

**strumenti  
da laboratorio**



# MULTIMETRO DIGITALE

## CARATTERISTICHE TECNICHE

Funzioni misurate: V c.c., V c.a., I c.c.,  
I c.a., k $\Omega$

### Gamme di misura fondo scala:

tensioni: 1 V, 10 V, 100 V, 1000 V  
correnti: 1 mA, 10 mA, 100 mA, 1 A  
resistenze: 1 k $\Omega$ , 10 k $\Omega$ , 100 k $\Omega$ , 1 M $\Omega$

### Impedenza d'ingresso:

non meno di 10 M $\Omega$

### Alimentazione della rete:

115-220-250 Vc.a. — 50-60 Hz

### Consumo:

6 W ~

### Precisione di conversione:

$\pm 0,3\%$

### Coefficiente di temperatura: 0,02%/°C

### Tubi visualizzatori:

3xZM 1336K

### Transistori impiegati:

BC 154 — 2 x BC 115 — BC 222  
BC 116 — 2N 1711

### FET impiegato:

BF 244

### Diodi impiegati:

10 x BA 128 — 2 x BAY 73 — 1N4004  
3 x 1N4001

### Zener impiegati:

2 x BZY88C8V2 — 2 x BZY88C5V1

### Circuiti integrati impiegati:

L005T1, 3 x 7441, 4 x 7490, 7410, 7472,  
7400, 2 x 709 C, 776, L141

Il multimetro digitale è un utilissimo strumento da laboratorio che elimina totalmente gli errori di stima che si possono avere dovendo valutare la posizione di un indice su un quadrante nelle misure elettriche.

La grandezza elettrica viene espressa direttamente da tre cifre significative su un visualizzatore. Lo strumento è capace di misurare tensioni e correnti sia in corrente continua che in corrente alternata. Inoltre è dotato di un circuito di misura delle resistenze.

Ciascuna funzione di misura si può suddividere in quattro portate con moltiplicatore 1, 10, 100, 1000.

Le tre cifre del visualizzatore sono tutte significative in quanto l'over-range è segnalato dall'accensione di una lampada sul frontale. Apposite lampade indicano la funzione e la scala di misura. Una lampada è prevista per segnalare la polarità invertita agli ingressi.

L'alimentazione avviene dalla rete ed è accuratamente stabilizzata ed in grado di assorbire variazioni della tensione di rete di  $\pm 10\%$ .

Lo schema adottato è relativamente semplice, pur permettendo una precisione piuttosto spinta (fino al 0,3%). Il circuito è interamente allo stato solido con eccezione dei tubi del visualizzatore che sono a scarica in gas raro. L'ingresso è ad altissima impedenza, unico per tutte le portate, esclusi i 1000 V c.c. Ingresso compensato in frequenza per le correnti alternate.

**F**ino a tempi molto recenti il re del laboratorio era lo strumento ad indicazione analogica.

In questo la grandezza da misurare era, ed è tuttora, manipolata in modi vari a seconda della necessità ed infine tradotta nello spostamento di un indice che viene reso proporzionale alla grandezza misurata per mezzo di una scala graduata. Dalla posizione dell'indice sulla scala graduata possiamo risalire al valore della grandezza che si misura con una precisione ed un'affidabilità che dipenderanno essenzialmente dalla bontà del dispositivo che sta tra l'elemento d'ingresso e lo strumento indicatore, ma anche da fattori soggettivi. La precisione raggiungibile con questo sistema è limitata sia da fattori fisici che da fattori di costo.

Ora, il termine «analogico» che abbiamo usato presuppone ad intuito l'esistenza di un altro sistema che fornisca una lettura diretta in cifre, eliminando la necessità della trasposizione in cifre della valutazione di una posizione. Questo sistema ha raggiunto negli ultimi tempi uno sviluppo sbalorditivo: si tratta della strumentazione digitale.

