

*Università degli Studi di Padova*



*Facoltà di Ingegneria*

*Dipartimento di tecnica e gestione dei sistemi industriali*

*Tesi di laurea di primo livello*

# Utilizzo dei contatori per le misure di tempo e frequenza

Relatore: Prof. Alessandro Sona

Laureando: Bao Andrea matricola 593138

Anno Accademico 2010/2011

# Indice

Introduzione.....	1
1 Blocchi funzionali fondamentali .....	2
2 Blocco di ingresso o condizionamento.....	3
3 Blocco porta o gate .....	5
4 Base dei tempi e riferimento di frequenza.....	7
5 Blocco di conteggio .....	9
5.1 Principio di funzionamento .....	9
5.2 Contatori binari .....	11
5.3 Contatori programmabili .....	12
5.4 Tempi di propagazione .....	14
6 Blocco di visualizzazione .....	17
7 Contatore di eventi .....	20
7.1 Errori nei contatori elettronici .....	21
8 Misurazioni di frequenza.....	23
8.1 Misurazioni del rapporto di due frequenze.....	26
9 Misurazioni di periodo .....	28
9.1 Misurazioni di periodo medio.....	30
10 Un esempio: SR620 Time Interval & Frequency Counter .....	32
11 Conclusioni.....	36
Sitografia .....	37

# Introduzione

I contatori numerici, o più semplicemente contatori, sono strumenti di misura elettronici aventi come funzione principale la conversione di un segnale analogico in un valore numerico. Una delle tecniche usate per tale scopo si basa sul conteggio, condotto in un determinato intervallo di tempo, di una serie di impulsi opportunamente generati. Il significato del risultato del conteggio dipende dall'origine degli impulsi contati e dalla durata dell'intervallo di tempo durante il quale è stato effettuato il conteggio. Variando opportunamente questi due parametri si possono effettuare misurazioni di diversi tipi di grandezze.

Tale principio viene schematizzato in Fig. 1 in cui viene messo in evidenza che tutte le misurazioni effettuate con i contatori consistono nel contare quanti fronti di salita o discesa del segnale di conteggio si verificano tra il fronte di salita e quello di discesa del segnale di abilitazione. Nella figura si può osservare che, essendo il periodo del segnale di abilitazione  $T_2$  pari a sei volte il periodo del segnale di conteggio  $T_1$ , durante la fase di abilitazione vengono contati tre impulsi.

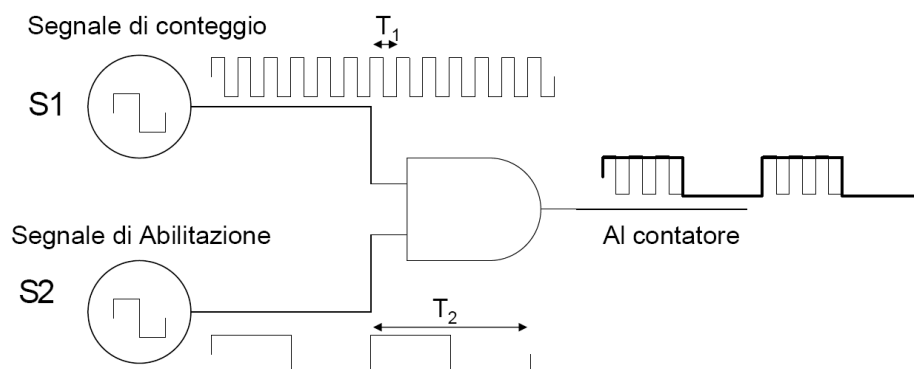


Figura 1. Principio generale di misurazione utilizzato nei contatori numerici.

L' utilizzo corretto di un contatore numerico richiede la conoscenza della sua architettura interna e del suo principio di funzionamento nonché delle problematiche insite in ogni suo blocco funzionale.

# 1 Blocchi funzionali fondamentali

In un contatore numerico sono presenti i seguenti blocchi funzionali fondamentali:

1. blocco di ingresso o condizionamento;
2. blocco porta o gate;
3. base dei tempi e riferimento di frequenza;
4. blocco di conteggio;
5. blocco di visualizzazione.

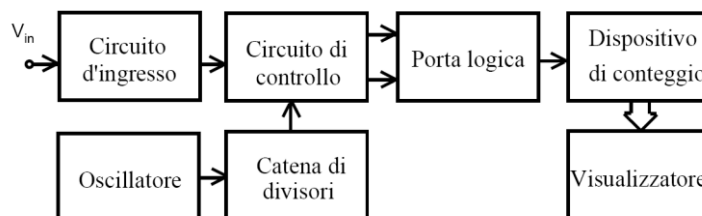


Figura 2. Schema semplificato di un contatore numerico.

Questi blocchi vengono collegati fra loro in maniera diversa a seconda del tipo di misurazione che si intende effettuare. Nel caso in cui alcune misurazioni non richiedano l'impiego di tutti i blocchi funzionali alcuni di essi rimangono inutilizzati sebbene presenti nello strumento.

Nei successivi paragrafi verranno illustrate le caratteristiche principali di ognuno di questi blocchi e le principali misurazioni che è possibile effettuare collegandoli opportunamente tra loro.

## 2 Blocco di ingresso o condizionamento

Tale blocco esegue il condizionamento del segnale elettrico di ingresso in modo da renderlo adatto ad essere trattato dai successivi blocchi funzionali che, come spesso accade, richiedono un segnale di tipo impulsivo o caratterizzato da un determinato livello logico.

Normalmente il blocco di condizionamento comprende sia circuiti normalizzatori, sia circuiti formatori di segnale; mentre i primi realizzano le amplificazioni e/o le attenuazioni necessarie per adattare il segnale da misurare alla portata dello strumento, i secondi forniscono in uscita un segnale generalmente di tipo impulsivo o logico.

In Fig. 3 è riportato uno schema di un blocco di condizionamento.

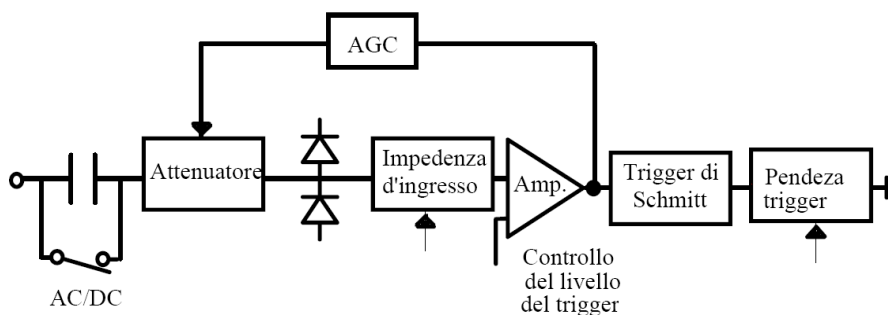
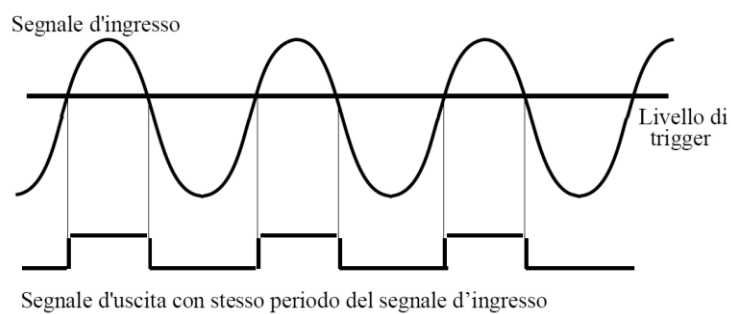


Figura 3. Schema relativo al blocco di condizionamento.

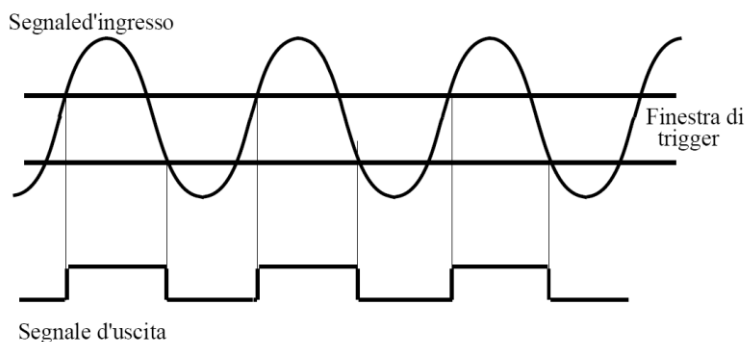
Esso è costituito da:

- un *circuito di accoppiamento AC/DC*: nella posizione DC il segnale è inviato direttamente al successivo blocco di attenuazione, mentre nella posizione AC viene inserita una capacità in serie che provvede ad eliminare la componente continua del segnale nel caso questa non deve essere oggetto di misurazione;
- un *attenuatore RC compensato* che consente di selezionare diverse sensibilità d'ingresso dove, per sensibilità di un contatore, si intende il minimo valore dell'ampiezza del segnale d'ingresso che può essere misurata.
- un *limitatore di tensione*, generalmente a diodi, per la protezione del circuito da eventuali sovraccarichi;

- un *convertitore d'impedenza* che converte l'elevata impedenza d'ingresso in una bassa impedenza d'uscita ed è realizzato generalmente con un amplificatore a FET;
- un *trigger di Schmitt* che converte i segnali in impulsi logici. In una delle situazioni più tipiche si agisce in questa maniera: l'operatore fissa un livello di riferimento ed una pendenza del segnale d'ingresso mediante un comando esterno, dopo di che il segnale di ingresso viene "squadrate" in base a tale livello ed alla pendenza posseduta. L'utilizzo di un livello di trigger per quanto semplice presenta però un inconveniente legato alla presenza di rumore sul segnale che può provocare delle commutazioni errate; per questo motivo si preferisce utilizzare una finestra di trigger. In questo caso l'uscita commuta al livello alto quando l'ingresso supera in salita la soglia più alta e commuta al livello basso quando l'ingresso supera in discesa la soglia più bassa. L'introduzione di un'isteresi permette di ridurre la sensibilità al rumore sovrapposto al segnale in quanto esso non produce effetti indesiderati finché con le sue escursioni non supera l'ampiezza della finestra di trigger.



(a)



(b)

Figura 4. Squadatura del segnale di ingresso mediante livello di trigger (a) e finestra di trigger (b).

### 3 Blocco porta o gate

Tale blocco ha la funzione di discriminare fra gli impulsi forniti dal blocco di ingresso quelli che devono essere contati dal successivo blocco di conteggio. Il blocco gate presenta infatti due ingressi, uno per il segnale costituito dagli impulsi da contare e uno per il segnale di comando; gli impulsi da contare passano al successivo blocco di conteggio o vengono bloccati in funzione del valore assunto dal segnale di comando.

