

TITOLO della prova

Studio degli ADC e dei DAC

Obiettivo della prova

Analizzare il comportamento dei moltiplicatori/demoltiplicatori PCM, visualizzare il segnale di ogni generatore di tono, accertandosi della frequenza e verificando l'ampiezza massima.

SCHEMA ELETTRICO

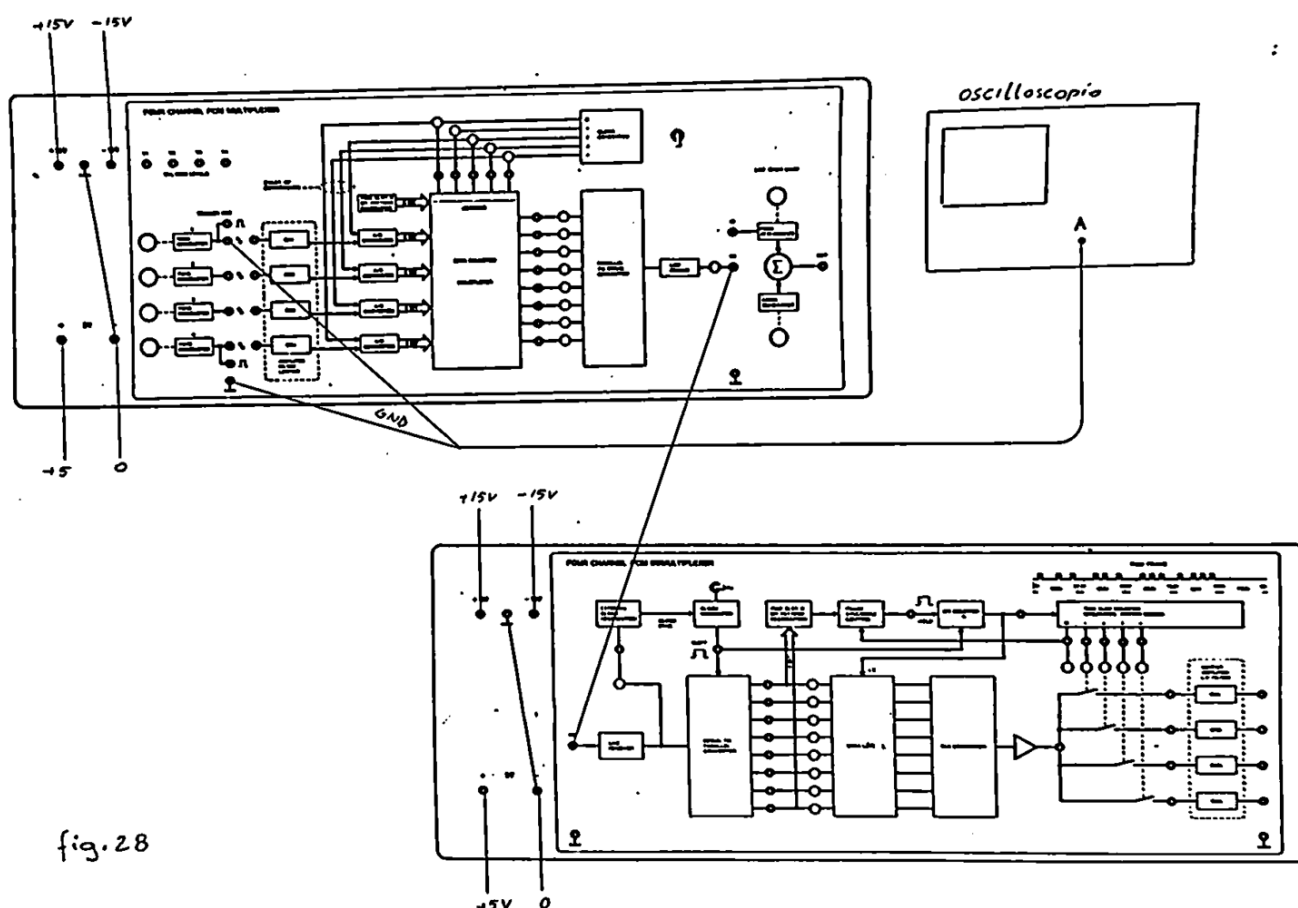
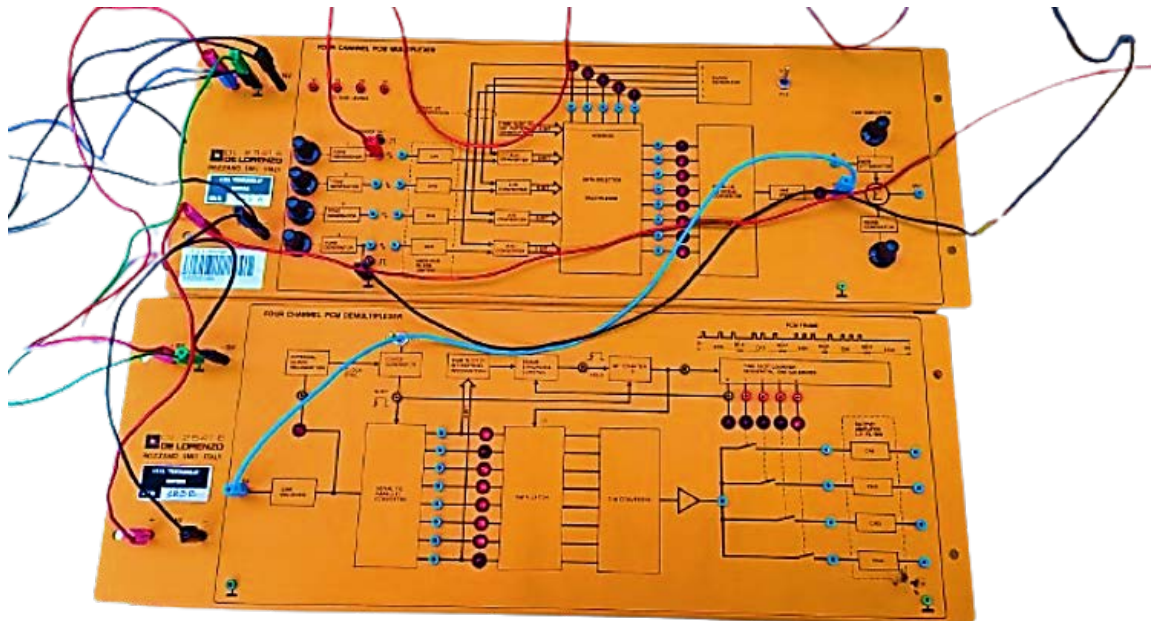