Basti pensare all'importanza che ha assunto questo sistema di misura per facilitare la trasmissione di dati in condizioni di propagazione proibitive, come per esempio nelle comunicazioni spaziali. Le meravigliose fotografie di Marte trasmesse dal satellite Mariner 9 non sono state trasmesse infatti con tecniche televisive o telefotografiche, ossia con l'emissione di onde modulate in modo continuo od analogico, ma mediante la trasmissione di serie di impulsi binari, codificati 0 ed 1, che hanno permesso di ricostruire a terra le immagini mediante decodifica.

Il principio della trasformazione di un segnale analogico, ossia variante in modo continuo, in un segnale numerico ossia digitale, è la «quantizzazione» del segnale, cioè la sua suddivisione in elementi suscettibili di assumere due, e due soli, valori distinti e codificati. Esistono vari modi di ottenere la quantizzazione del segnale, ed i vari tipi di strumenti digitali li usano secondo ben precisi criteri di scelta basati su considerazioni di precisione, affidabilità, costo, eccetera.

Naturalmente la quantificazione del segnale introduce un errore, dovuto all'approssimazione del valore vero del segnale in ogni punto con un valore medio all'interno di un intervallo finito. Però, riducendo l'ampiezza di questi intervalli finiti, ci si può approssimare al valore vero molto di più di quanto si possa fare leggendo la posizione dell'indice su una scala, anche usando tecniche raffinatissime.

Tanto per fare un esempio, la precisione di lettura di un tester anche preciso, si aggira sull'1%. La precisione di un tester digitale, anche se abbastanza economico come è quello che presentiamo, sta sullo 0,3% e non è limitata dalle qualità intrinseche del metodo, quanto dalla precisione degli elementi di riferimento.

A parte le considerazioni dette sopra, uno dei più grandi vantaggi della presentazione numerica dei dati è quello della facilità di lettura che, non coinvolgendo l'intervento di stima dell'operatore, è immune dagli errori che potremo definire «di distrazione». Lo stesso fenomeno si verifica nell'uso del regolo calcolatore che, essendo uno strumento analogico, richiede molta più attenzione e tempo di quanto sia necessario usando un calcolatore a presentazione numerica.

Un altro vantaggio della tecnica numerica su quella analogica è che una misura ottenuta nel primo modo può

essere immessa senza ulteriori manipolazioni in un sistema di elaborazione dati che provvederà ad usarla secondo la sua programmazione senza che un operatore umano debba intervenire introducendo una forte probabilità di errore casuale.

La tecnica usata nella realizzazione dello strumento che vogliamo costruire, è forse quella più intuitiva e semplice. In un apposito componente detto comparatore, che è atto a cambiare lo stato logico dell'uscita quando le tensioni alle due entrate siano uguali, si fanno entrare una tensione proporzionale alla grandezza da misurare ed una tensione che varia in modo lineare crescendo periodicamente dal valore zero al valore di riferimento. Quando la tensione della rampa così prodotta ha il valore zero, parte un contatore che conta una serie d'impulsi a frequenza piuttosto alta. Quando il valore della rampa ha raggiunto quello della tensione da misurare il conteggio si interrompe, in quanto il comparatore cambia di stato. Il numero d'impulsi presente nella memoria del dispositivo di visualizzazione al momento dell'interruzione del conteggio, viene presentata sul display (visualizzatore), mentre lo strumento viene predisposto per un'altra misura azzerando la rampa e facendola ripartire. Naturalmente noi leggeremo il valore istantaneo della grandezza da misurare al momento dell'interruzione del conteggio, ma, dato che la lettura si ripete ad intervalli molto brevi, questo sarà un inconveniente del tutto trascurabile.

L'insieme delle operazioni da eseguire prende il nome di «conversione analogico-digitale». Il particolare sistema da noi usato è quello detto «ramp and counter» (rampa e contatore).

