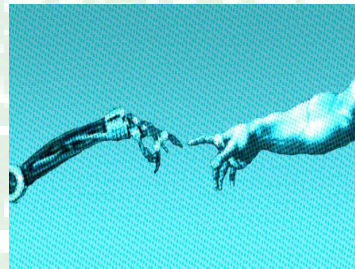




Digital Storage Oscilloscope



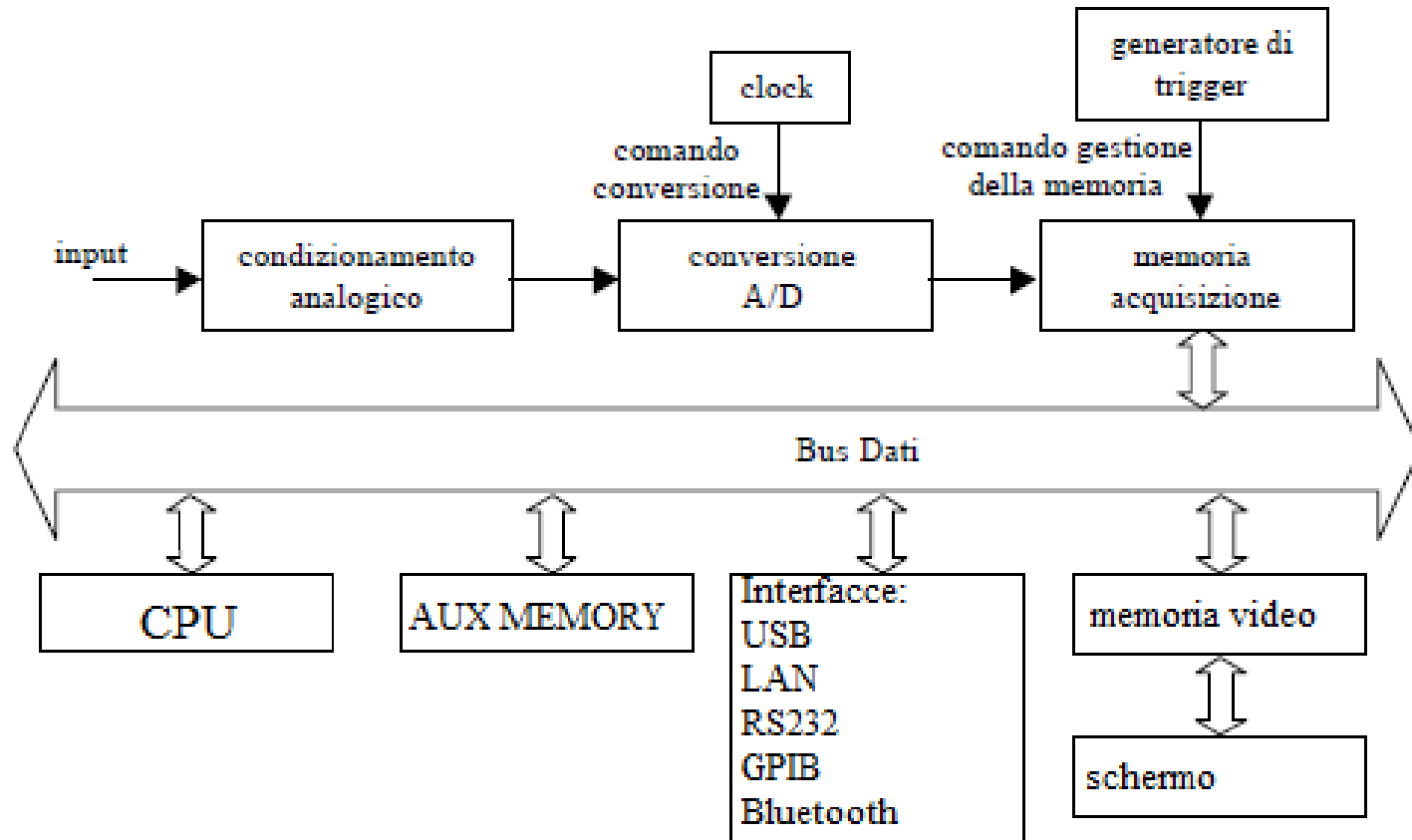
Digital Storage Oscilloscope

Outline

- **Architettura**
- **Gestione della memoria e funzione di Trigger**
- **Modalità di campionamento in tempo reale**
- **Sonde compensate**

