

Minire elettroniche

Cap. 1

Voltmetri digitali

1.1 Conversione Analogico Digitale A/D

1.1.2 Errori nella conversione

1.1.3 Velocità di campionamento e risoluzione

1.1.4 Bit equivalenti - risoluzione reale di un A/D

1.2 Voltmetri differenziali

1.2.1 Voltmetri potenziometrici

1.2.2 Voltmetri ad approssimazione successiva

1.2.3 Voltmetri con convertitore A/D di tipo flash

1.2.4 Voltmetri a rampa analogica

1.3 Voltmetri a integrazione

Voltmetro a doppia rampa

Cap. 2

Seconde e Sistemi di Acquisizione Dati

2.1 Albede di acquisizione dati DAQ

2.1.1 Canali di ingresso analogici

2.1.2 Mux

2.1.3 DA

2.2 Struttura di un sistema di acq. dati

Caratteristiche delle DAQ

Cap. 3

Oscilloscopio

Analogico

3.1.1

Alberatura rappresentativa (CRT)

3.1.2 Sezione di verticale e banda passante

(NB) Sezione di post-accelerazione

3.1.4 Sezione di deflessione orizzontale

3.1.5 Sezione di sintonismo, TRIGGER

3.1.3 Sezione di amplificazione verticale

3.1.6 Sezione della base dei tempi

3.1.7 Tracciato verticale multiplo

3.1.8 Punto d'ingresso

Digitale

3.2

Oscilloscopio digitale

3.2.1 Architettura generale

3.2.2 Sezione Acquisizione e memorizzazione

3.2.3 Modalità di acquisizione e campionamento

3.2.5 Confronti Analog vs DSO

Formule Utili

Esercizi

1) Minirazione

② *Intertezza di misura*

③ *Regressione lineare*

④ *QR*

66

83

86

Prefazione

● Voltmetri digitali = DVM Multimetri digitali = DMM

Il DVM e DMM presentano all'utente sotto forma numerale il risultato di misure di tensione continua e di altre grandezze elettriche e non (DMM), quali tensioni e correnti alternate, resistenza, temperatura etc

Nel caso di grandezze alternate, gli stadi di condizionamento del segnale in ingresso producono all'uscita una tensione esatta e proporzionale al valore delle grandezze da

● misurare.

Il risultato viene codificato (attraverso un processo di discretizzazione in un certo numero di livelli) e convertito in forma digitale, presentato quindi sul display sotto forma digitale (decimale).

A seconda delle necessità, sono richiesti DMM con elevata accuratezza e quindi con moderata velocità di misura, o viceversa.

● I voltmetri digitali in commercio differiscono per:

- numero di campi di misura
- numero di cifre
- accuratezza
- velocità di lettura
- ricerca del rumore di modo differenziale e comune
- uscite digitali di vario tipo

[NB] • l'accuratezza è proporzionale alla risoluzione

● la velocità massima di lettura è correlata al periodo di digitalizzazione.

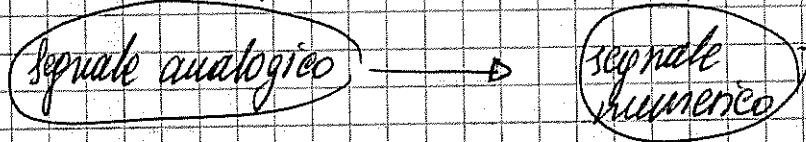
INB Un elemento circuitale essenziale negli strumenti digitali è l'amplificatore operazionale, che viene impiegato come comparatore o integratore

Δ Si distinguono 2 tipi di voltmetri digitali:
voltmetri differenziali
voltmetri a integrazione

1.1 Conversione Analogico \rightarrow Digitale **A/D**

Il processo di misura si articola in 2 fasi fondamentali:

① la conversione del segnale analogico in segnale numerico

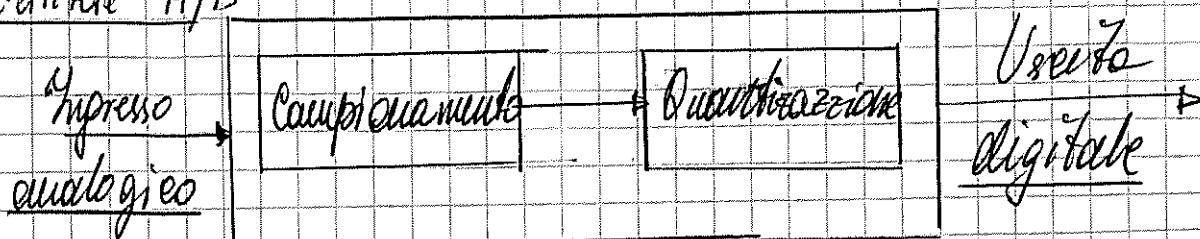


② elaborazione successiva numerica per scopi di misura (rappresentata dall'esecuzione di un algoritmo di misura)

Def segnale digitale - è costituito da una successione temporale di numeri, costituito da un numero di cifre finito, che rappresentano quindi il segnale analogico originale con una definita risoluzione.

Il processo di conversione **A/D** può essere suddiviso in 2 parti:

Convertitore A/D



71) Il segnale in ingresso subisce un campionamento,
e successivamente la quantità campionata viene convertita
in un valore numerico discreto attraverso il
processo di quantizzazione

(NB) Il numero digitale è un'approssimazione del segnale
originale analogico.

La differenza tra il segnale analogico e il valore
quantizzato viene chiamato errore di quantizzazione
(errore intrinseco che costituisce per il sistema un
contributo di rumore).

A questo errore corrisponde un contributo di incertezza

1.1.2 Errori nella conversione [A/D]

Oltre all'errore di quantizzazione, un [A/D] presenta
una caratteristica di conversione che differisce da quella ideale
per varie altre cause: - errori di offset

- di guadagno

- di non linearità

① errore di offset - spostamento delle transizioni rispetto ai
valori ideali di tensione nella corrispondente
caratteristica ideale
↳ ciò comporta una traslazione sull'asse x di tutte
la caratteristica ideale

② errore di guadagno - variazione della pendenza della
caratteristica di trasferimento reale rispetto a
quella ideale.
↳ provoca uno spostamento di fase che
si ripercuote su tutti i valori

③ errore dovuto alle non linearità: si traduce in uno
larghezza effettiva della banda di quantizzazione
che differisce da quella ideale

L'accuratezza di un A/D è specificata in termini
di questi errori

La risoluzione è invece indipendente da questi errori e
dipende unicamente dal numero di bit dell'uscita
digitale

1.1.3 Velocità di campionamento e risoluzione

La velocità di campionamento è inversamente
proporzionale al tempo di conversione, quest'ultimo
relazionato al tempo di apertura

[WB] tempo di apertura = tempo impiegato dal convertitore per
campionare il segnale in ingresso

(Def) Risoluzione

La risoluzione è la capacità di distinguere o separare
stati diversi del misurando (definizione limite \rightarrow separazione
dei livelli discreti)

Nelle strumentazioni DVM e DMM si sono 2

tipi di risoluzioni: ① risoluzione unidimensionale Δ

② risoluzione bidimensionale S

(1) Risoluzione dei problemi Δ

- Rappresento la minima variazione della grandezza ineguit rilevabile in definite condizioni di lavoro.

Per uno strumento lineare la risoluzione dimensionale Δ soddisfa la relazione:

$$\Delta \geq \frac{P}{N_{\max}} = Q \cdot P$$

N_{\max} = massimo numero di livelli a disposizione nei quali suddividere e poi rappresentare la grandezza ineguit corrispondente alla portata P

- $Q = \frac{1}{N_{\max}}$ → il reciproco del numero dei livelli di quantizzazione.

NB la distinguibilità \geq sta a significare che il rumore interno dell'apparecchio può impedire il raggiungimento della risoluzione limite

(2) Risoluzione adimensionale S

Si ha:

$$S = \log_{10} N_{\max}$$

NB S è esprimibile soltanto attraverso N_{\max}

La base numerica impiegata

- Generalmente S non è un numero intero

È intero soltanto se

$$N_{\max} = 10$$

NB

è il numero massimo di cifre disponibili

NB Quando S non è un intero il valore utilizzato è quello approssimato al $\frac{1}{4}$ di unità

Esempio $S = 4\frac{1}{2}$ 1/4 cifre e mezzo

- Significa che si hanno a disposizione 5 cifre ma non sono tutte rappresentabili da 0 a 99999, cioè il valore massimo di lettura può essere 1,9999

Invece la risoluzione binaria in questo caso è:

$$\Delta = \frac{\text{peso delle cifre più significative}}{2^{\text{(parte intera di } S\text{)}}} =$$

$$= \frac{1 \text{ V}}{10^4} = 100 \mu\text{V}$$

E se la distribuzione di probabilità è uniforme di larghezza Δ , allora l'incertezza di quantizzazione vale:

$$u_q = \frac{\Delta}{\sqrt{12}} = \overset{\substack{\downarrow \text{in questo caso} \\ 100 \mu\text{V}}}{\sqrt{12}} = 29 \mu\text{V}$$

1.1.4) Bit equivalenti - risoluzione reale di un convertitore A/D

$$n_e = n - \log_2 \left(\frac{\sigma_{AD}}{\sigma_q} \right)$$

Dove n_e = nr. di bit equivalenti

n = n bit disponibili

σ_{AD} = valore quadratico medio dell'errore complessivamente introdotto nel processo di conversione

σ_q = valore quadratico medio dell'errore di quantizzazione

Def Voltmetro differenziale

Strumento che effettua la misura di una tensione incognita attraverso il confronto con una tensione campione generalmente interna allo strumento.

la tensione campione viene fatta variare in modo noto finché essa non risulti uguale a quella incognita, condizione detta di equilibrio nella quale è possibile definire il valore della tensione incognita.

Vi sono diversi tipi di voltmetri differenziali
ad esempio: ① Voltmetri potenziometrici \rightarrow bassa risoluzione, bassa velocità di lettura

② Voltmetri ad approssimazioni successive = potenziometro

③ Voltmetri con convertitore A/D di tipo flash alta velocità di lettura

Voltmetri a rampa analogica

1.2.1) Voltmetri potenziometrici

Nei voltmetri potenziometrici si ha una tensione V_0 di riferimento interno.

Si misura la tensione incognita (V_x) confrontandola con la tensione (V_r) fornita dal riferimento interno (V_0) il rapporto $\frac{V_r}{V_0} = k \leq 1$ viene variato finché l'indice presente sull'uscita nulla

leggere (pg 15)

Esempio

$$V_0 = +10V$$

per $V_x = V_r$ $k = 0,62$

si ha perciò

$$V_x = k V_0 = 0,62 \cdot 10 = 6,2V$$

[NB] Il campo delle tensioni che possono essere misurate dipende da V_0 .

la risoluzione della misura è in diretta relazione con quello del potenziometro

- ⚠**
- Risoluzione bassa (al più 3 cifre)
 - Bassa velocità di lettura (a causa di attriti meccanici)

Non è uno strumento che indica il valore numerico sul display (funziona con una lancetta movimentata da un dispositivo meccanico)

1.2.2 Voltmetri ad approssimazioni successive

Realizzano secondo l'approccio esclusivamente digitale il metodo potenziometrico.

Vengono sostituiti:

- partitore lineare con uno digitale (un convertitore **D/A**)
- motore \rightarrow logica elettronica

che muoveva la lancetta

che codifica il segnale in codice binario per poi visualizzarlo sul display

temporizzazione (clock) e segue una sequenza definita di stati.

