

62. Marco FRANK — **Densitometro transistorizzato con cellule a strato di sbarramento.**

Riassunto. — Nei densitometri bilanciati a cellule fotovoltaiche queste sono generalmente montate in opposizione di tensione. Questa disposizione viene discussa tenendo conto della teoria del funzionamento delle cellule fotovoltaiche.

Si confronta il comportamento di questo circuito con quello di un circuito ad opposizione di corrente. La stabilità di quest'ultimo è tale che l'uscita del circuito può essere amplificata mediante transistori

Résumé. — Dans les néphélomètres balancés à cellules photovoltaïques ces dernières sont employées généralement en opposition de voltage. Ce montage ne semble pas le plus indiqué en tenant compte de la théorie de fonctionnement des cellules de ce type.

On compare ce montage avec un montage à opposition de courant.

La stabilité de ce dernier est telle que l'on peut y ajouter un amplificateur à transistors.

Summary. — Barrier layer cells employed in balanced nephelometers are generally mounted in voltage opposition circuits. This arrangement is discussed taking account of barrier layer cell theory.

Conventional voltage opposition circuit and a current opposition arrangement are compared.

Stability of the latter is very good, allowing the possibility of following the cell circuit by a transistorised amplifier.

Zusammenfassung. — In den balancierten, mit Sperrschicht versehenen Nephelometern, ist die Sperrschicht im allgemeinen in Spannungsopposition. Diese Disposition wird in Berücksichtigung der Theorie der Sperrschicht diskutiert.

Das Verhalten dieser Leitung wird mit dem einer Oppositionsstromleitung verglichen. Die Stabilität der letzteren ist derart, dass der Ausgang der Leitung mit Hilfe von Transistoren verstärkt werden kann.

Le cellule fotovoltaiche oltre al vantaggio di non richiedere alimentazione presentano caratteristiche di bassa impedenza, di stabilità ⁽¹⁾ e di estensione della superficie sensibile per cui esse sono frequentemente

preferite alle cellule fotoelettriche a vuoto o a gas in larghi campi di applicazione, quali la fotometria e la densimetria, semprechè non si richieda una risposta molto veloce.

CIRCUITI PER DENSITOMETRI

In fig. 1a è mostrato un semplice densitometro. Ovviamente la sensibilità della misura è legata alla stabilità della sorgente di luce.

E' possibile rendere la misura più indipendente dalla intensità della sorgente ricorrendo ad una disposizione bilanciata in cui le cellule siano montate in opposizione: il galvanometro funziona da strumento di zero e la misura è effettuata in base alla posizione che deve assumere un diaframma od altro sistema limitatore della luce incidente affinchè si ottenga il bilanciamento.

Per rendere la misura del tutto indipendente dalla intensità della sorgente di luce occorre che le caratteristiche delle due cellule siano identiche (eventualmente a meno di una costante). Tale condizione ideale è tanto più facilmente approssimabile quanto più sono lineari le caratteristiche.

Com'è noto, essendo la funzione di lavoro del semiconduttore di una cellula fotovoltaica notevolmente maggiore di quella del metallo, degli elettroni dal metallo si stabiliscono nel semiconduttore riempiendovi i livelli più prossimi dovuti alle impurità: si viene così a creare un campo elettrico in corrispondenza della giunzione tra il metallo ed il semiconduttore, diretto dal primo al secondo.

Se vengono prodotti dei fotoelettroni nella regione in cui vi è il campo, essi hanno una vita alquanto lunga poichè non trovano livelli vuoti in cui cadere e sotto l'azione del campo stesso vengono accelerati verso il metallo, formando così la corrente fotoelettrica.

A circuito aperto i fotoelettroni che tendono ad accumularsi sul metallo dando luogo alla d.d.p. misurabile esternamente, riducono il campo esistente in corrispondenza della giunzione dovuto alla differenza delle funzioni di lavoro, ed al limite, per illuminazioni molto forti, la f.e.m. raggiunge la differenza delle funzioni di lavoro nel semiconduttore e nel metallo, e conseguentemente il campo e la corrispondente barriera scompaiono, ed i fotoelettroni non sono ulteriormente accelerati verso il metallo.

L'andamento della d.d.p. in funzione dell'illuminazione a circuito aperto è quindi decisamente asintotico (fig. 2a).