In questo sistema il valore della grandezza da misurare è trasformato in un impulso digitale di durata proporzionale

al valore della grandezza. Un adatto contatore conta il numero d'impulsi di orologio (clock) contenuti in questo impulso di durata variabile. Siccome la frequenza del generatore di orologio è costante (mantenuta tale da un dispositivo a quarzo), avremo che anche il numero degli impulsi di clock contati dal contatore sarà proporzionale alla grandezza da misurare. Un opportuno sistema trasforma il numero di impulsi di orologio contati in una serie di cifre decimali nell'unità di misura della grandezza da valutare.

Il vantaggio del sistema adottato consiste nella sua relativa semplicità, se rapportata ad altri sistemi più precisi. Ma per l'uso corrente di laboratorio una eccessiva precisione che si estenda oltre la terza cifra significativa è senz'altro sprecata. Una precisione effettiva dello 0,3 — 0,6% è più che sufficiente per garantire il successo di qualsiasi applicazione pratica.

Per facilitare la descrizione dello schema elettrico che daremo in seguito, faremo ora una descrizione stenografica del funzionamento dello strumento.

Le varie grandezze e le varie scale di cui lo strumento è dotato, sono trattate dagli stadi d'adattamento in modo che qualsiasi grandezza presente all'ingresso sia opportunamente trasformata nell'unica grandezza che lo strumento è capace di manipolare, ossia una tensione di valore variabile tra 0 ed 1 V. Sul visualizzatore vedremo infatti un certo numero di millesimi di volt, risultato della quantizzazione operata dall'oscillatore di orologio che appunto fornisce una frequenza di 1000 impulsi per la durata massima di funzionamento del contatore. In realtà per la durata totale del campionamento (mezzo secondo), l'orologio fornisce 50.000 impulsi circa dei quali soltanto mille sono utilizzati per la misura vera e propria, mentre gli altri sono destinati al campo dell'over-range, ossia ai valori che superano la capacità della scala, e che vengono indicati solo l'accensione di una lampada. Opportuni dispositivi provvedono a fissare sul visualizzatore il conteggio degli impulsi al momento della coincidenza della tensione di rampa con quella da misurare, ed a mantenere tale lettura fino a che un altro ciclo sarà completato ed avremo a disposizione un altro valore che potrà essere uguale al precedente se la tensione da misurare non varierà, oppure diverso in caso contrario.

Vediamo in figura 1 come si comportano in pratica i vari elementi del circuito.

Il primo diagramma indica il comportamento dell'oscillatore a 2 Hz che determina l'intervallo delle letture, due al secondo. All'uscita di questo oscillatore avremo una successione di stati logici 0 ed 1. Alla fine di ciascun impulso di stato 1 scatterà un breve impulso di stato 1 agli ingressi di reset dei contatori (secondo diagramma) che metterà a zero le cifre del contatore.

In questo momento partiranno sia il contatore (terzo diagramma) che la rampa (quarto diagramma). Al momento della coincidenza della tensione di

