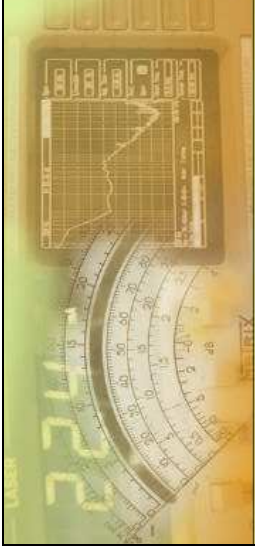


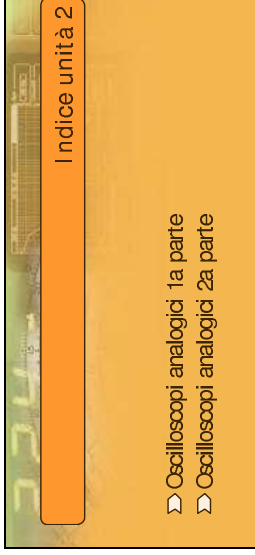
Unità 2

Oscilloscopi analogici



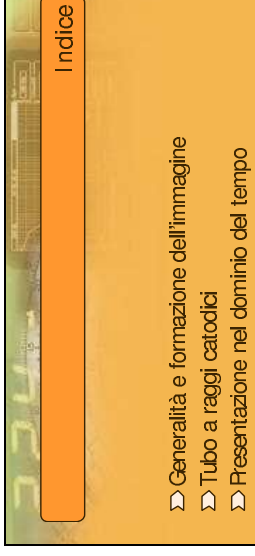
Oscilloscopi analogici

Oscilloscopi analogici 1a parte



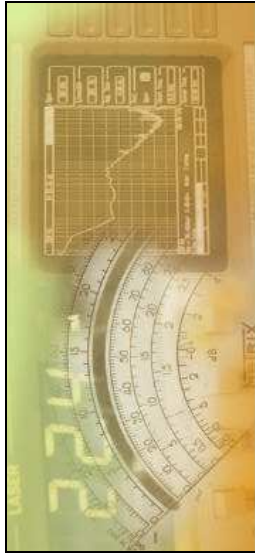
Indice unità 2

- Oscilloscopi analogici 1a parte
- Oscilloscopi analogici 2a parte



Indice

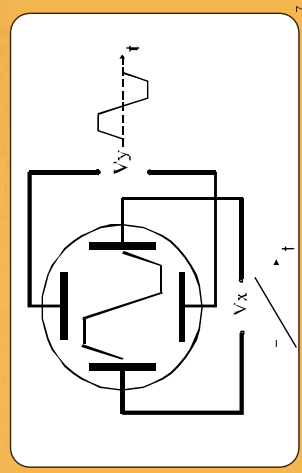
- Generalità e formazione dell'immagine
- Tubo a raggi catodici
- Presentazione nel dominio del tempo
- Base tempi
- Esercitazione su simulatore di Oscilloscopio



Oscilloscopi analogici 1 a parte

Generalità e formazione dell'immagine

Costruzione dell'immagine

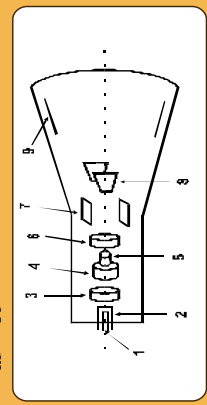


7

Elemento principale di un oscilloscopio

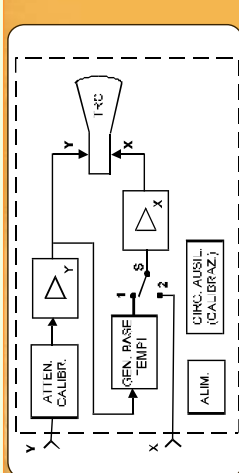
▷ Tubo a Raggi Catodici (TRC)
evoluzione dei tubi di

