

Gli oscilloscopi digitali

- Oscilloscopi digitali multicanale
- Trigger negli oscilloscopi digitali
- Visualizzazione
- Specifiche dei DSO

Oscilloscopi multicanali

- Tre possibilità
 - N condizionatori, multiplexer prima del convertitore, un solo ADC, una sola memoria
 - N blocchi di condizionamento, N ADC, una sola memoria
 - N blocchi di condizionamento, N ADC, N memorie

Oscilloscopi Digitali: Campionamento e Trigger

Matteo Bertocco Franco Ferraris
Carlo Offelli Marco Parvis

Oscilloscopi multicanali

comando

- struttura con un funzionamento che ricorda la modalità **chopped** di un oscilloscopio analogico
- Frequenza di campionamento $F_c/2$
- campioni dei due canali **fra loro traslati temporalmente**
- cautela nel confronto temporale fra segnali

Torino, 28-May-02

3

Oscilloscopi Digitali: Campionamento e Trigger

Matteo Bertocco Franco Ferraris
Carlo Offelli Marco Parvis

Oscilloscopi multicanali

Mem. di acquisiz.

- Un convertitore per canale
- Frequenza di campionamento F_c
- campioni ottenuti contemporaneamente
- necessaria memoria (di acquisizione) con tempo di accesso dimezzato

Torino, 28-May-02

4

Oscilloscopi Digitali: Campionamento e Trigger

Matteo Bertocco Franco Ferraris
Carlo Offelli Marco Parvis

Oscilloscopi multicanali

- Un convertitore per canale
- Frequenza di campionamento F_c
- campioni ottenuti contemporaneamente
- due memorie (di acquisizione) con tempo di accesso 'normale'

Torino, 28-May-02

5

Oscilloscopi Digitali: Campionamento e Trigger

Matteo Bertocco Franco Ferraris
Carlo Offelli Marco Parvis

Circuiti di trigger

Evoluzione rispetto agli oscilloscopi analogici

- oscilloscopi analogici
 - livello e pendenza
 - solo post-trigger
- oscilloscopi digitali
 - livello e pendenza
 - pre e post-trigger
 - numerose altre opzioni

Torino, 28-May-02

6

Oscilloscopi Digitali: Campionamento e Trigger

Matteo Bertocco Franco Ferraris
Carlo Offelli Marco Parvis

Trigger con isteresi

- due livelli
 - uno per la generazione del trigger
 - l'altro di abilitazione

Torino, 28-May-02

7

Oscilloscopi Digitali: Campionamento e Trigger

Matteo Bertocco Franco Ferraris
Carlo Offelli Marco Parvis

Trigger su più canali

- un canale livello e pendenza del trigger
- altro canale ulteriori condizioni
- esempio:
 - canale 1 : livello e pendenza positiva
 - canale 2 : stato logico basso

Torino, 28-May-02

8

Trigger imposto da un pattern

- Si definiscono valori di tensione corrispondenti a condizione logica 0/1
- Si definisce la 'regola' di partenza della traccia:
 - quando l'ingresso assume la configurazione fissata (**opzione entering**)
 - quando, una volta assunta, cambia la configurazione fissata (**opzione exiting**)

Trigger imposto da un pattern

- si possono imporre condizioni aggiuntive
 - pattern mantenuto per un tempo inferiore/superiore a valore fissato
 - pattern che si ripete per un fissato numero di volte
 - combinazione logica (AND/OR) di più condizioni

Oscilloscopi Digitali: Campionamento e Trigger

Matteo Bertocco Franco Ferraris
Carlo Offelli Marco Parvis

Trigger : esempi

C1=L, C2=H
ENTERING

C1=L
C2=H
EXITING

Torino, 28-May-02

11

Oscilloscopi Digitali: Campionamento e Trigger

Matteo Bertocco Franco Ferraris
Carlo Offelli Marco Parvis

Trigger auto level

- DSO sceglie automaticamente
 - livello di trigger $(V_{MAX} + V_{min})/2$
 - pendenza (positiva)
- se non c'è segnale
 - traccia : linea di riferimento

