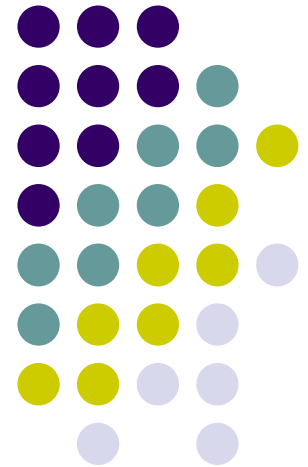


Misure di frequenza

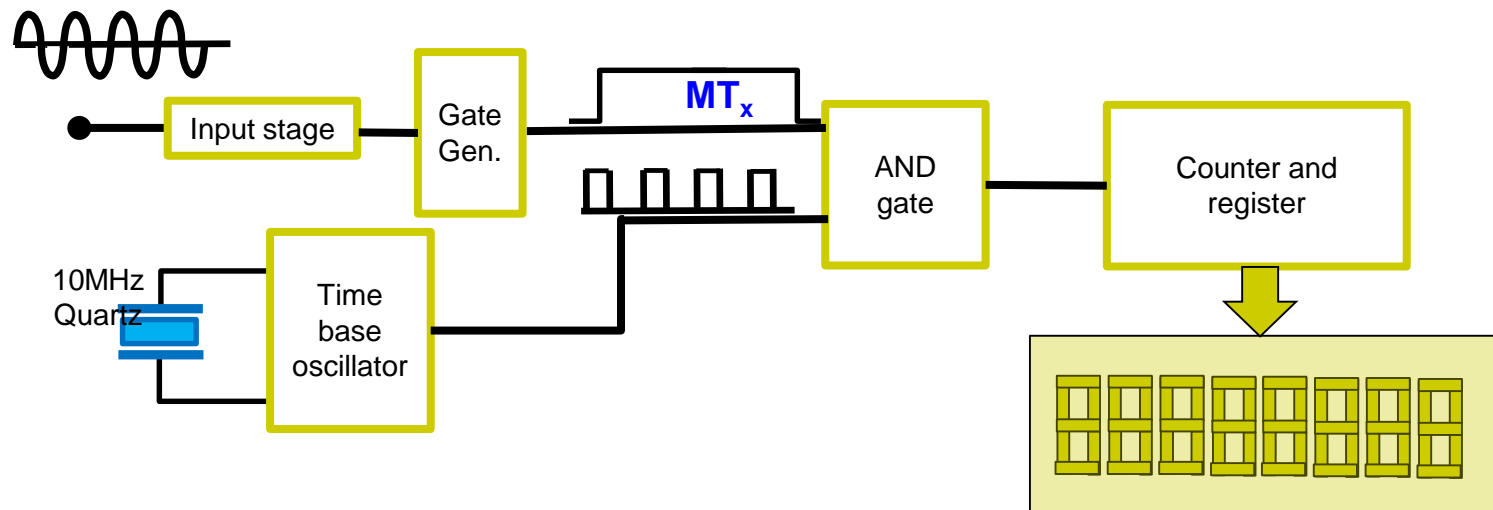
Misura indiretta di frequenza:
trigger error

Frequenzimetro reciproco (cenni)

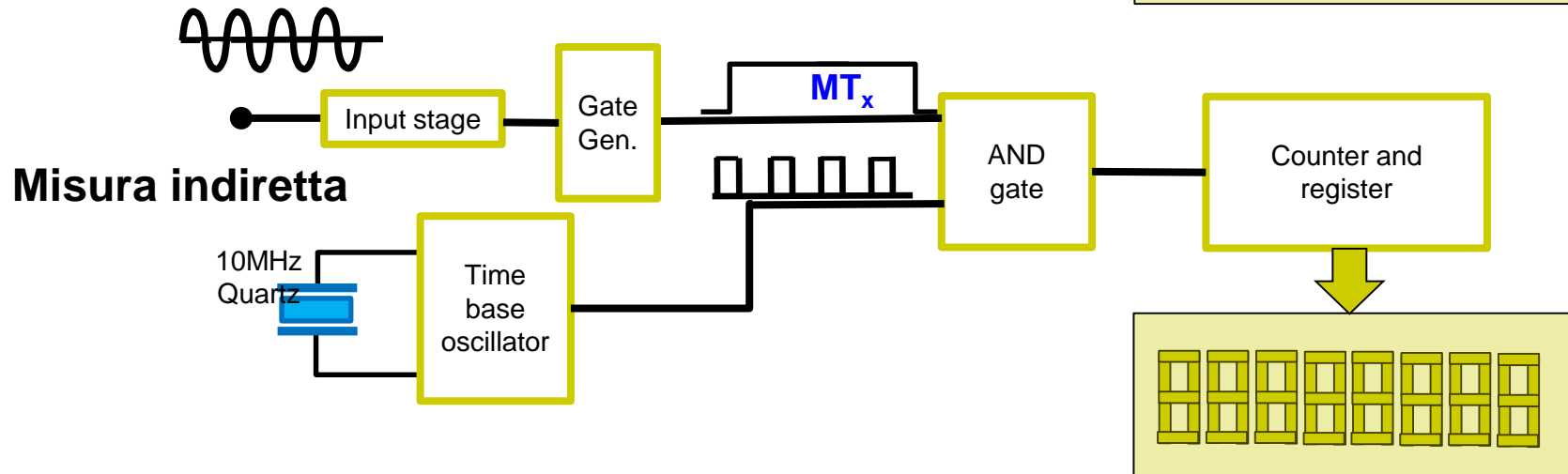
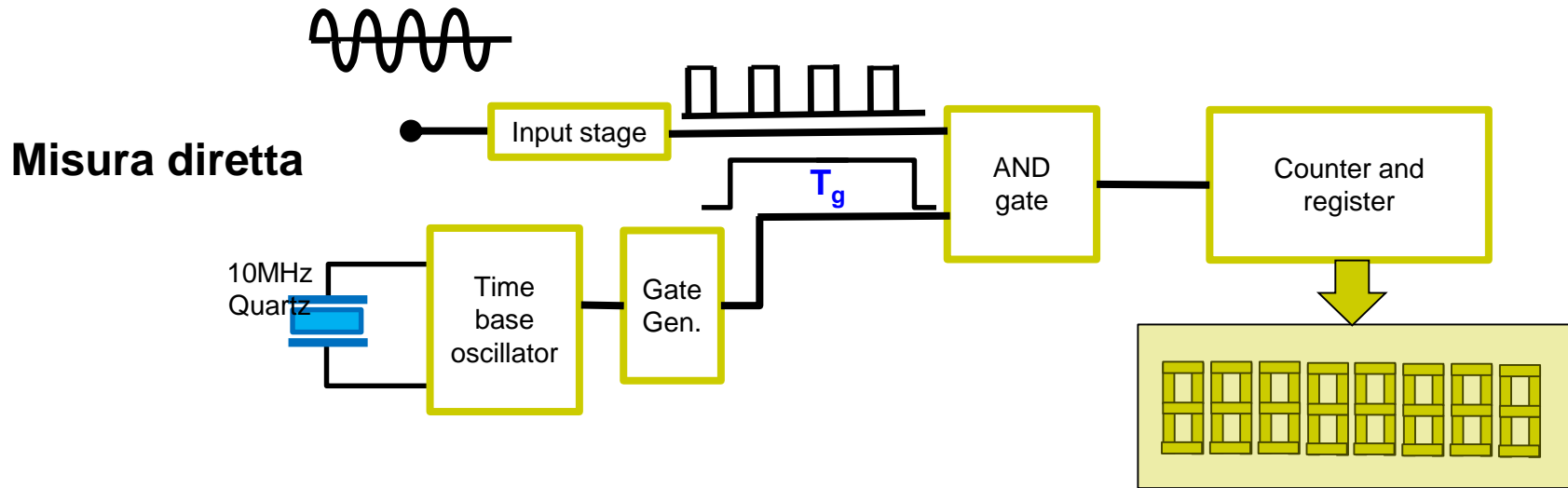
Esempio di frequenzimetri in
commercio



