

**biblioteca
tascabile
elettronica**

8

heinrich stöckle

strumenti di misura e di verifica



franco muzzio & c. editore

**tester universali, voltmetri
ed altri strumenti di misura**

biblioteca tascabile d'electronica

coordinata da Mauro Boscarol

8

Volume doppio

franco muzzio & c. editore

Heinrich Stöckle

strumenti di misura e di verifica

Tester universali,
voltmetri ed altri strumenti di misura

Con 50 disegni nel testo
e 12 foto su 4 tavole

franco muzzio & c. editore

Copertina di Edgar Dambacher da una foto di Uwe Höch
Con 50 disegni nel testo di Gertraud Stöckle
e Hans Hermann Kropf su indicazioni dell'autore
12 foto su 4 tavole dell'autore

traduzione di Ruth Stankowski

© 1976 franco muzzio & c. editore
Piazza de Gasperi, 12 35100 Padova
Titolo originale dell'opera: « Mess- und Prüfgeräte für den Hobby-Elektroniker »
© 1975 Franckh'sche Verlagshandlung, W. Keller & Co., Stuttgart
Finito di stampare dall'Industria Grafica Moderna S.p.A. - Verona nel novembre 1976
Tutti i diritti sono riservati

Strumenti di misura e di verifica

1. Misurare in modo diverso	7
1.1 Verifica del passaggio di corrente elettrica	7
1.2 Come determinare la polarità	13
2. Costruzione di misuratori senza strumenti di misura .	17
2.1 Una parola sui componenti	17
2.2 Un semplice strumento di verifica per diodi	18
2.3 Costruzione di circuiti	20
2.4 Un semplice strumento per la verifica dei transistori	21
2.5 Alimentatore stabilizzato	23
2.6 Sorgente di tensione per taratura regolabile a decadi	27
2.7 Un voltmetro elettronico per poche lire	33
2.8 Costruzione di una scatola di resistenze a decadi	35
2.9 Costruzione di una scatola di capacità a decadi .	37
3. La costruzione di strumenti di misura multipli	40
3.1 Un semplice strumento per misure multiple	40
3.2 Un semplice voltmetro elettronico con un circuito integrato	46
3.3 Multimetro elettronico per 23 gamme	53
4. Sezioni rete e alimentatori stabilizzati collegati a rete	66
4.1 Sezioni rete per strumenti di misura	66
4.2 Alimentatore stabilizzato da 0 a 30 V/2 A	76
5. Appendice	92
5.1 Schemi di collegamento	92
5.2 Scatole in legno	94

6. Raccolta di formule usuali	97
7. Indice analitico	102

1. Misurare in modo diverso

1.1 Verifica del passaggio di corrente elettrica

Gli strumenti di misura sono in genere costosi: più precisa si vuole una misurazione, più occorre pagare. Appare quindi chiaro che sia l'oggetto della misurazione che il metodo con il quale essa viene effettuata dipende più dalle nostre possibilità economiche che dai nostri desideri.

In questi casi, quindi, occorre tener presente il detto secondo cui la necessità aguzza l'ingegno. Anche se gli apparati di misura che costruiremo in questo capitolo non sono particolarmente pratici e comodi, ci offriranno la possibilità di apprendere qualcosa sui processi chimici e fisici. Saranno proprio queste nozioni, assieme a un po' di fantasia, che ci permetteranno di effettuare misure in modo « diverso ».

Il test dell'acqua salata

È noto che al passaggio di corrente continua attraverso alcune soluzioni elettrolitiche, l'acqua viene divisa nei suoi elementi ossigeno (1 parte) e idrogeno (2 parti). Questo fatto è utilizzabile per verificare il passaggio di corrente elettrica.

1° esperimento: si connette un generatore di corrente continua (4,5 V) a due placche di metallo che vengono parzialmente immerse in un bicchiere pieno d'acqua (Fig. 1.01). Dopo un po' di tempo, l'elettrodo connesso col polo negativo si copre di bollicine di gas.

Se si usa acqua di rubinetto pura, l'effetto non sarà molto evidente: passeranno solo correnti basse, di circa 1 mA di intensità, e le bolle di gas saranno visibili solo dopo alcuni minuti e non molto distintamente; al massimo si formerà una leggera schiuma ai bordi della placca di metallo collegata al polo negativo.

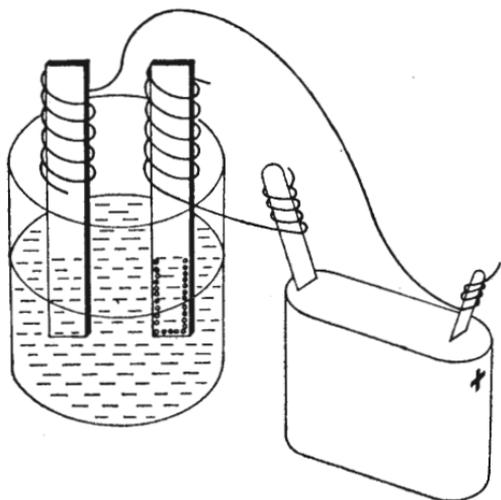


Fig. 1.01. Decomposizione elettrolitica di acqua salata

2° *esperimento*: si aggiunge all'acqua un po' di sale o di aceto. Le bolle di gas si sviluppano più velocemente e in modo chiaramente visibile. Dopo breve tempo la placca di metallo (preferibilmente rame) collegata al polo negativo si coprirà di uno strato di bolle di gas che si distingueranno molto bene sullo sfondo scuro del rame. In questo

caso l'intensità di corrente sarà circa 100 volte più grande rispetto al precedente esperimento.

Usando acqua zuccherata invece che salata, si avrà la situazione del primo esperimento (lo zucchero non è un elettrolita). È vero che anche lo zucchero si scioglie nell'acqua, ma una molecola di zucchero in soluzione acquosa non si divide in parti elettri-

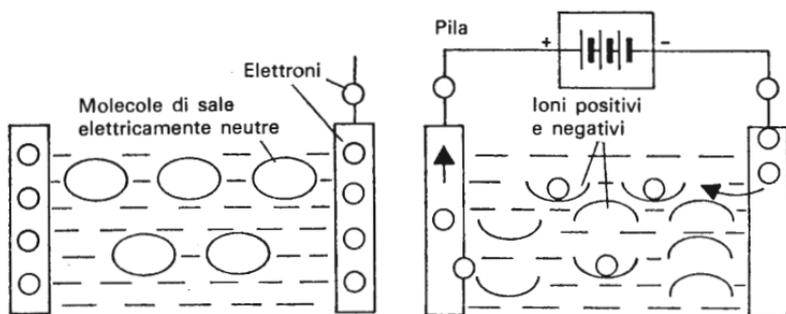


Fig. 1.02. Trasporto di cariche in acqua salata. Le molecole di sale, elettricamente neutre (a sinistra) si dividono in ioni positivi e negativi, che si muovono verso gli elettrodi (a destra). La rappresentazione è molto schematizzata

camente cariche (ioni). Si è cercato di chiarire il fenomeno nella figura 1.02. In realtà il processo è più complicato, perché gli elettroni non vengono trasportati mediante la soluzione, ma si ha uno scambio di cariche tra ioni ed elettrodi. Gli ioni carichi positivamente si avvicinano all'elettrodo negativo, dal quale ricevono elettroni diventando neutri: così si forma l'idrogeno che produce le bollicine. Gli ioni negativi si avvicinano all'elettrodo positivo al quale cedono elettroni. In questo modo si ha come risultato complessivo il passaggio di corrente elettrica.

3° esperimento: si connette un generatore da 20-30 V invece di 4,5 V. In tal caso la produzione di gas è così forte che la soluzione addirittura ribolle.

Occorre fare attenzione, poiché l'idrogeno che si forma al catodo può formare con l'ossigeno dell'aria, del gas tonante, che è estremamente esplosivo. È quindi consigliabile interrompere l'esperimento dopo alcuni secondi. Non sarà inoltre possibile effettuare l'esperimento con due pile da 9 V collegate in serie: la tensione infatti si abbasserebbe subito a causa della elevata resistenza interna delle pile.

La comparsa di bollicine al catodo (= placca negativa) conferma in definitiva che:

1. passa corrente elettrica
2. si tratta di corrente continua
3. la polarità della corrente continua è tale che il polo negativo è quello su cui si formano le bolle di idrogeno.

Il test della fenolftaleina

La fenolftaleina è una polvere bianca, solubile in alcool etilico, usata in chimica come indicatore della basicità delle soluzioni. In soluzioni neutre o acide essa è incolore, mentre se la soluzione è, anche lievemente, basica, tale reagente, che è molto sensibile, si colora di un rosso porpora intenso. Ci si può procurare qualche grammo di questa sostanza in farmacia ed usarlo per alcuni esperimenti. In particolare sarà interessante analizzare ciò che ci circonda, per esempio alcuni alimenti.

4° esperimento: si prepara un apparato sperimentale come indi-

cato in figura 1.01 mettendo nell'acqua da rubinetto qualche goccia di aceto. Si aggiunge qualche goccia di soluzione contenente fenolftaleina. Dopo un po' di tempo si noteranno delle striature di colore rosso violaceo al catodo.

Ciò significa che gli elementi sciolti nell'acqua si sono separati a causa del passaggio della corrente, in parti acide (elettrodo positivo) e parti basiche (elettrodo negativo).

5° esperimento: si toccano con la lingua i due poli di una pila piatta da 4,5 V. L'elettrodo positivo sembra acido, l'elettrodo negativo ha il sapore di sapone. Questo esperimento ci conferma che l'uso della parola acido in fisica e chimica, corrisponde al significato consueto, mentre il termine « basico » ha il significato contrario di acido.

Se nell'esperimento 4 si aggiunge un po' di detersivo alla soluzione invece dell'aceto, e si controlla con fenolftaleina, la soluzione si colora intensamente di rosso porpora. Ci si dovrebbe aspettare che la soluzione si colori attorno all'elettrodo positivo: ciò però non accade poiché la poco visibile zona incolore viene coperta da strati colorati.

6° esperimento: al posto dell'aceto, del detersivo o della soluzione di fenolftaleina aggiungiamo all'acqua un po' di succo di frutta di colore rosso scuro (per esempio di mirtilli neri o ribes). Dopo un po' di tempo e con un po' di attenzione è possibile osservare delle piccole differenze di colore attorno ai due elettrodi.

Un colorante molto frequente in natura è la antocianina, rossa in soluzioni acide e blu violacea in soluzioni basiche. È facile trovarla in cucina: il cavolo rosso appena cotto con un po' di aceto è rosso; lasciandolo raffreddare, il colore cambia da rosso in blu, poiché alcune componenti si ossidano all'aria. In forma pura questo indicatore, chiamato tornasole, viene venduto in farmacia (in soluzione). Nell'esperimento 6 la soluzione tende verso il blu in vicinanza dell'elettrodo negativo, verso il rosso attorno all'elettrodo positivo, perché il colore rosso del succo è dovuto all'antocianina.

Il test della cuffia

Gli esperimenti fin qui descritti sono divertenti, ma non costituiscono un modo ottimale di verificare il passaggio di corrente elettrica. Useremo ora un procedimento « asciutto », che fa uso di un altoparlante o di una cuffia. L'altoparlante da solo non è molto adatto perché ha una bassa impedenza e quindi si comporta quasi come un cortocircuito, facendo in modo che le piccole sorgenti di corrente vengano molto sollecitate, mentre le sorgenti con piccola resistenza interna danneggerebbero l'altoparlante. Il miglior modo per ovviare a questo inconveniente è quello di inserire una resistenza di qualche centinaio di Ohm in serie con l'altoparlante. L'uso di questa resistenza è consigliabile anche con una cuffia, per evitare il rumore assordante.

7° esperimento: la sorgente di corrente da analizzare viene collegata in serie con una cuffia o con un altoparlante e possibilmente con una resistenza, come si vede in Fig. 1.03. Chiudendo o aprendo il circuito si sente ogni volta un breve rumore.

Quando la bobina dell'altoparlante o della cuffia è eccitata, oppure quando la corrente viene interrotta nella bobina eccitata, questa si muove, e con essa la membrana, o verso il magnete permanente o nella direzione opposta. La bobina funziona come un magnete elettrico, che viene attivato o respinto secondo la sua polarità, dal magnete permanente. Il movimento della membrana produce nell'aria un'onda di pressione che l'orecchio registra come rumore. È dunque chiaro che altoparlante e cuffia reagiscono solo ad impulsi o, più in generale, a corrente alternata, la quale dà luogo ad un ronzio: ci sarà così possibile distinguere anche se si tratta di corrente continua o alternata.

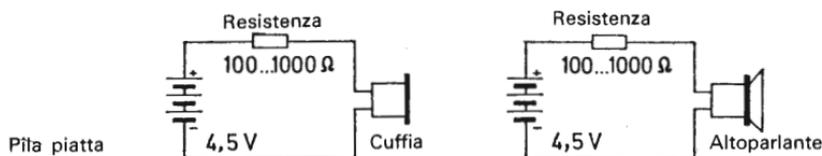


Fig. 1.03. Verifica del passaggio di corrente elettrica per mezzo di una cuffia (a sinistra) e di un altoparlante (a destra)

Il test della lampadina ad incandescenza

Uno dei modi più semplici per verificare il passaggio di corrente elettrica è usare una lampadina. Essa, contrariamente ai metodi chimici che indicano solo il passaggio di corrente continua, ha il vantaggio di illuminarsi indipendentemente dal tipo di corrente.

8° esperimento: si collega una normale lampadina alla sorgente di corrente. Se è possibile regolare la tensione si può constatare che una lampadina normale comincia a far luce a 30 V; oscurando l'ambiente in cui si svolge l'esperimento, si scopre che si possono misurare tensioni molto più basse di quelle « normali » per le lampadine.

9° esperimento: si ripete l'esperimento 8 usando però una lampadina da 2,5 V, che comincia ad illuminarsi a 0,5 V.

Con due lampadine possiamo ora coprire gli intervalli 0,5-2,5 e 25-220 V. Ma cosa succede se la tensione sta tra questi valori? Non è facile procurarsi una lampadina da 25 V; usando una lampadina da automobile, a causa della bassissima resistenza del filamento, la tensione della sorgente si abbasserà immediatamente, a

meno che non si usi come sorgente proprio una batteria d'automobile.

10° esperimento: inseriamo in serie con il generatore di corrente e la lampadina una o più resistenze, come indicato in Fig. 1.04.

In questo modo si allarga l'intervallo di tensione nel quale può

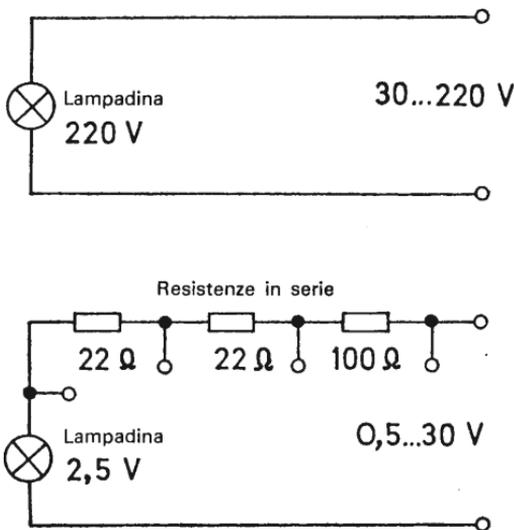


Fig. 1.04. Verifica del passaggio di corrente elettrica per mezzo di due lampadine e alcune resistenze per varie gamme di tensione

essere utilizzata una lampadina. Il circuito di Fig. 1.04 è facilmente montabile su una basetta di legno compensato. Per le lampadine occorrono degli appositi portalampade; inoltre sono necessarie due boccole per gli attacchi. Le resistenze non dovrebbero essere montate in modo fisso, ma connesse tramite degli spinotti a boccole come indicato in Fig. 1.04. Questo sistema permette di cortocircuitare le resistenze con un cavetto con spine e morsetti. In tal modo sono possibili varie combinazioni di resistenze. Infatti, per le lampadine proposte, otteniamo i seguenti intervalli di tensione:

Lampadina	Resistenza	Intervallo
2,5 V	0 Ω	0,5-2,5 V
2,5 V	22 Ω	2,5-6 V
2,5 V	44 Ω	5-11 V
2,5 V	100 Ω	10-20 V
2,5 V	144 Ω	16-30 V
220 V	0 Ω	30-220 V

Il limite inferiore di tensione indicato nella tabella viene raggiunto quando la lampadina fa una luce debole, il limite superiore di tensione non dovrebbe essere oltrepassato per non diminuire la durata della lampadina stessa. Si richiama l'attenzione sul fatto che l'uso della tensione di rete è pericoloso e dovrebbe perciò essere tralasciato se non vengono usate particolari misure di sicurezza.

1.2 Come determinare la polarità

Gli esperimenti con le lampadine, l'altoparlante e la cuffia sono facili da eseguire, però non permettono, per esempio, di determinare la polarità della corrente continua. Tuttavia, per chi non ama gli esperimenti « chimici », esiste la possibilità di determinare la polarità usando un diodo.

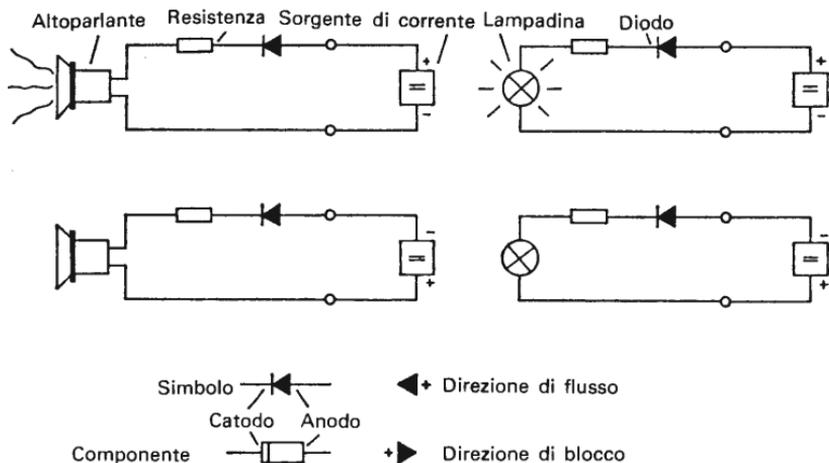


Fig. 1.05. Determinazione della polarità di tensione continua con un altoparlante (a sinistra) o una lampadina (destra) e un diodo connesso in serie

11° esperimento: in serie con il generatore di corrente, con la resistenza e la lampadina o l'altoparlante, si inserisce un diodo raddrizzatore, come indicato in Fig. 1.05. A seconda della polarità della tensione connessa, la lampadina farà o meno luce (o l'altoparlante farà o meno rumore).

Per la scelta ed il montaggio delle resistenze valgono le indicazioni delle Figg. 1.03 e 1.04. Per quanto riguarda il diodo, non conviene servirsi di un tipo universale ma di un diodo di potenza poiché la lampadina assorbe circa 250 mA: il diodo deve essere in grado di tollerare questa corrente. Per assicurarsi del flusso di corrente nel diodo, si può controllare il circuito con un generatore di corrente di polarità conosciuta, per esempio una batteria. Se la lampadina continua a fare luce anche dopo il cambiamento di polarità, abbiamo a che fare con una corrente alternata. In questo caso il diodo fa passare una semionda. Nell'altoparlante o nella cuffia si dovrebbe sentire un ronzio.

Determinazione della polarità con un LED (diodo luminoso)

Contemporaneamente all'avvento sul mercato dei circuiti integrati, sono diventati usuali anche nuovi sistemi indicatori; tra questi il LED, un elemento che ha le caratteristiche di un diodo, ed in più è in grado di dare un segnale luminoso. Ha un comportamento simile ad una lampadina in serie con un diodo, come indicato in Fig. 1.05: anche un LED si illumina o resta spento a seconda della polarità della tensione connessa. Se non fa luce si deve per sicurezza fare la controprova cambiando la polarità della tensione. Ci si può risparmiare la controprova usando l'ultimo grido del mercato dei componenti elettronici e cioè il LED a due colori (Tri-State Lamp: lampada a tre stadi). Questo componente contiene due LED inseriti antiparallelamente, dei quali uno dà luce rossa e l'altro verde.

Elenco dei componenti per il circuito di Fig. 1.06

K1	Boccola isolata nera
K2-K4	3 boccole isolate rosse
LED1	Diodo luminoso MV 5491 (Monsanto) o diodo luminoso rosso e verde
R1	Resistenza $3,3 \text{ k}\Omega \pm 5\%$, 1/4 W
R2	Resistenza $820 \Omega \pm 5\%$, 1/4 W
R3	Resistenza $220 \Omega \pm 5\%$, 1/4 W

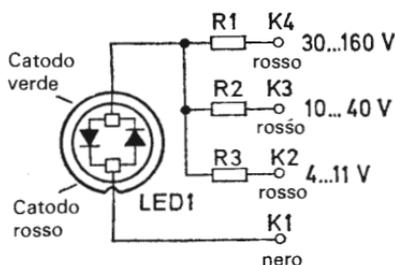


Fig. 1.06. Determinazione della polarità di tensione continua per mezzo di un doppio diodo luminoso, che dà luce rossa o verde secondo la polarità

12° esperimento: si inseriscono tre resistenze in serie con il LED a due colori, come è indicato in Fig. 1.06. Dapprima si connette la tensione da determinare tra K1 e K4. Se il diodo non dà luce, la tensione viene connessa tra K1 e K3 ed infine tra K1 e K2. Se il polo positivo è connesso con la boccola rossa sarà il diodo rosso a fare luce; altrimenti si illuminerà il diodo verde. Il LED a due colori è quindi un buon indicatore della polarità. Con l'aiuto delle resistenze d'ingresso si può grossolanamente stimare l'intervallo di

tensione. È possibile fare l'esperimento anche utilizzando due LED ordinari. Con una data polarità della corrente, farà luce uno dei due, nel caso contrario, l'altro. Il circuito può venir costruito su una piccola basetta di compensato o su una piastrina opportunamente incisa.

