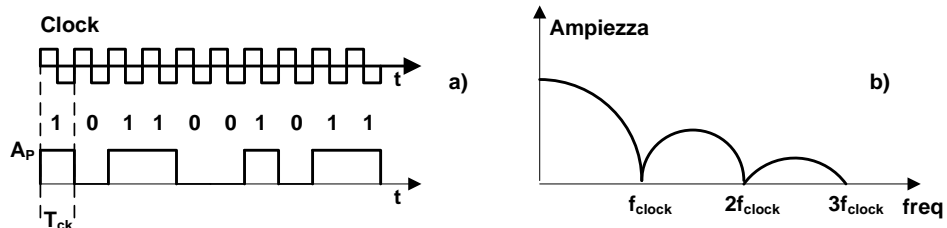
Per la trasmissione numerica sono possibili diverse tipologie di codifiche di linea, ognuna delle quali presenta vantaggi e svantaggi legati soprattutto alla banda occupata, alla ricezione del segnale di clock, all'immunità all'errore in trasmissione, alla semplicità dei circuiti di trasmissione e ricezione.

Per un approfondimento sui principali codici di linea si rimanda all'unità di apprendimento 14 (sezione 14 B il canale digitale) del testo **TELECOMUNICAZIONI (articolazione informatica) di Enrico Ambrosini, Ippolito Perlasca, Pierpaolo Maini — 2012 Tramontana editore.**

Si riportano qui alcuni estratti dal testo citato

Codice NRZ (Not Return to Zero)

È il codice più utilizzato nei circuiti digitali.



Codice NRZ: segnale nel tempo (a) e spettro medio (b).

I vantaggi di questo codice risiedono nella sua semplicità e compatibilità con tutti i dispositivi integrati digitali. *Un limite è dato dalla presenza della componente continua e dalle ampiezze maggiori nelle armoniche a bassa frequenza che potrebbero essere eliminate dai circuiti di disaccoppiamento della componente continua.*

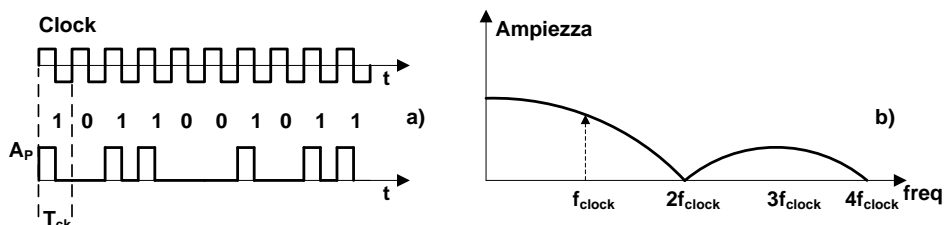
Il limite maggiore è dato dalla mancanza della riga di clock, in quanto per tale frequenza lo spettro assume un valore nullo: ciò impedisce l'estrazione del segnale di temporizzazione e quindi blocca il processo di ricezione.

Codice NRZI (Not return to Zero Inverted)

Un leggero miglioramento delle prestazioni si ha con il codice **NRZI** dove in corrispondenza dei bit "1" il segnale cambia il livello di ampiezza (da A_P a 0 o viceversa) mentre per il bit "0" il segnale rimane al livello precedente. In tal modo si riescono ad avere transizioni anche per lunghe sequenze di "1" ma non per sequenze di "0" consecutivi.

Codice RZ (Return to Zero)

Questo codice ha un andamento simile all'NRZ ma l'impulso del bit "1" ha una durata pari a metà del tempo di clock T_{ck} . Come mostrato in figura gli andamenti nel tempo e in frequenza sono simili, ma per la durata ridotta nel tempo del livello alto, nello spettro si ha un raddoppio della banda e compare la riga alla frequenza di clock, permettendo così l'estrazione della temporizzazione.



Codice RZ: segnale nel tempo (a) e spettro medio (b).

Codice AMI (Alternate Mark Inversion)

Il bit "1" assume la forma rettangolare del codice RZ (durata pari a $T_{ck}/2$) ma alterna la polarità tra il valore positivo $+A_P$ ed il valore negativo $-A_P$. In questo modo *si annulla la componente continua e diminuiscono i valori delle armoniche a bassa frequenza.*

