

Consiglio Nazionale delle ricerche

**ISTITUTO DI ELABORAZIONE
DELLA INFORMAZIONE**

PISA

IST. EL. INF.
BIBLIOTECA
Posiz. ARCAVIO

Sistema OAK/S
Un sistema multiuso per il trattamento e la sintesi
digitale di segnali in banda audio

G. Bertini, M. Marani

Nota interna B4-10 Maggio 1994

Giupno

Premessa

Come è apparso sempre più evidente in questi ultimi anni, la tecnologia digitale è in via di affermazione definitiva su quella analogica, anche se per talune problematiche quest'ultima rimane ancora l'unica strada percorribile. I motivi di tale cambiamento vanno ricercati soprattutto nell'enorme evoluzione che hanno avuto le tecnologie elettroniche per la realizzazione dei circuiti integrati, evoluzione tuttora ancora in corso grazie alle continue scoperte sui materiali semiconduttori e le loro proprietà.

La possibilità di implementare su di un singolo chip di silicio un numero sempre più grande di componenti elementari a costi sempre più contenuti, ha reso possibile la realizzazione di dispositivi di varietà e complessità enormi, non pensabili con la tradizionale tecnologia delle costruzioni elettroniche analogiche.

Infatti, l'integrazione su larga scala di circuiti analogici ha avuto un ritmo di crescita notevolmente inferiore a quello che caratterizza i circuiti numerici. L'impiego della tecnologia digitale permette inoltre di ottenere prestazioni nettamente migliori dal punto di vista della velocità di calcolo, cosa che ha consentito di rivolgersi con maggiori profitti verso elaborazioni in tempo reale.

I dati immagazzinati in forma digitale possono venire memorizzati per lunghi periodi con esigua occupazione di memoria e rimangono oltre che inalterati, disponibili per nuove elaborazioni.

Stabilità del sistema nel tempo relativamente alle prestazioni: normalmente il sistema analogico soffre del fatto che vi è normalmente discrepanza tra i valori nominali degli elementi circuitali ed i loro valori effettivi. Ciò introduce notevoli problemi di taratura e messa a punto del sistema reale derivato dal progetto teorico. La taratura, una volta fatta, non garantisce comunque una costanza di prestazioni nel tempo, poiché la componentistica analogica è soggetta ad usura e l'usura si traduce in una variazione dei valori dei componenti stessi: il sistema analogico deve essere tarato frequentemente, quando utilizzato per applicazioni ad alta precisione, ed essere sottoposto a condizioni operative il più possibile costanti. I sistemi digitali non sono soggetti a variazioni sui valori nominali dei componenti, che comunque trattano solo livelli discreti di tensione (0 ed 1), non sono soggetti a problemi di taratura (se non per quanto riguarda eventuali parti analogiche del sistema quali sezioni di amplificazione o di condizionamento del segnale) e non modificano le loro prestazioni nel tempo. Eventuali modificazioni relative all'ambiente di utilizzo del sistema non influiscono sul funzionamento del sistema stesso (entro i limiti ammessi dalle specifiche associate ai componenti utilizzati).

Consumi contenuti: grazie al fatto che i sistemi digitali a DSP impegnano tecnologia TTL e VLSI, i consumi di questi dispositivi sono normalmente molto contenuti.

Costi: il funzionamento di un sistema impiegante microprocessori DSP è regolato nella totalità dei casi da un apposito programma. Cambiando il programma, il sistema può essere impiegato per applicazioni diverse, ad esempio filtraggi digitali oppure modems: nel mondo analogico ciò comporterebbe l'acquisto delle apparecchiature corrispondenti.