2. Costruzione di misuratori senza strumenti di misura

La misurazione più semplice consiste nell'osservare l'ago di uno strumento di misura. Uno strumento economico ma abbastanza buono costa sulle 10.000 Lire, e tale prezzo non è accessibile a tutti i dilettanti.

Cercheremo quindi, con l'aiuto dell'elettronica, di progettare dei circuiti per strumenti di misura; certo non saranno utili per tutti gli scopi, ma saranno ugualmente utilizzabili per molte misure.

2.1 Una parola sui componenti

I dilettanti sono talvolta troppo legati agli elenchi dei componenti dei circuiti, il che comporta spesso delle difficoltà negli acquisti. I pezzi elencati sono stati scelti soprattutto per ragioni economiche. Questo implica che si sono usati solo componenti universali che possono facilmente venir sostituiti con degli « equivalenti ». Chiamiamo il concetto di « equivalente ».

Se non è precisato diversamente, le resistenze sono standard a carbone. Costano poco, hanno delle ottime caratteristiche elettriche e sono quindi particolarmente adatte per strumenti di misura. Le resistenze di uno strumento non devono essere caricate, quindi sono sufficienti quelle da $1/8$ W; non sono necessarie quelle da $1/3$ W a meno che non sia altrimenti specificato.

Diodi e diodi Zener sono pure stati scelti solo in base a ragioni economiche: invece del diodo AA 143 si può usare qualsiasi diodo universale al germanio. Usando, al posto del diodo al silicio 1N 4154 un altro diodo universale al silicio, c'è da fare attenzione alla possibilità che le tensioni di conduzione siano diverse. Per i transistori non si richiedono particolari caratteristiche. Comunque

l'amplificazione di corrente minima dovrebbe essere di almeno 100.

Il transistor BC 184 può essere cambiato per esempio con i seguenti transistori al silicio npn: BC 107, BC 108, BC 109, BC 147, BC 148, BC 149, BC 170, BC 171, BC 172, BC 182, BC 183, BC 407, BC 408, BC 409, TIS 60, TIS 61, 2 N 3704, 2 N 5449.

Invece del transistor BC 214 si possono usare i seguenti tipi universali al silicio npn: BC 153, BC 157, BC 158, BC 159, BC 177, BC 178, BC 179, BC 231, BC 251, BC 252, BC 253, 2 N 2605.

Il transistor di potenza 2 N 1613 ha una dissipazione di 0,8 W. Tipi simili al silicio npn sono: 2 N 1711, BC 140, BC 141, BC 337, BC 338.

Il transistor di potenza al silicio npn 2 N 3055 può essere sostituito con i seguenti tipi: BD 181, BD 182, BD 183, BDY 20, BDY 38, BDY 39 e BDY 130.

Come transistor di potenza pnp possono essere usati: AD 130, AD 131, AD 132, AD 133 o AD 163.

Gli schemi di collegamento dei semiconduttori usati sono riassunti nel paragrafo 5.1.

2.2 Un semplice strumento di verifica per diodi

Alcuni diodi oggi in commercio sono così piccoli che non è possibile stampare su di essi alcun contrassegno. In questo caso occorre determinare la direzione di flusso e di blocco con una misurazione. Lo stesso vale nel caso di contrassegni illeggibili o incomprensibili. In generale il catodo è contrassegnato da un anello. Alcuni produttori contraddistinguono i vari tipi di diodi con anelli di colori diversi: in tal caso servono delle indicazioni apposite per distinguere i due poli.

Con il semplice circuito di figura 2.01 è possibile eseguire tre diversi tipi di misura. Osserviamo più da vicino lo schema e impariamo così a conoscere i simboli più importanti. L'emettitore del transistor è connesso al polo negativo della batteria. Nel circuito

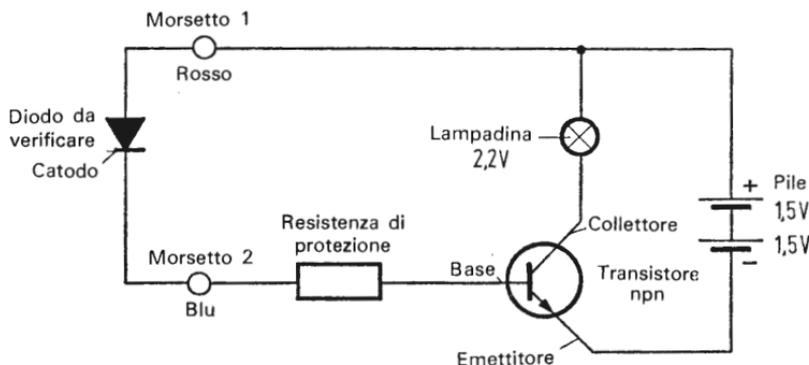


Fig. 2.01. Semplice strumento di verifica per diodi

Elenco dei componenti per il circuito di Fig. 2.01

- 1 transistor npn universale BC 184, BC 107 o simile
- 1 resistenza 120 Ω
- 1 lampadina 2,2 V con attacco E 10
- 1 portalampadina
- 1 morsetto rosso
- 1 morsetto blu

di collettore è inserita una lampadina. Fin quando non si è connesso ai morsetti un diodo da verificare, la base del transistor non riceve nessuna tensione pilota e la lampadina non si accende. Collegando il diodo, come è mostrato in figura, c'è un flusso di corrente che dal polo positivo della batteria attraversando il diodo e la resistenza raggiunge la base del transistor; in questo modo il transistor conduce e la lampadina si illumina. Possiamo risparmiarci un interruttore, poiché il transistor in stato di riposo è attraversato da una corrente residua piccolissima, generalmente minore delle perdite della batteria stessa.

Il generatore è costituito da due batterie da 1,5 V o da una batteria da 3 V. La batteria si scarica solamente quando la lampadina è accesa: quest'ultima consuma circa 200-300 mA, secondo il tipo. La corrente che attraversa il diodo è anch'essa dipendente dal tipo

di diodo. Per un diodo al germanio essa si aggira attorno ai 12 mA, per un diodo al silicio un po' meno.

Il controllo di un diodo dev'essere fatto una volta in direzione di blocco per assicurarsi che il componente è intatto, e una volta in direzione di flusso, per determinare la polarità. Con ciò si sarà anche sicuri che all'interno del diodo non vi sono interruzioni.

Lo strumento può essere inserito in una piccola scatola di legno compensato o più semplicemente può essere fissato su di una basetta. Nel prossimo paragrafo vedremo come fare ciò, con le osservazioni relative.

2.3 Costruzione di circuiti

Nel volume *Come si costruisce un circuito elettronico* della serie *biblioteca tascabile elettronica* vengono descritti tutti i particolari e vengono forniti tutti i consigli per la costruzione di circuiti. Ripeteremo solamente gli aspetti più importanti. I circuiti semplici (cioè quelli che non portano via nè molto tempo nè molto denaro) conviene fissarli su di un pezzo di legno compensato. I terminali dei componenti verranno saldati su puntine da disegno. Il circuito sarà più semplice se, su un lato della basetta, si fisserà un filo per il collegamento della tensione d'alimentazione positiva, e, sull'altro lato, a una distanza di 10-12 cm, un filo per il polo negativo. La Fig. 2.02 e la foto 11 di tavola 4 mostrano un esempio di circuito su basetta di legno. I terminali dei componenti vengono piegati ad angolo retto; conviene anche piegare di 2-3 mm i capi dei terminali per poterli saldare meglio.

Il tempo di saldatura dei semiconduttori, dev'essere limitato a meno di 5 sec. Se la saldatura non riesce in questo tempo, è necessario far raffreddare il punto e quindi ripetere il tentativo.

È molto importante che la tensione d'alimentazione del circuito sia staccata prima di cominciare a saldare, per evitare che un eventuale isolamento difettoso del saldatore rovini il transistor. Per saldare i transistori è importante fare attenzione al collegamento dei piedini che sfortunatamente non è sempre uguale. Gli schemi

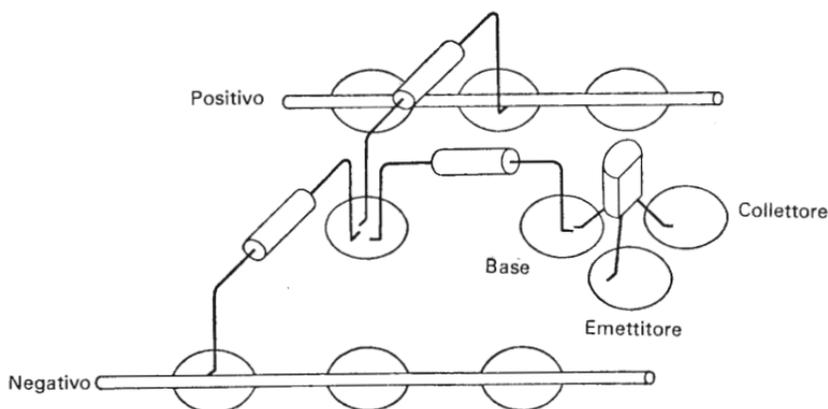


Fig. 2.02. Realizzazione di un circuito su tavoletta di legno

di collegamento dei transistori usati si trovano nel paragrafo 5.1. Usando transistori diversi da quelli elencati occorre controllare gli attacchi. I componenti più grandi come pile od interruttori possono essere fissati con un robusto filo di rame di circa 1-1,5 mm di diametro.

È facile aggiungere alla basetta delle pareti, incollandole, e un coperchio asportabile. Con un po' di vernice, l'apparecchio avrà anche un bell'aspetto. Interruttori, morsetti di collegamento ed altri componenti di comando e di indicazione dovranno essere fissati sul coperchio.

2.4 Un semplice strumento per la verifica dei transistori

Questo circuito non è altro che l'inverso del circuito di verifica per diodi. In quest'ultimo era inserito un transistore che con un comando adeguato faceva accendere una lampadina. Lo strumento di verifica per transistori è ancora più semplice, perché non c'è nemmeno bisogno di un semiconduttore. Con questo strumento possiamo controllare i terminali, il tipo e l'integrità del transistore. Rimangono ancora ignote le caratteristiche di corrente

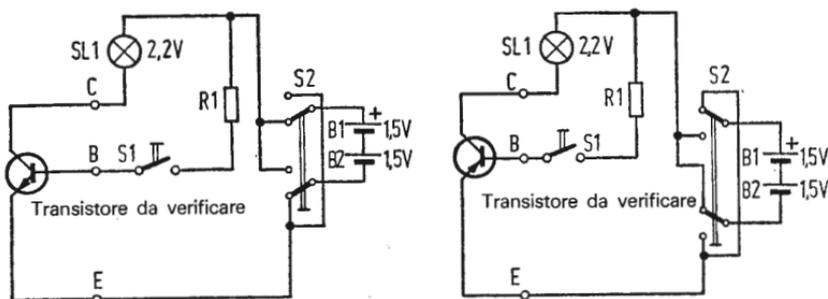


Fig. 2.03. Semplice strumento per la verifica dei transistori. A sinistra per un transistore npn, a destra per un transistore pnp

Elenco dei componenti per il circuito di Fig. 2.03

- 1 resistenza 220 Ω
- 1 lampadina 2,2 V con lente e attacco E 10
- 1 spia con portalampada e 10
- 1 commutatore a una via
- 1 commutatore a due vie
- 1 zoccolo per transistori TO 92
- 2 zoccoli per transistori TO 5

residua e amplificazione. A questo scopo sar  necessario uno strumento con indicatore.

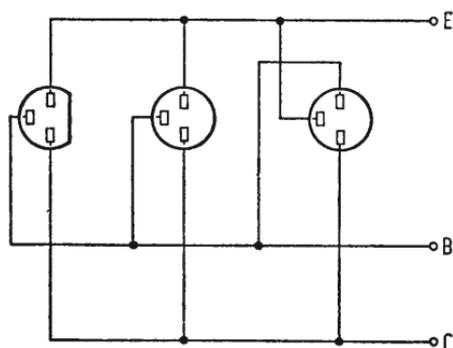
Il circuito di Fig. 2.03   facilmente comprensibile. Se si chiude l'interruttore S1 e si pone S2 nella giusta posizione pnp o npn, una corrente pilota pu  attraversare la base del transistore di prova cosicch  il transistore diventa conduttivo e la lampadina spia si illumina. In tutti gli altri casi, con S2 in posizione sbagliata o con gli attacchi spostati, la lampadina non fa luce; in particolare con S1 aperto la lampadina non si accende. Se si dovesse accendere ugualmente, il transistore   sicuramente « rotto ». Cos  l'interruttore S1 ci permette di controllare grossolanamente se il transistore   intatto.

L'interruttore S2   un commutatore a due vie e pu  creare confusione all'inizio. Per  serve solo per invertire la polarit  della pila. Sapete sicuramente che per un transistore npn l'emettitore va collegato con il polo negativo ed il collettore col polo positivo della

tensione d'alimentazione, mentre per un transistor pnp vale esattamente il contrario. Secondo il transistor connesso per la prova, è possibile determinare subito se si tratta di un tipo npn o pnp, agendo su S2. Poiché la tensione della pila è di 3 V, il transistor non si può rovinare se la polarità è sbagliata.

La costruzione va fatta possibilmente in una scatola di legno compensato dove va posta la pila, mentre gli altri componenti vanno attaccati alla piastra frontale. Oltre ai componenti indicati in figura, vanno fissati alla piastra frontale anche degli zoccoli per vari tipi di transistori. La successione di attacchi più usuale è EBC (per esempio BC 107, BC 177, BC 184, BC 214, 2 N 1613 ed altri).

Fig. 2.04. Collegamento degli zoccoli nello strumento di verifica dei transistori



Un'altra successione di attacchi usata è BEC, comune soprattutto per transistori AF. Le tre prese vanno collegate con le corrispondenti entrate del circuito come indicato in Fig. 2.04. Si richiama l'attenzione sul fatto che la Fig. 2.04 è fatta con la vista dall'alto, mentre gli schemi di collegamento dei semiconduttori sono dati con la vista dal basso. Queste due rappresentazioni sono quindi tra loro speculari.

2.5. Alimentatore stabilizzato

La prima domanda che viene in mente è perché venga descritto un alimentatore in un libro sugli strumenti di misura. Certo, non ci si

possono fare delle misure. Il fatto è che per poter misurare è necessario far funzionare il circuito da misurare, e per questo ci serve una certa tensione. Siccome per ogni circuito è necessaria una tensione di funzionamento differente, sarebbe molto scomodo, e alla fine anche costoso, collegare sempre un numero adeguato di batterie. Per questa ragione un alimentatore stabilizzato (alimentato a rete) con tensione regolabile deve necessariamente far parte della nostra strumentazione.

I circuiti per gli alimentatori sono innumerevoli. Il loro costo può sembrare elevato; considerando però che ogni apparecchio alimentato a rete è costituito da almeno un trasformatore, un raddrizzatore, un condensatore, e diversi altri componenti, e che questi elementi costano già parecchio da soli, si comprenderà che occorre spendere un po' di soldi per avere uno strumento abbastanza buono.

Il circuito presentato sembra complicato a prima vista. Ma non è possibile farlo più semplice. La tensione di rete arriva all'avvolgimento primario del trasformatore attraverso il fusibile Si1 e l'interruttore S1. Il trasformatore usato nel prototipo ha quattro attacchi sul lato di entrata: 0, -5%, 220 V, +5%. La tensione di rete dev'essere connessa agli attacchi 0 e 220 V. Dirimpetto all'attacco +5% si trova un altro attacco contrassegnato con 0, relativo all'avvolgimento secondario. Questo attacco viene collegato con una entrata a corrente alternata (segnata con \sim) del raddrizzatore a ponte. L'attacco 12 V del primo avvolgimento secondario verrà collegato con l'attacco 0 del secondo avvolgimento secondario. L'uscita 12 V di questo secondo avvolgimento viene infine connessa all'altro ingresso di tensione alternata del raddrizzatore. Il raddrizzatore a ponte fornisce una tensione raddrizzata a due vie, che viene prelevata agli attacchi + e -. La tensione viene mantenuta costante dal condensatore C1. Si deve sempre fare attenzione alle indicazioni di polarità dei condensatori elettrolitici nel saldarli.

La parte successiva del circuito serve per la stabilizzazione della tensione e consiste di una resistenza R1 e di un diodo Zener D1. Anche qui un ulteriore condensatore C2 mantiene costante la ten-

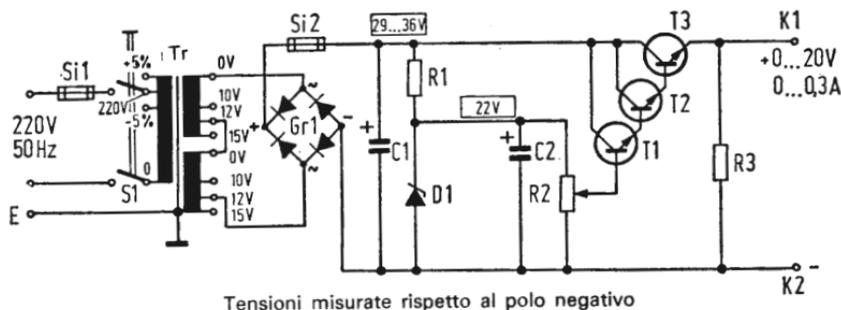


Fig. 2.05. Alimentatore stabilizzato regolabile, 20 V/0,3 A

Elenco dei componenti per il circuito di Fig. 2.05

- R1 resistenza da 2,2 k Ω \pm 5% 1/3 W
- R2 potenziometro da 50 k Ω 0,25 W
- R3 resistenza 2,2 k Ω \pm 5% 1/3 W
- C1 condensatore elettrolitico da 220 μ F/63 V
- C2 condensatore elettrolitico da 220 μ F/40 V
- Gr1 raddrizzatore a ponte 50 V/0,8 A BY 159/50 o altri
- D1 diodo Zener 22 V, ZPD 22 o simile
- T1 transistore universale npn BC 184, BC 107 o simile
- T2 transistore di potenza npn 2 N 1613 o simile
- T3 transistore di potenza npn 2 N 3055 o simile
- Tr trasformatore; prim 220 V/50 Hz, sec 2 \times 12 V/0,4 A
- Si1 fusibile 0,5 A con portafusibile da montare
- Si2 fusibile 0,5 A con portafusibile da saldare
- S1 commutatore a due vie
- K1 boccia rossa
- K2 boccia nera

sione pilota. Questa tensione pilota o di riferimento viene portata al potenziometro R2. Al cursore di quest'ultimo viene prelevata tutta la tensione o parte di essa; la tensione viene quindi portata alla base del transistore T1. Quest'ultimo è collegato come inseguitore catodico con T2 e T3 (circuito Darlington) per mantenere piccola la caduta di tensione in R3 sotto carico. La resistenza R3 serve da « precarico » per diminuire la differenza tra circuito aperto e sotto carico.

Quali sono allora le caratteristiche del circuito? Ai morsetti d'uscita si può prelevare una tensione continua tra 0 e 20 V,

secondo la posizione di R2. Con un carico di 0,3 A la tensione scende di circa 0,3 V. La tensione d'uscita è perciò stabilizzata per variazioni di tensione di rete, ma non per variazioni di carico. Per arrivare a ciò la spesa dovrebbe essere più elevata. Il rumore in uscita è di circa 10 mV sotto un carico di 300 mA e una tensione di uscita di 20 V, ma diminuisce con tensione e carico minori. L'apparecchio non ha una protezione elettronica contro il sovraccarico, ma è protetto contro il cortocircuito. I due componenti semiconduttori in pericolo, e cioè il raddrizzatore Gr1 e il transistor T3, sono talmente sovradimensionati, che un sovraccarico nel breve intervallo di tempo antecedente all'intervento del fusibile Si2, non può danneggiarli. Questo fusibile deve essere scelto con cura, perché deve proteggere il circuito, ma non deve rispondere all'extracorrente che si ha quando si accende di colpo il circuito; tale extracorrente dipende dalla carica di C1. Il transistor T3 è sotto carico massimo se con tensione bassa, per esempio 1-2 V, si preleva una corrente totale di 0,3 A. Il transistor si riscalda se questa situazione si prolunga, perciò è meglio montarlo su una lamiera di alluminio di almeno 8 × 8 cm. Il transistor può arrivare senz'altro a 100° (una goccia d'acqua appoggiata sopra comincerebbe a bollire). Non conviene però superare questa temperatura. Per il montaggio sulla lamiera è importante che quest'ultima non tocchi altri componenti del circuito, perché il collettore è collegato con l'involucro metallico del transistor. Per il montaggio sono da notare alcuni particolari. Si può inserire il circuito in una scatola di materiale plastico o addirittura di latta. Nei prossimi capitoli si trovano alcuni suggerimenti. Qui ci limitiamo al caso in cui la scatola venga costruita di legno compensato. In tal caso il circuito può senz'altro essere costruito sulla base della scatola con puntine da disegno, mentre il trasformatore va fissato con viti da legno. Al coperchio asportabile vengono attaccati: i due morsetti di collegamento K1 e K2, il potenziometro R2, l'interruttore di rete S1 e il fusibile Si1. Le pareti della scatola dovranno essere forate per permettere un maggior scambio di aria.

Ora ci rivolgiamo all'alimentazione a rete. È una faccenda perico-

losa, in cui occorre essere molto cauti; i seguenti consigli vanno seguiti scrupolosamente. Il cavo d'alimentazione va fatto passare attraverso un'apertura sulla parete laterale precedentemente provvista di una guarnizione passa-cavo in gomma. I passa-cavo di gomma che si trovano in commercio non sono però adatti al legno compensato, perciò devono essere fissati ad un pezzo di lamierino o di plastica. Occorrerà anche usare una spina con contatto di terra: il filo giallo-verde va collegato con la carcassa del trasformatore. Se la scatola contiene anche altri pezzi di metallo, occorre metterli anch'essi a terra. Tutti i componenti che conducono tensione di rete (interruttore, fusibile, trasformatore) devono essere protetti, per esempio con nastro isolante, il più possibile da contatti casuali. Quando lo strumento è sotto tensione non si deve aprire il coperchio per fare controlli o modifiche del circuito. Si eviti di lavorare su tavoli con piano in metallo e su pavimenti a piastrelle. Se si è costretti a lavorare in queste condizioni, si copra il pavimento con uno straccio o con un tappeto ed il tavolo con materiale isolante. È più sicuro usare guanti di gomma nell'eseguire gli esperimenti.