Torino, 28-May-02

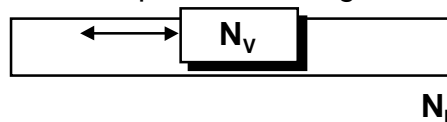
12

Visualizzazione

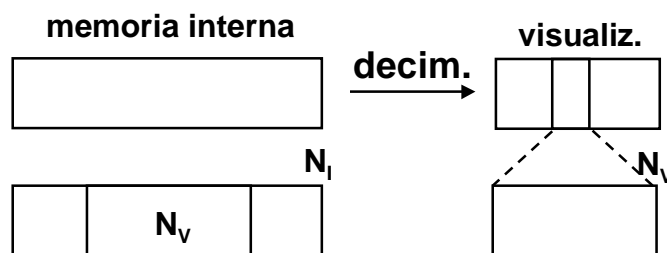
- Sullo schermo sono disponibili N_V pixel
- La memoria di acquisizione contiene N_I campioni
 - Se $N_I > N_V$ si deve effettuare una ulteriore selezione
 - Se $N_I < N_V$ si deve 'interpolare'

Visualizzazione $N_I > N_V$

- si può traslare la porzione di segnale visualizzata



- si può ingrandire parte del segnale (ZOOM)



Visualizzazione $N_I < N_V$

- in totale N_D punti equispaziati nel tempo con frequenza equivalente

$$F_{EV} = \frac{N_D}{T_X}$$

- Due possibilità:
 - visualizzazione dei soli campioni (dot) ogni punto, o pixel, rappresenta il valore di un campione
 - si adotta qualche algoritmo di interpolazione per avere un numero di punti accettabile con cui presentare la traccia

Visualizzazione $N_I < N_V$

- In ogni caso si deve rispettare il teorema di Shannon nel legame fra
 - F_{EV} frequenza equivalente
 - F_S frequenza F_S del segnale
- responsabilità dell'operatore
 - garantire che sia soddisfatta la:

$$F_{EV} > 2 F_S$$

Visualizzazione $N_I < N_V$

- esempio
 - asse orizzontale 10 divisioni
 - coefficiente deflessione $K_X = 1 \text{ s/div}$
 - traccia 500 punti
 - frequenza equivalente F_{EV}

$$F_{EV} = \frac{500 \text{ S}}{10 \text{ s}} = 50 \text{ S / s}$$

$$(T_{EV} = 20 \text{ ms})$$

Visualizzazione $N_I < N_V$

- convertitore A/D a 200 MS/s
- BW = 50 MHz
- segnale ingresso:
 - $F_S = 10 \text{ kHz}$ ($T_S = 0.1 \text{ ms}$)
- nessun aliasing in acquisizione, ma...
- con $T_{EV} = 20 \text{ ms}$, $T_S = 0.1 \text{ ms}$, si visualizza un campione ogni

$$\frac{20 \text{ ms}}{0.1 \text{ ms}} = 200$$

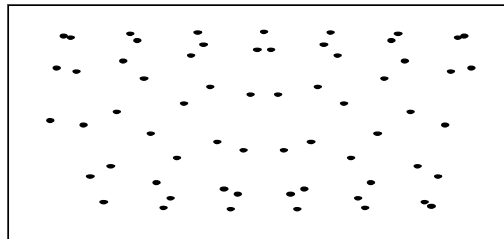
periodi del segnale e quindi aliasing certo

Visualizzazione $N_I < N_V$

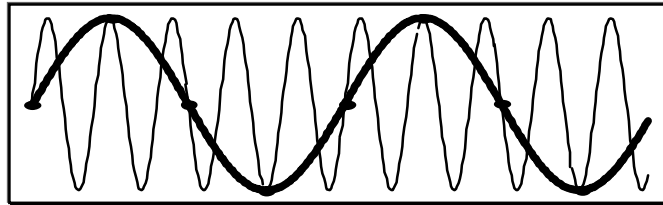
- Su un oscilloscopio analogico si vedrebbe una fascia di ampiezza pari a V_{PP} (in una divisione vi sono 10000 periodi) e si capirebbe il problema
- Su un oscilloscopio digitale quello che si vede dipende dal legame tra
 - F_S frequenza segnale
 - F_{EV} frequenza equivalente