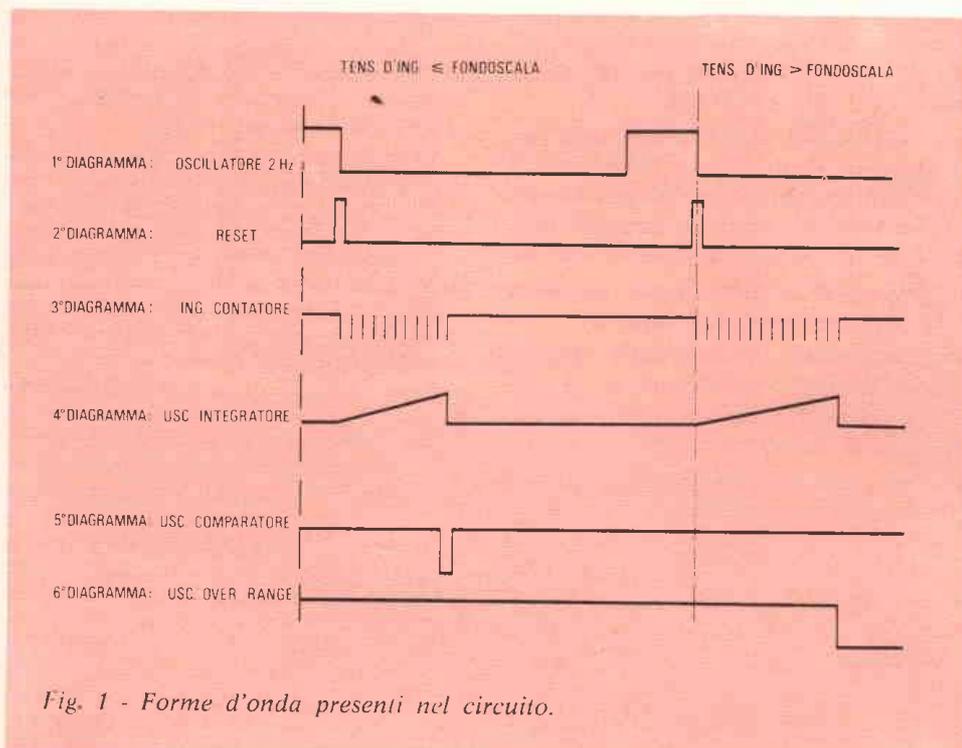


Fig. 1 - Forme d'onda presenti nel circuito.

