

11 ✓

CONTRIBUTI  
DELL'OSSERVATORIO ASTRONOMICO DI MILANO-MERATE  
a cura del Direttore  
Prof. FRANCESCO ZAGAR

NUOVA SERIE

N. 144

F. BRANDO e E. PROVERBIO

CRONOMETRO ELETTRONICO E DISPOSITIVO  
OSCILLOGRAFICO PER CONFRONTI DI TEMPO

Estratto dai *Rendiconti dell'Istituto Lombardo - Accademia di Scienze e Lettere*  
Classe di Scienze (A) - Vol. 93, 1959

MILANO  
1959

10

CONTRIBUTI  
DELL'OSSERVATORIO ASTRONOMICO DI MILANO-MERATE

a cura del Direttore  
Prof. FRANCESCO ZAGAR

NUOVA SERIE

N. 144

---

F. BRANDO e E. PROVERBIO

---

CRONOMETRO ELETTRONICO E DISPOSITIVO  
OSCILLOGRAFICO PER CONFRONTI DI TEMPO

---

Estratto dai *Rendiconti dell'Istituto Lombardo - Accademia di Scienze e Lettere*  
Classe di Scienze (A) - Vol. 93, 1959

---

MILANO  
1959



## CRONOMETRO ELETTRONICO E DISPOSITIVO OSCILLOGRAFICO PER CONFRONTI DI TEMPO

Nota di FEDERICO BRANDO e EDOARDO PROVERBIO

Presentata dal m.e. Francesco Zagar

(Adunanza del 18 gennaio 1959)

**Summary** — The equipments for the comparison of time signals and standard frequencies, constructed by Brera Observatory, are described. The electronic chronometer, the oscillographic indicator and the precision of the results are examined.

### 1. Introduzione.

Nel problema della determinazione del tempo e delle longitudini intervengono, come è noto, due operazioni distinte. La prima, che determina lo stato degli orologi con osservazioni astronomiche, può arrivare ad una precisione di qualche unità di  $10^{-3}$  secondi con i più precisi tubi zenitali. La seconda, che consiste nella comparazione reciproca dei diversi orologi e di questi ultimi con i segnali orari, richiede una precisione maggiore, raggiungibile solo con apparecchiature elettroniche. La più grande precisione è richiesta infatti nel confronto di oscillatori a quarzo di alta precisione, nonchè in studi speciali, connessi col problema della determinazione del tempo, come quello riguardante la propagazione dei segnali e delle radioonde, per i quali è indispensabile disporre di registratori di elevata precisione, per mettere in evidenza le variazioni della velocità di propagazione apparente dei segnali stessi, legate all'importante problema della formazione e dello spostamento degli strati ionosferici.

Nella prima operazione vengono usati per le registrazioni stellari moderni cronografi a striscia e punte scriventi, ai quali si tende però a sostituire i più comodi e precisi cronografi stampati al millesimo di secondo (<sup>1</sup>).

I primi possono arrivare ad una precisione dell'ordine di  $10^{-3}$  secondi con l'integrazione di una numerosa serie di misure <sup>(2)</sup> e non sono perciò utilizzabili nello studio della propagazione nè per confronti combinati di orologi a quarzo che richiedono una maggior precisione. Analogamente, ed a maggior ragione, non è consigliabile utilizzare cronografi stampanti per questi scopi anche se con essi si può ottenere una maggiore precisione intrinseca, che non supera però il millesimo di secondo. L'introduzione di speciali filtri e circuiti a thyatron <sup>(3)</sup>, al fine di rendere costante l'inerzia assoluta delle punte o dell'elettromagnete stampante e di eliminare buona parte dei parassiti atmosferici ed industriali costituisce indubbiamente un progresso ma non aumenta sensibilmente la precisione di questi ultimi specialmente nel confronto di segnali orari modulati.

Sempre nel campo dei cronografi scriventi un posto particolare occupano i noti cronografi a cilindro tipo Belin, che superano in precisione tutti i precedenti tipi. Essi presentano inoltre il vantaggio di dare una rappresentazione grafica quantitativa di una intera registrazione di segnali, il che permette una rapida lettura nella misura dei confronti. Quest'ultima caratteristica unita ad un notevole potere separatore risulta utilissima nella individuazione, durante le registrazioni radio, dei segnali diretti e di superpropagazione che vengono a distribuirsi lungo diverse generatrici del cilindro facilmente distinguibili. Anche la precisione assoluta di questi ultimi, con normali cilindri di diametro di 20 o 30 cm, solo nel migliore dei casi può scendere però a qualche decimillesimo di secondo; inoltre, come tutti i cronografi elettromagnetici, essi sono soggetti ai ritardi variabili d'inerzia delle punte battenti, che costituiscono uno degli inconvenienti più gravi di questi tipi di registratori.

Per questi motivi è stata più volte ribadita l'esigenza di disporre di apparecchi registratori di alta precisione per il confronto degli oscillatori a quarzo e dei segnali orari, tali da eliminare anche l'amplificazione in c.c. dei segnali orari stessi ed i ritardi di diversa natura ad essa connessi. Recentemente poi, in occasione dei lavori per l'Anno Geofisico Internazionale, precise istruzioni sono state date per potenziare i complessi di registrazione dei segnali <sup>(4)</sup>.

A tal fine si utilizzano generalmente:

- a) metodi di lettura per mezzo di oscillografi catodici;
- b) metodi a contatori d'impulsi (cronometri elettronici).

Nell'uno e nell'altro caso è necessario tener presenti gli scopi che si vogliono realizzare con questi dispositivi. Infatti si può dire che essi presentano caratteristiche complementari ed in un certo senso opposte, permettendo i primi una grande sensibilità, mentre con i secondi è possibile raggiungere una più elevata praticità e precisione nei risultati delle letture.

Quest'ultima è ottenibile però a condizione che il fronte dei segnali, in modo particolare i segnali radio, sia sufficientemente ripido e la ricezione priva di interferenze e rumori di fondo. In caso contrario non è più conveniente utilizzare i metodi a contatore, non essendo consigliabile introdurre sistemi di filtraggio i quali, oltrechè introdurre ritardi, possono alterare la forma dei segnali in arrivo.

Il problema relativo alla pendenza del fronte d'inizio dei segnali è uno dei più complessi e discussi perchè legato a vari fattori spesso incogniti a priori. Tra questi i più importanti sono costituiti dalle deformazioni introdotte dalla trasmissione e dalla ricezione sul fronte d'inizio del segnale stesso. Queste ultime acquistano particolare rilievo relativamente ai segnali telegrafici, che attualmente sono quelli che vengono emessi dal maggior numero di stazioni. Per quanto riguarda invece i segnali modulati, del tipo WWV o HBN, essi presentano l'indiscutibile vantaggio di possedere una forma ben determinata che può essere visualmente o fotograficamente identificata e ritenuta senza deformazioni e con notevole precisione per mezzo di sistemi oscillografici. Dato il grande potere separatore di questi dispositivi si può dire che essi si presentano particolarmente adatti per la ricezione di questi ultimi segnali. A questo scopo sono stati escogitati semplici metodi oscillografici, come quello presentato dal De Haas, utilizzando segnali delle stazioni WWV e WWVH <sup>(5)</sup>. Naturalmente anche con metodi basati unicamente sul principio dei contatori si possono effettuare misure di elevata precisione tra segnali orari modulati. Essi richiedono però dispositivi complessi di controllo come quello attuato presso il Radio Laboratory of the Netherlands Postal and Telecommunications Services, che dà una precisione di 10  $\mu$ sec per ogni confronto tra secondi di tempo e che discrimina automaticamente dalla misura, tutti i segnali radio distorti o alterati <sup>(6)</sup>.

