Facoltà di Ingegneria
Università degli Studi di Firenze
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni

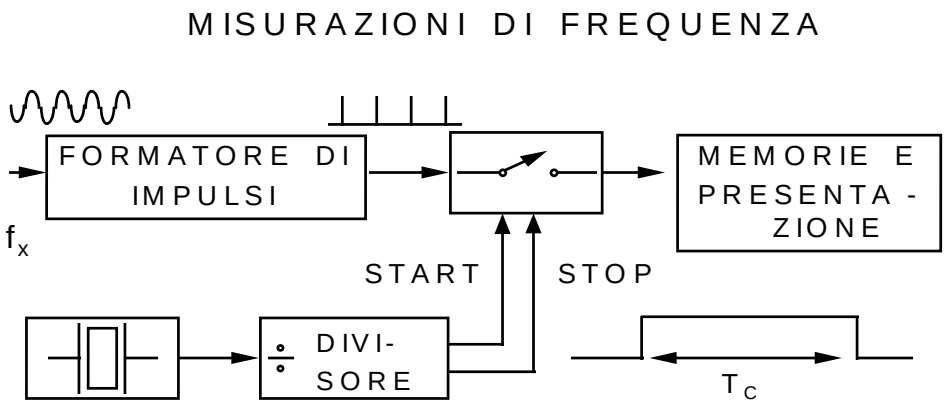
Contatori Elettronici frequenzimetri

Ing. Andrea Zanobini
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni

IL CONTATORE

Misura di frequenza, periodo e .... tante altre grandezze
Nato negli anni 30 in ambito ing. Nucleare (radioattività)

Strumento: semplice



Strumento: poco costoso, versatile, accurato

Errore di circa 1 s al giorno T=86400 s

Errore relativo pari a circa $1.16\ 10^{-5}$

Strumento: intelligente interfacciabile con un PC

Si possono inserire nel sw opportune istruzioni per contenere le incertezze

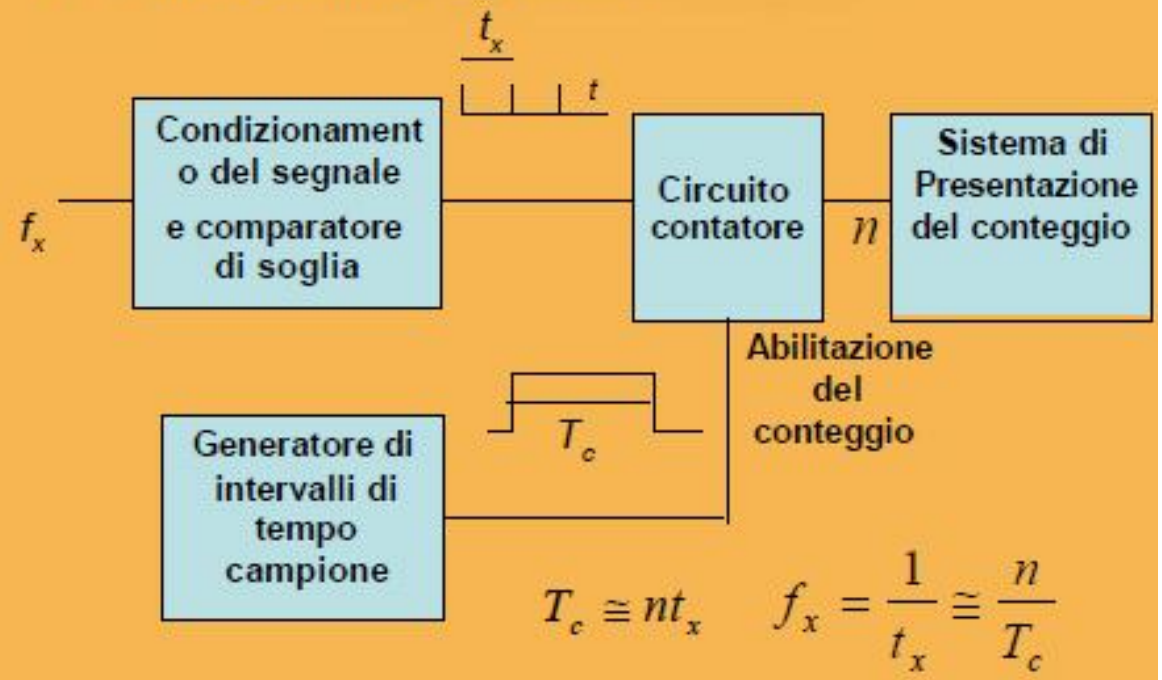
Misuratore numerico di frequenza

8

- Il numero di cifre che si hanno sul *display* (cioè il numero massimo che si può contare) sono indice della accuratezza del campione di frequenza contenuto nel frequenzimetro