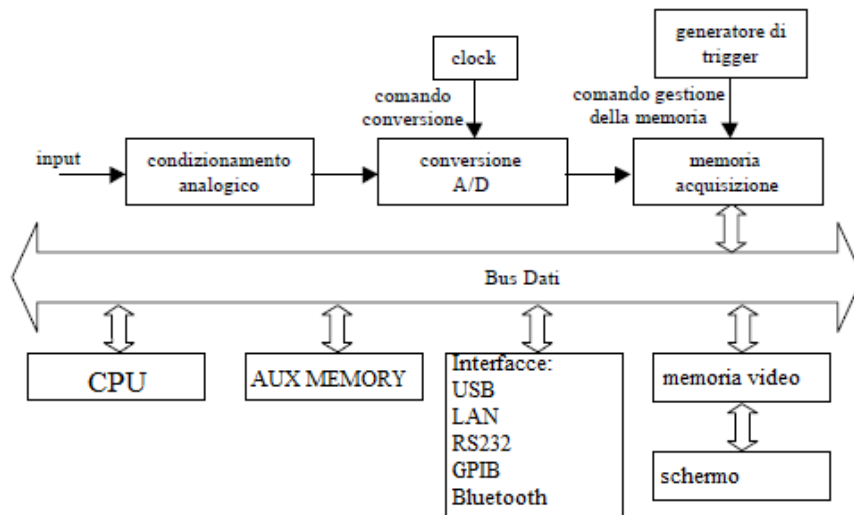
Digital Storage Oscilloscope

Architettura



Digital Storage Oscilloscope

Architettura



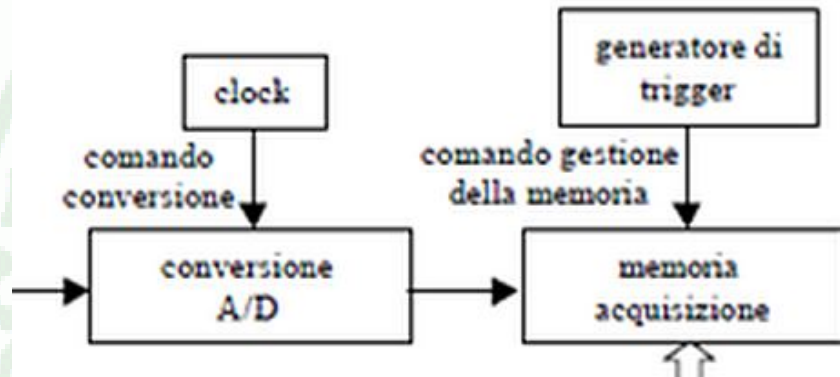
Il ramo superiore possiamo vederlo come un sistema di acquisizione dati in cui è sempre presente un sistema di trigger che serve per mantenere sincronizzata e stabile la traccia sullo schermo.

Collegate al bus, oltre alla CPU, ci sono anche:

1. le memorie di appoggio, le AUX MEMORY, (per l'elaborazione numerica) le quali possono essere sia iscrivibili che di sola lettura.
2. Le porte di interfaccia attraverso cui è possibile collegare lo strumento ad altre unità funzionali.
3. La memoria a video la quale è assimilabile ad una matrice di pixel in cui è definita l'immagine che deve essere riprodotta sullo schermo

Digital Storage Oscilloscope

Architettura



Non possiamo scegliere direttamente la frequenza di campionamento come in un DAQ system.