I caso: F_S/F_{EV} irrazionale

- immagine sullo schermo generalmente confusa con campioni distribuiti in modo casuale: il problema è auto-evidente



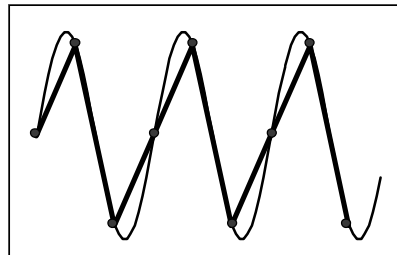
Il caso: F_s/F_{EV} razionale



- nessuna sensazione dell'errore
 - forma d'onda prevista
 - ampiezza del segnale accettabile
 - frequenza notevolmente diversa

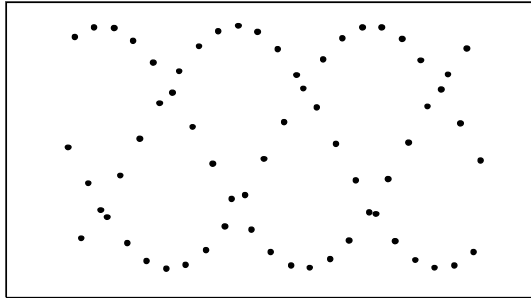
Altri problemi di visualizzazione

**Limite di shannon
rispettato per
poco
(esempio tre punti
per periodo)**



- valore esatto per la frequenza
- errore grave nella forma d'onda
- errore modesto nell'ampiezza

Altri problemi di visualizzazione aliasing percettivo



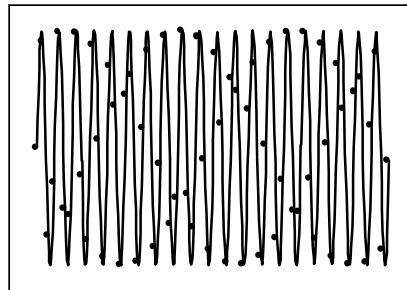
- prima valutazione:
segnale **non sincronizzato**

Torino, 28-May-02

23

Aliasing percettivo

- sistema di percezione visiva nell'uomo interpola quanto presentato associando ad ogni punto quello **spazialmente** più vicino
- mentre la traccia va ricostruita associando ad ogni punto quello **temporalmente** più vicino



Torino, 28-May-02

24

Verifica corretta predisposizione

- se
 - una variazione della costante di taratura della base dei tempi
- comporta
 - una variazione non coerente della forma d'onda
 - **necessario intervento operatore per diversa predisposizione**

Visualizzazione per punti

- per una corretta percezione visiva
 - distanza fra due campioni temporalmente successivi è bene sia minore della distanza tra i due campioni e i rimanenti
 - su uno schermo 8-10 cm non dovrebbero sorgere inconvenienti se in un periodo del segnale ci sono 20-25 punti
 - scarso sfruttamento delle risorse dell'oscilloscopio

Oscilloscopi Digitali: Campionamento e Trigger
Matteo Bertocco Franco Ferraris
Carlo Offelli Marco Parvis

Interpolazione

- Per migliorare la qualità della traccia si uniscono i pixel rappresentativi degli N_D campioni.
- La più semplice interpolazione è a segmenti ed equivale ad una funzione interpolatrice **triangolare** (invece della funzione sinc)

segnale ricostruito

n-1 n n+1^t

Torino, 28-May-02
27

Oscilloscopi Digitali: Campionamento e Trigger
Matteo Bertocco Franco Ferraris
Carlo Offelli Marco Parvis

Interpolazione lineare

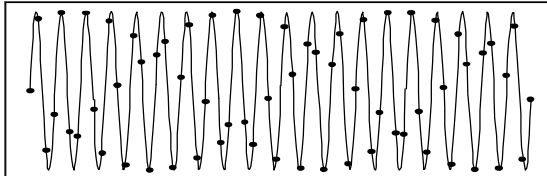
- intuitivamente: accuratezza interpolazione tanto più elevata quanto più piccola è la lunghezza dei segmenti
- lunghezza dei segmenti funzione del rapporto F_{EV} / F_S e dell'ampiezza della traccia
- Per una rappresentazione accettabile di un segnale a pieno schermo è necessaria **una decina di punti per periodo**
- Si migliora rispetto al caso a punti (20-25 punti per periodo), ma l'oscilloscopio è ancora poco sfruttato