2.6. Sorgente di tensione per taratura regolabile a decadi

Chi compra questo libro si aspetta certo di trovare progetti di circuiti per gli strumenti di misura più comuni. Ma se si costruisce un apparecchio è anche necessario provarlo. Per far ciò bisogna comperare (o procurarsela in altro modo) una sorgente di tensione tarata, ed è quello che faremo in questo paragrafo.

Purtroppo non esistono componenti e circuiti che diano una tensione stabile al $\pm 1\%$ e che costino relativamente poco. Nonostante ciò cercheremo ugualmente di costruire una sorgente di tensione campione molto precisa.

La nostra sorgente campione produce una tensione di riferimento, che è possibile prelevare con passo 10 mV tra 0 e 100 mV, con passo 100 mV tra 100 mV e 1 V e con passo 1 V tra 1 e 10 V. La precisione raggiunta dipende in gran parte dalle resistenze ed è al

massimo di ± 2 mV per ogni intervallo. Come alimentatori servono due pile da 9 V. Siccome la corrente che passa nel circuito è molto più piccola, queste pile durano più di 50 ore, il che significa che dopo la taratura sono utilizzabili anche in altre occasioni. La Fig. 2.06 mostra il circuito della sorgente di tensione campione regolabile a decadi o — detto in modo più moderno — digitale. La tensione viene prelevata da un partitore di tensione che consiste di 28 resistenze di precisione. Sarebbe certamente più facile prelevare la tensione da un potenziometro, ma in questo caso ci servirebbe uno strumento di lettura. Il partitore di tensione viene alimentato dalla tensione della batteria che prima è stata stabilizzata a due livelli. Per aumentare la durata delle batterie e per la stabilizzazione si sono utilizzati dei transistori polarizzati inversamente che funzionano quindi come diodi. Questi transistori determinano una tensione costante tra 8 e 10 V e consumano meno corrente dei diodi Zener. Senza soffermarci sul modo di funzionamento del-

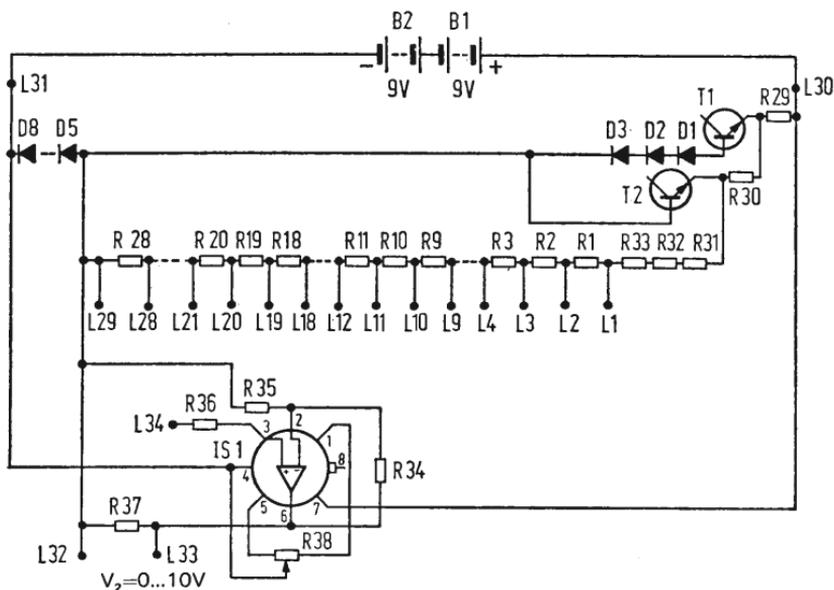


Fig. 2.06. Sorgente di tensione a decadi 0- 10 V

Elenco dei componenti per il circuito di Fig. 2.06

R1-R9	9 resistenze da $3,3 \text{ k}\Omega \pm 1\%$, 1/3 W
R10-R18	9 resistenze da $330 \Omega \pm 1\%$, 1/3 W
R19-R28	10 resistenze da $33 \Omega \pm 1\%$, 1/3 W
R29, R30	2 resistenze $1,2 \text{ k}\Omega$
R31-R33	3 resistenze di taratura, vedi testo
R34, R35	2 resistenze $5,6 \text{ k}\Omega$
R36	1 resistenza $2,7 \text{ k}\Omega$
R37	1 resistenza $18 \text{ k}\Omega$
(R29-R37)	resistenze con $\pm 5\%$ tolleranza, 1/3 W)
R38	1 trimmer $10 \text{ k}\Omega$
T1, T2	2 transistori universali npn BC 184, BC 107 o simili
D1-D3, D5-D8	7 diodi universali al silicio 1 N 4154 o simili
IS1	1 amplificatore operazionale integrato 741 C in involucro metallico
L1-L33	punti terminali per circuito stampato
B1-B2	2 pile 9 V
	1 piastrina $70 \times 145 \text{ mm}$

Dati tecnici per il circuito di Fig. 2.06

Sorgente di tensione	2 pile da 9 V
Gamma di tensione d'alimentazione (senza T3 e D4)	$14,5 \dots 25 \text{ V}$
Consumo di corrente (senza carico)	$5,5 \text{ mA}$
Resistenza di carico	min 700Ω
Tensione d'uscita	$0 \dots 10 \text{ V}$
nell'intervallo 0-100 mV	col passo 10 mV
nell'intervallo 0,1-1 V	col passo 100 mV
nell'intervallo 1-10 V	col passo 1 V
Precisione	$\pm 2 \text{ mV}$ in tutti gli intervalli

l'amplificatore operazionale IS1, il cui principio di lavoro è quello dell'amplificatore differenziale, vogliamo solamente accennare che esso serve da adattatore di impedenza. Il valore minimo della resistenza di carico può aggirarsi attorno ai 700Ω ai morsetti d'uscita L32 e L33; negli intervalli più bassi può essere un po' inferiore. Con questi valori di resistenze di carico circola una corrente tra 1 e 15 mA, che è sufficiente per tutti gli apparecchi da provare nell'intervallo di tensione 0-10 V.

Adesso alcuni suggerimenti per la costruzione. È forse difficile procurarsi delle resistenze all'1%. È possibile scegliersi con opportune misure le necessarie resistenze all'1% tra delle resistenze al 2%. In media ne saranno utilizzabili 1 su 2. Inoltre bisogna tener

presente che è importante avere delle resistenze nel rapporto 1:10:100, mentre i valori assoluti non hanno grande importanza. Possono essere usate le serie 22/220/2200 Ω , 27/270/2700 Ω o 33/330/3300 Ω ecc. Non si dovrebbe prenderle più grandi perché altrimenti la corrente in ingresso all'amplificatore operazionale causerebbe una caduta di tensione notevole se le tolleranze non fossero quelle corrette. La tensione all'emettitore di T2 dovrebbe essere minore di almeno 1 V di quella all'emettitore di T1. Se non dovesse essere cos  è meglio scambiare i transistori.

Si devono anche determinare i valori delle resistenze di « taratura » R31-R33. A questo proposito si connetta L34 a L29 e si regoli dapprima il potenziometro in modo che la tensione d'uscita sia esattamente 0. Poi si connetta L34 con L1; si scelgano ora le resistenze R31-R33 in modo che si abbiano 10,00 V in uscita. In questo semplice modo la taratura   terminata. Si consiglia di tarare lo strumento alla stessa temperatura che si suppone si avr  durante l'uso. Inoltre il circuito dovrebbe gi  essere stato acceso da alcuni minuti perch  si riscaldi e vada a regime. Per i punti di collegamento si possono comperare appositi « punti terminali », che vengono fissati nei fori della piastrina. Per    anche sufficiente un pezzo di filo di rame pelato e stagnato di 1 mm di diametro, che viene semplicemente infilato nei fori e saldato. Il pezzo lungo resta sul lato in cui verr  montato il circuito. Si possono anche inserire uno o due commutatori multipli a pi  vie di collegamento. Cos  le operazioni di taratura diventano pi  eleganti che non effettuando collegamenti di fili con morsetti a coccodrillo e cavetti. Lo schema dei collegamenti sulla piastrina   indicato in Fig. 2.07. Dal momento che si tratta di un circuito di precisione, non lo monteremo su legno compensato, bens  realizzeremo qualcosa di pi  adatto. Chi non ha grande esperienza di circuiti stampati, pu  consultare il volume *Come si costruisce un circuito elettronico* della stessa serie di questo volume. Qui tratteremo in breve solo i punti pi  importanti.

La successione dei lavori   la seguente: tagliare la piastrina nelle misure opportune, infilare guanti di gomma, pulire la superficie con solvente, trattare il ricoprimento di rame con polvere abrasiva-

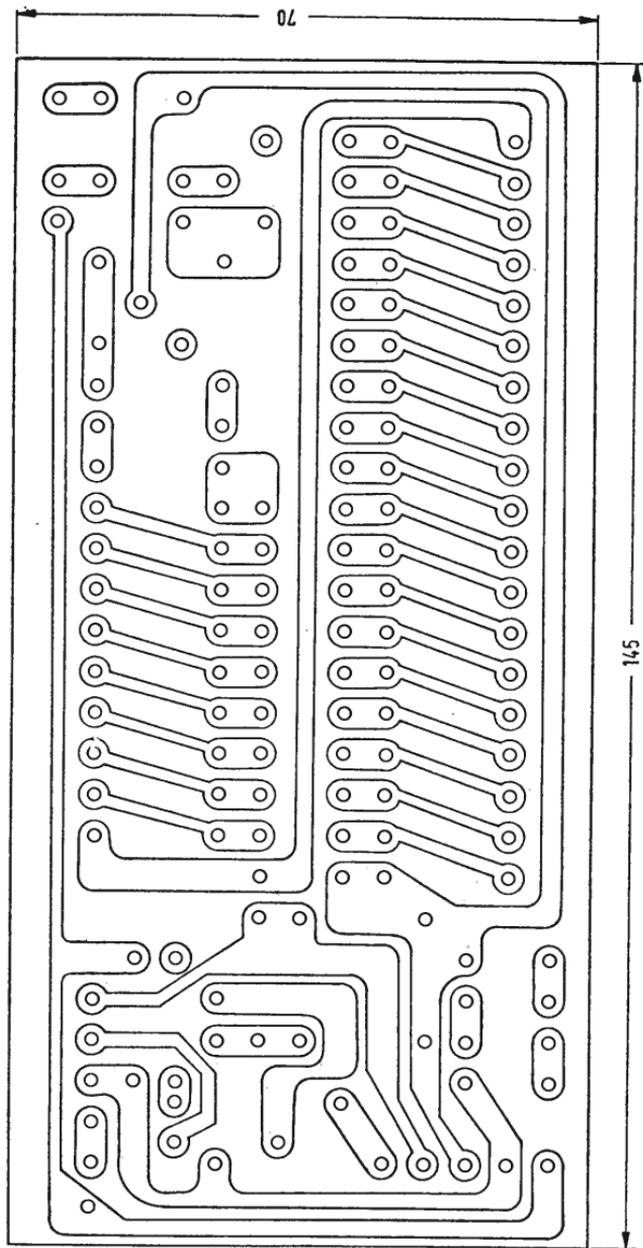
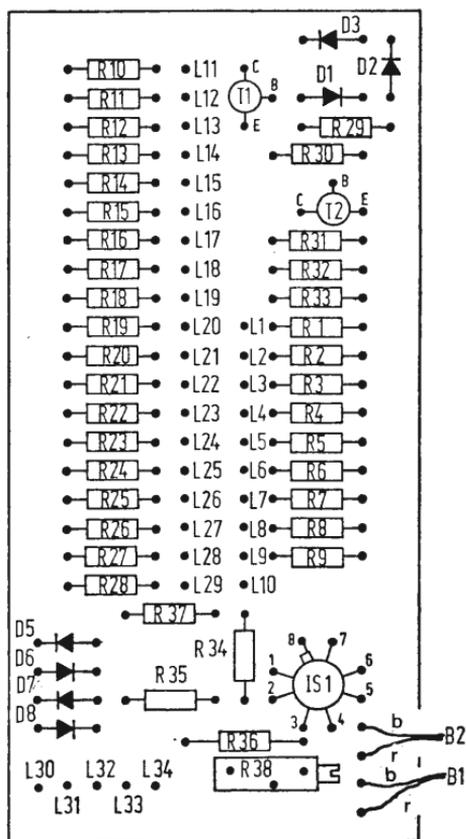


Fig. 2.07. Schema di incisione per il circuito di Fig. 2.06

va, lavare con detersivo, asciugare con un fazzolettino di carta, strofinare infine con alcool. Ora la piastrina è pronta per essere ricoperta di inchiostro protettivo. Lo schema del circuito va ricalcato con carta carbone blu (con quella nera le linee non sarebbero ben visibili), passato a penna con inchiostro speciale che non si scioglie in acqua, e con un pennino apposito. Infine la piastrina va immersa in una soluzione di 250 cm³ di acqua distillata, 125 g di cloruro ferrico FeCl₃ e 1 cm³ di acido muriatico. La soluzione va scaldata a 50°. La bacinella (si consiglia una bacinella per lo sviluppo delle foto) deve essere agitata durante l'incisione. Quando



tutte le parti esposte sono incise, la piastrina va lavata in acqua corrente. L'inchiostro va tolto con uno straccetto imbevuto di solvente (per esempio acetone). Poi la piastrina va nuovamente lavata con detersivo, asciugata ed infine ricoperta con lacca protettiva. Solo ora la si può toccare nuovamente con le mani.

Il montaggio è visibile in Fig. 2.08. I punti in cui viene prelevata la tensione campione conviene siano forniti di una indicazione, come si può vedere nella foto 4 di tavola 2. I valori della

Fig. 2.08. Allestimento della piastra di Fig. 2.07.

tensione vanno scritti con inchiostro di china su un cartoncino da incollare sulla piastra.

2.7 Un voltmetro elettronico per poche lire

Per un dilettante le spese devono essere necessariamente limitate. Chi non è proprio appassionato di metodi moderni di misura, può costruirsi senza gravi difficoltà un voltmetro piuttosto preciso ad alta impedenza, che è addirittura utilizzabile per misure su circuiti transistorizzati. Se l'apparecchiatura viene fissata su una basetta di legno compensato o se si utilizza una scatola di legno, il tutto non viene a costare troppo. Malgrado il basso costo vi si può leggere con la precisione di $1/10$ V. Il segreto consiste nel sostituire all'indicatore, facilmente leggibile ma molto caro, due lampadine per l'indicazione, che vengono regolate alla stessa luminosità con l'aiuto di un potenziometro.

La Fig. 2.09 mostra il semplice circuito. Due transistori, T2 e T3, alimentano ciascuna una lampadina e sono regolati in modo che solo con una luminosità media le due lampadine possono fare la

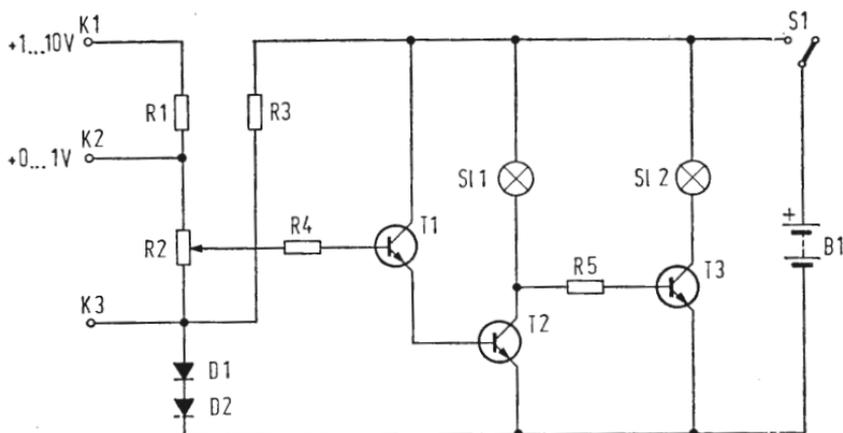


Fig. 2.09. Voltmetro elettronico con indicazione a lampadina

Elenco dei componenti per il circuito di Fig. 2.09

B1	pila piatta 4,5 V
D1, D2	2 diodi universali al silicio 1 N 4154 o simili
K1, K2	2 boccole rosse
K3	boccola nera
R1	resistenza 560 k Ω
R2	potenziometro 25 k Ω , lineare, 0,5 W
R3	resistenza 5,6 k Ω
R4	resistenza 15 k Ω
R5	resistenza 1,2 k Ω (resistenze con tolleranza \pm 5%, 1/3 W)
S1	commutatore a una via
SL1, SL2	2 lampadine 2,5 V/0,2 A
T1-T3	3 transistori universali npn BC 107, BC 108 o simili

stessa luce; altrimenti una fa più luce dell'altra. La tensione d'entrata raggiunge il transistore T1 tramite il potenziometro R2 e la resistenza di protezione R4. T1 e T2 formano un circuito Darlington, che è necessario perché l'amplificazione di corrente di un unico transistore non sarebbe sufficiente per alimentare la lampadina SL1, che richiede 200 mA, a causa del circuito d'ingresso ad alta impedenza.

La base di T3 è collegata con il collettore di T2. Se T2 è alimentato, SL1 dà una luce forte, mentre è bloccato T3 e SL2 rimane spenta. Con T2 bloccato SL2 dà una luce forte. Per la taratura il potenziometro va regolato in modo che le due lampadine facciano la stessa quantità di luce. Una volta costruito il circuito, al potenziometro viene sovrapposta una scala che verrà tarata. Se non si hanno altre possibilità, per la taratura si può usare la sorgente di tensione tarata di Fig. 2.06. Al potenziometro va fissato un disco di cartone bianco, al perno ruotante si fissa un indicatore fatto di cartoncino colorato. La precisione di lettura aumenta con le dimensioni del disco. La foto 6 di tavola 2 mostra il prototipo costruito su tavoletta di legno.

Cambiando la resistenza R5 si può influenzare la luminosità delle lampadine ed anche la spaziatura della scala. Occorre ancora notare che la risposta di questo circuito è piuttosto lenta; una volta regolata la luminosità, questa cambia ancora per un po' di

tempo, cosicché si dovrà ripetere ancora la regolazione col potenziometro dopo circa mezzo minuto.

Poiché il circuito è molto semplice, le tolleranze dei componenti utilizzati nella costruzione possono influenzare soprattutto l'amplificazione dei transistori: per questo motivo non è possibile dare una ricetta valevole in generale per la loro scelta. Chi desidera perfezionare lo strumento può provare a modificare la scala inserendo delle resistenze tra R2 e l'ingresso K2 e tra R2 e K3. Si può anche cambiare la tensione di soglia modificando il numero dei diodi.

2.8 Costruzione di una scatola di resistenze a decadi

Anche per la scatola di resistenze a decadi vale un discorso simile a quello per la sorgente di tensione campione: non si tratta cioè di uno strumento di misura, tuttavia è ugualmente indispensabile per la costruzione, lo sviluppo e la messa a punto dei circuiti. La parola « decade » implica il significato « dieci » (del greco deca = dieci); cioè significa che i valori di resistenza sono regolabili in passi da dieci. Visto che i valori di resistenza in commercio sono molto vari, ci si può domandare il perché di questo circuito. Il fatto è che se si volessero tutte le resistenze, per esempio della serie E 12 (resistenze al 5%), occorrerebbe comperarne un numero molto più elevato che non quello utilizzato nella scatola a decade. Il prezzo della scatola dipende essenzialmente dai commutatori multipli ruotanti; non vale quindi la pena di risparmiare sulle resistenze, visto che sono molto più a buon prezzo. Concediamoci delle resistenze al 2%, cioè di buona qualità. Le resistenze vanno collegate come in un partitore di tensione e connesse con il commutatore ruotante, come si vede in Fig. 2.10.

Si possono collegare in serie quante decadi si vogliono. In pratica però non si dovrebbe connetterne troppe per non realizzare un'apparecchiatura troppo complessa e costosa; comunque in genere non si usa una sola decade, bensì più di una alla volta. Quasi sempre si sa, almeno approssimativamente, se c'è bisogno

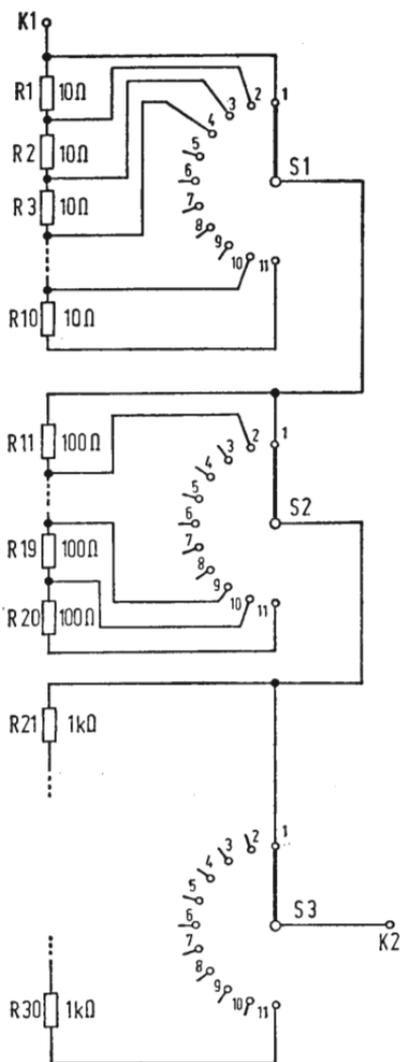


Fig. 2.10. Circuito per decenni di resistenze

di alcuni Ω , $k\Omega$ o $M\Omega$. Questo però non ci deve portare, per risparmiare decenni, a montare ogni decade separatamente, connettendola eventualmente con la successiva con un cavetto. In tal modo si può essere tentati di togliere la spina e attaccarla alla decade seguente: ma un transistore con questa operazione si può rovinare. In definitiva conviene collegare in modo definitivo almeno tre decenni.