Queste ed altre considerazioni sono state tenute presenti all'Osservatorio di Brera, allorchè vennero riprese, in occasione dell'Anno Geofisico Internazionale, osservazioni per la determinazione della Longi-

tudine e per il servizio dell'Ora. Data l'importanza di queste attività, che continueranno anche dopo l'Anno Geofisico Internazionale, si pensò subito di organizzare un apparato di registrazione che tenesse presenti le più moderne esigenze e fosse suscettibile di adeguarsi e di rispondere con la precisione richiesta e senza eccessive complicazioni a tutte quelle questioni che la più recente tecnica della registrazione pone continuamente.

Per essere in grado di utilizzare, in tutte le situazioni, i vari tipi di segnali locali o radio, a onde portanti o modulate, vennero progettati due dispositivi, praticamente indipendenti, l'uno basato sul principio del contatore d'impulsi ed il secondo utilizzando un oscilloscopio opportunamente adattato.

Gli scriventi sentono il dovere di ringraziare vivamente il Direttore dell'Osservatorio di Brera, prof. Francesco Zagar, che con larghezza di vedute ha sostenuto e permesso la realizzazione di questo apparato registratore.

Tutta la parte meccanica ed elettronica costituente il complesso è stata attuata nel laboratorio e nell'officina dell'Osservatorio di Brera, ad eccezione del normalizzatore d'impulsi, la cui accurata esecuzione è stata affidata alla Ditta Telettra di Milano, e dell'oscilloscopio originale progettato e costruito dalla Ditta TES di Milano. L'esecuzione dei circuiti, affidata al perito radiotecnico Signor Bruno Mondin, è risultata più che encomiabile.

## 2. Cronometro elettronico.

2.1 *Descrizione del dispositivo e dei circuiti.* Il principio del contatore è ormai entrato come elemento indispensabile nella risoluzione pratica delle più svariate questioni tecniche soprattutto dopo lo sviluppo dei contatori elettronici.

Esso può essere utilizzato sia come misuratore di intervalli sia come misuratore di frequenza, in tal caso esso può costituire un frequenzimetro di alta precisione (7).

Come misuratore di tempo il cronometro elettronico è un dispositivo che consente la misura diretta dell'intervallo di tempo che intercorre tra due impulsi. Il principio usato per la misura è quello di contare il numero di segnali di durata nota  $T_n$  contenuti nell'intervallo incognito  $T_x$ , in tal modo questo intervallo viene immediatamente de-

terminato dalla relazione

$$T_x = N T_u, \quad (1)$$

in cui  $N$  è il numero degli impulsi di durata nota  $T_u$  (in generale frazioni decimali di secondo).

Questo procedimento viene praticamente attuato sul cronometro elettronico dell'osservatorio di Brera per mezzo di due dispositivi, di cui il primo permette il transito dei due segnali tra i quali bisogna determinare l'intervallo di tempo, il secondo fornisce le unità di misura  $T_u$  necessarie per il conteggio. Quest'ultima parte è costituita nel nostro caso dalle unità Philips 88929/09, 88929/051 e da quattro unità 88929/02 equipaggiate con contatori decimali E1T, che permettono la lettura diretta del decimillesimo di secondo. Nella figura 1 è riportato lo schema di principio del dispositivo.

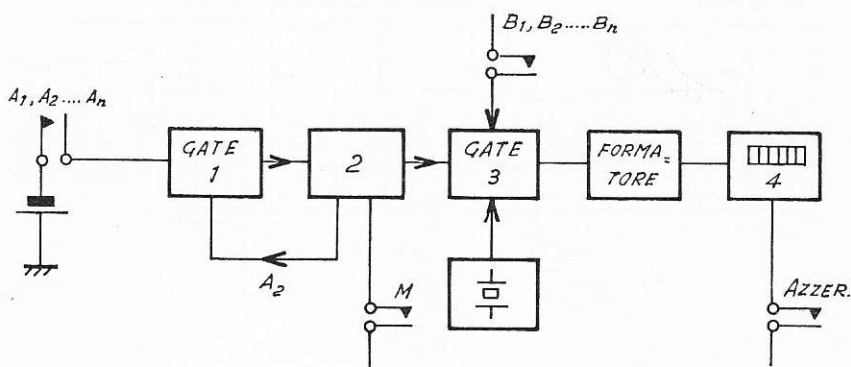


Fig. 1

La misura tra i segnali di riferimento  $A_n$  e quelli di confronto  $B_n$  viene effettuata consentendo, per mezzo del comando manuale  $M$ , che l'impulso di riferimento  $A_1$  (Start) transiti attraverso i circuiti 1 e 2 e giunga al circuito 3 dando inizio alla numerazione. Gli impulsi di durata nota  $T_u$  transitano invece attraverso il Gate 3 e vengono conteggiati dai numeratori decimali 4. L'impulso  $B_1$ , del quale si vuole misurare il ritardo rispetto a quello locale  $A_1$  è applicato al Gate 3 e ne blocca il funzionamento, facendo cessare il transito degli impulsi  $T_u$  ed interrompendo di conseguenza il conteggio.

L'impulso  $A_1$ , oltre a determinare l'istante d'inizio del conteggio viene usato per bloccare il circuito 1 che gli aveva consentito il transito;



in tal modo il successivo impulso locale  $A_2$  non può più giungere al circuito 3 e dare inizio ad una nuova numerazione che andrebbe a sommarsi alla precedente.

Il circuito elettrico dettagliato è mostrato nella figura 2. In questa il Gate costituito dal tubo  $V_1$  ha un elettrodo ( $G_3$ ) connesso al circuito bistabile costituito da  $V_2$ . Normalmente questo ha la sezione di destra conduttrice, così che il potenziale di  $g_1$  dell'altra è molto basso.

La  $G_3$  del Gate, essendo connessa alla  $g_1$  della binaria, interdice il Gate. Il consenso alla misura è dato da uno sbilanciamento, provocato sul circuito bistabile  $V_2$  per mezzo del pulsante M; in questo modo il circuito scatta nell'altra posizione, il potenziale di  $g_1$  aumenta (va a 0 volt) ed il Gate conduce. La lampada al neon  $N_c$  segnala che il circuito è pronto per la misura.

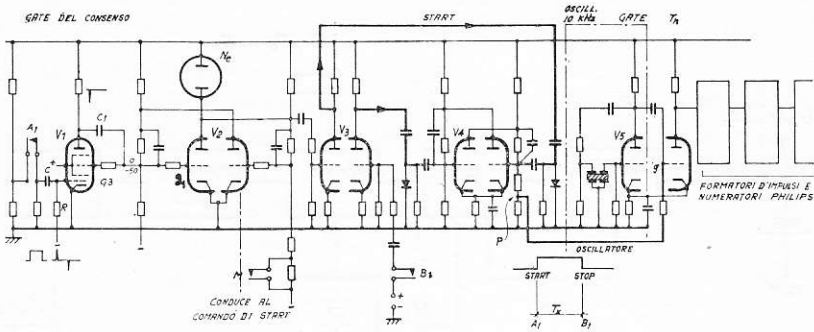


Fig. 2

In questa condizione il contatto  $A_1$ , connette la tensione  $U_1$  al gruppo RC, ed il picco positivo del transitorio è amplificato dal Gate  $V_1$ . Lo stesso segnale è inviato attraverso il condensatore  $C_1$  in  $g_1$  del circuito binario, che ritorna nella posizione di riposo ed interdice nuovamente il Gate. Il transitorio di questa commutazione, attraverso lo stadio separatore  $V_3$  giunge al secondo circuito bistabile  $V_4$ ; questo scatta e si produce una variazione di tensione in senso positivo del punto P e quindi in  $g$  del tubo  $V_5$  (sezione di destra), rendendolo conduttore; in tal modo i numeratori possono ricevere gli impulsi di periodo noto  $T_u$  forniti dal generatore stabilizzato a quarzo, costituito dalla sezione sinistra del medesimo tubo  $V_5$ .