- Crookes 1879
- Braun 1897



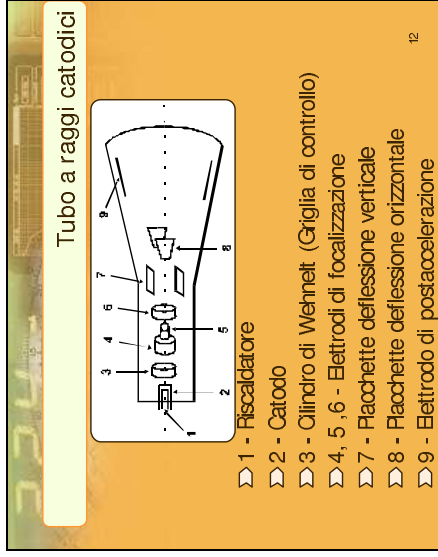
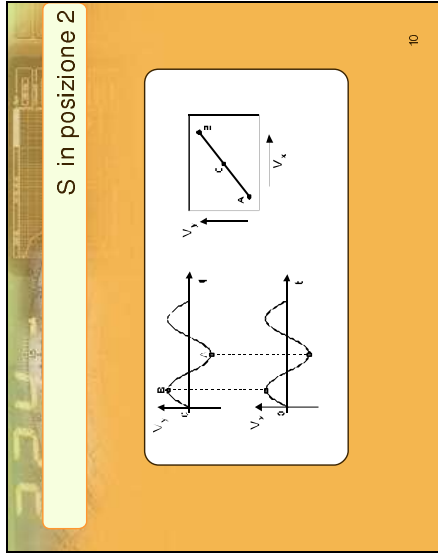
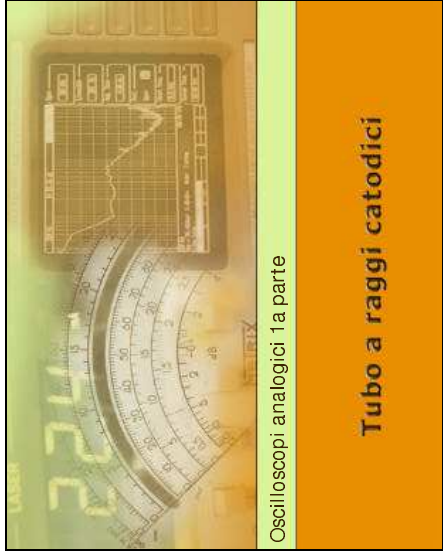
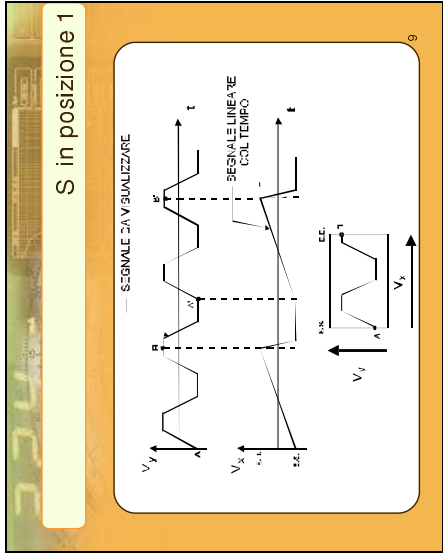
6

Schema a blocchi di un oscilloscopio



▷ **S in posizione 1**: rappresentazione di grandezze nel dominio del tempo (grandezze periodiche transitori)

▷ **S in posizione 2**: composizione di due segnali su assi ortogonali

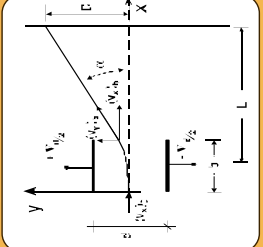


Schermo 1/2

- > Lo schermo è una lastra di vetro piana rivestita, nella superficie interna al TRC, di particolari materiali elettroluminescenti (i fosfori)
- > Questi colpiti dal fascio elettronico emettono luce trasformando energia cinetica in energia luminosa
- > Sullo schermo è anche depositato un strato sottile metallico che funziona da elettrodo di raccolta degli elettroni

13

Valutazione della sensibilità di deflessione



Si può dimostrare che la deflessione D sullo schermo è calcolabile con la relazione

$$D = \frac{1}{2} \frac{L^2 V_d b}{d^2 V_{acc}}$$

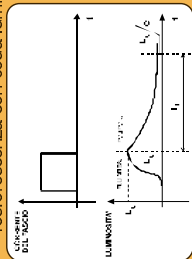
Funzione della geometria del sistema e delle tensioni.

- V_{acc} di accelerazione
- V_d di deflessione

15

Schermo 2/2

- > **Tipi di fosforo determinato**
 - colore di emissione
 - persistenza luminosa: in presenza di attivazione elettronica, i fosfori emettono luce per fluorescenza, se cessa l'eccitazione si ha il fenomeno di emissione per fosforescenza con coda luminosa



t_p costante di tempo di decadimento
 $1 \sim 10 \text{ ms} < t_p < 1 \text{ s}$

14

Parametri che influenzano D

> Per rendere elevato D occorre avere:

- elevata tensione di deflessione V_d e quindi guadagno dell'amplificatore elevato
- elevata lunghezza b delle placchette e quindi capacità di carico alta per l'amplificatore
- elevata lunghezza del tubo e quindi elevato ingombro
- bassa tensione accelerazione V_{acc} che comporta una scarsa luminosità
- piccola distanza tra le placchette d con alta capacità equivalente

16

Sensibilità di deflessione 1/2

Si definisce un fattore di deflessione

$$H_d = \left(\frac{V}{H_d} \right)$$

- valutazione di massima di H_d ipotizzando
- $b \approx 3 \text{ cm}$
- $d \approx 1 \text{ cm}$
- $L \approx 40 \text{ cm}$
- $V_{acc} \approx 3 \text{ kV}$
- **risultato**: $H_d = 50 \text{ V/cm}$

17

Deflessione verticale 1/2

Con i valori numerici definiti, per una deflessione di 10 cm occorre avere $V_0 = 500 \text{ V}$;

