

17. Marco FRANK — Note su un circuito comparatore di potenziali.

Riassunto. — Si descrive un circuito comparatore adatto a fornire un segnale, costituito da una tensione alternata di opportuna frequenza, per tutto il tempo in cui due tensioni da comparare si mantengono uguali. Il circuito utilizza un doppio triodo.

Viene poi descritto un apparato, basato sull'impiego di circuiti comparatori, adatti a registrare su carta i conteggi di impulsi, mediante una macchina da scrivere elettrica i cui tasti vengono comandati da elettromagneti.

Résumé. — On donne la description d'un circuit comparateur apte à fournir un signal (constitué par une tension alternative ayant une fréquence opportune), pendant tout le temps au cours duquel les deux tensions à comparer restent égales.

Le circuit utilise un double triode.

On décrit en outre un appareil qui se base sur l'emploi de circuits comparateurs, étant à même d'enregistrer sur papier le nombre d'impulsions, par moyen d'une machine à écrire électrique dont le clavier est commandé par des électro-aimants.

Summary. — A comparator circuit is described adapted to provide a signal, consisting of an alternating voltage of a suitable frequency, so long as two potentials, which are being compared, remain equal. A twin triode is used. An apparatus employing this circuit is also described which records on paper the numbers of pulses by means of an electric typewriter the keys of which are controlled by solenoids.

Zusammenfassung. — Eine Schaltung die während der Zeitspanne in der die zu vergleichenden Potentiale denselben Wert haben ein Signal liefert wird beschrieben. Das Signal besteht aus einer Wechselspannung mit zweckmässig gewählter Frequenz. In der Schaltung wird eine doppelte Triode verwendet.

Es folgt die Schilderung einer auf der Anwendung von Vergleichsschaltungen beruhender Vorrichtung zur Zählung von Impulsen und ihrer Aufzeichnung auf Papier; Die Aufzeichnung wird durch eine elektrische Schreibmaschine mit elektromagnetisch betätigten Tasten erreicht.

Da tempo sono in uso vari discriminatori di tensione costituiti da multivibratori monostabili, thyatron, ecc., che forniscono un impulso quando la tensione applicata supera un predeterminato valore: altrettanto noti sono gli amplificatori a finestra, i quali forniscono un impulso se la tensione applicata supera un dato valore ma non ne supera un altro.

Nessuno dei circuiti menzionati è però in grado di fornire un segnale continuo, costituito ad esempio da una tensione alternata di opportuna frequenza, per tutto il tempo in cui la tensione da misurare si mantiene costante entro una ristretta banda di valori.

Un circuito che risponda a questo particolare requisito è stato studiato presso il Reparto di Elettronica dell'Istituto Superiore di Sanità e forma oggetto della presente nota, nella quale è descritta anche una tipica applicazione del circuito.

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DEL CIRCUITO

Il circuito del comparatore, riportato in fig. 1, è costituito da un doppio triodo, ad una sezione del quale è applicata una piccola tensione alter-

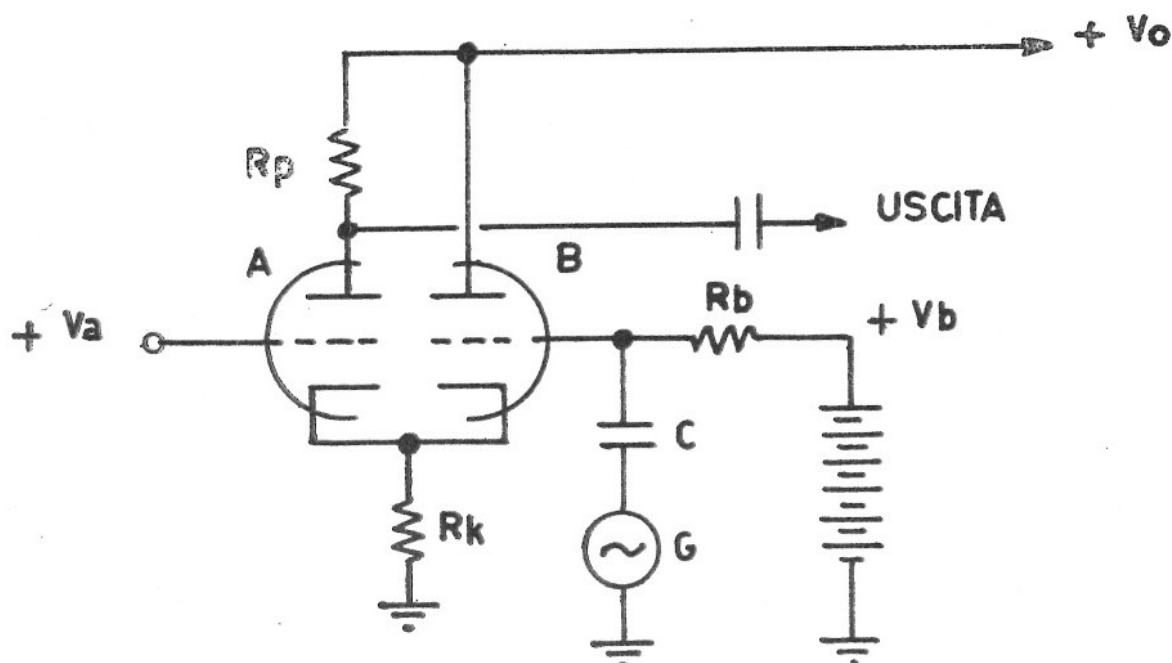


Fig. 1. - Circuito del comparatore.

nata. L'uscita di tale segnale, amplificato, è ricavata dall'altra sezione: così, l'uscita è diversa da zero solo se conducono tutte due le sezioni.

Alla griglia della sezione A è applicato il potenziale da misurare, mentre il potenziale applicato alla griglia della sezione B è un riferimento costante, dal cui valore dipende la regione di funzionamento del comparatore.