Il segnale di fine conteggio  $B_1$  prodotto dal segnale in misura

(contatto di un orologio che applica una tensione positiva od impulso elettrico fornito dal normalizzatore dei segnali radio) attraverso lo stadio separatore  $V_3$ , fa scattare nuovamente il circuito bistabile  $V_4$  ed il Gate  $V_5$  ritorna allo stato di interdizione.

Effettuata la prima misura, il risultato letto sui numeratori può essere cancellato per mezzo del comando di azzeramento manuale (che applica una tensione negativa alla griglia controllo dei tubi numeratori E1T). Generalmente però risulta più comodo totalizzare i risultati di un certo numero di misure (10 o multipli di 10); per ottenere ciò è sufficiente comandare ripetutamente il consenso U e non effettuate l'azzeramento.

*2.2 Precisione dei risultati.* La determinazione degli errori che possono alterare i risultati delle osservazioni in uno strumento di misura si rende necessaria quando questi errori assumono un carattere sistematico. Nel nostro caso, se trascuriamo i ritardi dei circuiti elettronici a regime, il cronometro elettronico non presenta errori sistematici, esso può dare però differenti risultati nella misura di una stessa grandezza in dipendenza di alcuni fattori. E' necessario perciò conoscere gli errori teorici che questi fattori possono introdurre nei risultati stessi, tanto più che essi ci forniranno, nello stesso tempo, un indice della precisione del metodo di misura.

Considerando la relazione (1) bisogna tener presente che in essa il tempo noto  $T_u$  è conosciuto solo a meno di una quantità  $\epsilon T_u$ , mentre l'apertura e la chiusura del Gate portano un errore di  $\pm \Delta N$  unità di conteggio.

Perciò la (1) diventa praticamente

$$T_x + \Delta T_x = (N \pm \Delta N) (T_u \pm \epsilon T_u).$$

Sviluppando la precedente e semplificando si ottiene per l'errore  $\Delta T_x$ :

$$\Delta T_x = \pm \epsilon N T_u \pm \Delta N T_u \pm \epsilon \Delta N T_u,$$

e per l'errore relativo

$$\frac{\Delta T_x}{T_x} = \pm \epsilon \pm \frac{\Delta N}{N} \pm \epsilon \frac{\Delta N}{N}.$$

In essa il terzo termine risulta di ordine superiore rispetto agli

altri due, per cui si può scrivere con buona approssimazione

$$\frac{\Delta T_x}{T_x} = \pm \varepsilon \pm \frac{\Delta N}{N} . \quad (2)$$

In pratica risulta  $\Delta N = 1$ , mentre  $\varepsilon = \Delta T_u / T_u$  deve essere ricavato sperimentalmente. Confrontando la frequenza di 10 kHz dell'oscillatore a quarzo del circuito in esame con analoga frequenza di elevata stabilità si è ricavato:  $\varepsilon = 1,7 \cdot 10^{-5}$ . Il valore trovato mostra che anche questo termine può essere trascurato in confronto di  $1/N$ , che non può essere inferiore a  $10^{-4}$ .

La (2) si può ridurre quindi nel nostro caso a

$$\frac{\Delta T_x}{T_x} = \pm \frac{1}{N} , \quad (3)$$

da cui risulta che l'errore relativo è inversamente proporzionale a  $N$ , cioè alla durata dell'intervallo da misurare. Ricordando poi che è  $N = T_x F_u$ , dove  $F_u$  è la frequenza propria dell'oscillatore, la (3) dà per l'errore teorico  $\Delta T_x$  di una qualsiasi misura, che è quello che maggiormente interessa,

$$\Delta T_x = 1 \cdot 10^{-4} \text{ sec} ,$$

valore che conferma l'elevata precisione del cronometro elettronico descritto.

### 3. Il dispositivo oscillografico.

3.1 - *Descrizione d'insieme.* Diversi criteri possono essere usati per effettuare misure dirette su oscilloscopio tra due impulsi o segnale di tempo.

A tale scopo sono stati progettati comparatori misti, che permettono lo sfasamento dei segnali locali fin alla coincidenza con quelli di confronto, che si determina visualmente su oscilloscopio, e che danno la lettura della differenza in tempo su appositi quadranti graduati (8).

Normalmente però, e per precisioni dell'ordine di  $10^{-4}$  secondi, l'oscillografo ad una o due tracce viene utilizzato per effettuare la lettura direttamente sopra lo schermo a lunga persistenza.

Per questo, una particolare attenzione deve essere attribuita ai sistemi che determinano i ritardi del segnale locale rispetto a quello di confronto, per poter effettuare con la massima precisione le letture

sull'oscillografo. Questo ritardo deve essere ottenuto, per precisioni dell'ordine sopracitato, con dispositivi elettronici a contatore che possono essere costruiti utilizzando sia divisori decimali con tubi elettronici sia tubi a catodo freddo (dekatron, ecc.) <sup>(9)</sup> o con altri criteri, perchè i comuni sistemi a sfasamento meccanico danno precisioni dell'ordine del msec.

Il sistema oscillografico di misura, come è stato detto, è ausiliario al cronometro elettronico e permette di risolvere tutti i casi di confronto tra impulsi anche in presenza di disturbi elevati e casuali, oltre, naturalmente, ad essere preferito al primo nel caso di segnali radio modulati (tipo A<sub>2</sub>). Il suo impiego principale è quindi quello di rilevare coincidenze di impulsi o di permettere, in unione al sistema di ritardo tarato degli impulsi locali, interpolazioni molto accurate di piccoli intervalli di tempo.

La figura 3 mostra lo schema di principio del complesso oscillografico di misura costruito all'Osservatorio di Brera costituito dalle seguenti parti:

*a*) - sistema fotoelettrico per generare il segnale di fase variabile a piacere rispetto al secondo locale, per il comando della base dei tempi dell'oscilloscopio,

*b*) - base dei tempi dell'oscilloscopio con durata variabile e con ripetizione costante di 1 secondo;

*c*) - apparato per ritardare di una quantità nota un qualsiasi impulso;

*d*) - sistema sommatore per il confronto oscillografico tra due segnali;

*e*) - oscilloscopio ad unica traccia con amplificatori in c.c. e tubo a lunga persistenza.

I primi due circuiti *a*) e *b*), completati dal circuito di spegnimento dello « spot » luminoso di ritorno della base dei tempi sull'oscilloscopio, costituiscono la parte fondamentale del sistema stesso di misura e formano un unico apparato in unione ai circuiti di amplificazione in c.c. ed al tubo oscilloscopio segnati in *e*), che possiamo chiamare circuito oscilloscopico propriamente detto.

Completamente distinti da questi sono invece i circuiti *c*) e *d*) che vengono utilizzati per manipolare i segnali di riferimento e quelli da confrontare (segnali radio o segnali provenienti da orologi a quarzo),

in modo da rendere possibile il loro invio all'oscilloscopio e la relativa misura dell'intervallo di tempo tra di essi intercorrente.

