

In pratica per compensare una sonda bisogna soddisfare la relazione: $R_c C_p = R_s C_s$ (17)

Come faccio a garantire quella relazione? Si manda con segnali d'ingreso un'onda quadra. Se sull'oscilloscopio vedo un'onda quadra è compensata, altrimenti devo modificare la compensazione. Come si fa? Si prende la sonda compensata. Si collega ad un generatore a fase d'onda Σ e agisce sul condensatore C_s . Tra i cranti Aux dell'oscilloscopio c'è un generatore a fase d'onda quadra.

Per alte frequenze si dimostra che le impedenze ottimali sono dell'ordine dei 50Ω .

VOLTMETRI NUMERICI (numerici, digitali).

Fotografano la tensione ad un certo istante e restituiscono il valore numerico su un voltmetro digitale.

Ha 2 funzioni distinte:

- campionatore
- convertitore A/D

Non ci interessa come mettere insieme ~~due~~ campionature.

Numeri al posto dell'indice:

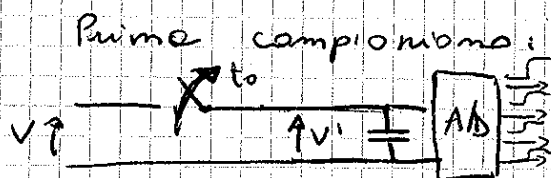
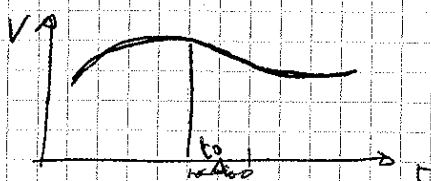
- non ci sono errori nelle letture (posso dare lo strumento in mano a chiunque)
- lo strumento può essere letto anche al buio.
- non ci sono parti in movimento (no attriti)
- oggetto più robusto
- lo strumento elettromeccanico ha tempi di risposta dell'ordine del secondo, quello digitale ha tempi di risposta del ms, μs .

Diffetti:

- il costruttore tende a dare molte cifre
- tende a non dare l'informazione sull'evoluzione della grandezza.
- non permette la lettura a colpo d'occhio

Lo strumento base è un voltmetro.

Convertitore A/D



valore costante di V_i

A trasformare un analogico in digitale ci vuole un certo tempo. (Δt_c)

Esistono convertitori che fanno in modo che Δt_c sia il più breve possibile (convertitori SPOT) (Max freq campionamento $\frac{1}{\Delta t_c}$). Nei convertitori reali è possibile che V' vari

un po' nel tempo durante la conversione. Per questo si tende a fare Δt_c piccolo. Un altro modo è mettere un amplificatore Sample & Hold per mantenere V' costante.

Il Sample & Hold costa quasi quanto un convertitore.

Convertitori a media (o a integrazione) garantiscono che viene convertito il valore medio del segnale nell'intervallo Δt_c . Questi convertitori hanno un Δt_c elevato (in certi casi è scegliibile dall'utente).

Spot: freq max campionamento 5-6 GHz \rightarrow Poco cari

Integrator: ~~5-6 GHz~~ Da freq 1 kHz a 0,1-0,01 Hz \rightarrow Costosi

CONVERTITORI SPOT: si confronta il valore del segnale V_1 con quello V_2 . Quando sono uguali fornisce il segnale 1.
Un convertitore è un insieme di ~~comparatori~~ comparatori

-Flash: ha tanti comparatori quanti sono i livelli accettati - 1
I livelli sono fatti con un partitore di tensione.

I bit vanno ad una rete combinatoria. È un convertitore costoso. (Per 8 bit ci sono 255 comparatori), inoltre è ingombrante. In genere hanno 4-6 bit in uscita. Al max 8 bit. L'impedenza dell'ingresso è pari all'impedenza del singolo comparatore diviso il no dei comparatori. Di conseguenza R_{in} è piccola. Inoltre i comparatori non sceltano tutti insieme. Nanchette davanti ad un flash non si mette un S&H. Si spera che il segnale d'ingresso si muova poco. Posso mettere un filtro pass basso davanti al flash che ha l'effetto di rendere la curva un po' più costante. Il condensatore rende la fase e quindi più nodifia le forme d'onda in modo costante.