Se le due griglie sono approssimativamente allo stesso potenziale, tutte e due le sezioni conducono. In queste condizioni, nei riguardi della tensione alternata prodotta dal generatore G, la sezione B costituisce un triodo ad uscita catodica, mentre la sezione A è un amplificatore ad entrata catodica, e l'uscita avviene sulla placca di quest'ultima sezione, dove il segnale del generatore è presente, amplificato.

Se il potenziale applicato alla griglia del triodo A viene variato verso valori via via più positivi, la corrente di questo triodo aumenta, mentre diminuisce quella del triodo B, fino a che quest'ultimo arriva all'interdizione e l'uscita si annulla. Analogamente se la tensione applicata alla griglia del triodo A viene portata a valori via via più negativi la corrente di questa sezione diminuisce fino ad annullarsi, e parimenti si annulla l'uscita.

Data la simmetria del circuito nei riguardi della tensione continua, il discriminatore funziona indifferentemente se la tensione da misurare è applicata alla sezione A e quella di riferimento alla sezione B o viceversa.

La frequenza f_g del segnale del generatore deve essere abbastanza alta perchè il periodo $1/f_g$ sia piccolo rispetto al tempo di variazione della tensione da misurare e, di conseguenza, anche se si applica alla sezione A la tensione di riferimento ed alla sezione B quella da misurare, la costante di tempo dell'accoppiamento a resistenza e capacità non introduce alcun sensibile ritardo.

MISURA DELLA LARGHEZZA DELLA BANDA DEI VALORI DELLA TENSIONE DA MISURARE ENTRO LA QUALE IL COMPARATORE FORNISCE UN SEGNALE IN USCITA

L'uscita del comparatore è diversa da zero per tutti i valori della tensione V_a applicata alla griglia del triodo A compresi tra gli estremi corrispondenti all'interdizione della sezione A ed all'interdizione della sezione B. E' quindi importante esaminare la larghezza di tale banda di valori per rendersi conto delle possibilità di applicazione del circuito comparatore.

A tale scopo si prescinda dal segnale del generatore e si consideri per semplicità il circuito di fig. 2 a cui può assimilarsi quello di fig. 1 quando la resistenza di carico R_p sia molto piccola rispetto alla resistenza catodica R_k ed alla resistenza interna ρ dei triodi. Sia inoltre $R_k \gg \rho$. Il triodo A presenta una resistenza interna

$$\frac{\rho}{\mu + 1} \approx \frac{1}{g_m}$$

mentre il triodo B presenta una resistenza d'entrata pari anch'essa a $1/g_m$. Una variazione del potenziale V_* si ritrova quindi circa dimezzata sui

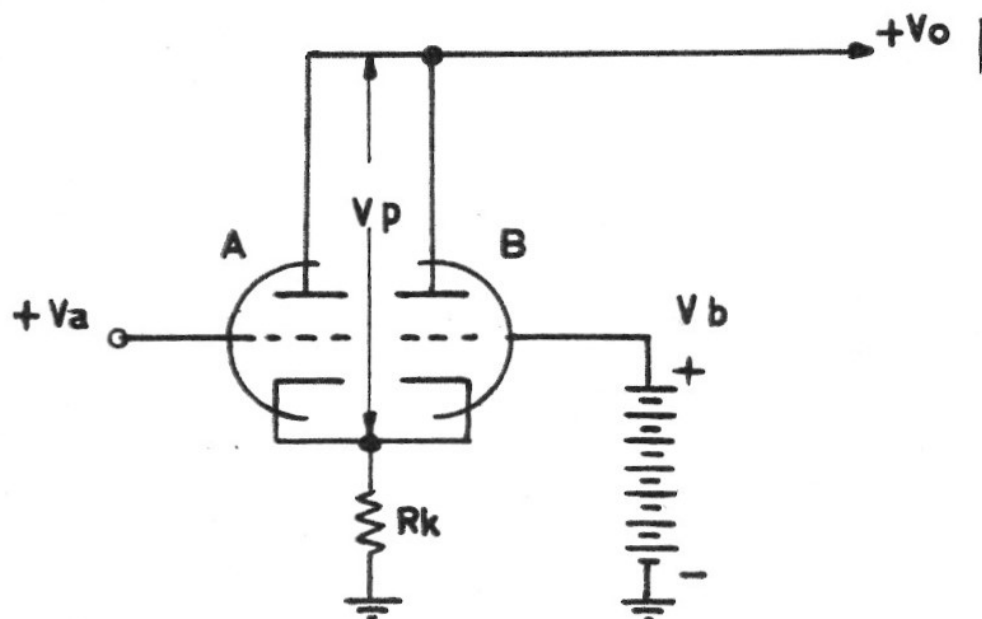


Fig. 2. - Schema semplificato del comparatore.

catodi. Partendo dalle condizioni in cui le griglie delle due sezioni sono esattamente allo stesso potenziale ($V_* = V_b$), ed i catodi si trovano al potenziale

$$V_k = \frac{\mu V_b + V_o}{\mu + 1 + \frac{\theta}{2 R_k}}$$

si ha l'interdizione della sezione B quando i catodi salgono al potenziale

$$V'_k = V_b + \frac{V_p}{\mu}$$

ove è $V_p = V_* - V'_k$. Si ha pertanto

$$V'_k = \frac{\mu V_b + V_o}{\mu + 1}$$

e la variazione del potenziale del catodo che si è avuta nel passare dalla condizione in cui le griglie hanno potenziali uguali a quella per cui la sezione B arriva all'interdizione è stata