Il compito del convertitore D/A è quello di generare sotto il controllo della logica, un insieme di valori di tensioni di uscita a partire dalla cifra più significativa delle misure.

La sequenza di operazioni si ripete secondo la logica:

La logica di controllo interviene sul codice binario incrementando o decrementando il valore a seconda dell'atto del confronto tra V_x e quello generato dal convertitore D/A sul condensatore, procedendo dal MSB al LSB.

La conversione termina dopo un nr. di cicli pari al nr. di bit del convertitore.

⚠ Ad ogni passo vi è un incremento di tensione che approssima meglio la tensione ricevuta compatibilmente con il livello di rumore presente negli stadi di ingresso del comparatore e con lo stabilimento del condensatore. Questi fattori vanno ad influenzare la risoluzione del voltmetro.

⚠ Qualunque rumore presente all'ingresso con ω molto superiore può portare il comparatore a prendere una decisione errata \Rightarrow valore letto sbagliato.

● Soluzione: impiego di un filtro passa basso in ingresso che lasci inalterato il segnale continuo ma che attenui le componenti alternative.

ripetendo VIN ad approx successive è possibile
veloce, tuttavia la velocità è limitata dal
tempo necessario per ciascun confronto.

1.2.3 Voltmetri con convertitore $V/A/D$ di tipo flash

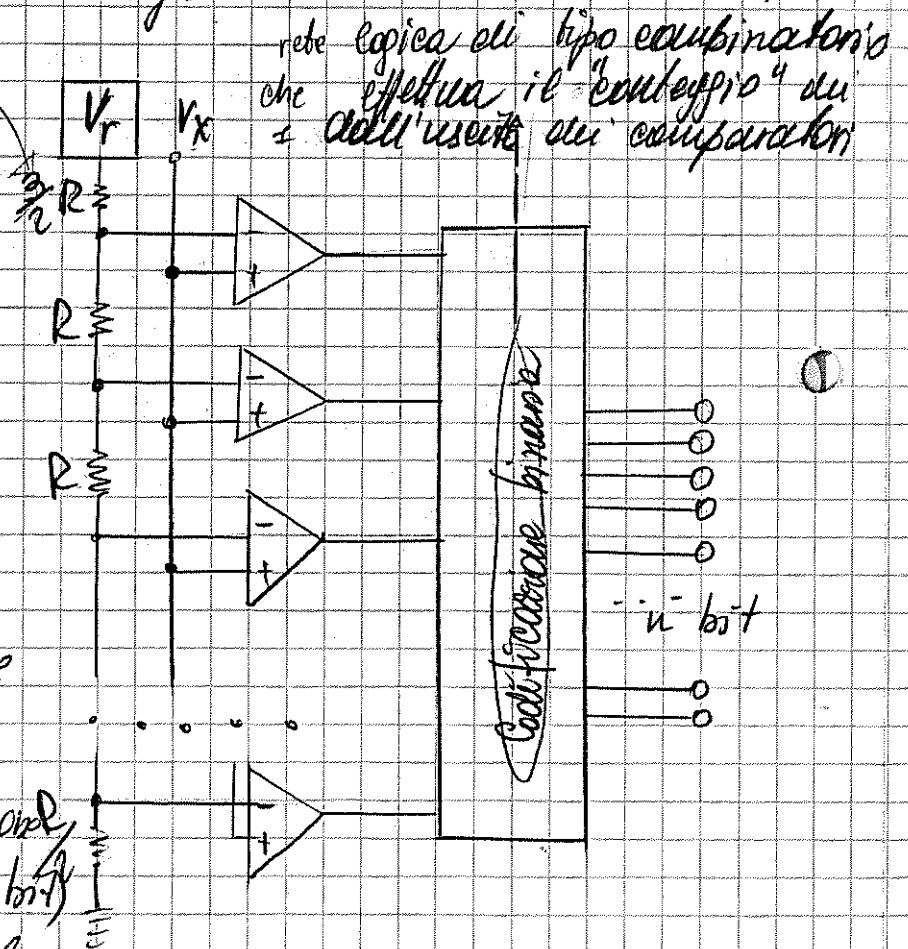
⚠ Fondamentali per le misure di segnali aventi frequenze
elevate (continua di Negallerte)

Ⓣ Elevatissima velocità di conversione (dato il ridotto
tempo di conversione)

Si ha un convertitore flash a n bit.

Esso è costituito da $2^n - 1$ comparatori di livello che
ricevono all'ingresso (kbit) la V_x .

Il morsetto invertente (-) è collegato a un nodo di un
partitore resistivo
costituito da 2^n resistenze
uguali (tranne la prima
e l'ultima) alimentato
da una tensione
 V_{ref} ($V_{riferimento}$)



Questa rete definisce
i livelli di quantizzazione
del processo di conversione.

Alta velocità di conversione
Bassa risoluzione (8-10 bit)

▷ some 800 samples/secondo.

⚠ Tecnica che prevede conversione tensione - tempo

Nei voltmetri a rampa analogica, il segnale analogico continuo (incognito) viene convertito attraverso l'utilizzo di una rampa analogica che fornisce l'indicazione digitale della grandezza analogica, dopo un'opportuna elaborazione, misurata in un intervallo di tempo mediante un orologio interno.

Il comparatore ^(posto) in ingresso confronta la rampa lineare analogica (che va da $-V_m$ a $+V_m$) con la tensione incognita, mentre il comparatore di zero segnala il passaggio della rampa al livello di zero.

Le uscite dei comparatori sono connesse alla rete logica che controlla la porta.

La logica di controllo, dopo il reset, il primo segnale (che proviene da uno dei 2 comparatori) apre la porta e il successivo la chiude.

Durante l'apertura della porta il contatore effettua il conteggio degli impulsi (provenienti dall'oscillatore locale)

Esempio

Si assume che la pendenza della rampa sia $\frac{10V}{50ms}$ (cioè che la rampa vada da $+10V$ a $-10V$ in $100ms$)

Allora il tempo massimo di conteggio è $50ms$.

Se si vuole ottenere una lettura a 4 cifre

allora la frequenza dell'oscillatore deve essere

$$f = \frac{10000 \text{ cicli}}{50 \cdot 10^{-3} s} = 200 \text{ kHz}$$

ma $V_x = 3.8203 V$

All'attraversamento della rampa di questo valore si verifica l'apertura della porta e lo start dell'conteggio.

Quando la rampa attraversa lo zero la porta si chiude, il conteggio finisce e viene generato un segnale che trasferisce le info del contatore al visualizzatore numerico.

Quindi:

$$f_c = \frac{1}{T_c} = 200 \text{ kHz}$$

pendenza
rampa

$$\frac{1V}{5ms}$$

si ha:

$$\Delta T = \text{durata di apertura} = 3.8203 V \cdot 5 ms =$$

$$= 0.0191015 \text{ s}$$

$$N_c = \frac{\Delta T}{T_c} = \frac{0.0191015}{200 \cdot 10^3 \frac{1}{s}} = 3820$$

resta da mettere
giustamente la virgola
e indicare il segno

(1.3) Voltmetri a integrazione

Voltmetri a doppia rampa

▲ I voltmetri basati sull'integrazione sul segnale di ingresso hanno una buona capacità di ricezione del rumore di modo differenziale.

La capacità di ricezione del rumore, eseguendo una integrazione sul segnale dipende dal tempo di integrazione.

● [NB] A doppia rampa = doppio processo di integrazione

Procedimento

Fase di salita C_1 viene caricato a un valore proporzionale a V_x
condensatore \rightarrow ramp

Questo periodo di tempo è il tempo di salita.

[NB] Si ha quindi una tensione V_c variabile linearmente col tempo e proporzionale a V_x .

Fase di discesa C_1 viene scaricato a corrente costante (o I_{sc})
rampdown

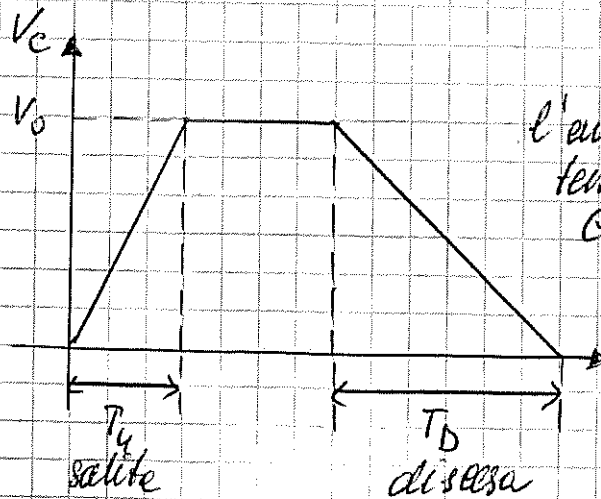
durata della discesa è proporzionale alla quantità di carica inizialmente accumulata.

Questo periodo di tempo (forse il condensatore si scarica) da il tempo di discesa.

S_2 commuta da V_x a V_r (la logica di controllo) per \rightarrow rimette il condensatore a zero e apre il circuito di porta $\&$ permettendo al condensatore di totalizzare gli impulsi provenienti dall'oscillatore.

Quando il recuperatore di zero avverte la scarica del condensatore la porta $\&$ si chiude e si arresta il conteggio.

Si ha la seguente situazione



l'andamento della tensione sul condensatore C_1 .

Si ha: $V_0 = \frac{V_x}{C_1 R_1} T_u$ (al termine della carica del condensatore)

$V_0 - \frac{V_r}{C_1 R_1} T_D = 0$ (al termine della scarica)

da allora

$$V_x = - \frac{V_r \cdot T_D}{T_u}$$

Inoltre

$$T_D = N_D T_c$$

$$T_u = N_u T_c$$

Dove

N_D - il numero dei periodi di clock durante la fase di discesa
 N_u - // // fase di salita

T_c - tempo di clock

Essendo N_u un numero prefissato si ottiene:

$$V_x = - V_r \frac{N_D}{N_u}$$

la riduzione Δ sarà quindi:

$$\Delta = \frac{P}{N_{D \max}} = \frac{|V_r|}{N_u}$$

Aspetti positivi: insensibilità ai disturbi e alla maggior parte dei parametri circuitali.