Viceversa a circuito chiuso non si può avere accumulazione di carica

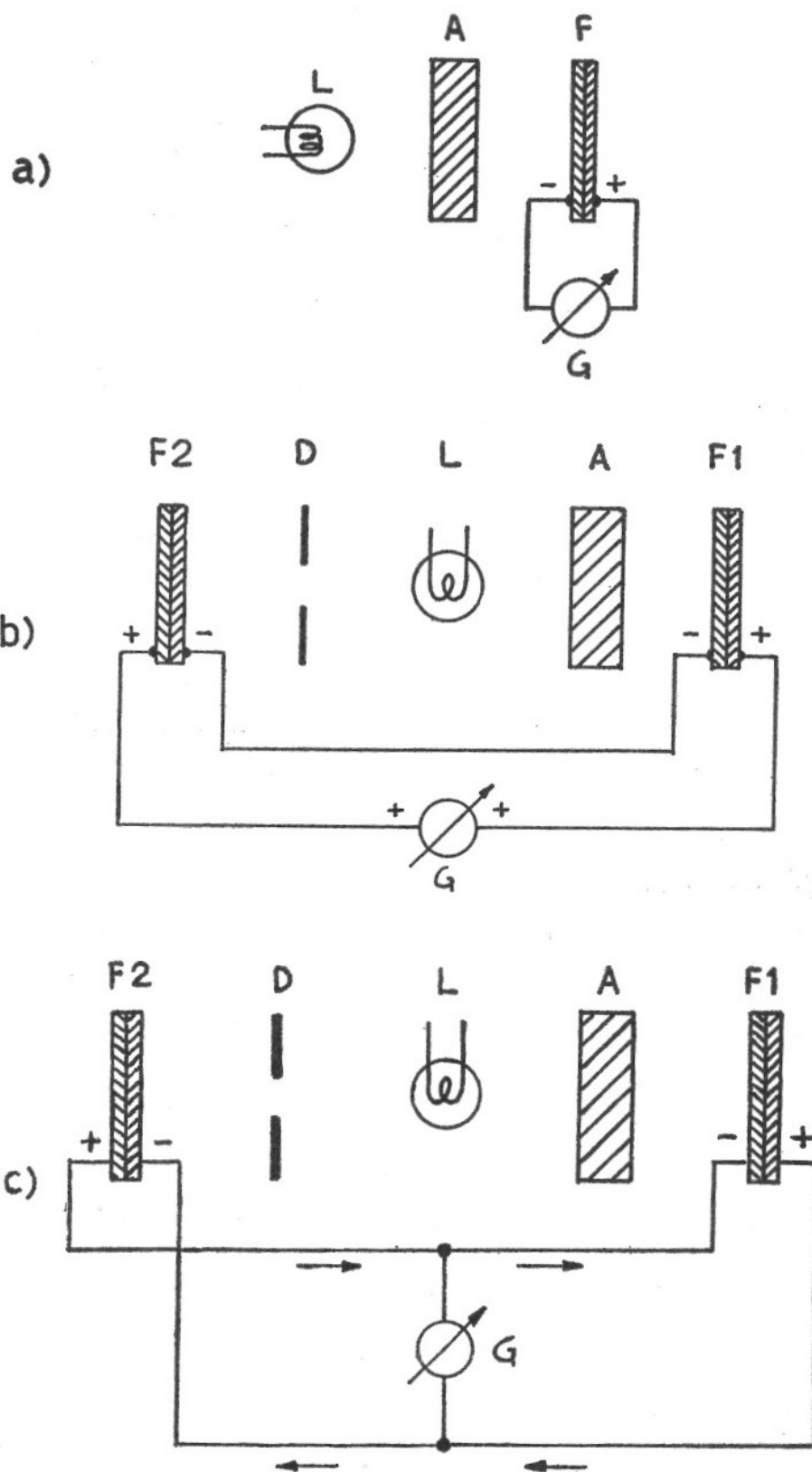


Fig. 1a. - Densitore ad una fotocellula:
 A - Campione semitrasparente;
 F - Fotocellula;
 G - Galvanometro;
 L - Lampadina.

Fig. 1b. - Densitometro differenziale a bilanciamento di tensioni
 (ELLINGER e HOLDEN).

Fig. 1c. - Densitometro differenziale a bilanciamento di correnti.