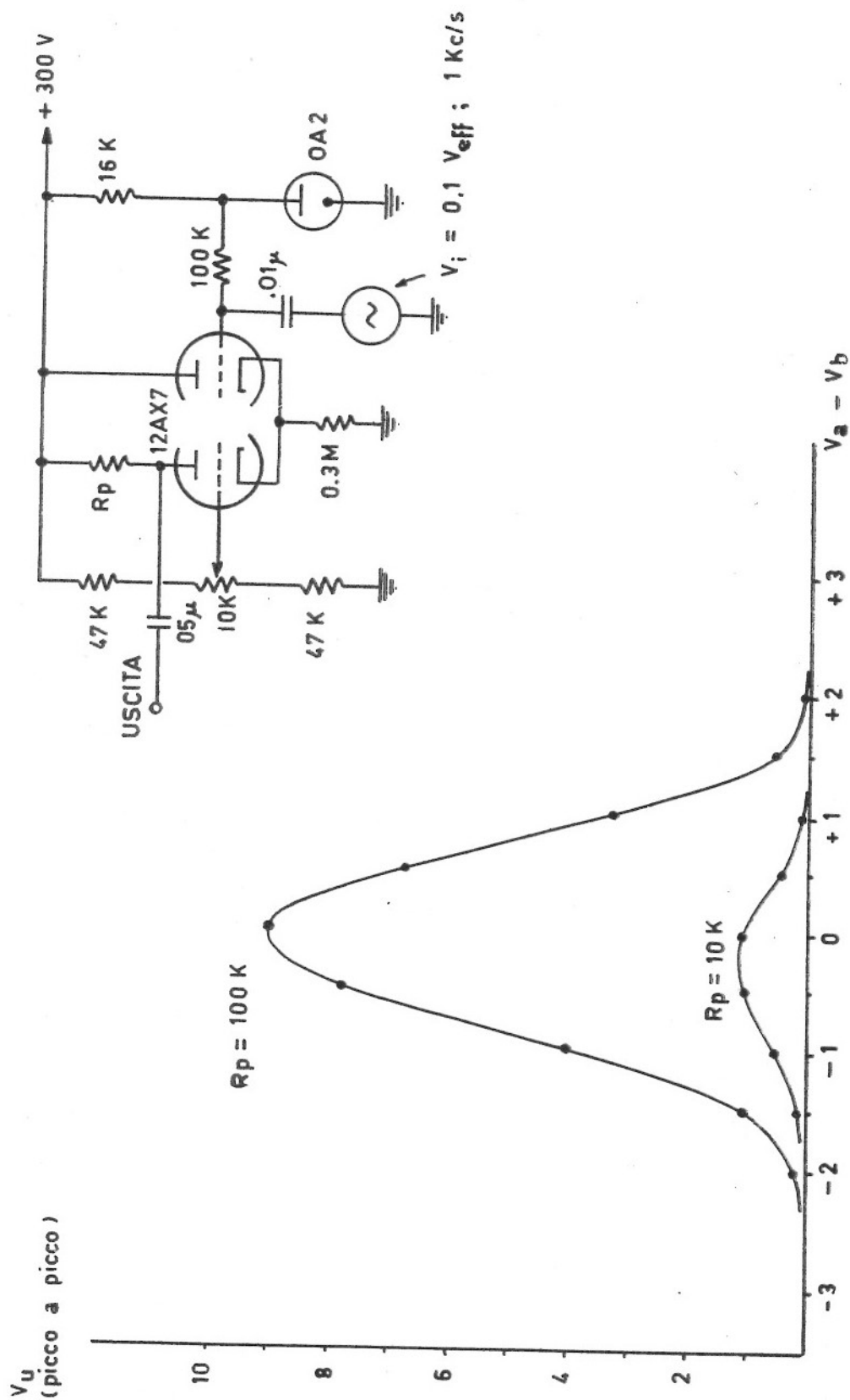


Fig. 3. - Ampiezza del segnale in uscita in funzione della tensione applicata alla griglia della sezione A per due valori di R_p , e circuito con cui si sono ottenute le curve.

$$V'_k - V_k = \frac{\mu V_b + V_o}{\mu + 1} - \frac{\mu V_b + V_o}{\mu + 1 + \frac{\rho}{2 R_k}}$$

Tale variazione è ovviamente tanto minore quanto più R_k è grande rispetto a ρ .

Nel caso di un doppio triodo 12AX7, per le cui caratteristiche possono esser presi i seguenti valori:

$$\begin{aligned}\mu &= 100 \\ \rho &= 80.000 \text{ ohm}\end{aligned}$$

facendo

$$\begin{aligned}V_o &= 300 \text{ volt} \\ V_b &= 150 \text{ volt} \\ R_k &= 0,3 \text{ Mohm}\end{aligned}$$

si ha:

$$\begin{aligned}V_k &= 151,286 \text{ volt} \\ V'_k &= 151,485 \text{ volt} \\ \Delta V_k = V'_k - V_k &= 0,2 \text{ volt}\end{aligned}$$

La variazione di potenziale del catodo implica, come si è visto, una variazione approssimativamente doppia della tensione da misurare V_a . E' quindi sufficiente una variazione ΔV_a di circa 0,4 volt della tensione della griglia del triodo A per passare dalla condizione $V_a = V_b$ alla condizione in cui la sezione B non conduce. Si intuisce poi immediatamente che l'escursione totale di V_a per cui si passa dall'interdizione della sezione A all'interdizione della sezione B è approssimativamente il doppio di ΔV_a e, nell'esempio considerato, è dell'ordine di 0,8 volt.