L'inizio e la fine del conteggio sono individuati mediante due opportuni segnali, di solito denominati rispettivamente comando di "start" (apertura della porta) e comando di "stop" (chiusura della porta); i comandi di apertura e chiusura del gate possono inoltre essere forniti sia dalla base dei tempi, sia dai circuiti di controllo, con modalità dipendenti dal tipo di misurazione. Nel seguito il blocco gate sarà indicato mediante lo schema logico riportato in Fig. 5.

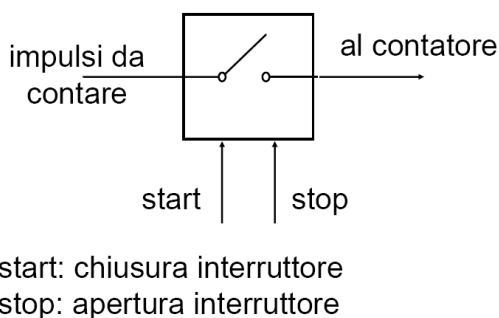


Figura 5. Schema semplificato del gate.

Il comando di start chiude logicamente l'interruttore, che rimane in tale posizione fino a quando il successivo segnale di stop non ne causa l'apertura.

Nella forma più semplice il blocco gate può essere rappresentato come in Fig. 6(a) e formato da una semplice porta *AND* in cui il fronte di salita del segnale di comando abilita il passaggio degli impulsi da contare e può quindi essere considerato il segnale di start; il successivo fronte di discesa pone termine all'intervallo di tempo durante il quale la porta è abilitata e costituisce pertanto il comando di stop.

In alternativa la realizzazione di tale blocco può essere implementata come in Fig. 6(b) nella quale, oltre la porta AND, è presente anche un flip-flop. In questo modo i segnali di start e di stop, oltre ad essere distinti, sono anche costituiti da impulsi.

In ogni caso questa porta ha un limite in frequenza oltre il quale non è possibile seguire correttamente le escursioni del segnale e quindi alcuni impulsi potrebbero essere persi.

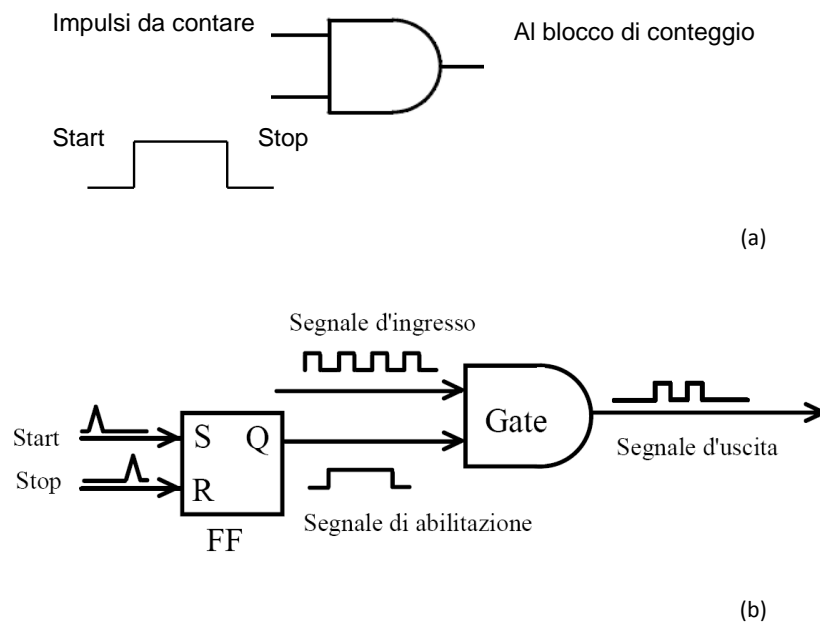


Figura 6. Realizzazione del blocco gate tramite una porta AND (a) e mediante flip-flop (b).



## 4 Base dei tempi e riferimento di frequenza

Tale blocco è composto da un insieme di circuiti che hanno lo scopo di generare un riferimento temporale interno allo strumento che verrà utilizzato per misurare la durata di un intervallo di tempo. Tali circuiti producono un segnale con frequenza di riferimento  $F_R$  mediante l'utilizzo di un oscillatore interno e permettono di ottenere segnali aventi frequenza  $F_C$  multipla o sottomultipla di  $F_R$  mediante opportune operazioni di moltiplicazione o divisione di frequenza. Mentre è relativamente semplice eseguire una divisione di frequenza la moltiplicazione risulta più gravosa e, se ripetuta, aumenta notevolmente le incertezze introdotte; per questo motivo viene eseguita solamente una o due volte.

La durata degli intervalli di tempo può normalmente essere variata mediante fattori di 10, assumendo valori da 1 ns fino a 100 o a 1000 s. Chiaramente, più elevata è la massima frequenza disponibile, minore è il minimo intervallo di tempo misurabile.

Nello schema in Fig. 7 è presente una base dei tempi, ossia un orologio (*clock*), con frequenza di lavoro tipicamente dell'ordine dei megahertz e da esso viene tratta la finestra di conteggio di durata  $T_0$  per divisione della frequenza di clock.

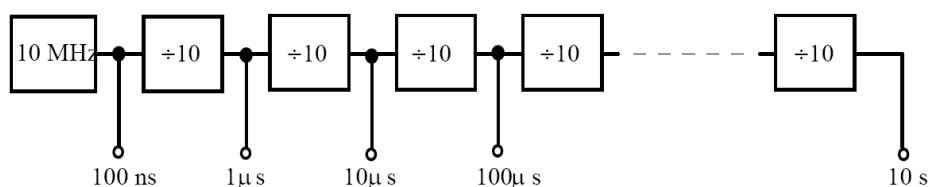


Figura 7. Schema che rappresenta il clock da cui viene tratta la finestra di conteggio per divisione di frequenza.

Per esempio se la frequenza dell'oscillatore è pari a 1 MHz e si desidera impostare un tempo di conteggio  $T_0$  di un secondo, la frequenza  $F_C$  degli impulsi di clock viene divisa per  $10^6$  ottenendo un treno di impulsi a 1 Hz, con periodo  $T_0$  di un secondo. Si può utilizzare il fronte di salita di uno di questi impulsi per aprire la porta, avviando il conteggio (start), e il fronte di salita del successivo per chiudere la porta fermando il conteggio (stop).

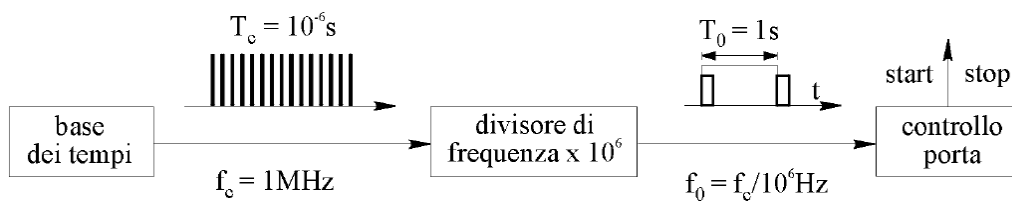


Figura 8. Esempio di utilizzo della base dei tempi per il controllo del gate.

In pratica, la divisione della frequenza di clock può essere impostata scegliendo fra potenze di 10, ottenendo per esempio i tempi  $T_0 = (10, 10^2, 10^3, 10^4, 10^5, 10^6, 10^7) T_c$ .

L'accuratezza di un contatore è fortemente dipendente dalla stabilità nel tempo dell'oscillatore interno la cui realizzazione richiede particolare cura. A tale scopo vengono utilizzati oscillatori al quarzo con frequenza di oscillazione compresa tra 1 e 10 MHz, ossia nel campo di frequenza che assicura le migliori prestazioni dei quarzi; per ottenere frequenze maggiori si preferisce poi ricorrere a circuiti moltiplicatori, nonostante le già accennate complicazioni.

Vengono inoltre scelti angoli di taglio, rispetto agli assi cristallografici del quarzo, che consentono di minimizzare l'effetto della temperatura sulla frequenza di oscillazione.

Per strumenti di prestazioni particolarmente elevate, inoltre, l'oscillatore può essere mantenuto in ambiente a temperatura controllata.

## 5 Blocco di conteggio

Tale blocco ha come scopo principale il conteggio degli impulsi, in genere di tensione, compresi tra il segnale di start e quello di stop. Esso è costituito da uno o più flip-flop opportunamente connessi in modo da realizzare un circuito sequenziale che, ad ogni impulso, passa da uno stato ad un altro secondo una sequenza di conteggio stabilita.

Ci sono due tipi di contatori definiti in base al modo in cui l'impulso di clock determina l'attivazione dei flip-flop. Si parla di contatori asincroni nel caso in cui il segnale di clock viene applicato solo al primo flip-flop della serie il quale, a sua volta, genera il segnale di attivazione per il flip-flop successivo e così di seguito; si parla di contatori sincroni nel caso in cui il segnale di clock viene applicato direttamente e simultaneamente a tutti i flip-flop.

Nel seguito si farà riferimento ad uno schema basato sull'utilizzo di contatori asincroni implementati mediante l'utilizzo di flip-flop di tipo JK.

### 5.1 Principio di funzionamento

Per comprendere il principio di funzionamento di questi dispositivi si consideri lo schema seguente che mostra un FF-JK utilizzato come FF-T (toggle); per fare questo basta semplicemente collegare gli ingressi J e K ad un valore logico "alto" (+Vcc).

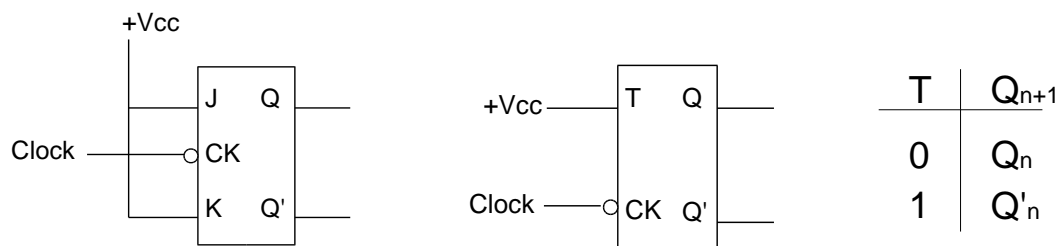


Figura 9. Rappresentazione di un flip-flop T e relativa tabella di verità.

Ricordando il funzionamento del FF-T con ingresso a 1, per ogni fronte attivo del clock l'uscita Q commuta ad un valore pari al complemento del valore all'istante che precede il fronte del clock stesso ( se Q precedente = 0 Q commuterà a 1, viceversa se Q precedente = 1 Q commuterà a 0). Questo circuito è quindi in grado di contare degli eventi corrispondenti al verificarsi di un fronte attivo del clock fino ad un massimo di 2 eventi (0, 1).