Affidabilità del sistema: è fortemente connessa alla costanza delle prestazioni nel tempo ed alla resistenza alle variazioni che il sistema manifesta, riportandoci sostanzialmente a quanto detto in precedenza. Una volta configurato, il sistema analogico può essere facile da utilizzare quanto un sistema digitale che purtuttavia consente di operare con sistemi collaterali (computers) che **consentono interfacce utente molto potenti ed immediate**; le stesse interfacce che rendono facili all'uso i sistemi digitali, controllabili da terminali a tastiera e video, consentono pure ad essi, anche se progettati per applicazioni specifiche, di interagire con altri applicativi a loro volta operanti nell'ambiente più generale che li ospita, rendendoli **più versatili rispetto a quelli analogici** normalmente operanti in modo "stand-alone" (ovvero in modo "solitario").

Versatilità: tra i pregi della tecnologia digitale vi sono anche la maggior flessibilità e versatilità di impiego, dovute all'estrema semplicità nel trattamento e nella manipolazione dei segnali che essa offre. Infatti le operazioni che un dispositivo digitale deve compiere, specialmente nel campo di un apparato evoluto qual'è un microcomputer, non dipendono rigidamente dall'architettura del sistema stesso, ma dal programma di gestione di cui esso è dotato. Uno stesso dispositivo può dunque svolgere diverse elaborazioni con la semplice modifica o sostituzione del suo software di gestione.

Un ulteriore vantaggio nell'avvento degli elaboratori sta nella possibilità, in fase di progettazione di dispositivi e apparati, di procedere alla simulazione del loro funzionamento, per verificarne le caratteristiche e provarne le funzioni, senza la necessità di realizzarlo.

Un problema associato ai sistemi digitali che devono trattare la acquisizione, elaborazione e generazione di un segnale può essere quello della **risoluzione con cui si "descrive" il segnale** e di conseguenza della precisione con cui si genera o restituisce il segnale stesso: un sistema digitale non può certo raggiungere la capacità di risoluzione di un sistema analogico, che tratta con segnali continui e non discreti.

Per ovviare a tale circostanza poco favorevole ai sistemi digitali in genere, si deve operare con integrati che consentano di ottenere una elevata risoluzione, che consenta di descrivere un segnale con un numero di bit \geq a 16 e che siano dotati di una dinamica molto elevata; a tale scopo, è necessario utilizzare nella trasformazione dei segnali analogici in segnali numerici, dei **convertitori A/D del tipo "sigma-delta a sovracampionamento"**, tipicamente usati con successo nel settore dell' audio professionale in genere; dello stesso tipo devono essere i convertitori D/A.

La scheda OAK/S Ver. 1.0

La scheda OAK/S é uno strumento compatto, versatile ed economico, creato appositamente per la valutazione ed implementazione di algoritmi di elaborazione di segnali in tempo reale in ambiente **PC IBM**.

Inoltre, il software sviluppato per il **TMS320C26** può essere impiegato anche da processori più veloci della generazione successiva (quali il TMS320C50), di recente apparizione sul mercato.

L'interfacciamento via RS232 con il PC è tale da rendere la OAK/S, atta a lavorare con PC 286/386/486.

La OAK/S per la simulazione o correzione acustica di ambienti

La presenza del DSP, consente l'implementazione di algoritmi piuttosto complessi per la generazione di effetti quali eco, riverbero, chorus ecc.

La complessità degli algoritmi permessa dalla elevata velocità di calcolo, li rende di elevata qualità e "pasta"; il loro utilizzo può essere fondamentale in più settori:

Nell'ambito musicale puro è fondamentale disporre di effetti che permettano di posizionare nello spazio i suoni.

Quando questi sono in numero elevato è fondamentale poterli distribuire e disporre in zone differenziate dello spazio (spazializzazione) come fossero originati da sorgenti a loro volta poste in punti differenti dello spazio; per poter avere successo nella disposizione di un elevato numero di suoni è fondamentale che la "pasta" ovvero la qualità degli effetti (dipendente dalla precisione che si ha nel calcolo degli algoritmi) sia estremamente elevata.