Se $V_{in} = 1 \text{ mV}$ occorre un **guadagno** dell'amplificatore

$$G = 500 \times 10^3 \rightarrow 114 \text{ dB}$$

19

Sensibilità di deflessione 2/2

Si parla anche di **sensibilità di deflessione**

$$s_d = \left(\frac{1}{H_d} \right)$$

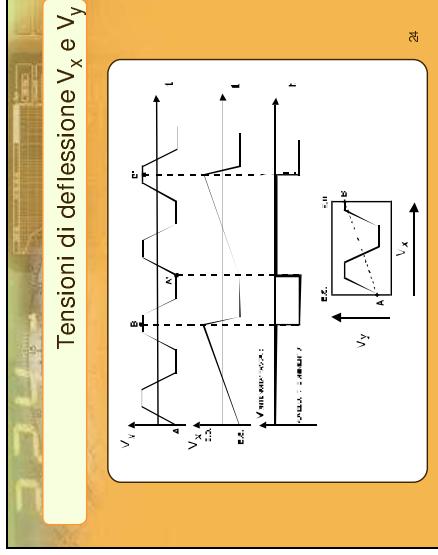
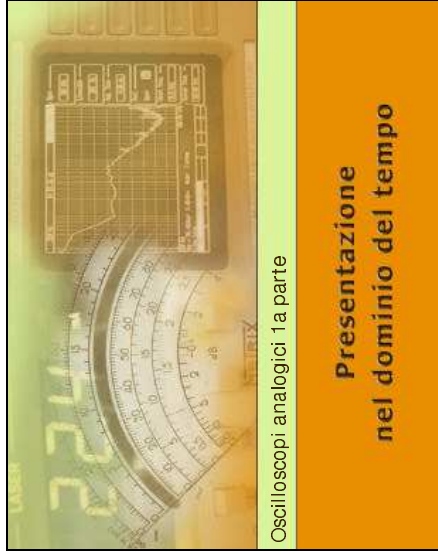
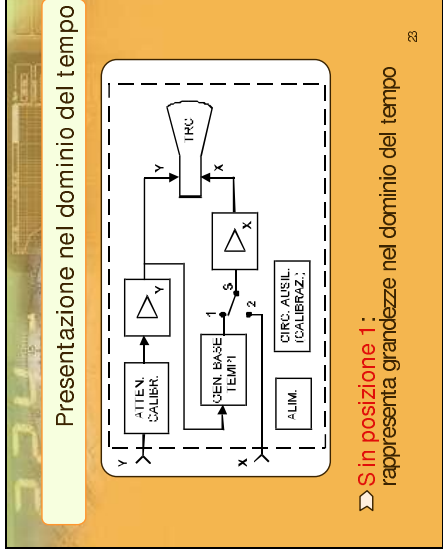
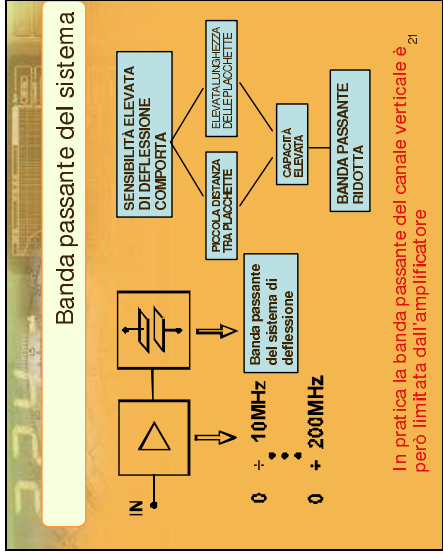
18

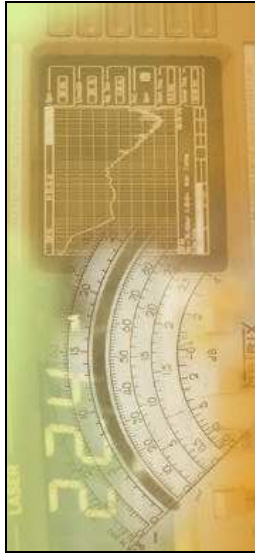
Deflessione verticale 2/2

Caratteristiche amplificatore:

- guadagno elevato
- banda estesa da d.c. a frequenze elevate
- risposta piatta

20



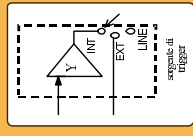


Base tempi

Oscilloscopi analogici 1a parte

Sorgente di trigger

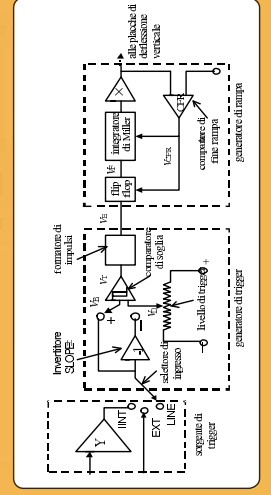
Il selettore d'ingresso seleziona il segnale da utilizzare per generare il sincronismo (sorgente di trigger).