Ovviamente la larghezza della banda $2\Delta V_a$ dei valori di V_a entro la quale il segnale in uscita è diverso da zero aumenta in realtà, per la presenza della resistenza di placca R_p , in quanto per una data escursione di V_a si ha un'escursione della tensione dei catodi minore della metà dell'escursione di V_a . Altra causa di allargamento della banda sta nel fatto che le caratteristiche del tubo variano notevolmente in prossimità dell'interdizione. Infine un'ulteriore causa di allargamento è dovuta alla tensione alternata prodotta dal generatore G, sovrapposta alla tensione continua, in quanto il triodo che si trova in prossimità dell'interdizione è riportato periodicamente alla conduzione per una certa fra-

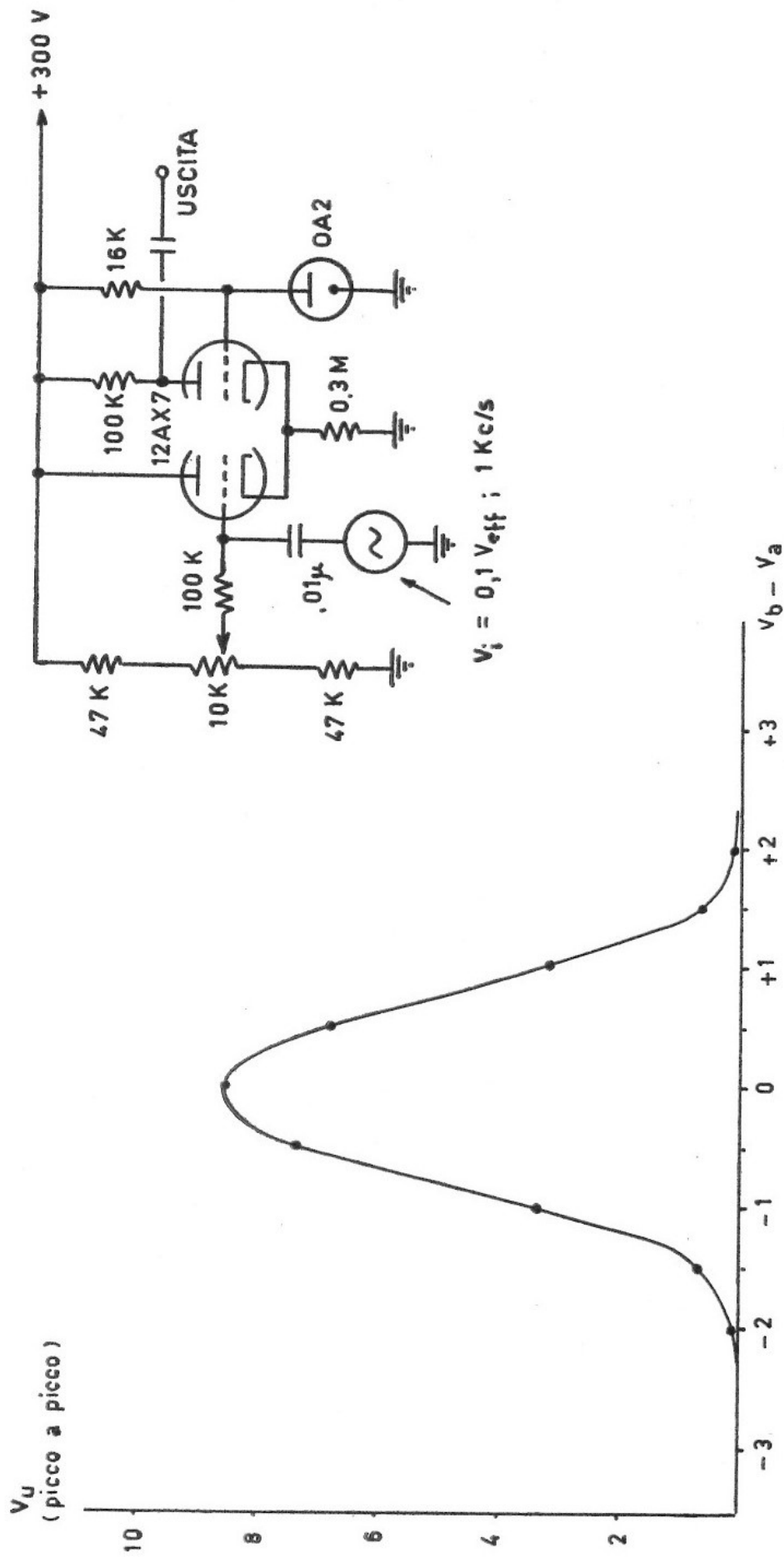


Fig. 4. - Ampiezza del segnale in uscita in funzione della tensione applicata alla griglia della sezione B, e circuito con cui si è ottenuta la curva.

zione di ciclo: sotto questo punto di vista è pertanto conveniente che il segnale prodotto dal generatore sia di piccola ampiezza.

GUADAGNO IN TENSIONE DELLO STADIO COMPARATORE NEI RIGUARDI DEL SEGNALE DEL GENERATORE

Nelle condizioni in cui ambedue le sezioni conducono è facilmente calcolabile il guadagno in tensione del comparatore nei riguardi del segnale di ampiezza efficace v_g prodotto dal generatore G.

La sezione B, alla tensione continua della cui griglia è sovrapposto il segnale v_g , fornirebbe un'uscita catodica (fig. 5).

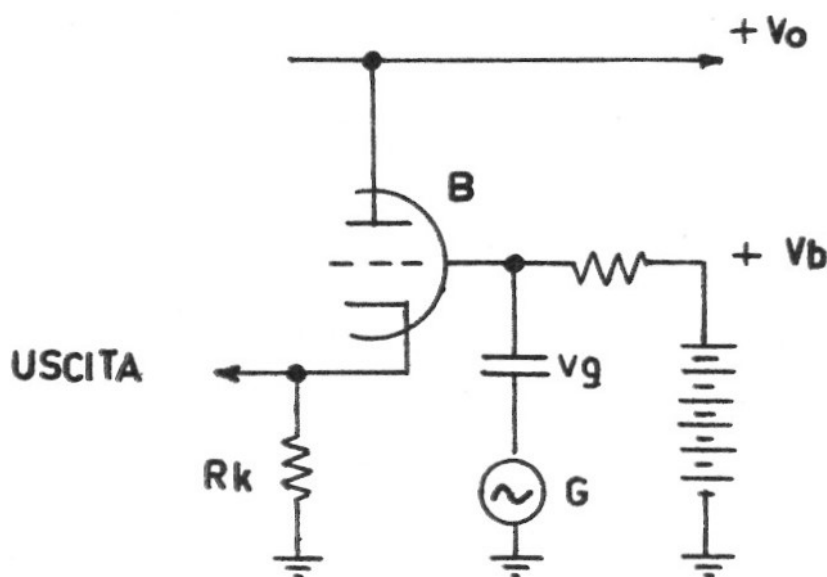


Fig. 5. - Triodo ad uscita catodica costituito dalla sezione B.

