

Analogico-digitale

Vediamo frequentemente ragazzetti spippolare con quella meraviglia che sono i Tablet oppure con i personal computer. Sono più bravi di me ma... “Signore non sanno quello che fanno!”.

Quando installavamo complessi autocommutatori telefonici ancora a relais nei piccoli paesi di campagna, eravamo soliti dire che se la vecchietta sapesse cosa succede quando alza il telefono, non telefonerebbe mai.

Bene, ormai il digitale ci pressa da tutte le parti: ormai la TV distribuisce col digitale terrestre e la radio si sta preparando per il temuto DAB. Gli inglesi sciolgono l'acronimo con Disappointing Audio Broadcast.

Ma veniamo al nocciolo della tecnica digitale, o numerica, per capire il quale dobbiamo partire di lontano, addirittura dall'800 con un certo Boole .

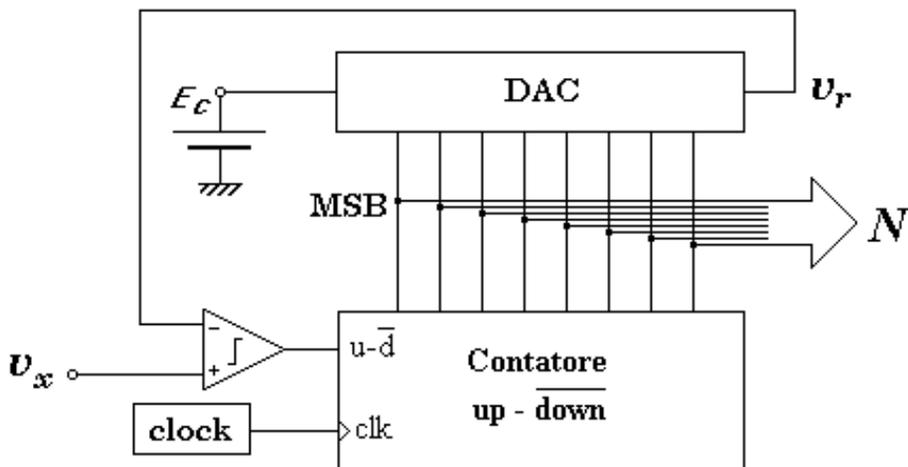
Una misura a distanza

Se vogliamo fare una misura, per esempio elettrica, a distanza, dobbiamo connettere l'apparato tramite una lunga linea con gravi problemi di precisione data l'aleatorietà dei parametri di quest'ultima. Se poi dobbiamo ritrasmettere questa misura gli errori si sommeranno ad ogni traslazione.

Piuttosto la soluzione sarebbe un addetto sul luogo che legge la misura e la trasmette in numeri a chi occorre.

Col digitale, ovvero con una tecnica numerica, accade l'equivalente.

Il funzionamento



Convertitore A/D

Se noi facciamo crescere un potenziale all'avanzare di un contatore, in modo che al primo passo ci siano, per un esempio sulla tensione, 1 mV, al secondo 2, al terzo 4, all'ottavo 256 millivolt, ed ogni tanto la compariamo con la tensione da misurare (dopo averla ridotta da digitale ad analogico con un convertitore D/A, in questo senso, cosa molto semplice), presentandola ad un rivelatore di zero, possiamo arrestare il contatore appena le due tensioni sono identiche. A questo punto ci troviamo un numero sul contatore che possiamo trasmettere su qualsiasi linea telefonica, appunto come numero con semplici tecniche.

Il byte

Noi considereremo che il contatore esplori una tabella formata da 8 caselline(byte) ognuna delle quali si può trovare a zero od a 1 ovvero nel caso classico, 0 volt o 5 volt. I caselline le chiamiamo bit e le prime che esploreranno saranno considerate di un peso minore di quelli seguenti nella forma: 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256. Saremo noi a dare il significato di questa grandezza ed il significato del byte per intero.

Questo può essere un'istruzione da dare alla logica di un computer, può essere un numero da 1 a 256, uno con segno, da - a + 128, un numero decimale da 1 a 99, una rappresentazione esadecimale da 0 a 9 seguito da A fino a F. Può essere un carattere da a a z , maiuscole minuscole e simboli, fino a 256 diversi.

La scelta tra i significati si fa noi decidendo la posizione da dargli sulla memoria del computer. Un contatore di programma troverà i vari byte nell'ordine dato dal softarista ed ogni byte da il significato al seguente. Guai se il contatore si impapera!