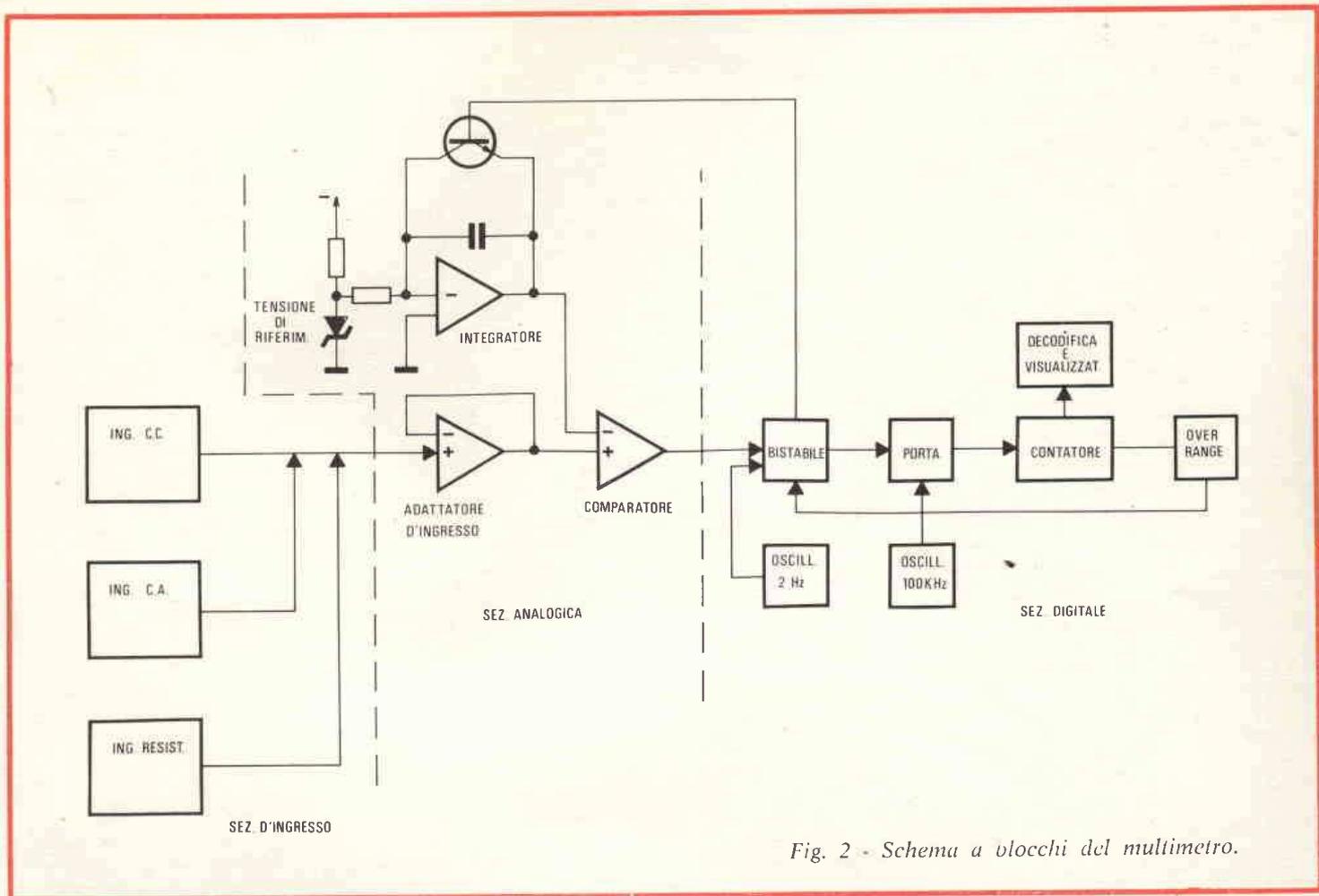


Fig. 2 - Schema a blocchi del multimetro.

rampa con quella da misurare, scatterà il comparatore che fornirà un breve impulso di stato 0 (quinto diagramma). Questo impulso determinerà la fermata del conteggio, che rimarrà sul display nel suo valore finale, e la chiusura della rampa con la predisposizione del dispositivo per una nuova misura.

Nel caso che la grandezza da misurare superi la capacità del contatore, non avremo l'impulso del comparatore, come si vede dalla sezione a destra dei diagrammi, mentre il dispositivo di over-range passerà allo stato 0 (sesto diagramma) provocando l'accensione della lampada apposita. In caso di over-range quindi avremo sul display l'indicazione 000 e si accenderà la lampada indicatrice della situazione.

La natura della grandezza indicata, si avrà, leggendo la posizione del selettore delle funzioni.

## DESCRIZIONE DEL CIRCUITO

Con riferimento allo schema elettrico riportato al centro del depliant, e a fig. 2.

Dal punto di vista funzionale, si può dividere il circuito elettrico dello strumento in cinque blocchi distinti che esplicano ciascuno una funzione diversa, e che descriveremo separatamente.

- 1) Sezione d'ingresso
- 2) Sezione analogica
- 3) Sezione digitale
- 4) Sezione di commutazione
- 5) Alimentatore.

## 1) LA SEZIONE D'INGRESSO

Provvede a trasformare le varie grandezze che lo strumento è capace di manipolare nell'unica grandezza che è capace di misurare, ossia una tensione che può variare da 0 ad 1 V.

Si distingue per prima cosa una sezione a corrente continua ed una sezione a corrente alternata. Questa sezione trasforma la grandezza alternativa presentata ai morsetti d'ingresso in una tensione continua proporzionale al valore medio della tensione alternata. Infatti lo strumento vero e proprio è capace solo di manipolare tensioni continue.

Esiste anche una terza sezione destinata alla misura delle resistenze.

### Misura delle tensioni e delle correnti alternate

La misura delle tensioni alternate viene effettuata applicando la tensione incognita, attraverso i morsetti di entrata ed il commutatore per l'impostazione del valore di fondo scala, al gate di Tr5. L'uso di un FET come elemento d'ingresso garantisce una elevata resistenza che, messa in parallelo ai punti di misura, altera in modo minimo le caratteristiche del dipolo ai cui capi si sviluppa la tensione da misurare, favorendo così una grande precisione della misura.

I diodi D7 e D8 posti sull'ingresso del

FET Tr5 costituiscono una valida protezione contro i sovraccarichi.