$$v_k = \frac{R_k}{R_k + \frac{\rho}{\mu + 1}} \frac{\mu}{\mu + 1} v_g$$

se il suo catodo non fosse connesso al catodo della sezione A. Questa presenta una resistenza d'entrata (fig. 6).

$$R_e = \frac{\rho + R_p}{\mu + 1}$$

su cui si chiude la resistenza interna del generatore costituito dalla sezione

B. Tale resistenza interna è $\frac{\rho}{\mu + 1}$ in parallelo ad R_k , ed essendo

$R_k \gg \varrho$ la resistenza interna può esser considerata uguale a $\frac{\varrho}{\mu + 1}$. Pertanto l'ampiezza del segnale sui catodi è

$$v'_k = \frac{R_e}{R_e + \frac{\varrho}{\mu + 1}} v_k = \frac{\varrho + R_p}{2\varrho + R_p} v_k = \frac{\mu}{\mu + 1} \frac{R_k (\varrho + R_p)}{\left(\frac{\varrho}{\mu + 1} + R_k\right) (2\varrho + R_p)} v_g,$$

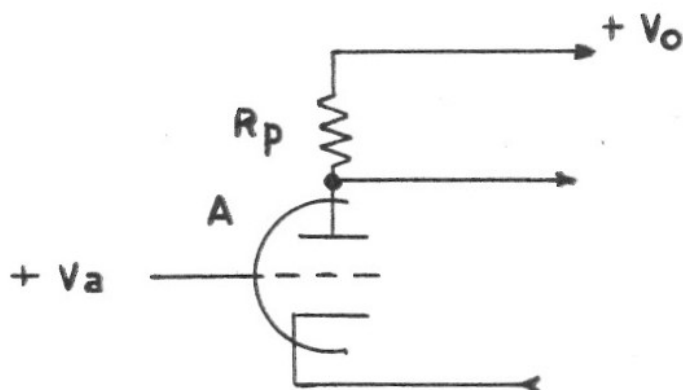


Fig. 6. - Triodo ad entrata catodica costituito dalla sezione A.

ed essendo $\frac{\varrho}{\mu + 1} \ll R_k$, si può scrivere

$$v'_k \approx \frac{\mu}{\mu + 1} \frac{\varrho + R_p}{2\varrho + R_p} v_g.$$

La sezione A fornisce un'uscita

$$u = \frac{R_p}{\varrho + R_p} (\mu + 1) v'_k = \frac{R_p}{2\varrho + R_p} \mu v_g.$$

Il guadagno del doppio triodo nei riguardi della tensione alternata v_g è quindi pari a quello che avrebbe un unico triodo con resistenza interna doppia, ed essendo quindi ancora notevole è conveniente entrare con un segnale v_{g1} molto piccolo, come si è già accennato, per non allargare la banda $2\Delta V_{\text{a}}$ dei valori di V_{a} per i quali l'uscita è diversa da zero.

UN'APPLICAZIONE DEL COMPARATORE

Una tipica applicazione del comparatore descritto è rappresentata da un apparato per il conteggio e la registrazione automatica dei numeri di impulsi. Tale apparato, progettato e costruito presso il Reparto di

Elettronica dell'Istituto Superiore di Sanità, è destinato a contare e registrare dei segnali o impulsi elettrici, quali, ad esempio, quelli prodotti da un contatore di Geiger o da un oscillatore.

L'apparato comporta due entrate: ad una di queste sono applicati i suddetti impulsi da contare, ed all'altra sono applicati altri impulsi, che definiremo « di comando », prodotti da un generatore d'impulsi ad intervalli di tempo prefissati. Ciascuno di questi impulsi di comando provoca automaticamente l'arresto del conteggio, la registrazione su un foglio o su una striscia di carta del numero degli impulsi contato e l'azzeramento del sistema elettrico di conteggio. Successivamente il conteggio riprende nuovamente fino all'arrivo del successivo impulso di comando.

L'apparecchio è costituito fondamentalmente dalle seguenti unità:

a) Una scala decadica per il conteggio degli impulsi. Nell'apparato realizzato vi sono quattro decadi e pertanto possono essere contati fino a 9999 impulsi.