Quando la macchina digitale esplora il banco determinato deve partire prima da un istruzione che può dite trasferisci il byte seguente su un' unità aritmetici-logica ALU, su un dispositivo di uscita, su una memoria leggi e scrivi ad un determinato passo, fai saltare il contatore fino ad una determinata posizione.

Le operazioni logiche

Ma vediamo la situazione dal punto di vista aritmetico.

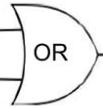
Conosciamo le operazioni che si possono compiere tra i numeri decimali. Ma qui abbiamo due sole possibilità o 1 o zero, o vero o falso. Possiamo sommare benissimo un bit con l'altro con un'operazione che si chiama OR.

AND $a \wedge b$
 out = 1 per $a = 1$ e $b = 1$



1+0 fa 1; 0+1 fa 1; 0+0 fa 0, ma 1+1 non può fare che zero e porto uno (Nell'ottetto del byte significa che l'uno va nella casella del peso successivo).

OR $a + b$
 out = 1 per a oppure $b = 1$



Poi c'è l'operazione AND ovvero $0 \times 0 = 0$, $0 \times 1 = 0$, $1 \times 0 = 0$, $1 \times 1 = 1$. Ciò significa che nell'OR, che si materializza in un circuito logico integrato di produzione, basta un'entrata vera per dare uscita vera, mentre nell'AND solo con due ingressi veri avremo l'uscita vera. Possiamo procurarci in "ciccia" queste funzione in forma di chip integrato ed abbiamo la scelta tra OR, AND, NEGAZIONE (NOT ovvero inversione 1,0, 0-1), NOR e NAND, in qual caso

NOT
 $\overline{1} = 0$
 $\overline{0} = 1$



nell'AND per avere uscita 1 (vero) dobbiamo avere entrambi gli ingressi a 0 (falso)

Algebra booleana

Possiamo così montare una certa quantità di chip con varie funzioni ottenendo alla fine un risultato di uscita opportuno per ogni combinazione di ingressi.

Equazioni canoniche.

$$\overline{a} = \text{NOT } a$$

$$+ = \text{OR}$$

$$\wedge = \text{AND}$$

$$\overline{a} \wedge \overline{b} \wedge \overline{c} \wedge \overline{d} \wedge \overline{e} \wedge f \wedge g \wedge h = 1$$

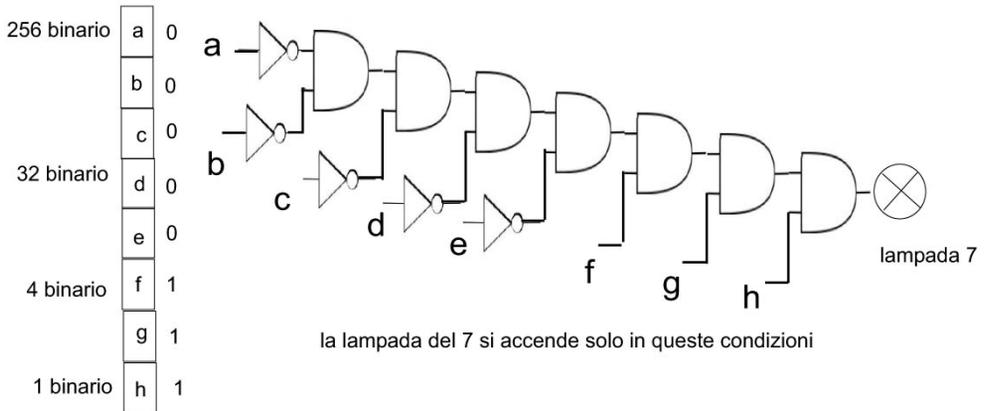
ovvero

$$(\overline{a} \wedge \overline{b}) \wedge (\overline{c} \wedge \overline{d}) \wedge (\overline{e} \wedge f) \wedge (g \wedge h) = 1$$

Noi dobbiamo sapere cosa vogliamo e riportarlo in una tabella per esempio se vogliamo che l'uscita sia vera, 1 o 5 volt per fare tirare un relais solo con una certa combinazione d'ingressi dobbiamo ricavare l'equazione dalla tabella che facciamo. In figura vediamo l'operazione

che facciamo per ricavare l'equazione logica e di conseguenza la disposizione di componenti per fare accendere una lampadina quando appare il numero binario 7. .