I flash si trovano negli oscilloscopi digitali, nei sistemi televisivi, in sistemi di automazione

- Conversione ad approssimazioni successive: convertitore più comune - fatto da 3 oggetti:
- comparatore che confronta il segnale d'ingresso con un segnale analogico generato all'interno del convertitore
 - convertitore digitali-analogico genera il segnale di confronto
 - rete combinatoria (Registra ed approssimazioni successive). Riceve dal comparatore l'informazione e decide il valore che deve dare al D/A

La rete combinatoria non è componente di accuratezza.

Il DAC dà informazioni sull'accuratezza: mantette utilizzate di quantizzazione.

Pratica di conversione del SAR. Si comincia e mette sola il comparatore dice differenza pos. o neg. Si butta via quello sbagliato e si divide n 2 il restante.

Esempio: parlato 16 V (4 bit) Ten. ingresso 11.2 V

	Codice	Tensione	Confronto
Paso 1:	1000	8 V	DAC minore
Paso 2:	1100	12 V	DAC maggiore
" 3:	1010	10 V	DAC minore
" 4:	1011	11 V	fine.

Tanti passi quanti il n° di bit

Questo convertitore ha bisogno che la tensione sia il più costante possibile.

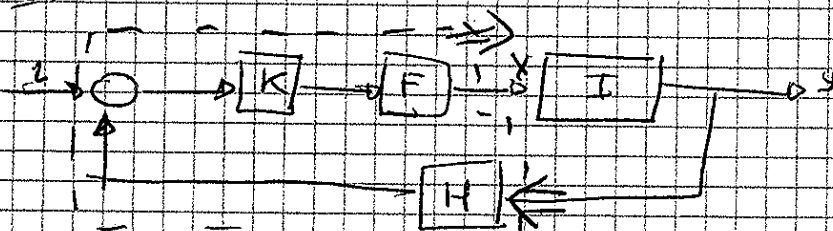
Pro: poco costoso

Contro: non veloce del flash e richiede tensione d'ingresso stabile

CONVERTITORI D/A

L'accuratezza del DAC definisce l'accuratezza del convertitore ad approssimazioni successive. Tuttavia i DAC hanno anche divise proprie.

Esempio:

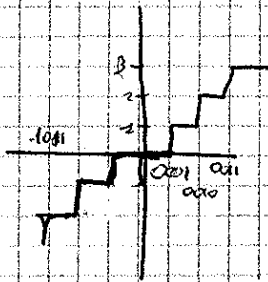


Questo controllo può anche essere realizzato mediante un calcolatore. Quindi segnali DIGITALI

Di conseguenza è necessario un DAC e un ADC, inoltre sono necessari degli attuatori che trasfere i mW in kW. È inoltre necessario un trasduttore (sensore) che converta un segnale misurato in tensione (o corrente), le caratteristiche dell'ADC contribuiscono all'errore nel calcolo della funzione di trasferimento.

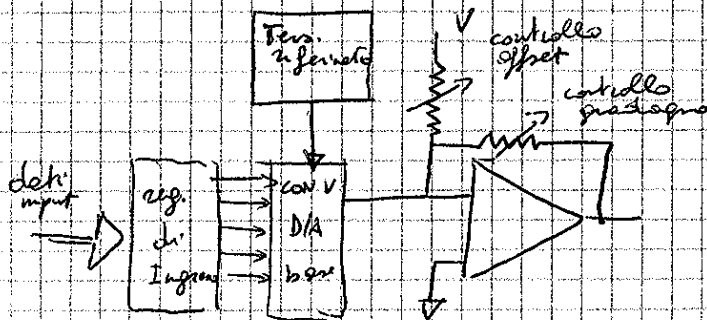
$$e_{\frac{1}{2}} = \text{entità } e_{\text{ADC}}$$