Misura diretta della frequenza

- Si vuole misurare $fx=1/tx$



$$T_c \cong nt_x \qquad f_x = \frac{1}{t_x} \cong \frac{n}{T_c}$$

Esempio 1/2

- Supponiamo di misurare f_x=1kHz (cioè t_x=1ms)
- Si imposta T_c=1s
- Si contano n=1000 impulsi
  - il sistema di presentazione numerico indicherà 1000 Hz oppure 1.000 kHz (con risoluzione 1 Hz)

Esempio 2/2

- Se si imposta T_c=10s si contano n_1=10000 impulsi
- Il sistema di presentazione numerico indicherà 1000.0 Hz oppure 1.0000 kHz (con risoluzione 0.1 Hz)

Blocchi fondamentali

1. **Blocco di ingresso**
2. **Blocco porta o gate**
3. **Base dei tempi e riferimento di frequenza**
4. **Blocco di conteggio**
5. **Blocco di visualizzazione**

1. Blocco di ingresso

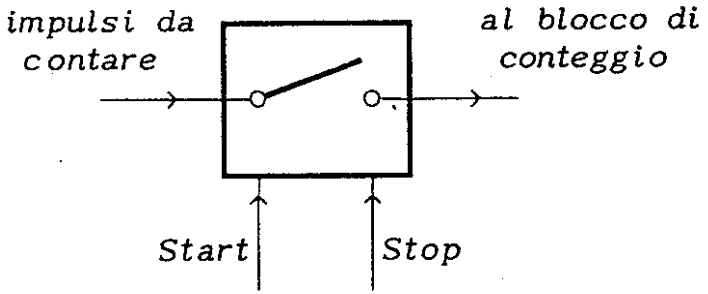
Condizionamento del segnale per adattarlo alla successiva struttura logica:

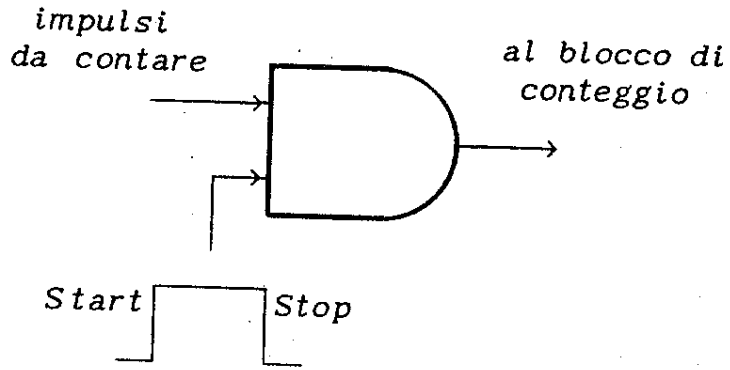
- circuiti *normalizzatori* per le amplificazioni e attenuazioni necessarie
- circuiti *formatori* del sn, forniscono in uscita un sn di tipo digitale. I legami fra gli impulsi o i fronti del sn in uscita da questo blocco e il sn in ingresso dipendono dal tipo di misurazione che si vuole effettuare

Esiste in ingresso, anche in questo strumento, un commutatore AC/DC per bloccare l'eventuale componente continua

2. Blocco porta o gate

- Serve a discriminare fra gli impulsi che arrivano dal blocco in ingresso quelli che devono essere contati dal successivo blocco di conteggio
- L'inizio e la fine del conteggio vengono individuati mediante due opportuni comandi (*start* - *stop*) che possono essere forniti sia dalla base dei tempi che dai circuiti di controllo (dipende dalla misurazione)





3.1 Base dei tempi

(Elemento fondamentale per l'accuratezza)

Riferimento temporale interno allo strumento

F_R = Frequenza di riferimento generata internamente
F_C = Frequenza del sn generato multipla o sottomultipla di F_R