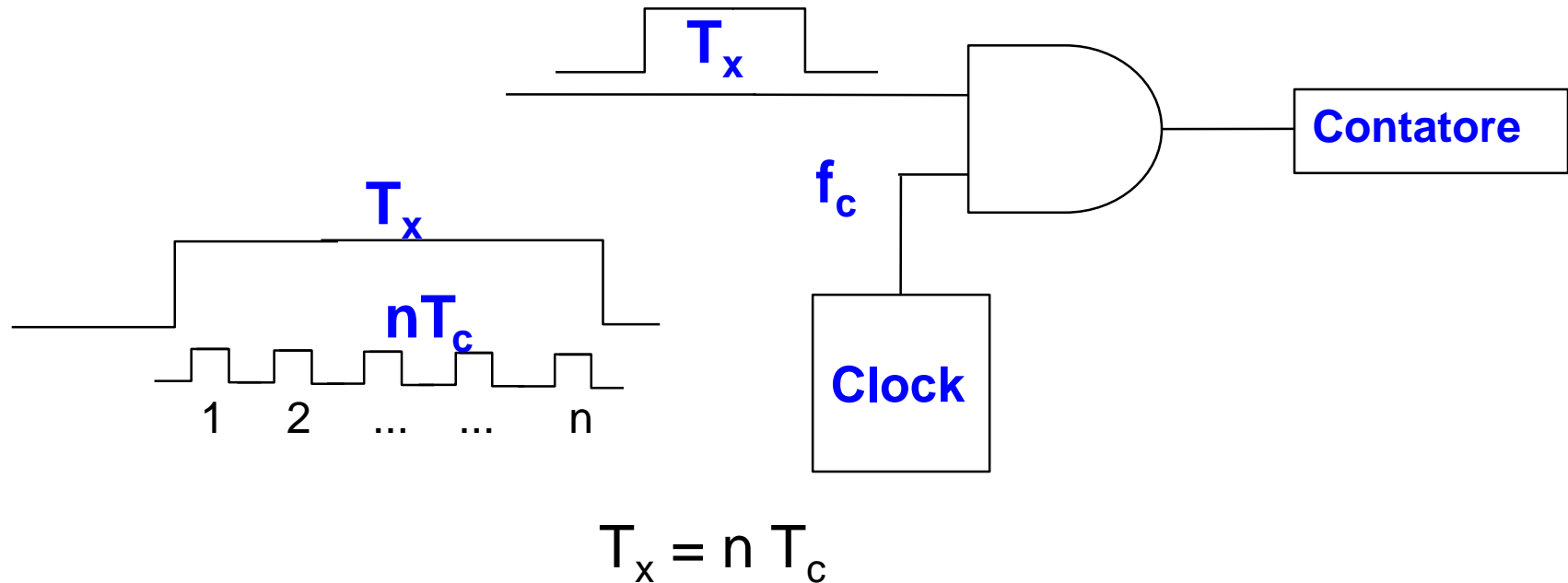
Misura indiretta di frequenza: schema di massima