b) Un'unità capace di fornire, all'arrivo di ciascun impulso di co-

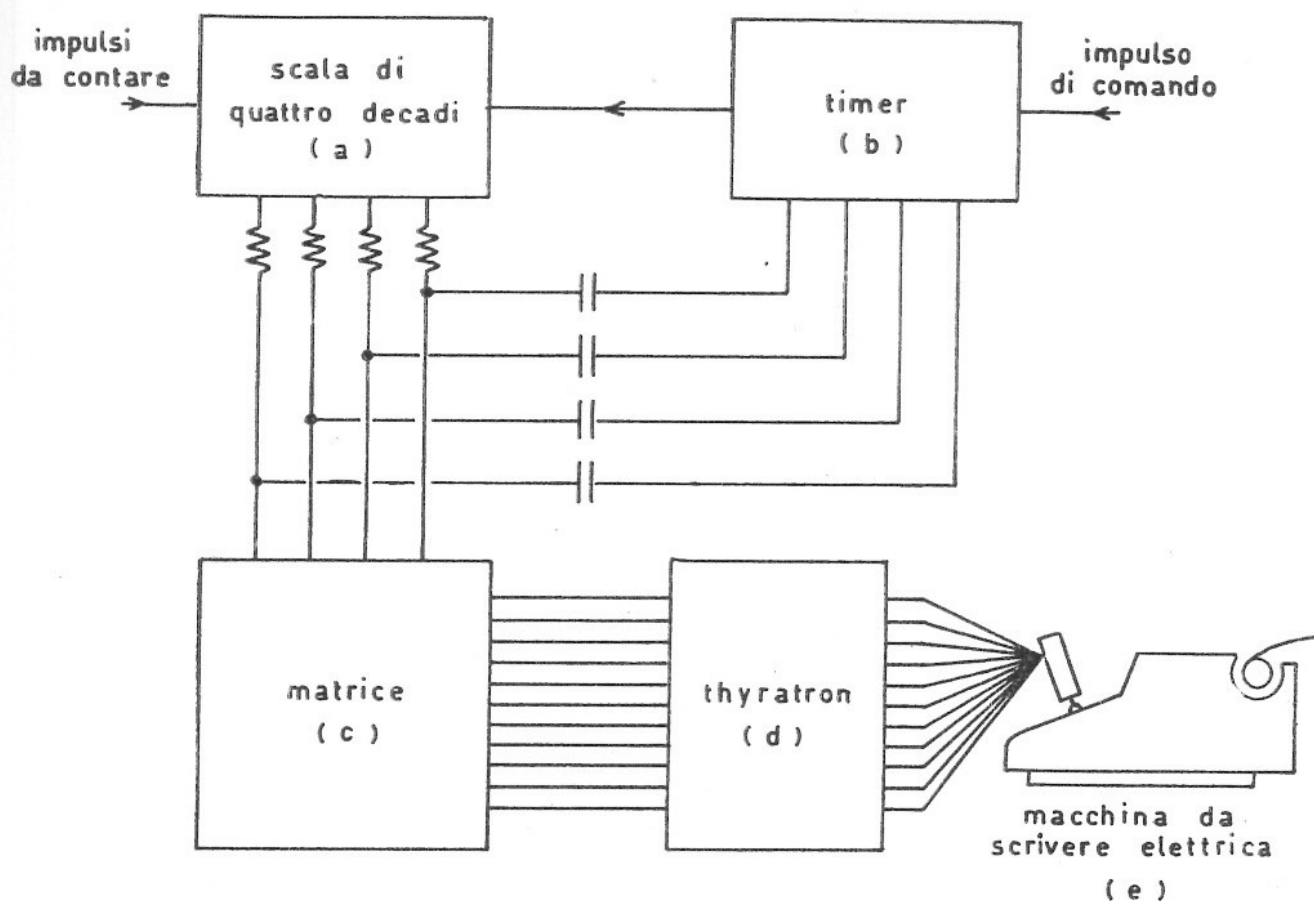


Fig. 7. - Schema a blocchi del registratore elettronico di numeri di impulsi.

mando, la successione dei segnali occorrenti per le operazioni di registrazione del numero.

c) Una matrice di comparatori di tensione che smista i segnali, prodotti dall'unità di cui al punto b), relativi alle potenze decrescenti di dieci, ai canali relativi alle cifre (0 ... 9). Per un apparato la cui scala comprende quattro decadi si hanno quindi quaranta comparatori nella matrice.

d) Un'unità comprendente dieci thyatron.

e) Una macchina da scrivere elettrica, i cui tasti dei numeri sono premuti da pulsanti elettromagnetici comandati dai thyatron.

Lo schema a blocchi dell'apparato è mostrato in fig. 7.

a) SCALA DECADICA

E' stata realizzata con quattro tubi Philips E1T montati secondo il circuito descritto dalla Philips (¹).

Gli elettrodi D' ed a_2 di ciascun tubo, collegati insieme, assumono

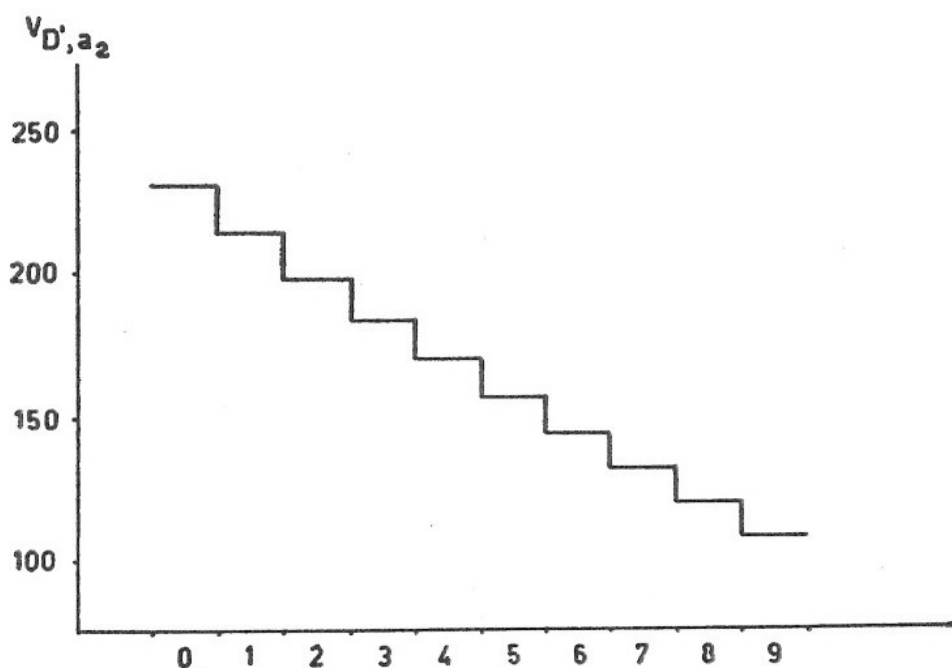


Fig. 8. - Tensione degli elettrodi D' ed a_2 del tubo E1T in funzione del numero indicato.