E' possibile farlo solo in modo indiretto conoscendo il numero di campioni.

Esempio: Tektronix TDS 210. 2500 Campioni distribuiti in 10 divisioni.

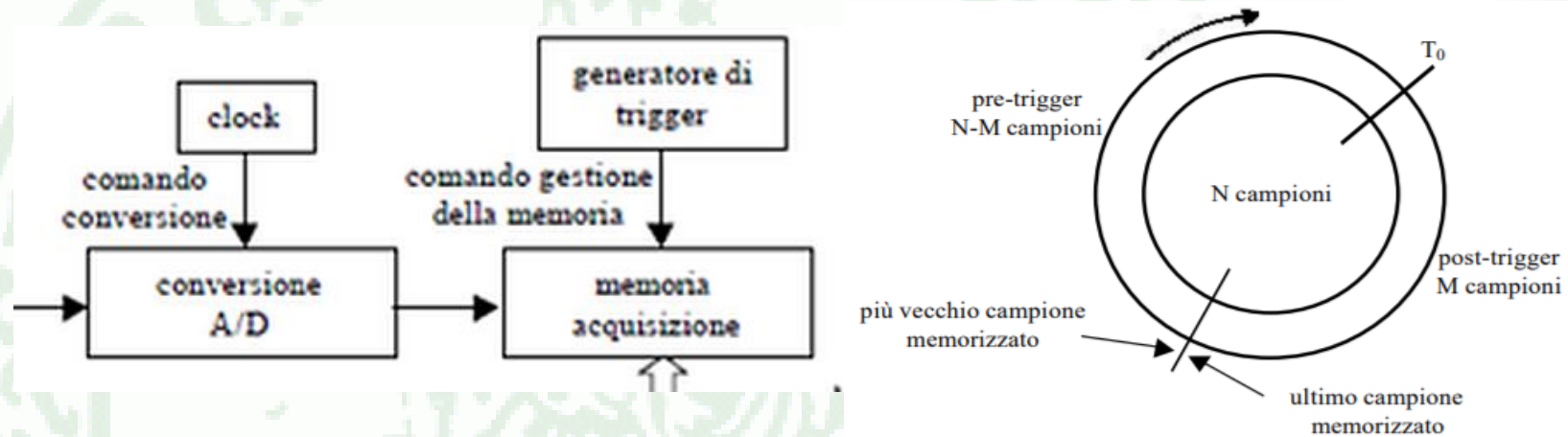
$S/div = 250 \mu s \Rightarrow f_c = 1 \text{ MSa/s}$

È necessario però distinguere la frequenza di campionamento dalla frequenza con cui la memoria di acquisizione memorizza il dato.

Si supponga per semplicità che i campioni vengano prelevati con una $f_c = 1 \text{ GSa/s}$ e di voler memorizzare solo un campione sui 1000 (*decimazione per 1000*) che vengono prelevati: la frequenza con cui la memoria memorizza il dato sarà quindi un millesimo della frequenza di campionamento, cioè sarà $f_{memoria} = 1 \text{ MSa/s}$