1 BYTE di 8 BIT



7=00000111

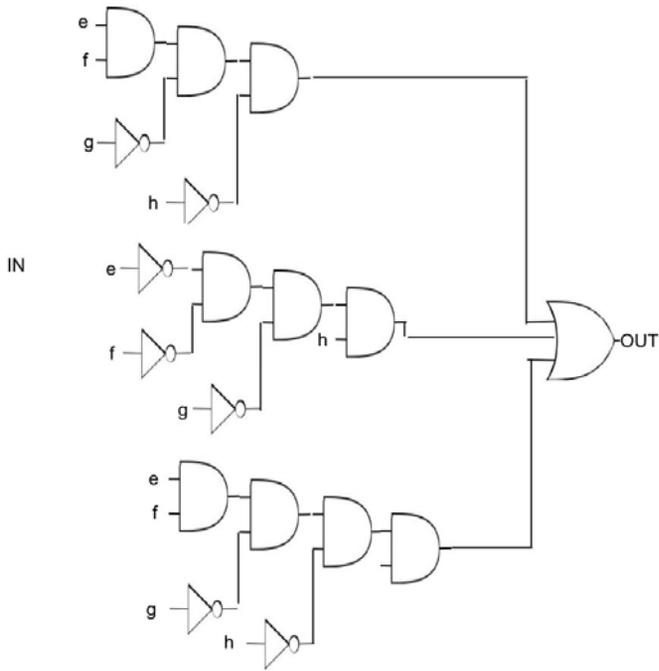
Quattro ingressi

Altrimenti, se abbiamo quattro ingressi ne scriviamo la tabella della verità e poi consideriamo solo le righe che danno risultato 1. Facciamo l'AND dei componenti negando gli zeri. Poi facciamo l'OR con gli AND dei righe successivi. Ne risulterà un'equazione che rappresenta la disposizione dei componenti. Ma non basta: l'equazione si può semplificare con passaggi algebrici riducendo o mettendo in evidenza i termini oppure con una potente operazione logica che da a negato OR b negato uguale a a AND b, negato che non esiste sul decimale.

ingressi				uscita
e	f	g	h	
1	1	0	0	1
1	0	1	1	0
0	0	0	1	1
0	1	1	0	1

considera solo i righe con risultato 1

$$e \wedge f \wedge \bar{g} \wedge \bar{h} + \bar{e} \wedge \bar{f} \wedge \bar{g} \wedge h + \bar{e} \wedge f \wedge g \wedge \bar{h} = 1$$



Continua

II parte

Torniamo alla conversione A/D

Noi abbiamo visto con un solo dato di una misura ma se noi abbiamo a che fare con un segnale alternato di qualunque forma d'onda lo possiamo trasformare in una serie di numeri digitali da memorizzare in un banco di memoria. Si osserverà per un istante l'onda in esame e faremo il passaggio A/D. Subito dopo ripetiamo l'operazione con i punti successivi dell'onda. Questo si chiama campionare (per poi convertire). Il segreto è che il campionamento dovrà ripetersi ad una frequenza doppia di quella che esaminiamo, ovvero dobbiamo prendere almeno due campioni per ciclo. Con una rapidità incredibile convertiremo i valori appena campionati. Chiaramente questo processo richiede tempo ed i primi tempi si poteva operare solo con segnali provenienti da cardiografi od encefalografi. La velocità dei processi aumentò fino ad essere adottata su segnali audio, poi su medie frequenze da 18 kHz, poi addirittura sui segnali delle onde corte. Questi ultimi casi li troviamo nella radio.

Proprietà del segnale digitale

Il vantaggio di questa conversione è dato dalla potenza delle operazioni che si possono fare sul digitale: per amplificare di 4 volte basta scorrere di due bit a sinistra la parola digitale. Si possono facilmente con particolari algoritmi, sempre agendo su campioni binari, ricavarne le funzioni trigonometriche (per esempio sintetizzare una sinusoidale) e le funzioni esponenziali. Possiamo ricavare la trasformata di Fourier di una sequenza di segnale, tracciando il contenuto nel dominio delle frequenze anziché nel tempo, realizzare potenti filtri passa alto, passa banda, passa basso o notch semplicemente operando sulla successione dei segnali.

Nelle radio attuali, che si campionano la MF che la RF dobbiamo fare un campionamento a frequenza doppia della massima da esaminare. Però si devono filtrare analogicamente prima dell'ingresso le frequenze superiori alla portata del campionamento: se andiamo a campionare le frequenze più alte avremo il fenomeno dell'Aliasing, ovvero si creano fastidiose risposte spurie nei punti più strani dello spettro. Talvolta si può sfruttare il sottocampionamento per convertire ad una frequenza più bassa, ma con tecniche particolari.