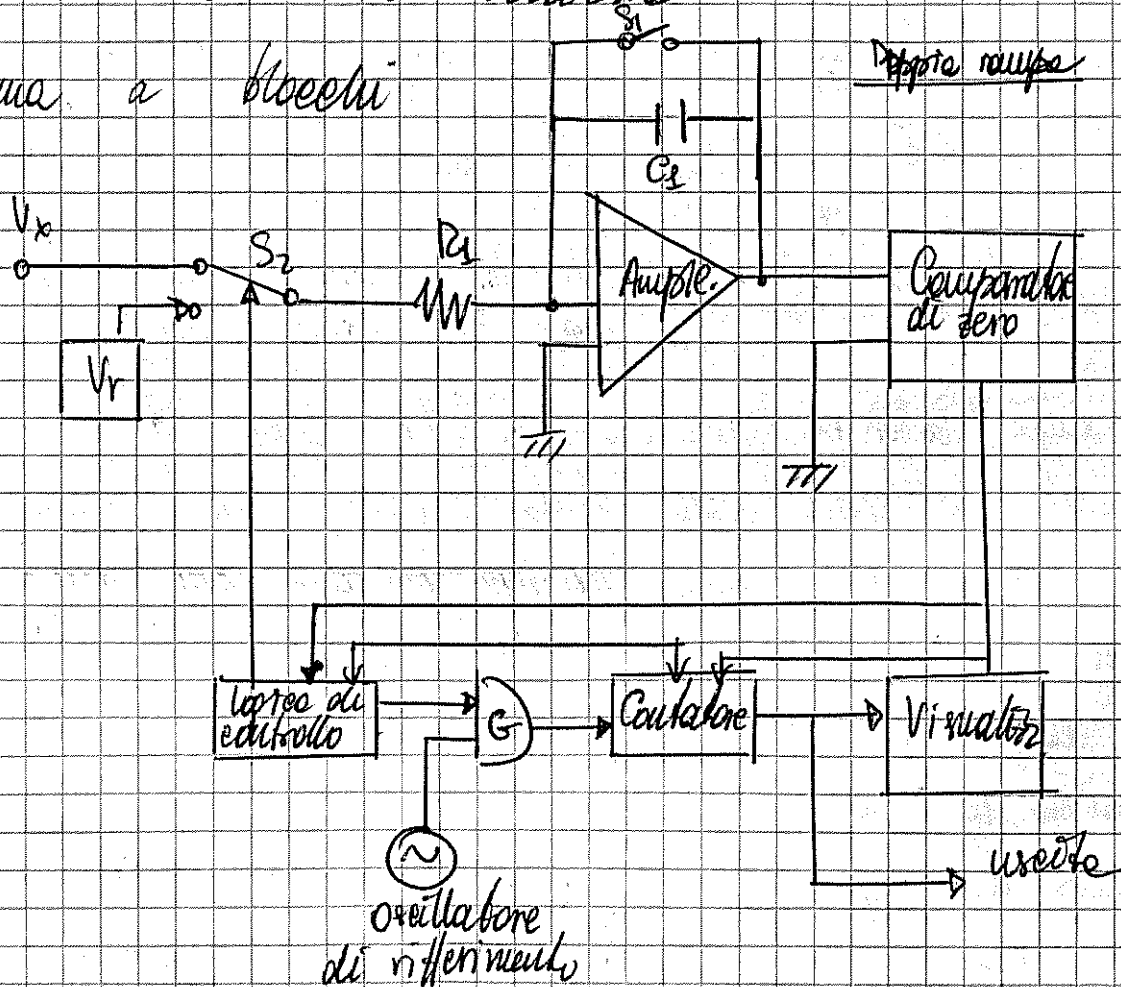
Aspetti negativi: limitata risoluzione
ridotte velocità di conversione

(NB) Il tempo minimo T_{min} per effettuare una misura è dato da

$$T_{min} = 2 T_e M$$

Dove M = numero dei canali da effettuare per la risoluzione richiesta

Schema a blocchi



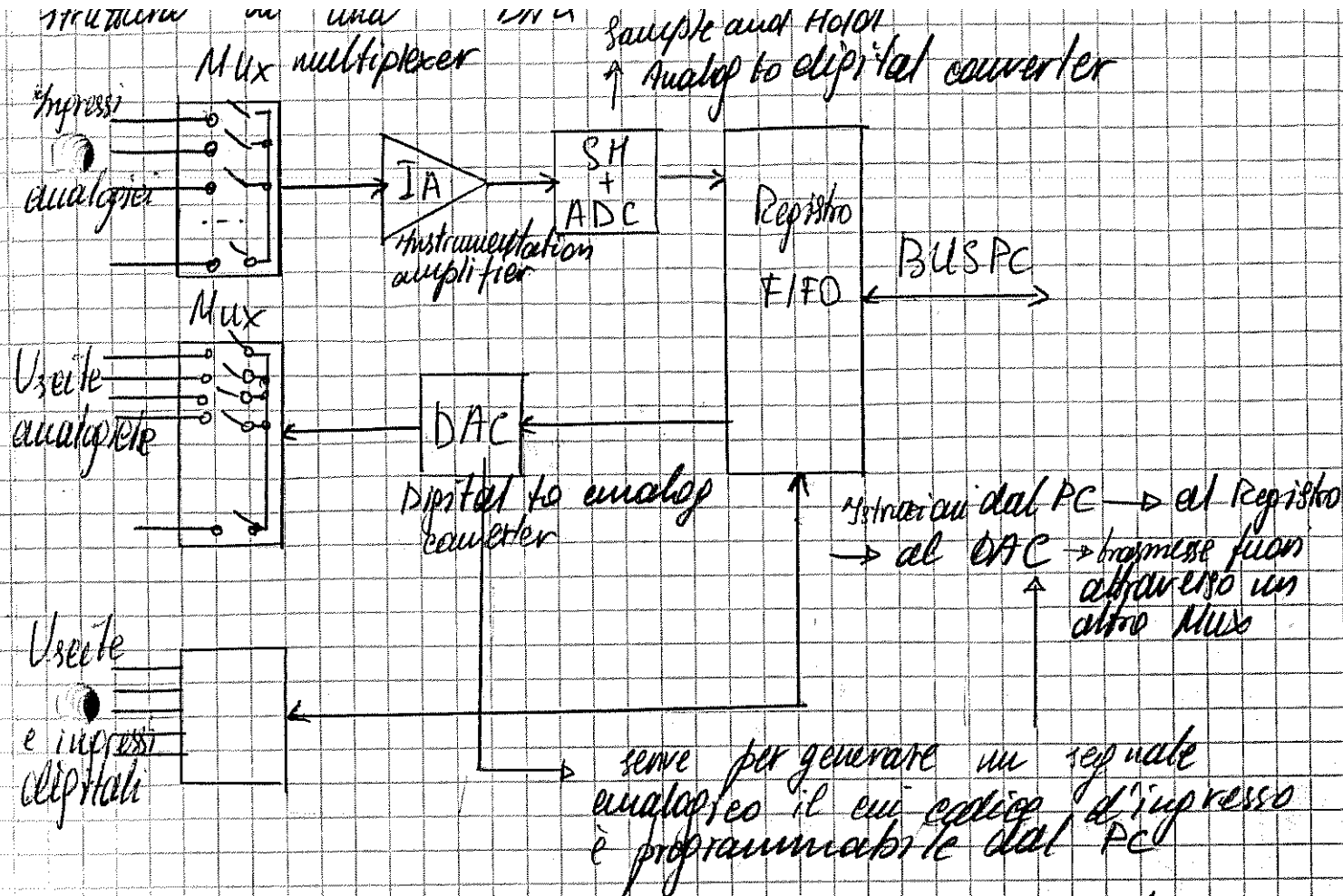
△ Si spiegano gli strumenti per realizzare un processo per l'acquisizione automatica delle misure di una qualsiasi grandezza fisica

12.7 DAQ Data Acquisition Board

la maggior parte delle schede dispone di ingressi di tipo analogico, uscite analogiche programmabili, linee di ingresso/uscite digitali, di segnali di sincronismo di tipo digitale (trigger) sia di tipo analogico (timer)

Un una DAQ si hanno 4 blocchi circuitali fondamentali:

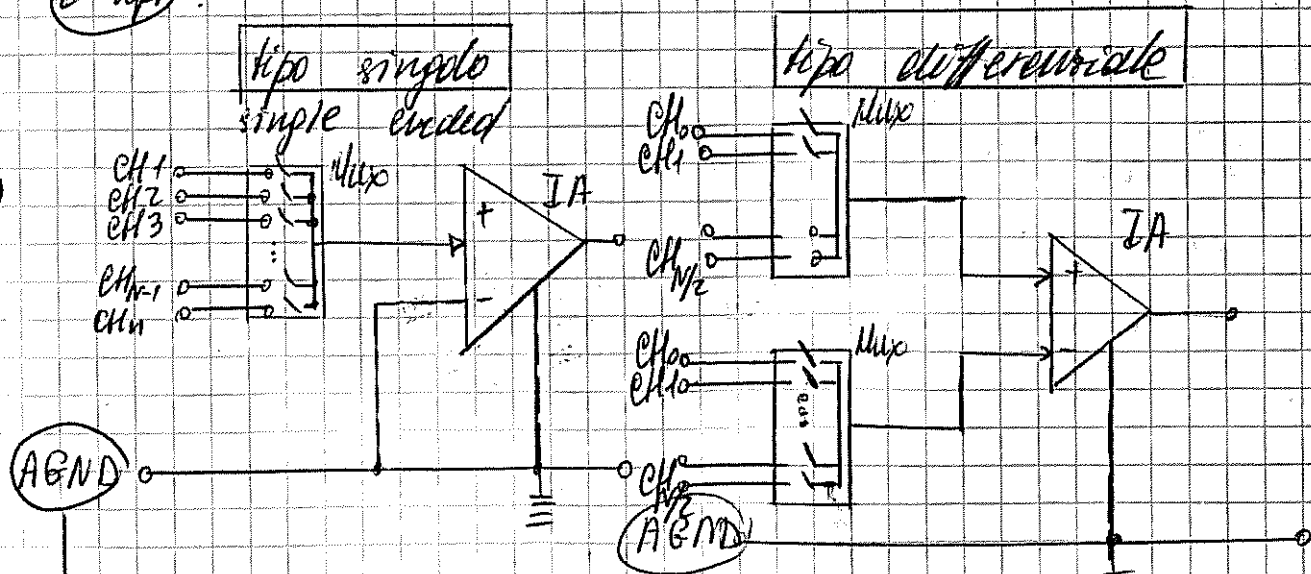
- il multiplexer (Mux) - in ingresso alla scheda, permette di avere N canali indipendenti
- l'amplificatore per strumentazione (IA) legge il segnale all'uscita del Mux e lo invia, disaccoppiato, con un'opportuna amplificazione programmabile dall'utente al blocco di campionamento (SH) Sample and Hold e di conversione (ADC) in modo da sfruttare al massimo le dinamiche
- blocco di campionamento e conversione SH, ADC trasforma il segnale analogico in digitale
- registro di memoria FIFO memorizza i dati che sono poi resi disponibili al bus dati per PC o directly allo RAM del PC



Ora vado a spiegare tutte le componenti

2.1.1 Ingressi analogici

2 tipi:



tutti i CH sono riferiti alla massa comune delle schede (multi Ground)

Ogni canale ha la sua linea di riferimento differente da AGND

Riduzione ai disturbi e ai rumori di modo comune superiore

Adottata nel caso i segnali in ingresso sono ampi e devono essere necessariamente riferiti ad una massa comune

NB si hanno impedenze all'ingresso elevate (superiori ai $10^3 \Omega$)

[2.1.2] MUX multiplexer

↳ comandato dal segnale di orologio della scheda posto in ingresso cui il segnale di campionamento

Consente di aumentare il numero di ingressi che la scheda può acquisire pur utilizzando un unico blocco per la conversione analogico digitale.

[NB] Generalmente ^{se non} viene specificato, la massima velocità di campionamento della DAC è definita considerando l'acquisizione di un singolo canale.

[ES] $N=10$ con velocità 1 MSa/s
allora ciascun canale ha una velocità di campionamento di 100 kSa/s

[2.1.3] Amplificatore per la strumentazione IA

[ORB] Per sfruttare tutta la dinamica dell'ADC è opportuno condizionare il segnale di tensione all'uscita del MUX prima di inviarlo al blocco di conversione e visto a esso serve l'amplificatore per strumentazione che ha un guadagno programmabile dall'utente del PC.