Digital Storage Oscilloscope

Gestione della memoria circolare e trigger

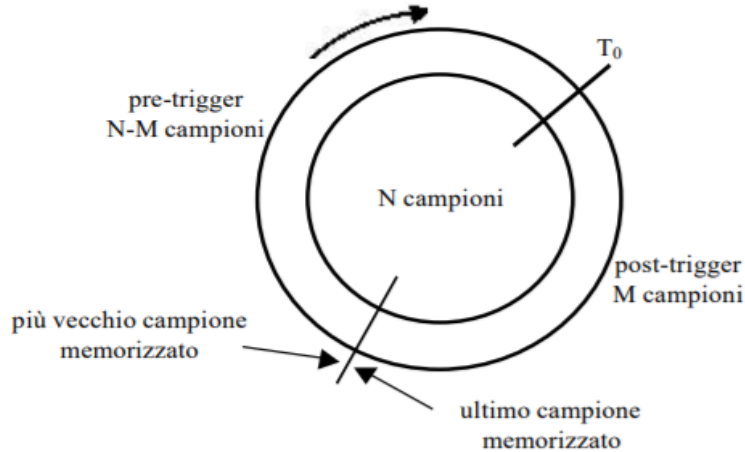


Le locazioni di memoria sono indirizzate da un registro detto Pointer (PTR) il quale si auto-incrementa in modo da indirizzare il dato sempre verso la cella di memoria successiva a quella correntemente iscritta.

Lo strumento può essere predisposto in modo che la memorizzazione si arresti dopo M campioni dall'istante in cui si è verificato il trigger ma poiché il blocco di conversione rimane continuamente in funzione, i campioni successivi all'M-esimo andranno persi.

Digital Storage Oscilloscope

Gestione della memoria circolare e trigger



Si supponga che l'utente abbia impostato il POS X nella posizione centrale dello schermo: in tal caso la memoria memorizza i dati sia prima dell'evento di trigger che dopo. La porzione costituita da $N-M$ campioni appartiene al passato mentre la restante porzione formata da M campioni appartiene al futuro: queste due porzioni vengono dette rispettivamente di pre-trigger e di post-trigger.

Digital Storage Oscilloscope

Modalità di campionamento: Real Time

Per segnali a banda limitata è possibile ricostruire in modo esatto il segnale a partire dai suoi campioni, senza ambiguità, purchè la frequenza di campionamento adoperata sia maggiore o uguale a due volte la banda del segnale (Limite di Nyquist):

$$f_c \geq 2B$$

Il segnale $v_x(t)$ lo si può ricostruire a partire dai suoi campioni $v_x(n)$ prelevati con un passo di campionamento T_s tramite la seguente formula:

$$v_x(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} v_x(n) \text{sinc}(t - nT_s)$$

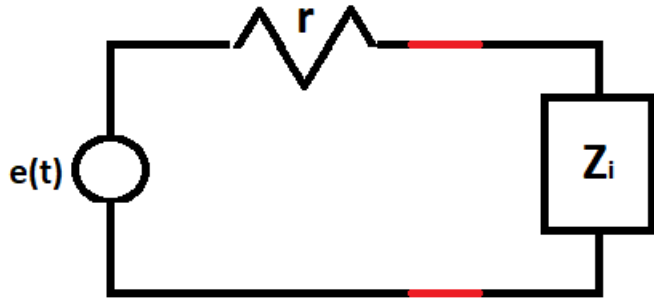
La formula di Shannon, però, non si concilia con le esigenze grafiche di quando si fanno le misurazioni: si supponga infatti che il segnale venga campionato con una f_c vicina al limite di Nyquist, l'immagine che si osserverebbe sullo schermo sarebbe inadeguata per fare qualunque analisi del segnale.; ciò perché nella riproduzione sullo schermo si tiene conto solo dei dati campionati e si costruisce una traccia illuminando i pixel rappresentativi dei livelli quantizzati acquisiti.

È come se su un foglio di carta stessi mettendo dei puntini in corrispondenza dei valori che ho misurato e mi fidassi del potere implicito di interpolazione di chi vede la sequenza di puntini e li raccorda l'uno all'altro.

Digital Storage Oscilloscope

Sonde passive compensate

Per sorgenti che producono segnali da 100MHz ed 1GHz è delicato il prelievo del segnale mediante delle sonde che hanno il compito di non strozzare la banda passate del circuito di misura; nella pratica sono usate le *sonde passive compensate*.



Si consideri una sorgente di tensione $e(t)$ caratterizzata da una sua resistenza di uscita r e si supponga di collegare tale sorgente ad un oscilloscopio avente impedenza di ingresso Z_i , attraverso delle sonde ideali.