- "INT", viene utilizzato lo stesso **segnale** del canale verticale
- "EXT", è possibile utilizzare come sorgente di trigger un **segnale esterno**
- "LINE", la sorgente di trigger è il **segnale** a frequenza di rete (50-Hz)

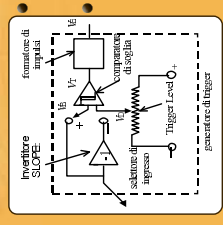
27

Circuito base tempi

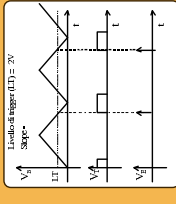


28

Generatore di trigger



- "SLOPE" permette di scegliere di generare la rampa sui fronti in salita o in discesa del segnale di trigger.
- il comparatore di soglia e il formatore di impulsi generano un impulso, nell'istante in cui il segnale della sorgente di trigger supera la soglia V_D



- con il comando "LEVEL", è possibile variare il valore di tensione V_D (LT)

28

Generatore di rampa

● R e C possono essere variati, tramite il comando **"TIME/DIV"**. 29

Esercitazione pratica con Swilab 1/2

- Attivare il pannello del Analog Oscilloscope (AO)
- Attivare il pannello del Analog Generator (AG)
- Collegare il morsetto OUT di AG con CH1 (IN selection) di AO
- Comparare la traccia sinusoidale di default

31

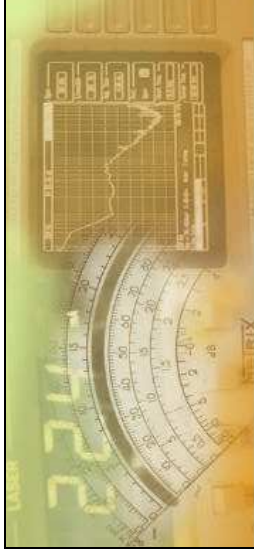
Esercitazione sul simulatore di Oscilloscopio

Oscilloscopi analogici 1a parte

Esercitazione pratica con Swilab 2/2

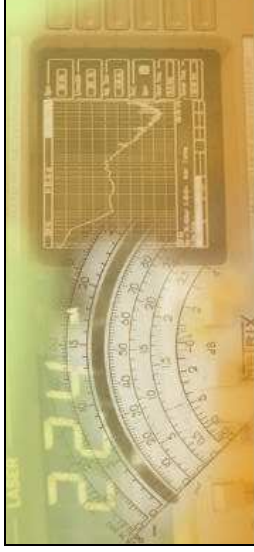
- Verificare l'effetto dei controlli sul canale verticale Volt/div
- Verificare l'effetto dei controlli sulla base tempi SEC/DIV
- Verificare l'effetto dei controlli sul Trigger Setup in particolare variando il "level"

32



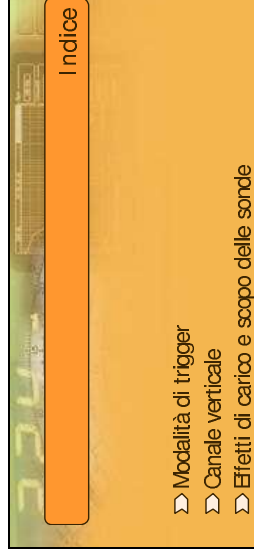
Oscilloscopi analogici

Oscilloscopi analogici 2a parte



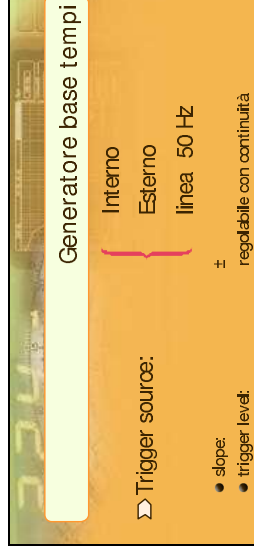
Oscilloscopi analogici 2a parte

Modalità di trigger



Indice

- Modalità di trigger
- Canale verticale
- Effetti di carico e scopo delle sonde
- La doppia base tempi
- Oscilloscopio a doppia traccia



Generatore base tempi

➤ Trigger source:	Interno
	Esterno
	linea 50 Hz
	±

- slope:
- trigger level:
- circuito porta:
- generatore rampa:
- circuito di hold - off:
- circuito di spegnimento:

- regolabile con continuità
- definisce inizio rampa
- start da porta
- stop da circ. fine rampa
- iniziazione inizio di rampa successiva
- impedisce visualizzazione della traccia di ritorno

36

Trigger automatico

➤ Si ha l'esigenza di far partire la rampa in modo automatico quando mancano gli impulsi al trigger e cioè nei casi seguenti:

- quando il segnale di sincronismo è una tensione continua (per esempio si utilizza il sincronismo interno per misurare il livello di una tensione continua)
- quando il segnale di sincronismo ha ampiezza picco-più inferiore all'ampiezza della fascia di isteresi del circuito di trigger