[NB] A seconda del guadagno preimpostato dall'utente cambia considerevolmente la risoluzione sul segnale di ingresso.

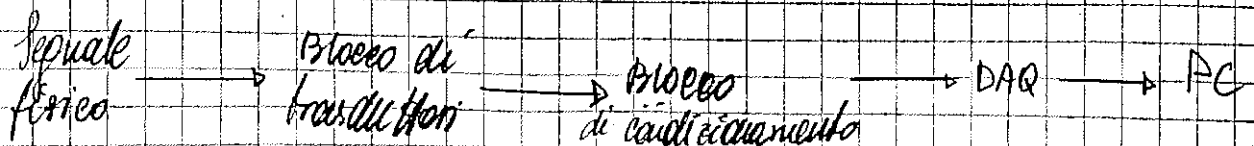
Per non limitare l'accuratezza della conversione l'amplificatore deve avere un slew-rate elevato e un tempo ridotto di assestamento.

Vedi paragrafo 1.1.

- **INB** Uno dei convertitori più utilizzati nelle DAQ sono quelli ad approssimazioni successive con 12 o 16 bit e 500 kSA/s

2.2 Struttura di un sistema di acquisizione dati
 Il processo tipico di acquisizione dati di un qualsiasi fenomeno fisico può essere articolato in 4 fasi:

- **1** Trasduzione del segnale il segnale viene convertito in una grandezza elettrica (ad esempio tensione, corrente, resistenza, capacità) attraverso l'utilizzo dei trasduttori.
- **2** Condizionamento del segnale elaborazione del segnale analogico ottenuto dal trasduttore che consiste nella linearizzazione (se possibile) della risposta del sensore, rivolto anche ad adattare il segnale alla dinamica della DAQ.
- **3** Il DAQ acquisisce il segnale (in precedenza tradotto in una tensione del blocco di condizionamento)
- **4** Personal computer elabora i memorizzati dati ricevuti dalla DAQ



[WB]

1) Caratteristiche essenziali che differenziano le DAQ
sono riassumibili nelle seguenti voci:

- Numero di canali analogici in ingresso
- Velocità di campionamento [Sa/s]
- Risoluzione dell'ADC (il numero effettivo di bit disponibili del convertitore)
- Numero di linee digitali I/O o segnali di sincronismo (clock e trigger)
- Numero di uscite analogiche e risoluzione del DAC

[WB]

Per una maggior efficienza delle DAQ per quanto riguarda la riduzione del rumore/cadute dalle frequenze "parasite" generate dalle altre componenti del PC (ad esempio scheda video/audio, CPU) esse devono essere progettate in modo tale da assicurare una elevata riduzione delle interferenze del fine di garantire un'efficienza massima del numero dei bit disponibili.

Soluzione basette multistrato realizzate con l'impegno di fino a 12 strati che aumentano la schermatura

Scopo:

Visualizzare direttamente su di uno schermo l'andamento in funzione di tempo del segnale che si intende misurare.

Δ Disponibilità immediata di informazioni di

tipo:

qualitativo: andamento reale della forma d'onda presenza di anomalie, distorsioni etc.

quantitativo: misure di ampiezza, intervalli di tempo (periodi), frequenza etc.

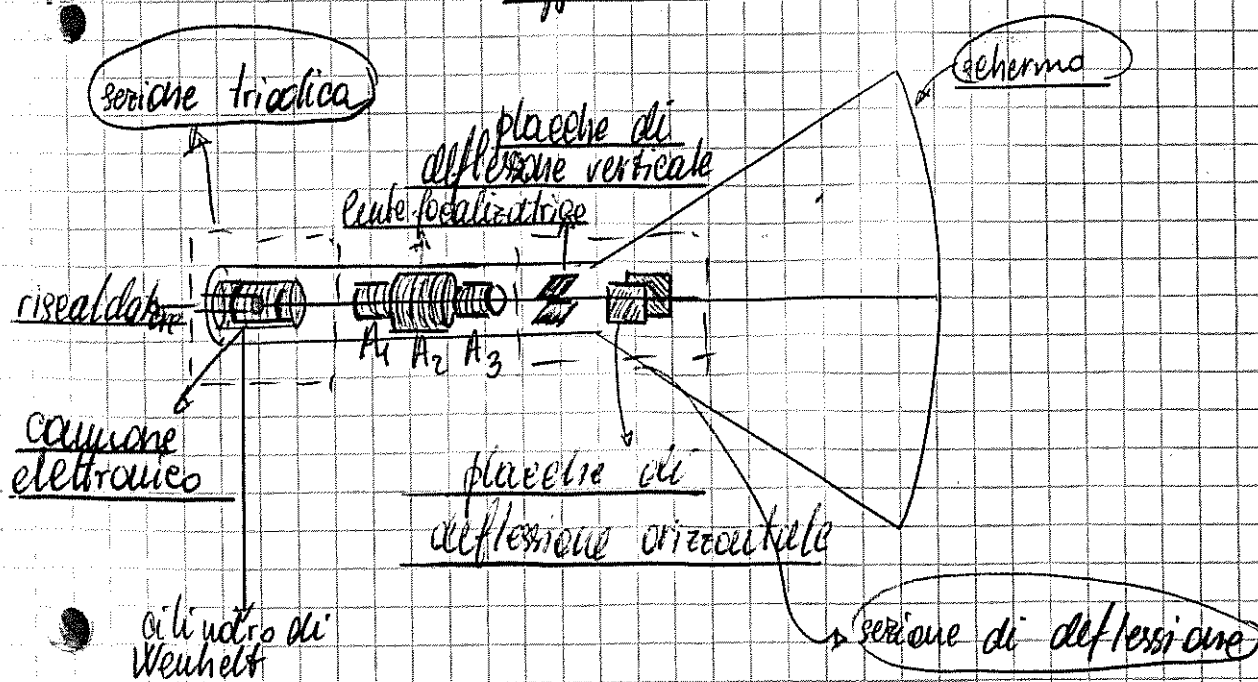
∃ 2 tipologie di oscilloscopi: - analogico
- digitale

3.1.1 Oscilloscopio analogico

Δ Si ha una rappresentazione diretta in tempo reale sullo schermo, del segnale in ingresso (misurando)

3.1.1 CRT (struttura)

l'elemento fondamentale dell'oscilloscopio analogico è il tubo a raggi catodici



Sezione finale

Obiettivo emettere un fascio di elettroni collimati
e di uguale velocità nella direzione z dell'asse del CRT.

Si ha la generazione degli elettroni dal catodo C , costituito da un cilindro di materiale conduttore (Nickel rivestito di bario e stronzio), riscaldato da un filo percorso da corrente.

Gli elettroni vengono sottoposti sotto azione di un campo \vec{E} presente tra il catodo e l'anodo (A_1, A_2, A_3) che quindi vengono accelerati a causa della d.d.p. tra queste regioni / sottoposti all'azione di \vec{E} , essi acquistano la "stessa" velocità e quindi si viene a creare un fascio collimato). [NB] Attraverso il comando intensity è possibile placche variare l'intensità del fascio variando la d.d.p. tra le
Inoltre, la sezione anodica ha la funzione di
focalizzare il fascio di elettroni.

△ A causa della forza di repulsione coulombiana, gli elettroni tendono a respingersi, quindi si otterrebbe un fascio di elettroni allargato.

Questo fenomeno viene contrastato grazie alla combinazione della parte anodica, progettata in modo tale da produrre al suo interno un campo \vec{E} radiale che contrasta la forza centrifuga dei elettroni.

Questa funzione di focalizzazione si realizza attraverso il controllo della d.d.p. dell'anodo centrale (A_2) (mentre gli altri 2 vengono mantenuti a potenziale costante).
Il controllo di (A_2) si realizza attraverso il comando (focus).

Il sistema appena descritto viene realizzato attraverso
a) l'utilizzo di un sistema a 4 leuti

2 lens convergenti e 2 divergenti (anche altre lenti elettriche)



$A_1 \rightarrow$ il fascio viene rallentato

$A_2 \rightarrow$ lo si fa convergere

$A_3 \rightarrow$ lo si accelera

Sistema di deflessione

Obiettivo deflessione del fascio sia nella direzione orizzontale sia quella verticale.

\rightarrow costituito da 2 coppie di placchette di materiale conduttore

- Ciascuna coppia è costituita da 2 placchette parallele, leggermente divergenti, ortogonali all'altra coppia e alla direzione dell'asse z .

▲ Applicando una d.d.p. alle placche si crea un campo \vec{E} in grado di far deviare la traiettoria del fascio di elettroni.

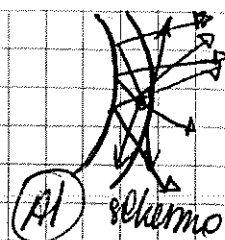
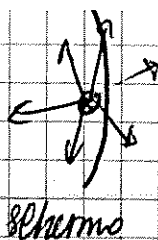
Schermo superficie ricoperta di "fosfori" (composti di zinco e cadmio o di altri materiali alcalini)

Proprietà principale di tali elem. chimici: convertire l'energia cinetica ceduta ad essi (dal fascio di elettroni) in radiazione luminosa

Efficienza \rightarrow ridotta del 10% (cioè il 10% di $E_{cin}^{(el)}$ viene convertita in calore) in luce, il restante 90% \rightarrow calore

Soluzione. deposizione di uno sottile strato di alluminio (quasi trasparente al fascio di elettroni)

- Vantaggi
 - dissipazione del calore
 - completa riflessione verso l'esterno della parte di luce diffusa dai fosfori all'interno del tubo
 - smaltimento per conduzione delle cariche accumulate



• elettrone

↳ strato spesso era un pacco di strati atomici

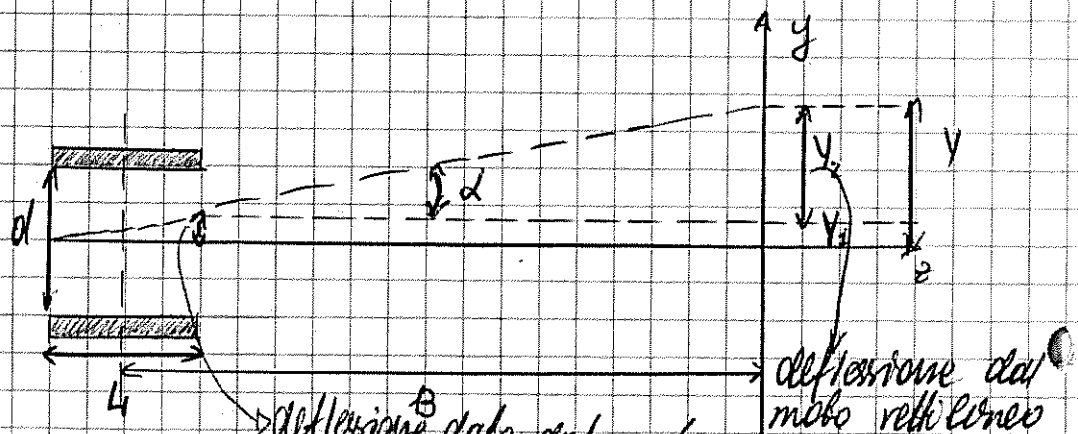
NB Attraverso la deposizione dello strato di M si ha la complete riflessione (fenomeno buco) dei raggi luminosi generati dallo strato di "forfori".
 Dunque aumenta la luminosità anche