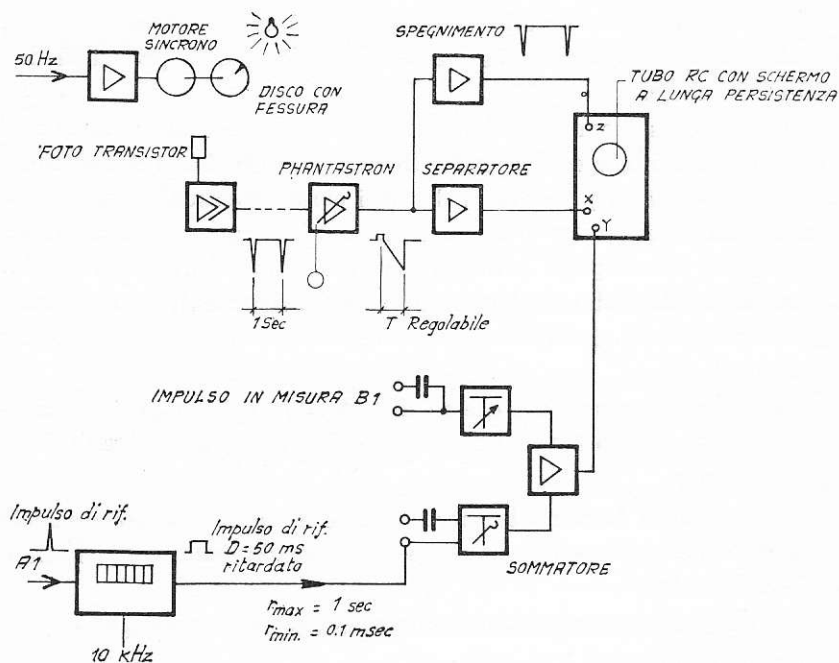


Fig. 3

3.2 - *Principio di funzionamento.* Il sistema fotoelettrico è costituito da un motore sincrono a 50 Hz, munito di un disco solidale con l'asse del motore e fornito di fessura attraverso la quale viene periodicamente illuminato un fototransistor. Quest'ultimo fornisce una tensione ad impulso, di fase variabile a piacere rispetto al secondo locale, che fa scattare un particolare generatore monostabile di tensione a dente di sega, collegato alla deflessione X di un oscilloscopio. Viene determinato in tal modo l'inizio della scansione e la sua velocità di ripetizione (uno sganciamento al secondo). La durata invece della tensione a dente di sega, e quindi il tempo che impiega lo « spot » a percorrere a velocità costante l'intero schermo oscillografico, variabile tra 1 secondo e 2 millisecondi, secondo nove posizioni, viene fornita da un circuito a Phantastron.

E' possibile quindi, variando la fase dell'impulso di comando, far

scorrere l'intervallo di tempo sotto esame lungo tutto un secondo, ed inoltre « dilatare » o « restringere », a seconda del caso, l'intervallo stesso.

Gli impulsi in esame  $A_1$  e  $B_1$  tra i quali si deve determinare il ritardo relativo, vengono successivamente sommati per mezzo del sommatore, in modo da poter determinare con grande precisione la distanza tra i due fronti  $A_1$  e  $B_1$  (\*). La misura tra i due impulsi (in generale quello locale e quello radio), che generalmente possono distare fra di loro più della lunghezza della base dei tempi usata, è resa possibile ritardando convenientemente il primo impulso  $A_1$ , prima dell'entrata nel sommatore, di una quantità  $\Delta$ , tale che venga soddisfatta la relazione

$$B_1 - (A_1 + \Delta) \leq t,$$

dove  $t$  è la durata in secondi della base dei tempi in esame.

Passiamo ora a descrivere il complesso dei circuiti che costituiscono il dispositivo oscillografico dell'Osservatorio di Brera.

3.3 - *Formatore dell'impulso di comando a fase variabile rispetto al secondo locale.* Questo impulso è ottenuto, illuminando, per mezzo di una lampada alimentata in c. c. ad una tensione di 12 volt (luce non modulata), un fototransistor Philips al germanio tipo OCP 71 (fig. 4), attraverso la sottile fenditura praticata su di un disco ruotante con un giro al secondo ed azionato da un motore sincrono AEG tipo SSLK 375, munito di apposito riduttore. Detto motore è alimentato da una frequenza campione a 50 Hz ottenuta amplificando a 220 volt la frequenza finale di uscita dell'orologio a quarzo Q2 dell'Osservatorio di Brera.

---

(\*) Un altro criterio di misura della posizione relativa nel tempo tra due impulsi può essere ottenuto inviando un segnale all'asse Y e quello di riferimento all'asse Z di un oscilloscopio, intensificando cioè l'immagine in un punto. Si è preferito ricorrere alla somma dei due impulsi, poichè, avendo il sistema descritto l'asse dei tempi di durata molto variabile (da 1000 a 2 msec), si sarebbe dovuto prevedere un segnale di intensificazione di durata proporzionale alla base dei tempi, ciò che avrebbe relativamente complicato il circuito. Trattandosi poi di confronti e di misure tra fronti di segnali riteniamo anzi che il metodo del sommatore dia la possibilità di eseguire le letture con una più elevata precisione.

Il fototransistor è montato assieme alla lampada su di un braccio mobile, che funge da sfasatore, e può effettuare una rotazione di circa 500 gradi. Il movimento del braccio è trasmesso ad un indice che per-

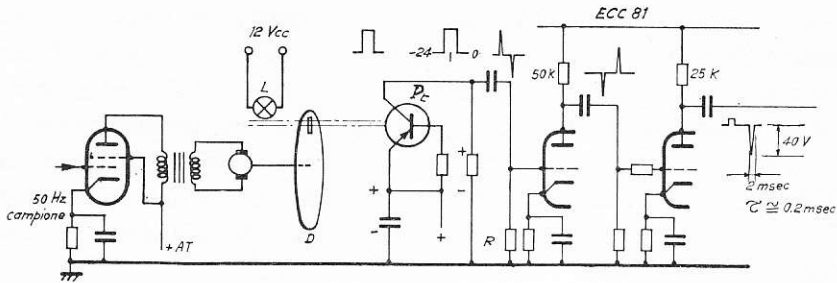


Fig. 4

mette di leggere su di un quadrante graduato gli angoli di sfasamento relativi tradotti direttamente in frazioni di secondo. Ogni divisione del disco corrisponde a 10 msec e per mezzo di un nonio si può leggere il millisecondo.

Il segnale luminoso, della durata di circa 5 millisecondi, produce nel circuito del fototransistor un segnale elettrico di circa 0,5 volt, che viene derivato, e quindi amplificato, in modo da ottenere un impulso negativo di 40 volt di picco e della durata di circa 2 msec, con un tempo di salita minore di 0,2 msec.

3.4 *Formatore della tensione di deflessione per l'asse X (base dei tempi)*. La tensione per lo spostamento nel senso X sull'oscilloscopio è ottenuta per mezzo di un circuito monostabile (Phantastron), che scatta a comando e che ritorna nella condizione primitiva dopo un tempo regolabile a piacere, dipendente dalle costanti del circuito e dalle tensioni utilizzate. La forma della tensione prodotta è quella segnata in fig. 5. Detto circuito è costituito da un tubo E 91 H multigriglia.

Il diodo a vuoto  $V_1$  consente il transito solo degli impulsi negativi di comando. Quando il circuito riceve l'impulso  $E_p$  dal dispositivo fotoelettrico, la tensione anodica di  $V_2$  scende rapidamente e poi ha inizio una variazione molto più lenta ma lineare col tempo (tratto  $t_1-t_r$ ). La diminuzione lineare della tensione anodica di  $V_2$  continua fino a che il tubo è in condizioni di linearità (amplificazione elevata), poi si ha un rapido ritorno allo stato di quiete. Il tempo  $D$  che intercorre tra

gli istanti  $t_1$  e  $t_f$  dipende dalle capacità  $C_1 \dots C_9$  ( $C_1$ ), e dalle resistenze  $R_1 \dots R_9$  ( $R_1$ ), più le correzioni  $P_1 \dots P_9$ .