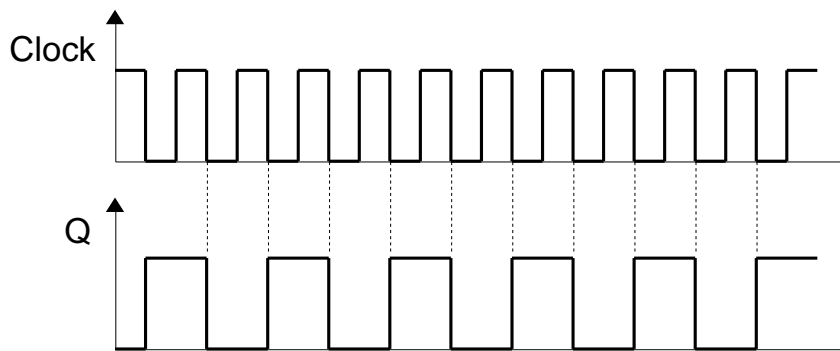


Figura 10. Diagramma temporale degli stati di un contatore modulo 2.

Mediante questa configurazione si osserva che si verifica una commutazione ogni  $T_{CK}$  secondi con  $T_{CK}$  pari al periodo del segnale di clock. Ciò comporta in uscita un segnale Q con periodo  $2T_{CK}$  a cui corrisponde una frequenza  $1/(2T_{CK})$  pari alla metà di quella di clock.

Quanto appena osservato dimostra l'impiego dei contatori come divisori di frequenza e, dato il legame di inversa proporzionalità tra frequenza e periodo, come misuratori di tempo (discretizzato) in termini di numero di periodi di clock.

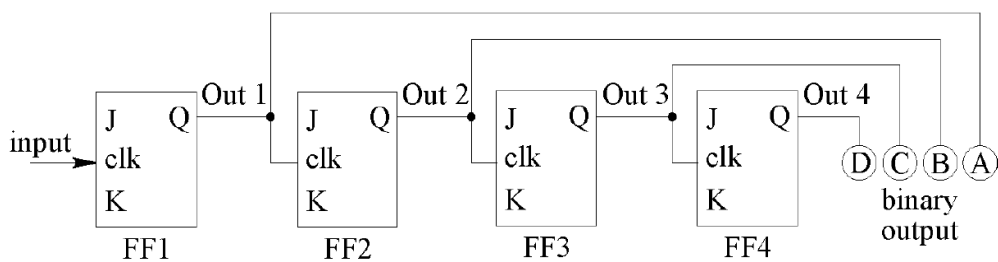
Poiché un flip-flop può assumere due stati logici, una serie di N flip-flop può assumere  $2^N$  stati logici dove, per stato della serie, si intende una delle possibili combinazioni degli stati dei singoli flip-flop. Se inoltre, partendo da uno stato iniziale, il contatore ritorna allo stesso stato dopo "k" cicli del segnale di ingresso, si dice che il contatore ha "modulo k" o "base k". Il numero "k" corrisponde al numero degli stati del contatore.

## 5.2 Contatori binari

Compresi i principi di base occorre vedere come sia possibile realizzare un contatore per un numero di eventi superiore a due.

L'idea è quella di utilizzare l'uscita Q, a frequenza pari alla metà di quella di clock, oltre che come risultato di conteggio, come clock di un circuito uguale a quello sopra.

Si riporta nel seguito l'esempio di un contatore asincrono con modulo  $2^4=16$  costituito da 4 flip-flop JK in cascata, connessi in modo toggle, attivi sul fronte negativo dell'impulso di clock. Il segnale di ingresso di cui si vogliono contare gli impulsi è applicato al terminale di ingresso del primo flip-flop FF1; i terminali di ingresso dei clock  $Ck_i$  dei flip-flop FF2, FF3 e FF4 sono collegati rispettivamente alle uscite  $Q_{i-1}$  dei flip-flop precedenti. In Fig. 11 è riportato il diagramma temporale degli stati, a partire dallo stato iniziale DCBA = 0000, in funzione della sequenza degli impulsi di clock. Il primo fronte di discesa del clock ha l'effetto di far commutare FF1 portando la sua uscita a livello alto senza influenzare gli altri flip-flop (DCBA = 0001). Il fronte di discesa del secondo impulso di clock fa commutare FF1 portando l'uscita a livello basso e attivando, in questo modo, FF2 la cui uscita passa a livello alto (DCBA = 0010). La sequenza degli impulsi di clock fa passare il contatore attraverso tutti i suoi possibili  $2^4=16$  stati per cui, dopo il sedicesimo impulso, il contatore si ritrova nello stato iniziale.



(a)

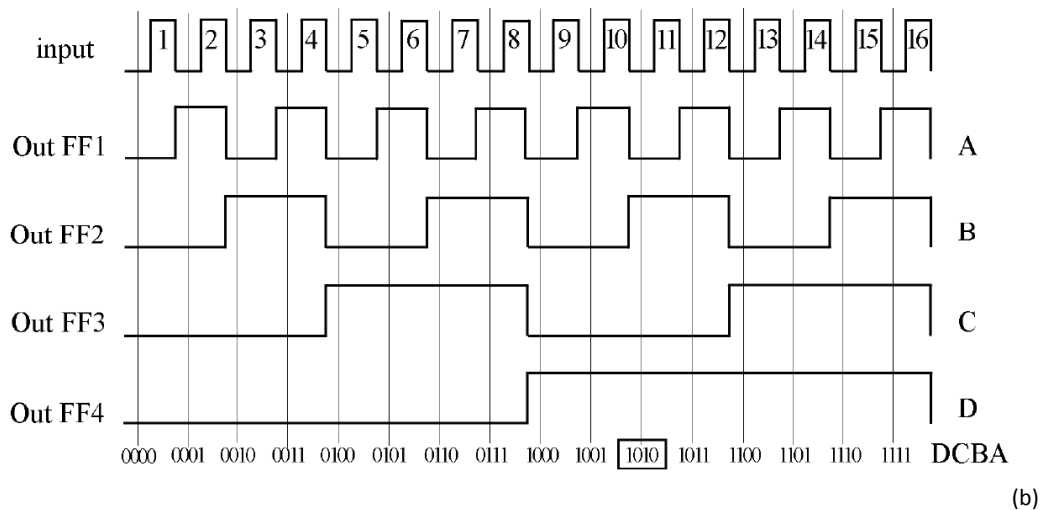


Figura 11. Esempio di contatore modulo 16 dove per semplicità sono stati omissi i collegamenti dei morsetti J-K di ciascun flip-flop a +Vcc (a). Diagramma temporale degli stati di un contatore modulo 16 (b)

### 5.3 Contatori programmabili

A questo punto occorre vedere come è possibile svincolarsi da un modulo pari ad una potenza di 2, ovvero come realizzare un contatore con un modulo qualsiasi.

Occorre quindi dimensionare il numero degli stadi del contatore e fare in modo che il conteggio riparta da zero dopo lo stato M-esimo del contatore (numero M-1). I contatori così realizzati vengono detti programmabili.

Detto M il modulo del contatore da realizzare e N il numero degli stadi del contatore, mediante il quale è possibile rappresentare come massimo numero  $2^{N-1}$ , osserviamo che dovrà risultare:

$$M \leq 2^N - 1 \quad \text{ovvero} \quad M + 1 \leq 2^N \quad (1)$$

Quindi, ricordando le proprietà dei logaritmi il numero minimo di stadi che dovrà avere un contatore di modulo M qualsiasi è dato dalla seguente formula:

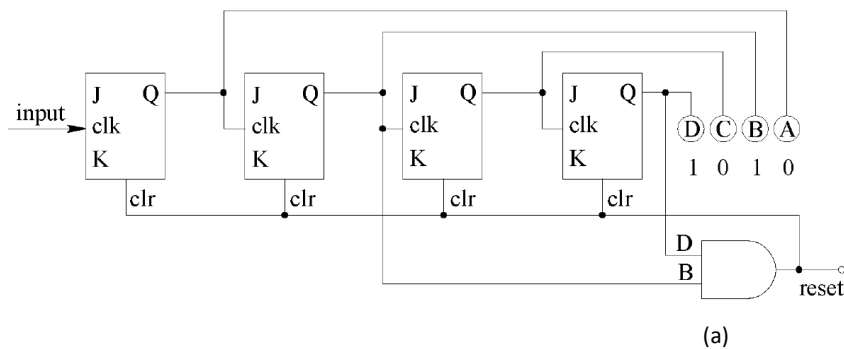
$$N = \log_2(M + 1) \quad (2)$$

Prendendo come N il più piccolo intero maggiore o uguale a  $\log_2(M+1)$ .

Per arrestare il conteggio allo stato desiderato occorre realizzare una rete combinatoria con in ingresso le uscite del contatore ( $Q_0, Q_1, Q_2, \dots, Q_N$ ) che a fronte dalla configurazione binaria corrispondente al numero  $M$  attivi il segnale asincrono di CLEAR (azzeramento) di ciascun flip-flop. Il progetto di questa rete logica potrà effettuarsi attraverso le espressioni canoniche e comprenderà una serie di porte NOT e una AND (NAND se il CLEAR è attivo basso).

Presenta interesse realizzare un contatore modulo 10, cioè che conti fino a 9 prima di azzerare tutte le uscite. Tale contatore viene detto BCD ed il suo utilizzo risulta rilevante dal momento in cui le sue uscite vengono utilizzate per controllare i display a sette segmenti.

Un possibile schema di questo tipo di contatore è riportato in Fig. 12 nel quale, per semplicità grafica, sono stati omessi i collegamenti di J e K a  $+V_{cc}$ .



Valore base 10	in	DCBA	CLEAR
0		0000	0
1		0001	0
2		0010	0
3		0011	0
4		0100	0
5		0101	0
6		0110	0
7		0111	0
8		1000	0
9		1001	0
10		1010	1
11		1011	-
12		1100	-
13		1101	-
14		1110	-
15		1111	-

(b)

Figura 12. Schema di un contatore BCD (a) e relativa tabella degli stati (b).

Si utilizzano, come nel caso precedente,  $N=4$  flip-flop di tipo JK in funzionamento toggle. Al susseguirsi degli impulsi di clock il contatore deve passare attraverso 10 stati a partire dallo stato DCBA=0000 corrispondente al numero decimale “0” e fermarsi allo stato DCBA=1001 corrispondente al numero decimale “9”.