Nel campo dell'acustica ambientale, disporre di strumenti capaci di generare effetti da associare ai suoni generati può migliorare dal punto di vista della percezione uditiva, il rapporto tra l'uomo ed un ambiente ridotto, od esageratamente ampio e riverberante, qualora l'ambiente fosse sede di concerti convegni, o semplicemente una stanza difficilmente modificabile dal punto di vista architettonico (sale di vecchi palazzi, musei, padiglioni ecc.) che debba essere momentaneamente adibita a spazio per contenere informazione in banda audio (convegno, concerto, lezione, seminario ecc.).

Nel caso dell'acustica architettonica, gli effetti possono essere proficuamente impiegati per simulare il comportamento di un ambiente sollecitato da emissioni di segnali in banda audio.

Va infine ricordata la possibilità offerta dai sistemi DSP di operare con grande efficacia filtri digitali (FIR, IIR), che sono indispensabili per il progetto di sistemi di equalizzazione acustica ambientale, utilizzabili per correggere gli errori introdotti sullo spettro armonico di un segnale da un ambiente dalle geometrie particolari.

La capacità di operare filtri di vario tipo, consente alla scheda OAK/S di essere impiegata anche nel campo delle applicazioni della **radiofrequenza**, in particolare può essere utilizzata per operare filtri selettivi (notch filters), filtri a fase lineare e filtri adattativi, per i quali può essere vantaggioso utilizzare algoritmi LMS (Least Mean Square).

La OAK/S per la sintesi di suoni

Per quanto riguarda la sintesi di suoni e la produzione audio in genere, la OAK/S è disponibile con programmi ed interfacce di vario tipo.

La sintesi di suoni può essere effettuata grazie alla velocità di calcolo del processore di cui è dotata, il DSP Texas TMS320C26, che consente di utilizzare algoritmi di generazione per lettura da tabella (oscillatori virtuali), di implementare tecniche di sintesi tradizionali (additiva, sottrattiva, FM) o di sperimentare tecniche di sintesi per modelli fisici, ecc.

Il software disponibile comprende inoltre una serie di programmi in assembler TMS320C26 in grado di implementare filtraggi di varia natura quali filtraggi di tipo FIR ed IIR nonché programmi che consentono di operare decimazioni ed interpolazioni sui segnali in ingresso ed in uscita dalla scheda.

Sempre in assembler sono stati sviluppati programmi in grado di implementare effetti quali riverbero, eco, chorus ed altri, utilizzabili per simulare o correggere la risposta di ambienti alla sollecitazione sonora.

Le interfacce di tipo Hardware consentono di acquisire segnali con la qualità Hi-Fi: vi è la possibilità di acquisire segnali analogici a 16 bit e ad una frequenza di 44.1 KHz tramite una scheda di interfaccia A/D D/A analogica ad alta fedeltà che usufruisce di una coppia di A/D a sovracampionamento della Motorola (DSP56ADC16) e di un doppio convertitore D/A Texas (TMS57014); vi sarà inoltre la possibilità di acquisire segnali da apparecchiature digitali (CD, DAT, ecc.) grazie ad una interfaccia digitale dotata del ricevitore digitale AES/EBU della CRYSTAL, CS8412. (in fase di sviluppo)

La OAK/S come stazione audiometrica digitale

In virtù dei vantaggi offerti dall'utilizzo della tecnologia digitale, la stazione audiometrica digitale basata sulla OAK/S consente all'utente di operare in modo estremamente semplice ed immediato, dando inoltre la possibilità di visualizzare istante per istante il procedere delle operazioni di misurazione e test sul paziente.

L'utilizzazione della stazione assieme ad un personal computer, consente inoltre di utilizzare tutte le risorse offerte da quest'ultimo al fine di arricchire di informazioni prelevate da banche dati che risiedono su hard-disk o prelevate via modem da banche dati remote, le operazioni di test.

Parimenti, parallelamente alle operazioni di test, possono essere operati confronti statistici o raffronti a casistiche che consentano una più facile e precisa diagnosi da parte dell'operatore.