37

Immagine sincronizzata 2/2

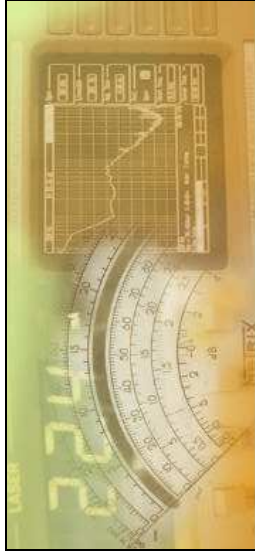
38

Immagine non sincronizzata 1/2

39

Velocità di scansione diverse

40



Oscilloscopi analogici 2a parte

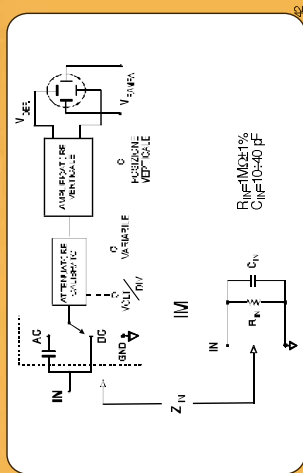
Canale verticale

Ch vert.: Caratteristiche 1/2

➤ **Amplificatore Verticale**

- ingresso a FEI (per avere alta impedenza)
- stadi **differenziali** (deve operare anche in continua)
- guadagno **elevato e tarato**
- banda sufficientemente **elevata**
- uscita **bilanciata** per pilotare correttamente il sistema di deflessione
- dinamica di uscita elevata ($\pm 300\text{--}400\text{ V}$)

Canale verticale: schema a blocchi



Ch vert.: Caratteristiche 2/2

➤ **Attenuatore Tarato**

- resistenza caratteristica **costante** al variare dell'attenuazione ($1\text{ M}\Omega$)
- bassa **capacità** di ingresso
- attenuazione **tarata per valori discreti** (definisce il fattore di deflessione verticale)
- banda elevata adeguata a quella dell'amplificatore verticale

Comportamento in frequenza

> Ipotesi di amplificatore ad un solo polo
 > Modello in frequenza tipo filtro passa basso

45

Comportamento nel dominio del tempo 2/2

> t_{50} il tempo compreso tra il 10% ed il 90% del valore asintotico della deflessione prodotta da un segnale a gradino ideale
 > t_{50} viene chiamato tempo di salita proprio (intrinseco) dell'oscilloscopio

47

Comportamento nel dominio del tempo 1/2

> Invece della costante di tempo $\tau = RC$, per motivi pratici di misura sullo schermo, conviene definire il tempo di salita t_{50}

46

Risposta al gradino e Tempo di salita

> Dalla risposta al gradino $V_u(t) = V_{u,max}(1 - e^{-t/RC})$, si possono calcolare gli istanti

- t_1 per cui $V_u(t_1) = 0.1V_{u,max}$
- t_2 per cui $V_u(t_2) = 0.9V_{u,max}$

> Da cui si ricava $t_{50} = t_2 - t_1$
 > Risultato $t_{50} \approx 0.35/f_p \approx 2.2RC$

48

Impedenza di ingresso 1/2

Se interessa solo il comportamento in frequenza, il canale verticale può essere modellato come in figura

89

Effetti di carico e scopo delle sonde

Oscilloscopi analogici 2a parte

Impedenza di ingresso 2/2

Se si invia un gradino ideale di tensione, fornito da un generatore ideale, sullo schermo si avrà un esponenziale con tempo di salita $t_{50} \cong 0,35/f_p$

L'impedenza di ingresso **non ha effetto**

90

Effetto dell'impedenza di ingresso 1/2

Se si invia un gradino ideale di tensione, prodotto da un generatore reale (per semplicità con impedenza di uscita R_0 resistiva) la situazione diventa quella di figura

91

Effetto della impedenza di ingresso 2/2

$$f_{p1} = \frac{1}{2\pi C_i (R_o // R_i)} \quad (R_i // R_o \neq R_o \text{ essendo normalmente } R_o \gg R_i)$$

➤ L'impedenza di ingresso dell'oscilloscopio in combinazione con la R_o , introduce un filtro passa basso la cui funzione di trasferimento V_o / V_i ha frequenza di taglio f_{p1}

➤ Conseguentemente si introduce un ulteriore tempo di salita

$t_{p1} \approx 0.35 / f_{p1} \approx 2.2 C_i (R_o // R_{eq})$

53

Effetto sul tempo di salita misurato 2/6

➤ Risulta con una sufficiente approssimazione che, se si invia un gradino ideale di tensione, prodotto da un generatore ideale, il tempo di salita misurato sullo schermo vale

$$t_{m1} = t^* \equiv (t_{p1}^2 + t_{s0}^2) / 2$$

55

Effetto sul tempo di salita misurato 1/6

➤ La teoria dei circuiti elettronici permette di calcolare la frequenza di taglio f^* di una cascata di doppi bipoli

➤ E quindi il tempo di salita equivalente t^* della cascata

54

Effetto sul tempo di salita misurato 3/6

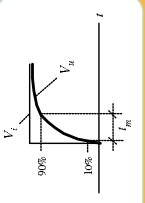
➤ Se il generatore di gradino ha un tempo di salita $t_g \neq 0$, il tempo di salita misurato t_m può essere stimato utilizzando il modello

➤ Il generatore con tempo di salita t_g è stato realizzato applicando un gradino ideale ad un filtro passa basso con tempo di salita t_g .