Il blocco del conteggio ed il successivo azzeramento del contatore sono realizzati con l’attivazione del comando di reset dei flip-flop dopo 10 cicli di clock. Questo è ottenuto mediante una porta AND avente in ingresso solo le variabili D e B per semplicità. Pertanto fino allo stato 1001 del contatore l’uscita della porta AND si mantiene bassa (la funzione reset è supposta attiva al livello alto) mentre, nel momento in cui le uscite vengono a trovarsi nello stato 1010, l’uscita della porta AND passa al livello alto e rende attivo il reset dei flip-flop.

Per tale motivo il contatore è detto anche contatore a decade e le parole di codice in uscita costituiscono un modo per rappresentare le cifre decimali (0÷9) in forma binaria (*Binary Coded Decimal, BCD*).

## 5.4 Tempo di propagazione

Finora si è supposto che il blocco di conteggio fosse ideale e quindi in grado di contare impulsi in ingresso aventi frequenza qualunque purché minore di quella dell’oscillatore al quarzo della base dei tempi; nella realtà ciò non è possibile in quanto si devono tenere in considerazione alcuni aspetti particolari fra i quali il più importante è il tempo di propagazione.

I contatori basati su un’architettura asincrona infatti sono caratterizzati da un ritardo di propagazione del clock legato ai tempi di commutazione di ciascun flip-flop. In Fig. 13 sono riportate le forme d’onda d’uscita di un contatore modulo 4 con segnale di clock attivo sul fronte di discesa prendendo in considerazione il tempo  $t_{pd}$  di propagazione di ciascun flip-flop. Si nota subito che il primo flip-flop commuta con un ritardo  $t_{pd}$  rispetto al clock mentre il secondo flip-flop commuta con un ritardo  $2t_{pd}$  rispetto al clock. In definitiva, in un contatore ad  $N$  stadi, la commutazione dell’ultimo stadio risulta ritardata di un tempo pari a  $Nt_{pd}$ . Questo fatto limita la velocità di funzionamento



dei contatori asincroni e richiede alcune precauzioni nella lettura dei valori di uscita. A questo proposito, è facile rendersi conto della necessità che il periodo del clock  $T_{ck}$  sia maggiore di  $Nt_{pd} + T_S$  dove  $T_S$  è il tempo necessario per effettuare la lettura. Si può quindi affermare che la frequenza massima del segnale di clock possibile deve essere:

$$f_{max} = \frac{1}{N \cdot t_{pd}} \quad (3)$$

Questo ci assicura che tutti i flip-flop abbiano avuto il tempo di commutare.

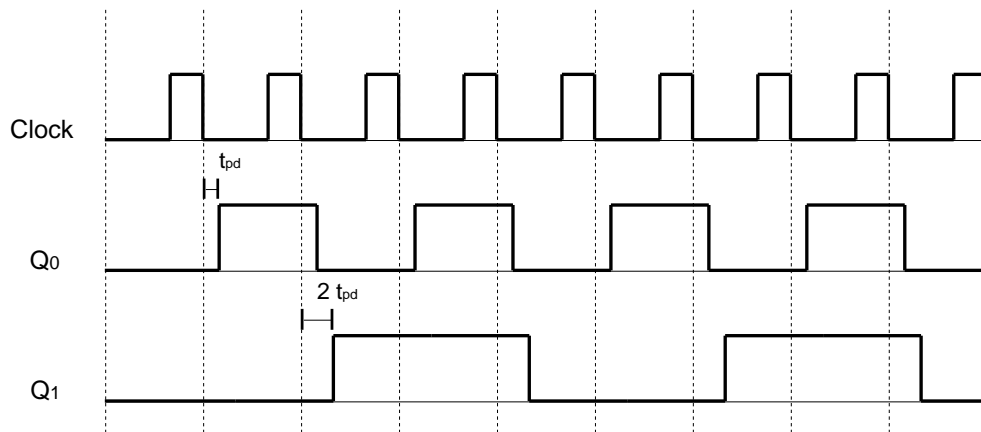


Figura 13. Diagramma temporale di un contatore modulo 4 con ritardo di propagazione.

Questo ritardo di propagazione provoca inoltre nel contatore una serie di stati intermedi indesiderati nel passaggio da uno stato di conteggio all'altro. In particolare considerando la Fig. 14 si nota che il passaggio dallo stato 11 a 00 non sarà istantaneo ma commuterà prima  $Q_0$ , poi, dopo un tempo pari al tempo di propagazione  $t_{pd}$  del primo FF (che fornisce il clock ovvero il via a commutare al secondo),  $Q_1$ . Quindi a partire da 11 si avrà per un breve istante l'uscita 10 (indesiderata) e poi finalmente l'uscita 00.

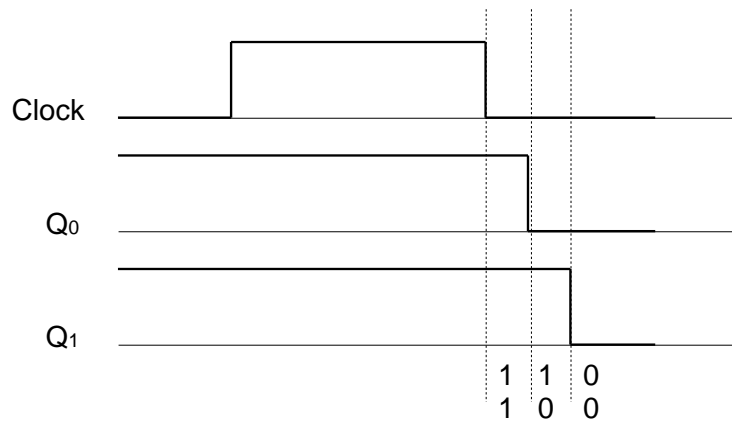


Figura 14. Stati intermedi in un contatore modulo 4 dovuti al ritardo di propagazione.

Nel caso in cui tempi in gioco siano assolutamente compatibili con i limiti in frequenza del contatore gli stati di conteggio intermedi provocano al massimo uno sfarfallio dei display praticamente impercettibile all'occhio umano. Per alcune applicazioni invece gli stati di conteggio intermedi possono non essere tollerati e occorre quindi utilizzare dei contatori sincroni nei quali tutti i FF sono sottoposti allo stesso clock esterno e possono commutare (quasi) contemporaneamente. Tali contatori come già anticipato sono più complessi da progettare.

## 6 Blocco di visualizzazione

Il blocco di visualizzazione è composto non solo dai dispositivi per la presentazione visiva del risultato, normalmente a LED o a cristalli liquidi, ma anche dai circuiti di decodifica che elaborano opportunamente i dati forniti dal blocco di conteggio.

La conversione da cifre codificate BCD fornite dal blocco di conteggio in segnali idonei a pilotare il dispositivo di visualizzazione avviene mediante adatti circuiti integrati spesso facenti parte degli elementi di presentazione; in molti casi si ha cioè un unico blocco che visualizza un certo numero di cifre inviate al suo ingresso in forma codificata BCD e dotato di pochi altri segnali di comando.

Una possibile soluzione comprende l'utilizzo di un display a 7 segmenti la cui architettura di massima è rappresentata in Fig. 15. Tra il contatore ed il display è presente un blocco di conversione che, tramite opportuni *driver*, attiva le 7 linee del display in relazione ai simboli binari codificati in BCD presenti al suo ingresso. La corrispondenza è ottenuta mediante circuiti a logica combinatoria.

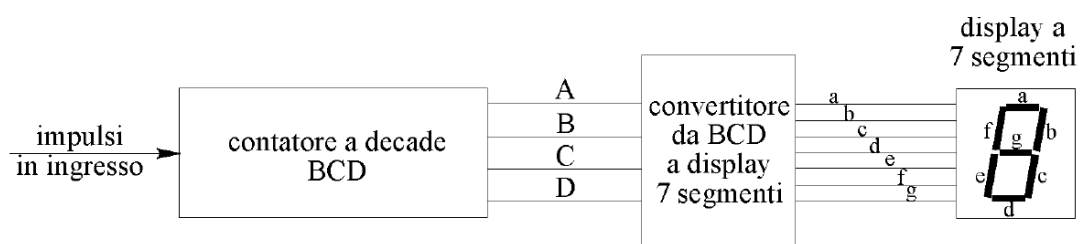


Figura 15. Blocco di visualizzazione composto da un convertitore e un display a 7 segmenti.

A seconda del tipo di display impiegato è possibile rappresentare, oltre alle cifre decimali, anche un certo insieme di caratteri alfabetici che possono essere usati per fornire utili indicazioni all'operatore; ad esempio può essere indicata l'unità di misura associata al valore numerico visualizzato oppure possono essere segnalate eventuali situazioni anomale quali un sovraccarico o un errato impiego dello strumento stesso.

Per facilitare la lettura tra il blocco di conteggio e quello di visualizzazione viene interposto un circuito di memoria; in Fig. 16 è riportato uno schema logico semplificato di tale soluzione relativa ad un'unica uscita del blocco di conteggio.

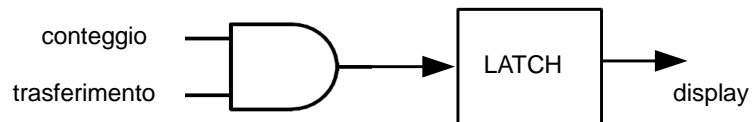


Figura 16. Impiego di una memoria nel collegamento tra il blocco di conteggio ed il display.

Come si può notare il segnale in uscita dal contatore viene memorizzato solamente quando il segnale di trasferimento è al livello logico alto. Una volta che il trasferimento è disabilitato tale informazione rimane quindi disponibile sul latch per la visualizzazione. Il comando di trasferimento inoltre azzerava il blocco di conteggio consentendo così l'inizio di un nuovo conteggio per la misurazione successiva.

Nella realtà inoltre devono essere sempre tenute presenti le non idealità dei componenti utilizzati. Ad esempio, per non risentire dei problemi connessi ai ritardi introdotti dai vari componenti, il trasferimento deve essere abilitato solamente quando l'uscita del blocco di conteggio presenta una configurazione valida e stabile.

Nel caso in cui non sia presente il blocco di memorizzazione ed i blocchi di conteggio e di visualizzazione siano collegati direttamente, è possibile seguire l'intera evoluzione del conteggio; ciò può essere utile in alcune situazioni ma in generale interessa solamente il valore finale. Inoltre se il contatore riprende il conteggio per la misurazione del periodo successivo, come in generale avviene, il valore finale rimane disponibile solo per un tempo circa coincidente a quello di tutti gli altri valori intermedi privi di significato rendendo la lettura risulterebbe pertanto poco agevole.