I dati stessi ricavati dall'operazione di test possono essere archiviati a nome del paziente all'interno di una cartella che lo riguardi e che consenta di costruire, grazie ad archiviazioni in tempi successivi, un andamento temporale dell'evolvere o del regredire della patologia.

La possibilità, inoltre, di disporre di un vero e proprio sistema di calcolo con relativa memoria di massa, consente di creare una vera e propria banca di suoni da utilizzarsi nei test audiometrici, suoni che possono essere ottenuti per sintesi, per campionamento o prelevati tramite protocollo AES/EBU (digitale) da banche dati residenti su DAT (registratori digitali).

A tal proposito, possono essere registrati digitalmente e quindi immagazzinati, sempre su DAT, porzioni di segnale vocale (porzioni di parlato), da utilizzarsi nei test riguardanti la capacità del paziente di interpretare il parlato.

Ciò è molto importante se si pensa che in campo analogico possono essere generate con semplicità sinusoidi di elevata qualità ma è pressoché impossibile sintetizzare il parlato.

In tali circostanze, infatti, si fa normalmente uso di registrazioni effettuate da parlatori privi di inflessioni dialettali su nastro, con l'ovvio deterioramento dello stesso con l'andare del tempo (diminuzione evidente del rapporto segnale/rumore); tale deterioramento è inesistente quando si fa uso di un segnale vocale immagazzinato su DAT.

La possibilità di avere il segnale di test, qualunque esso sia, in forma digitale, consente inoltre una modifica fine dello stesso:

con ciò si intende che se ne può modificare l'involuppo temporale, lo spettro armonico e l'ampiezza.

Si può dunque modificare in modo fine la frequenza del segnale emesso e l'ampiezza, si può incrementare la frequenza con passo di 1 Hz e l'ampiezza con passo di 1 dB.

Il sistema fornisce separatamente su due canali in uscita i toni monofrequenziali; per test con segnale mascherato, si ha tono monofrequenziale su un canale e rumore bianco sull'altro; è possibile a fini di ricerca, generare segnali "cluster" di frequenze.

Caratteristiche Tecniche della scheda OAK/S

In figura 1 è presentato lo schema a blocchi della scheda: il cuore è il microprocessore DSP 320C26 della Texas Instruments.

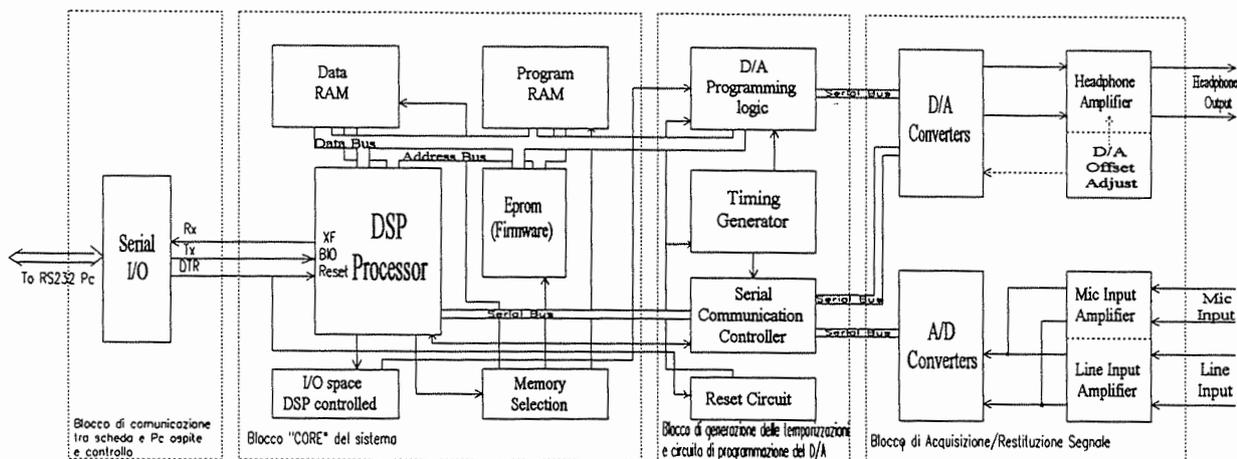


Fig.1 Schema a blocchi della scheda OAK/S Ver. 1.0

Le soluzioni circuitali adottate

La scheda è collegabile a qualsiasi elaboratore IBM, o compatibile, dotato di connettore per porta seriale. E' composta da quattro blocchi concettualmente differenziati:

Blocco di acquisizione / restituzione segnale, costituito da una sezione di ingresso che vede un doppio gruppo di condizionamento del segnale, in grado di amplificare segnali che provengano da linea (CD, DAT o registratori) o da microfono.

Tale sezione comprende anche una circuiteria per la regolazione dell'offset sul segnale che si presenta sui convertitori A/D, consentendo di operare con una maggior dinamica.

La conversione A/D viene effettuata da una coppia di convertitori a sovracampionamento del tipo sigma-delta capaci di una dinamica di 96 dB, garantendo una elevata qualità al segnale convertito.

Il segnale, dagli A/D, viene inviato per la memorizzazione su HD al processore DSP che lo passa a sua volta al PC ospite controllato dal software di gestione.

La sezione di restituzione è anch'essa costituita da un doppio convertitore D/A a sovracampionamento del tipo sigma-delta programmabile via software, capace di fornire segnale ad una frequenza di campionamento variabile da 32 a 48 kHz.

La programmabilità del D/A, consente di utilizzare campioni di segnale sia a 16 che a 18 bit spingendo il convertitore ad una dinamica di ben 108 dB.

Il convertitore può operare sul segnale convertito una attenuazione anch'essa controllabile via software che permette di passare dal silenzio alla dinamica massima in 4096 passi.

A valle del convertitore D/A vi è una sezione di filtraggio che "ripulisce" il segnale convertito per passarlo ad una sezione di amplificazione che porta i 108 dB resi disponibili dal D/A ad una dinamica finale di 180 dB.

Blocco di generazione delle temporizzazioni e circuito di programmazione del D/A, costituito da una sezione che si occupa della generazione delle temporizzazioni necessarie alla comunicazione separata tra A/D e DSP e tra D/A e DSP.

Come detto, le temporizzazioni che governano la comunicazione tra A/D e DSP sono indipendenti da quelle che governano la comunicazione tra D/A e DSP; questo consente tra l'altro di utilizzare il doppio D/A anche quando non dovessero essere presenti gli A/D, nel caso fosse necessaria la sola generazione del segnale e non la acquisizione.

La sezione di programmazione del D/A genera le temporizzazioni necessarie per la programmazione da parte del DSP, del convertitore D/A.

Blocco di comunicazione tra scheda e PC ospite e controllo, caratterizzato da una sezione che si occupa del trasferimento dei dati in forma seriale da e verso PC ospite.

Viene utilizzata per il caricamento del programma di DSP nella memoria della scheda e per il colloquio con il processore.

Blocco "core" del sistema: in tale blocco trovano posto il processore DSP, 32 kbyte di memoria programma, 32 kbyte di memoria dati e 4 kbyte di memoria EPROM all'interno della quale risiede il firmware che gestisce a basso livello le operazioni base del sistema riguardanti l'interazione fra i vari blocchi fin qui menzionati, e la comunicazione fra scheda e PC.

Si occupa inoltre di interpretare i comandi generati dal software ad alto livello residente sul PC ospite.

La presenza del DSP consente di effettuare una serie notevole di operazioni sul segnale che vanno dalla sua generazione da lettura tabellare, alla valutazione in tempo reale di grandezze associate al segnale generato (valore medio, valore efficace, valore di picco) all'analisi spettrale dello stesso.