56

Effetto sul tempo di salita misurato 4/6

> Con una sufficiente approssimazione si può stimare che il tempo di salita misurato sullo schermo vale

$$t_m = t^* \cong (t_g^2 + t_{p1}^2 + t_{s0}^2)^{1/2}$$


57

Effetto sul tempo di salita misurato 6/6

> Si preferisce solo fare una valutazione grossolana dell'errore per decidere se:

- è il caso di utilizzare un altro oscilloscopio a banda più larga (t_{s0} minore)
- è il caso di ridurre t_{p1} intervenendo sul collegamento tra oscilloscopio e circuito di misura (riduzione dell'effetto di carico)

> Si ricorda che t_{p1} si manifesta a causa della resistenza di uscita del generatore equivalente

58

Effetto sul tempo di salita misurato 5/6

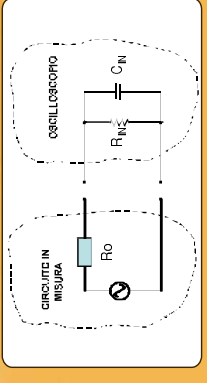
> In linea di principio questo errore di misura potrebbe essere corretto secondo la relazione

$$t_g = (t_m^2 - t_{p1}^2 - t_{s0}^2)^{1/2}$$

> Però l'incertezza su t_{p1} e su t_{s0} e l'approssimazione della relazione matematica non giustificano tale correzione

58

Effetto di carico dell'oscilloscopio



L'effetto provoca:

- in D.C attenuazione
- in A.C attenuazione, rotazione di fase, limitazione di banda

60

Per ridurre l'effetto di carico

- Occorre ridurre possibilmente il rapporto R_0 / R_{IN}
- Si possono utilizzare due tecniche:
 - introdurre una sonda attiva
 - introdurre una sonda che realizzi un partitore compensato

61

Sonda Passiva: Attenuatore compensato 1/3

- Si regola C_0 per avere $R_0 C_0 = R_{IN} C_{IN}$
- In tali condizioni:
 - la FDT V_o / V_i ha idealmente banda infinita
 - la $R_E = R_0 + R_{IN}$
 - la $C_E = C_0 \times C_{IN} / (C_0 + C_{IN})$

63

Sonda Attiva

- Problemi presentati:
 - amplificatore a larga banda
 - necessità di elevata dinamica di ingresso
 - richiede linee di alimentazione

62

Sonda Passiva: Attenuatore compensato 2/3

- L'effetto di carico del sistema oscilloscopio+sonda risulta inferiore a quello del solo oscilloscopio
- Normalmente la sonda attenua di un fattore 10
 - $R_0 = 9 R_{IN}$, $C_0 = C_{IN} / 9$
 e quindi
 - $R_E = 10 R_{IN}$, $C_E = C_{IN} / 10$

64

Sonda Passiva: Attenuatore compensato 3/3

Il polo introdotto nel collegamento vale f^*

$$f^* = \frac{1}{2\pi C_1(R_0 // R_1)} = f_p \times 10$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R_0 // R_1 \approx R_0 \\ C_1 \approx C_B / 10 \end{array} \right.$$

65

Rimedio

Introduzione di una **linea di ritardo** sul canale verticale

67

Osservazione dei fronti ripidi

A causa del ritardo tra partenza della rampa e l'istante di trigger

Si perde l'osservazione del fronte

66

Compensazione del ritardo di start rampa

68


Problemi di sincronizzazione 1/2

- Problemi di sincronizzazione per la osservazione di particolari del segnale



- Se si vuole rappresentare il dettaglio A sull'intero schermo

69

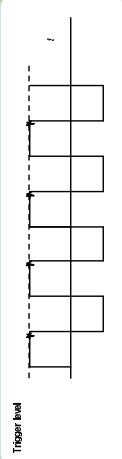


La doppia base tempi

Oscilloscopi analogici 2a parte

Problemi di sincronizzazione 2/2

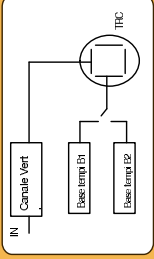
- Occorre far partire le rampe immediatamente prima di A
- È però molto difficile sincronizzare con un livello di trigger posto sui tratti orizzontali della forma d'onda