Attraverso il condensatore C40 la tensione alternativa passa all'amplificatore operazionale IC12, che, insieme al FET Tr5 costituisce un amplificatore lineare a larga banda passante. Questo permette di eseguire misure con frequenze che vanno da 30 Hz a 30 kHz senza apprezzabile variazione del guadagno.

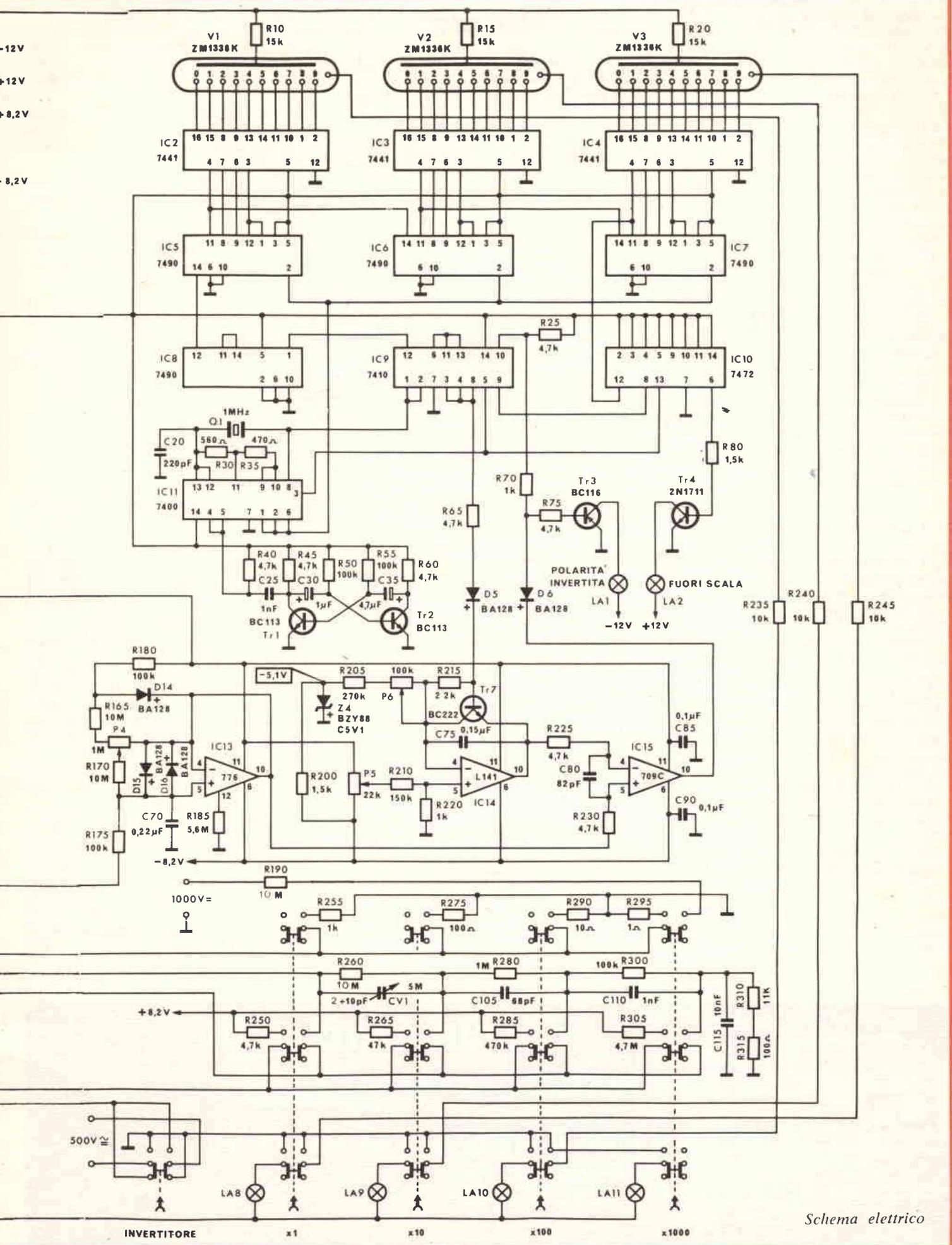
All'uscita di IC12 troviamo i due diodi D9 e D10 che raddrizzano il segnale fornendo una tensione pulsante proporzionale al valore medio della tensione alternata da misurare. Questo si deve al fatto che i due diodi D9 e D10 fanno anche parte dell'anello di reazione di IC12 in quanto sono collegati all'ingresso non invertente attraverso le resistenze R125, R126 ed R115. All'uscita dell'amplificatore troviamo due celle di filtro (R130-C60 ed R135-C65) destinate ad eliminare l'ondulazione residua.