fig. 28

SCHEMA TOPOGRAFICO



Descrizione e caratteristiche degli strumenti e apparecchi utilizzati

Strumento	Tipo	Costruttore	Mod. N. Serie	Classe (precisione)*	Portata*
Generatore	Banco	De Lorenzo spa	ModUL314	nd	nd
Generatore di funzione	Digitale	Tektronix	GFG-8219A	$\pm 5\% + 1\text{Hz}$	$0.3\text{Hz} \div 3\text{MHz}$
Pannello 1	Trasmettitore	De Lorenzo spa	DL 2541A	N/D	15V
Pannello 2	Ricevente	De Lorenzo spa	DL 2541B	N/D	15V
Multimetro	Digitale	Mastech	M9803R	$\pm 0.3\% / \pm 0.8\% / \pm 0.5\%$ rdg	10A/400V/40M Ω
Cavi	Da laboratorio				

*I valori del multimetro sono nell'ordine di Corrente Continua, Tensione e Resistenza.

**I valori di precisione e portata provengono dalle schede tecniche allegate alla presente relazione.

Misure effettuate – Elaborazione delle misure- Formule adoperate

• PROVA 1: PRIMO GENERATORE DI TONO

DATI	
T/DIV	1ms/div
DIVx	3div
V/DIV	2V/div
DIVy	2div
F ideale	340Hz
Vpp ideale	4V

$$T = \frac{T}{DIV} \times DIVx = 1 \frac{ms}{DIV} \times 3\cancel{DIV} = 3ms$$

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{3ms} = \frac{1}{3 \times 10^{-3}s} = \frac{10^3}{3s} = 333Hz = 0,33KHz$$

$$V_{pp} = \frac{V}{DIV} \times DIVy = 2 \frac{V}{\cancel{DIV}} \times 2\cancel{DIV} = 4V$$

Confrontando il risultato della frequenza ottenuto, con quello ideale, notiamo una leggera differenza trascurabile, data la bassa precisione della strumentazione (oscilloscopio, generatori e pannelli). La prova può dirsi riuscita.

• PROVA 2: SECONDO GENERATORE DI TONO

DATI	
T/DIV	0,5 ms/div
DIVx	3div
V/DIV	2V/div
DIVy	3div
F ideale	680Hz
Vpp ideale	6V

$$T = \frac{T}{DIV} \times DIVx = 0,5 \frac{ms}{\cancel{DIV}} \times 3\cancel{DIV} = 1,5ms$$

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,5ms} = \frac{1}{1,5 \times 10^{-3}s} = \frac{10^3}{1,5s} = 666,7Hz = 0,67KHz$$

$$V_{pp} = \frac{V}{DIV} \times DIVy = 2 \frac{V}{\cancel{DIV}} \times 3\cancel{DIV} = 6V$$

Confrontando il risultato della frequenza ottenuto, con quello ideale, notiamo una leggera differenza trascurabile, data la bassa precisione della strumentazione (oscilloscopio, generatori e pannelli). La prova può dirsi riuscita.