Da un punto di vista elettrotecnico, quando l'oscilloscopio opera in DC l'impedenza ha comportamento puramente resistivo mentre quando l'oscilloscopio opera in AC il comportamento dell'impedenza è il medesimo di una resistenza R_i in parallelo ad un condensatore C_i .

DC=Direct Coupling

AC=Alternative Coupling

Digital Storage Oscilloscope

Sonde passive compensate

Poiché l'impedenza Z_i è data dal parallelo tra R_i e l'impedenza del condensatore C_i , essa è pari a:

$$Z_i = \left(R_i // \frac{1}{j\omega C_i} \right) = \frac{R_i * \frac{1}{j\omega C_i}}{R_i + \frac{1}{j\omega C_i}} = \frac{R_i * \frac{1}{j\omega C_i}}{\frac{1 + j\omega C_i R_i}{j\omega C_i}} = \frac{R_i}{1 + j\omega C_i R_i}$$

All'aumentare di ω il modulo del numero complesso Z_i diminuisce.

Qual è la tensione $v(x)$ che si può avere ai morsetti ai capi dell'impedenza Z_i ?

Per determinarla è necessario studiare la funzione di trasferimento.

Digital Storage Oscilloscope

Sonde passive compensate

Per determinarla è necessario studiare la funzione di trasferimento.
Essa può essere rappresentata tramite fasori:

$$\begin{aligned}\frac{V_x}{E} &= \frac{Z_i * I}{(r + Z_i) * I} = \frac{Z_i}{r + Z_i} = \frac{\frac{R_i}{1 + j\omega C_i R_i}}{r + \frac{R_i}{1 + j\omega C_i R_i}} = \frac{\frac{R_i}{1 + j\omega C_i R_i}}{\frac{r(1 + j\omega C_i R_i) + R_i}{1 + j\omega C_i R_i}} \\ &= \frac{R_i}{R_i + (1 + j\omega C_i R_i)r} = \frac{R_i}{R_i + r + j\omega C_i R_i r} = \frac{R_i}{R_i + r} \cdot \frac{1}{1 + j\omega \left(\frac{R_i r}{R_i + r}\right) C_i}\end{aligned}$$

$$\frac{V_x}{E} = \frac{R_i}{R_i + r} \cdot \frac{1}{1 + j\omega \left(\frac{R_i r}{R_i + r}\right) C_i}$$

Digital Storage Oscilloscope

Sonde passive compensate

$$\frac{V_x}{E} = \frac{R_i}{R_i + r} \cdot \frac{1}{1 + j\omega \left(\frac{R_i r}{R_i + r} \right) C_i}$$

In questa funzione di trasferimento $\frac{R_i}{R_i+r}$ è il guadagno statico
mentre $\frac{1}{1+j\omega \left(\frac{R_i r}{R_i+r} \right) C_i}$ è la parte dinamica

La funzione di trasferimento è caratterizzata da una costante di tempo τ :

$$\tau = \left(\frac{R_i r}{R_i + r} \right) C_i$$

Nell'ipotesi in cui $R_i \gg r$:

$$\tau = \left(\frac{R_i r}{R_i + r} \right) C_i \cong \left(\frac{R_i r}{R_i} \right) C_i = r C_i$$

Digital Storage Oscilloscope

Sonde passive compensate

$$\tau = \left(\frac{R_i r}{R_i + r} \right) C_i \cong \left(\frac{R_i r}{R_i} \right) C_i = r C_i$$

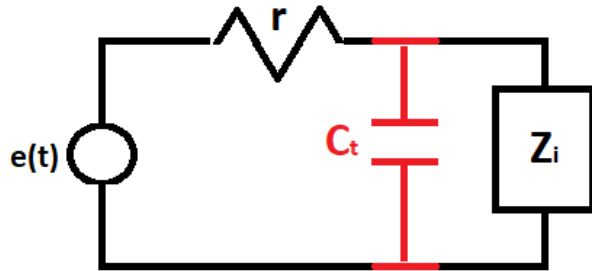
Ciò vuol dire che la **costante di tempo che esprime la dinamica del circuito di misura** non è un parametro che dipende solo dallo strumento di misura ma **dipende anche dalla resistenza della sorgente del segnale** (parametro indesiderato).