A sullo schermo del tubo viene inoltre posta una griglia con la funzione di consentire le misure.
 8 divisioni verticali, 10 orizzontali

B.1.2 Sensibilità verticale e banda passante

• Sistema di deflessione verticale

NB si vuole determinare le leggi che governano la deflessione



Dove:

- d - distanza tra le placche parallele fino al termine delle placche
- L - lunghezza delle placche
- B - distanza tra lo schermo e il p.to centrale delle placche di deflessione
- V_d - tensione applicata alle placche
- V_{acc} - tensione tra l'anodo e il catodo che ha prodotto l'accelerazione degli elettroni (nella direzione z)

Allora essa produce un campo $\vec{E}_y = \frac{-V_d}{d}$ distanza tra le

● Esso ne esercita una forza F_y che agisce sulla traiettoria degli elettroni e la modifica.

$$3.1.1. \begin{cases} F_y \\ \vdots \end{cases} = E_y q = \frac{-q V_d}{d} = \begin{cases} -e \frac{V_d}{d} \\ \vdots \end{cases}, \text{ e con cui dell'elettrone}$$

Poi per ipotesi, essendo V_d , E_y e F_y costanti ne segue che la componente lungo y del moto è di tipo uniformemente accelerato con:

$$3.1.2 \quad a_y = \frac{e V_d}{d \cdot m}, \text{ dove } m = \text{massa elettrone} \quad \boxed{\vec{F} = m \cdot \vec{a}}$$

All'uscita delle placche, gli e non sono più soggetti a tale forza

● F_y , allora la loro componente del moto lungo y diventa di tipo rettilineo uniforme con v costante

nella direzione (z) la componente del moto è determinata dall'accelerazione subita dagli e nella regione frizionale, che si determina eguagliando l'energia $e \cdot V_{acc}$ fornita dal campo \vec{E} con l'energia cinetica acquisita $\frac{1}{2} m v_z^2$, quindi

$$3.1.3 \quad e V_{acc} = \frac{1}{2} m v_z^2$$

da cui

$$3.1.4 \quad v_z = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot V_{acc}}{m}} \rightarrow \text{evidenza del moto rettilineo uniforme}$$

Si ha una deflessione V_1 in direzione y fino al termine delle placche, mentre nella fase del moto uniforme si ha una deflessione verticale V_2

Tempo τ di transito delle placche

$$\tau = \frac{L}{v_z} = L \sqrt{\frac{m}{2 e V_{acc}}}$$

la velocità in direzione y si ottiene integrando 3.1.2 tra t_0 e $t_0 + \tau$:

$$\int_{t_0}^{t_0 + \tau} \frac{e \cdot V_d}{d \cdot m} dt = \frac{e \cdot V_d}{d \cdot m} \int_{t_0}^{t_0 + \tau} dt = \frac{e \cdot V_d}{d \cdot m} [t]_{t_0}^{t_0 + \tau} = \frac{e \cdot V_d}{d \cdot m} (t_0 + \tau - t_0) = \frac{e \cdot V_d}{d \cdot m} \cdot \tau \quad (25)$$

Integrando ulteriormente si ottiene la deflessione Y_1 :

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= \int_{t_0}^{t_0+\tau} \frac{e \cdot V_d}{d \cdot m} \tau dt = \frac{e \cdot V_d}{d \cdot m} \int_{t_0}^{t_0+\tau} \tau dt = \\
 &= \frac{e \cdot V_d}{d \cdot m} \cdot \frac{1}{2} [\tau^2]_{t_0}^{t_0+\tau} = \frac{e \cdot V_d}{d \cdot m} \cdot \frac{1}{2} [(t_0+\tau)^2 - t_0^2] = \\
 &= \frac{e \cdot V_d}{d \cdot m} \cdot \frac{1}{2} [t_0^2 + \tau^2 + 2t_0\tau - t_0^2] = \\
 &= \frac{e \cdot V_d}{d \cdot m} \cdot \frac{1}{2} \tau (\tau + 2t_0) = \frac{1}{2} v_y (\tau + 2t_0) = \frac{v_y}{v_z} \frac{(t_0+\tau)L}{2}
 \end{aligned}$$

$$Y_2 = \left(B - \frac{L}{2}\right) \tan \angle = \left(B - \frac{L}{2}\right) \frac{v_y}{v_z} (t_0 + \tau)$$

La deflessione Y è quindi:

$$\begin{aligned}
 Y &= Y_1 + Y_2 = \frac{v_y}{v_z} (t_0 + \tau) \cdot \frac{L}{2} + \left(B - \frac{L}{2}\right) \frac{v_y}{v_z} (t_0 + \tau) = \\
 &= \frac{v_y}{v_z} (t_0 + \tau) \left[\frac{L}{2} + B - \frac{L}{2}\right] = B \cdot \frac{v_y}{v_z} (t_0 + \tau) = \\
 &= \boxed{\frac{B \cdot L}{2d} \cdot \frac{V_d}{V_{acc}}}
 \end{aligned}$$

Si definisce sensibilità statica del CRT il rapporto

$$S_s = \frac{Y}{V_d} = \frac{L \cdot B}{2d V_{acc}}$$

[NB] I termini di sensibilità sono amplificazione verticale o guadagno

Il reciproco di S_s è chiamato fattore di deflessione

di deflessione verticale:

$$V_d(t) = V_0 \sin(\omega t + \varphi) = V_0 \sin\left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi\right)$$

(b)

• $T \gg \tau \rightarrow$ valgono ancora le leggi per il moto del fascio ricavate nel caso statico.

• $T \approx \tau$ oppure $T \ll \tau$ Δ

la traiettoria del fascio tra le placche non sarà più parabolica. Per ragioni costruttive $L \ll B$, in 1° appross. si può trascurare quota parte della Y_1 rispetto a Y_2 quindi:

$$Y = Y_1 + Y_2 \approx Y_2 = B \tan \alpha = B \frac{v_1}{v_2} (t_0 + \tau)$$

$$\begin{aligned} v_y(t_0 + \tau) &= \int_{t_0}^{t_0 + \tau} a_y dt = \int_{t_0}^{t_0 + \tau} \left[\frac{e}{m \cdot d} V_0 \sin(\omega t + \varphi) \right] dt = \\ &= \frac{-e V_0}{m \cdot d} \left[\cos(\omega t + \varphi) \cdot \frac{1}{\omega} \right]_{t_0}^{t_0 + \tau} = \frac{-e V_0}{m \cdot d} \cdot \frac{1}{\omega} \left[\cos[\omega(t_0 + \tau) + \varphi] - \cos(\omega t_0 + \varphi) \right] = \\ &= \frac{e V_0}{m \cdot d} \cdot \frac{2}{\omega} \sin\left[\frac{(\omega t_0 + \tau)\omega + 2\varphi}{2}\right] \sin\left(\frac{\omega \tau}{2}\right) = \end{aligned}$$

• le di seno/diff tra angoli

$$= \frac{e V_0}{d \cdot m} \cdot \tau \frac{\left| \sin\left(\frac{\omega \tau}{2}\right) \right|}{\frac{\omega \tau}{2}}$$

la suscettibilità dinamica del CRT

$$S_d = \frac{Y}{V_0} = \frac{L B}{2 d V_{acc}} \frac{\left| \sin\left(\frac{\omega \tau}{2}\right) \right|}{\frac{\omega \tau}{2}} = S_s \frac{\left| \sin\left(\frac{\omega \tau}{2}\right) \right|}{\frac{\omega \tau}{2}}$$

Si definisce ulteriormente come limite superiore della banda passante del sistema di deflessione la frequenza f_M

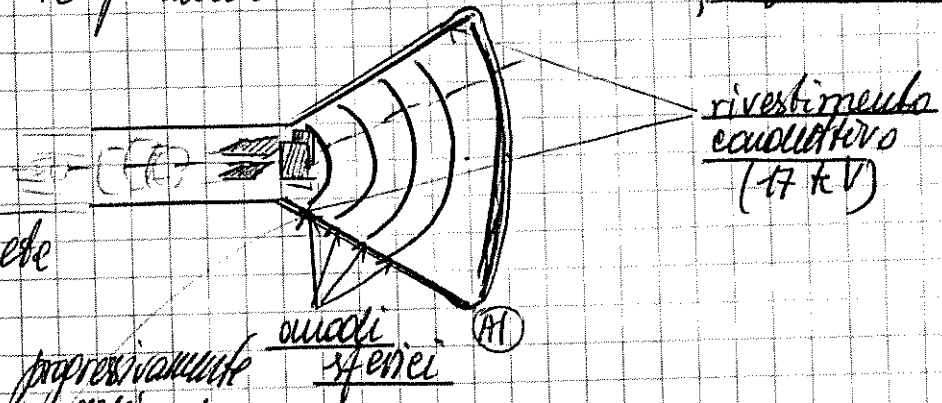
(in corrispondenza della quale $S_d \leq S_s$ di 3dB), attenuazione raggiunta quando:

$$\frac{\omega \tau}{2} < \frac{\pi}{2} \rightarrow \frac{2\pi f_M \tau}{2} < \frac{\pi}{2} \Rightarrow f_M < \frac{1}{2\tau} = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{e V_{acc}}{2 \cdot m}}$$

NB Tanto più piccolo risulta e tanto più grande sarà la banda passante del tubo

Inoltre, tra le placchette di deflessione e lo schermo viene posto un'ulteriore sezione di accelerazione detta post-accelerazione (serve a mantenere la traiettoria degli elettroni) (Pro: si può ridurre il potenziale ^{accelerante} nella sec. bradica, migliorando la sensibilità)

→ struttura
serie di anodi realizzati con una rete a struttura sferica i cui potenziali sono progressivamente crescenti e più potenti dell'altro
An questo modo si crea un campo elettrico radiale che mantiene inalterata la traiettoria degli elettroni aumentando la velocità verso lo schermo
Il rivestimento conduttivo chiude lo spazio elettrico.



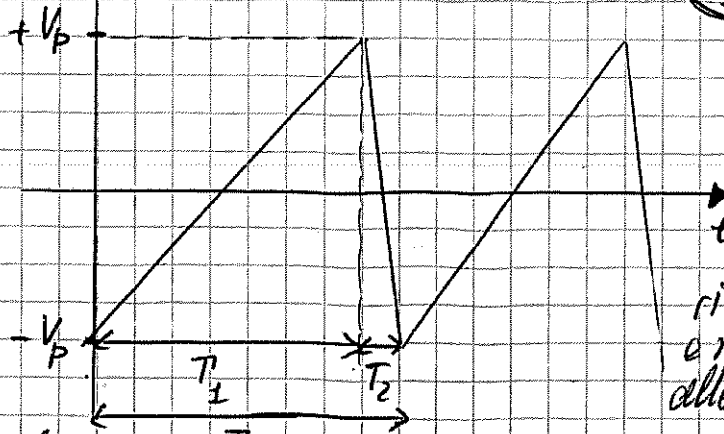
• Sistema di deflessione orizzontale [3.1.4]

Si consideri il caso in cui l'oscilloscopio venga impiegato per la visualizzazione di segnali periodici.

Affinché la traiettoria del fascio di elettroni sullo schermo del CRT sia rappresentativa dell'andamento temporale del segnale, è necessario controllare le placche di deflessione orizzontale per ottenere una deflessione in questa direzione.

Ciò si ottiene comandando le placche di deflessione orizzontale con un segnale a dente di sega.