Misura diretta e indiretta di frequenza: differenze di massima



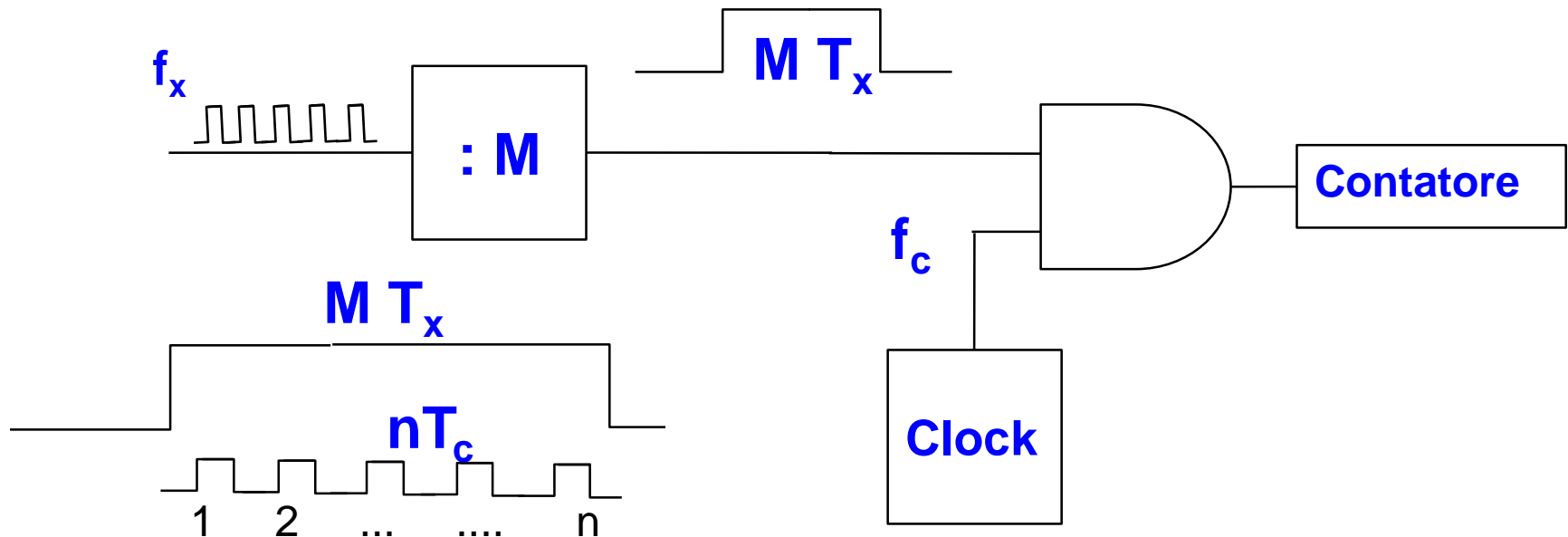
Frequenzimetro numerico: misura indiretta di frequenza (periodo singolo)



- Si esegue una misura di periodo che permette di determinare indirettamente la frequenza tramite $f_x = 1/T_x$

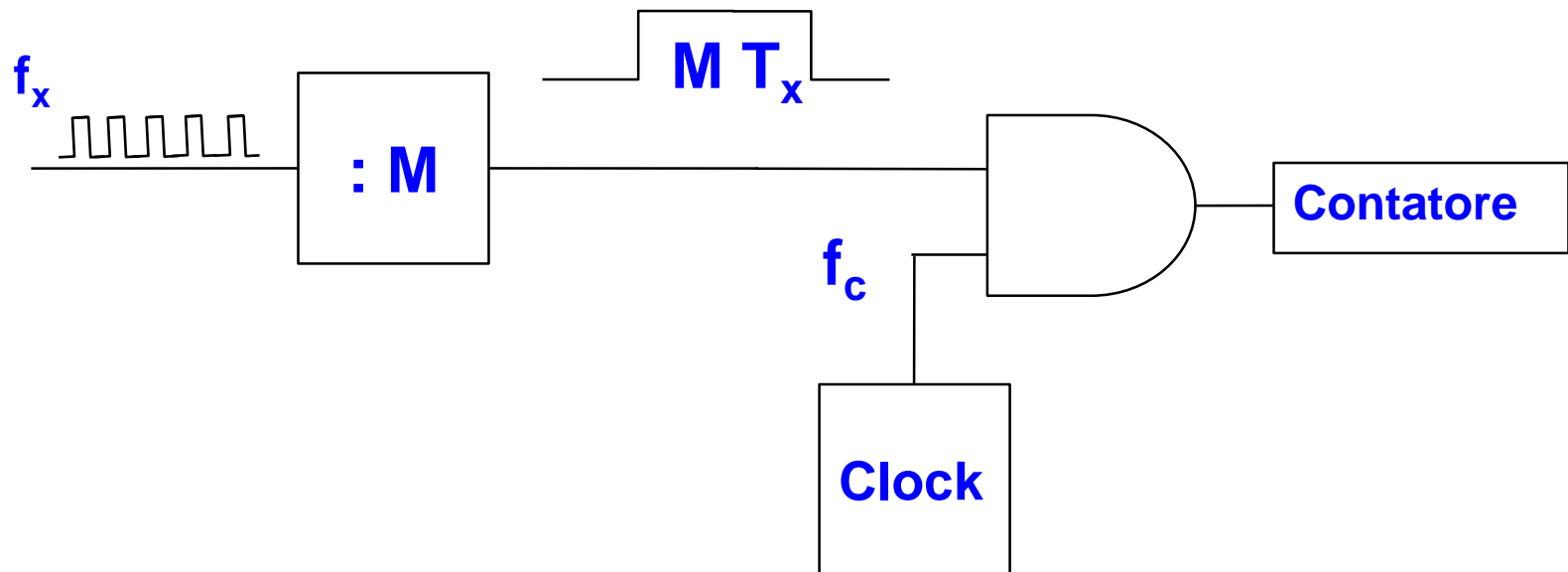
Frequenzimetro numerico: misura indiretta di frequenza (periodo multiplo)

- Misura di periodo singolo T_x ($M=1$) o multiplo ($M=10, 100, \dots$)
- La frequenza f_x viene divisa per M in modo da espandere per M il tempo di misura



Frequenzimetro numerico: misura indiretta di frequenza (periodo multiplo)

- $M T_x = n T_c$
- $T_x = n T_c / M$
- Si esegue una misura di periodo ma la durata del tempo di misura è più ampio di un fattore M



Limitazioni alle basse frequenze

- Esempio:

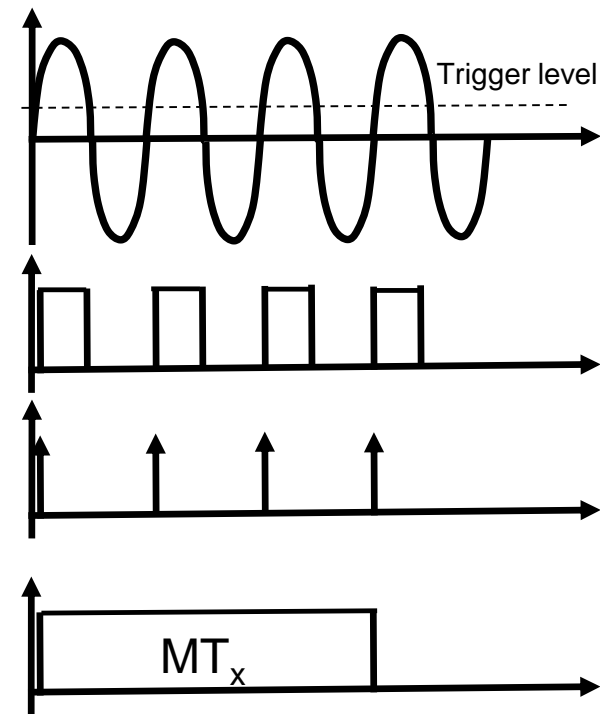
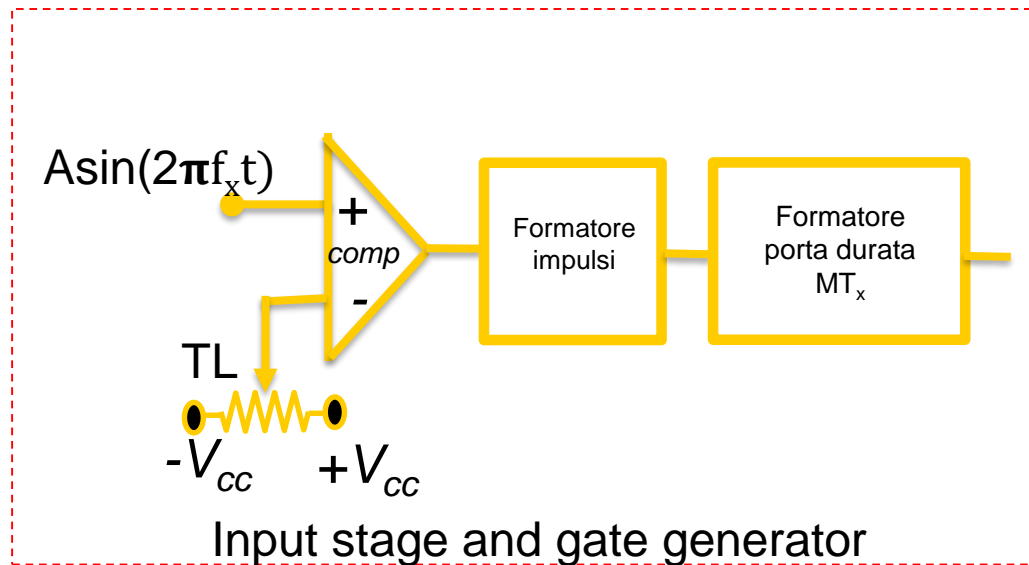
$$f_x = 1 \text{ kHz} \quad M = 1000 \quad M T_x = 1 \text{ s}$$

$$T_c = 1 \text{ } \mu\text{s (quarzo ad 1 MHz) ottengo } \mathbf{n = 1\ 000\ 000}$$

- Con una durata di misurazione di 1s si ha incertezza di quantizzazione di 10^{-6} . Nel caso di misura diretta di frequenza, a parità di inc. di quantizzazione, avrebbe richiesto 1000 s
- Occorre tener conto però anche del rumore presente sul segnale: se al segnale è **sovrapposto del rumore** gli istanti di apertura e chiusura del gate possono risultare falsati

Trigger error

- Il segnale da misurare viene trasformato in un segnale digitale per mezzo di un circuito di condizionamento a soglia regolabile (trigger level)



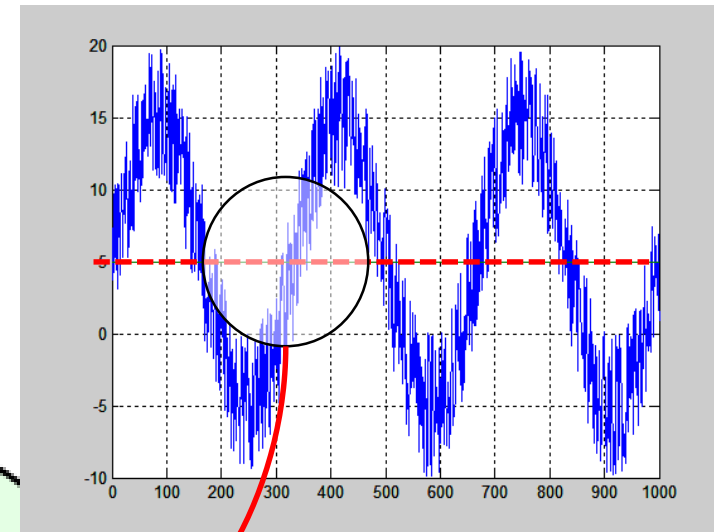
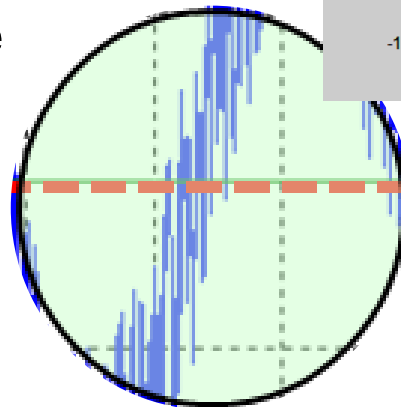
Trigger error

Segnale rumoroso, trigger pulito

Il superamento della soglia tratteggiata in rosso avviene in istanti di tempo non ben definiti