• PROVA 3: TERZO GENERATORE DI TONO

DATI	
T/DIV	0,2 ms/div
DIVx	4 div
V/DIV	2V/div
DIVy	2,5div
F ideale	1360Hz
Vpp ideale	5V

$$T = \frac{T}{DIV} \times DIVx = 0,2 \frac{ms}{\cancel{DIV}} \times 4\cancel{DIV} = 0,8 ms$$

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,8ms} = \frac{1}{0,8 \times 10^{-3}s} = \frac{10^3}{0,8s} = 1250Hz = 1,25KHz$$

$$V_{pp} = \frac{V}{DIV} \times DIVy = 2 \frac{V}{\cancel{DIV}} \times 2,5\cancel{DIV} = 5V$$

Confrontando il risultato della frequenza ottenuto, con quello ideale, notiamo una leggera differenza trascurabile, data la bassa precisione della strumentazione (oscilloscopio, generatori e pannelli). La prova può dirsi riuscita.

• **PROVA 4: QUARTO GENERATORE DI TONO**

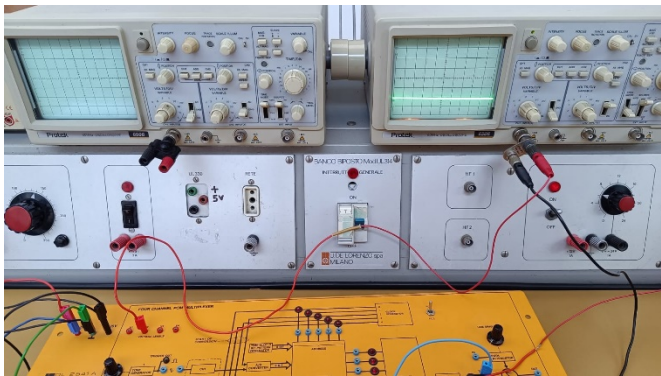
DATI	
T/DIV	0,1 ms/div
DIVx	4 div
V/DIV	1 V/div
DIVy	3 div
F ideale	1360Hz
Vpp ideale	3V

$$T = \frac{T}{DIV} \times DIVx = 0,1 \frac{ms}{DIV} \times 4DIV = 0,4 ms$$
$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,4ms} = \frac{1}{0,4 \times 10^{-3}s} = \frac{10^3}{0,4s} = 2500Hz = 2,5KHz$$

$$V_{pp} = \frac{V}{DIV} \times DIVy = 1 \frac{V}{DIV} \times 3DIV = 3V$$

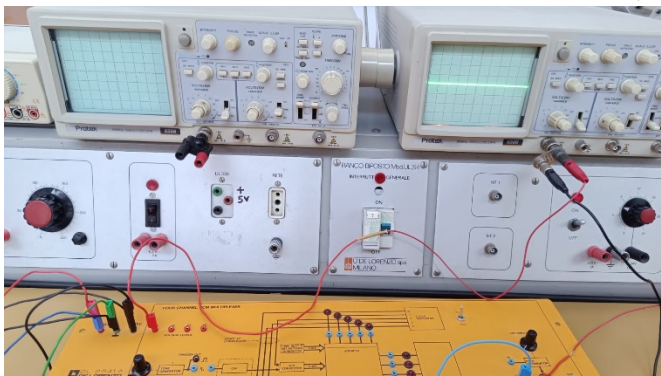
Confrontando il risultato della frequenza ottenuto, con quello ideale, notiamo una leggera differenza trascurabile, data la bassa precisione della strumentazione (oscilloscopio, generatori e pannelli). La prova può dirsi riuscita.

• **PROVA 5: TENSIONE DI RIFERIMENTO -5V**



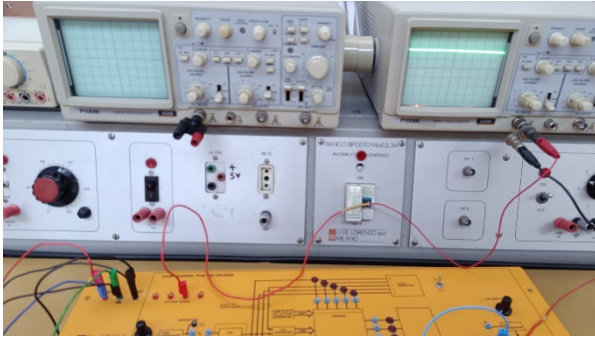
Come si può notare nell'immagine, la tensione di riferimento è stata riportata correttamente sull'oscilloscopio al valore di -5V.

• **PROVA 6: TENSIONE DI RIFERIMENTO -2,5V**



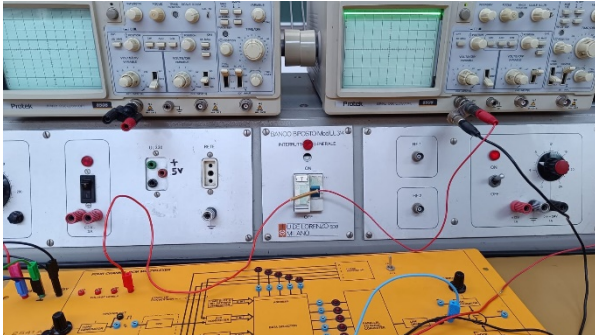
Come si può notare nell'immagine, la tensione di riferimento è stata riportata correttamente sull'oscilloscopio al valore di -2,5V.