Caratteristiche

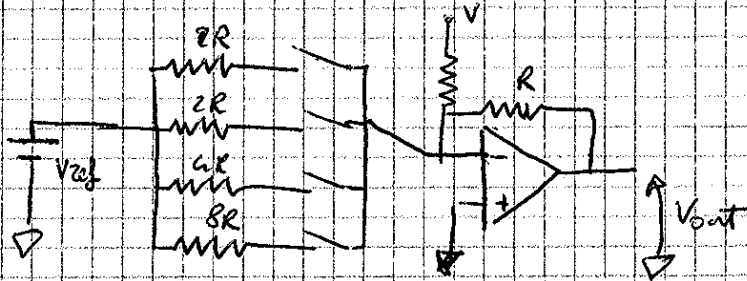


N.B.: il segnale digitale è diretto quindi i tratti orizzontali non hanno senso. In questo caso 0000 e 1000 rappres. lo stesso valore (se i codici rappres. numeri pos. e negativi, uno codice va specificato).

Schema e blocchi struttura



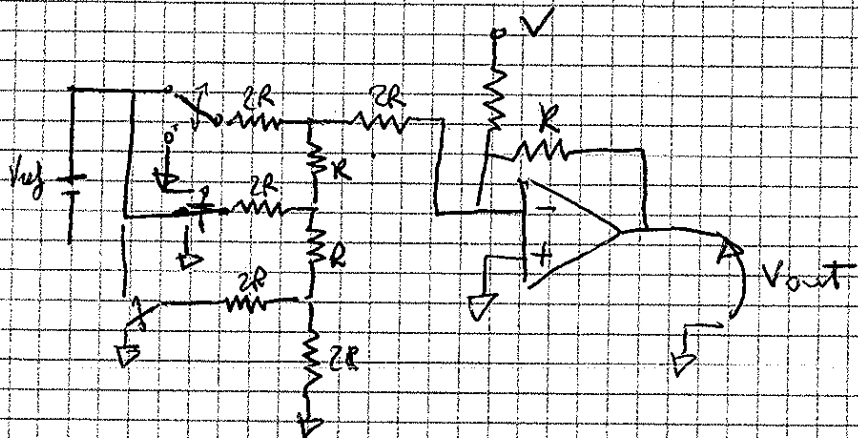
conversioni in tensione (p.e. 3V, 5V, 10V potenza disp. ordine dei mA).



Vant. basso costo e specifiche di temperatura non stringenti.

Svant. - resistenze di valori anche molto elevati. Al livello industriale si fanno più facilmente resistenze uguali.
- conversioni solo a bassa risoluzione (eccezione vengono di resistenze).

Rete a scala (R-2R)



Solo resistenze da R o da 2R
 facilitò di integ.
 impedenza della rete \approx cost.
 convertitori ad alta risoluz.

}

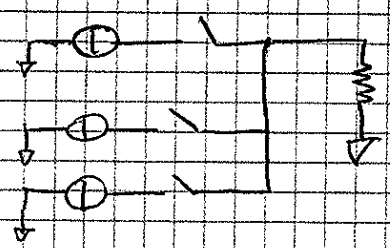
Vantaggi:

- se un resistore viene leggermente e rullo questo errore interviene su ogni bit
- condizioni di Temper. stringenti.