Generalmente i contatori forniscono in uscita da 3 a 8-10 cifre decimali; il numero di cifre utilizzate dipende infatti dal tipo e dalle prestazioni dello strumento. Ognuna di tale cifre richiede un contatore elementare ed un circuito di decodifica per poter essere visualizzata. Si faccia riferimento alla Fig. 17 nella quale è stato considerato un contatore con sole 4 cifre.

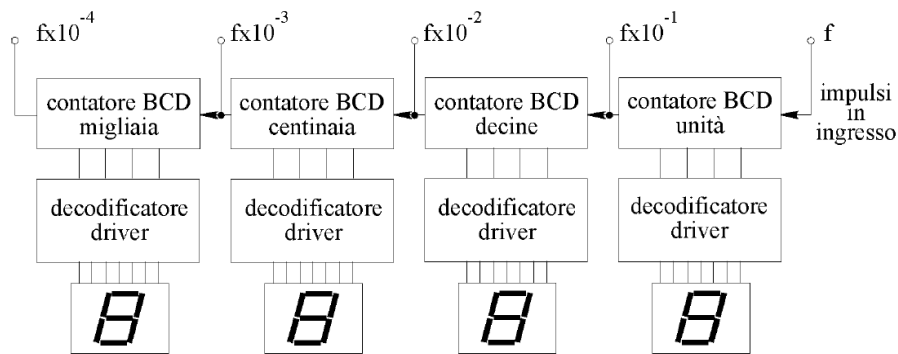


Figura 17. Contatore modulo 16 con blocco di visualizzazione composto da 4 circuiti di decodifica e altrettanti display a 7 segmenti.

Nel suo complesso il contatore in figura è in grado di contare fino a 9999: infatti dopo che il contatore delle unità ha contato fino a 9, il successivo impulso, il decimo, provoca la condizione di reset che azzerà questo contatore e fornisce il primo impulso di conteggio al successivo contatore delle decine. Quando il contatore delle decine ha ricevuto 10 impulsi genera a sua volta l'impulso di reset che lo azzerà e contemporaneamente costituisce il primo impulso per il successivo contatore delle centinaia. La situazione si ripete per tutti i moduli BCD presenti.

Nei contatori è spesso prevista una variazione manuale e/o automatica del fondo scala ossia del numero massimo di impulsi conteggiabili; ciò è ottenuto eseguendo una predivisione della frequenza di tali impulsi per un opportuno coefficiente. Per semplificare la lettura e la gestione del display è inoltre conveniente che tale coefficiente corrisponda ad una potenza di 10; in tal caso, infatti, una variazione di scala corrisponde solamente a uno spostamento del punto decimale.

Si noti inoltre che la precedente procedura influisce sulla risoluzione della misurazione. Ovviamente è sempre conveniente scegliere la scala che consente di sfruttare tutte le cifre offerte dallo strumento; in tal modo si ottiene, infatti, una riduzione dell'incertezza relativa dovuta alla risoluzione.

Quando si devono misurare grandezze il cui valore è prossimo a quello del fondo scala dello strumento si possono inoltre manifestare fluttuazioni del valore visualizzato che rendono difficoltosa la lettura; le varie letture eseguite hanno inoltre una risoluzione diversa. Questo inconveniente può essere evitato introducendo una opportuna isteresi in modo tale che piccole variazioni nella grandezza da misurare non provocano lo spostamento del punto decimale.

## 7 Contatore di eventi

La misurazione più semplice che può essere effettuata con un contatore numerico consiste nel conteggio di eventi. La natura di tali eventi può essere molto varia, ma in ogni caso il segnale di ingresso deve essere trasformato dal blocco di condizionamento in una successione di impulsi di tensione da inviare al blocco di conteggio.

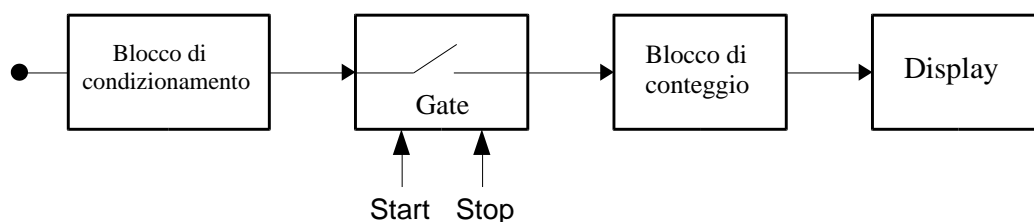


Figura 18. Schema utilizzato per il conteggio di eventi.

In questo tipo di misurazione viene utilizzato un schema come quello in Fig. 18 che comprende il blocco di ingresso, il gate, il blocco di conteggio ed il display rispettivamente collegati come in figura.

Supposto in ingresso un segnale sinusoidale periodico esso viene trasformato in una serie di impulsi (anch'essi periodici) dal trigger contenuto nel blocco di condizionamento. Tali impulsi vengono inviati al blocco di conteggio, mediante l'abilitazione del gate tramite i segnale di start e stop, per essere contati. Il risultato di tale conteggio verrà in fine visualizzato sul display.

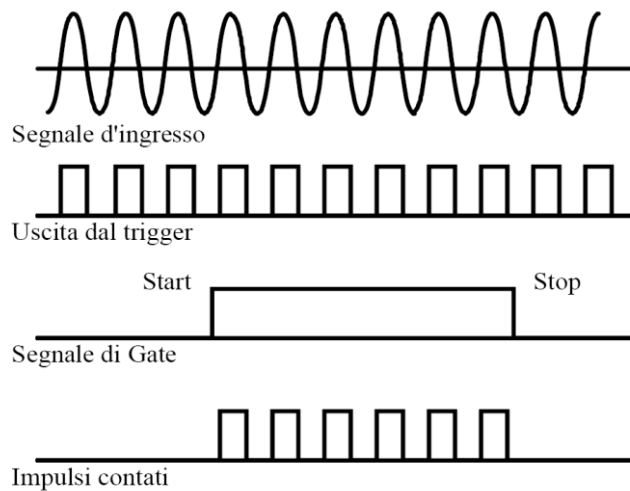


Figura 19. Rappresentazione di alcune forme d'onda di interesse nel caso di un segnale di ingresso sinusoidale.

## 7.1 Errori nei contatori elettronici

Le misure che impiegano contatori elettronici sono affette da diverse cause di errore. Una prima causa è legata all'errore di conteggio (*count error*) di  $\pm 1$  impulso. Tale errore è dovuto al fatto che la finestra temporale, durante la quale si contano gli impulsi, non risulta necessariamente un multiplo intero del periodo degli impulsi contati. Pertanto la stessa finestra può racchiudere  $N$  impulsi oppure  $N+1$ . Nel caso di figura, ad esempio, l'intervallo di apertura del gate è pari circa a 4 volte il periodo degli impulsi da contare; il conteggio ottenuto è quindi normalmente 4 ma si possono verificare anche le due situazioni estreme. Il comando di start può infatti avvenire immediatamente dopo un impulso da contare mentre quello di stop può essere fornito immediatamente prima di un impulso successivo; il conteggio ottenuto in questo caso è perciò pari a 3. Se però il comando di start avviene immediatamente prima di un impulso da contare e quello di stop immediatamente dopo un impulso successivo, la durata dell'intervallo di apertura del gate è circa coincidente con quella del caso precedente, ma il conteggio ottenuto è pari a 5. Si conclude pertanto che, in tutte le situazioni in cui la sincronizzazione non è realizzabile, il conteggio può essere affetto da un'incertezza pari a  $\pm 1$ .

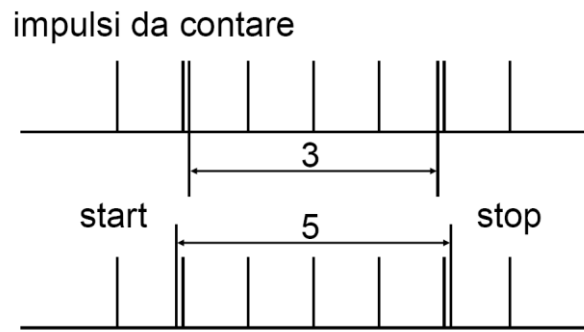


Figura 20. Count error di  $\pm 1$  impulso dovuto alla mancata sincronizzazione della finestra temporale.

L'errore relativo sul conteggio risulta quindi  $1/N$ , che rappresenta anche la risoluzione relativa del dispositivo. Per ridurre l'incidenza percentuale dell'errore di conteggio bisogna che il numero di impulsi  $N$  complessivamente contati durante la finestra temporale di osservazione sia elevato.

Oltre all'errore di conteggio si manifestano almeno altri due tipi d'errore.

Uno è il *gating error*, dovuto ai disturbi sovrapposti al segnale di ingresso, che possono far scattare intempestivamente il controllo della porta. L'errore così determinato, che ha effetti apprezzabili principalmente nelle misure di intervalli di tempo, cresce all'aumentare del livello di rumore e diminuisce all'aumentare della derivata del segnale negli istanti di trigger.

L'altro è il *time-base error*, dovuto all'instabilità dell'oscillatore di *clock* per effetto di derive termiche, invecchiamento e variazioni della tensione di alimentazione. Tali errori possono essere estremamente bassi (anche in dispositivi commerciali non particolarmente sofisticati si possono avere errori relativi di poche parti per milione), rendendo possibile la misura di frequenze e/o intervalli di tempo con ottima accuratezza.



## 8 Misurazioni di frequenza

Per effettuare misurazioni di frequenza i vari blocchi del contatore devono essere predisposti come in Fig. 21.

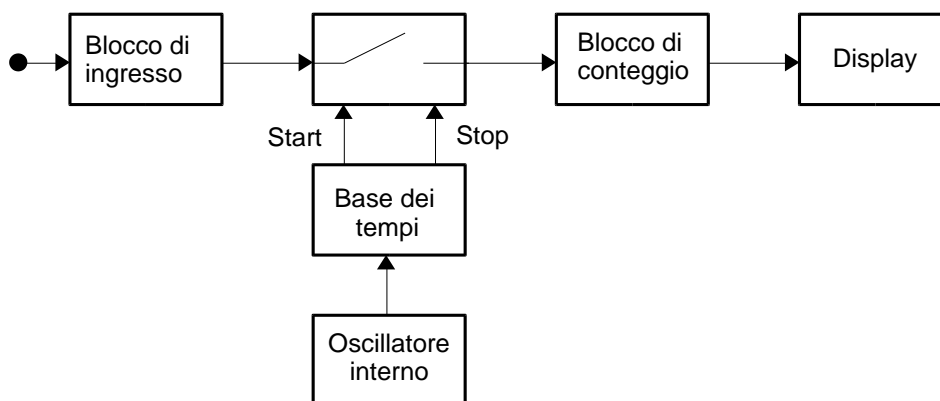


Figura 21. Schema semplificato per la misurazione di frequenza.