Le decenni più usali sono prodotte in due versioni: in passi $10\ \Omega$, $100\ \Omega$ e $1\ k\Omega$ e in passi $10\ k\Omega$, $100\ k\Omega$ e $1\ M\Omega$. In pratica si ha bisogno di più decenni e visto che il passo di $10\ \Omega$ non è frequente come quello di $10\ k\Omega$ vorrei proporre la seguente combinazione: $100\ \Omega$, $1\ k\Omega$ e $10\ k\Omega$.

Collegiamo allora tre decenni. Le uscite vanno connesse

ai morsetti K1 e K2. Le posizioni del commutatore vanno indicate sulla piastra frontale e i « comuni » dei commutatori vanno connessi con un cavo. Le indicazioni sulla piastra frontale vanno fatte

Elenco dei componenti per il circuito di Fig. 2.10

K1, K2	2 morsetti
R1-R30	3 gruppi da 10 resistenze di ugual valore con tolleranza 2%; si possono scegliere i valori 10 Ω , 100 Ω , 1 k Ω (dissipazione 1 W) come pure 10 k Ω , 100 k Ω , 1 M Ω (dissipazione 1/4 W)
S1-S3	3 commutatori 3x11 con manopola piastrina

o con una pinza per incisioni o con lettere da incollare che vanno poi protette dalla sporcizia con lacca protettiva a spruzzo. Il gruppo di tre decadi va posto in un'unica scatola di lamiera o di plastica. Le resistenze possono essere montate su piastrine tramite punti terminali o su piastre conduttrici incise. Esistono anche apposite piastre preincise e preforate che hanno posto per tre gruppi da dieci. Le foto 1, 2 e 3 di tavola 1 mostrano la piastrina e lo strumento terminato.

2.9 Costruzione di una scatola di capacità a decadi

Anche le decadi di capacità permettono di risparmiare molto tempo nella costruzione di circuiti. Se per esempio si vuole costruire un oscillatore, questo può non oscillare al primo tentativo oppure può non oscillare alla frequenza voluta. Se poi si dovessero saldare in un circuito uno dopo l'altro diversi condensatori, fino a trovare quello giusto, il lavoro sarebbe troppo lungo e complesso.

Al contrario delle decadi di resistenze, qui non è il caso di prendere le capacità davvero a decadi; infatti per raddoppiare la capacità è necessario o collegare in parallelo due condensatori uguali o inserirne uno che abbia doppia capacità. L'ultima possibilità è da escludere poiché è difficile trovare in commercio condensatori con le capacità desiderate.

D'altra parte la prima possibilità non è attuabile tecnicamente con un commutatore ruotante. Si dovrebbe infatti provvedere di interruttore ogni condensatore e ciò comporterebbe un circuito molto

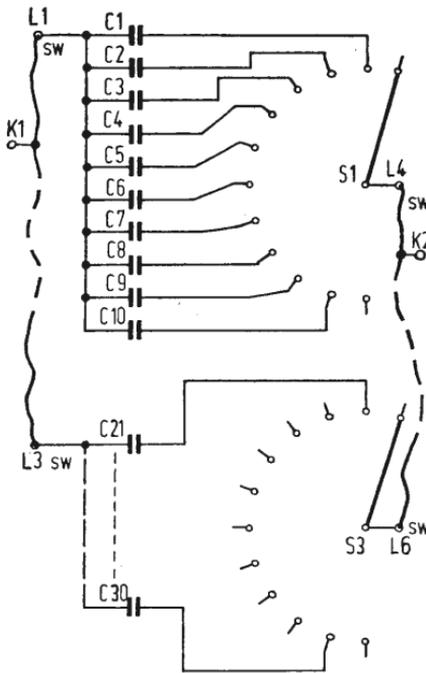


Fig. 2.11. Circuito per decenni di capacità

complesso e confuso. Perciò consiglieri di usare le singole capacità con i valori previsti dal produttore. Se si desidera sfruttare completamente le possibilità del commutatore ruotante, ogni gruppo di condensatori deve essere composto da 11 elementi, che non includono due decenni complete. Tuttavia questa è la soluzione più economica.

Elenco dei componenti per il circuito di Fig. 2.11

1. gruppo
10 condensatori tubolari 500 V coi valori 5,6/10/15/18/22/33/39/47/68 e 100 pF
2. gruppo
10 condensatori tubolari 500 V coi valori 150/220/330/470/680/1000/1200/1500/2200/3300 pF
3. gruppo
7 condensatori tubolari 500 V coi valori 4,7/5,6/6,8/8,2/10/12/15 nF e 3 condensatori 160 V coi valori 22/33/47 nF
4. gruppo
10 condensatori 100 V coi valori 0,068/0,1/0,15/0,22/0,33/0,47/0,68/1/1,5/2,2 μ F
5. gruppo
7 condensatori elettrolitici 100 V coi valori 4,7/10/22/47/100/220/470 μ F e un condensatore elettrolitico 1000 μ F/63 V
- K1, K2 . 2 morsetti
- S1-S3 . 3 commutatori 3 \times 11 con manopola
60 punti terminali
piastrina per circa 30 componenti

Contrariamente a quelle di resistenze, qui le decadi possono essere collegate tra loro a piacere con cavetti di connessione come mostra la Fig. 2.11. Il disinserimento di una capacità non può mettere in pericolo il circuito. Mi è spesso capitato di vedere funzionare molto bene un circuito oscillante montato con queste decadi. Ma inserendo poi il condensatore di valore corrispondente, le oscillazioni sparivano. Il condensatore presentava un'attenuazione troppo elevata rispetto a quella del condensatore della decade. Per questo motivo si dovrebbero usare per le decadi solo i migliori condensatori che si trovano sul mercato. Si tratta di condensatori a tubo, a ceramica o a strato. Per capacità molto elevate gli unici condensatori usabili sono quelli elettrolitici, nel montaggio dei quali bisogna fare attenzione alle polarità: essi vengono infatti distrutti da una polarizzazione sbagliata. I morsetti corrispondenti ai due poli si faranno dunque di due colori diversi: rosso per il positivo e blu per il negativo. Nella lista dei componenti vi sono indicazioni per i vari intervalli da 5,6 a 1000 μF . La costruzione è simile a quella già descritta per le decadi di resistenze.

3. La costruzione di strumenti di misura multipli

I misuratori di corrente e tensione fanno parte della strumentazione fondamentale dell'hobbysta. Quasi sempre uno strumento di misura può indicare una unica grandezza elettrica e solo in un determinato intervallo di misura. Per ovviare a ciò esistono degli strumenti multipli o multimetri di vari tipi che, commutando un semplice interruttore, possono misurare grandezze per vari valori. È chiaro che anche in questo caso ci sono dei limiti per quel che riguarda la versatilità, la precisione ed il prezzo. Uno strumento di misura troppo versatile presenta per esempio lo svantaggio della complicazione e spesso si commettono errori di « manovra ». Si pensi al caso in cui si voglia misurare la tensione e si sia predisposto lo strumento come misuratore di corrente: qualcosa si rovinerà, magari solo un fusibile.

3.1 Un semplice strumento per misure multiple

Non è detto che ciò che vale per qualcuno valga anche per altri. Penso però che le misure che un dilettante in genere esegue siano misure di tensioni continue. Un voltmetro dovrebbe quindi bastare per l'inizio. Anche se in un secondo tempo si arrivasse ad avere strumenti migliori, un semplice voltmetro è sempre utilizzabile, poiché spesso vengono collegati più strumenti di misura ad un circuito. Uno strumento di misura per dilettanti dovrebbe soddisfare due condizioni. Primo: il principiante dovrebbe senz'altro essere in grado di costruirlo e di scoprire da sé possibili errori di montaggio. Secondo, non dovrebbero essere necessarie delle tarature: è chiaro che il dilettante che si sta costruendo il primo strumento di misura non possiede strumenti di cui servirsi per regolarlo.

Certamente uno strumento con impedenza d'ingresso di circa 10 k Ω non può essere ritenuto di alta impedenza; perciò le sue utilizzazioni saranno limitate. In compenso costa poco, si impara qualcosa ed è sempre pronto poiché non necessita di batteria nè di nessun altro tipo di alimentazione. Un vantaggio ulteriore: non si deve incidere una piastrina.

Passiamo ora al circuito. Lo strumento indicatore usato è un microamperometro: per avere la deviazione massima dell'ago sono necessari 100 μ A e 150 mV. Per poter eseguire delle misure di tensione, si devono collegare in serie coll'indicatore una o più resistenze. Tali resistenze sono disposte in modo da formare diversi intervalli di misura di tensione. Il principio di collegamento è indicato in Fig. 3.01 (nello schema semplificato non sono indicati tutti i commutatori). La Fig. 3.01 a mostra il commutatore nella posizione 2 (portata 1 V) e i componenti che intervengono in questa posizione. Facendo fare un ulteriore scatto al commutatore, si varia la gamma di misura di tensione in quanto vengono inserite altre resistenze in serie. Poiché con un'escursione dell'ago pari al 10% della portata massima la precisione di lettura non è

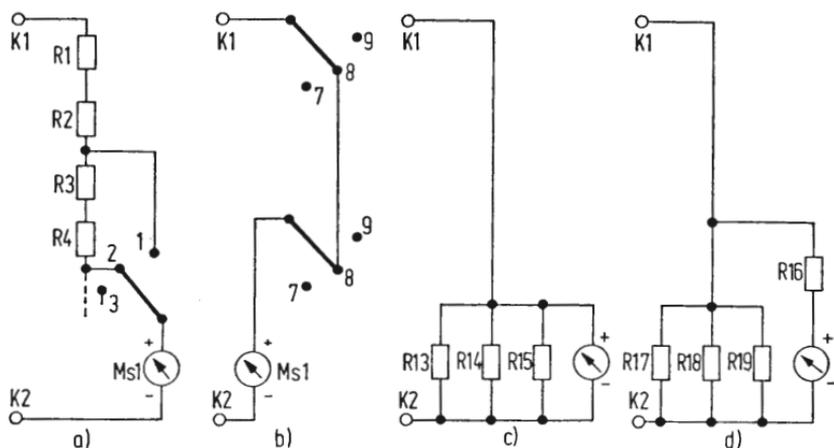


Fig. 3.01. Collegamenti del multimetro: a) gamma 1 V; b) gamma 0,1 mA; c) gamma 1 mA; d) gamma 10 mA

molto grande si sono previste delle portate « medie » (per esempio 2 V e 20 V). In questo caso però è necessario moltiplicare per 2 i valori letti sulla scala; una scala doppia sarebbe certamente utile ma difficilmente reperibile.

Poiché non crea particolari complicazioni, sono state previste anche alcune portate di misurazione di corrente. La figura 3.01 b mostra il particolare per la portata 0,1 mA (100 μ A). L'indicatore si trova connesso direttamente ai morsetti d'ingresso. Nella portata 1 mA (schema 3.01 c) sono state poste in parallelo all'indicatore tre resistenze di portata (shunts). Nella portata 10 mA (schema 3.01 d) è stata prevista, oltre alle resistenze di portata, una resistenza in serie con l'indicatore. In tal modo si ottengono le seguenti portate:

Posizione dell'interruttore	Portata
1	0,2 V
2	1 V
3	2 V
4	10 V
5	20 V
6	100 V
7	—
8	0,1 mA
9	1 mA
10	10 mA
11	—

Il circuito completo è in Fig. 3.02. Chi ha esaminato attentamente i particolari della Fig. 3.01 non troverà problemi con lo schema completo. I valori di resistenza indicati nell'elenco dipendono ovviamente dalle tolleranze delle singole resistenze. Però si è visto che le tolleranze delle resistenze utilizzate erano in effetti molto minori di quelle indicate dal produttore, cosicché non dovrebbero

sorgere troppe difficoltà nella costruzione. Per chi è interessato, è possibile prevedere anche altre gamme di misura, per esempio 100 mA o simili.

È conveniente fissare le 19 resistenze su di una piastrina preincisa. Tali piastrine si trovano in qualsiasi negozio di materiale elettronico. Il prototipo è stato montato su di una piastrina progettata proprio per questi strumenti. Essa ha posto per trenta componenti non troppo grandi, come resistenze e condensatori. Questa piastrina è particolarmente adatta per decadi di resistenze e capacità ed è reperibile già preincisa e forata. Il collegamento tra

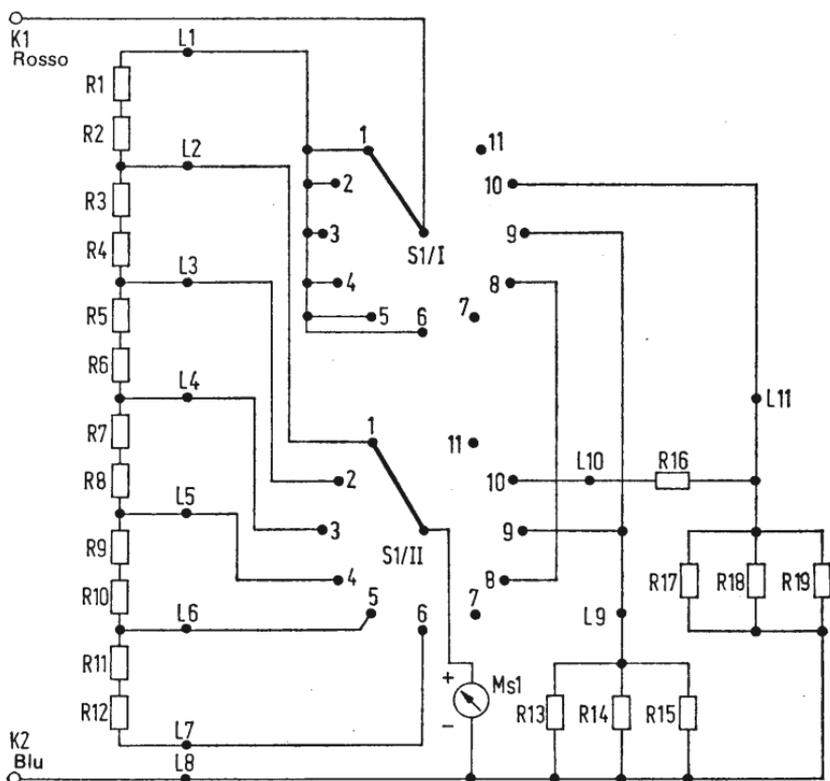


Fig. 3.02. Schema di collegamento del multimetro

Elenco dei componenti per il circuito di Fig. 3.02

K1	boccola isolata rossa
K2	boccola isolata blu
L1-L11	11 punti terminali
Ms1	microamperometro 65/100 μ A
R1	resistenza 56 Ω
R2	resistenza 560 Ω
R3	resistenza 6,8 k Ω
R4	resistenza 1,5 k Ω
R5	resistenza 10 k Ω
R6	resistenza 390 Ω
R7	resistenza 820 Ω
R8	resistenza 82 k Ω
R9	resistenza 3,9 k Ω
R10	resistenza 100 k Ω
R11	resistenza 1,2 k Ω
R12	resistenza 820 k Ω
R13	resistenza 6,8 k Ω
R14	resistenza 220 Ω
R15	resistenza 3,3 k Ω
R16	resistenza 560 Ω
R17	resistenza 3,9 k Ω
R18	resistenza 10 k Ω
R19	resistenza 56 Ω (resistenze con \pm 5% tolleranza, 1/4 Watt)
S1	Commutatore 2/11 con manopola piastrina

piastrina e commutatore viene effettuato con un conduttore flessibile; è conveniente saldare quest'ultimo ad attacchi (punti terminali) che possono essere fissati nei fori della piastrina (chiamati L1, L2 ecc. nella Fig. 3.02). Lo schema di montaggio è in Fig. 3.03. Volendo, è possibile anche incidere una piastrina seguendo il modello della foto 1 di tavola 1. In tal caso si può incidere la piastrina in modo che i ponti di filo indicati in Fig. 3.03 vengano eliminati.

È possibile inserire il circuito in ogni tipo di involucro. Il prototipo ha una piastra frontale in alluminio, materiale facilmente lavorabile. Nella foto 7 di tavola 3 si può vedere lo strumento terminato. Le scritte sulla piastra frontale sono state fatte con apposite lettere da incollare.

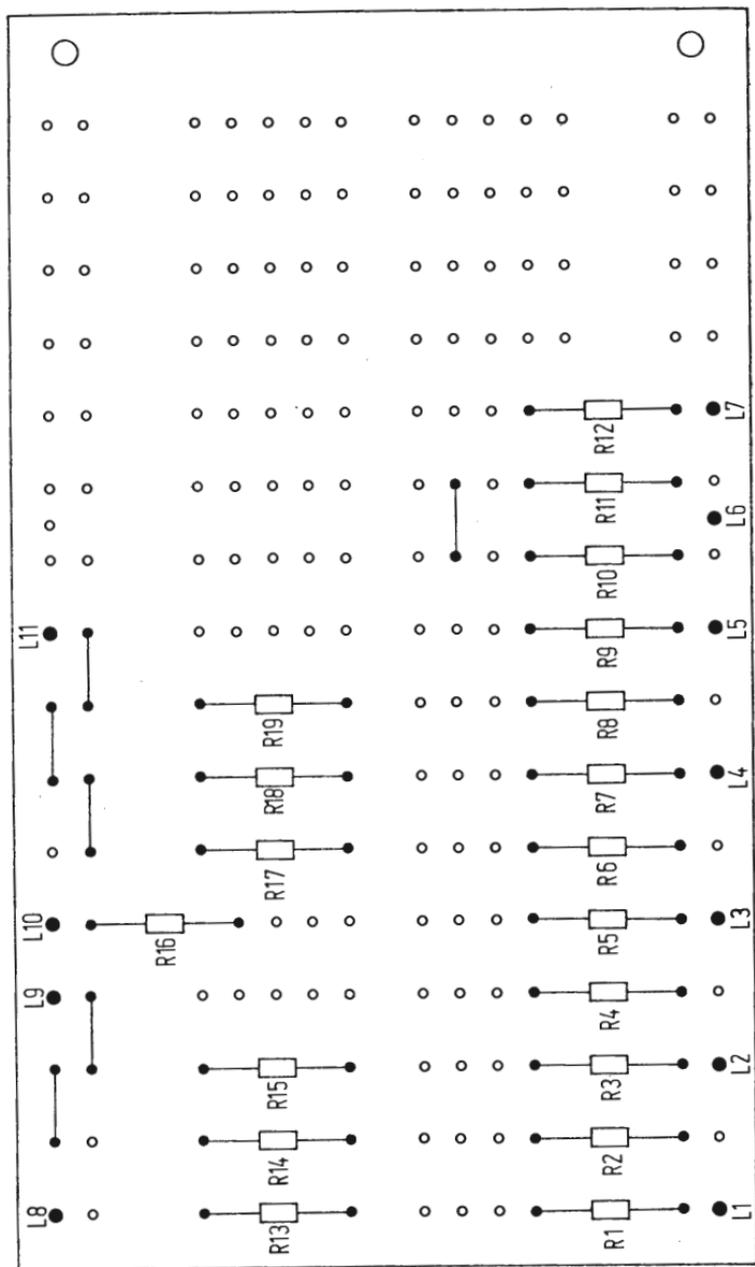


Fig. 3.03. Allestimento della piastrina

3.2 Un semplice voltmetro elettronico con un circuito integrato

Usiamo ancora un microamperometro come strumento indicatore, e un circuito integrato (IC) per la « preparazione » della grandezza da misurare, ottenendo così uno strumento molto preciso con una impedenza d'ingresso di più di 150 k Ω ; è adatto per misurare tensioni continue tra 1 e 100 V. Data l'impedenza d'ingresso molto elevata si possono senz'altro effettuare misure di tensione in circuiti transistorizzati. Per non spendere troppo, come indicatore usiamo un semplice microamperometro, e ci limitiamo a tre portate. Siccome si prevedono potenziometri poco costosi per la taratura, sarà necessario rieffettuare ogni tanto la taratura dello strumento; ciò vale soprattutto se lo si sottopone a grandi cambiamenti di temperatura. In ogni caso, la parte elettronica è molto più precisa di quanto non lo sia l'indicatore.

Funzionamento

Osserviamo lo schema in Fig. 3.04. La tensione da misurare è portata all'ingresso non invertito 3 dell'amplificatore operazionale tramite gli attacchi K1 e K2. Sappiamo già dal paragrafo 3.1 a che servono le resistenze R11, R12 e R13 con le quali viene regolata l'amplificazione; conosciamo pure il significato di R10. Per evitare la distruzione dell'amplificatore operazionale (basterebbe che per svista arrivasse una tensione troppo elevata in ingresso) sono stati previsti dei diodi di sicurezza D3 e D4 che limitano la tensione in ingresso dell'amplificatore; in altre parole la tensione in arrivo viene limitata alla tensione di apertura dei diodi Zener che è 6,2 V. Poiché abbiamo due diodi Zener connessi in opposizione, questo effetto si avrà per ogni polarità della tensione d'ingresso. I due diodi D1 e D2 servono a limitare le correnti residue dei diodi Zener soprattutto per tensioni d'entrata piccole. Per non sottoporre ad un carico eccessivo i diodi Zener con tensioni troppo elevate, viene inserita la resistenza di protezione R9.