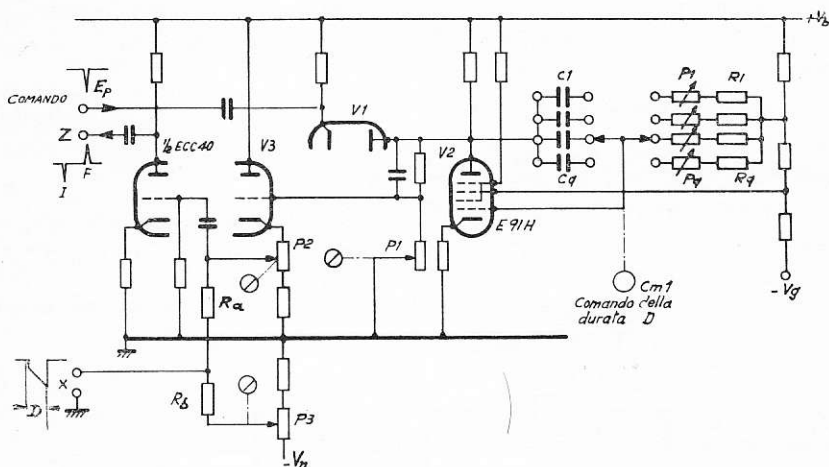


Fig. 5

Le resistenze  $R_1$  sono costanti per tutti i valori delle durate pre-stabilite  $D_1$ . I condensatori diminuiscono invece proporzionalmente con le durate  $D_1$ , mentre i potenziometri  $P_1$  consentono di effettuare la esatta taratura delle durate dello spostamento lineare  $X$  ai valori 1; 0.5; 0.2 secondi, 100; 50; 20; 10; 5; 2 millesecondi.

Il segnale utile è prelevato dalla placca di  $V_2$  per mezzo di un accoppiamento in c. c. compensato ed inviato ad un trasferitore catodico  $V_3$ . Le resistenze  $R_a$ ,  $R_b$  e  $P_3$  servono a compensare le componenti continue presenti nel catodo di  $V_3$  prima dell'invio all'asse  $X$  dell'osciloscopio.

La seconda metà del triodo  $V_3$  riceve il segnale dell'asse  $X$  derivato, e l'impulso corrispondente alla fine della scansione orizzontale è usato per la soppressione della traccia di ritorno e perciò viene inviato sull'asse  $Z$  per controllare la luminosità dell'immagine.

La tensione anodica del circuito della base dei tempi è regolata a valvola per evitare che variazioni della tensione di rete si traducano in spostamenti nel senso orizzontale dell'oscillogramma durante la misura.



3.5 - *Dispositivi per ritardare di una durata nota  $C$  predisposta un impulso elettrico.* Lo schema a blocchi del dispositivo è riportato in fig. 6a, e si compone dei seguenti gruppi:

a) un circuito gate che consente, al comando degli impulsi di entrata  $A_1, \dots, A_n$  il transito di un segnale a periodo noto  $T_u$  proveniente dal quarzo principale;

b) un circuito monostabile di consenso, che viene comandato dai segnali  $A_1, \dots, A_n$  per la conduzione del gate e dagli impulsi ritardati  $U_1, \dots, U_n$  per la interdizione del gate;

c) un circuito (R) che produce un segnale in uscita per ogni  $k$  segnali entranti. Essendo il numero  $k$  variabile a piacere da 0 a 9999.

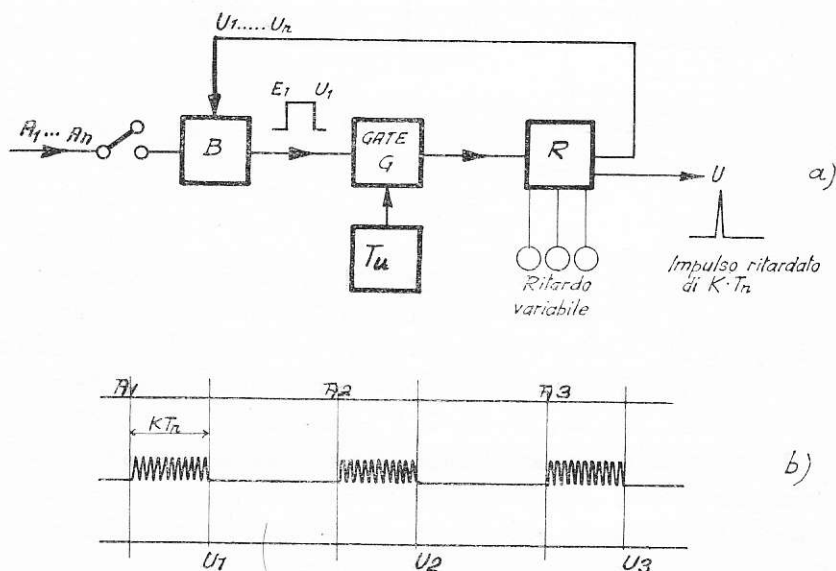


Fig. 6 a e 6 b

Il funzionamento del dispositivo di traslazione nel tempo di un impulso è il seguente (fig. 6b): predisposto il circuito numeratore in condizione da essere saturato da un numero  $k$  d'impulsi, l'impulso di comando  $A_1$  fa scattare il circuito monostabile che a sua volta pilota il gate G.

I segnali di periodo noto  $T_u$  giungono al numeratore e, quando ne sono transitati  $k$ , cioè quando è trascorso un tempo  $k T_u$  dal momento del comando, si produce un segnale di uscita  $U_1$ , ritardato rispetto a

quello di comando appunto del tempo noto  $k T_u$ . Contemporaneamente lo stesso segnale ricomanda il circuito monostabile di ingresso B il quale interdice il gate. I successivi segnali di comando  $A_2 \dots A_n$  producono i medesimi effetti del primo.

La figura 6b illustra la posizione relativa nel tempo dei segnali di entrata  $A_1 \dots A_n$  ed i corrispondenti segnali (ritardati dall'intervallo  $k T_u$ )  $U_1 \dots U_n$ .

La precisione del tempo di ritardo  $k T_u$  dipende dalla precisione del periodo noto  $T_u$ . Normalmente il  $T_u$  è 1 decimillesimo di secondo (ottenuto dall'uscita a 10 kHz dell'oscillatore). Il minimo periodo usabile è quindi 0,1 msec. L'impulso di uscita U ha una durata minima inferiore a 0,1 millisecondi ma può essere regolabile a seconda della misura che si deve effettuare. Il dispositivo di ritardo può effettuare traslazioni nel tempo anche più grandi del tempo che intercorre tra due successivi impulsi di comando  $A_1 \dots A_n$  perchè il circuito che dà il consenso al gate G di bloccare il transito dei  $T_u$  verso i numeratori non può cambiare stato se prima non è giunto il segnale di stop dal circuito di uscita R che indica l'avvenuta saturazione del contatore predisposto.

3.6 - *Il circuito sommatore.* Questo circuito ha il compito di effettuare la somma algebrica di due segnali siano essi impulsi o gradini di tensione continua o treni di segnali modulati. Alcune combinazioni di segnali sono mostrati in figura 7 nella quale appaiono i segnali singoli e la loro somma.