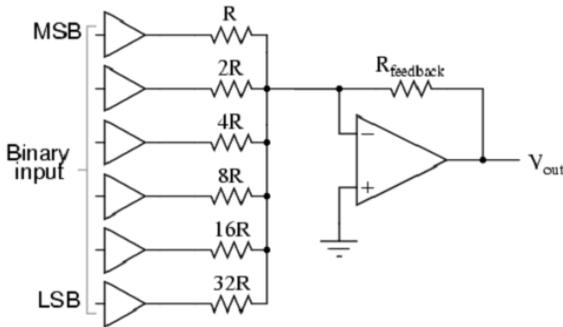
Dato che noi campioneremo le onde corte ad una frequenza di 60 Megahertz, per infine trovare un segnale con 3 kHz di banda, nella catena di funzionamento potremo fare una decimazione dei campioni risparmiando tempo e memoria.

Al contrario potremo sovra campionare, vedi sigma gamma conversion, ed uscire con 1 bit solo invece che (generalmente) campioni di 12 bit. Così invece che un flusso di canali paralleli metteremo in fila tutti i bit alla velocità strepitosa consentita dalle moderne tecniche e favolosi algoritmi.

La ricostruzione del segnale analogico

Arrivati alla fine del processo si dovrà tornare in analogico per fruire dei

6-bit binary-weighted DAC



risultati. Questo si fa presentando il byte ad un semplice dispositivo costituito da resistenze pesate ed un integratore. L'uscita seguirà la disposizione dei bit più o meno significativi del campione digitale.

Ricevitore moderno

Nei moderni ricevitori è stata riscoperta la tecnica della ricezione omodina, a media frequenza zero. Il segnale in ingresso viene mescolato con due oscillatori alla frequenza del segnale di ingresso, sfasati tra loro di 90 gradi, ovvero uno sinusoidale l'altro cosinusoidale. La combinazione in uscita presenta due canali uno in fase, contenente la modulazione, l'altro contenente la fase che si fa tornare indietro col criterio di phase lock loop. Oltre tutto se sommiamo o sottraiamo quei segnali, ricaveremo i due diversi segnali LSB e USB della SSB.

Queste operazioni si possono fare con sistemi analogici o con sistemi logici. Per esempio un mescolatore digitale significa moltiplicare il segnale in ingresso col seno o col coseno della frequenza di conversione.

Purtroppo gli algoritmi operativi per queste funzioni sono molto riservati e solo per gli addetti. Noi ci possiamo fare solo un'idea della meraviglia risultante.

La trasmissione

Un altro aspetto interessante riguarda la trasmissione a distanza dei campioni digitali. Nell'interno della macchina logica la comunicazione di dati in forma di ottetti avviene tramite un bus ad 8 fili e la gestione della successione dei segnali da un clock o qualche dispositivo anticollisione. A distanza dobbiamo serializzare i byte badando al sincronismo. Inoltre avviene un fenomeno che per la prima volta fu notato per la telegrafia nei cavi transatlantici: la trasmissione di dati allo stesso potenziale, ovvero i 5 volt dell'1, polarizzano la linea bloccando la trasmissione. Nei cavi si provò anche a trasmettere con un Ruhmkorff con risultati disastrosi. Si risolse il problema mandando alternativamente impulsi positivi o negativi. Nelle linee dati si fa uguale: gli uni sono trasmessi alternati con segnale positivo o negativo. Rimane il problema per le lunghe sequenze di zeri e noi dovremo simulare un 1 ogni certo numero di 0.

Poi si deve creare un protocollo tra trasmettitore e ricevitore, una specie di galateo col quale si presentano e si gestiscono i dati. Tra l'altro controlli di parità ed altri bit ridondanti che consentono al ricevitore di ricostruire bit erronei. Ricordiamo che con la telescrivente si gestivano circa 50 bit al secondo, coi personal computer di metà anni '70 fino ad 1 mega al secondo, ora ancora 3000 vpiù velocemente. Per la trasmissione su linea si iniziò ad installare le fibre ottiche che consentivano velocità superiore, ma non si era finito di installarle che un geniale algoritmo permise ad andare a 100 megabit secondo su normale doppino telefonico.

Tutto questo senza inventare niente ma solo con l'aiuto della tecnologia.

Carlo Bramanti agosto 2013