un potenziale il cui valore dipende dalla cifra (0 ... 9) indicata dal tubo (fig. 8): si hanno quindi quattro uscite a potenziali variabili, misurando i quali è possibile « leggere » elettronicamente il numero indicato.

b) GENERATORE DELLA SEQUENZA DEI SEGNALI

Una serie di quattro multivibratori monostabili è disposta in cascata. Il primo di questi viene fatto scattare da un impulso di comando (che, come si è accennato, può pervenire per esempio ad intervalli di tempo

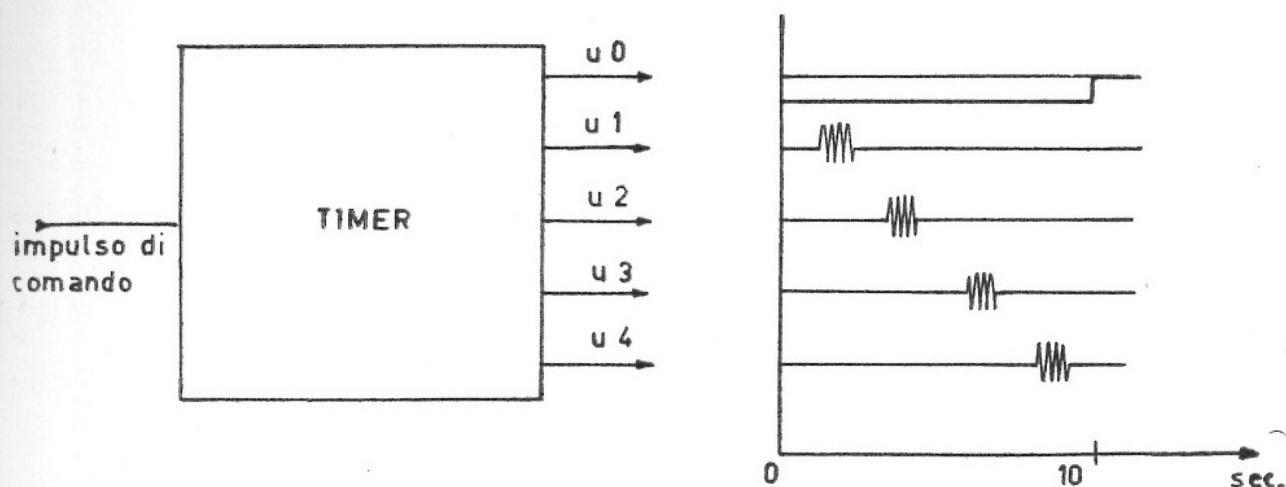


Fig. 9. - Uscite del timer e relativi segnali emessi nel tempo in conseguenza di un impulso di comando pervenuto al tempo $t=0$.

prefissati), ed al ritorno allo stato stabile ciascun univibratore fa scattare il successivo.

Per una frazione della durata di ciascun impulso degli univibratori l'unità fornisce rispettivamente alle uscite u_1 , u_2 , u_3 ed u_4 (fig. 9) quattro segnali, ciascuno dei quali consiste in un treno di oscillazioni (per la cui frequenza si è trovato opportuno il valore di 1 Kc/s). Tali treni di oscillazioni, per la loro durata, come si vedrà più dettagliatamente nel paragrafo successivo riguardante la matrice, agiscono per ciascun comparatore come la tensione alternativa del generatore G della fig. 1. Questa unità fornisce inoltre un segnale costituito da una tensione negativa (u_0) che interdice l'amplificatore della scala decadica e blocca così il conteggio per una durata tale da comprendere le operazioni di registrazione.

c) MATRICE

I comparatori di tensione costituiscono gli elementi di una matrice di quattro colonne e dieci righe (fig. 10). Ognuna delle colonne corrisponde ad una potenza di dieci ($10^4 \dots 10^0$), cioè ad una decade della scala, e ciascuna riga ad una cifra (0 ... 9).

Le tensioni di riferimento delle griglie delle sezioni B dei comparatori sono regolate in modo che per ciascuna cifra indicata da una decade

vi sia un comparatore della rispettiva colonna con entrambe le sezioni nella condizione di condurre corrente. In tal modo, se ad un certo istante arriva il segnale costituito dal treno di oscillazioni dal generatore della