Più piccola è la τ tanto più grande è la banda passante del segnale, infatti la banda passante a 3db è legata alla costante τ dalla seguente relazione:

$$\omega_{3dB} = \frac{1}{\tau}$$

Digital Storage Oscilloscope

Sonde passive compensate



Nella pratica per realizzare questi collegamenti si utilizzano delle sonde che hanno un comportamento differente da quello delle sonde ideali: le più usate sono le sonde coassiali dotate di una struttura cilindrica che ricorda quella di un condensatore cilindrico.

Ad alta frequenza si è in presenza di effetti reattivi indesiderati anche da parte della sonda, cioè è come se la sonda fosse descritta da un condensatore parassita C_t .

Nel ripetere i conti eseguiti sopra ma ponendo al posto di C_i , $C'_i = C_i + C_t$

(per inglobare gli effetti parassiti dovuti alla scarsa qualità della sonda) si otterrà la seguente costante di tempo:

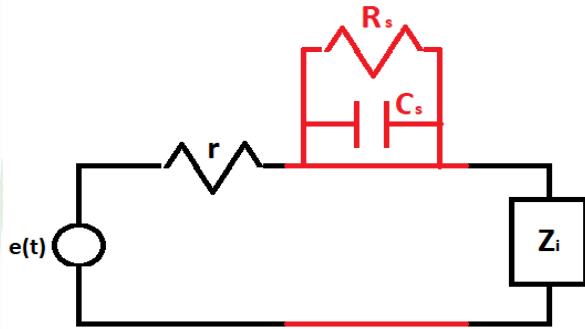
$$\tau' = \left(\frac{R_i r}{R_i + r} \right) C'_i \cong r C'_i = r(C_i + C_t) = \tau + r * C_t$$

Cioè la costante di tempo aumenta: tale aumento determina meno agilità nel sistema e quindi meno prontezza nella risposta,.

La banda passante risulta inferiore grazie a tale capacità parassita.

Digital Storage Oscilloscope

Sonde passive compensate



Per questo motivo si ricorre all'uso di una sonda passiva compensata la quale è una sonda che ad un terminale presenta un cilindretto all'interno del quale c'è un sistema che si può descrivere con il parallelo di una resistenza R_S e di un condensatore con capacità C_S regolabile.

Focalizzando l'attenzione sulla serie costituita dal cilindretto che costituisce la parte elettrica della sonda e l'impedenza in ingresso dell'oscilloscopio, si è in presenza di un sistema costituito da due impedenze, Z_S e Z_i . Definendo V' la tensione ai capi del circuito costituita da Z_S e Z_i , è possibile esprimere la tensione ai capi dell'impedenza Z_i studiando la funzione di trasferimento $\frac{V_x}{V'}$

$$\frac{V_x}{V'} = \frac{Z_i}{Z_S + Z_i}$$

Digital Storage Oscilloscope

Sonde passive compensate

$$\frac{V_x}{V'} = \frac{Z_i}{Z_S + Z_i}$$

$$\text{dove: } \begin{cases} Z_i = \frac{R_i}{1+j\omega R_i C_i} \\ Z_S = \frac{R_S}{1+j\omega R_S C_S} \end{cases}$$

Da cui:

$$\frac{V_x}{V'} = \frac{\frac{R_i}{1+j\omega R_i C_i}}{\frac{R_i}{1+j\omega R_i C_i} + \frac{R_S}{1+j\omega R_S C_S}}$$

Variando la capacità C_S è possibile ottenere la seguente relazione $R_i C_i = R_S C_S = RC$, ottenendo un partitore compensato.