Oltre a ciò, il DSP può operare filtri di vario tipo sul segnale sintetizzato o semplicemente prelevato da Hard Disk, per modificarne l'involuppo temporale od il contenuto spettrale.

DSP TEXAS TMS320C26

La famiglia dei TMS320 combina in modo estremamente utile le caratteristiche di elevate prestazioni nel campo dell'elaborazione dei segnali e grande quantita' di documentazione per sostenere il programmatore nella programmazione.

In un campo cosi' complesso per chi deve implementare algoritmi ed ottimizzare le prestazioni dei dispositivi, non e' affatto trascurabile la possibilita' di avere a disposizione ausilii software ed hardware oltreche' "tools" di sviluppo.

Detto cio', osserviamo in particolare il TMS320C26.

Anch' esso come la maggior parte dei DSP e' caratterizzato da un' architettura di tipo Harvard e, grazie al set di istruzioni piuttosto potente, e' in grado di eseguire 10 milioni di istruzioni al secondo (10 MIPS).

Grazie inoltre alla tecnologia CMOS impiegata per la creazione dei suoi componenti interni, si puo' dire che e' uno dei dispositivi a minor consumo a disposizione sul mercato.

Caratteristiche tecniche del TMS320C26

- ciclo di istruzione di 100 nanosecondi
- memoria dati RAM programmabile di 544 parole a 16 bit
- memoria programma ROM di 4K parole a 16 bit
- memoria esterna indirizzabile:
 - 64K parole a 16 bit di memoria dati RAM
 - 64K parole a 16 bit di memoria programma RAM
- accumulatore a 32 bit
- istruzioni per spostamenti di blocchi di dati
- interfaccia seriale a 5 Mhz
- interfaccia parallela a 16 bit
- ingressi di sincronizzazione per applicazioni multiprocessore
- interfaccia per la gestione di memoria esterna (detta Global Data Memory) condivisa con altri dispositivi

Il TMS320C26 possiede la flessibilita' necessaria per poter essere configurato in modo da soddisfare un ampio spettro di applicazioni.

Questo consente a tale processore di sostituire con successo, in sistemi particolari, dispositivi integrati di tipo "custom" (dedicati).

Alcune possibili configurazioni sono:

- sistemi cosiddetti "standalone" dove il TMS320C26 viene utilizzato da solo con la sua memoria di bordo, escludendo quella esterna
- sistemi di calcolo parallelo che prevedono piu' processori, con condivisione della "Memoria Globale"
- sistemi di elaborazione costituiti dal TMS320C26 e da un microprocessore ospite col quale scambiera' segnali di controllo

II CONVERTITORE DSP56ADC16

Il DSP56ADC16 è un convertitore A/D integrato su singolo chip, lineare a sovracampionamento, con frequenza di campionamento fino a 100 kHz. Esso impiega una tecnologia di Noise-Shaping del tipo Sigma-Delta del terzo ordine, con fattore di sovracampionamento pari a 64. Ciò comporta una dinamica di 96 dB ed un rapporto Segnale/Rumore pari a 90 dB per segnali con banda compresa tra 0 e 45.5 kHz, con un ripple in banda minore di 0.001 dB.

Il DSP56ADC16 è la scelta ideale per sistemi audio digitali di elevate prestazioni, come ad esempio dischi audio digitali (Minidisc), DAT, sistemi di elaborazione audio, sistemi di comunicazione in banda vocale..

Il DSP56ADC16 non richiede filtri anti-immagine e circuiteria Sample/Hold poichè tali blocchi fanno parte intrinseca della tecnologia Sigma-Delta. Esso può essere facilmente interfacciato con il DSP56001 ed altri tipi di DSP mediante una flessibile interfaccia seriale di cui dispone.

L'uscita può essere prelevata prima del filtro FIR di decimazione finale, nei casi in cui siano richieste maggiori velocità, minori ritardi di gruppo e una risoluzione di 12 bit per i livelli in AC.