Il potenziometro R14 serve per la regolazione dell'offset. Come sappiamo dal paragrafo precedente, la corrente d'entrata provoca una caduta di tensione sulla resistenza derivata R10. Se si met-

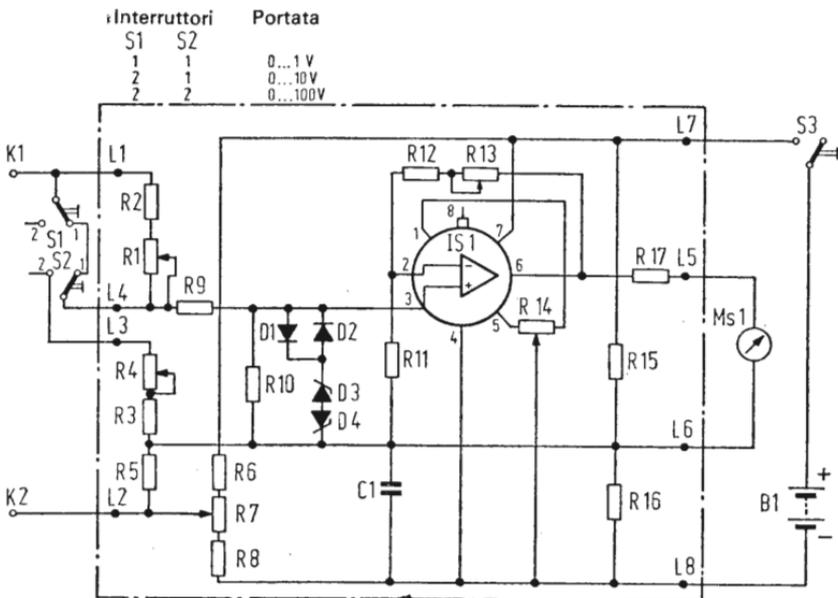


Fig. 3.04. Semplice voltmetro elettronico

Elenco dei componenti per il circuito di Fig. 3.04

- B1 pila 9 V
- C1 condensatore 0,1 μ F
- D1, D2 diodo universale al silicio 1 N 4154 o simile
- D3, D4 diodo Zener 6,2 V ZPD 6,2 o simile
- IS1 amplificatore operazionale integrato 741 C in involucro metallico
- K1 boccia rossa
- K2 boccia nera
- L1-L8 punti terminali
- Ms1 strumento di misura 100 μ A
- R1 trimmer 500 k Ω
- R2 resistenza 1,2 M Ω
- R3 resistenza 8,2 k Ω
- R4 trimmer 10 k Ω
- R5 resistenza 2,7 k Ω
- R6 resistenza 5,6 k Ω
- R7 trimmer 1 k Ω
- R8 resistenza 4,7 k Ω
- R9 resistenza 15 k Ω
- R10 resistenza 150 k Ω
- R11 resistenza 220 k Ω

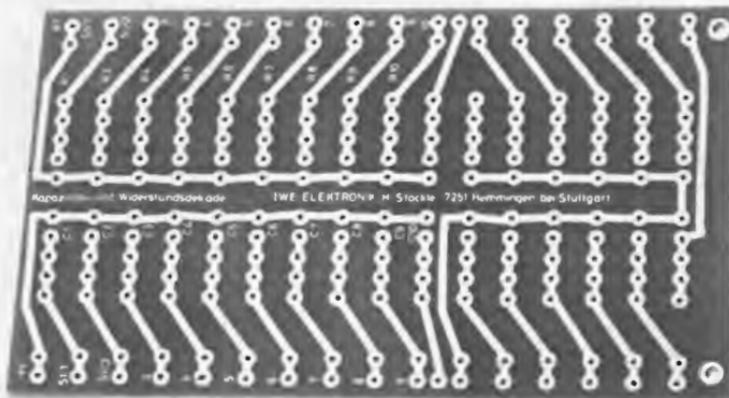
R12	resistenza 270 k Ω
R13	trimmer 50 k Ω
R14	trimmer 10 k Ω
R15	resistenza 5,6 k Ω
R16	resistenza 4,7 k Ω
R17	resistenza 15 k Ω (resistenze con \pm 5% tolleranza, 1/3 W)
S1, S3	interruttori piastrina 85x90 mm

Dati tecnici per il circuito di Fig. 3.04

Tensione di alimentazione	6...15 V non stabilizzata
Sorgente di tensione	Pila da 9 V
Consumo di corrente	ca. 2,4 mA
Durata della pila	ca. 100 ore
Variazione della tensione d'uscita per variazioni della tensione d'alimentazione attorno a 1 V	0,1%
Impedenza d'ingresso	ca. 150 k Ω
Gamme di misura	0-1 V 0-10 V 0-100 V
Errore dovuto alle variazioni di temperatura dell'amplificatore	tipicamente 0,05%/ $^{\circ}$ C massimo 0,5%/ $^{\circ}$ C

tesse in cortocircuito l'entrata, questa caduta di tensione svanirebbe, e lo strumento, prima sullo zero, comincerebbe a deflettere. Perciò è necessario sovrapporre alla tensione in ingresso una tensione di compensazione che viene regolata con il potenziometro R7. Per poter tarare in modo fine sono state aggiunte anche le resistenze R5, R6 e R8. Per utilizzare solo una sorgente di tensione si crea un punto zero artificiale con il partitore di tensione R15/R16. Le oscillazioni vengono evitate collegando R16 con il condensatore C1. Poiché il circuito è troppo sensibile, è stata messa in serie allo strumento la resistenza R17 per renderlo un po' meno sensibile. Utilizzando uno strumento di misura con una sensibilità o una resistenza diversa da quella indicata, quest'ultima resistenza dovrà forse essere modificata. Una domanda che ci si pone è: perché, se ora è necessario diminuire il segnale, utilizziamo un amplificatore? Esso serve solo per modificare l'impedenza. Lo strumento da solo, con una resistenza in ingresso, avrebbe

foto 1. Piastra conduttrice
per decadi di resistenze e
capacità



avola 1

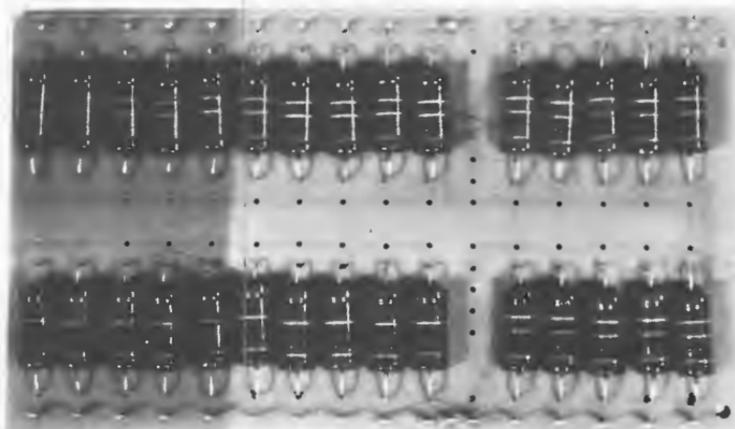


foto 2. Piastra conduttrice
per decadi di resistenze con
) resistenze da 1 W

10 cm

foto 3. Tre decadi di
sistenze in scatola di mate-
riale plastico; le lettere sulla
pstrata frontale sono state
collate



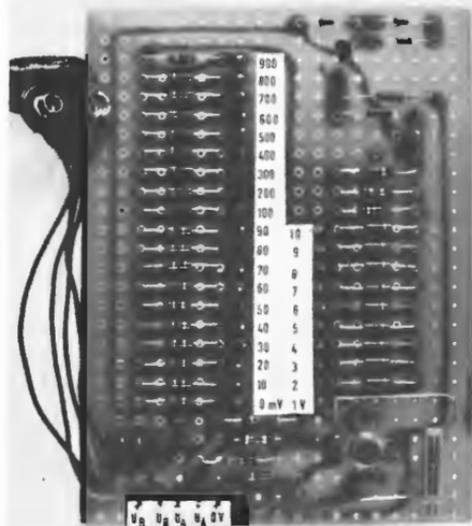


Foto 4. Sorgente di tensione a decadi per taratura

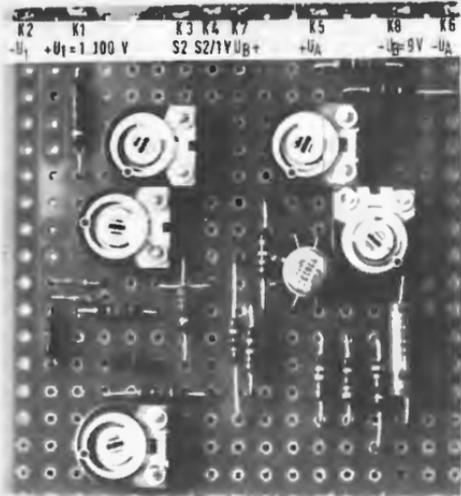
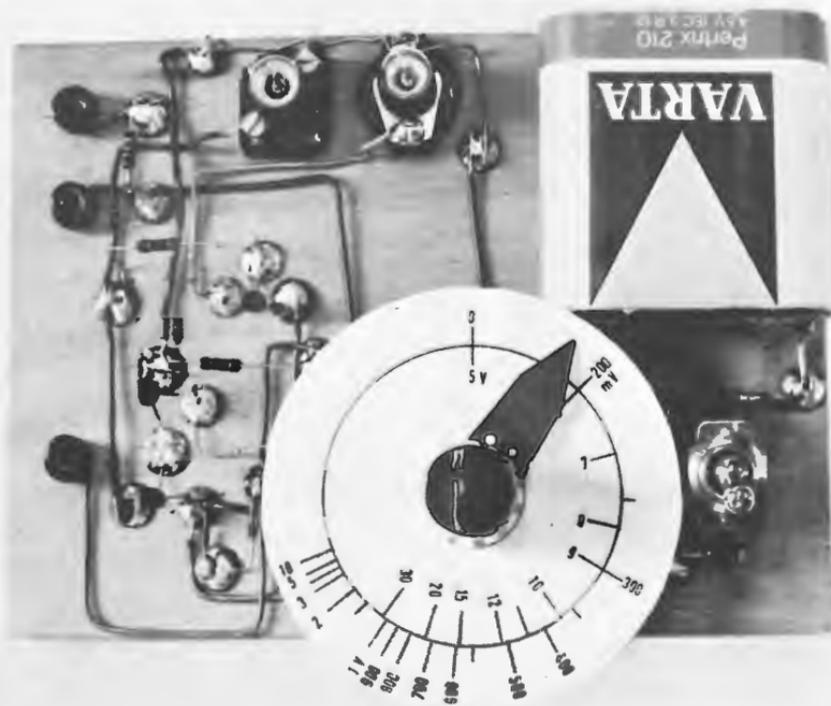


Foto 5. Piastrina conduttrice del semplice voltmetro elettronico

Tavola 2

Foto 6. Voltmetro con indicazione a lampadina



nella portata 1 V una impedenza d'ingresso di $10\text{ k}\Omega$ che è, come sappiamo, troppo piccola per fare misure su circuiti transistorizzati. Le resistenze R1/R2 servono per modificare la portata a 10 V. Per poter misurare anche 100 V si dovrebbero scegliere due resistenze molto più grandi e cioè di circa $12\text{ M}\Omega$: resistenze così elevate non sono facilmente reperibili. Per questa ragione non si usa un reostato per questa portata, ma una serie di resistenze formata dalla resistenza fissa R3 e dal potenziometro di taratura R4. Queste due resistenze formano con R1 e R2 un partitore di tensione che diminuisce la tensione di ingresso.

Costruzione e taratura

Visto che questo circuito è costituito da parecchi componenti, una realizzazione su una usuale basetta risulterebbe piuttosto complessa. Quindi montiamo tutto su di una piastrina opportunamente incisa secondo lo schema d'incisione di Fig. 3.05.

I fori vanno fatti con una punta da 1,2 mm. È conveniente usare un trapano elettrico con prolunga flessibile: con un trapano a mano si è portati a premere troppo, il che molto spesso provoca danni alle piastrine. Per questo lavoro sarà bene utilizzare piastrine in resina epossidica. I componenti andranno fissati come è indicato nello schema di montaggio di Fig. 3.06. Nella foto 5 di tavola 2 è visibile il circuito ultimato. Per i punti d'attacco L1-L8 conviene usare punti terminali ai quali vanno successivamente saldati i fili di collegamento. La piastrina diventa molto elegante se è fornita di una striscia di spiegazione come si vede nella foto. È meglio tarare la piastrina prima di montarla: a questo scopo si può usare la sorgente di tensione per taratura già descritta. Lo strumento inizialmente non sarà sullo zero. Mediante R14 l'ago viene portato in stato di riposo. Quindi si metteranno in cortocircuito le entrate K1 e K2. Agendo su R7 si rimette lo strumento di nuovo a zero. Si applica quindi una tensione di taratura di 1 V a K1 e si posiziona l'interruttore sulla gamma 0-1 V (vedi Fig. 3.02). Si porta lo strumento alla deflessione massima con il potenziometro R13. Si agisce sugli interruttori S1 e S2 per avere la gamma 0-10 V e si applicano 10 V all'entrata. Con R1 si porta lo stru-

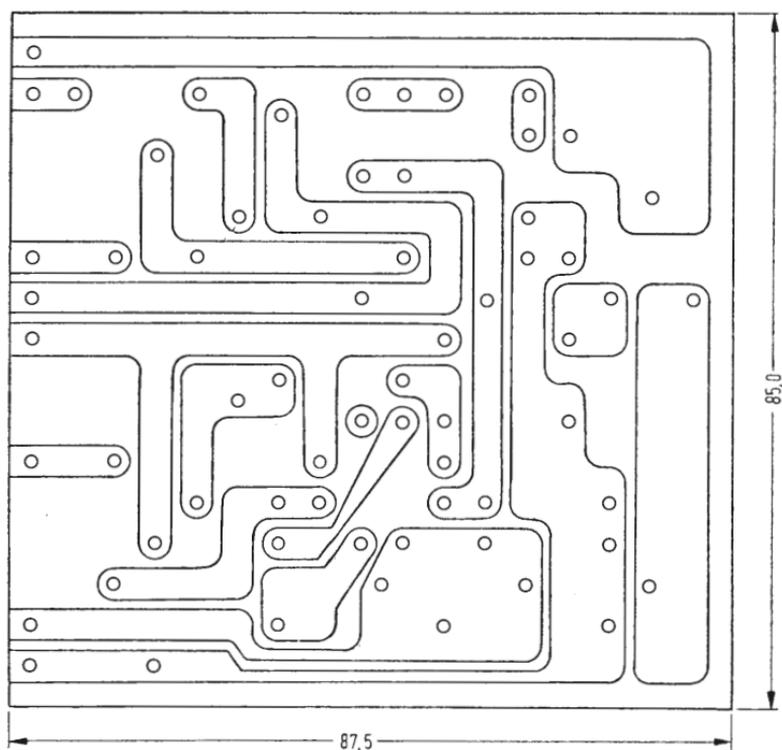


Fig. 3.05. Schema d'incisione per il circuito di Fig. 3.04

mento alla massima deflessione. Ora si portano gli interruttori nella posizione 0-100 V e si regola lo strumento su 10 con il potenziometro R4. Chi ha a disposizione una sorgente di tensione più alta la può usare per una migliore taratura. Dopo aver ripassato ogni passo della taratura i vari pezzi possono essere posti in una scatola.

Per il prototipo si sono usati dei trimmer in ceramica che sono però molto cari. Nell'elenco dei componenti sono quindi indicate delle resistenze-trimmer meno costose. Usando trimmer diversi da quelli previsti nell'elenco occorre fare attenzione alle dimensioni degli attacchi, sia durante l'acquisto che durante l'incisione.

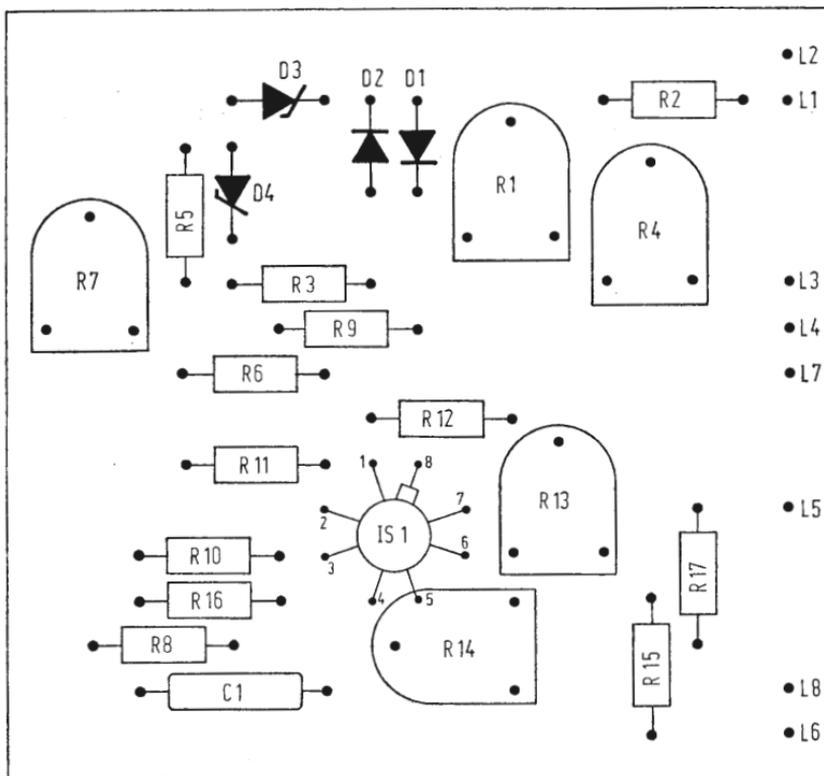


Fig. 3.06. Allestimento della piastrina di Fig. 3.05

3.3 Multimetro elettronico per 23 gamme

Il progetto di questo strumento ha richiesto molto tempo. Avrei voluto proporvene due versioni, la cui differenza di prezzo sarebbe dipesa dall'amplificatore operazionale utilizzato. Infatti l'amplificatore di precisione 8007 C costa circa 10.000 Lire. Ma con un altro amplificatore operazionale sarebbe stata troppo complicata la taratura. Oltre a ciò ci sarebbe stato bisogno di altri

potenziometri ed il circuito sarebbe diventato troppo complicato. In effetti 23 gamme sono ancora troppo poche per uno strumento del genere. Così se per esempio si vuole misurare una tensione di 1,2 o 12 V l'indicazione sarà ancora abbastanza poco precisa. Gli strumenti in commercio hanno più intervalli di misura, per esempio 1 V, 2,5 V, 10 V e così via, ma gli strumenti indicatori con più scale non si trovano facilmente in commercio e comunque sono molto costosi.

Funzionamento

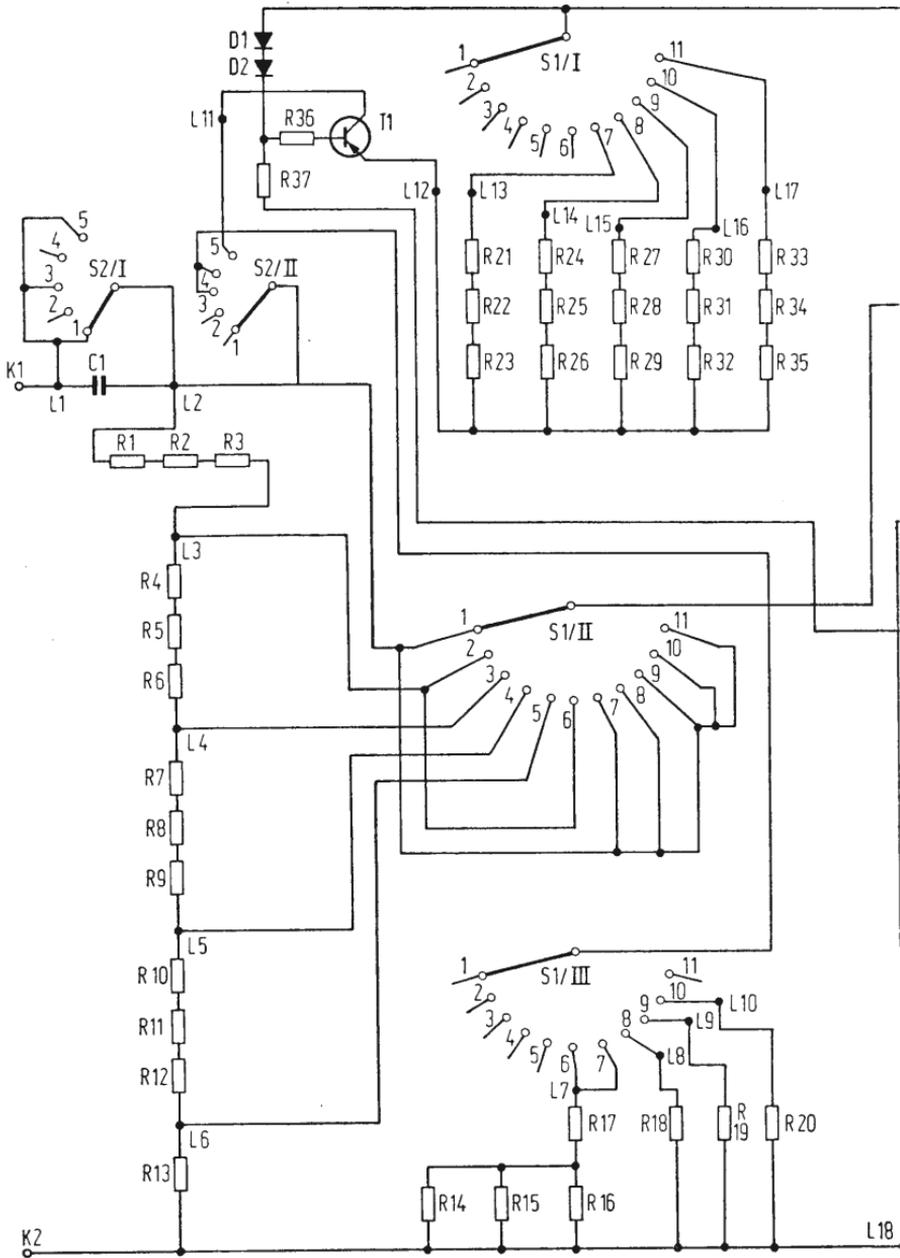
Il circuito indicato in Fig. 3.07 sembra poco chiaro per chi lo vede per la prima volta. Ma dividendolo in gruppi di funzionamento non sarà più così difficile. La parte di sinistra rappresenta il partitore di tensione d'ingresso: ne abbiamo bisogno poiché vogliamo arrivare a 23 intervalli di misura. Per le misure di tensione il commutatore S1 è nelle posizioni 1-5 e preleva la tensione da misurare alle resistenze R1-R3. Nella posizione 1, la più sensibile, la tensione d'entrata raggiunge direttamente l'ingresso del circuito amplificatore.

Il partitore di tensione è adatto sia per tensione continua che alternata. Per la misura di tensione alternata però, dopo l'ingresso, è posto un condensatore per sopprimere possibili residui di tensione continua nella tensione da misurare. L'inserimento e il disinserimento del condensatore si ha attraverso il piano I del commutatore multiplo S2. Le varie portate e le rispettive posizioni degli interruttori sono riassunti nella tabella seguente.