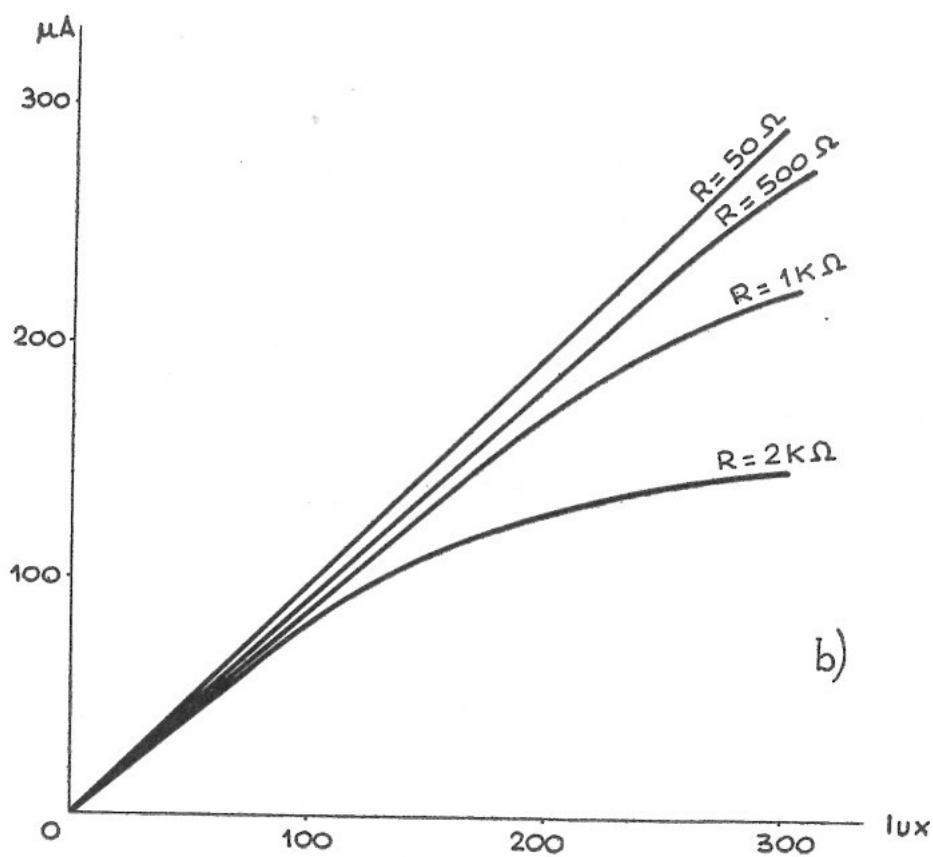
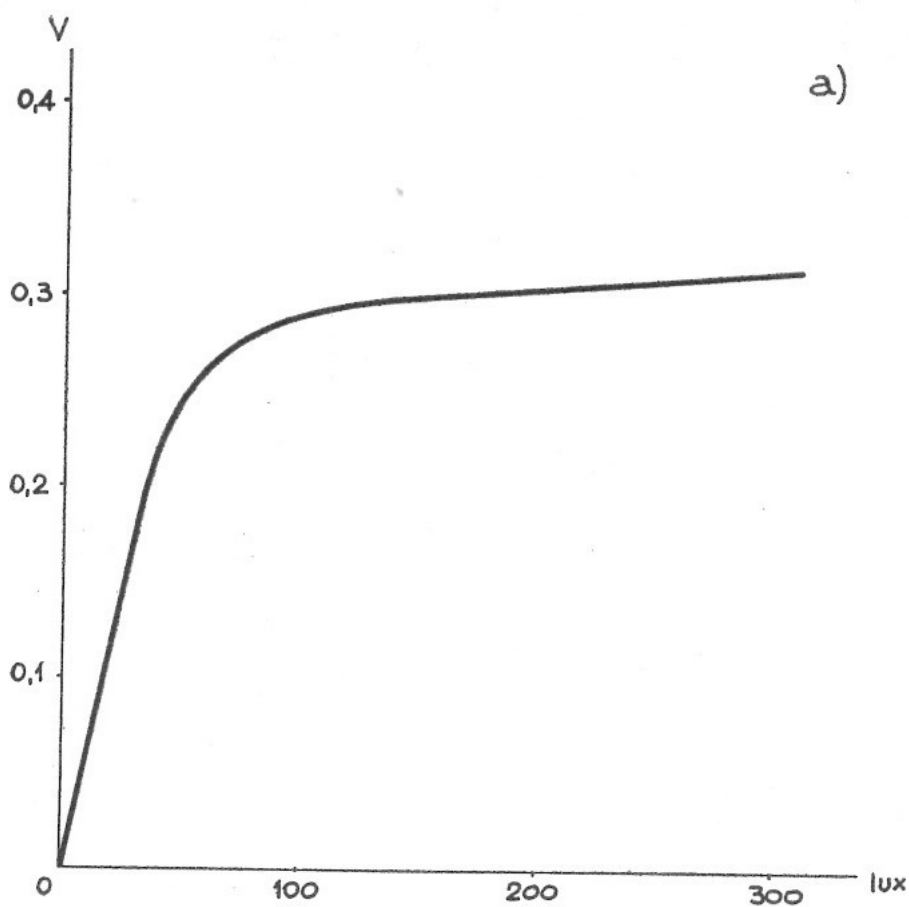