Digital Storage Oscilloscope

Sonde passive compensate

$$\frac{V_x}{V'} = \frac{Z_i}{Z_S + Z_i}$$

$$R_i C_i = R_S C_S = RC$$

$$\Rightarrow \frac{V_x}{V'} = \frac{\frac{R_i}{1 + j\omega R_i C_i}}{\frac{R_i}{1 + j\omega R_i C_i} + \frac{R_S}{1 + j\omega R_S C_S}} = \frac{\frac{R_i}{1 + j\omega RC}}{\frac{R_i}{1 + j\omega RC} + \frac{R_S}{1 + j\omega RC}} = \frac{\cancel{1 + j\omega RC} R_i}{\cancel{1 + j\omega RC} (R_i + R_S)}$$

$$\frac{V_x}{V'} = \frac{R_i}{R_i + R_S}$$

Se $R_S = 9M\Omega$ e $R_i = 1M\Omega$ si può avere una sonda che introduce un'attenuazione di un fattore 10 ("sonda 10 per", 10 X):

$$\frac{V_x}{V'} = \frac{1}{10}$$

Le costanti di tempo nel partitore compensato sono le stesse per tutti e due i condensatori.

In questo modo il guadagno è costante e la risposta in frequenza è indipendente dalla frequenza del segnale.

Digital Storage Oscilloscope

Sonde passive compensate

Supponiamo di regolare la sonda in modo tale che sia compensata, qual è la banda passante?

Si consideri la funzione di trasferimento $\frac{V_x}{E}$:

$$\frac{V_x}{E} = \frac{V_x}{V'} * \frac{V'}{E} = \frac{1}{10} * \frac{V'}{E}$$

Si determini $\frac{V'}{E}$:

$$\frac{V'}{E} = \frac{Z_S + Z_i}{r + Z_S + Z_i} = \frac{Z_S + Z_i}{(Z_S + Z_i) * \left(1 + \frac{r}{Z_i + Z_S}\right)} = \frac{1}{1 + \frac{r}{Z_i + Z_S}}$$

$$Z_i + Z_S = \frac{R_i}{1 + j\omega R_i C_i} + \frac{R_S}{1 + j\omega R_S C_S} = \frac{R_i}{1 + j\omega RC} + \frac{R_S}{1 + j\omega RC} = \frac{R_i + R_S}{1 + j\omega RC}$$

Digital Storage Oscilloscope

Sonde passive compensate

$$\frac{V'}{E} = \frac{1}{1 + \frac{r}{Z_i + Z_S}} = \frac{1}{1 + r \frac{1 + j\omega RC}{R_i + R_S}} = \frac{R_i + R_S}{r + R_S + R_i + j\omega r RC} = \frac{R_i + R_S}{r + R_S + R_i} \cdot \frac{1}{1 + j\omega \frac{r RC}{r + R_S + R_i}}$$

In questa funzione di trasferimento $\frac{R_i + R_S}{r + R_S + R_i}$ è il guadagno statico
mentre $\frac{1}{1 + j\omega \frac{r RC}{r + R_S + R_i}}$ è la parte dinamica

La funzione di trasferimento è caratterizzata da una costante di tempo τ' :

$$\tau' = \frac{r RC}{r + R_S + R_i}$$

Digital Storage Oscilloscope

Sonde passive compensate

Confrontando la costante di tempo associata rispettivamente alla sonda passiva compensata e alla sonda ideale:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau' = \frac{rRC}{r + R_S + R_i} \\ \tau = rC_i \end{array} \right. \Rightarrow \tau' = \frac{R * rC}{R_S + R_i} = \frac{R_i * rC_i}{R_i + R_S} = \frac{R_i}{R_i + R_S} \tau$$

Questo significa che $\tau \propto \tau'$ con un fattore di attenuazione di $\frac{R_i}{R_i + R_S}$.