La base dei tempi ha il compito di moltiplicare, dividere, sommare e sottrarre frequenze in base alla frequenza di riferimento. Una tipica gamma ottenibile può essere la seguente:

$$F_C = (M/N)\, F_R$$

10 ns	100 ns	1 μs	...	1 s	10 s	100s
100 MHz	10 MHz	1 MHz	...	1 Hz	100 mHz	10 mHz

3.2 Il Riferimento di frequenza

- L'accuratezza del contatore è fortemente dipendente dalla stabilità nel tempo dell'oscillatore interno
- Vengono adottati oscillatori al quarzo con frequenza di oscillazione compresa tra 1 e 10 MHz

Campo di frequenza che assicura le migliori prestazioni, angoli di taglio ottimali, contatori a temperatura controllata, circuiti compensatori

4. Il Blocco di conteggio

- Esegue il conteggio degli impulsi, in genere di tensione, compresi tra il sn di *start* e quello di *stop*
- E' formato da più contatori elementari di modulo M collegati tra loro in cascata
- La frequenza degli impulsi inviati non può superare un valore massimo
- E' disponibile un comando digitale che abilita l'uscita dei dati quando hanno assunto una configurazione valida e stabile

5. Il Blocco di visualizzazione

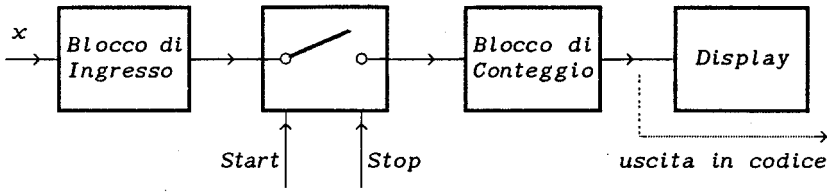
- Composto non solo dai dispositivi per la presentazione visiva ma anche da quelli per la decodifica dei dati forniti dal blocco di conteggio
- Forniscono da 3 a 8-10 cifre decimali in uscita dove ogni cifra richiede un contatore separato
- Si parla di strumenti a “d+1/2” cifre decimali intendendo che è consentita una rappresentazione inferiore a quella ottenibile con “d+1” cifre
- Sono comunque possibili variazioni manuali e/o automatiche del fondo scala, ossia del numero massimo di impulsi conteggiabili.

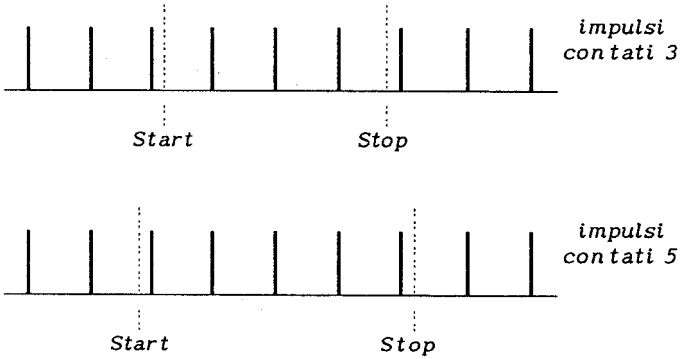
CONTATORE DI EVENTI - errore di quantizzazione

Misure di intervalli di tempo (autovelox)

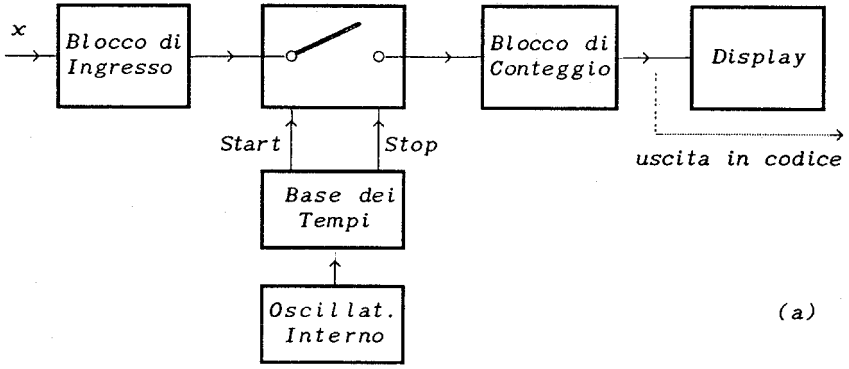
Caso di assenza di sincronizzazione (incertezza ±1)

Situazioni sfortunate che non posso prevedere ma che devo tenere in considerazione