T_d - periodo del segnale a dente di sega



$-V_p; +V_p$ - tensione rispettivamente minima e massima applicata alle placche di deflessione orizzontale

durante la fase positiva della rampa il fascio viene deflesso nella direzione positiva dell'asse x .
durante la fase negativa (di durata molto inferiore, ...) il fascio subisce una veloce deflessione nella direzione negativa dell'asse x .

• **WB** Per evitare che durante la fase del ritorno il fascio produca una traccia inconsiderata, si riduce fortemente l'intensità, attraverso il controllo del segnale chiamato (unblanking) che interviene sul potenziale della griglia.

⚠ T_1 può essere variato, variando la pendenza del tratto ascendente del segnale, attraverso il controllo realizzato da un insieme di dispositivi denominato basse dei tempi.

• Per una corretta visualizzazione del segnale periodico (ovvero senza sovrapposizioni o etc) si deve soddisfare la seguente relazione:

$$T_d = n T_s$$

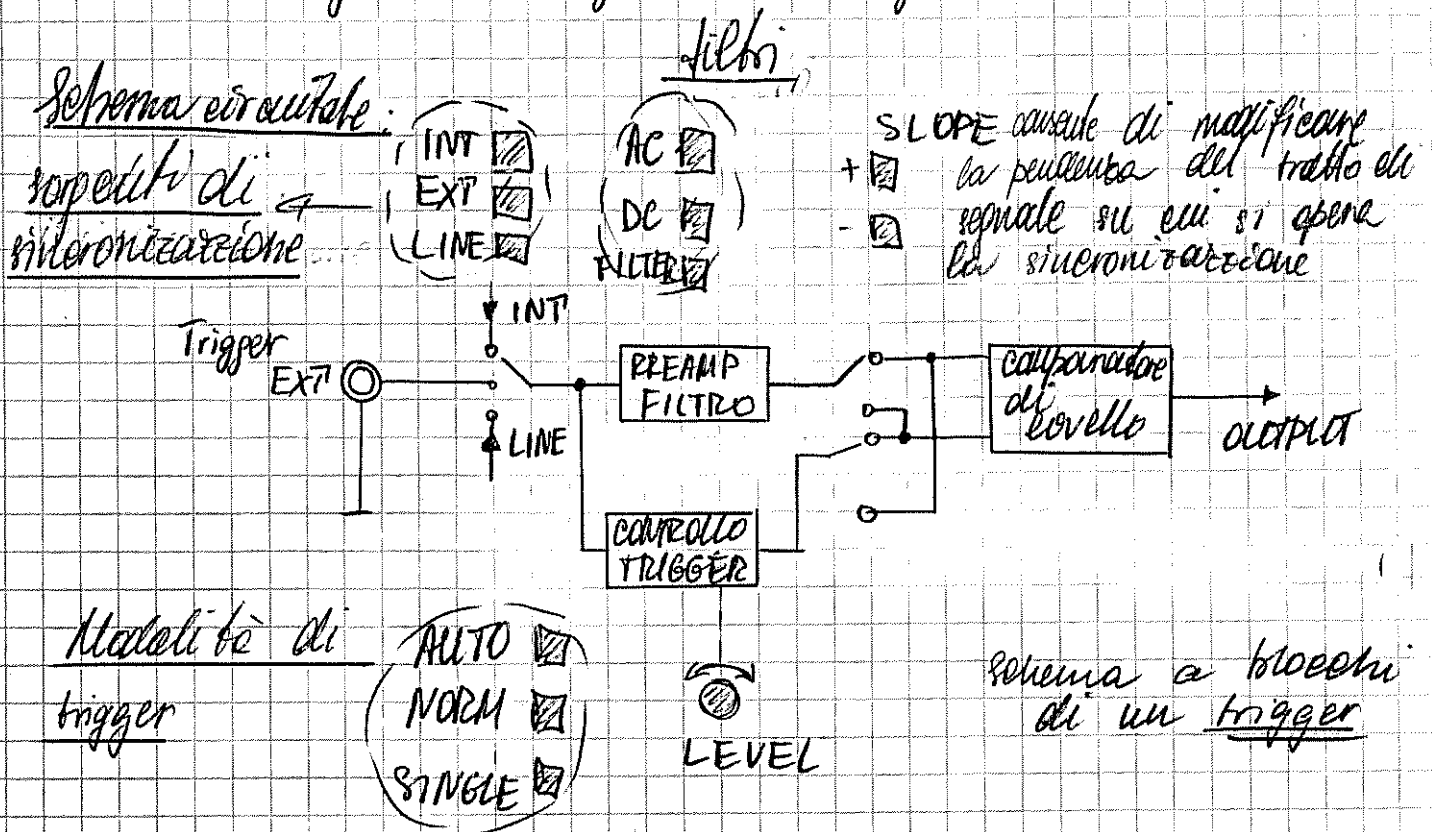
▷ periodo del segnale da osservare
▷ $n \in \mathbb{N}$, intero

↓
periodo del segnale a dente di sega

Inoltre si deve sincronizzare il segnale a dente di sega con il segnale da osservare (attraverso l'attivazione del comando di sincronizzazione, operata da un insieme di dispositivi della sezione di sincronismo, o trigger).

3.1.5 Serie di sincronismo Trigger.

Circuito, che realizza la sincronizzazione tra il segnale a due di sega e il segnale d'ingresso.



• Sorgenti di sincronizzazione

- INT interna, la sorgente di sincronizzazione è rappresentata dal segnale che si vuole visualizzare, prelevato dalla sezione di condizionamento verticale
- EXT esterna, un segnale diverso da quello che si intende visualizzare, che viene applicato ad un input ausiliario presente sul pannello frontale dell'oscilloscopio.

Esempio di sincronizzazione esterna è quello quando si vuole visualizzare un segnale logico sincronizzato ad un segnale di clock

- LINE rete, la sorgente di sincron. è un segnale derivato da quello delle rete di alimentazione
- Utile quando il miniradio ha una frequenza sincrona con quello delle rete

Prima di giungere al comparatore di livello, il segnale viene pre-amplificato e inviato ad una sezione di filtraggio.

• Tipi di filtri

▣ AC filtro passa alto → viene eliminata la componente continua sovrapposta al segnale.

▣ LP filter filtro passa basso → viene utilizzato per ridurre la banda superiore del segnale di sincronismo.

Utile quando si vuole eliminare rumore in alta frequenza presente sul segnale di sincronismo.

▣ DC filtro passa tutto il segnale non viene modificato, ovvero non viene alterato il suo spettro.

• Modalità di trigger

WB Il trigger consente di avere un ^{del seg.}impulso fermo sullo schermo.

NORMALE l'operatore deve impostare un valore adeguato del livello di trigger. Se ciò non avviene non si ha generazione di impulsi di sincronismo all'uscita del comparatore di livello, quindi non viene alterato il segnale e dente di sega e non viene visualizzato il segnale.

AUTOLATICA il blocco di controllo di trigger genera un treno di impulsi anche in assenza di segnale d'ingresso.

Se non c'è un segnale d'ingresso sullo schermo appare una linea grigiata (utile in fase di allineamento dello schermo sul reticolo).

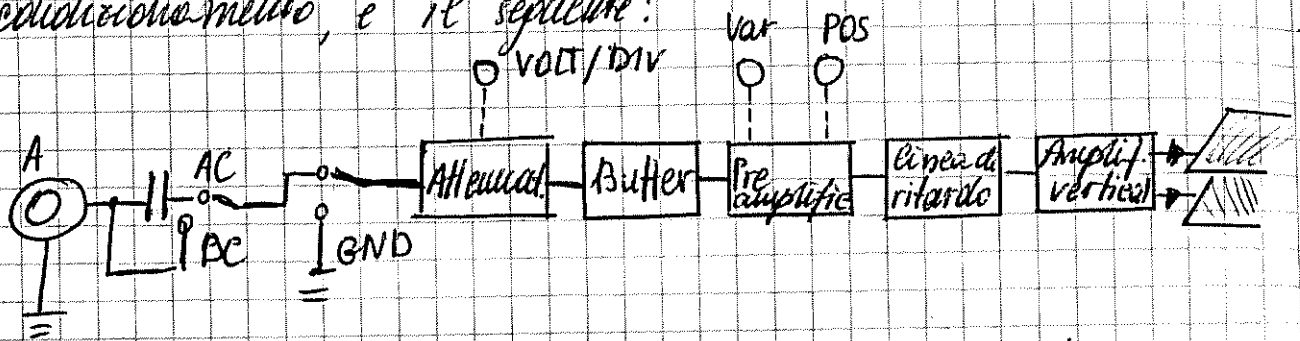
Se c'è il segnale d'ingresso, esso viene visualizzato ma il punto iniziale di rappresentazione cambia di volta in volta, non essendoci correlazione tra il periodo di impulsi di trigger e quello del segnale applicato, quindi la rappresentazione non è stabile. Utile per poi regolare manualmente il livello di trigger.

SINGLE l'operatore abilita l'emissione di un singolo impulso di trigger. Viene generato quindi un singolo periodo del segnale a dente di sega e viene visualizzato un singolo periodo del segnale d'ingresso.

Utile per "fotografare" l'andamento di un transitorio.

3.1.3 Sezione di amplificazione verticale

Il segnale che si vuole visualizzare subisce, all'interno dell'oscilloscopio, una serie di condizionamenti per renderlo adatto a controllare la deflessione verticale del CRT. Lo schema di base dei dispositivi che operano questo condizionamento, è il seguente:



Il segnale d'ingresso, dal canale A, viene trasferito all'Attenuatore attraverso un commutatore a 3 posizioni:

DC (accoppiamento in continua) → il segnale viene trasferito senza alterazioni

AC (accoppiamento in alternata) → elimina la componente continua

Utile del segnale in ingresso in molti casi in cui si è interessati a visualizzare la sola parte variabile del segnale.

GND (l'ingresso dell'attenuatore è cortocircuitato a massa) in questo caso è possibile effettuare l'allineamento delle tracce luminose con una linea orizzontale del reticolo, agendo sul comando vertical position (in grado di traslare verticalmente la traccia sullo schermo).

Con questa operazione viene associata alle linee orizzontali prescelte il valore di tensione zero.

NB Esempio di scelto accoppiamento AC: misure di

ripple (ondulazione residua) → solo di ordine di un millivolt o anche di meno rispetto alle tensioni continue, quindi se non eliminate non si riuscirebbe a vedere le ripple sullo

Invece è immediato concludere che per segnali a bassa frequenza è opportuno accettare in DC

- L'Attenuatore ha la funzione di variare e/o impostare il fattore di deflessione verticale dell'oscilloscopio, espresso in volt/divisione [V/div] in modo da adattarlo al segnale che si vuole visualizzare → si realizza attraverso un commutatore che varia il coef. di deflessione verticale secondo passi tarati.

△ È possibile introdurre una attenuazione variabile attraverso la regolazione di un potenziometro.

Questa regolazione si realizza nello stadio preamplificatore, del tipo a guadagno elevato e basso rumore, connesso attraverso un trasformatore di impedenza Buffer all'attenuatore di ingresso.