Le caratteristiche fondamentali che si richiedono da un tale circuito sono:

a) proporzionalità del segnale di uscita con la somma di due segnali di ingresso;

b) sufficiente banda passante per non modificare apprezzabilmente il fronte degli impulsi trasferiti.

La proporzionalità è messa in evidenza dal fatto che la tensione di uscita  $e_3$  risulta, risolvendo il circuito equivalente,

$$e_3 = K(e_1 + e_2),$$

dove  $K = 1/(2 + R_1/R_2)$ , rappresenta una costante di proporzionalità, ed  $e_1, e_2$  sono le tensioni dei due segnali di entrata.

La banda passante del circuito adottato (trasferitore catodico) è molto larga; elementi che possono limitarla sono le capacità parassite

che possono variare la ripartizione tra tensione di entrata e segnale di griglia e la capacità in parallelo con  $R_3$ .

L'effetto delle prime può essere limitato usando attenuatori con resistenza sufficientemente bassa; l'effetto delle seconde è molto meno sentito.

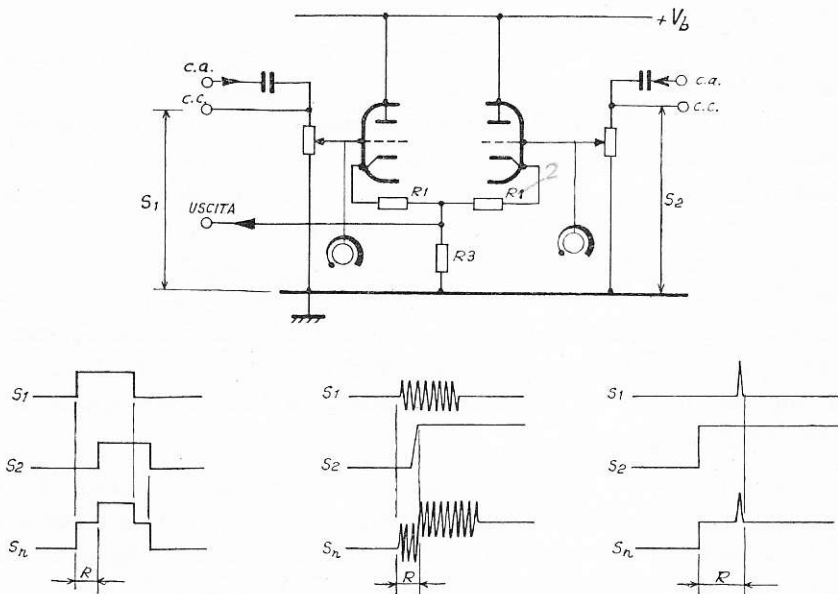


Fig. 7

La limitazione della banda passante del sistema sommatore + osciloscopio può compromettere la correttezza delle misure. Come è noto il « tempo di salita »  $\tau$  in sec di una funzione a « gradino » può essere variato dall'amplificatore che trasmette il segnale secondo la relazione

$$\tau \approx \frac{0,4}{B},$$

in cui  $B$  è la banda passante del sistema amplificatore in Hz.

In tutto il sistema considerato, la maggiore limitazione di  $B$  è prodotta dall'amplificatore verticale dell'osciloscopio. Essendo  $B = 30$  kHz risulta nel nostro caso

$$\tau = 0,013 \text{ msec.}$$

Come si vede questa quantità è nel nostro caso trascurabile anche se confrontata con il minor tempo impiegato dalla base dei tempi (2 msec).

3.7 - *Precisione dei risultati.* Anche nel caso del dispositivo oscillografico di confronto di segnali e di misure di intervalli di tempo è necessario procedere preventivamente ad una discussione e valutazione quantitativa degli errori sistematici strumentali.

L'organo più delicato e nello stesso tempo più importante nei dispositivi di questo genere è costituito dalla base dei tempi. E' per mezzo di essa infatti che vengono eseguite tutte le misure nei vari stadi di amplificazione. E' necessario perciò in primo luogo accertarsi che lo inizio del segnale di sganciamento della b.t., comandato da orologio sincrono, sia affetto unicamente da errori accidentali o periodici trascurabili. La presenza di questi ultimi, originati, nel nostro caso, da irregolarità nella durata dei secondi di sganciamento, attribuibili al motorino sincrono a 50 Hz, non introduce, comunque, errori nelle misure oscillografiche, poichè non altera la distanza tra i due segnali da confrontare, ma determina solo l'inconveniente dello spostamento dei due segnali stessi relativamente all'origine dello spot luminoso.

Le irregolarità della base dei tempi in esame è stata quindi esaminata utilizzando lo stesso oscilloscopio, inviando sull'asse *y* di questo nella posizione di massima dilatazione (2 msec) la frequenza campione di 1 kHz dello stesso oscillatore che fornisce il 50 Hz per azionare il motorino sincrono del dispositivo fotoelettrico. Misurando sullo schermo oscillografico gli spostamenti delle creste di una delle semionde ad ogni secondo si è ottenuto, con diverse determinazioni, il valor medio delle irregolarità stesse che nell'intervallo di un minuto risulta di 0,1 msec, e quindi inferiore al tempo massimo di salita dell'impulso negativo che genera la base dei tempi. Possiamo perciò considerare queste irregolarità dell'ordine degli errori propri del dispositivo e passare a determinare invece l'importo degli eventuali errori sistematici di lettura.

Gli errori sistematici di lettura nel metodo oscillografico hanno origine principalmente da due cause ben distinte:

- a) inesatta conoscenza della durata della b.t.
- b) non linearità della b.t.

La non esatta conoscenza della vera durata della b.t., che teoricamente dovrebbe risultare eguale ad un secondo o ai suoi sottomultipli interi, introduce un errore nella misura di intervalli di tempo. Se indi-

chiamo con  $t$  la durata teorica della *b. t.* e con  $t'$  la sua durata reale sarà  $\Delta t = t' - t$  l'errore che si commette nella lettura di un intervallo di durata  $t$ . Per un intervallo di durata  $t_1 < t$ , l'errore sarà dato da  $\Delta t \cdot t_1/t$ . Se indichiamo quindi con  $t_2$  e  $t_1$ , gli istanti che corrispondono a due segnali diversi, sull'oscilloscopio la differenza reale  $t_2 - t_1 = T$  si leggerà

$$t_2 - t_1 + \frac{\Delta t}{t} (t_2 - t_1),$$

e sarà quindi affetta da un errore

$$\varepsilon = \frac{\Delta t}{t} (t_2 - t_1).$$

Indicando ora con  $\varepsilon_0 = \frac{\Delta t}{t}$ , l'errore relativo dell'unità di misura  $t$ , caratteristico per ciascuna portata della *b. t.*, si potrà scrivere

$$\varepsilon = \varepsilon_0 (t_2 - t_1) = \varepsilon_0 T.$$

L'unico modo di eliminare questo errore, senza ricorrere a continue tarature e registrazioni dei circuiti, è quello di conoscere con esattezza la durata della *b. t.*, provvedendo di tanto in tanto ad eseguirne la misura.