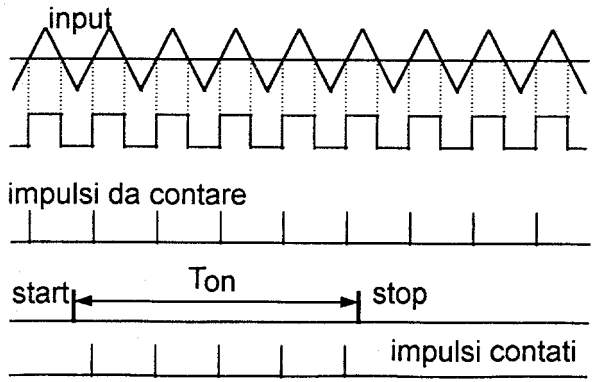




MISURE DI FREQUENZA



(a)



(b)

- La frequenza di un sn periodico è data dal rapporto tra il numero di periodi che si verificano in un dato intervallo di tempo e la durata di tale intervallo
- Se la durata è pari a 1 s, il conteggio è espresso direttamente in Hz, se è di 1 ms, in kHz, ecc...
- ***Predisposizione***: ad ogni periodo del sn si ottiene un impulso da contare mediante il blocco in ingresso, a questo scopo vanno fissati il *livello* e la *pendenza* del trigger. La porta deve rimanere aperta per un ben preciso e noto intervallo di tempo, ottenuto mediante la base dei tempi

MISURE DI FREQUENZA (2)

T_{ON} ≡ Durata dell'intervallo di tempo che intercorre tra lo *start* e lo *stop*
T_X ≡ Periodo del segnale di ingresso, ossia la distanza temporale tra due impulsi
N_X ≡ Numero di impulsi contati

$$T_{ON} \underset{q}{=} N_X T_X$$

Dove con "q" si intende a meno della quantizzazione introdotta in ogni operazione di conteggio non sincronizzata. La frequenza incognita risulta:

$$F_X = \frac{1}{T_X} \underset{q}{=} N_X / T_{ON} \qquad (N_X \Rightarrow \pm 1)$$

con risoluzione assoluta e relativa pari a: $\Delta_F = \frac{1}{T_{ON}}$ $\Delta_F' = \frac{\Delta_F}{F_X} = \frac{1}{T_{ON} F_X} \underset{q}{=} \frac{1}{N_X}$

- L'incertezza relativa diminuisce al crescere del valore di N_X, ossia del numero periodi contati. **E' necessario adeguare la durata di apertura del gate al valore della frequenza da misurare**

•L'operatore può specificare il tempo di apertura del gate oppure la risoluzione con cui desidera determinare la frequenza da misurare

MISURE DI FREQUENZA (3)

Supponendo fissato T_{ON}, si può scrivere: $N_X = \frac{T_{ON} F_X}{q}$

Esempio:

$T_{ON} = 1\,s,\ F_X \cong MHz \Rightarrow N_X \cong 10^6, \Delta_{F'} \cong 10^{-6}$ influenza modesta

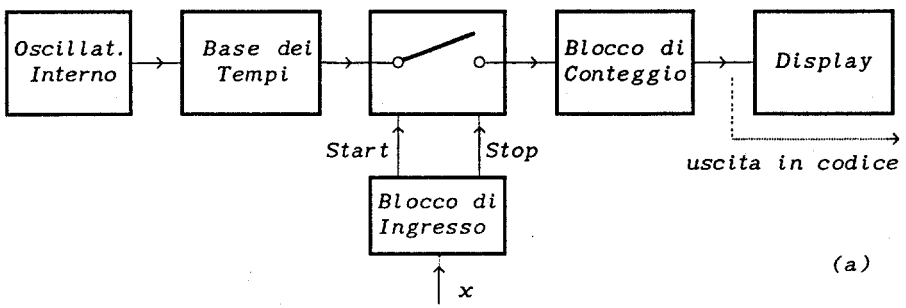
$T_{ON} = 1\,s,\ F_X \cong Hz \Rightarrow N_X \cong 1, \Delta_{F'} \cong 10^{-1}$ influenza inaccettabile