Fig. 2a. - Andamento della d.d.p. di una cellula fotovoltaica in funzione dell'illuminazione, a circuito aperto.

Fig. 2b. - Andamento della corrente di una cellula fotovoltaica in funzione dell'illuminazione, per diversi valori del carico.

negativa sul metallo, il campo elettrico in corrispondenza dello strato non varia considerevolmente con l'illuminazione, e la corrente è proporzionale al numero degli elettroni liberati per fotoeccitazioni e quindi all'illuminazione stessa. Tale linearità è confermata dal grafico di fig. 2b, ed è tanto migliore quanto più è bassa la resistenza di carico, cioè quanto più ci si avvicina alle condizioni di corto circuito.

Partendo da queste considerazioni, in luogo della disposizione generalmente adottata ⁽²⁾, riportata in fig. 4b, si è preferito collegare le cellule come in fig. 4c: in tal modo, una volta effettuato il bilanciamento delle correnti, si ha un corto circuito virtuale tra i terminali del galvanometro, a cui corrisponde quindi un carico $R = 0$, e pertanto le caratteristiche possono essere considerate sensibilmente lineari.

RISULTATI SPERIMENTALI

1) Stabilità del bilanciamento.

Sono state misurate le deviazioni dallo zero della corrente del galvanometro in funzione dell'illuminazione di ambedue le cellule in modo comune, sia per il circuito a bilanciamento di tensioni di fig. 4b, sia per quello a bilanciamento di correnti di fig. 4c. L'illuminazione è stata va-

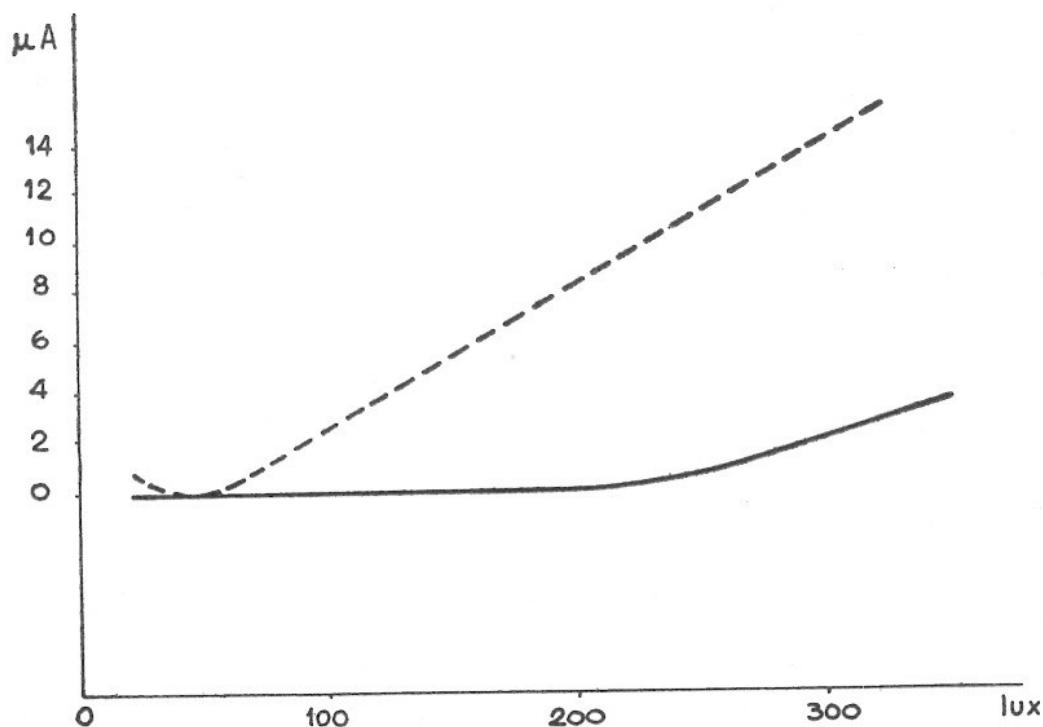


Fig. 3. - Andamento degli scostamenti dallo zero della corrente del galvanometro nel caso del circuito a bilanciamento di correnti (linea continua) e del circuito a bilanciamento di tensioni (linea tratteggiata).