- **PROVA 7: TENSIONE DI RIFERIMENTO +2,5V**



Come si può notare nell'immagine, la tensione di riferimento è stata riportata correttamente sull'oscilloscopio al valore di +2,5V.

- **PROVA 8: TENSIONE DI RIFERIMENTO +5V**



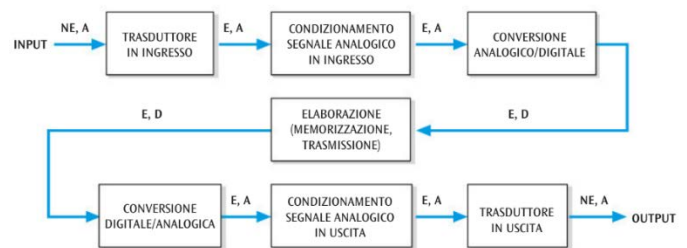
Come si può notare nell'immagine, la tensione di riferimento è stata riportata correttamente sull'oscilloscopio al valore di +5V.

Relazione - Teoria

Durante questa esperienza laboratoriale ci siamo occupati della conversione Analogico-Digitale e Digitale-Analogico, anche alla luce di quanto appreso in maniera teorica.

Possiamo dire che la natura è composta da grandezze fisiche che trasportano segnali analogici, ovvero segnali che possono assumere un insieme infinito e continuo di valori.

Il carattere analogico dei segnali sonori e visivi si mantiene in genere, anche se non sempre, nella loro traduzione in segnali elettrici. Tuttavia le moderne tecnologie di trasmissione, elaborazione e memorizzazione dell'informazione sono ormai quasi esclusivamente digitali, cioè l'informazione, qualunque ne sia l'origine, è rappresentata da combinazioni di bit, secondo opportuni codici. Il segnale analogico in ingresso, può essere elaborato da un sistema che presenti almeno le seguenti caratteristiche:



NE, A: segnale non elettrico, analogico (ad es. sonoro); E, A: segnale elettrico, analogico; E, D: segnale elettrico, digitale.
 TRASDUTTORE IN INGRESSO: traduce il segnale non elettrico in ingresso in un segnale elettrico (ad es. microfono).
 CONDIZIONAMENTO SEGNALE IN INGRESSO: operazioni per adattare il segnale alla conversione (ad es. amplificazione, filtraggio).
 CONDIZIONAMENTO SEGNALE IN USCITA: operazioni per adattare il segnale al traduttore d'uscita (ad es. amplificazione, filtraggio).
 TRASDUTTORE IN USCITA: traduce il segnale elettrico elaborato nel segnale non elettrico d'uscita (ad es. auricolare); in altri contesti, ad esempio nei sistemi di controllo, è detto anche ATTUATORE.

-TRASDUTTORE IN INGRESSO: traduce il segnale non elettrico in ingresso in un segnale elettrico.

-CONDIZIONAMENTO SEGNALE IN INGRESSO: operazioni per adattare il segnale alla conversione.

-CONDIZIONAMENTO SEGNALE IN USCITA: operazioni per adattare il segnale al traduttore.

-TRASDUTTORE IN USCITA/ATTUATORE: traduce il segnale elettrico elaborato nel segnale non elettrico d'uscita.

La traduzione in digitale di una grandezza analogica, comunque sia ottenuta, comporta sempre una perdita d'informazione. Infatti, come si è visto, i possibili valori di una grandezza analogica sono infiniti, e non possono quindi corrispondere biunivocamente alle combinazioni binarie di un codice digitale, che sono sempre in numero finito, perché è necessariamente finito il numero dei bit che si possono memorizzare in un sistema digitale. In altri termini, ciascuna combinazione di codice deve corrispondere a tutto un intervallo di valori analogici, per cui ci sarà sempre, conoscendo il risultato binario, un'incertezza più o meno grande sul valore analogico che l'ha determinato. Questa perdita d'informazione dovuta alla conversione viene chiamata errore di quantizzazione.

Supponendo che l'informazione digitale codifichi un numero intero non negativo (numero naturale) che indicheremo con D, il codice binario utilizzato per rappresentarlo è il binario naturale, quello cioè in cui i bit rappresentano potenze successive di 2 (a esponente intero ≥ 0). Se i bit utilizzati sono n, essi saranno indicati

con $b_0, b_1, b_2, \dots, b_{n-1}$ dove l'indice è l'esponente della corrispondente potenza di 2.

Se consideriamo i bit come numeri (uguali a 0 o a 1), si può scrivere:

$$D = b_0 2^0 + b_1 2^1 + b_2 2^2 + \dots + b_{n-1} 2^{n-1} = \sum_{i=0}^{n-1} b_i 2^i = (b_{n-1} \dots b_2, b_1, b_0)$$

Il funzionamento di un convertitore digitale/analogico (brevemente DAC, Digital to Analog Converter) è allora sintetizzabile nell'equazione:

$$V_o = Q \times D = Q \times \sum_{i=0}^{n-1} b_i 2^i$$

Il DAC produce cioè in uscita una grandezza analogica V (il più delle volte una tensione) proporzionale al numero in ingresso, codificato in binario, D .