Gamma (ampiezza massima di deflessione)	Posizione dell'interruttore	
	Interruttore S1	Interruttore S2
100 mV=	1	1
1 V=	2	1
10 V=	3	1
100 V=	4	1
1000 V=	5	1

100 mV~	1	2
1 V~	2	2
10 V~	3	2
100 V~	4	2
1000 V~	5	2
0,1 mA=	10	3
1 mA=	9	3
10 mA=	8	3
100 mA=	7	3
1 A=	6	3
0,1 mA~	10	4
1 mA~	9	4
10 mA~	8	4
100 mA~	7	4
1 A~	6	4
100 Ω	7	5
1 k Ω	8	5
10 k Ω	9	5
100 k Ω	10	5
1 M Ω	11	5

Il piano III del commutatore S1 connette ai morsetti d'entrata K1 e K2 delle resistenze di basso valore per la misurazione di corrente. Se si rinuncia ad una elevata precisione, si può fare a meno della taratura utilizzando delle resistenze al 2% per le gamme 10 mA, 1 mA e 0,1 mA (R18-R20). Le resistenze per le gamme 1 A e 100 mA sono però molto piccole ed è difficile trovarne di molto precise cosicché ci si serve di tre o quattro resistenze per non caricarle troppo. Le posizioni 6 e 7 dell'interruttore S1 utilizzano lo stesso gruppo di resistenze; nell'intervallo 1 A (posizione 6) cade 1 V, nell'intervallo 0,1 A invece 100 mV. Perciò con il piano II dell'interruttore S1 in posizione 6 al partitore di tensione si preleva una tensione di 0,1 V.



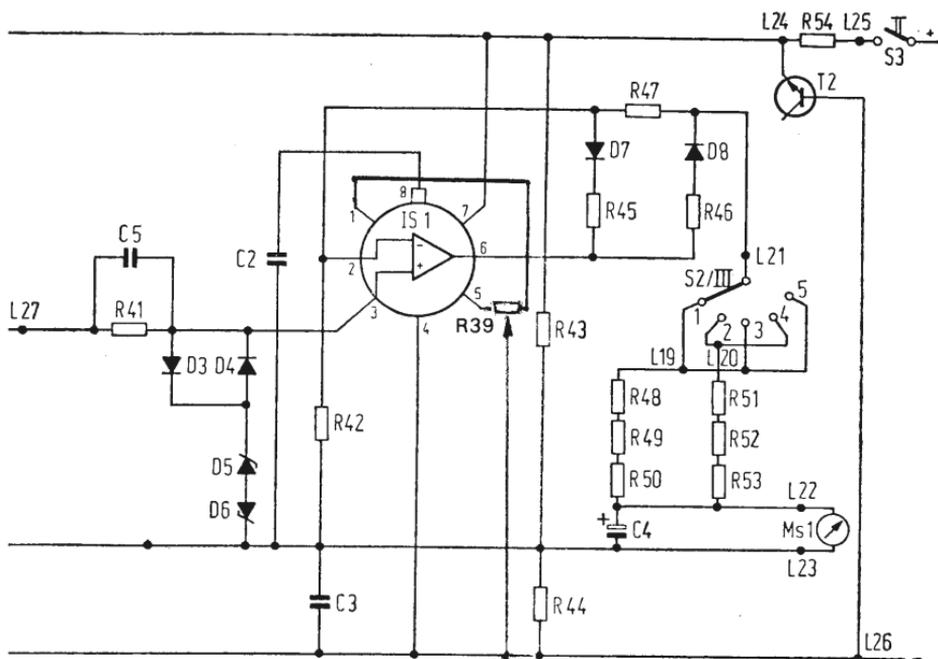


Fig. 3.07. Circuito del tester a 23 gamme

Elenco dei componenti per il circuito di Fig. 3.07

C1	condensatore 2,2 μF
C3	condensatore 0,1 μF
C4	condensatore elettrolitico 100 $\mu\text{F}/16\text{ V}$
C5	condensatore 2,2 nF
D1-D4	4 diodi universali al silicio 1 N 4154 o simili
D5, D6	2 diodi Zener 5,6 V ZPD 5,6 o simili
D7, D8	2 diodi universali al silicio 1 N 4154 o simili
IS1	amplificatore operazionale integrato 8007 C
K1	morsetto rosso
K2	morsetto blu
L1-L27	punti terminali
Ms1	strumento di misura 100 μA
R3	resistenza 820 k Ω
R6	resistenza 82 k Ω
R9	resistenza 8,2 k Ω
R12	resistenza 820 Ω
R13	resistenza 100 $\Omega \pm 2\%$, 1/8 W
R14, R15	resistenza 1,5 $\Omega \pm 5\%$, 1 W

R16	resistenza di taratura 1 W
R17	resistenza $0,22 \Omega \pm 5\%$, 1 W
R18	resistenza $10 \Omega \pm 2\%$, 1/2 W
R19	resistenza $100 \Omega \pm 2\%$, 1/8 W
R20	resistenza $1 \text{ k}\Omega \pm 2\%$, 1/8 W
R21	resistenza 560Ω
R24	resistenza $5,6 \text{ k}\Omega$
R27	resistenza $56 \text{ k}\Omega$
R30	resistenza $560 \text{ k}\Omega$
R33	resistenza $3,3 \text{ M}\Omega$
R36	resistenza $1,5 \text{ k}\Omega$
R37	resistenza $12 \text{ k}\Omega$
R39	trimmer $10 \text{ k}\Omega$
R41	resistenza $560 \text{ k}\Omega$
R42	resistenza $820 \text{ k}\Omega$
R43	resistenza $5,6 \text{ k}\Omega$
R44	resistenza $2,2 \text{ k}\Omega$
R45	resistenza $2,2 \text{ k}\Omega$
R46	resistenza 220Ω
R47	resistenza $4,7 \text{ M}\Omega$
R48	resistenza $4,7 \text{ k}\Omega$
R51	resistenza $1,2 \text{ k}\Omega$
R54	resistenza 680Ω
S1	commutatore 3×11
S2	commutatore 3×5
S3	interruttore
T1	transistore universale pnp BC 177, BC 214 o simile
T2	transistore universale npn BC 107, BC 184 o simile piastrina $95 \times 145 \text{ mm}$ resistenze, se non altrimenti detto, con tolleranza 5% , 1/3 W

Dati tecnici del multimetro

Gamme di misura	$100 \text{ mV}/1 \text{ V}/10 \text{ V}/100 \text{ V}/1000 \text{ V} \approx$ $0,1 \text{ mA}/1 \text{ mA}/10 \text{ mA}/100 \text{ mA}/1 \text{ A} \approx$ $100 \Omega/1 \text{ k}\Omega/10 \text{ k}\Omega/100 \text{ k}\Omega/1 \text{ M}\Omega$ ca. $1 \text{ M}\Omega$
Resistenza interna	
Caduta di tensione per misure di corrente	1 V nella gamma 1 A 0,1 nelle altre gamme
Precisione:	
per tensioni	$\pm 1\%$
per correnti e resistenze	$\pm 2\%$
Consumo di corrente	3,7 mA
Tensione di alimentazione:	
senza stabilizzazione	5 ... 10 V
con stabilizzazione	9 ... 25 V
Variazioni per cambiamenti nella tensione di alimentazione attorno a 1 V:	
senza stabilizzazione	1%
con stabilizzazione	0,2%

Per misure di resistenze si utilizza una sorgente di corrente costante: così si evita una scala non lineare alla quale si è abituati dai multimetri non elettronici. La base del transistor T1 riceve una certa tensione tramite i diodi D1 e D2. Poiché la tensione base-emettitore di T1 è fissata, tra l'emettitore e il polo positivo si crea una ben definita caduta di tensione alla resistenza d'emettitore. Adesso dobbiamo semplicemente scegliere la resistenza d'emettitore con un valore tale da assicurare un valore costante alla corrente che vi passa: in questo modo ai capi della resistenza da misurare si avrà una caduta di tensione corrispondente, che sarà in relazione con la corrente d'emettitore del transistor. Questa corrente viene regolata per le varie portate con le resistenze R21-R35. Poiché per questa parte del circuito si è scelto solo un normale transistor e non un operazionale, la precisione non sarà elevata, soprattutto per grandi cambiamenti della temperatura ambiente.

Dal paragrafo precedente sappiamo già come funziona il circuito amplificatore. Di nuovo possiamo vedere i diodi di protezione all'ingresso non invertito e il potenziometro R39 per la regolazione dell'offset. Siccome un buon amplificatore operazionale ha una corrente d'ingresso massima di soli 0,05 nA, al partitore di tensione d'ingresso non si producono delle cadute di potenziale parassite. Una corrente d'entrata di 0,05 nA viene ottenuta con transistori a effetto di campo.

Per misurare tensioni alternate è necessario introdurre nel ramo di contraccoppiamento dell'amplificatore un circuito raddrizzatore che consiste dei diodi D7 e D8. Si tratta di un raddrizzatore a una semionda. La semionda positiva viene amplificata molto, perché arriva tramite R47 all'ingresso invertito, mentre la semionda negativa non viene amplificata e viene infine soppressa completamente all'uscita mediante il condensatore C4. Dato che i diodi sono connessi nel circuito di contraccoppiamento dell'amplificatore operazionale, le loro caratteristiche non lineari vengono completamente compensate; così è possibile utilizzare una scala lineare. Come si vede, lo strumento indicatore a nostra disposizione ci pone certi limiti.

Per semplicità, l'ago dello strumento devierà dalla stessa parte anche per misure di tensioni continue. Lo strumento mostrerà però deflessioni diverse. Ciò ha varie cause. Per compensare queste differenze, lo strumento indicatore sarà provvisto di diverse resistenze di calibrazione. Per misurazioni di corrente e tensioni continue si inseriscono con il commutatore di selezione S2/III le resistenze R48-R50, per correnti e tensioni alternate le resistenze R51-R53. Il circuito presenta l'inconveniente che se le polarità sono invertite, non si ha deflessione dell'ago; di questo occorre tener conto soprattutto nella taratura. Regolando il potenziometro R39 si trova il punto zero.

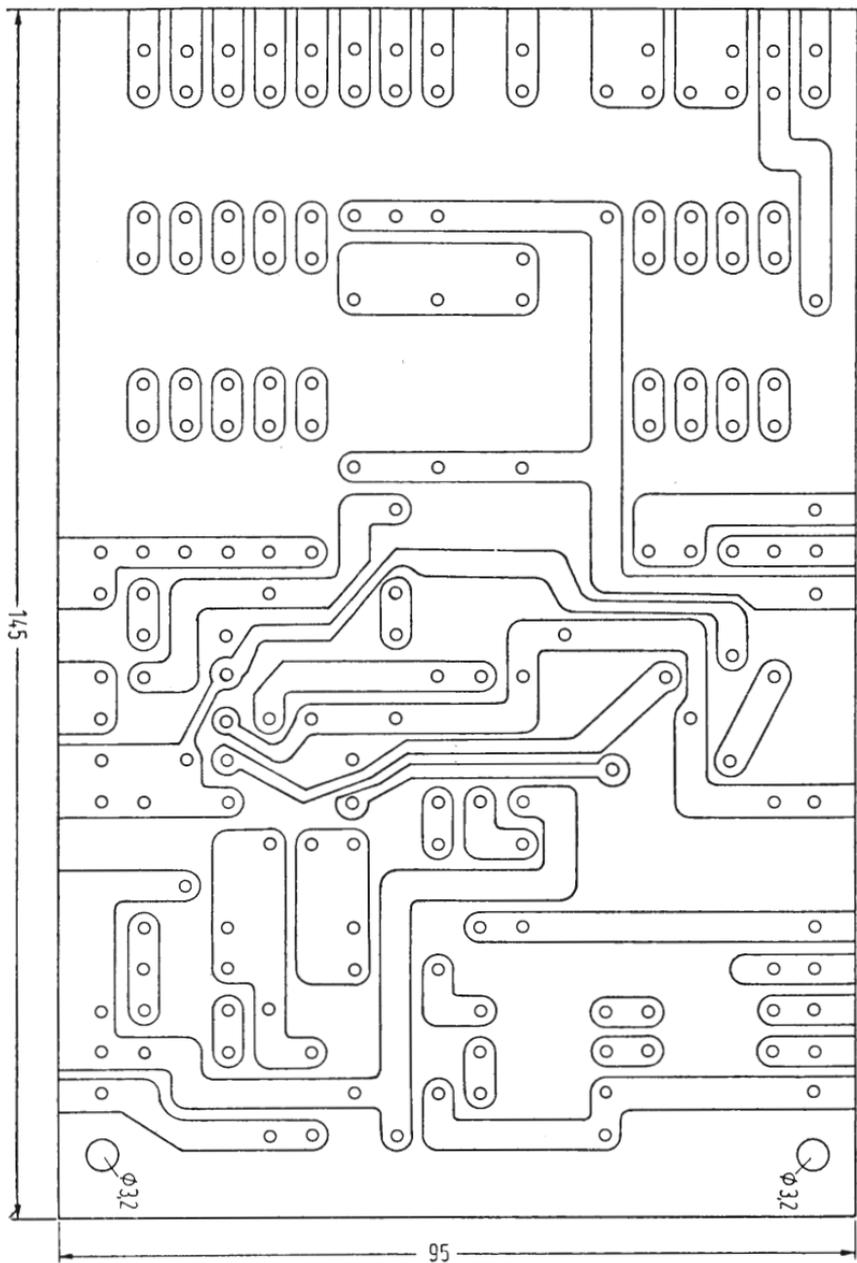
Si consiglia di regolare R39 sulla posizione che dà giusto la minima deflessione quando si accende lo strumento. Il circuito amplificatore non dipende molto dalla tensione di alimentazione: si è trovato un'errore di indicazione dell'1% circa per 1 V di differenza nella tensione di alimentazione. Chi non ha particolari esigenze, può quindi tralasciare T2 e R54 e può alimentare l'apparecchio con una batteria usuale da 9 V. Se si vuole una stabilizzazione tramite T2 c'è bisogno di un'alimentazione con una tensione più elevata. Possiamo prevedere o due batterie o un trasformatore di tensione come verrà descritto nel prossimo capitolo.

Costruzione e taratura

Una volta procuratisi i componenti per la costruzione, possiamo cominciare con l'incisione della piastrina. Come sapete, le piastrine si scheggiano facilmente se non vengono forate con cura. È consigliabile quindi usare un tipo in resina epossidica. Sulla piastrina va ricalcato nel modo già detto lo schema di incisione di Fig. 3.08.

L'assemblaggio della piastrina si può vedere in Fig. 3.09. La piastrina completata è nella foto 8 di tavola 3. Gli attacchi L1-L27 sono realizzati con punti terminali infilati nei fori praticati sulla piastrina e quindi saldati; su questi verranno poi saldati i condut-

Fig. 3.09. Schema d'incisione per il circuito di Fig. 3.07

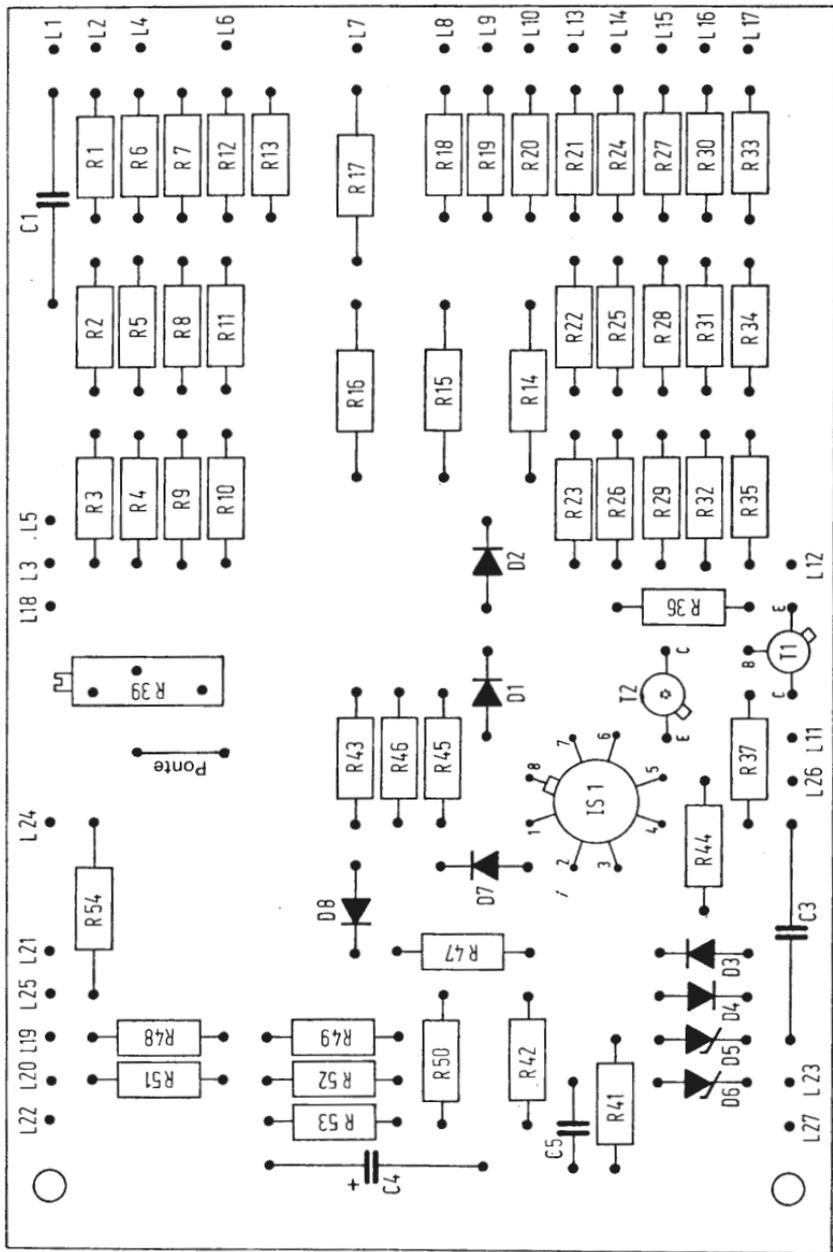


tori. Alcuni di questi punti terminali, per esempio L12, non hanno un rispettivo conduttore: servono solo per rendere più stabile il circuito dal punto di vista meccanico.

Una volta terminato di saldare tutti i componenti, comprese anche le resistenze di valore noto, utilizziamo la sorgente di tensione a decadi per la taratura. Dopo aver connesso all'alimentazione il multimetro, si regola R39 in modo che la deflessione sia minima. Dopo di che connettiamo a L6 una tensione da 100 mV prelevata dalla nostra sorgente di tensione. S1 viene dunque posto in posizione 5, S2 in posizione 1. Tra L19 e il capo libero di R48 si pone la decade di resistenza, regolata in modo che lo strumento indicatore raggiunga la deflessione massima. Il valore di resistenza trovato con la decade non sarà probabilmente tra quelli delle resistenze a disposizione. Perciò sceglieremo per R49 il valore prossimo più piccolo della serie. Di nuovo attacchiamo la decade al capo libero di R49 e accertiamo il valore per R50. Si vedrà che il valore della terza resistenza di taratura non è più critico; ciò significa che l'indicazione non cambierà se il valore determinato con la decade e il valore della resistenza montata sono tra loro un po' differenti.

Spostiamo la sorgente di tensione a 1 V e mettiamo la decade tra L5 e il capo libero di R12. Poi proseguiamo nella taratura allo stesso modo. S1 è nella posizione 5. Infine regoliamo la sorgente di tensione sui 10 V e connettiamola a L4 (positivo) e L18 (negativo). Contemporaneamente si misura una deflessione molto piccola per esempio sul valore 10 della scala. Visto che la sorgente campione ha un errore dell'1% e lo strumento indicatore un errore fino al 2,5% non è strano che ci siano delle non-linearità. Consiglierei di fare caso soprattutto a deflessioni molto piccole cosicché l'errore percentuale non diventi troppo grande. Per sicurezza si può fare una piccola prova: dapprima si connettono 100 mV a L6, poi 1 V a L5 ed infine 10 V a L4. Dovrebbe risultare sempre la stessa deflessione. Connettendo la tensione campione a L3, S1

Fig. 3.09. Allestimento della piastrina di Fig. 3.08



deve essere messo in posizione 4. Per controllo connettiamo a L3 una tensione di 1 V e portiamo S1 in posizione 3, ecc. In questo modo ci è possibile tarare il partitore di tensione fino alla posizione 1000 V, pur avendo a disposizione solamente 10 V.

Per tarare le gamme di resistenza ci servono delle resistenze di misurazione molto precise. Anche qui, la taratura può essere fatta velocemente e in modo semplice. L'interruttore S2 si pone in posizione 5 mentre la posizione di S1 dipende dall'intervallo da tarare: per la posizione 7, lo strumento deve indicare deflessione massima con una resistenza di misurazione di 100 Ω , per la posizione 8 con una resistenza di 1 k Ω e così via. Una volta tarato lo strumento come Ohmetro scegliamo con esso, dall'assortimento a disposizione, delle resistenze, le più precise possibile, con i valori 10 Ω , 100 Ω e 1 k Ω e montiamole sulla piastrina (R18-R20). Per le misure di corrente ci si risparmia la taratura. Per l'intervallo 1A/100 mA si usa nuovamente una combinazione di resistenze, ma non ci sarà bisogno della taratura dato che hanno valori piccoli. Sia le resistenze montate sullo strumento sia le resistenze dei conduttori di misura influenzano il risultato, cosicché si può fare a meno della taratura.

Passiamo ora alla taratura per misure di tensioni alternate. In questo caso utilizzeremo la tensione ordinaria di rete come tensione campione, tenendo presente che non è in realtà stabile. Perciò la taratura va controllata più volte in diversi giorni della settimana e soprattutto ad ore diverse e quindi andrà regolata su una misura media.

Sconsiglio vivamente di collegare la tensione di rete allo strumento aperto. Si deve mettere il circuito terminato in una scatola completamente chiusa, scegliendo R52 e R53 un po' a caso e saldandole. S1 va quindi messo in posizione 5 e S2 in posizione 2. Solo a questo punto va connessa ai morsetti di collegamento K1 e K2 la tensione di rete con molta cautela. Si devono usare solamente cavi da laboratorio già pronti, provvisti di prese isolate e sigillate. Se notiamo che la deflessione dell'ago non è corretta, dobbiamo modificare adeguatamente R52 e R53. Certo che è più faticoso che con la decade, ma in fin dei conti sono solo due resistenze.