Dalla conoscenza della durata  $t$  della *b. t.*, indicando con  $L$  la lunghezza totale della sua traccia e con  $l$  la lunghezza dell'intervallo da misurare di durata incognita  $x$ , si ha evidentemente

$$x = l \cdot \frac{t}{L}.$$

La durata reale della traccia *b. t.* dell'oscilloscopio adibito a registrazioni all'Osservatorio di Brera è stata determinata per tutte le nove portate della *b. t.* Le misure sono state eseguite inviando diverse frequenze sull'asse verticale e contando quindi accuratamente il numero dei cieli visibili. Per i primi tre stadi si è usata una frequenza di 50 Hz, per il quarto una frequenza di 200 Hz, per il quinto, sesto e settimo stadio una frequenza di 1 kHz, per gli ultimi due una frequenza di 10 kHz. La precisione di ogni singola determinazione risulta proporzionale alla frequenza usata. Un'indice di questa precisione è data dall'approssimazione con la quale sono state determinate le durate stesse della *b. t.*

Nella tabella I sono riportati i valori ottenuti nelle misure. La terza colonna riporta le precisioni con cui sono state determinate le durate reali delle b.t.

b) La seconda causa di errori, quelli dovuti alla non linearità della b.t., è molto più importante e pericolosa della prima ed anche di non facile correzione.

Come è stato ammesso implicitamente in precedenza la condizione teorica di funzionamento della b.t. è basata sulla corrispondenza biunivoca che intercorre tra la lunghezza oscillografica  $s$  della b.t. e la sua durata  $t$ . Se la relazione lineare  $s = t$  (ponendo eguale all'unità la velocità dello spot luminoso) non è più soddisfatta, allora evidentemente risulta molto difficile dedurre dalle letture oscillografiche, che sono essenzialmente letture lineari, i corrispondenti valori in istanti di tempo. L'indagine teorica deve in questo caso naturalmente restringersi, ponendo semplici condizioni che risultino approssimativamente soddisfatte dall'esperienza.

Poniamo dunque, come semplice ipotesi  $s = at^n$ , nella quale, dovendo essere  $0 \leq s \leq 1$  quando  $0 \leq t \leq 1$ , si deve porre  $a = 1$  (dimensionalmente  $a$  risulterà eguale a  $L T^{-n}$ ).

La precedente diventa quindi

$$s = t^n,$$

Essa può rappresentare con sufficiente approssimazione sia il caso di accelerazioni positive della traccia ( $n > 1$ ), sia il caso di accelerazioni negative ( $n < 1$ ).

Indicando con  $s_0$  la lunghezza della traccia all'istante  $t$  nel caso della linearità della b.t. e con  $s$  la lunghezza reale della traccia, l'errore commesso nella lettura oscillografica è dato da

$$\Delta t = t - t^n,$$

e si avrà rispettivamente  $\Delta t \geq 0$  in corrispondenza di  $n \geq 1$ .

L'errore massimo si otterrà poi in corrispondenza dell'istante  $t'$ , soluzione dell'equazione  $\Delta \dot{t} = 0$ . Risolvendo detta equazione, si ottiene per l'istante  $t'$  e per il corrispondente errore massimo  $\Delta t_m$

$$t' = n^{\frac{1}{1-n}}, \quad \Delta t_m = n^{\frac{1}{1-n}} - n^{\frac{n}{1-n}} = n^{\frac{1}{1-n}} \left(1 - \frac{1}{n}\right). \quad (4)$$

E' notevole osservare che se nell'espressione di  $\Delta t_m$  si pone al posto di  $n$  il suo reciproco  $1/n$ , il valore di  $\Delta t_m$  cambia solo di segno ma non di valore. Si può inoltre facilmente vedere che il massimo valore di  $\Delta t_m$  in funzione di  $n$  si ha per i due casi limiti  $n = 0$ , e  $n = \infty$ , nei quali casi si ha  $|\Delta t| = 1$ , cioè l'errore risulta eguale in valore assoluto alla intera lunghezza della durata della b.t.

Determiniamo ora l'errore  $\Delta T$  che si commette, sempre nel caso dell'ipotesi di non linearità precedentemente ammessa, nella lettura dell'intervallo di due segnali  $t_2$  e  $t_1$ . In questo caso si avrà evidentemente

$$\Delta T = \Delta t_2 - \Delta t_1 = t_2 - t_1 - (t_2^n - t_1^n). \quad (5)$$

Poichè l'errore  $\Delta T$  risulta in questo caso funzione di due variabili, consideriamo la distanza reale  $s_1 = t_1^n$  del primo segnale dall'origine della b.t., e la differenza  $s_2 - s_1 = t_2^n - t_1^n$  tra i due segnali come variabili indipendenti. Poniamo perciò nella (5)

$$x = s_1 = t_1^n, \quad y = s_2 - s_1 = t_2^n - t_1^n, \quad x + y = s_2 = t_2^n.$$

Si avrà

$$\Delta T = (x + y)^{1/n} - x^{1/n} - y. \quad (6)$$

Il calcolo dei massimi e dei minimi della funzione  $\Delta T = f(x, y)$ , si esegue facilmente risolvendo il sistema di equazioni

$$\frac{\partial \Delta T}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial \Delta T}{\partial y} = 0,$$

che risulta sempre soddisfatto quando  $n = 1$ , e, per  $n \neq 1$ , dalle soluzioni

$$x = n^{\frac{n}{1-n}}, \quad y = 1 - n^{\frac{n}{1-n}}.$$

Il caso  $n = 1$  porta di conseguenza al valore  $\Delta T = 0$ , e rappresenta il caso della linearità della b.t.. In tutti gli altri casi ( $n \neq 1$ ) il  $\Delta T$  presenta un massimo che risulta

$$\Delta T_m = n^{\frac{n}{1-n}} - n^{\frac{1}{1-n}},$$

cioè eguale, a meno del segno, al valore massimo dell'errore relativo nella lettura di un solo segnale.

La conoscenza degli errori  $\Delta t$  e  $\Delta T$  è necessaria per correggere i

TABELLA I.

Portate	Durata reale b. t.	Precisione durata b. t.	Errore massimo dovuto alla non linearità b. t.	Errore massimo di lettura (2 mm)
1	1.000 <sub>0</sub>	10 <sup>-3</sup> sec	4. 10 <sup>-2</sup> sec	2. 10 <sup>-2</sup> sec
2	0. 50 <sub>0</sub>	10 <sup>-3</sup>	2. 10 <sup>-2</sup>	1. 10 <sup>-2</sup>
3	0. 20 <sub>0</sub>	10 <sup>-3</sup>	8. 10 <sup>-3</sup>	4. 10 <sup>-3</sup>
4	0. 10 <sub>0</sub>	10 <sup>-3</sup>	4. 10 <sup>-3</sup>	2. 10 <sup>-3</sup>
5	0. 050 <sub>0</sub>	10 <sup>-4</sup>	2. 10 <sup>-3</sup>	1. 10 <sup>-3</sup>
6	0. 019 <sub>0</sub>	10 <sup>-4</sup>	8. 10 <sup>-4</sup>	4. 10 <sup>-4</sup>
7	0. 010 <sub>0</sub>	10 <sup>-4</sup>	4. 10 <sup>-4</sup>	2. 10 <sup>-4</sup>
8	0. 0050 <sub>0</sub>	10 <sup>-5</sup>	2. 10 <sup>-4</sup>	1. 10 <sup>-4</sup>
9	0. 0020 <sub>0</sub>	10 <sup>-5</sup>	8. 10 <sup>-5</sup>	4. 10 <sup>-5</sup>

risultati delle letture oscillografiche dirette. La determinazione di questi errori implica però la conoscenza del parametro  $n$  che può essere determinato solo sperimentalmente. A questo scopo, dopo aver tracciato le curve sperimentali  $s_i = t_i^n$ , relative a ciascun stadio  $i$  di amplificazione si può ricavare il valore di  $n$  con metodi analitici.