La costante di proporzionalità Q ha le stesse dimensioni della grandezza di uscita (nel nostro caso quindi una tensione). Q è detto quanto della conversione, e rappresenta il grado di finezza con cui il DAC può ricostruire una grandezza analogica, come si vede considerando che esso coincide con la variazione minima dell'uscita, che si ha quando D cambia di 1, cioè quando cambia il bit meno significativo b_0 (LSB, Least Significant Bit).

Di solito i costruttori non specificano direttamente il quanto di conversione, ma piuttosto il numero n dei bit con cui è espresso il dato digitale in ingresso al DAC, e una grandezza di fondo scala, nel nostro caso tensione di fondo scala V_{FS} . La relazione fra quanto, fondoscala e numero di bit è:

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

Dove 2^n è il numero di combinazioni che si hanno con n bit. Questa relazione può essere anche vista come:

$$V_o = \frac{V_{FS}}{2^n} \sum_{i=0}^{n-1} b_i 2^i$$

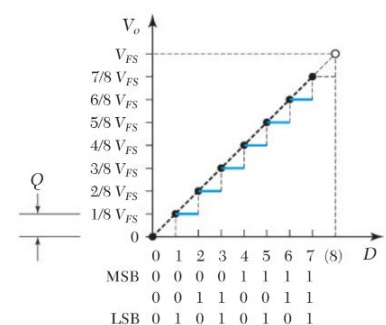
Considerando $2^n - 1$ il massimo valore assunto dal dato digitale, l'uscita massima è data da:

$$V_{oMAX} = \frac{V_{FS}}{2^n} (2^n - 1) = V_{FS} - \frac{V_{FS}}{2^n} = V_{FS} - Q$$

Il rapporto fra la variazione minima dell'uscita (cioè un quanto) e il fondo scala rappresenta la variazione relativa minima dell'uscita e dà una misura della risoluzione del DAC:

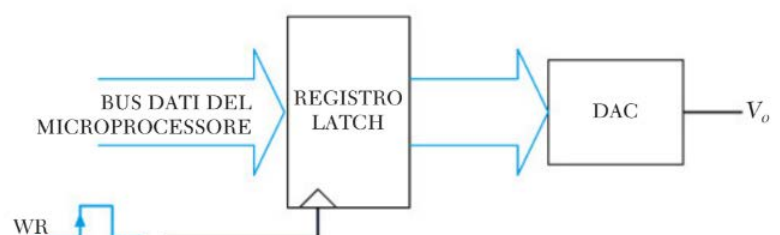
$$\frac{Q}{V_{FS}} = \frac{1}{2^n} = 2^{-n}$$

La transcaratteristica (o caratteristica di trasferimento) è la rappresentazione che lega la tensione in uscita alla parola digitale in ingresso. Nella figura accanto è riportata la transcaratteristica di un DAC a 3 bit.



Per interfacciare un DAC al bus di un sistema a microprocessore, è necessario interporre un latch (più precisamente, un registro parallelo di tipo D), per congelare il dato da convertire; questo perché la presenza sul bus del dato emesso dal microprocessore e destinato al convertitore dura solo il tempo di un ciclo macchina di scrittura (il ciclo istruzione, a cui corrisponde l'insieme delle operazioni relative all'esecuzione di una istruzione, è diviso in più fasi chiamate cicli macchina).

Il latch garantisce la costanza dell'uscita del DAC fino al successivo aggiornamento del dato. L'operazione di aggiornamento è tecnicamente un'operazione di scrittura su un periferico di output: la cattura del dato da parte del latch avviene su un comando che è dedotto dal segnale di WRITE del microprocessore ed è condizionato, tramite un decoder d'indirizzi, dal riconoscimento sull'address bus dell'indirizzo assegnato al DAC.



Solitamente, il registro è integrato sullo stesso chip del DAC. Esistono anche DAC a ingresso seriale, in cui il registro che memorizza il dato da convertire è SIPO (Serial Input - Parallel Output).

Gli ADC (Analogue to Digital Converter) fanno l'operazione inversa dei DAC ma mentre un DAC, al di là degli errori dovuti a limiti tecnologici, traduce esattamente il numero in ingresso in una tensione ad esso proporzionale, un ADC non può tradurre la tensione in ingresso in un intero esattamente proporzionale, perché i valori di tensione sono infiniti e continui, e i numeri interi in uscita non lo sono: tutto un intervallo di tensione che viene codificato con lo stesso numero. A parità di campo di variazione della tensione, più sono i bit disponibili, più sono i numeri possibili in uscita, più piccoli sono gli intervalli in cui il campo viene suddiviso e più è alta la risoluzione.