Ad ogni periodo del segnale in ingresso si ottiene un impulso da contare mediante il blocco di condizionamento; a questo scopo vengono fissati il livello e la pendenza di trigger. La base dei tempi abilita il passaggio di tali impulsi attraverso la porta per un tempo predefinito  $T_{ON}$ , l'inizio e la fine del quale (*start* e *stop*) determinano rispettivamente l'apertura e la chiusura della porta.

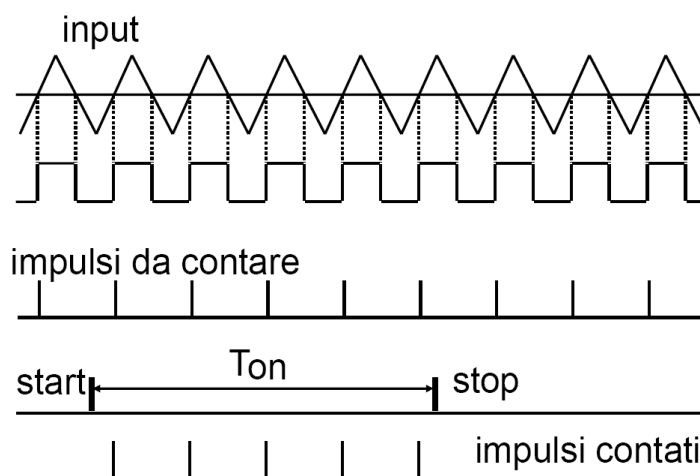


Figura 22. Rappresentazione di alcuni segnali di interesse nelle misurazioni di frequenza.

La frequenza di un segnale 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. Per tale motivo il numero  $N$  degli impulsi contati dal contatore nell'intervallo di tempo  $T_{ON}$  risulta proporzionale alla frequenza  $f$  degli impulsi in arrivo e di conseguenza alla frequenza del segnale di ingresso.

Detti  $T_{ON}$  la durata dell'intervallo di tempo che intercorre tra il comando di start e quello di stop, e  $T_X$  il periodo del segnale di ingresso, ossia la distanza temporale tra due impulsi, si può scrivere:

$$T_{ON} = N_X \cdot T_X \quad (4)$$

dove  $N_X$  è il numero di periodi contati.

In particolare, se il tempo  $T_{ON}$  è pari ad un secondo, il numero  $N_X$  rappresenta direttamente la frequenza in hertz.

La frequenza  $F_X$  incognita risulta pertanto:

$$F_X = \frac{1}{T_X} = \frac{N_X}{T_{ON}} \quad (5)$$

ed è perciò ottenuta con una risoluzione pari a:

$$\Delta_F = \frac{1}{T_{ON}} \quad (6)$$

La quale è inversamente proporzionale alla durata di apertura del gate: se  $T_{ON}$  aumenta  $\Delta_F$  diminuisce e viceversa. La risoluzione relativa:

$$\Gamma_F = \frac{\Delta_F}{F_X} = \frac{1}{T_{ON} \cdot F_X} = \frac{1}{N_X} \quad (7)$$

è invece inversamente proporzionale al numero  $N_X$  di periodi del segnale di ingresso considerati.

Nella misurazione della frequenza l'operatore può specificare il tempo di apertura del gate  $T_{ON}$  oppure la risoluzione con cui desidera determinare questa grandezza.

Supponendo di avere fissato il valore di  $T_{ON}$  si può scrivere:

$$N_X = T_{ON} \cdot F_X \quad (8)$$

Poiché  $T_{ON}$  è fissato, il numero di impulsi contati è direttamente proporzionale alla frequenza incognita  $F_X$ . Se ad esempio  $T_{ON}=1$  s ed  $F_X$  è dell'ordine del MHz, si ottiene  $N_X \cong 10^6$ , per cui la risoluzione relativa è dell'ordine di  $10^{-6}$ . Se però  $F_X$  ha un valore di qualche Hz,  $N_X$  è pari solo a qualche unità, e la risoluzione relativa nel conteggio è dell'ordine di  $10^{-1}$ , valore in genere non accettabile.

È però possibile specificare la risoluzione relativa con cui si desidera conoscere il risultato. Dalle relazioni:

$$\Gamma_F = \frac{1}{N_X} \quad (9)$$

$$T_{ON} = \frac{N_X}{F_X} \quad (10)$$

si ricava che, fissato  $\Gamma_F$ , resta fissato anche il numero di conteggi  $N_X$ , mentre il tempo di apertura del gate risulta inversamente proporzionale alla frequenza incognita  $F_X$ .

Se ad esempio si fissa  $\Gamma_F = 0.1\%$  si ricava  $N_X = 1/\Gamma_F = 1000$  perciò per valutare una frequenza incognita dell'ordine dei MHz con la risoluzione fissata è sufficiente un tempo dell'ordine del ms. Il problema si verifica nel momento in cui si desidera misurare una frequenza bassa in quanto i tempi di attesa possono diventare rilevanti e a volte insostenibili per alcune applicazioni.

Si consideri per esempio la misura diretta di una frequenza  $f$  pari a 20 Hz; in questo caso per contare un numero sufficiente di impulsi occorre utilizzare un tempo di osservazione  $T_0$  piuttosto lungo. Infatti, se volessimo misurare la frequenza  $f$  con una risoluzione pari a 1%, dovremmo contare almeno 100 impulsi e pertanto il tempo di conteggio  $T_0$  dovrebbe essere almeno di 5 s ( $T_0 = 100 \cdot T = 100/f$ ). In pratica, con i valori normalmente disponibili nei dispositivi commerciali, il divisore di frequenza dovrebbe essere impostato per avere la durata  $T_0 = 10$  s. Se volessimo una risoluzione dell'uno per mille il tempo necessario salirebbe a ben 50 s diventando eccessivo e poco pratico.

In questi casi è più opportuno effettuare la misura dell'intervallo di tempo  $\Delta T$  che corrisponde al periodo  $T$  del segnale d'ingresso (nell'esempio considerato, il periodo è  $T = 50$  ms). Tale periodo verrà quindi utilizzato come finestra di osservazione (intervallo tra i comandi di *start* e di *stop*) della sequenza di impulsi di clock.

In particolare, se il clock del sistema lavora a 1 MHz, nel periodo di tempo di 50 ms vengono contati  $N = 0,05/10^{-6} = 50000$  impulsi, con risoluzione assoluta di un microsecondo. La risoluzione relativa è  $1/N = 1/50000 = 2 \times 10^{-5}$ . La frequenza desiderata si ottiene infine facendo il reciproco della lettura.

Nell'esempio è risultato più opportuno operare in modalità *period* (piuttosto che in modalità diretta *frequency*), ottenendo una risoluzione migliore e un tempo di misura più breve.

## 8.1 Misurazioni del rapporto di due frequenze

Collegando opportunamente i vari blocchi funzionali come in Fig. 23 è possibile ottenere il valore del rapporto di due frequenze incognite.

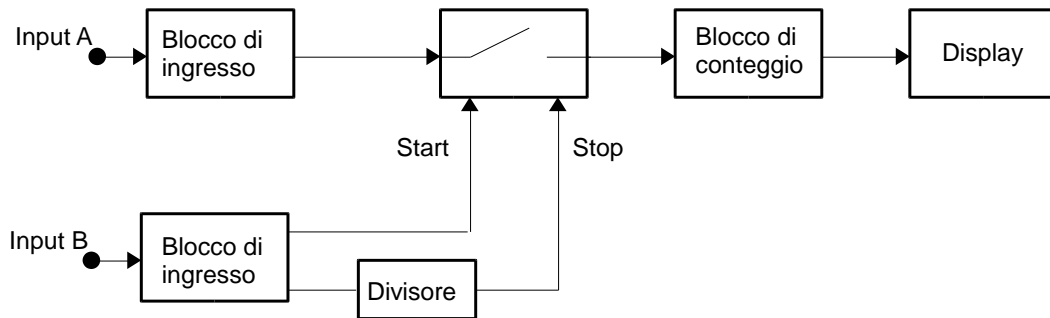


Figura 23. Schema per la misurazione del rapporto di due frequenze.

Per tale misurazione, mentre non è richiesta la presenza della base dei tempi, devono essere presenti due blocchi di ingresso a cui giungono i due segnali le cui frequenze devono essere confrontate. Da un canale viene ricavato il comando di apertura e chiusura della gate mentre dall'altro si ottengono gli impulsi da contare.

In Fig. 24 viene riportato l'andamento di alcuni segnali di interesse che permette di rendere più chiara la trattazione.

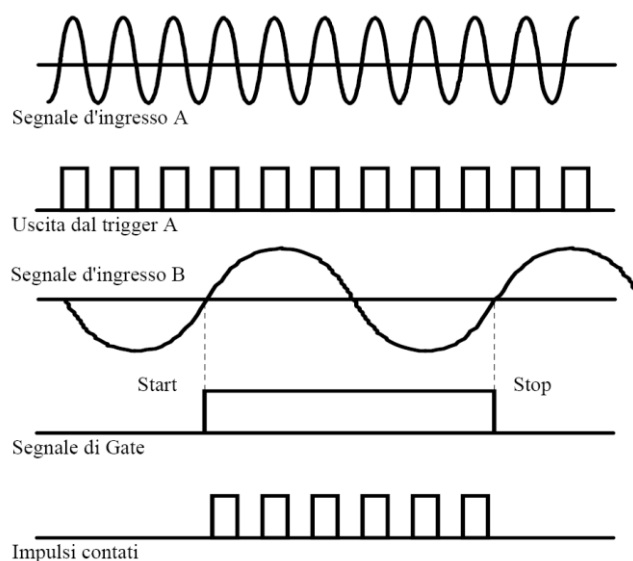


Figura 24. Andamento di alcuni segnali di interesse nelle misurazioni del rapporto di due frequenze.

Si supponga che la durata  $T_{ON}$  di apertura della gate corrisponda a  $N_2$  periodi di durata  $T_2$  del segnale  $x_2$ ; se in tale intervallo vengono contati  $N_1$  impulsi ottenuti dal segnale  $x_1$  di periodo  $T_1$ , si ha:

$$T_{ON} = N_2 \cdot T_2 = N_1 \cdot T_1 \quad (11)$$

Dalla (11) si può ricavare facilmente il rapporto delle due frequenze.

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{F_1}{F_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (12)$$

Si osservi che variando  $N_2$ , che corrisponde al numero di periodi del segnale  $x_2$ , è possibile variare il numero di cifre del risultato. L'aumento di tale valore consente infatti di confrontare frequenze prossime tra loro in modo accurato.