riata mediante un reostato sulla lampadina in modo da riprodurre condizioni incostanti di alimentazione della sorgente luminosa. I valori dell'illuminazione si riferiscono ad una delle due cellule, mentre l'altra è stata posta in condizioni di ottenere il bilanciamento almeno in un punto entro la gamma di illuminazioni considerate.

L'andamento degli scostamenti dallo zero della corrente del galvanometro per i due circuiti, riportato in fig. 3, mostra chiaramente i vantaggi di stabilità ottenibili con la disposizione a bilanciamento di correnti.

2) Sensibilità.

E' stata misurata la corrente del galvanometro prodotta dalla riduzione dell'illuminazione di una delle due cellule, in modo differenziale. I risultati comparativi per i due tipi di circuiti sono riportati nella seguente tabellina.

Corrente corrispondente ad una riduzione del 5% dell'illuminazione di una sola cellula

Circuito	Illum. base 100 lux	Illum. base 250 lux
bilanciamento di tensioni	2 μ A	5 μ A
bilanciamento di correnti	12 »	30 »

Anche sotto il punto di vista della sensibilità la disposizione a bilanciamento di correnti appare quindi preferibile a quella a bilanciamento di tensioni.

INCREMENTO DELLA SENSIBILITÀ MEDIANTE AMPLIFICAZIONE.

La stabilità del circuito a bilanciamento di correnti consente di aumentare notevolmente la sensibilità del sistema interponendo un amplificatore tra il circuito delle cellule ed il galvanometro. L'amplificatore inoltre fornisce un guadagno in potenza la cui importanza diviene rilevante quando il densitometro sia usato in un sistema di controllo automatico.

Data la resistenza interna relativamente bassa delle cellule e le minime tensioni in gioco, è sembrato opportuno ricorrere ad un amplifica-

tore a transistori; ma poichè un amplificatore di tal tipo mal si presta per l'amplificazione di correnti continue per i noti inconvenienti di deriva e per le difficoltà di adattamento d'impedenza tra stadio e stadio, l'amplificatore è stato fatto precedere da un interruttore a lamina vibrante, alimentato da un oscillatore, che interrompe periodicamente la corrente applicata all'ingresso dell'amplificatore, ad una frequenza di 1 Kc/s.