La condizione non è che $R = cost$ ma che il valore di T e le resistenze devono essere tutte insieme. Quindi è necessario che:

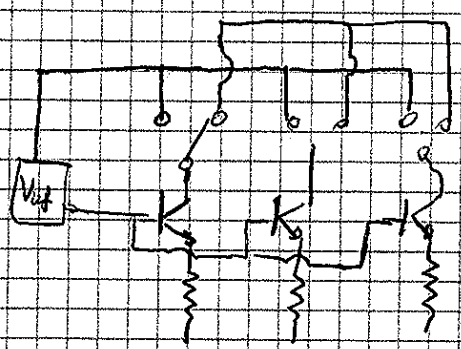
- resistenze fatte tutte insieme (lotto colto)
- resistenze abbiano tutte la stessa temperatura

DAC in corrente



Ciruito di principio

Rete R-2R



I convertitori D/A si trovano sul mercato:

- con componenti discreti
- con circuiti ibridi
- come integrati

Registro ingresso: flip flop. Può essere esteso o integrato nel DAC.

Interruttori: 2 possibilità: \rightarrow velocità di commutazione 1
 \rightarrow precisione 2

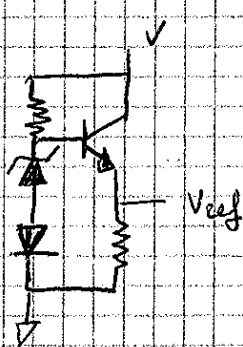
1) Interruttori a diodo o transistor (BJT - FET - MOSFET)

di fatto: quando l'interruttore è chiuso $R_{on} = 0$, invece in questo caso non è trascurabile (ordine dei 100Ω , ma variabile con la variazione delle temperature).

Quando l'interruttore è aperto $R_{off} = \infty$ (in realtà $R_{off} = 1\text{M}\Omega$)

2) Resistivi: Interruttori elettromeccanici. Relè Reed con frequenza di commutazione del kHz. Dopo un certo no di commutazioni (10 ÷ 100 milioni) si rompono.

Riferimento di tensione:



si usa un diodo zener

Si mette una staffa e si tiene il diodo a 25°C .

Qui si usa un diodo con caratteristiche termiche uguali alle zener: in modo da compensare gli effetti termici.

Si mette il transistor per far passare nello zener una corrente \approx costante.

Caratteristiche di accuratezza dei DAC.

Risoluzione: minimo cod. digitale per cui si ha variaz dell'uscita 2^n livelli.

Accuratezza globale (overall accuracy), Precisione globale. Differenza tra usate realizzate e quelle attese.

include:

\rightarrow accuratezza intrinseca più quantizzazione espresse con un significant bit (LSB)

- Linearità: stessa direzione della retta interpolante
 Analog. \rightarrow la retta interpolante è di chiavata del costruttore
 0 base
 End point
 Edigital independent:
 Les squares

- incertezza di guadagno: a più temperature con un tunnel
- incertezza di zero: a più temperature con tunnel
- Rumore

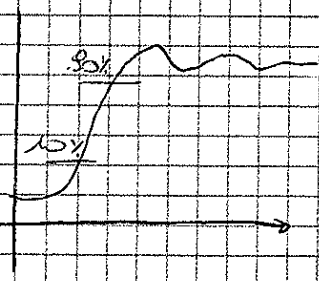
- monotonicità di cui i convertitori monotono quando la tensione cresce (o almeno una cost.) al variare del segnale digitale.

- sensibilità all'linearizzazione: modello proporzionale oppure un guadagno.

- Stabilità alla temperatura sensibilità alla temperatura

- glitch: presenza di picchi di tensione positive (spike) o negative (glitch). Mai convertitori DAC non a zero spike, né solo glitch. Questi può derivare dal fatto che gli interruttori non commutano contemporaneamente (i.e. le il meno facciamo questo commutano tutti gli interruttori). Si possono usare circuiti di de-glitching - per

- caratteristiche dinamiche

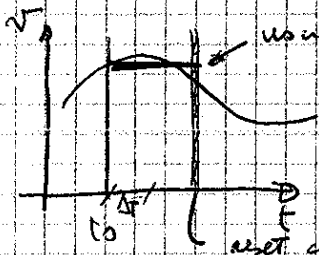


Tempo di assestamento: tempo impiegato per raggiungere una frazione del valore finale.