## 9 Misurazione di periodo

Per periodo di un segnale si intende l'intervallo di tempo corrispondente al passaggio di tale segnale per lo stesso livello e con la stessa pendenza. Le misure di questa grandezza vengono eseguite predisponendo i vari blocchi funzionali del contatore come in Fig. 25.

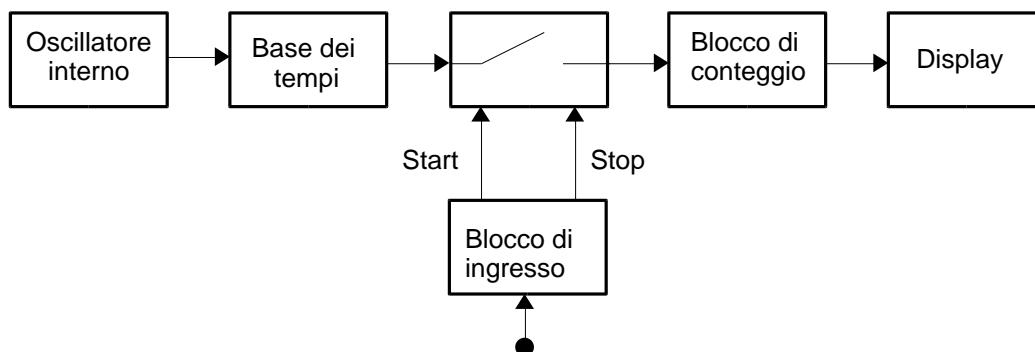


Figura 25. Schema semplificato per la misura di periodo.

In questo tipo di misurazioni l'apertura della porta non è ottenuta dalla base dei tempi ma da una finestra temporale di durata  $\Delta T$  pari al periodo del segnale di ingresso e prodotta dai circuiti di condizionamento. Durante tale intervallo l'orologio (*clock*) della base dei tempi invia al contatore una serie di impulsi a frequenza fissa  $F_C$ , nota e stabile, a cui corrisponde un periodo  $T_C = 1/F_C$  detto tempo di clock.

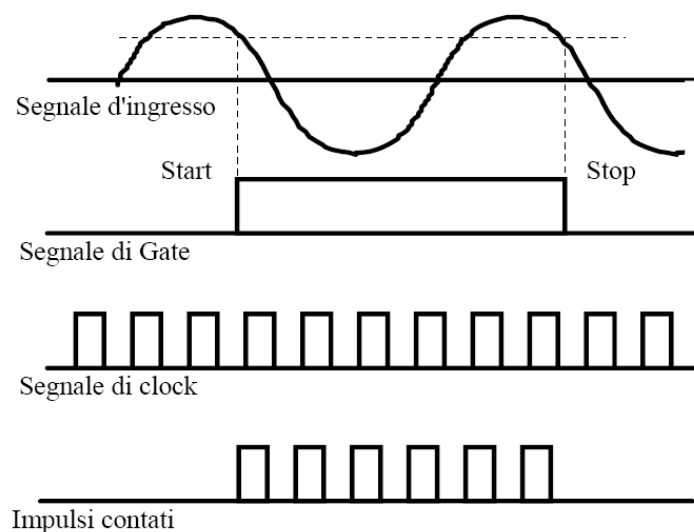


Figura 26. Alcuni segnali di interesse nelle misurazioni di periodo.

Detti  $T_X$  il periodo incognito e  $T_C$  il periodo del segnale fornito dalla base dei tempi si ha che il tempo di apertura del gate è pari a:

$$T_{ON} = T_X = N_C \cdot T_C \quad (13)$$

dove  $N_C$  è il numero di impulsi che transitano attraverso la porta durante l'intervallo di apertura.

Dalla (13) si può facilmente dedurre che, noto  $T_C$ , per determinare  $T_X$  è sufficiente determinare  $N_C$ . E' possibile inoltre ricavare sia la risoluzione assoluta  $\Delta_T$ , sia quella relativa  $\Gamma_T$ :

$$\Delta_T = T_C \quad (14)$$

$$\Gamma_T = \frac{\Delta_T}{T_X} = \frac{T_C}{T_C \cdot N_C} = \frac{1}{N_C} \quad (15)$$

Si deduce quindi che la risoluzione relativa è inversamente proporzionale al numero di impulsi contati  $N_C$ .

Poiché  $T_C$  non può essere ridotto oltre un certo valore minimo dipendente dalla base dei tempi utilizzata, per esprimere il risultato con un adeguato numero di cifre, è necessario che il periodo  $T_X$  incognito sia sufficientemente maggiore del valore minimo di  $T_C$ .

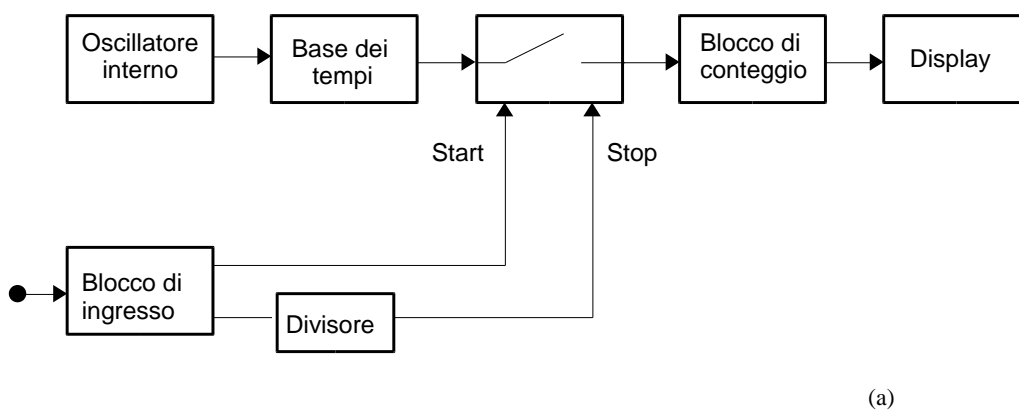
Ad esempio, se si desidera esprimere il risultato con 6 cifre, quando  $T_X$  è dell'ordine di 1 s è necessario che la frequenza fornita dalla base dei tempi sia pari a 1 MHz. Nel caso si voglia eseguire una misurazione di periodo di un segnale avente frequenza elevata, infatti, il numero di impulsi contati risulta piccolo e quindi si ottiene una risoluzione relativa non accettabile.

In questi casi per aumentare la risoluzione relativa conviene operare in modalità *frequency* piuttosto che *period*. Per esempio, supponiamo di voler misurare il periodo  $T$  di un segnale sinusoidale a 100 kHz, che risulta quindi pari a 10  $\mu$ s. Supponiamo ancora che il clock abbia frequenza propria  $F_C$  di 1 MHz ( $T_C = 1 \mu$ s). Con la misura diretta di periodo verrebbero contati 10 impulsi di clock nel tempo di apertura della porta, con una risoluzione relativa di 1/10 che risulta inaccettabile in quanto troppo bassa. Viceversa operando in modalità *frequency* e impiegando una durata  $T_0$  di apertura della porta pari a un secondo, si contano gli  $N = 10^5$  impulsi passati attraverso il *gate*. Tale numero fornisce la frequenza in hertz del segnale di ingresso, mentre il suo reciproco è il periodo  $T$  in secondi. La durata della misura è ragionevole (un secondo) e la risoluzione relativa è di  $1/10^5$ .

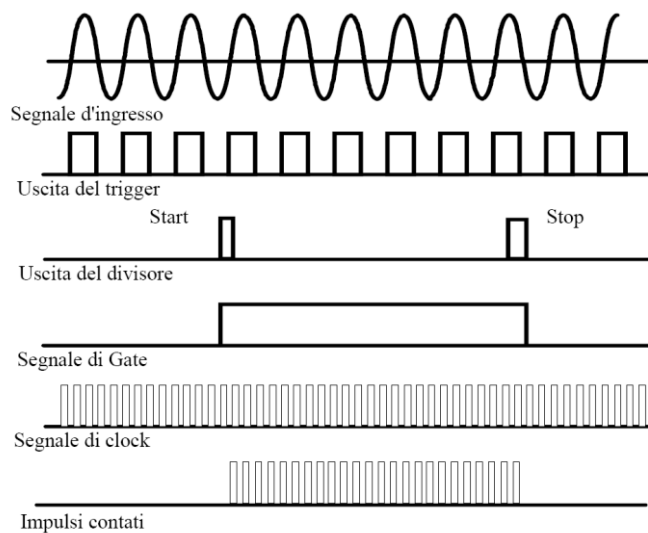
## 9.1 Misurazioni di periodo medio

Un'altra possibile soluzione per ottenere un aumento della risoluzione consiste nel contare il numero di impulsi generati dalla base dei tempi durante  $N_X$  periodi del segnale di ingresso.

Tale approccio è illustrato in Fig. 27 nella quale il divisore in cascata al blocco di ingresso consente di fornire il comando di stop dopo  $N_X$  impulsi.



(a)



(b)

Figura 27. Schema per il conteggio di più periodi (a) e rappresentazione di alcuni segnali di interesse (b).

Si noti che il risultato fornito rappresenta pertanto il periodo medio del segnale durante l'intervallo di apertura del gate. Il periodo incognito è quindi dato dalla relazione:



$$T_X = \frac{T_{ON}}{N_X} = T_C \cdot \frac{N_C}{N_X} \quad (16)$$

Le risoluzioni assoluta e relativa valgono pertanto:

$$\Delta_T = \frac{T_C}{N_X} \quad (17)$$

$$\Gamma_T = \frac{\Delta_T}{T_X} = \frac{T_C}{T_C \cdot N_C} = \frac{1}{N_C} \quad (18)$$

e sono inversamente proporzionali rispettivamente al numero di periodi  $N_X$  e al numero di impulsi contati  $N_C$ .

Si noti però che nella misurazione del periodo medio il numero di conteggi  $N_C$  è maggiore di quello che si sarebbe ottenuto se il conteggio fosse stato effettuato su un solo periodo, riducendo di conseguenza la risoluzione relativa.

## 10 Un esempio: SR620 Time Interval & Frequency Counter



*SR620 rear panel*

Figura 28. Contatore SR620 prodotto dalla SRS (Stanford Research Systems, Inc.)

Il contatore SR620 in Fig. 28 è in grado di svolgere la maggior parte delle misurazioni di intervalli di tempo e frequenza richieste in laboratorio o in ambienti ATE e le sue caratteristiche lo rendono il contatore adatto per quasi tutte le applicazioni.