Detto anche qui quanto Q l'ampiezza del singolo intervallo di tensione in ingresso, la relazione tra la tensione d'ingresso V_i , e il dato digitale d'uscita $D_o = (b_{n-1} \dots b_2, b_1, b_0)$.

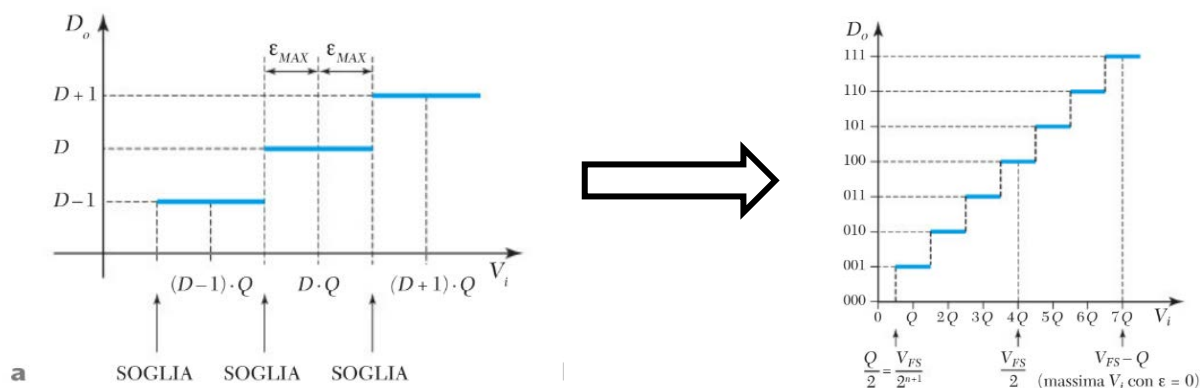


dove $\varepsilon \geq 0$ è l'errore di quantizzazione (per l'esattezza, l'errore in valore assoluto, essendo più propriamente l'errore $+\varepsilon$). Esso rappresenta l'incertezza con cui possiamo ricostruire la tensione analogica in ingresso V_i , dal dato numerico d'uscita. Infatti l'unica conoscenza che possiamo dedurre dall'uscita, è che l'ingresso è "intorno" al valore $Q \cdot D$. Il valore "vero" V_i , vi differisce (in più o in meno) di un valore non determinabile che è appunto l'errore di quantizzazione:

$$Q \cdot D_o - V_i = \pm \varepsilon$$

L'errore di quantizzazione è sempre inferiore ad un quanto e può essere minimizzato se si scelgono gli intervalli di quantizzazione in modo che si abbia $V_1 = Q \cdot D$ esattamente al centro dell'intervallo individuato da D (FIG. 2a): in

tal caso l'errore è contenuto in valore assoluto entro mezzo quanto ($\varepsilon \leq Q/2$) ed è nullo al centro dell'intervallo di quantizzazione.



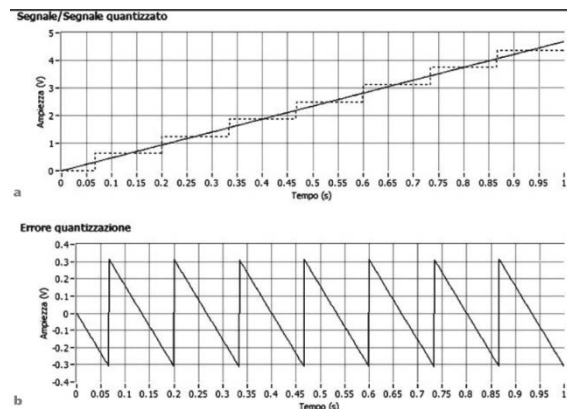
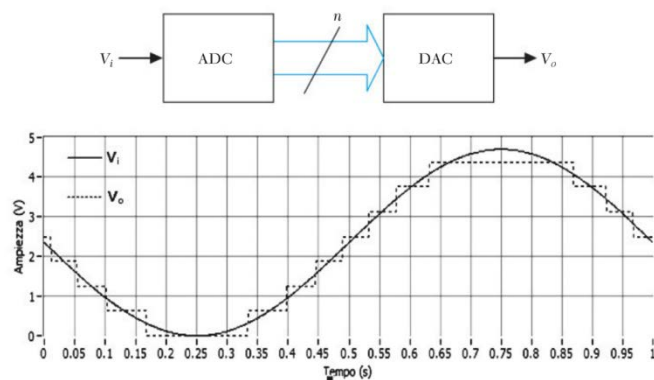
Il valore massimo per cui l'errore di quantizzazione è nullo è $V_{FS} - Q$ e l'errore è contenuto entro mezzo quanto:

$$V_{iMAX} = V_{FS} - Q + \frac{Q}{2} = V_{FS} - \frac{Q}{2} = \frac{2^{n+1} - 1}{2^{n+1}} V_{FS}$$