Un criterio sufficientemente esatto per il calcolo di  $n$ , se le curve sperimentali  $s_i = t_i^n$  sono ottenute con la necessaria precisione, si ha determinando graficamente la massima differenza di ordinata tra le  $s_i = t_i^n$ , e la  $s = t$ , cioè  $\Delta t_m$ , e l'istante  $t'$  corrispondente a questa differenza. Conoscendo questi due valori le (4) permettono poi di determinare facilmente  $n$  per mezzo della relazione

$$n = \frac{t'}{t' - \Delta t_m}.$$

La determinazione effettuata per ottenere l'esponente  $n$  da attribuire alla b.t. del sistema oscillografico costruito all'Osservatorio di Brera, utilizzando lo stesso metodo usato per la misura delle lunghezze della b.t., ed eseguendo le misure lineari di decimo in decimo della lunghezza totale della traccia, ha dato i seguenti risultati medi per i nove stadi



$$t' = 0,5 \text{ sec,}$$

$$\Delta t_m = 0,04 \text{ sec,}$$

da cui risulta  $n = 1,1$ . Questo valore ci permette utilizzando la (6), di determinare l'errore  $\Delta T$  da aggiungere all'intervallo dei due segnali ottenuto direttamente sull'oscilloscopio.

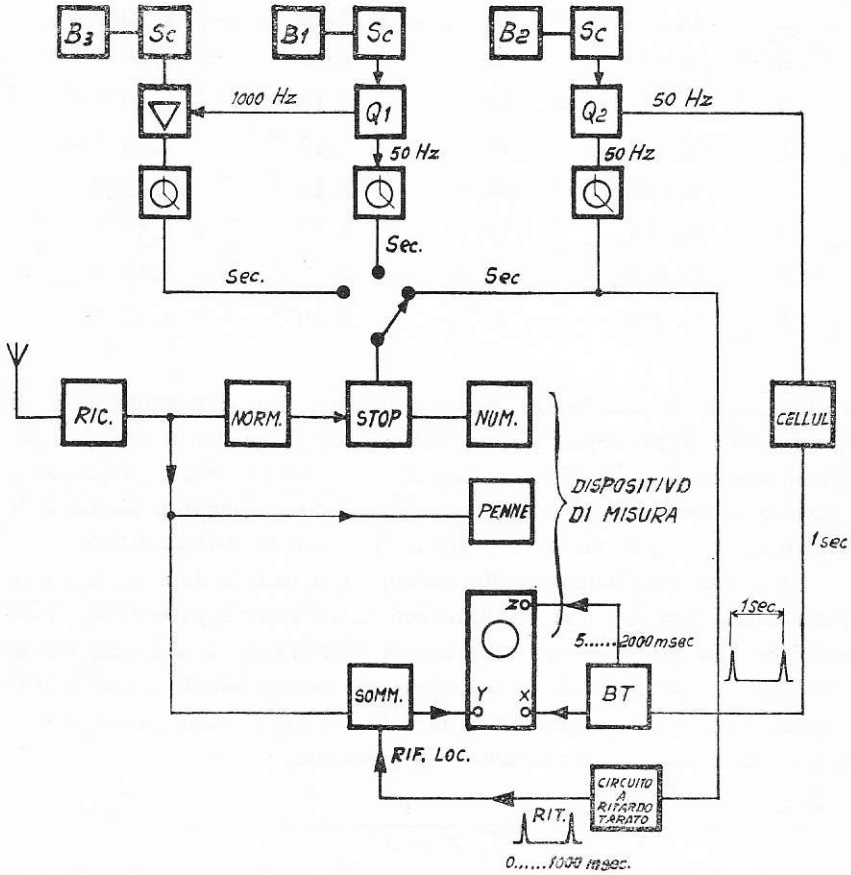


Fig. 8

Utilizzando l'errore massimo medio  $\Delta t_m = 0,04 \text{ sec.}$ , sono stati facilmente calcolati gli errori massimi di lettura dovuti alla non linearità della b.t. relativi ai nove stadi. Essi sono riportati nella penultima colonna di tabella I. Confrontando le colonne 3 e 4 con l'ultima colonna

di questa tabella, che da gli errori di lettura propriamente detti, dovuti all'incertezza di valutare visualmente la posizione del fronte di un segnale sullo schermo oscillografico, e che sono stati computati considerando come errore massimo di lettura lo scarto di 2 mm, si vede che gli errori dovuti alla non perfetta linearità della b.t., o alla non perfetta conoscenza della durata della stessa (colonna 3) risultano dello stesso ordine degli errori di lettura, e perciò possiamo ritenere la b.t. stessa soddisfacientemente esatta. La tabella mostra inoltre che precisioni teoriche dell'ordine di  $10^{-4}$  sec sono possibili utilizzando per le misure gli stadi di amplificazione 8 e 9 (dilatazione della b.t. di 5 msec e 2 msec rispettivamente).

#### 4. Conclusioni.

Dalla descrizione dei due dispositivi realizzati all'Osservatorio di Brera e dall'analisi e discussione degli errori intrinseci dei dispositivi stessi, il cui schema a blocchi è riportato in figura 8, possiamo concludere affermando che la precisione interna del contatore elettronico e del dispositivo oscillografico risultano ambedue non inferiori ad una unità di  $10^{-4}$  s.

Ciò significa che effettuando misure in buone condizioni è possibile ottenere in ambedue i casi un'incertezza massima di una unità della quarta cifra decimale.

Riteniamo che questo risultato possa soddisfare le esigenze del servizio e dei lavori in corso all'Osservatorio di Brera, connessi con la misura e registrazione del tempo, perlomeno fino a che nuovi e sensibili miglioramenti non saranno apportati alla tecnica delle osservazioni astronomiche ed alla conoscenza della propagazione delle radioonde.

Per quanto riguarda invece il confronto di segnali e di frequenze campioni, queste precisioni sono attualmente dello stesso ordine di quelle fornite dagli oscillatori a quarzo; esse dovranno raggiungere un ordine di grandezza superiore ( $10^{-5}$  s) allorquando i segnali al secondo saranno ottenuti con demoltiplicatori elettronici e particolari accorgimenti saranno adottati per migliorare il funzionamento degli oscillatori a quarzo dell'Osservatorio.

BIBLIOGRAFIA

---

- (<sup>1</sup>) G. MASSON, *Ann. Franc. de Chron.*, 25, 248, 1955.  
J. VERBAANDERT, *Ann., Franc. de Chron.*, 26, 189, 1956.  
G. PRIN, *Comm. Obser. R. de Belg.*, 97, 837, 1956.  
J. VERBAANDERT, *Comm. Obser. R. de Belg.*, 97, 841, 1956.
- (<sup>2</sup>) E. PROVERBIO *Mem. S.A. It.*, XXVIII, 221, 1957.
- (<sup>3</sup>) F. MOREAU, J. VERBAANDERT, *BAB*, II (4), 61, 1935.  
B. CESTER, A. KRANJC, *Mem. S.A. It.*, XXVI, 3, 1955.
- (<sup>4</sup>) B. DECAUX, *IGY Instr. Manual*, III, 155, 1957.
- (<sup>5</sup>) TH. DE HAAS, *Pubb. Neth. Geod. Comm.*, 1954.
- (<sup>6</sup>) L. R. M. VOS DE WAEL, *Proc. I.R.E.*, XV, 807, 1952.
- (<sup>7</sup>) N. R. BELL, *Marconi Instrumentation*, 6, 82, 1957.
- (<sup>8</sup>) F. D. LEWIS, *The Gen. Radio Exper.*, 32 (13), 1958.
- (<sup>9</sup>) Y. REQUIÈME, *Ann. Franc. de Chron.*, 28, 99, 1958.
-