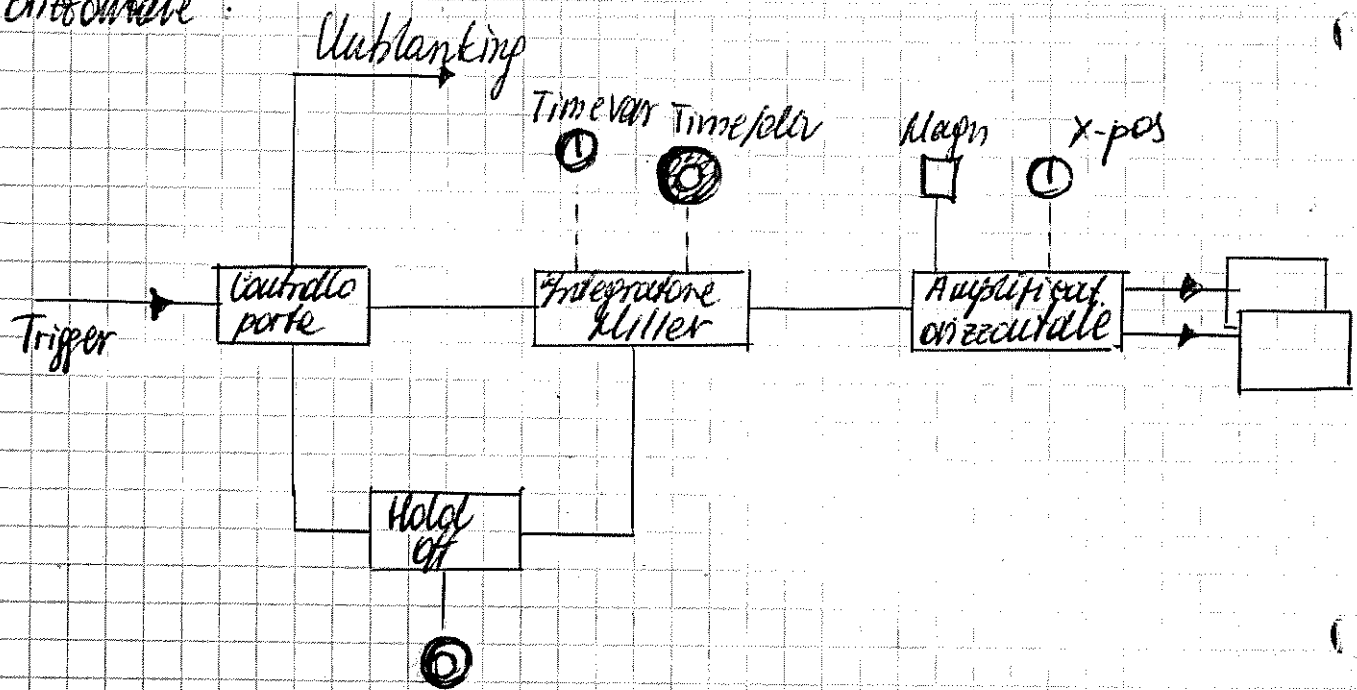
All'uscita del Preamplificatore il segnale viene inviato attraverso una linea di ritardo, ad un Amplificatore che ne amplifica il livello fino ad un valore cca centenario di volt per il controllo diretto dello schermo.

△ Tutto il complesso di dispositivi preposti alla deflessione verticale del fascio concorre a determinare la banda passante dello strumento.

- banda passante = il valore della frequenza del segnale in ingresso sinusoidale l.e. sullo schermo l'ampiezza del segnale appare attenuata di 3dB rispetto al suo valore reale

3.1.6) Sezione della base dei tempi

Schema a blocchi della base dei tempi e dell'amplificazione orizzontale.



Nota: la scansione in senso orizzontale dello schermo è comandata attraverso l'applicazione del segnale a delle di sega alle placche orizzontali.

Tutti i dispositivi di questo processo fanno riferimento alla sezione dell'oscilloscopio indicata con il termine base dei tempi.

Il primo impulso proveniente dal trigger attiva il blocco di controllo di porte [GATE]. Si hanno 3 effetti

- ① parte il tratto ascendente della rampa (generato da un circuito detto di Miller) alimentato a tensione costante.
- ② aumento l'intensità del fascio di elettroni (attraverso il controllo dell'intensità della griglia operato dal comando unblanking)
- ③ mascherazione dei successivi impulsi provenienti dal trigger.

Procedimento

Durante la fase ascendente T_1 (dal segnale a delle di sega) il fascio di elettroni viene deflesso in senso orizzontale da sinistra verso destra.

in corrispondenza di $+V_p$, il comando di prova occorre il livello di uscita provocando una rapida discesa (di durata T_2)

che riporta la rampa alle cond. iniz.

Per evitare che durante T_2 vengano proiettate delle linee indesiderate si controlla l'intensità del fascio attraverso l'unblanking.

Una volta terminato il periodo T_2 il gate viene riabilitato attraverso un comando di reset.

[NB] Hold-off \rightarrow permette di mascherare (per un tempo prefinito) gli impulsi del trigger dopo le fasi di discesa delle rampe

Time/div \rightarrow permette di variare la costante di integrazione dell'integratore di Miller (non modificando l'ampiezza picco-picco)

Magnifier \rightarrow determina un ingrandimento di un fattore $\times 5010$ delle tracce in senso orizzontale.
 \hookrightarrow è uno "zoom", possibilità data dall'amplifier

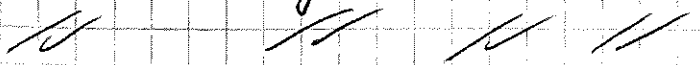
[3.17] Traccia verticale multiple

Δ In molti oscilloscopi è prevista la possibilità di visualizzare contemporaneamente 2 segnali diversi

\downarrow
Oscilloscopio a doppia traccia \rightarrow ha 2 sezioni identiche di amplificazione verticale
Canale A Canale B

Possibili selezioni di visualizzazione dei segnali.

① Solamente il segnale ^{proveniente} dal canale A

②  B

③ Contemporaneamente entrambi.

Modalità di visualizzazione

① Alternated → durante le rampe ^{ascendenti} pari alle placche di deflessione verticale viene inviato il segnale del CH B, mentre durante le dispari → CH A

→ se la durata della rampa è suff. breve le 2 tracce appaiono "contemporanee".

le 2 tracce appaiono stabili se i 2 segnali sono isofrequentati (o uno è il multiplo intero dell'altro), altrimenti appare instabile il segnale che fornisce la base di sincronismo delle linee di tempo (l'altro appare instabile)

Segnali non isofrequentati → si varia la base di sincronismo ad ogni rampa

Alternated si usa per segnali di frequenza alta

② Chopped → si usa per i segnali lenti

↳ si mandano in modo alternato i segnali provenienti da entrambi i canali, in tempi T_c molto più piccoli del T_d

→ si ottiene l'effetto di frutti di segnali, che se la loro densità è elevata l'immagine viene percepita come continua

⚠ la sorvente di sincronizzazione NON possa variare da rampa a rampa

Per coefficienti di tempo C_t

⚠ $C_t < 0,2 \text{ ms/div} \rightarrow \text{alternated}$

$C_t > 0,2 \text{ ms/div} \rightarrow \text{Chopped}$

Il collegamento tra il punto del prelievo del segnale e l'ingresso dello strumento è necessario che effettuiamo con un cavo schermato, in modo da ridurre i disturbi indotti dai campi elettromagnetici all'ingresso dello strumento (oscilloscopio).

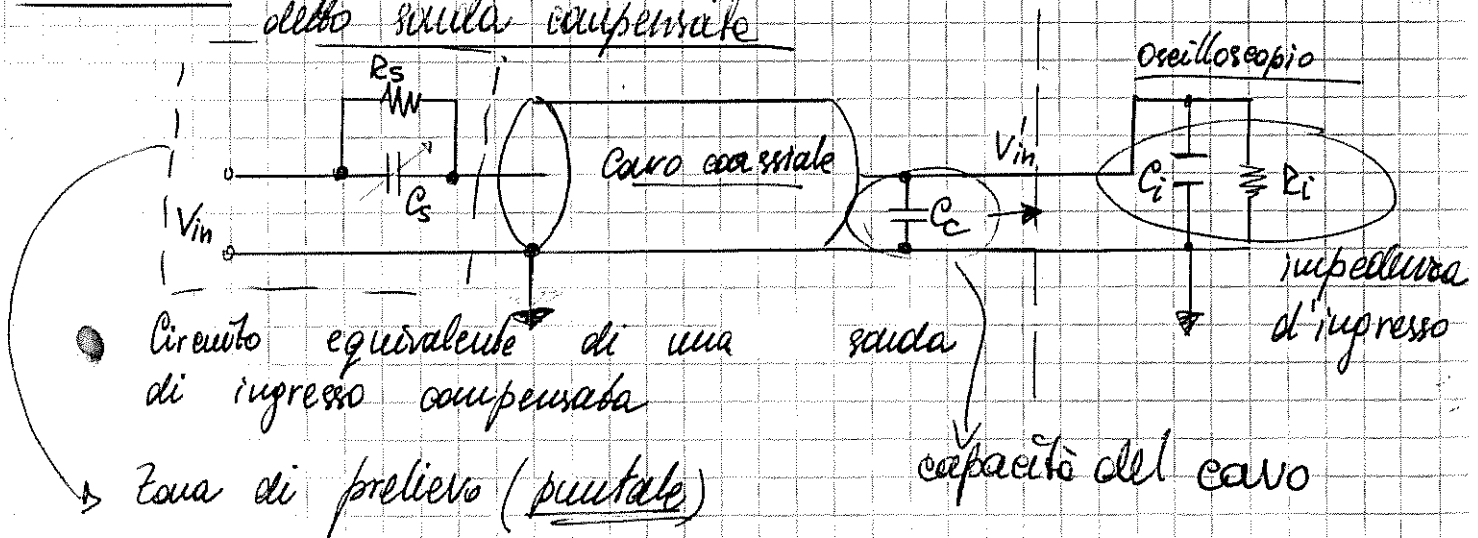
Cavo schermato è una linea di trasmissione con impedenza caratteristica di 50Ω .

Perciò l'attenuazione subita da segnali a frequenza più elevata è maggiore di quella subita a bassa frequenza.

Allora, ad esempio le armoniche di ordine elevato di un'onda quadra subiranno un'attenuazione maggiore.

Risultato: rappresentazione sbagliata del segnale di onda quadra

Soluzione il segnale viene prelevato attraverso un dispositivo detto sonda compensata



l'attenuazione introdotta sul segnale V_{in} :

$$a = \frac{V_{in}}{V'_{in}} = \frac{Z_i + Z_s}{Z_i} = \frac{\frac{R_i}{1 + j\omega R_i(C_i + C_c)} + \frac{R_s}{1 + j\omega R_s C_s}}{\frac{R_i}{1 + j\omega R_i(C_i + C_c)}}$$

Nel caso in cui $R_i(C_i + C_s) = R_s C_s$ si ha la forma notevole

$$a = \frac{V_{in}}{V'_{in}} = \frac{R_i + R_s}{R_i}$$

Essa implica 2 vantaggi fondamentali:

- ① l'attenuazione non dipende più da ω , pertanto è costante con la frequenza
i segnali a spettro di frequenza non vengono distorti
- ② l'impendenza d'ingresso $Z_i + Z_s$ visto dal puntale è maggiore di quella dell'orecchio Z_i
minor effetto di carico dello strumento sul circuito in prova e una minor perturbazione.