Dopo aver montato l'intero circuito su una piastrina conduttrice, possiamo utilizzare delle scatole già pronte. La foto 9 di tavola 4 mostra la piastrina montata, completa di alimentazione. L'alimentazione di corrente, che va montata su piastrina sovrapposta, verrà descritta nel prossimo capitolo.

Dopo aver terminato la costruzione dello strumento, possiamo completarlo con dei cartoncini per ciascuno dei due interruttori multipli. La foto a colori sulla copertina e la foto 10 di tavola 4 mostrano lo strumento terminato.

4. Sezioni rete e alimentatori stabilizzati collegati a rete

Come gli strumenti di misura, così anche gli alimentatori stabilizzati fanno parte della strumentazione di base di un dilettante. Esistono moltissimi circuiti di questo tipo, ma ciò non deve preoccupare. Anche in questo caso ho cercato di ottenere il miglior risultato con minimo dispendio economico. Il componente più caro è il trasformatore, ma potremo utilizzarlo in pieno.

Cominciamo con la sezione rete per i nostri strumenti di misura. Per il multimetro, per esempio, è stato previsto per la stabilizzazione il transistor T2, alimentato a 12-25 V. È chiaro che sarà possibile tralasciare la seconda batteria da 9 V se invece di T2 utilizziamo uno dei circuiti stabilizzatori descritti in seguito, che sono in parte alimentati con una tensione più ridotta.

4.1 Sezioni rete per strumenti di misura

Osserviamo dapprima i due circuiti di Fig. 4.01 in basso. La realizzazione di sinistra mostra una stabilizzazione semplice con un diodo Zener a 4,7 V. Come si vede dal sistema di curve in basso, relativo a questo circuito, i diodi Zener non presentano una grande deviazione nell'intervallo di breakdown; ciò significa che si deve alimentarli con una corrente sufficiente a portarli a lavorare in questa zona. I fogli delle caratteristiche propongono come corrente minima il 10% circa della corrente di conduzione massima permessa. Questa corrente minima è per esempio di circa 5 mA per i ZF 4,7 e 3 mA per i ZF 9,1. Per calcolare la resistenza limi-

Foto 7. Multimetro in scatola di plastica

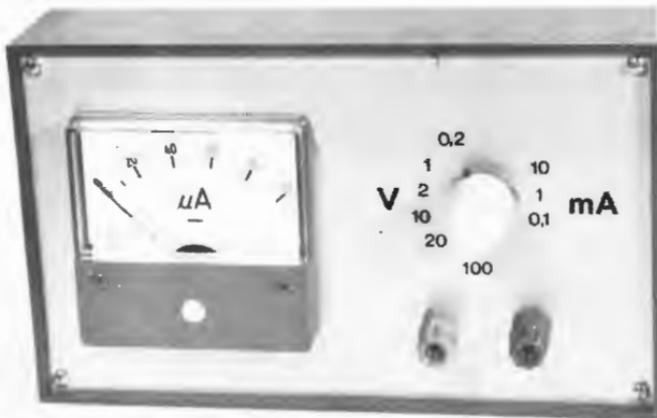


Tavola 3



Foto 8. Piastrina del multimetro



Foto 9. Interno del multimetro con trasformatore di corrente continua montato su una seconda piastrina



Foto 10. Il multimetro in scatola di plastica

Tavola 4

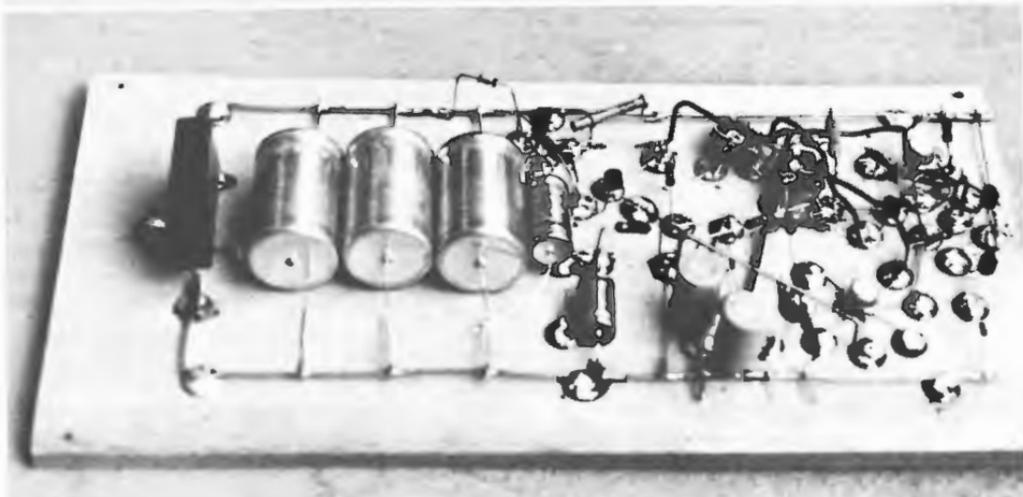


Foto 11. Circuito dell'alimentatore stabilizzato su una basetta di legno

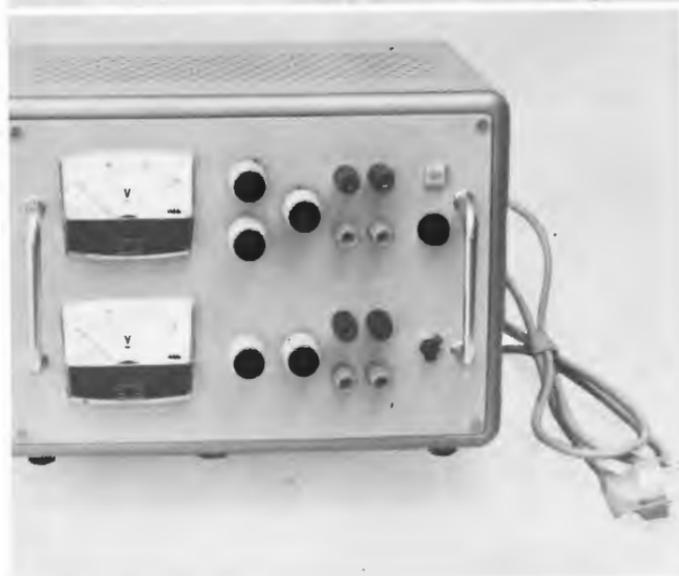


Foto 12. Doppio alimentatore stabilizzato in una scatola metallica

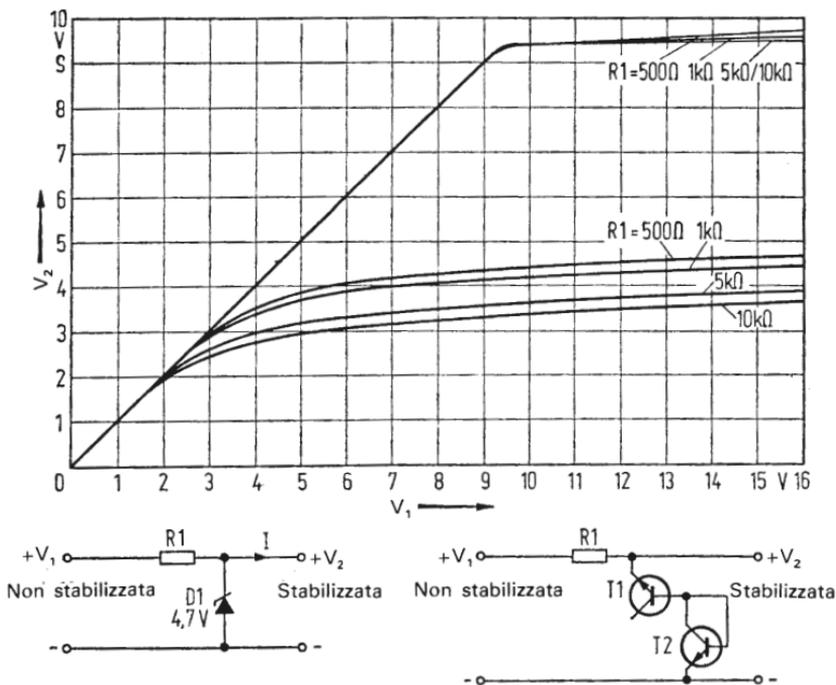


Fig. 4.01. Semplici circuiti di stabilizzazione con rispettive curve di tensione per diversi valori delle resistenze; a) stabilizzazione con diodo Zener (circuito a sinistra, curve in basso); b) stabilizzazione con un transistor (circuito a destra, curve in alto)

tatrice valgono due semplici equazioni. Il valore di R_1 deve essere di almeno

$$R_1 \geq \frac{V_{1\max} - V_2}{I_{2\min} + I_{Z\min}}$$

e più piccolo di

$$R_1 \leq \frac{V_{1\min} - V_2}{I_{2\max} + I_{Z\min}}$$

I significati sono i seguenti:

$V_{1\max}$ = la più elevata tensione d'ingresso tra quelle usate (batteria nuova)

$V_{1\min}$ = tensione d'ingresso minima tra quelle usate (tensione della batteria diminuita fino al limite della stabilizzazione)

V_2 = tensione d'uscita (circa uguale alla tensione di Zener indicata nell'elenco delle caratteristiche)

$I_{2\min}$ = corrente di carico minima usata

$I_{2\max}$ = corrente di carico massima usata

$I_{Z\max}$ = corrente massima di lavoro: secondo l'elenco delle caratteristiche

$I_{Z\min}$ = circa il 10% di $I_{Z\max}$

Se non vi piace la matematica tralasciate pure le precedenti formule. Nei circuiti sono sempre indicati i valori dei componenti. Come si può desumere dalle equazioni, i diodi Zener consumano una grande quantità di corrente: in tal modo il carico della batteria è spesso dovuto più al circuito di stabilizzazione che allo strumento stesso. Per un tale circuito di stabilizzazione quindi è consigliabile una batteria da 9 V. Si dovranno per esempio usare due batterie piatte.

Un po' migliore per quanto riguarda il consumo di corrente è il circuito di destra. Il diagramma superiore indica nuovamente le curve di stabilizzazione, cioè la dipendenza della tensione d'uscita stabilizzata dalla tensione d'entrata. Come elemento di riferimento serve un transistor che lavora nella zona di breakdown. Stabilizza molto meglio di un diodo Zener come si vede dal gruppo di curve. La differenza tra i due gruppi di curve è molto grande: in questo caso la tensione d'uscita dipende molto poco dalla corrente di lavoro. La curva più bassa vale praticamente per tutte le resistenze di ingresso maggiori di 5 k Ω . Con una resistenza di ingresso così elevata, il consumo proprio di questo circuito è molto piccolo e può essere abbassato fino a 0,1 mA. Nel fissare la resistenza di ingresso si deve considerare la corrente di carico:

$$R1 = \frac{V_{1\min} - V_2}{I_{2\max} + 0,5 \text{ mA}} .$$

Pur essendo un bel circuito, presenta alcuni svantaggi. Per l'alimentazione ci servono, come già accennato, due batterie da 9 V. Tra l'altro non è possibile modificare la tensione d'uscita, che è tra 8-10 V a seconda del transistor usato.

Il circuito a destra è importante ed utile per strumenti di precisione, per i quali la tensione d'alimentazione deve rimanere assolutamente costante, e non deve presentare alcuna dipendenza da eventuali cambiamenti di temperatura. Una tensione di riferimento estremamente stabile può essere ottenuta compensando il coefficiente positivo di temperatura del transistor T2 con quello negativo di un diodo. La compensazione riesce ancora meglio se invece del diodo si utilizza un transistor dello stesso tipo utilizzato come diodo (T1 nella figura). È tra l'altro desiderabile uno stretto accoppiamento termico tra T1 e T2. Conviene dunque utilizzare una coppia di transistori integrati monolitici, detti Transistor-Arrays.

Nella Fig. 4.02 è presentato un altro esempio di circuito stabilizzatore. Come funziona? Negli esempi precedenti si utilizzava la tensione di breakdown fissata dalle caratteristiche intrinseche di uno dei componenti del circuito. Invece di una tensione stabile possiamo però produrre una corrente stabile che su una resistenza produrrà una tensione stabile. Ciò richiede due sorgenti di corrente costante, tutte e due montate allo stesso modo. La base di T1 riceve un potenziale fisso mediante i diodi D1 e D2. Poiché la tensione tra base ed emettitore è fissa per ragioni fisiche, ne segue che alla resistenza d'emettitore deve cadere una ben determinata tensione e cioè la differenza tra la tensione ai diodi e la tensione base-emettitore. Questo implica che attraverso R2 fluisce una corrente costante, che produce questa differenza di potenziale.

Purtroppo le caratteristiche di stabilizzazione dei diodi non sono molto buone; così ci occorre una stabilizzazione doppia, che viene ottenuta tramite T2. Questo stadio di stabilizzazione è costruito in modo simile al primo, ma utilizza un transistor pnp invece di un npn. Nessun componente del circuito è critico: si può utilizzare qualsiasi diodi universale e qualsiasi transistor universale. Il transistor planare T3 viene pilotato dalla tensione stabilizzata che

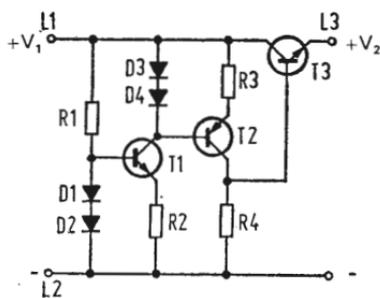
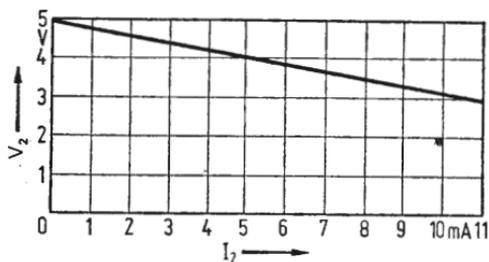
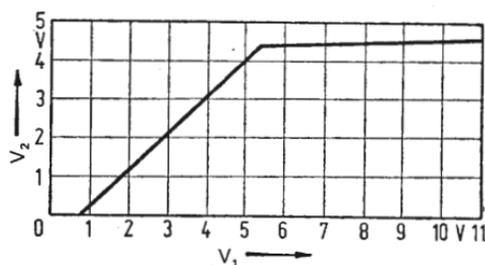


Fig. 4.02. Circuito di stabilizzazione con un consumo di corrente ridotto (sinistra) e un diagramma che rappresenta la dipendenza della tensione d'uscita dalla tensione di alimentazione (in mezzo) e dalla corrente di carico (in basso)



cade su R4 e riduce i cambiamenti nella tensione d'uscita dovuti alle variazioni del carico. Come risulta dal diagramma, la tensione d'uscita dipende molto dal carico; questo è il maggior inconveniente di questo semplice circuito.

In compenso il consumo del circuito, meno di 0,5 mA, è molto piccolo. Malgrado la stabilizzazione non troppo buona, il circuito è

molto adatto per un multimetro perché la precisione di quest'ultimo non dipende molto dai cambiamenti della tensione di alimentazione. Un ulteriore vantaggio è che la tensione d'uscita può essere scelta a piacere: il suo valore dipende dalla resistenza R4. Aumentando il valore di R4 aumenta anche la tensione d'uscita.

Mentre non sono state fornite indicazioni per la costruzione dei circuiti presentati in Fig. 4.01 in quanto non ci dovrebbero essere

Elenco dei componenti per il circuito di Fig. 4.02

D1-D4	4 diodi universali 1 N 4154 o simili
L1-L3	3 punti terminali
R1	resistenza 56 k Ω
R2	resistenza 27 k Ω
R3	resistenza 2,7 k Ω
R4	resistenza 39 k Ω
	(resistenze con \pm 5% tolleranza, 1/3 W)
T1-T3	3 transistori universali npn BC 107, BC 184 o simili
	1 piastrina Veroboard 40 \times 50 mm

Dati tecnici del circuito di Fig. 4.02

Tensione d'alimentazione	Tensione minima d'alimentazione 1 V maggiore della tensione d'ingresso
Consumo di corrente	Minore di 0,5 mA
Tensione d'uscita	Regolabile con R4 tra 2 e 20 V
Variazioni della tensione d'uscita per variazioni della tensione d'entrata attorno a 1 V per un carico di 1 mA	40 mV (= 1% per $V_2 = 4$ V) 160 mV
Resistenza interna	160 Ω

problemi, in questo caso consiglio un piccolo pezzo di piastrina Veroboard. Tali piastrine, già incise e forate, si trovano nei negozi specializzati, e consistono di una piastra di materiale sintetico con delle strisce conduttrici. Per il montaggio dei componenti occorre, nel nostro caso, utilizzare anche alcuni fili come indicato in Fig. 4.03. Se le entrate e le uscite del circuito vengono provviste di terminali di filo

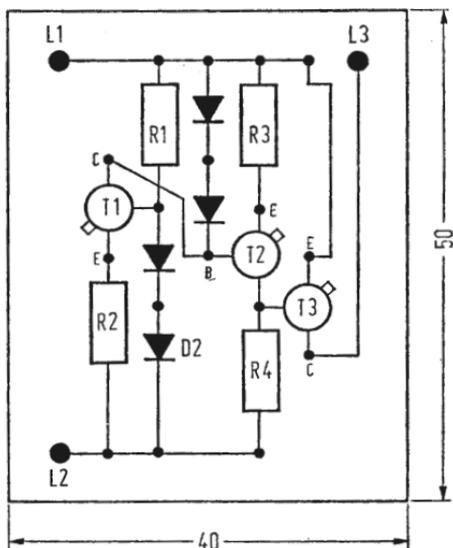


Fig. 4.03. Montaggio del circuito di Fig. 4.02 visto dal lato dei componenti

rigido, si può saldare la piastra di alimentazione su di un « secondo piano » direttamente connesso alla piastrina dello strumento. Si viene così a creare un « modulo di alimentazione ». Le instabilità nella tensione dovute alle variazioni di carico possono essere diminuite di due ordini di grandezza se al posto di T3 si inserisce un amplificatore operazionale integrato.

Descriviamo ora un « trasformatore » di tensione continua. Il circuito trasformatore di tensione continua può utilizzare la batteria di alimentazione meglio del migliore alimentatore stabilizzato. La ragione è che sa trasformare una tensione piccola in una più grande. È chiaro che compierà del lavoro, ma in misura molto ridotta (1 mW/h). Vorrei consigliarvi fin d'ora di progettare il trasformatore nel modo più esatto possibile perché quando il carico diminuisce, diminuisce anche il grado d'efficienza. Dimensionando bene il circuito si può raggiungere un grado d'efficienza del 70%. Il circuito del trasformatore di tensione continua, Fig. 4.04, è facilmente comprensibile. Si tratta di un trasformatore di bloccaggio.

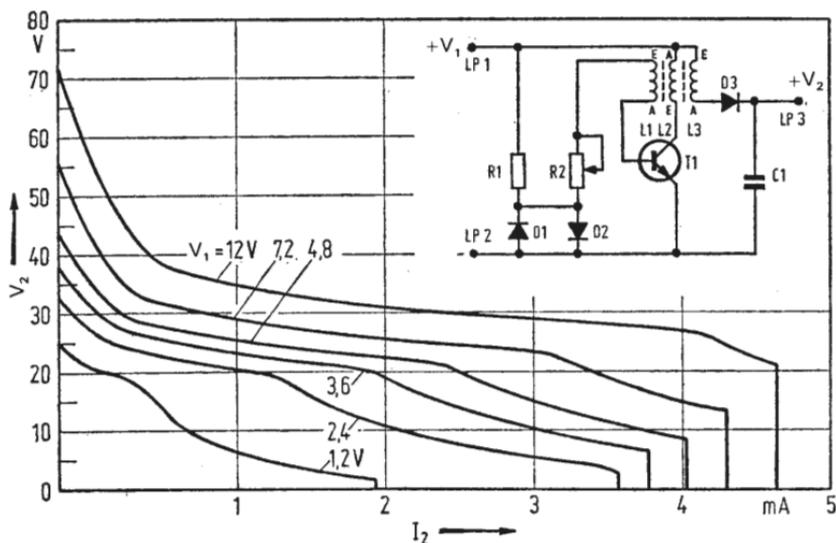


Fig. 4.04. Circuito trasformatore di corrente continua con diagramma corrente-tensione

Elenco dei componenti per il circuito di Fig. 4.04

C1	condensatore 2,2 μ F
D1-D3	diodi universali 1 N 4154 o simili
L1-L3	nuclei tubolari diam. 18 mm senza traferro L1: 20 spire, L2: 25 spire, L3: 175 spire, cavetto di rame 0,1-0,2 mm
LP1-LP3	3 punti terminali
R1	resistenza 1,5 k Ω
R2	potenziometro 10 k Ω /0,25 W
T1	transistore universale npn BC 107, BC 184 o simile

Connettendo la tensione di alimentazione, il transistore diventa conduttivo e crea un impulso di corrente nella bobina L2. Questo induce una tensione di polarità inversa in L1 e questa tensione causa un blocco del transistore. La corrente per L2 viene interrotta e ciò ha come conseguenza una tensione indotta in L1, questa volta di polarità tale da far condurre di nuovo il transistore. In questo modo la corrente continua viene spezzettata e trasformata nell'avvolgimento secondario L3 del trasformatore. La frequenza della tensione squadrata, che si può sentire distintamente, si aggira, per il circuito indicato e secondo il carico, attorno ai 10 kHz; così per ottenere un segnale continuo è sufficiente una capacità di 2,2 μ F. Il diodo D1 alza il potenziale di base del transistore in modo tale che questo possa avviare le oscillazioni, mentre D2 attenua i picchi di tensione a un grado non pericoloso.