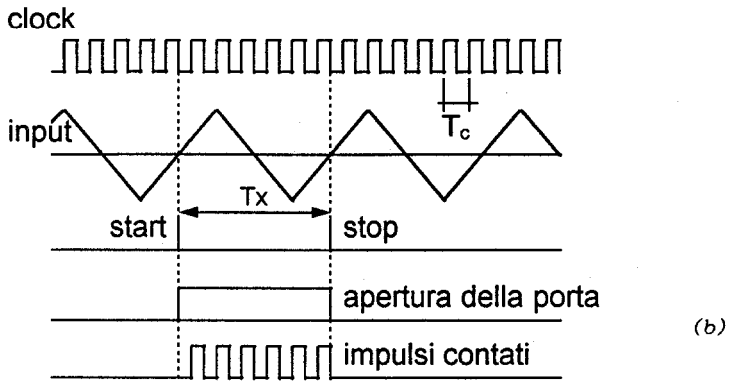
Potremo però fissare la risoluzione: $\Delta_{F'} = 0.001 \quad N_X = 1/\Delta_{F'} = 1000$

$F_X \cong MHz \Rightarrow T_{ON} \cong ms$ $\quad F_X \cong Hz \Rightarrow T_{ON} \cong 16-17$ minuti !!

- Ottimo per segnali in alta frequenza
- Meno buono per segnali a bassa frequenza
- Non segnala fluttuazioni di frequenza in tempi brevi

MISURE DI PERIODO





- La misura di periodo può essere ridotta a quella dell'intervallo di tempo corrispondente al passaggio del segnale di ingresso per lo stesso livello e con la stessa pendenza (segnali ripetitivi o non proprio periodici)
- L'apertura della porta è pertanto ottenuta dal periodo del segnale di ingresso, mentre gli impulsi di conteggio,rigorosamente periodici e di periodo noto, sono forniti dalla base dei tempi

MISURE DI PERIODO (2)

$T_X \equiv$ Periodo incognito
$T_X \equiv$ Periodo del segnale fornito dalla Base dei Tempi (clock)
$N_C \equiv$ Numero di impulsi contati

$$T_{ON} = T_X \underset{q}{=} N_C T_C$$

- Dunque, noto T_C, è sufficiente contare il numero di impulsi che transitano attraverso il gate durante l'intervallo di apertura per determinare T_X
- Poichè T_C non può essere ridotto oltre un certo valore minimo dipendente dalla BdT utilizzata, è necessario che $T_{ON} > \min(T_C)$

La risoluzione assoluta e relativa risultano pari a:

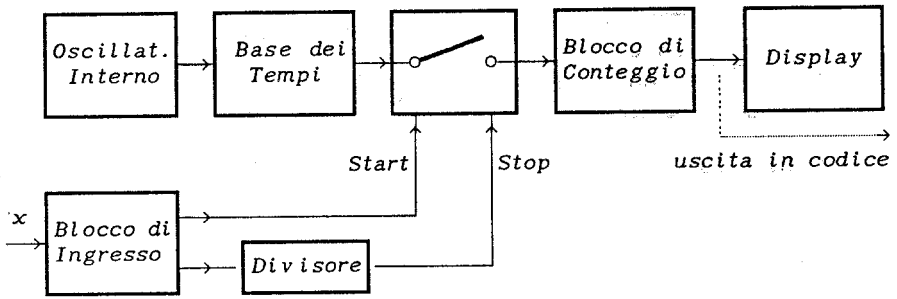
$$\Delta_T = T_C \qquad (N_C \Rightarrow \pm 1) \qquad\qquad \Delta_T' = \frac{\Delta_T}{T_X} \underset{q}{=} \frac{T_C}{T_C N_C} = \frac{1}{N_C}$$

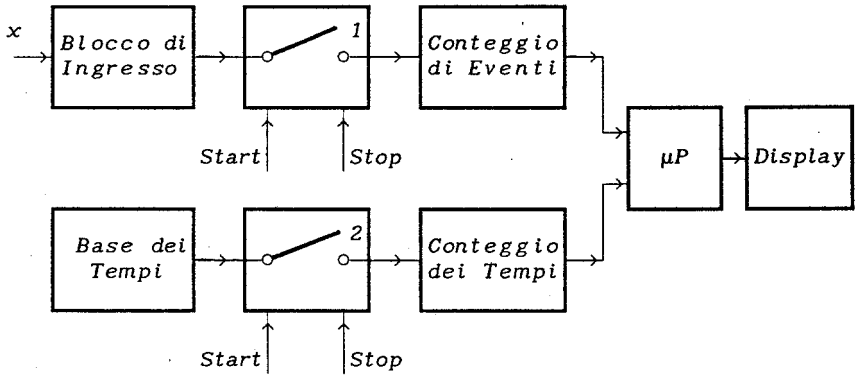
Il comportamento è duale rispetto alle misure di frequenza.