Valore tipico di $R_s = 9 \text{ M}\Omega$;

$C_s \rightarrow$ di tipo variabile e può essere regolato dall'operatore
in modo da ottenere

$$a = \frac{R_i + R_s}{R_i}$$

\rightarrow regolazione di $C_s =$ compensazione della sonda

Compensazione corretta \rightarrow la forma d'onda delle
rettangolare (quadrata) viene
visualizzata correttamente

Sovracompensazione valore di C_s troppo elevato

vengono poco attenuate le armoniche
di ordine più elevato

Sottocompensazione valore di C_s troppo piccolo

vengono attenuate maggiormente le
armoniche di ordine più elevato

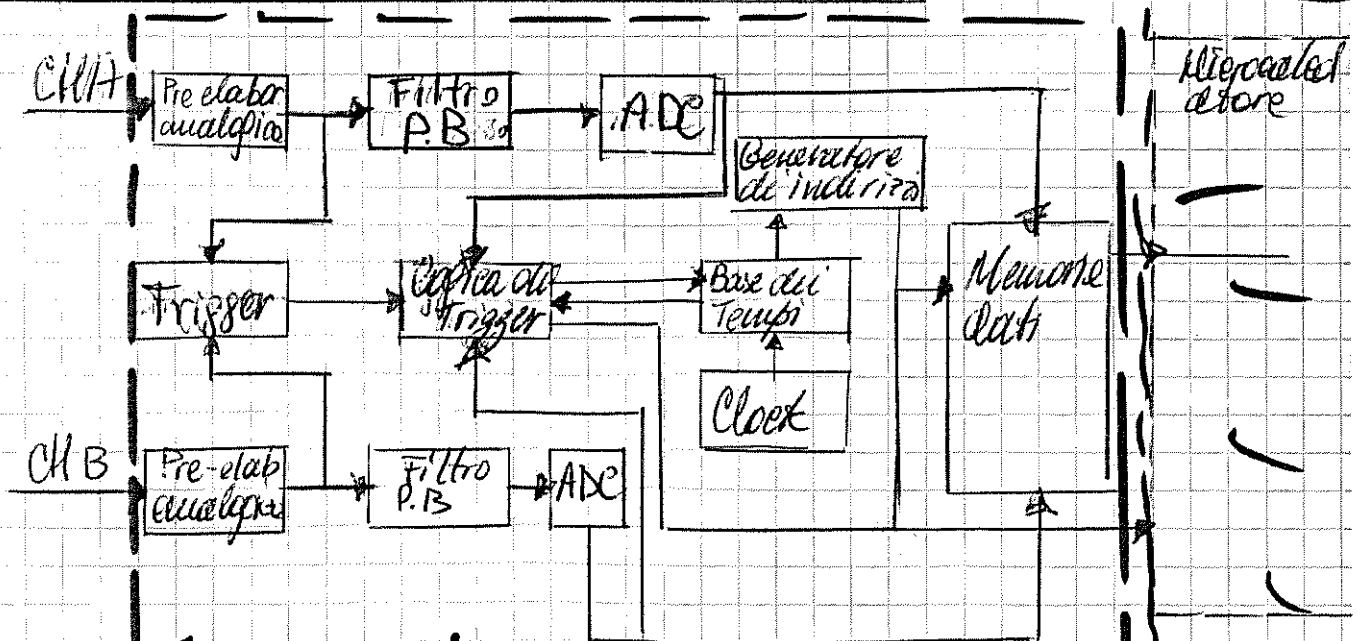
Principio di base: campionamento e conversione del segnale che si intende visualizzare in una sequenza di campioni numerici, cui fa seguito la memorizzazione e elaborazione dei campioni stessi, con lo scopo finale di ricostruire sullo schermo dello strumento l'andamento temporale del segnale originale a partire dai campioni numerici.

3.2.1. Architettura generale di un DSO

Vi sono 4 fasi del processo di misura:

- ① Il campionamento analogico, campionamento e la conversione in una sequenza numerica del segnale di misura
- ② Memorizzazione dei campioni
- ③ L'elaborazione numerica finalizzata alla ricostruzione del segnale.
- ④ Visualizzazione su di un display

Schema a blocchi di un DSO a 2 canali



Acquisizione e memorizzazione

postelaborazione e
visualizzazione

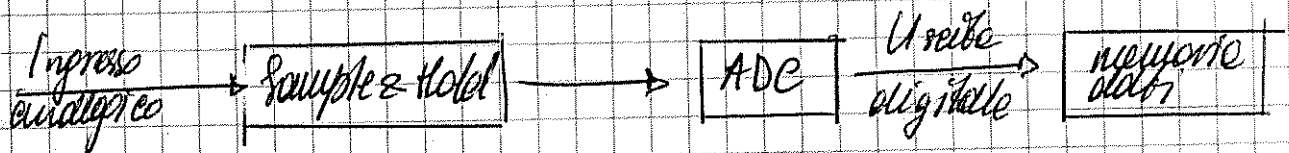
Δ Una caratteristica rilevante è la separazione temporale tra il processo di acquisizione dei segnali e quello di visualizzarli sul display, dato dalla possibilità di memorizzare i dati.

Benefici si esprime in un display grafico caratterizzato da una banda passante che può essere anche molto inferiore rispetto a quella del segnale di ingresso.

Display migliori LCD con tecnologia TFT
- elevata risoluzione e dimensioni di schermo

B.2.2 Processo di conversione AD e acquisizione di un DSO

All'uscita degli stadi di pre-elaborazione il segnale viene convertito in una sequenza di campioni numerici attraverso l'impiego di un sistema di campionamento, conversione AD e memorizzazione:



Dal punto di vista delle prestazioni queste sezioni dipendono dai seguenti parametri:

① Risoluzione del ADC (risoluzione tipica di 8 bit)

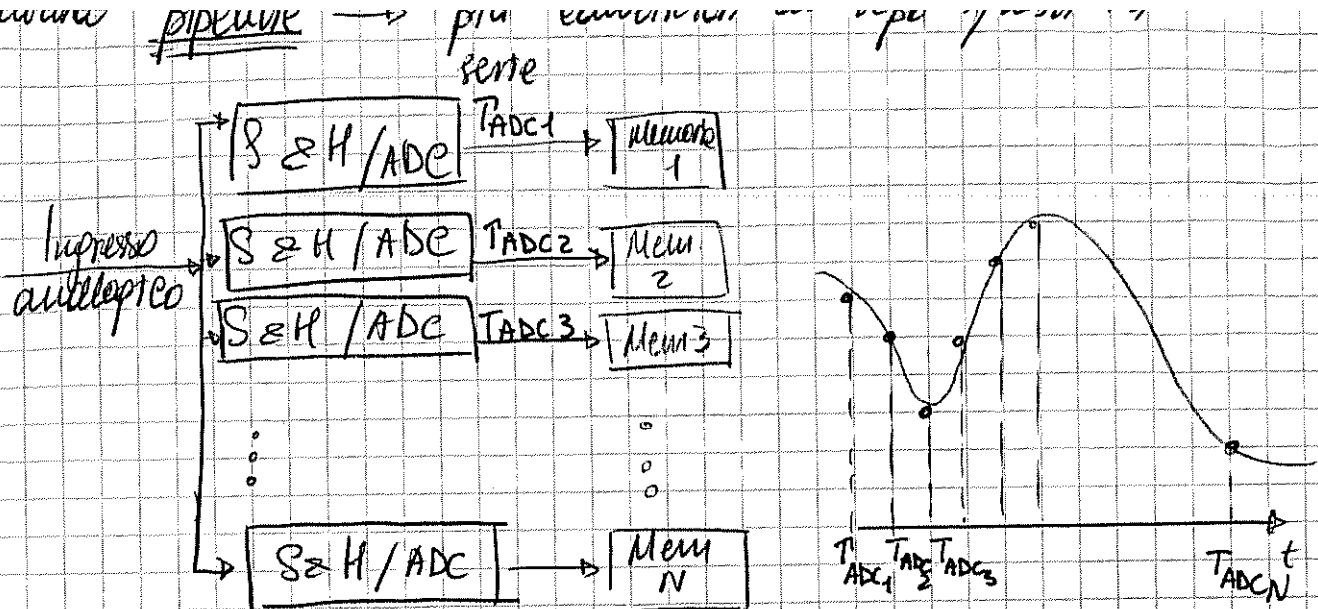
② f_{max} di campionamento e di conversione

③ capacità max della memoria

gioca un ruolo diretto nel determinare la banda dell'oscilloscopio. Si possono reperire ADC con f_{max} di qualche decine di MHz

Δ Vengono utilizzati dei ADC di tipo flash che

(40) ci esprime internamente gli dati di un dispositivo S&H



Il comando di conversione viene inviato a ciascun convertitore con un ritardo temporale τ rispetto al convertitore che lo precede.

Sia N il numero di convertitori.

Allora la frequenza di campionamento e conversione di ciascun convertitore è

$$f_{ADC} = \frac{1}{N\tau}$$

la frequenza con cui vengono prelevati i campioni sul segnale è

$$f_s = \frac{1}{N\tau} \cdot N = \frac{1}{\tau}$$

Fase di memorizzazione → strutture di blocchi di memoria con modalità di funzionamento di tipo pipeline

37.3

Modalità di campionamento in un DSO

- ① in tempo reale (single shot)
- ② sequenziale in tempo equivalente
- ③ casuale in tempo equivalente

NB le ② e le ③ \Rightarrow applicabili solamente alla classe dei segnali ripetitivi o periodici.

① tempo reale

I campioni vengono prelevati sul segnale ad un ritmo costante fino al riempimento della memoria dati.

Δ È richiesto soddisfare il teorema di campionamento

$$f_e > 2 f_{\max}(\text{camp})$$

Ci vogliono almeno 25 p.ti per periodo ^{di un segnale periodico} per una giusta rappresentazione del segnale periodico

Si possono intralciare dei miglioramenti attraverso l'impiego di interpolatori: allo stato attuale si usa l'interpolatore $\frac{\sin(x)}{x}$ basato sulla formula di Shannon

② sequenziale in tempo equivalente

Attirabile solamente per segnali di tipo ripetitivo

Consiste nel prelevare un campione \forall evento di trigger.

L'istante di trigger diventa riferimento temporale:

l'evento di trigger viene rinviato rispetto ad esso di un passo τ (ritardo temporale con cui acquisisce il campione)

Vantaggio è possibile visualizzare l'andamento temporale di

un segnale periodico di frequenza elevata utilizzando un ADC

con caratteristiche da f_s molto inferiori a quella necessaria per la

• Δ È necessario che il segnale non cambi le sue proprietà durante tutto il periodo di campionamento
la frequenza adottata è:

$$f_s = \frac{1}{T + \tau}$$

③ Campionamento casuale in tempo equidistante

I campioni vengono prelevati in modo casuale sia prima che dopo ogni evento di trigger.

Il tempo tra ciascun evento di trigger va misurato correttamente in modo da poter riorganizzare e riordinare i punti sul display

Vantaggi in meno tempo

3.2.5 Criteri e confronti di scelta Analog oscilloscope vs DSO

Vantaggi DSO

- maggiore banda passante
- capacità di memorizzare più segnali per lunghi periodi di tempo
- capacità di visualizzare in modo stabile segnali a basse frequenze, mantenere stabile l'immagine
- catturare e memorizzare eventi tipo single shot
- disponibilità di modelli trigger complessi
- misurare in forme d'onda e automatico
- documentare facilmente le misure
- interfacciarlo
- test di autoequilibrare e autodiagnosi

vantaggi qualità
- display tipo vector
- velocità di risposta alle richieste
- no aliasing
- costi più bassi