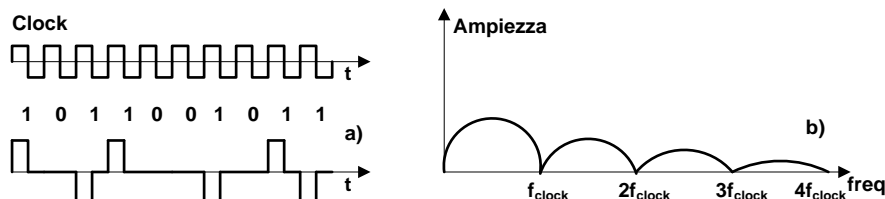


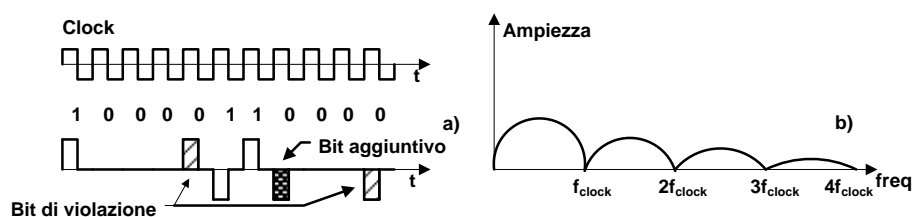
Figura 4 –Codice AMI: a) segnale nel tempo; b) spettro medio

Codice HDB3 (High Density Bipolar 3-zeros).

Per ovviare al problema dell'estrazione del clock per lunghe sequenze di bit "0", si può utilizzare il codice **HDB3**. Il codice presenta le stesse caratteristiche del codice AMI, per cui ha le stesse caratteristiche temporali e spettrali, ma prevede che, nel caso si debbano inviare più di 3 bit "0" consecutivi, al quarto bit "0" si trasmetta un impulso rettangolare, chiamato **bit di violazione**, con polarità identica all'ultimo impulso inviato. La violazione dell'alternanza di polarità permette al circuito di ricezione di non confonderlo con un bit "1" e decodificarlo come bit "0".

Nel caso tra due sequenze di almeno quattro bit "0" (cioè tra due bit di violazione) vi siano un numero pari di bit "1", i due bit di violazione avrebbero la stessa polarità e genererebbero un componente continua; per eliminare questo limite, in questo (e solo in questo) caso il primo bit "0", chiamato **bit aggiuntivo** o di bipolarità, assume la stessa forma di un bit "1" (con l'alternanza di polarità). Per la decodifica corretta il ricevitore avrà un registro di memoria ed in seguito alla ricezione di un bit di violazione, a ritroso riconoscerà che il quarto bit precedente corrisponde ad un bit "0".

Un esempio di una codifica HDB3 con l'indicazione dei bit di violazione ed aggiuntivo è mostrata in figura.

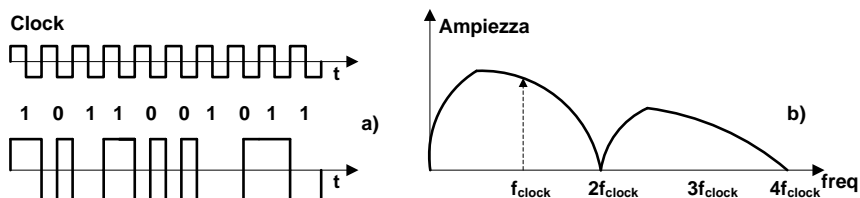


Codice HDB3: segnale nel tempo (a) e spettro medio (b).

Codice CMI (Coded Mark Inversion)

Il codice **CMI** è un codice bipolare utilizzato nelle linee telefoniche a 140 Mbit/sec. Il bit "1" ha una forma rettangolare di durata pari a T_{ck} , con polarità alternata dal valore positivo $+A_P$ al valore negativo $-A_P$. Il bit "0" invece assume la forma di onda rettangolare di periodo T_{ck} con la prima metà di ampiezza $-A_P$ e la seconda di ampiezza $+A_P$ indipendentemente dai bit precedenti. L'andamento temporale e lo spettro sono illustrati in figura.

L'unico limite di questo codice è *l'occupazione di banda superiore ai codice precedenti.*

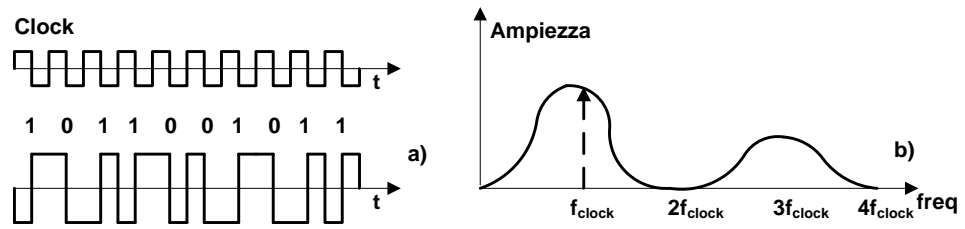


Codice CMI: segnale nel tempo (a) e spettro medio (b).

Codice Manchester (o bifase)

È utilizzato nelle reti locali Ethernet 10BASE-T.

Come si vede in figura, per ogni bit si trasmette un periodo di onda quadra simile al segnale di clock, in fase per il bit "0" e sfasata di 180° per il bit "1". In tal modo il codice non ha componente continua, presenta la riga di clock anche per lunghe sequenze sia di bit "0" che di bit "1".



Codice Manchester: segnale nel tempo (a) e spettro medio (b).