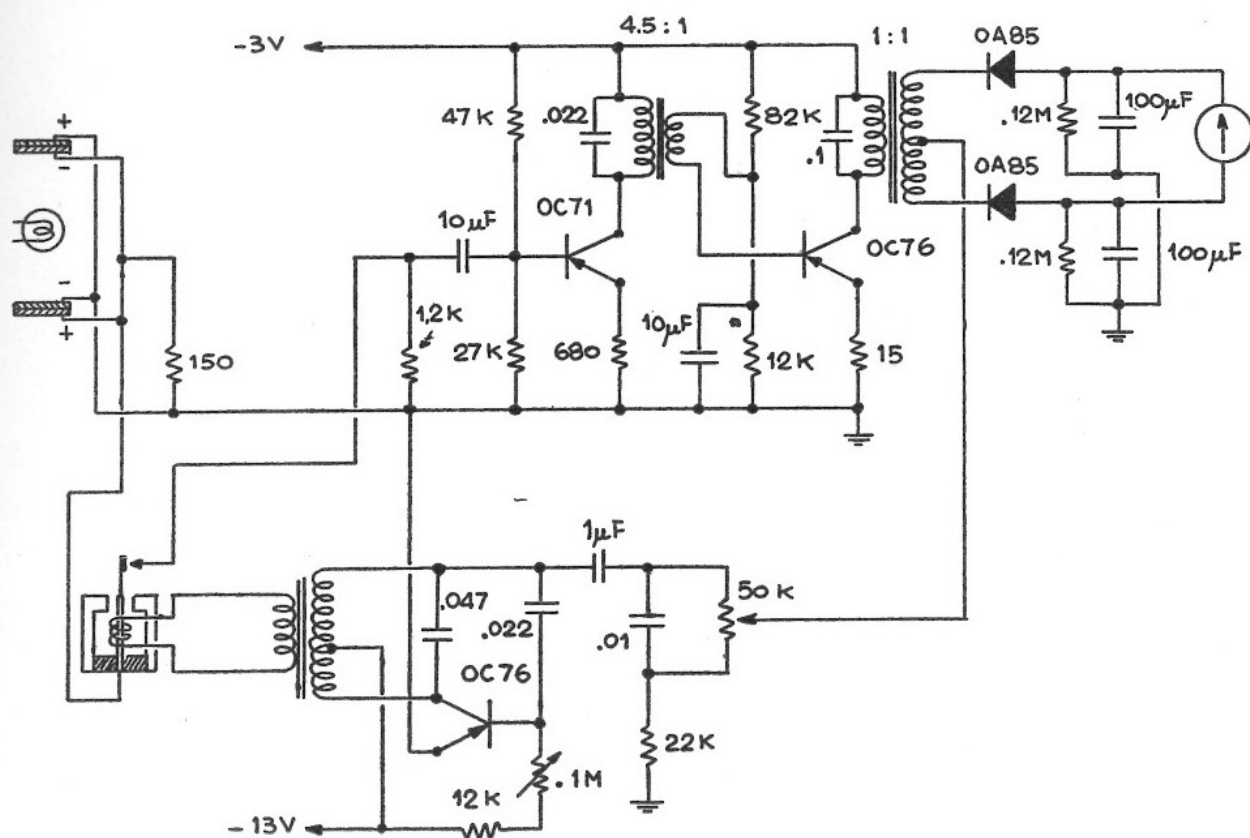


Fig. 4. - Schema del complesso.

Tale disposizione presenta il notevole vantaggio di non peggiorare in alcun modo la stabilità di bilanciamento delle cellule.

La risposta dell'amplificatore è approssimativamente « passa banda » con un massimo intorno a 1 Kc/s.

Affinchè la polarità della tensione d'uscita fornisca l'indicazione del senso dello sbilanciamento, l'amplificatore è seguito da un comparatore di fase che confronta la fase della tensione d'uscita con quella dell'oscillatore che alimenta l'interruttore a 1 Kc/s. Le fasi delle due tensioni sono in opposizione o coincidenti a seconda se l'una o l'altra cellula è più illuminata. Lo schema del complesso è mostrato in fig. 4. Il guadagno in sensibilità ottenibile è di circa 20. Il complesso comprende un circui-

to di aggiustamento di fase. In fig. 5 è mostrata la relazione di fase tra la forma d'onda della tensione di alimentazione dell'interruttore a lamina vibrante e quella della tensione continua interrotta.

L'indicazione del senso dello sbilanciamento è particolarmente importante nel caso in cui il densitometro sia connesso ad un sistema di

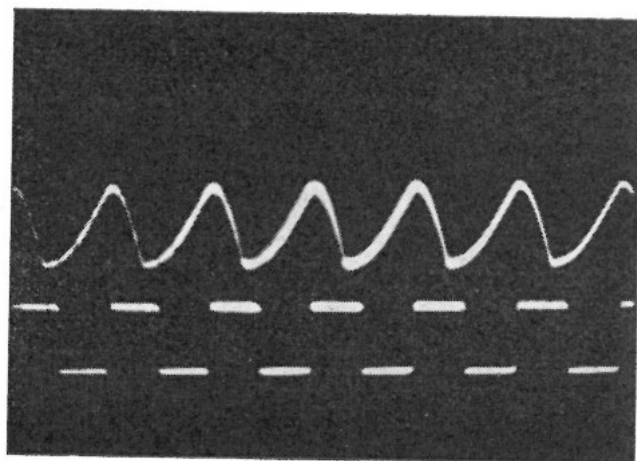


Fig. 5. - Relazione di fase tra la forma d'onda della tensione di alimentazione dell'interruttore a lamina vibrante e quella della tensione continua interrotta.

controllo automatico. Quando tale indicazione non risultasse necessaria, il comparatore di fase potrebbe essere sostituito con vantaggio da un semplice rettificatore.

L'autore tiene a ringraziare vivamente il Sig. U. DE ANGELIS per la sua valida assistenza tecnica.

Roma. — Istituto Superiore di Sanità - Laboratorio di Elettronica.

BIBLIOGRAFIA

- (¹) LANGE B. - Photoelements, Reinhold Publishing Corporation, New York, 1938.
- (²) ELLINGER P., HOLDEN M. - J. Soc. Chem. Ind., 63: 445 (1944).