Incertezza nella definizione dell'istante di inizio (o fine) misura

Dualmente potrebbe succedere di avere un segnale 'pulito' ed un trigger rumoroso

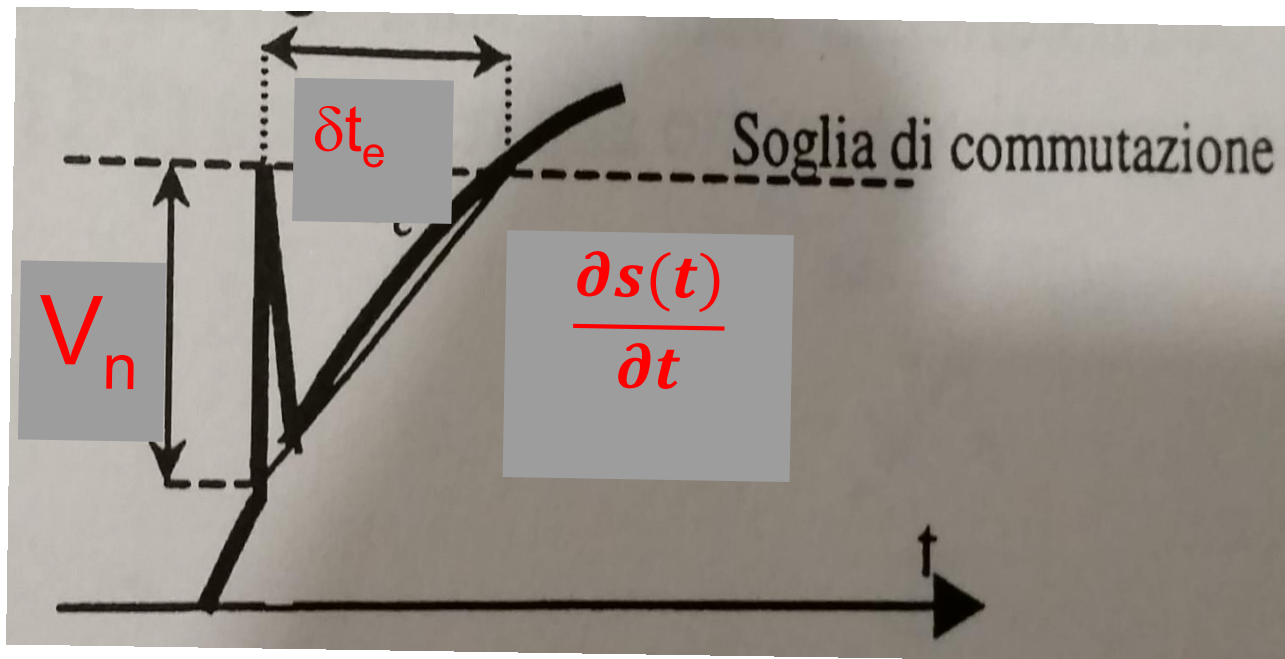


Trigger error

- Se il segnale da misurare è affetto da rumore la porta di durata MT_x ha gli istanti di start e stop non ben definiti
- Il rumore presente sul segnale da misurare e il rumore della soglia di trigger introducono un termine di incertezza

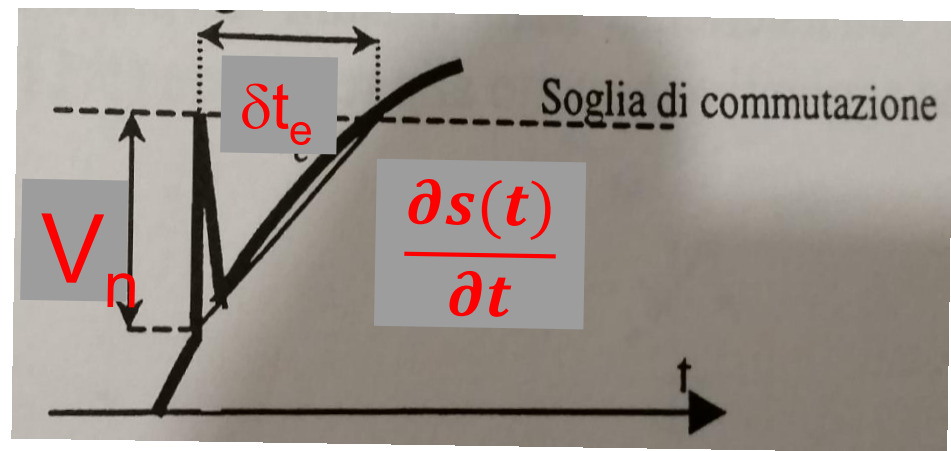
Trigger error

- Trigger Error δt_e : si supponga di avere del rumore V_n sovrapposto al segnale. Per semplicità si può ipotizzare un rumore di tipo impulsivo in prossimità dell'attraversamento del livello di trigger (per esempio allo start dell'intervallo di misura)



Trigger error

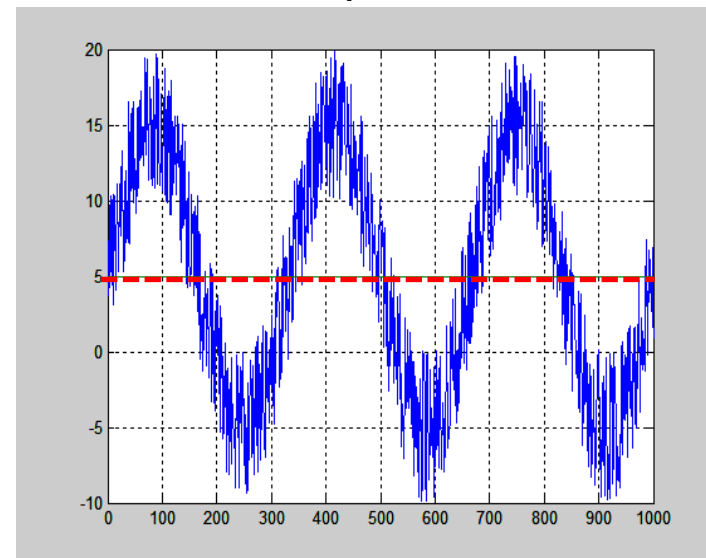
- Se $s(t) = V_p \sin(2\pi f_x t)$ è il segnale
- $\delta t_e = \frac{V_n}{\frac{\partial s(t)}{\partial t}} = \text{trig. err.}$
- $\delta t_e = \frac{V_n}{2\pi f_x V_p \cos(2\pi f_x t)} = \frac{1}{2\sqrt{2}\pi f_x \frac{V_{eff}}{V_n} \cos(2\pi f_x t)} =$
- $\delta t_e(\min) = \frac{1}{2\sqrt{2}\pi f_x \frac{S}{N}}$



Trigger error

- $\delta t_e = \delta t_{e_start} + \delta t_{e_stop} = trig.err.totale$
- L'incertezza di start e stop sono identiche
- $\delta t_e = 2\delta t_{e_start} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi f_x \frac{S}{N}}$
- Dove si è introdotto $\frac{S}{N} = \frac{V_{eff}}{V_n}$