Il segnale viene quindi trasmesso all'ingresso del convertitore A-D.

Il potenziometro P1 è destinato alla regolazione della tensione di sbilanciamento (offset) all'entrata di IC12, quindi serve a regolare la posizione di zero in corrente alternata.

Il potenziometro P2 manda a terra parte della tensione di reazione e quindi serve a regolare il guadagno dell'amplificatore operazionale. Con esso si regola quindi il fondo scala in corrente alternata.





Schema elettrico

una elevata velocità di commutazione, che equivale in altre parole ad una larga banda passante.

All'altro terminale di entrata del comparatore viene applicato un segnale triangolare proveniente dal circuito integratore formato da IC 14. Questo amplificatore ha un condensatore (C75) in contro-azione, quindi fornisce in uscita onde triangolari ottenute da onde rettangolari in entrata. Per il taglio verticale del triangolo alla fine dell'integrazione vediamo nell'anello di contro-azione anche il transistor Tr7 che è interdetto durante la rampa e passa in conduzione alla fine di questa.

Il valore della pendenza della rampa deve essere rigorosamente costante e proporzionale alla tensione di riferimento data dallo zener Z4. Importante perciò è anche l'ottima qualità e stabilità del condensatore C75.

Quindi in conclusione all'uscita della sezione analogica avremo un impulso dal comparatore se la grandezza rientra nel campo di misura e nessun segnale se la grandezza misurata lo supera. Il segnale del comparatore sarà emesso dopo un tempo dall'inizio dell'integrazione proporzionale al valore della tensione misurata.

### 3) LA SEZIONE DIGITALE

Si distingue dalla precedente in quanto nei diversi punti del circuito i segnali non possono assumere che due valori distinti, non importa quali, che chiameremo 0 ed 1.

Quindi, dall'uscita del comparatore in poi, non avremo più grandezze elettriche variabili con continuità.

Lo scopo del circuito logico è quello di generare una serie di impulsi e di contare quanti di questi impulsi avvengono tra l'inizio della misura e lo scatto del comparatore. La misura viene ripetuta ad intervalli di mezzo secondo per rendersi conto della variazione che subisce nel tempo la grandezza in esame. Per l'analisi del circuito basterà esaminare una sola misura, tenendo conto che la cadenza di ripetizione è data dal multivibratore formato da Tr1 e Tr2. La precisione della frequenza di questo circuito non influenza la precisione della misura, tutt'al più provocherà leggere variazioni inavvertibili della cadenza di ripetizione.

Il generatore degli impulsi deve avere invece una frequenza rigorosamente costante nel tempo, anche se non ha molta importanza il valore assoluto di questa frequenza. Per questo non sono stati previsti comandi per la centratura della frequenza che, come è noto, per un quarzo può subire piccole variazioni intorno al valore nominale, dipendenti dalle caratteristiche reattive del circuito. Il circuito generatore degli impulsi di conteggio è costruito facendo uso di due delle quattro porte NAND di cui è dotato IC 11. Il quarzo rende stabile nel tempo la frequenza dell'oscillazione, garantendo la costanza della precisione dello strumento. Infatti, per esempio, una variazione in più della frequenza dell'1% porterebbe il contatore a mostrare 1010 impulsi anziché 1000 al fondo scala.