- Segnali periodici a frequenza elevata $\Rightarrow$ misure di frequenza
- Segnali periodici a bassa frequenza $\Rightarrow$ misure di periodo

MISURE DI PIU' PERIODI – CONTATORE RECIPROCO

E' possibile ottenere un aumento della risoluzione contando il numero di impulsi generati dalla BdT durante N_P periodi del segnale di ingresso



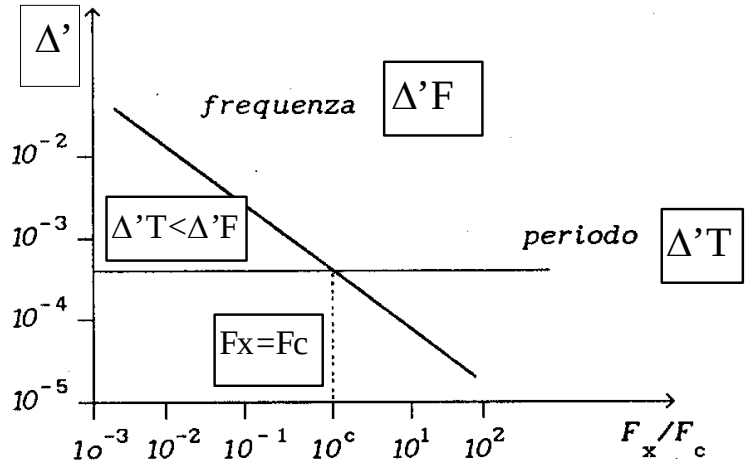


Si noti che nella misurazione del periodo medio il numero dei conteggi è maggiore di quello che si sarebbe ottenuto su un solo periodo, riducendo di conseguenza la risoluzione relativa

L'operatore deve impostare il tempo di misurazione. La presenza di un microprocessore permette la scelta automatica del tipo di misurazione più conveniente
Sul display viene fornita sempre la grandezza richiesta dall'operatore, dopo che lo strumento ha calcolato il reciproco della grandezza misurata

RISOLUZIONI RELATIVE E INCERTEZZE NEL CONTATORE RECIPROCO

- La risoluzione relativa presente nella misura del periodo non dipende da F_X mentre nella misura di frequenza la risoluzione relativa diminuisce all'aumentare di questo parametro:



- Le risoluzioni relative coincidono per $F_X = F_C$
- Se, come spesso accade, $F_X < F_C$ è preferibile eseguire una misurazione di periodo
- Specialmente nelle misure di fase, oltre che di frequenza, **l'accuratezza** è molto migliore delle misure ottenute con oscilloscopio analogico
- **Incertezze** dovute a: scarto del campione di frequenza utilizzato (10^{-4}:10^{-9}), fenomeni dovuti alla quantizzazione, effetti del rapporto S/N.

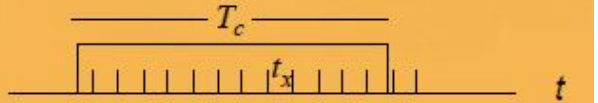
⇒ LabView

Scelta per la migliore risoluzione

Esercizio

- Si vuole misurare una frequenza f_x=100kHz con un tempo di misura T_m≅1s, frequenza del quarzo f_c=10MHz
- Quale metodo conviene utilizzare per ottenere la migliore risoluzione possibile?

Misura diretta di frequenza



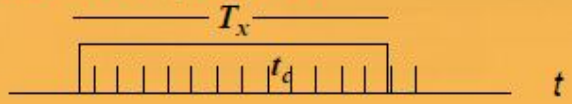
- il numero di impulsi contati è:

$$n = T_c f_x = 1 \cdot 100 \cdot 10^3 = 10^5$$

- quindi, la risoluzione relativa è:

$$\frac{\Delta f_x}{f_x} = \frac{1}{n} = 10^{-5}$$

Misura diretta di periodo



- avendo a disposizione T_m=1s per eseguire la misura, si sceglie un gate T_x=Mt_x = 1s , e quindi M=1/10^{-5}=10^5
- il numero di impulsi contati è:

$$m = \frac{T_x}{t_c} == \frac{1}{\frac{1}{10 \cdot 10^6}} = 10^7$$

- quindi, la risoluzione relativa è:

$$\frac{\Delta t_x}{t_x} = \frac{1}{n} = 10^{-7}$$

31