L'errore di quantizzazione si presta a un'interpretazione significativa, utile per caratterizzare le prestazioni di un DAC: può essere visto come rumore (noise) che si sovrappone al segnale originale. Un segnale analogico $V_i(t)$ variabile nel tempo viene convertito in digitale da un ADC e di nuovo riconvertito in un segnale analogico $V(t)$ da un DAC con la stessa risoluzione e lo stesso fondo scala (e quindi lo stesso quanto) dell'ADC. Trascuriamo i problemi legati all'acquisizione di segnali variabili nel tempo e al tempo di conversione, che qui sono influenti. Come si è visto, un valore istantaneo V_i viene codificato dall'ADC in un numero intero D legato a V_i da $V_1 = Q \cdot D \pm \varepsilon$, con errore di quantizzazione compreso nel mezzo quanto.

A sua volta D viene ritradotto dal DAC nel valore analogico $V_o = Q \cdot D$; il segnale ricostruito differisce così da quello originale proprio dell'errore di quantizzazione: $V_1 = V_i \pm \varepsilon$. In altri termini, nell'elaborazione digitale il segnale originale viene "sporcato" da un rumore $r \pm \varepsilon$. L'andamento nel tempo $r(t)$ di tale rumore dipende da quello di ingresso $v_i(t)$: se $v_i(t)$ è una rampa che va da 0 V a V_{imax} , l'errore varia ciclicamente e linearmente da un minimo di $-Q/2$ a un massimo di $+Q/2$, annullandosi quando l'ingresso è un multiplo esatto di un quanto. In altri termini il rumore $r(t)$ è un segnale a dente di sega alternato, di valori di picco

$$V_{rp} = \frac{Q}{2} = \frac{V_{FS}}{2^{n+1}} \quad \text{ed efficace} \quad V_{reff} = \frac{V_{rp}}{\sqrt{3}} = \frac{V_{FS}}{2^{n+1}\sqrt{3}} = \frac{Q}{2\sqrt{3}}$$



Se $V(t)$ non è una rampa, $r(t)$ cambia forma, ma resta abbastanza simile all'onda a dente di sega e, in particolare, cambia di poco il suo valore efficace. Nella caratterizzazione di un ADC assume un particolare valore il rapporto segnale/rumore:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{dB}} = 10 \log\left(\frac{P_i}{P_r}\right)$$

$\frac{P_i}{P_r} = \frac{V_{i\text{eff}}^2}{V_{r\text{eff}}^2}$ è il rapporto fra le potenze del segnale e del rumore, che qui, per il momento, si assume dato dal solo errore di quantizzazione.

Abbiamo quindi assunto che l'ADC abbia ingresso bipolare o che il segnale sia "spostato in su" da un offset pari al suo valore di picco. In quest'ultimo caso si trascura l'apporto al valore efficace della componente continua dell'offset, che non trasporta informazione.

Supponendo che il rumore sia un dente di sega:

$$\begin{aligned} \left(\frac{S}{N}\right)_{\text{dB}} &= 10 \log\left(\frac{V_{i\text{eff}}^2}{V_{r\text{eff}}^2}\right) = 20 \log\left(\frac{V_{i\text{eff}}}{V_{r\text{eff}}}\right) = 20 \log\left(\frac{\frac{V_{FS}}{2\sqrt{2}}}{\frac{V_{FS}}{2^{n+1}\sqrt{3}}}\right) = \\ &= 20 \log\left(2^n \sqrt{\frac{3}{2}}\right) = 20n \log 2 + 20 \log \sqrt{\frac{3}{2}} = \left(\frac{S}{N}\right)_{\text{dB}} \approx 6,02n + 1,76 \end{aligned}$$

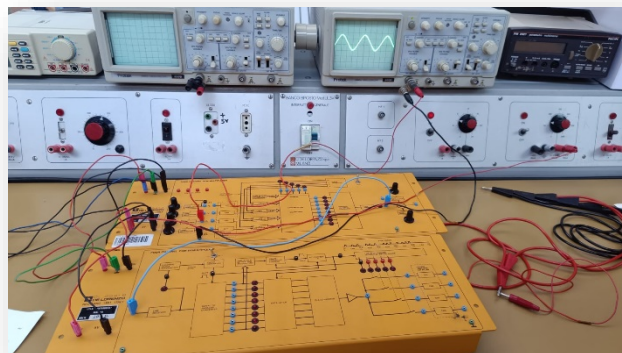
Cioè ogni bit di risoluzione in più fa guadagnare 6,02 dB sul rumore di quantizzazione.

Relazione - Pratica

L'attività laboratoriale intrapresa ha avuto lo scopo di utilizzare un sistema multiplatore/demultiplatore PCM, costituito dagli insiemi dei due pannelli DL 2541.