70

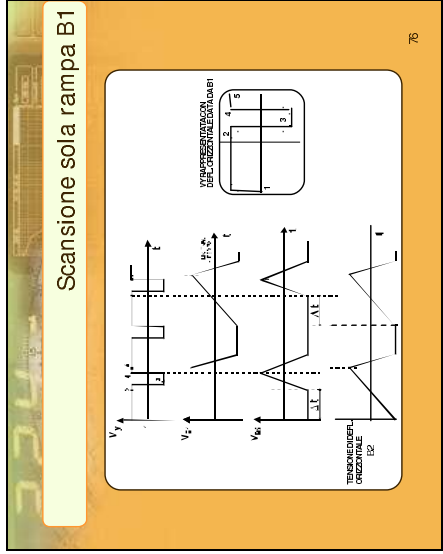
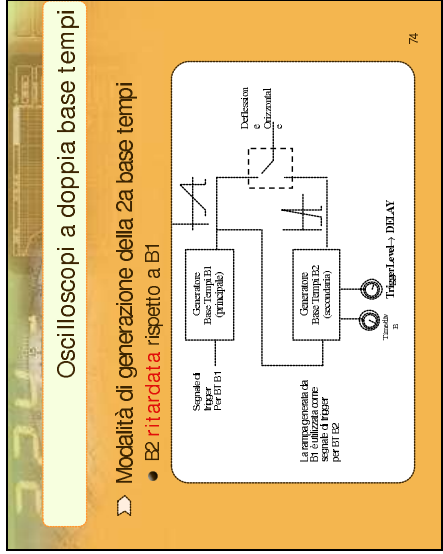
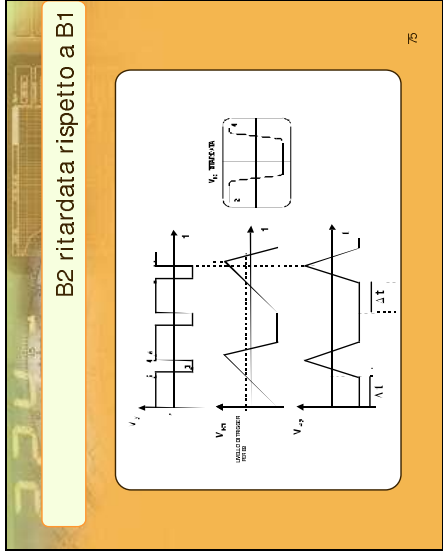
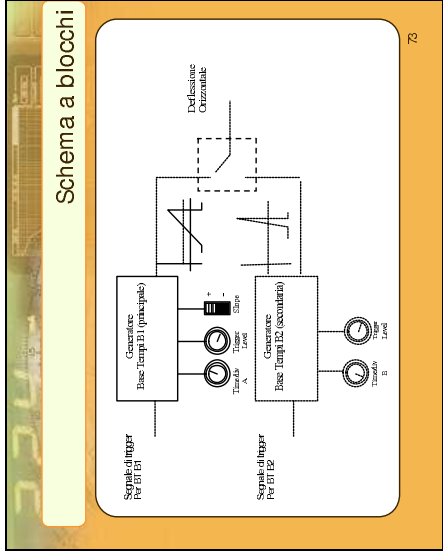
Oscilloscopi a doppia base di tempi

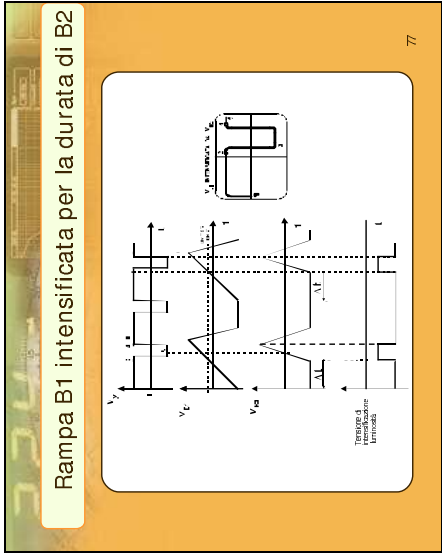
- Il problema di sincronizzare in punti difficili del segnale è risolto con gli oscilloscopi a doppia base tempi
- Schema a blocchi di principio