La frequenza del quarzo è di 1 MHz, troppo elevata per i nostri scopi. Quindi gli impulsi dell'oscillatore vengono mandati ad un divisore per 10 formato dal circuito integrato IC8, che è un contatore decimale codificato. Il terminale corrispondente alla cifra binaria di peso 8 emetterà un impulso per ogni dieci impulsi presentati all'ingresso di conteggio.

Il contatore vero e proprio è formato dai circuiti integrati IC5, IC6 ed IC7. Durante il conteggio gli stati successivamente assunti dai contatori vengono visualizzati dai «nixie» alimentati attraverso le decodifiche BCD-decimali, IC2, IC3, IC4, ma in pratica la successione delle cifre è così rapida da non essere avvertibile dall'occhio. Al termine del conteggio il contatore viene bloccato e l'ultima cifra apparsa resta fissa sul visualizzatore per tutta la restante durata del ciclo di misura. Se per caso la grandezza è superiore al fondo scala, ad un certo punto il contatore passerà dalla cifra 999 alla cifra 000 provocando l'emissione di un impulso che farà scattare il dispositivo di segnalazione dell'over-range. Il transistor Tr4 eleva il livello di potenza da quello del segnale logico a quello necessario per l'accensione della lampada.

Il convertitore analogico-digitale scelto per questo multimetro è un dispositivo polarizzato. Se la polarità è invertita il contatore non parte e si accende la lampada di segnalazione comandata dall'uscita del comparatore per mezzo del transistor Tr5.

### 4) SEZIONE DI COMMUTAZIONE

E' divisa in due parti principali. La prima realizza le interconnessioni tra le varie sezioni che compongono il multimetro in modo da realizzare le funzioni richieste.

La seconda introduce i vari elementi resistivi destinati a riportare le varie portate alla tensione di 1 V che lo strumento accetta.

Le portate amperometriche sono ottenute con l'inserzione a scelta dei resistori R225, R275, R290, R295.

Le portate voltmetriche sono ottenute utilizzando in maniera diversa il partitore formato da R260, R280, R300, R310 + R315.

I vari condensatori che si vedono sul partitore voltmetrico servono a compensare la rete in frequenza, per allargare la banda passante. Il fusibile F2 protegge lo strumento da eventuali sovraccarichi che si dovessero verificare durante la misura delle resistenze.

### 5) L'ALIMENTATORE

Il raddrizzatore che fornisce la tensione ai tubi visualizzatori è costituito semplicemente dal diodo D1 in serie al circuito, che effettua il raddrizzamento su una sola semionda.

Una seconda sezione dell'alimentatore è dedicata alla sezione analogica e la stabilizzazione della tensione avviene mediante i gruppi R5-Z1 ed R1-Z2.

Una terza sezione dell'alimentatore provvede a dare corrente alla sezione logica. La stabilizzazione avviene mediante il circuito integrato IC1 che svolge da solo tutte le funzioni di una regolatore serie fornendo all'uscita una tensione costante ed indipendente dal carico.

L'entrata della rete può avvenire su una tensione a scelta tra tre a seconda della tensione disponibile.

Questo apparecchio fa parte della produzione AMTRON ed è reperibile solo già montato con la sigla UK 422 W presso tutti i punti di vendita GBC e i migliori rivenditori.



## COMUNICATO



PRESSO TUTTE LE SEDI  E' DISPONIBILE IL KIT DEL PONTE DI MISURA R-C-L UK 580/S Precisione 1%

Misure delle resistenze:  $0,1 \Omega \div 1 M\Omega$ ; Misure delle induttanze:  $10 \mu H \div 100 H$   
Misure delle capacità:  $5 pF \div 100 \mu F$ ; Alimentazione:  $125 \div 250 Vc.a. - 50/60 Hz$