Ciò vuol dire che usando **una sonda attenuatrice, passiva, compensata**, esiste un trade off tra l'attenuazione del segnale e la banda: infatti nell'ipotesi che $R_S = 9M\Omega$ e $R_i = 1M\Omega$ **il segnale è attenuato di un fattore 10**, così come la costante di tempo τ' **ma la banda è aumentata di un fattore 10** (essendo l'inverso della costante di tempo τ').

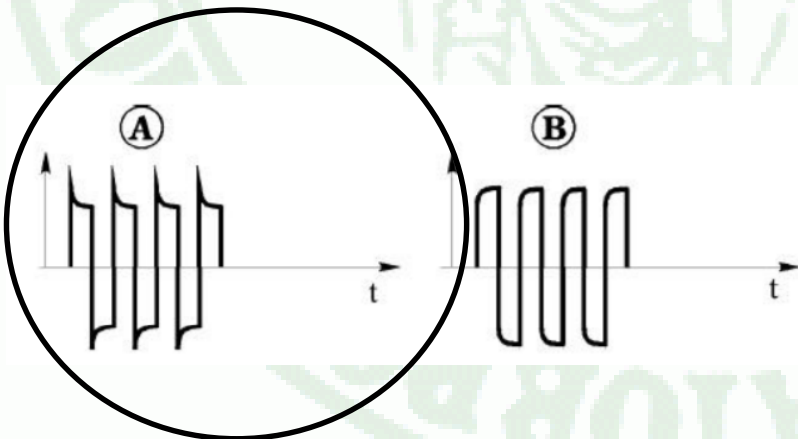
Digital Storage Oscilloscope

Sonde passive compensate

Come si compensa la sonda?
Regolando la capacità C_S .

L'oscilloscopio tipicamente presenta un connettore di uscita da cui l'utilizzatore preleva un segnale ad onda quadra che serve per la calibrazione delle sonde di compensazione.

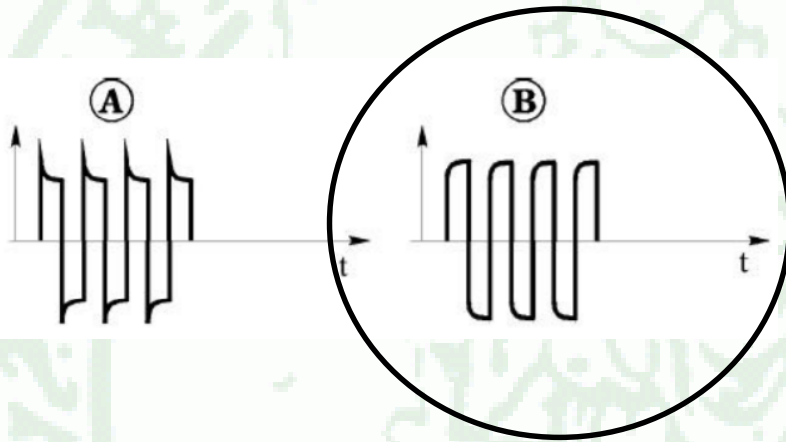
Si supponga di collegare la sonda, con cui prelevare il segnale alla sorgente, prima all'utilizzatore, prelevando così un'onda quadra, e poi alla sorgente.



Se il condensatore C_S è regolato in modo da assumere un valore molto elevato si può realizzare una sovracompensazione cioè si verificano dei fronti di salita più ripidi (overshoot caso A nella figura):
è necessario dunque diminuire il valore della C_S .

Digital Storage Oscilloscope

Sonde passive compensate



Diminuendo troppo tale valore però si può verificare una condizione di sottocompensazione cioè si verificano dei fronti di salita non molto ripidi. Caso B nella figura.

È raggiunta la condizione di compensazione quando il segnale rappresentato è di nuovo un'onda quadra.