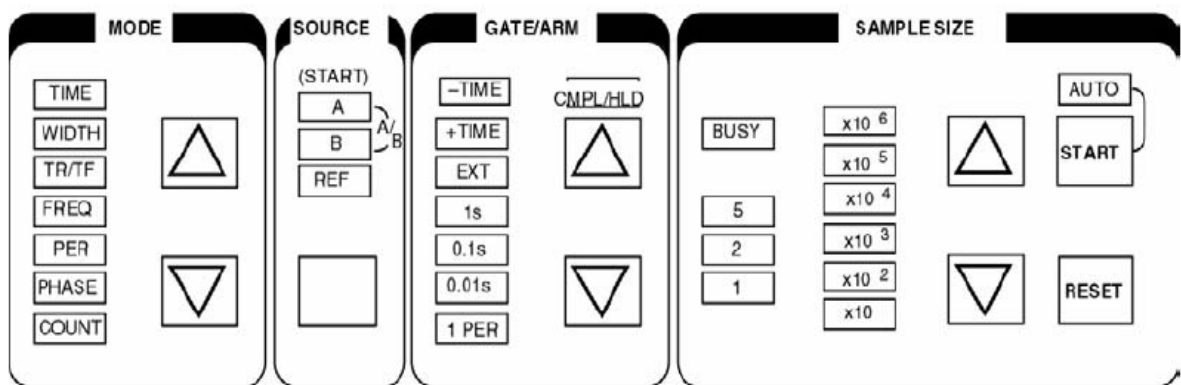
Permettendo di misurare intervalli di tempo con una risoluzione di 25 ps rms esso è uno dei contatori con la più alta risoluzione disponibile sul mercato. Permette inoltre la misurazione di frequenze che vanno 0,01 Hz a 1,3 GHz e una scelta delle porte con periodo che va da 1 a 500 secondi. L'SR620 offre inoltre fino a 11 digit di risoluzione in frequenza.

A differenza dei tradizionali contatori l'SR620 dispone anche di display grafici per la visualizzazione dei risultati ed è in grado di acquisire fino ad un milione di campioni eseguendo su di essi elaborazioni statistiche come il calcolo della media, la deviazione standard e la varianza.

L'impostazione dell'SR620 per eseguire un particolare misurazione può essere suddivisa in tre passi:

- scelta della grandezza su cui eseguire la misurazione;
- scelta della visualizzazione dell'output;
- impostazione degli ingressi.

- Scelta della grandezza su cui eseguire la misurazione

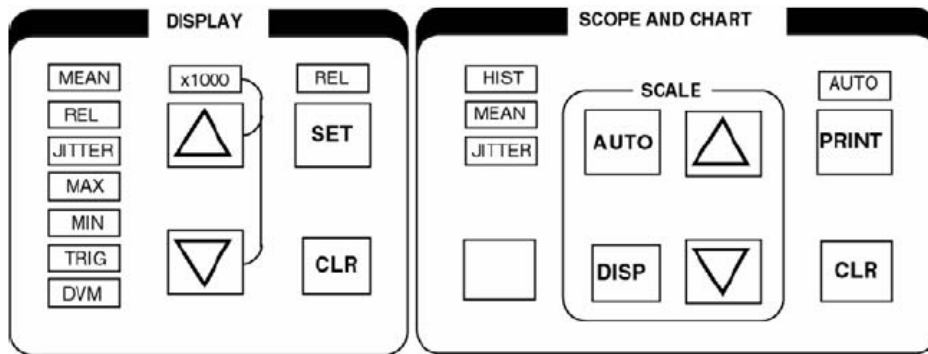


Premendo le frecce nella sezione *mode* del pannello frontale è possibile scegliere il tipo di misurazione da eseguire. L'SR620 può misurare intervalli di tempo, durata di un impulso, tempi di salita e discesa di un impulso, frequenze, periodi, fasi ed eseguire il conteggio di eventi. La misurazione scelta viene indicata all'operatore dall'accensione del riquadro corrispondente tra quelli posti sulla sinistra.

Agendo invece sulle frecce nella sezione *source* è possibile scegliere tra due canali di ingresso oppure un riferimento "REF" a 1 KHz.

Nella sezione *sample size* è possibile impostare il numero di campioni da acquisire variando da uno 1 ad 1 milione. Per avviare ed interrompere una singola misurazione è sufficiente agire sul pulsante start e reset. Tenendo premuto il pulsante start inoltre viene attivata la modalità automatica che permette di avviare una seconda misurazione quando quella in corso è terminata. Per disattivare tale modalità basta tenere premuto il tasto reset.

- Scelta della visualizzazione dell'output



Nella sezione *display* mediante le frecce possiamo decidere cosa visualizzare sul display led a 16 cifre dello strumento. E' possibile scegliere tra le seguenti impostazioni:

MEAN: visualizza sul display il valore medio calcolato sugli N campioni;

REL: visualizza sul display il valore in memoria precedentemente salvato utilizzando il tasto set;

JITTER: visualizza sul display la varianza o la deviazione standard;

MAX: visualizza il valore massimo assunto dai campioni durante a misurazione;

MIN: visualizza il valore minimo assunto dai campioni durante a misurazione;

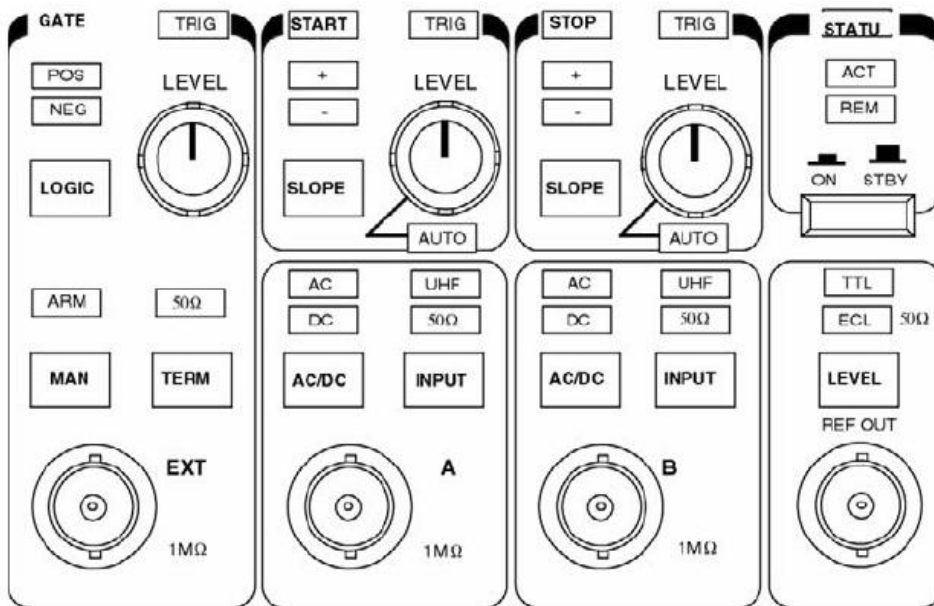
TRIG: visualizza il livello di trigger settato in precedenza;

DVM: mostra il livello di tensione degli ingressi DVM del pannello posteriore.

Nella sezione *scope and chart* sono messi a disposizione dei comandi per la visualizzazione grafica dei risultati ottenuti in alternativa a quella classica sul display led dello strumento. L'SR620 può infatti essere collegato ad un oscilloscopio operante in modalità x-y oppure settato in modalità "HIST" (histogram) in modo da visualizzare sul display selezionato la distribuzione degli N campioni relativi all'ultima misurazione.

Il grafico può essere eliminato premendo sul pulsante CLR posto sotto il pulsante di PRINT. Il sottoriquadro *scale* permette inoltre di aggiustare la scala orizzontale e verticale anche se il modo più facile per farlo è quello di premere in pulsante AUTO.

- Impostazione degli ingressi



Il livello di trigger viene impostato ruotando le manopole contraddistinte dalla scritta LEVEL che possono avere un'escursione di  $\pm 5.00V$ ,  $\pm 2.50V$  o  $\pm 1.25V$ . in ogni caso il livello di trigger ha una risoluzione di 10 mV mentre gli ingressi di trigger hanno un'isteresi di 40 mV in modo che l'ingresso venga triggerato al valore desiderato indipendentemente dalla pendenza selezionata.

Ruotando completamente la manopola gli ingressi A e B posso essere impostati in modalità *autolevel* (indicata dall'accensione del led AUTO) che permette di impostare automaticamente la soglia di trigger al valore medio del segnale.

Gli ingressi A e B possono inoltre essere triggerati sul loro fronte di salita o discesa premendo sul pulsante SLOPE.

# 11 Conclusioni

In questa tesi l'intento è quello di fornire una panoramica generale sui contatori numerici descrivendo le caratteristiche ed il funzionamento dei principali blocchi funzionali di cui sono composti. L'utilizzo di questo particolare strumento di misura elettronico consente di eseguire numerose tipi di misurazioni tra le quali le più diffuse sono:

- misurazione della frequenza di un segnale;
- misurazione del rapporto di frequenza tra due segnali;
- misurazioni del periodo di un segnale;
- misurazioni del periodo medio di un segnale;
- conteggio di eventi;
- misurazioni di intervalli di tempo;
- misurazioni della durata di un impulso;

Tra queste ci si è concentrati solo sulle prime cinque elencandone i blocchi funzionali necessari alla loro realizzazione, il modo in cui questi vanno collegati ed i problemi a cui si va incontro per cercare di ottenere il risultato voluto in tempi accettabili e con una buona risoluzione.

Questi strumenti inoltre, sebbene in grado di fornire risultati con un'elevata precisione e risoluzione, presentano varie cause di errore dovute alle loro caratteristiche interne o alla tecnica di misurazione adottata.

Tra le misurazioni non trattate la più rilevante risulta quella riguardante gli intervalli di tempo in quanto frequentemente utilizzata in campo pratico. Tale misurazione infatti viene impiegata per molti scopi tra i quali la misura del tempo impiegato da un segnale per attraversare un circuito integrato, la misura dei parametri di segnali impulsivi (durata, tempi di salita e di discesa, periodo); per caratterizzare un cavo elettrico (misurare il tempo impiegato da un segnale per propagarsi lungo di esso e quindi determinarne la sua lunghezza) o per misurare lo sfasamento introdotto da un circuito analogico.

# Sitografia

- [http://www.docente.unicas.it/useruploads/000427/files/12.\\_contatore\\_numerico.pdf](http://www.docente.unicas.it/useruploads/000427/files/12._contatore_numerico.pdf)
- [http://www.diee.unica.it/misure/Dispense/Misure\\_Elettroniche/Misure\\_di\\_frequenza\\_e\\_di\\_tempo\\_07.pdf](http://www.diee.unica.it/misure/Dispense/Misure_Elettroniche/Misure_di_frequenza_e_di_tempo_07.pdf)
- <http://www.dii.unina2.it/Utenti/clandi/Altro%20MEL/Tempo%20e%20frequenza.pdf>
- <http://www.thinksrs.com/products/SR620.htm>