Il DSP56ADC16 può ancora essere usato in congiunzione con un multiplexer di ingresso programmato per il minimo intervallo di campionamento (15 µsec) nella modalità di uscita Filtro a Pettine.

Le caratteristiche principali del DSP56ADC16 sono:

- Risoluzione di uscita a 16 bit a 100 kHz impiegando il filtro FIR
- Risoluzione di uscita a 12 bit a 400 kHz impiegando il filtro a pettine
- Dinamica di 96 dB
- Rapporto Segnale/Distorsione armonica totale di 90 dB
- Rapporto Segnale/Rumore di 90 dB
- Ripple in banda < 0.001 dB
- Frequenza di campionamento massima in uscita: 100 kHz filtro FIR; 400 kHz filtro pettine
- Frequenza di campionamento massima in ingresso: 6.4 MHz
- Massima frequenza di clock interno : 12.8 MHz
- stabilità in corrente continua: 10 bits.
- Tensione di alimentazione: Singola, +5V 10%
- Corrente di alimentazione: < 100 mA
- Interfaccia diretta con i processori DSP56001, 7720, 320CXX
- Ingressi totalmente differenziali

IL CONVERTITORE D/A TMS57014

Il TMS57014 è un convertitore analogico-digitale stereo ad un bit, contiene al suo interno un filtro digitale a sovracampionamento per ogni canale, il sovracampionamento è di 8 volte la fs.

Questo filtro è un FIR a 129 tappe disegnato appositamente per applicazioni in sistemi audio digitali quali CDP, DAT, CDI, amplificatori digitali ecc; i TMS57013/57014 sono comunque adatti a tutti quei sistemi che includono elaborazioni di suono in forma digitale quali strumenti musicali od applicazioni multimediali.