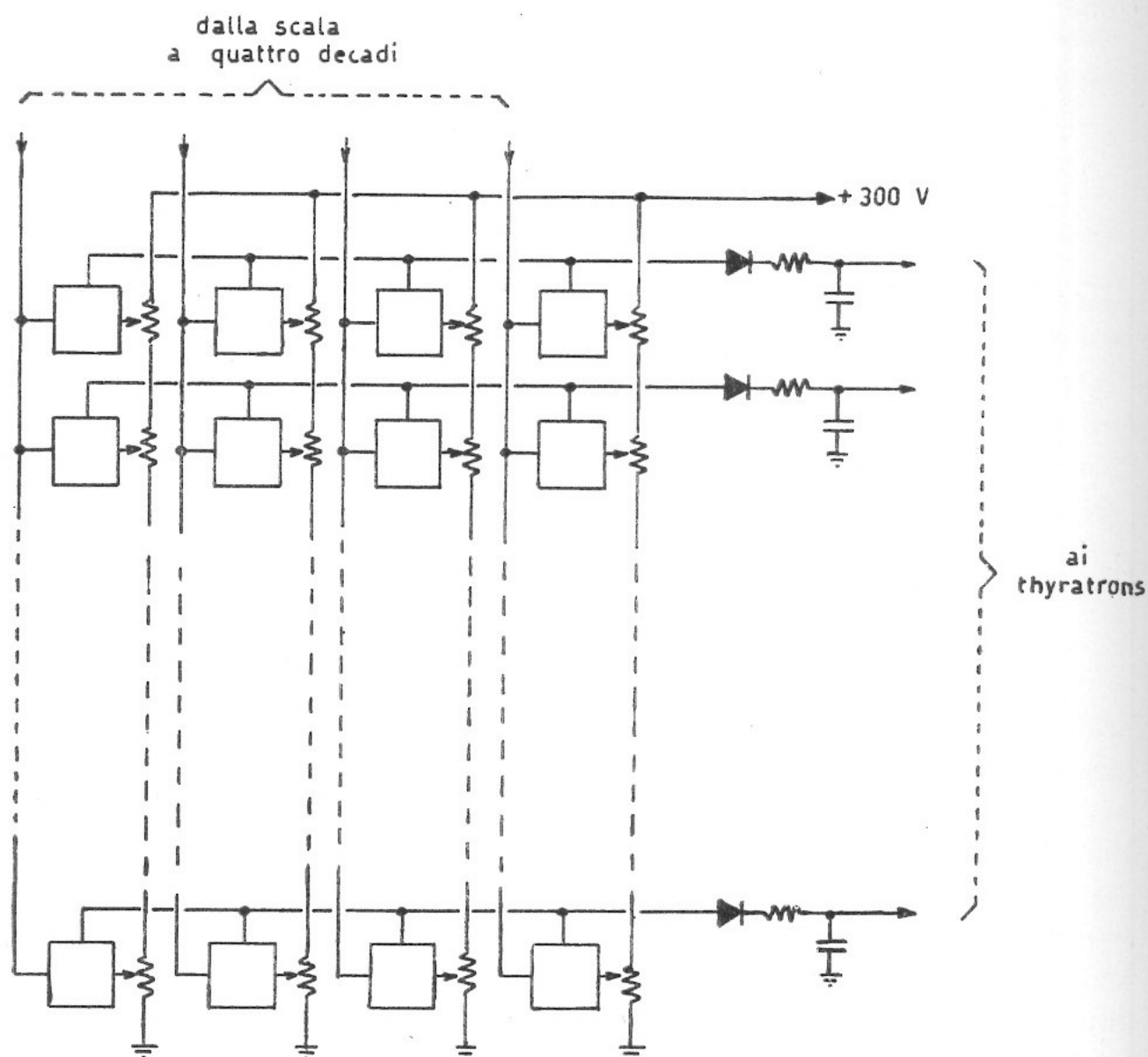


Fig. 10. - Schema a blocchi della matrice di discriminatori.

sequenza dei segnali, si avrà il segnale in uscita da quella riga a cui appartiene il comparatore, corrispondente al numero indicato dalla rispettiva decade.

Le uscite $u_1 \dots u_4$ del generatore della sequenza dei segnali sono inviate alle colonne connesse rispettivamente alla prima decade (migliaia), alla seconda (centinaia), alla terza (decine) ed alla quarta (unità). Così le rispettive cifre corrispondenti alle potenze decrescenti di dieci vengono registrate nel loro ordine.

d) UNITÀ THYRATRON

L'uscita di ciascuna riga della matrice è amplificata, rettificata ed applicata attraverso un integratore alla griglia del thyatron corrispondente. L'integratore ha lo scopo di eliminare i segnali spuri dovuti alle variazioni di tensione che si hanno alle uscite delle decadi durante il conteggio.

I thyatron, accendendosi, azionano mediante pulsanti elettromagnetici i tasti della macchina da scrivere elettrica.

CONSIDERAZIONI RELATIVE AL REGISTRATORE ELETTRONICO DI NUMERI DI IMPULSI

Sebbene il registratore qui descritto sia alquanto più complesso di altri tipi in cui si fa uso di tubi selettori ⁽²⁾, si ritiene che l'apparato possa costituire un'interessante applicazione del discriminatore descritto, in quanto rende possibile la registrazione di numeri di impulsi contati con i tipi più veloci di scale: infatti nella scala (a) i tubi E1T possono esser montati secondo particolari circuiti ⁽³⁾ ⁽⁴⁾ con cui si possono raggiungere velocità di conteggio dell'ordine di 10^6 impulsi al secondo, altrimenti possono esser impiegate decadi con « flip-flop » con cui si possono anche superare tali velocità, e dalle quali si può ottenere una tensione d'uscita che sia funzione del numero di impulsi contato. La particolarità di questo registratore consiste appunto nella possibilità di impiegare scale decadiche dei tipi più veloci effettuando le operazioni di « read-out » in maniera completamente elettronica, senza introdurre parti elettromeccaniche all'infuori dei pulsanti e della macchina da scrivere, per la quale si sfruttano tutti i vantaggi che derivano dalla lunga esperienza e dalla produzione su scala industriale.

Si ringraziano i tecnici L. DA CAS, U. e M. DE ANGELIS, A. CASAGRANDE ed S. MARGARITA per la loro intelligente e fattiva assistenza tecnica nella realizzazione dell'apparato registratore.

Roma — Istituto Superiore di Sanità - Laboratorio di Elettronica.

BIBLIOGRAFIA

- ⁽¹⁾ VAN OVERBEEK A.J.W.M., JONKER J.L.H. et RODENHUIS K. - Rev. Techn. Philips, 44: 353 (1953).
- ⁽²⁾ FRANK M. - Selected Scientific Papers from the Istituto Superiore di Sanità, 1: 281 (1956).
- ⁽³⁾ NATHER R. E. - Electronics, 27: (10) 174 (1954).
- ⁽⁴⁾ PORAT D. I. - Rev. Sci. Instr., 27: (3) 450 (1956).