Torino, 28-May-02
28

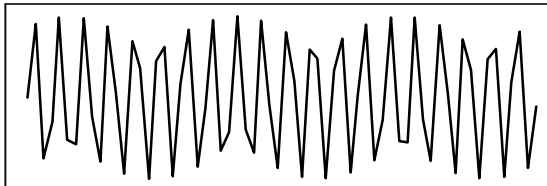
Interpolazione lineare

- Se ci sono pochi punti si possono commettere errori grossolani

Segnale reale



Segnale ricostruito (fa pensare ad una modulazione di ampiezza)



Torino, 28-May-02

29

Interpolazione sinc

- L'interpolazione corretta dovrebbe essere

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x[nT] \frac{\sin \pi F_c (t - nT)}{\pi F_c (t - nT)}$$

- La sommatoria è infinita, ma 'intuitivamente' campioni lontani da quello da ricostruire hanno peso minore
- con sinc() troncato nascono vari problemi
 - fronti ripidi di salita e di discesa non accurati
 - ondulazioni (fenomeno di Gibbs)

Torino, 28-May-02

30

Altre interpolazioni

- algoritmi più complessi basati opportuna pesatura di un numero finito di campioni
- raramente vengono fornite indicazioni sulle caratteristiche di questi algoritmi di interpolazione
- si forniscono le loro prestazioni globali
- alcuni algoritmi forniscono una accettabile ricostruzione anche con $F_c = 2.5 F_s$
- si ottengono buone prestazioni solo con alcuni tipi di segnali
- in caso di campionamento in tempo equivalente si usa normalmente solo un'interpolazione lineare

Specifiche DSO

- parametri non sempre definiti in modo rigoroso e non accettati da tutti i costruttori
- difficile la valutazione delle prestazioni ed il confronto fra oscilloscopi diversi

Bit equivalenti

- tutte le varie cause di errore (anche di origine diversa) attribuite ad un convertitore A/D ideale con un numero di bit inferiore a quello del convertitore reale

Specifiche DSO

Banda passante

- spesso riportate due bande passanti, riferite rispettivamente a:
 - campionamento one-shot
 - campionamento casuale
- banda passante espressa con la frequenza di taglio superiore F_{max} (attenuazione 3dB corrispondente a circa il 30% !!!)

$$20 \log_{10} |V_v / V_i| = -3 \text{ dB} \rightarrow V_v = V_i 10^{-3/20} \approx 0.7 V_i$$

Specifiche DSO

Banda passante

- funzione di trasferimento dell'intero strumento approssimata ad un sistema del primo ordine (polo dominante)

$$V_v / V_i = 1 / (1 + j\omega\tau) \rightarrow V_v / V_i = 1 / [1 + j(F_s / F_{max})]$$

- per $F_s = 0.5 F_{max}$

$$20 \log_{10} \frac{1}{\sqrt{1 + (0.5)^2}} \cong -1 \text{ dB}$$

$$V_v = V_i 10^{-1/20} \approx 0.89 V_i \text{ attenuazione di circa 10\%}$$

Specifiche DSO

Frequenza di campionamento

- campionamento one shot (effettiva)
- campionamento repetitive (campionamento in tempo equivalente)
- Esempio
 - $BW = 1\text{GHz}$
 - $F_c = 20\text{MS/s}$
 - $F_{eq} = 20\text{GS/s}$

Specifiche DSO

Accuratezza statica verticale

- Diverse possibilità
 - Parametro unico: esempio
DC accuracy $< +2\%$ full scale;
incertezza costante: meglio lettura prossima al fondo scala
 - Formula binomia: % fondo scala + quantità fissa;
A coefficienti V/div più elevati quota fissa trascurabile
A coefficienti V/div più bassi determinante la quota fissa
- Altre informazioni: Gain accuracy, DC offset accuracy

Specifiche DSO

Caratterizzazione dei valori temporali

- Con unico parametro
 - time base accuracy: 0.005% del valore letto
- Come somma di due termini
 - $\Delta t = \pm[\% \text{ valore letto} + \text{valore fisso}]$