Esempio: S/N~20dB



Trigger error

- Esempio: siano $S/N = 40$ dB ($V_{\text{eff}}/V_n = 100$) e $f_x \approx 1$ kHz

$$\delta t_e(\text{totale}) = 2\delta t_e \approx 2\mu\text{s}$$

- Se $T_m = \text{tempo di misura} = mT_x = 1$ s (ovvero $M = 1000$) ottengo un contributo di incertezza relativa dovuto al rumore del segnale pari a 2×10^{-6}

Incertezza misura indiretta di frequenza

$$T_m = \text{tempo di misura totale} = MT_x = nT_c \pm \delta t_e$$

$$MT_x = nT_c \pm \delta t_e$$

$$T_x = \left(n \frac{T_c}{M} \pm \frac{\delta t_e}{M} \right) \rightarrow \delta T_x = \frac{1}{M} (\delta n \cdot T_c \pm n \cdot \delta T_c \pm \delta t_e)$$

$$\frac{\delta T_x}{T_x} = \frac{\delta f_x}{f_x} = \pm \left(\frac{1}{M} \cdot \frac{\delta n \cdot T_c}{T_x} \right) \pm \left(\frac{1}{M} \cdot \frac{n \cdot \delta T_c}{T_x} \right) \pm \left(\frac{\delta t_e}{MT_x} \right) =$$

$$= \dots = \pm \left(\frac{1}{n} + \frac{\delta f_c}{f_c} + \frac{\delta t_e}{T_m} \right)$$

Grafico delle incertezze: misura di periodo singolo (M=1) e multiplo (M=10, 100, ...)

$$\epsilon_q = \frac{1}{n} = \frac{T_c}{MT_x} = \frac{f_x}{Mf_c}$$

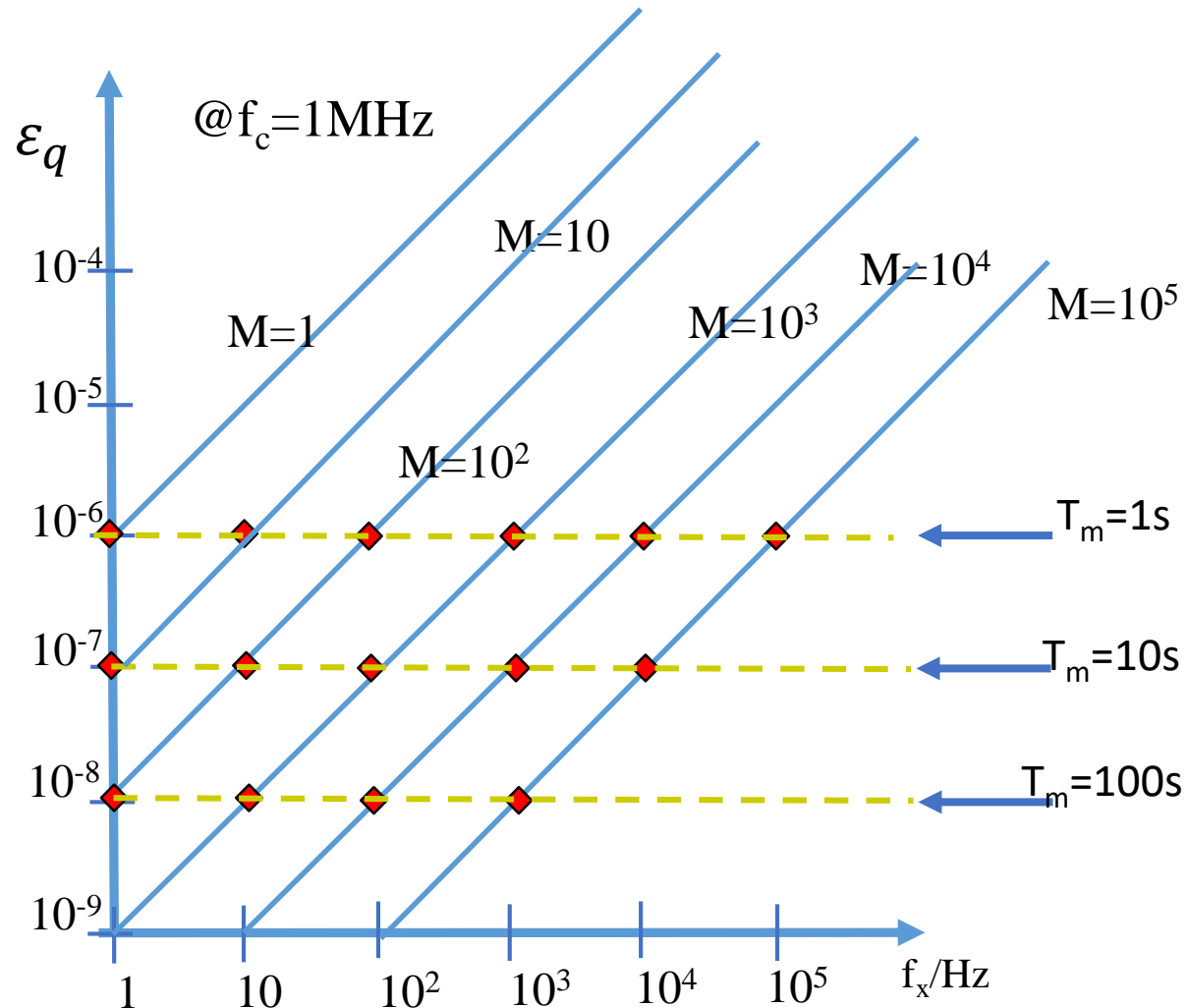
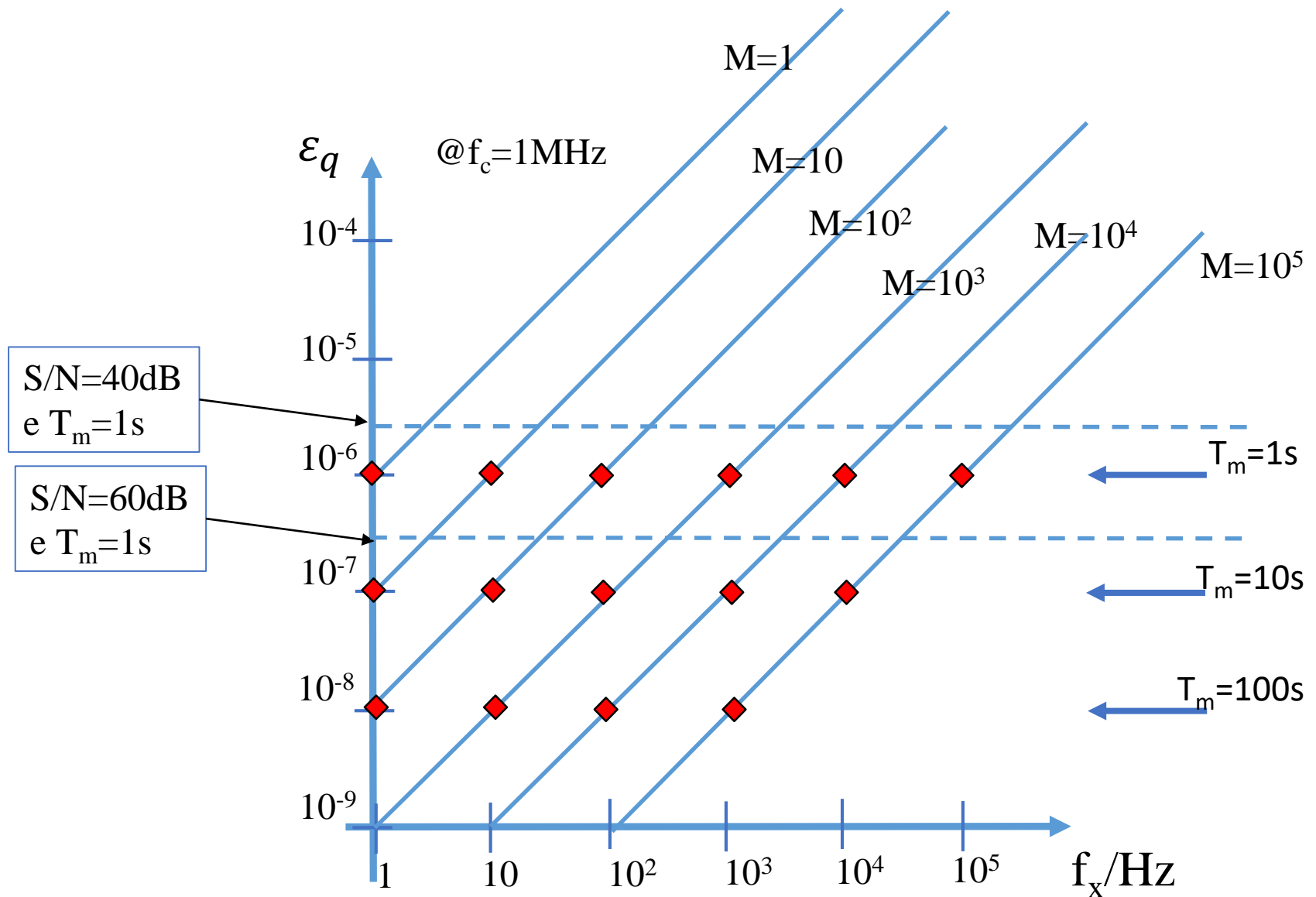