CONVERTITORI Analogico / Digitale

Convertitori subranging: 2 convertitori: flessibili in cascata e 1° convertito il giusto, l'altro è non importante.

Convertitori ad integrazione



usate convertitore per essere pronti e rifare il convertimento.

Forniscono usate il valore medio dell'ingresso in un certo intervallo di tempo.

Un convertitore ad integrazione è intrinsecamente un filtro passa-basso. Il polo è posizionato a $\frac{1}{\Delta t}$ per avere il polo vicino all'origine aumenta l'intervallo di integrazione. Aumentato l'intervallo di campionamento, ha una minore frequenza di campionamento.

Supponiamo di avere V_x con un disturbo sinusoidale di 1° ordine

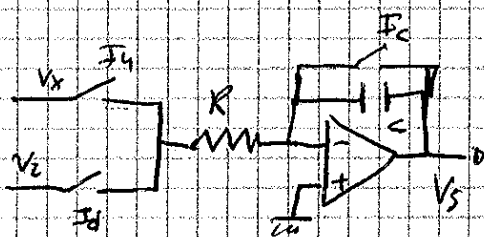


Sceglia come tempo di integrazione il periodo. Le sinusoidi sono filtrate perché $\int_0^T \sin x = 0$. Questo vale definito notch filter.

Questo filtro diventa utile anche per le componenti multiple.

Più grande intervallo di integrazione. Ampli per cui il rischio di aver visto la frequenza. Per vedere i dettagli di solito si prendono intervalli anche lunghi 4-5 sec.

Rampa rampa semplice



Chiudo I_c per scaricare il condensatore e poi lo ricarico.

2 fasi:

- Run-up chiudo I_v e si scarica il condensatore (supponiamo $V_x = \text{cost}$)

$$V_s = -\frac{1}{RC} V_x T_u$$

- istante T_u apro I_v e chiudo I_d fin e questo non avviene a 0

$$V_{in} = V_s - \frac{1}{R} V_x t_i = 0 \Rightarrow V_x = V_s \frac{R_d}{R_a}$$

(21)

V_a è il campione di riferimento

T_d va misurato e quindi ha mantetta

T_a ha mantetta se il clock si misura un po' (ordine del 10^{-6})

Normalmente in Doppie rampe si ha precisione in 10^{-5}

Il punto critico è il mascheramento dello zero. Si può usare un comparatore. Oppure però ad un convertitore multi rampe.

Quando il comparatore diventa 0 amplifica e regala e $10x$ e aspetta che ritorni 0, amplifica di altri 10, ... Non passa senza avanti all'infinito Max 10 o 100. Si arriva ad amplificatori a quest'ultima rampa. Della seconda rampa in poi il convertitore è ucciso.

Per trasformare da unipolare a bipolare si aggiunge un offset

CARATTERIZZAZIONE ADC

Bisogna verificare cosa significano i termini usati dal costruttore perché possono avere sign. diversi.

Di solito vengono richiesti:

- in condizioni ideali

- full range (negli unipolari -positivo, se bipolar: 2positivo)

- N° bit e risoluzione

• $LSB_u = \frac{FS}{2^N}$ se unipolare

• $LSB_b = \frac{FS}{2^{N-1}}$ se bipolare

- Non lineare (scostamento da linearità)

• integrale: coincide con non linearità del DAC. Scostamento max da una retta definita.

• differenziale: variazione di un solo gradino (di 1 bit)

In alcuni casi conviene usare la non linearità differenziale (es. per segnali che vanno poco rispetto ad un valore).

- incertezze assolute e relative.

VOLTMETRI DIGITALI

oltre agli ADC c'è un attenuatore d'ingresso (un partitore a scatti come quello dell'oscilloscopio analogico). In questo modo abbiamo un partitore con resistenze di precisione.

Il cambio di portata avviene schiacciando alcuni pulsanti.