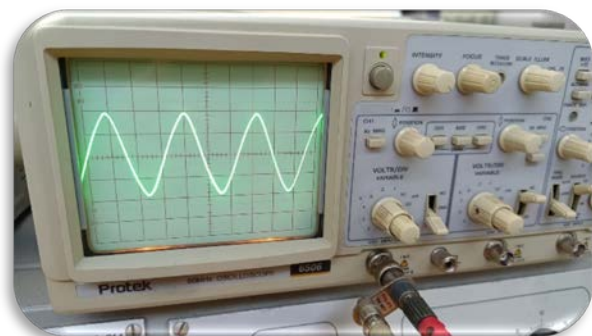
Per procedere con l'esperimento, è stato necessario avvalersi di strumenti specifici, tra cui un oscilloscopio a doppia traccia e un alimentatore stabilizzato in grado di fornire tensioni di +15V/-15V e +5V.

Prima di alimentare i pannelli, è stato fondamentale effettuare un'esauriente analisi dell'organizzazione dei suddetti componenti, attenendosi scrupolosamente alla descrizione fornita. È emerso che il pannello DL 2541A ospita il terminale trasmettente PCM, i generatori di trasmissione, i toni ausiliari e il simulatore, mentre il pannello DL 2541B contiene il terminale ricevente. Entrambi i pannelli richiedono un'alimentazione di +15V/-15V e +5V. È stato essenziale adottare la massima precauzione durante il collegamento dell'alimentazione per evitare eventuali danni derivanti da inversioni di polarità.



Fondamentale è stato stabilire un collegamento adeguato a terra per le tensioni di alimentazione al fine di rispettare le norme di sicurezza. L'analisi della disposizione dei blocchi sul pannello trasmettente ha permesso di identificare i 4 generatori di toni di servizio, i quali sono stati identificati come prodotti di un

unico generatore, successivamente sottoposti a filtraggio. Si è notato che, pur essendo rappresentati come blocchi separati, i segnali emessi mostrano costanza nei rapporti di frequenza, con la possibilità di variazioni nelle fasi reciproche in conseguenza della deriva dei valori componenti. Si è proceduto successivamente al collaudo dei segnali generati, valutando l'ampiezza massima e verificando l'accuratezza dei segnali ad onda quadra disponibili agli appositi terminali. Il simulatore collocato sul lato destro del pannello trasmettente è stato oggetto di un'attenta analisi, identificandolo come composto da un attenuatore lineare e un generatore di rumore artificiale, i quali possono essere dosati separatamente.



Una volta collegato il tutto come da schema elettrico, sono state eseguite una serie di prove, comprendenti il collegamento dei cavi di alimentazione e la verifica della corretta comunicazione tra il terminale trasmettente e quello ricevente tramite l'utilizzo di un cavo corto. L'alimentatore è stato acceso e configurato, assicurandosi che entrambi i deviatori che selezionano la frequenza di clock fossero posizionati su FC1 (320 kHz) sia per il trasmettitore che per il ricevitore. Utilizzando l'oscilloscopio, sono stati verificati i segnali di ogni generatore di tono e le altre forme d'onda disponibili, completando l'attività pratica con successo.

Le frequenze nominali disponibili sui pannelli sono 340, 680, 1.360 e 2.720 Hz. I segnali sono sinusoidali con buona approssimazione. L'ampiezza dei segnali può essere individualmente regolata fino ad un massimo di circa 8V pp. Durante le nostre prove siamo andati proprio a verificare tali frequenze, come dimostrato dai calcoli riportati precedentemente nella presente relazione. In più abbiamo verificato le tensioni di riferimento V1, V2, V3, V4, -5V, -2.5V, +2.5V, +5V, accessibili alle boccole.

Conclusioni

Durante questa prova laboratoriale abbiamo potuto osservare il funzionamento dei convertitori analogico-digitali e digitali-analogici, dando una veste pratica a quanto studiato teoricamente.

Nello specifico abbiamo utilizzato dei PCM per la nostra prova laboratoriale.

Un PCM (Pulse Code Modulation) multiplexor/demultiplexor è un dispositivo utilizzato nella trasmissione di segnali digitali attraverso canali di comunicazione. Il PCM è una tecnica di codifica che converte un segnale analogico in una sequenza di impulsi digitali. Un PCM multiplexor prende più segnali PCM provenienti da più sorgenti e li combina in un unico flusso di dati PCM. Questo flusso combinato può essere inviato attraverso un unico canale di comunicazione, permettendo di trasmettere più segnali utilizzando una banda passante inferiore rispetto alla trasmissione di ciascun segnale separatamente.

Il PCM demultiplexor, d'altra parte, riceve il flusso di dati PCM combinato e lo divide in segnali PCM separati, ognuno dei quali può essere indirizzato alla destinazione corrispondente. Questo processo permette di estrarre i segnali originali dalla linea di trasmissione e ripristinarli nella loro forma originale.

In sintesi, un PCM multiplexor/demultiplexor è un componente fondamentale nei sistemi di trasmissione di segnali digitali che consente di combinare e separare segnali PCM per la trasmissione efficiente e l'elaborazione dei dati.

Relazione n°4 di Telecomunicazioni

Bellamia Antonio 4Dinf