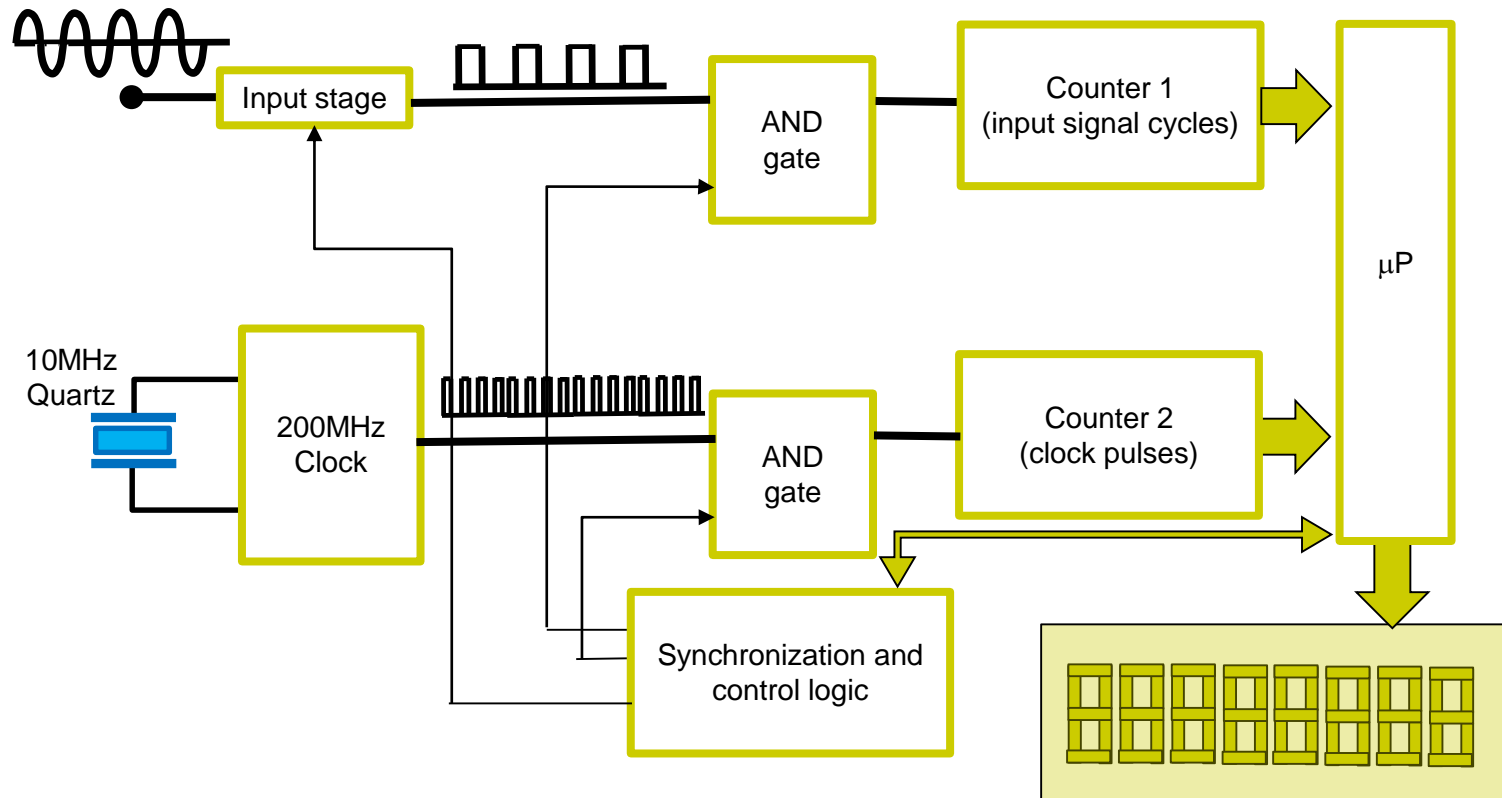
Grafico delle incertezze:



Contatore reciproco

- Il contatore reciproco è un nuovo tipo di contatori: questi strumenti effettuano sempre misure di periodo del segnale di ingresso (il valore di frequenza è calcolato per mezzo di una unità logica aritmetica)
- La durata del tempo di misura T_m è sempre un multiplo intero di periodi del segnale di cui si vuol misurare la frequenza
- T_m è in generale definito dai costruttori come multiplo o sottomultiplo di 1s
- L'incertezza di quantizzazione, per segnali con trigger error trascurabili, è fissa a parità di T_m

Contatore reciproco: schema di massima



Esempio: frequenzimetro Hameg



Universal Counter HM8122

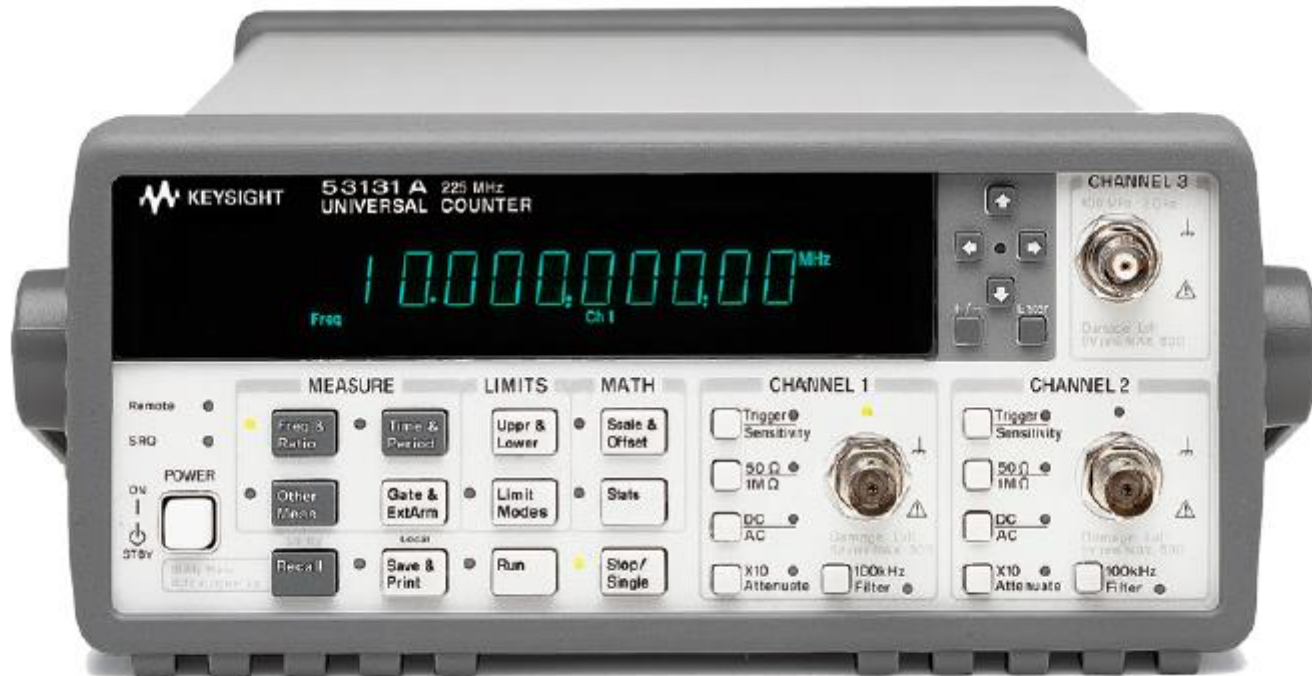
- Frequency Range 0 - 1.6GHz; 3 Inputs
- 9 Measuring Functions; Ext. Gate and Arming
- Up to 9-digit Resolution at 1s Gate Time
- 100MHz Time Base with $\pm 0.5\text{ppm}$ Stability
- Optional IEEE-488 Bus or RS-232 Interface

... when
precision
counts

Esempio: frequenzimetro Keysight 53131A

- Due canali a 225 MHz, più un terzo canale opzionale che raggiunge 12.4 GHz
- 10 digits al secondo, 500 ps di risoluzione
- Quarzo migliore di $3 \cdot 10^{-7}$ con possibilità di averlo a 10^{-9}
- Tipica risoluzione: 650ps
- T_m da 1ms a 1000s
- Interfaccia verso il PC standard

Esempio: frequenzimetro keysight 53131



Esercizio

- State misurando la frequenza di un segnale periodico a circa 1kHz. Quanto vale l'incertezza relativa di quantizzazione di un periodometro con frequenza di clock di 10MHz?

Esercizio

- State misurando la frequenza di un segnale periodico a circa 1MHz. Quanto vale l'incertezza relativa di quantizzazione in un frequenzimetro con tempo di gate di 10ms ?

Esercizi

Un contatore può essere usato come misuratore di frequenza, periodo, o periodo medio, selezionando manualmente la funzione. Nella misura di periodo medio vi è la limitazione di dover considerare un numero di periodi che sia una potenza di dieci.

Con tale contatore, che ha frequenza di clock di 10MHz, si vuole misurare il valore medio di una frequenza in un tempo non superiore a 0.1s.

Con l'obiettivo di rendere minima l'incertezza dovuta alla quantizzazione, con quale delle tre modalità (frequenza, periodo, periodo medio) deve essere usato il contatore? Si discuta il problema in funzione della frequenza incognita di ingresso, per valori fra 100kHz e 100MHz