Anche il più stupido dei voltmetri ha la possibilità dell'auto-ranging. (1° passo nella portata max, acquisisce e verifica se campione $> 0 <$ di $10V$, se inferiore cambia alla portata inferiore, acquisisce il campione, valuta, ...). In un certo no di passi il voltmetro acquisisce il campione con la portata migliore.

Si può vedere la frequenza di campionamento (varia con l'ammortamento della misura).

Il codice di uscita della misura di solito è in binario, possono dei circuiti per convertirlo in decimale.

Automatismi:

- **AUTOZERO**: una delle cause di incertezza è l'offset. In certe condizioni il valore è $\neq 0$. Inoltre l'offset varia con la temperatura. Appena acceso il voltmetro fa la funzione di AUTOZERO. (Mette automaticamente gli ingressi in corto-circuito, acquisisce il codice e memorizza il valore in una delle di memoria. Quando poi acquisisce un valore sopra la caratteristica in modo da poter per 0 e da il valore corretto). Tuttavia ogni tanto è necessario rifare lo zero. Al limite si può eseguire l'autozero su tutti i campioni (a perdita nella freq. di acquisizione, ma annulla l'errore di zero).

- acquisizione di valore noto per regolare la pendenza della caratteristica. Acquisisce V_0 ed esegue una correzione per giungere al codice finale. V_0 di solito è la portata. Il campione di tensione è possibile sollevarlo ed è possibile tenerlo. Questa funzione è l'AUTO RANGING. Anche in questo caso si può fare l'auto-ranging su tutti i campioni. L'auto-ranging non è fattibile se non si è fatto l'AUTOZERO.

- **AUTOTEST**: all'accensione o dietro comando manuale viene eseguito il test di tutti i componenti digitali. Se i circuiti non funzionano da l'informazione in un qualche modo certificato.

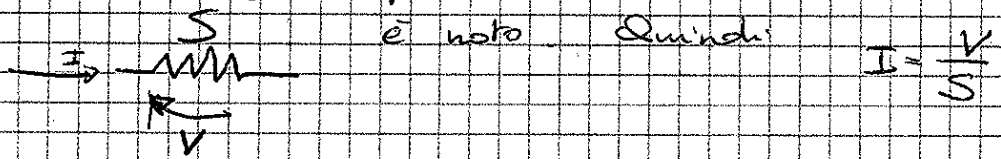
Gli strumenti digitali possono scambiare tra loro informazioni.
 Gli strumenti digitali possono inviare e ricevere comandi di tipo digitale.
 Possono essere interfacciati con calcolatori per creare un sistema automatico di misurazione.

La cifra di peso più elevata può essere 0 zero o uno di oltre 10 zero e nove. Si dice che il voltmetro è x cifre e mezzo (es 3 cifre e mezzo: 1^a cifra è x 0 o 1 le altre 3 da 0 a 9) la portata corrisponde a 1000. Lo strumento può dichiarare più della portata. Si dice voltmetro di 3 cifre e mezzo con overrange del 100% (si legge fino a 1999)

Alcuni voltmetri hanno l'antiscena anche sulle 2^a cifra (fino a 4).
 Questi hanno overrange del 50%

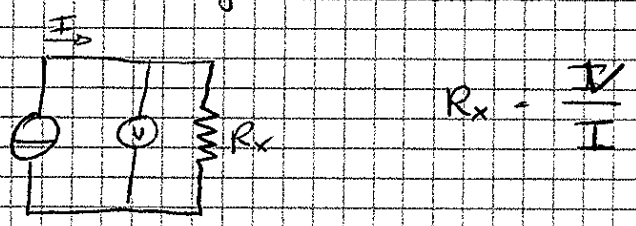
Formula dell'incertezza è di tipo binomiale (in qualche caso trinomia)

I voltmetri di solito sono dei multimetri. Di fatto sono tutti anche degli amperometri. Misura V, il valore di S



L'incertezza di I è maggiore di quella di V

Si può anche fare un ohmetro



All'interno del voltmetro c'è un circuito che fa da generatore di corrente.