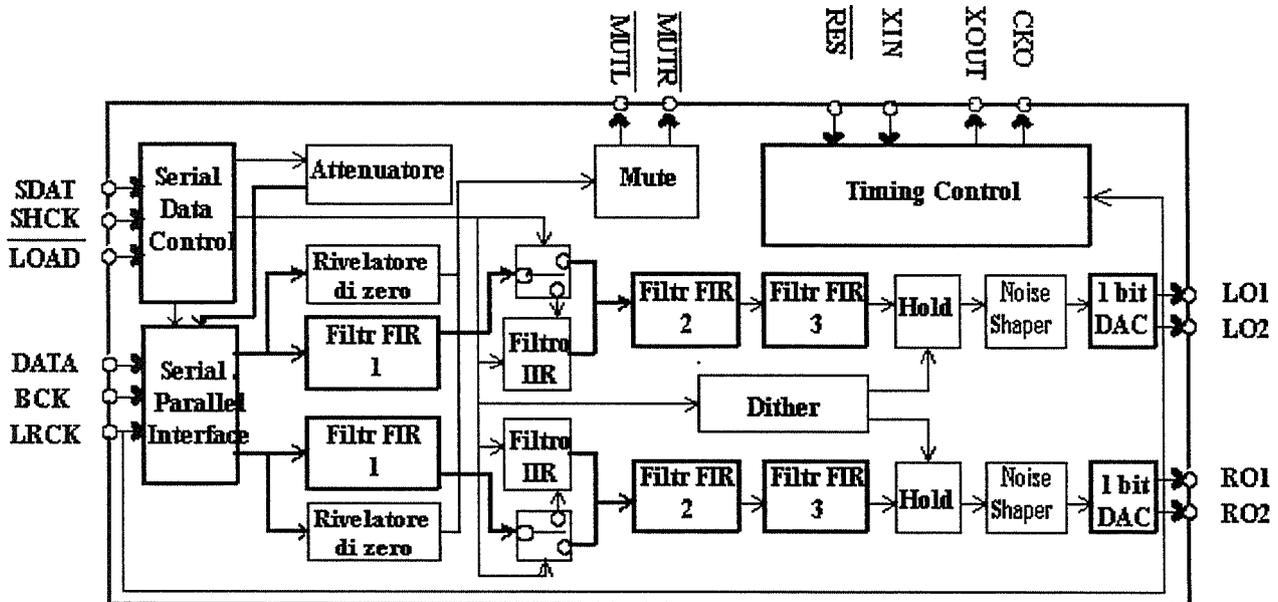


Fig.2 Schema a blocchi del convertitore TMS57014

Come è mostrato in figura 2, questo DAC è in grado di distribuire il segnale audio stereo che gli giunge attraverso una linea seriale (serial/parallel interface) su due canali che portano al mondo esterno i dati in formato PWM, formato che risulta facile portare alla forma analogica definitiva attraverso un filtro passa-basso.

I segnali audio in formato PWM giungono infatti ad LO1 ed LO2 (canale sinistro) e ad RO1 ed RO2 (canale destro) che divengono gli ingressi in forma differenziale del filtro passa-basso :



I dati che vengono inviati al TMS57014 attraverso la seriale hanno formato di 16 o 18 bit in complemento a due.

Il clock di bit BCK dev'essere uguale o maggiore di 32 o 36 volte la frequenza di campionamento dipendentemente dal formato dei dati (16 o 18 bit).

Il formato dei dati e la posizione del bit più significativo (MSB come primo bit trasmesso o come ultimo), viene decisa dall'utilizzatore che informa il DAC attraverso una seconda linea seriale dedicata alla comunicazione tra il DAC ed un micro controllore ospite.

Allo stesso modo possono essere implementate altre funzioni quali inserimento del "muting", della rivelazione dello zero, della funzione di attenuazione o della de-enfasi :

-con la funzione di "muting" attivata, l'uscita PWM fornirà solo zeri, il DAC viene "zittito"; tale funzione si attiva anche automaticamente nel caso il rivelatore di zero rilevasse che l'ingresso del DAC è nullo da almeno 60 o 300 ms (il valore è scelto dall'utilizzatore), ed è operativa in modo indipendente sui due canali.

-la funzione di attenuazione prevede un controllo dell'ampiezza del segnale di uscita attraverso 4096 passi ovvero, l'utilizzatore può controllare il volume del segnale di uscita con un potenziometro digitale a 4096 posizioni.

-una funzione di de-enfasi è disponibile per 4 differenti frequenze di campionamento (32, 37.8, 44.1 e 48 KHz).

Elenchiamo di seguito alcune delle caratteristiche più interessanti del TMS57014:

- Noise Shaper del terzo ordine di tipo Sigma Delta (l'effetto del Noise Shaper è mostrato in Fig. 3)
- Banda di ingresso 20 KHz
- Ripple in banda passante +/- 0.002 dB
- Attenuazione di fine banda -75 dB
- SNR 96 dB
- THD 0.003%

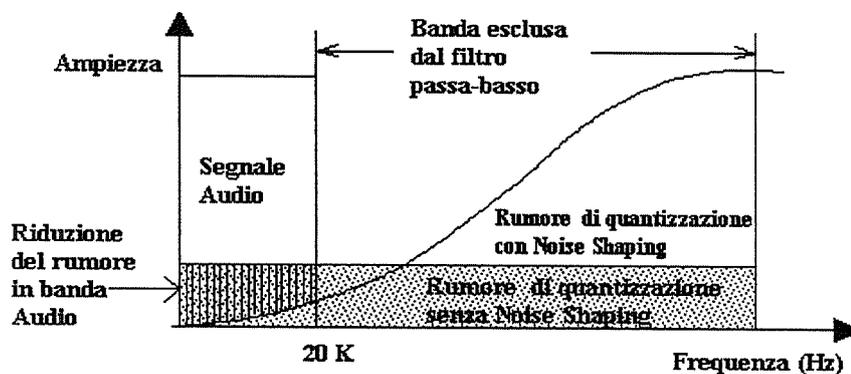


Fig. 3 Effetto del Noise Shaper