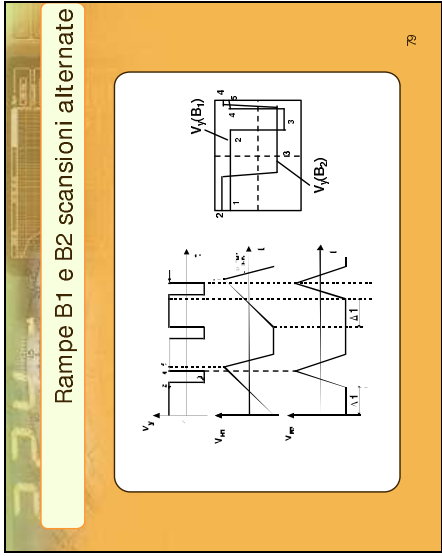
- Si hanno due generatori di base tempi

72

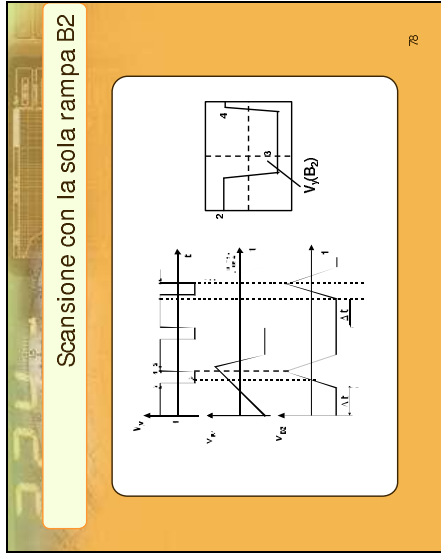




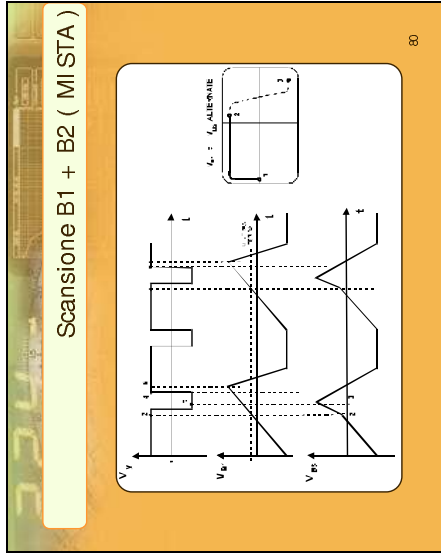
77



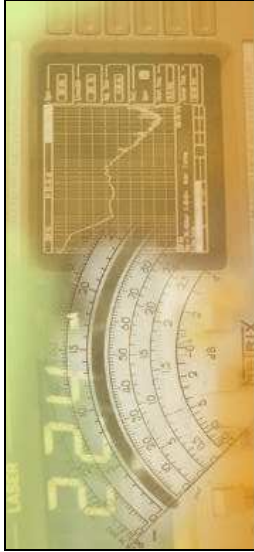
79



78



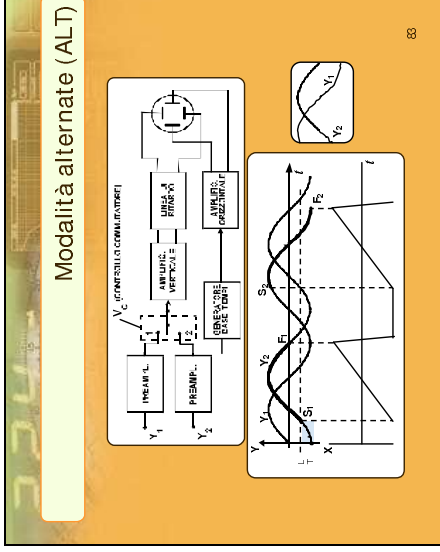
80



Oscilloscopi analogici 2a parte

Oscilloscopio a doppia traccia

Modalità alternate (ALT)



83

Oscilloscopi a Doppia Traccia

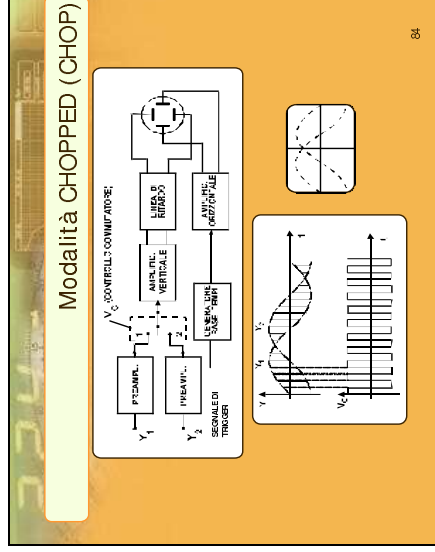
- > A doppio cannone (Soluzione costosa non più adottata)
- > A con mutazione delle due tracce

Modalità di presentazione

- alternate (per segnali A F)
- chopped (per segnali B F)

82

Modalità CHOPPED (CHOP)



84

Problemi di sincronismo interno (ALT) 1/2

➤ Sincronismo prelevato a monte del commutatore (es. Y_2)

- mantiene le relazioni di fase
- i segnali devono essere sincroni altrimenti uno scorre sullo schermo

85

Problemi di sincronismo interno (CHOP)

➤ **Funzionamento chopped**

- a monte del commutatore (CH1 o CH2)
 - sincronismo corretto ma i segnali devono essere sincroni altrimenti uno scorre sullo schermo
 - mantiene le relazioni di fase
- a valle del commutatore
 - sincronismo difficilissimo per la complessità del segnale sincronizzante
 - su molti oscilloscopi questa scelta viene impedita

87

Problemi di sincronismo interno (ALT) 2/2

➤ Sincronismo prelevato a valle del commutatore

- non si mantiene la relazione di fase
- si possono però sincronizzare anche i segnali di differenti frequenze

86