La scelta dei componenti per la costruzione non è critica. Si possono utilizzare diodi e transistori universali. È però necessario utilizzare un transistore che possa sopportare un carico maggiore se viene usata una tensione d'ingresso di più di 8 V o dei nuclei più grandi. I valori per la bobina sono: L1 = 20 spire, L2 = 25 spire, L3 = 175 spire. Il risultato non viene modificato in modo significativo se si raddoppiano o si dimezzano tutte le spire o se le proporzioni cambiano leggermente perché è essenzialmente la grandezza del nucleo che determina la potenza che può essere trasmessa. E questo malgrado i calcoli complicati che si trovano nei testi. È invece importante il senso di avvolgimento delle spire. Si devono collegare l'inizio (A) e la fine (E) delle spire come indicato nello schema.

Normalmente si connette la fine delle spire di L3 non al polo positivo ma a quello negativo. Con L3/E collegato al polo negativo sono state fatte le curve di Fig. 4.04. Le tensioni raggiunte sono perciò veramente le tensioni che vengono trasformate. Collegando invece L3/E al polo positivo, la batteria è collegata in serie con la tensione secondaria, cosicché V2 aumenta corrispondentemente. Per la scelta delle tensioni di ingresso utilizzate negli schemi si è supposto che le batterie vengano utilizzate fino al calo della tensione a 1,2 V.

Possiamo fare a meno di uno schema di incisione perché questo circuito è molto semplice. Volendo si può collocare sulla piastrina uno degli stabilizzatori già visti. Nella foto 9 di tavola 3 si può vedere uno di questi trasformatori di tensione continua montato. Come si vede, la batteria occupa gran parte dello spazio; se lo spazio è ristretto, è quindi consigliabile una batteria più piccola. R2 serve per regolare il circuito in modo da consumare minor corrente possibile. Se R2 non viene determinata tramite la decade di resistenze, si deve mettere un potenziometro da 1 k Ω che viene regolato in modo da raggiungere la minima tensione d'uscita con la tensione di batteria minima. Diminuendo la resistenza R2, cioè regolando opportunamente il potenziometro, la tensione d'uscita non aumenta di molto mentre il nucleo e il transistor raggiungono la saturazione: ciò causa un notevole aumento del consumo di corrente.

4.2 Alimentatore stabilizzato da 0 a 30 V/2 A

Gli alimentatori stabilizzati sono fra i circuiti preferiti dagli hobbysti. Anche in questo caso ne esistono di diversi tipi: ci proponiamo quindi di arrivare ad un risultato ottimale con una spesa minima.

Il dilettante spesso non è in grado di valutare la proporzione tra prezzo e valore reale di uno strumento o componente offerto dal mercato, perché non ha l'esperienza necessaria per fare paragoni.

Oltre tutto il prezzo non dipende solo dalle caratteristiche elettriche ma anche dal lavoro preliminare del produttore. Per esempio, nel caso delle piastrine conduttrici, una piastra preincisa costa parecchio. D'altra parte l'autoincisione presuppone una certa esperienza che il principiante, per il quale l'alimentatore stabilizzato può essere uno dei primi apparecchi, può non avere.

Una via d'uscita da questo dilemma può essere il circuito montato su una tavoletta di legno:

- costa meno di tutti gli altri metodi di costruzione
- non presenta problemi per il dilettante
- offre la possibilità di un montaggio chiaro
- le possibilità di errore sono poche
- si possono facilmente cambiare i componenti
- si può costruire il circuito per tappe
- i controlli sono effettuabili in ogni punto
- il circuito è facile da modificare
- si risparmia tempo.

L'unico svantaggio è il suo aspetto esteriore non bellissimo. Sembra proprio il circuito di un principiante. Ma è davvero così? Nel corso di un progetto anche un ingegnere comincia con un circuito montato provvisoriamente. Comunque, le caratteristiche non sono inferiori a quelle di un circuito di un professionista. Tra l'altro per il nostro circuito è sufficiente un numero limitato di componenti universali facilmente reperibili.

Abbiamo cercato di costruire uno strumento facendo caso non solo alla buona qualità ma anche alla semplicità e chiarezza. L'alimentazione di corrente è visibile in Fig. 4.05. Se si vogliono usare trasformatori universali di poco prezzo c'è

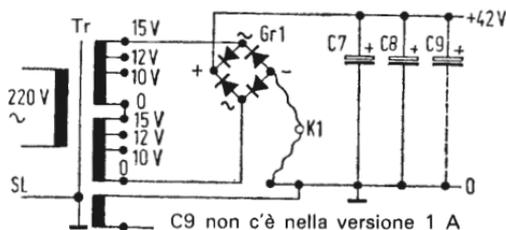


Fig. 4.05. Alimentatore di corrente con raddrizzatore a ponte e condensatori di filtraggio

solo la scelta tra 2×15 o 2×40 V di tensione secondaria. Tenendo conto della potenza all'uscita del transistor di potenza, si è scelto un trasformatore con 2×15 V di tensione secondaria. Le due spire collegate in serie di questo transistor determinano, dopo il raddrizzamento, una tensione continua tra 35 e 51 V a seconda della caduta sotto carico. La diminuzione a 35 V a pieno carico e gli sbalzi di tensione della rete richiedono un preciso dimensionamento dei componenti, per non fare interrompere la stabilizzazione.

Poiché si intende usare un amplificatore operazionale è necessaria anche una tensione di alimentazione negativa e quindi un ulteriore avvolgimento secondario. Per evitare di comperare un prodotto speciale, si avvolgono sull'avvolgimento già esistente del trasformatore, ulteriori 12 spire di filo isolato. La dimensione del filo e il suo senso di avvolgimento non hanno importanza; basta che possa essere infilato tra nucleo e avvolgimento. La tensione ausiliaria così ottenuta viene raddrizzata con il diodo D2 come indicato in Fig. 4.06 e limitata con il diodo Zener D6 su circa $-2,7$ V. Poiché l'amplificatore operazionale può essere usato solo con 36 V tra gli ingressi 4 e 7, anche la sua tensione di alimentazione positiva deve essere stabilizzata. Il circuito di Fig. 4.07 lavora con T1 come transistor di potenza e con T2 come amplificatore di controllo. I diodi Zener D7 e D9 generano la tensione di riferimento. Dato che i diodi Zener normali determinano valori di ten-

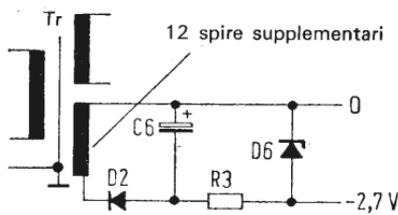


Fig. 4.06. Generazione di tensione ausiliaria negativa

Fig. 4.07. Circuito di stabilizzazione per la tensione 35 V

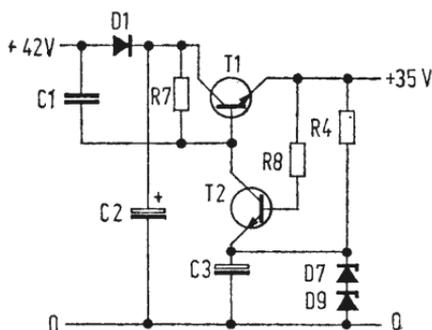
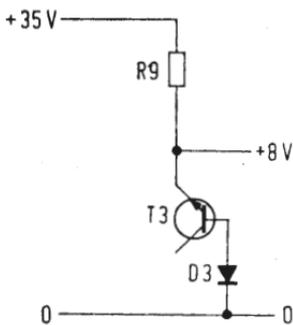


Fig. 4.08. Generazione della tensione di riferimento 8 V



sione scalati in modo grossolano, la tensione voluta può essere ottenuta solo dopo una scelta opportuna dei due diodi Zener. L'amplificatore operazionale richiede una tensione di alimentazione positiva di almeno 34,5 V, perché con una tensione d'uscita di

30 V non si interrompa la stabilizzazione. Aggiungendo la tensione negativa di $-2,7$ V i 36 V permessi sono in effetti superati. Ciò non causa generalmente un guasto all'amplificatore operazionale; dobbiamo comunque correre questo rischio altrimenti il dispendio diverrebbe troppo grande. Si nota inoltre che il circuito di stabilizzazione viene bloccato dal diodo D1. A pieno carico si hanno delle diminuzioni di ampiezza nelle semionde cosicché la stabilizzazione cesserebbe. C2 si carica sul valore massimo della semionda; ma a causa del blocco dovuto a D1 non può essere scaricato dalla corrente di carico.

Il circuito di Fig. 4.08 produce, in un'ulteriore stabilizzazione, una tensione di riferimento per l'amplificatore operazionale che lavora da amplificatore regolabile. Al posto di un diodo Zener è stato previsto un transistor che lavora nella zona di breakdown con un diodo collegato in serie per la compensazione di taratura. Siccome la tensione di breakdown è soggetta a molte variazioni, si mette nel ramo di contraccoppiamento dell'amplificatore operazionale un trimmer R16 che viene regolato in modo che con i due potenziometri R17 e R18 sulla posizione massima, si abbiano 30 V in uscita. R1 Serve per la regolazione non fine. Per una soluzione un po' più elegante si può usare per la regolazione un potenziometro di precisione a 10 giri, eventualmente con indicazione digitale. Sono stati esaminati vari limitatori di corrente. In Fig. 4.09 c'è lo schema di una semplice valvola di sicurezza elettronica. Se la caduta di tensione in R1 diventa grande in modo tale che T7 comincia a condurre, la tensione d'uscita dell'amplificatore opera-

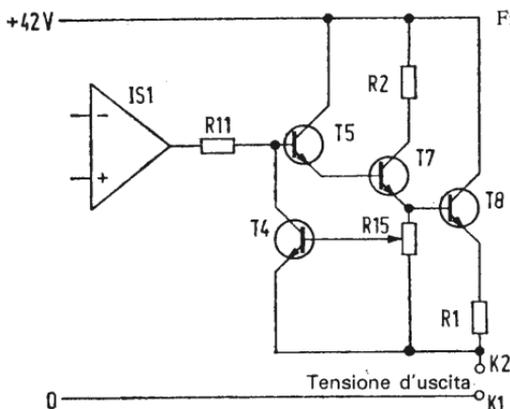


Fig. 4.09. Limitatore di corrente

zionale viene diminuita. Quest'ultimo però opera contro il disinserimento, quindi la limitazione non è troppo grande. La corrente di cortocircuito è ancora maggiore del 25% della corrente normale

regolata con R15. Una delimitazione di corrente migliore viene raggiunta con un circuito come quello di Fig. 4.10. Quando la caduta di tensione in R1 raggiunge la tensione di soglia di T6, quest'ultimo comincia a condurre. Il passaggio dallo stato di non

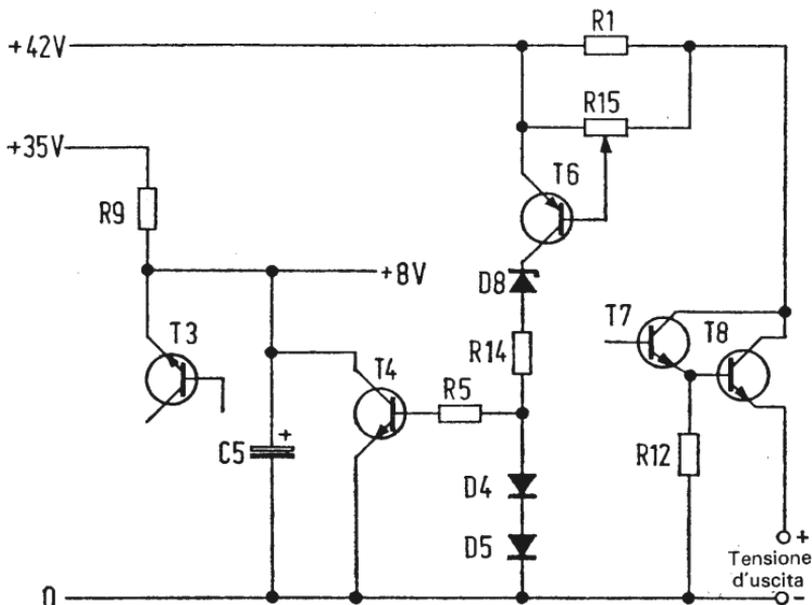


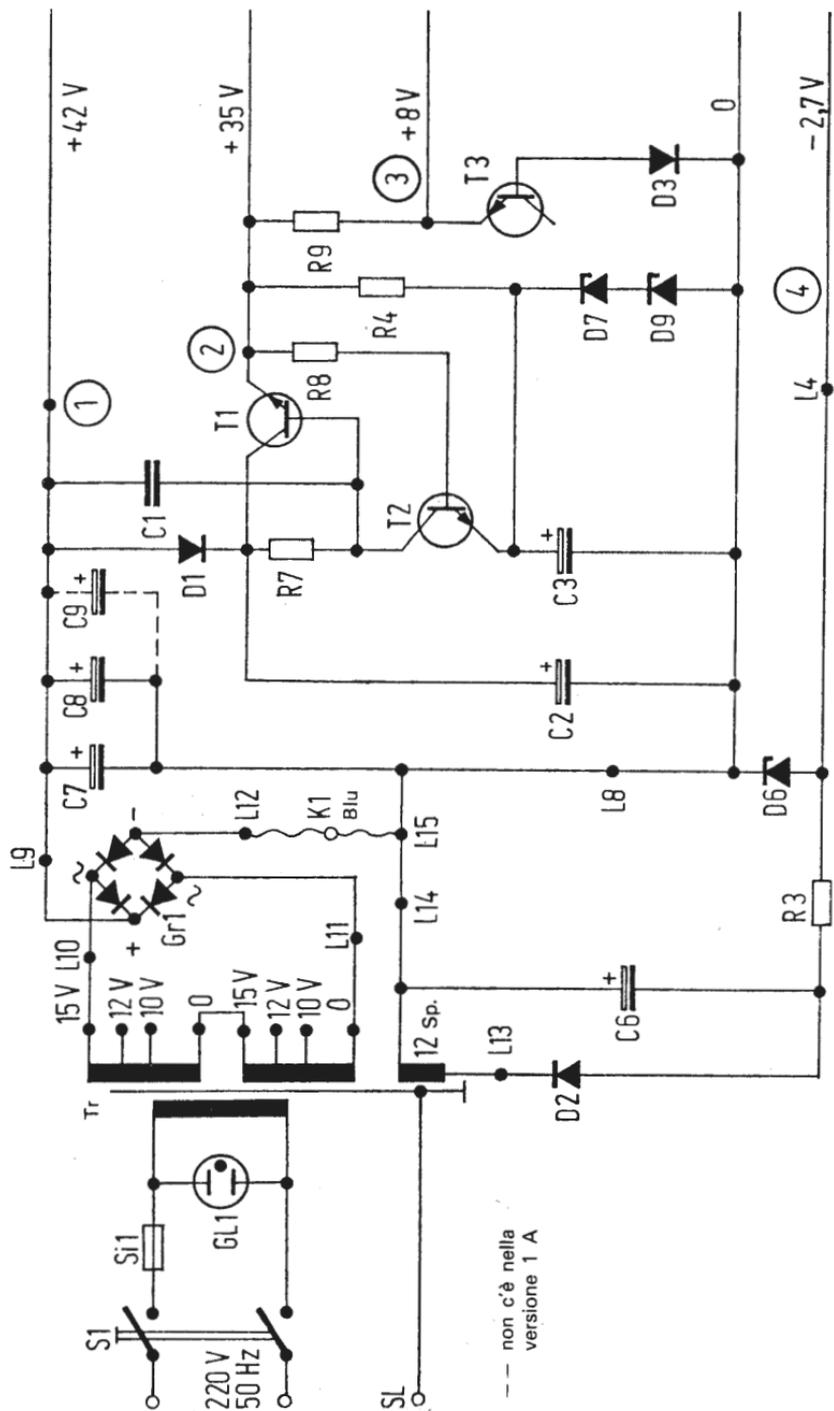
Fig. 4.10. Limitatore di corrente a due stadi

conduzione allo stato di conduzione non è molto netto. Il diodo Zener D8 evita però che il transistor T4 venga portato completamente in conduzione. Solo se T6 è in zona di conduzione, D8 e T4 cominciano a condurre; T4 diminuisce la tensione di riferimento dell'amplificatore operazionale. Per il fatto che quest'ultimo non si oppone più alla limitazione di corrente, questa è solo un po' più grande. La corrente di cortocircuito è maggiore solo del 10% della corrente di carico massima regolata con R15.

Sullo schema generale di collegamento, Fig. 4.11 a destra, si può vedere l'amplificatore regolabile con il transistor planare T8; con questo sono collegati in serie i transistori Darlington T5 e T7 per l'amplificazione di corrente. L'amplificatore operazionale IS1 riceve la sua tensione di riferimento da T3 tramite il potenziometro regolabile R18. Questa tensione di riferimento viene confrontata con la tensione di uscita della rete che viene portata all'ingresso invertito tramite il circuito di contraccoppiamento con le resistenze R6, R10 e R16. L'amplificatore mantiene così costante la tensione d'uscita in modo corrispondente alla sua amplificazione a vuoto che è di 20.000 cosicché le differenze massime della tensione d'uscita sono $30 \text{ V} / 20.000 = 1,5 \text{ mV}$.

In Fig. 4.11 sono indicati anche alcuni punti dov'è importante controllare il valore della tensione. Le tensioni misurate nelle varie situazioni di funzionamento sono riassunte nella tabella 1. Si consiglia di costruire lo strumento per tappe in modo corrispondente alla numerazione dei punti di misurazione. Solo se nella tappa considerata sono stati rilevati i giusti valori si procede al passo successivo. In questo modo si evita di dover fare in seguito una lunga ricerca di un eventuale errore. Come detto prima, R10 viene regolato in modo da ottenere 30 V all'uscita con R6 e R7 sulla posizione massima. La tensione non deve necessariamente essere molto precisa. Se diventa però troppo alta, la stabilizzazione si interrompe se il carico è eccessivo e se la tensione di rete ha degli sbalzi.

Adesso ci dedichiamo alla costruzione. Non ci sono argomenti tecnici contro un circuito su tavoletta. Solo il nostro senso estetico, la tendenza alla perfezione tecnica e talvolta la necessità di



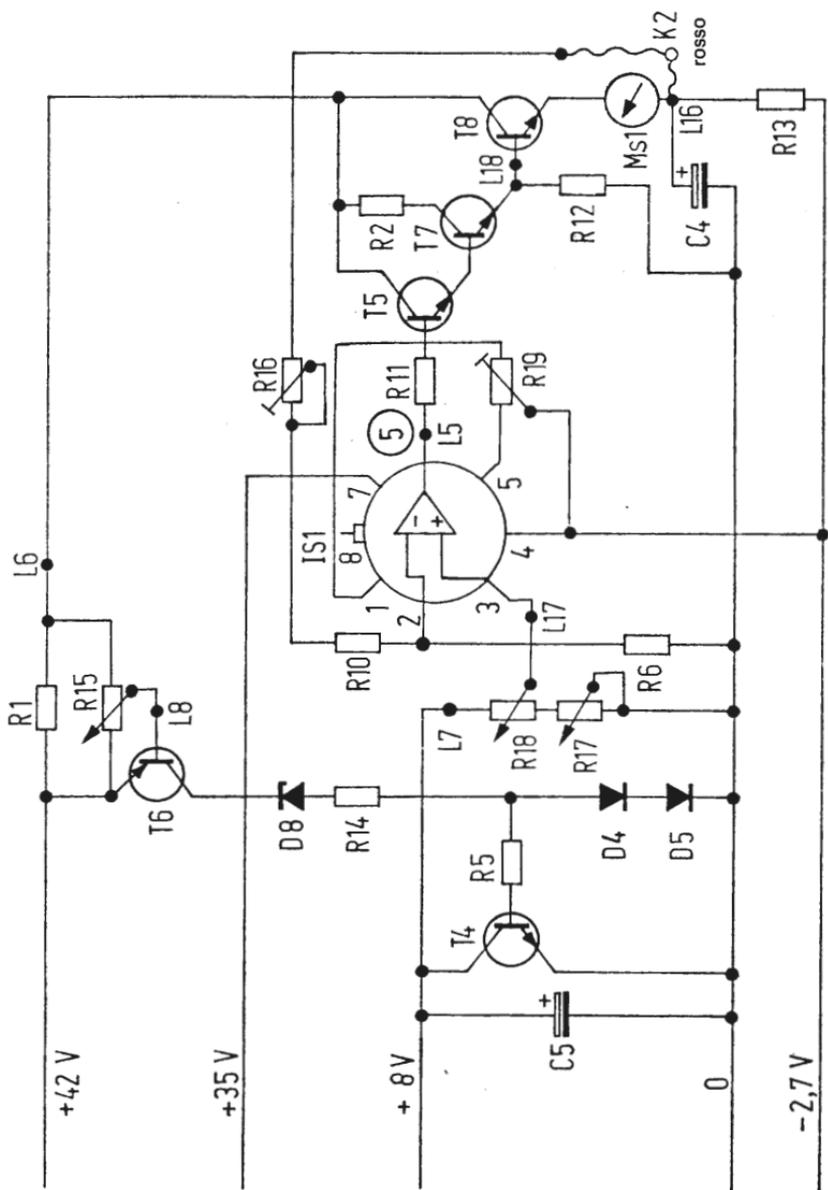


Fig. 4.11. Schema dell'alimentatore stabilizzato 30 V/2 A

fare tutto in miniatura per la mancanza di spazio giustifica un montaggio su piastrina incisa. Le particolarità di un circuito montato su tavoletta sono già note dal paragrafo 2.3. Nel seguito descriveremo una scatola di legno adatta: come trattarla per darle un bell'aspetto sarà argomento del capitolo 5.

Per ottenere la precisione voluta è anche necessario tener conto della caduta di tensione nelle linee di conduzione e nei conduttori che portano alle prese. Il conduttore neutro del circuito non deve perciò essere collegato direttamente all'attacco negativo del raddrizzatore ma portato al morsetto negativo con un apposito cavetto. Il cavo flessibile è disegnato ondeggiante in Fig. 4.11. Allo stesso modo il circuito di contraccoppiamento deve essere connesso con K2 tramite un cavetto flessibile. Per le linee conduttrici di corrente si dovrebbero usare cordoncini di almeno $0,75 \text{ mm}^2$. Visto che si utilizza legno, anche la scatola sarà opportuno farla in legno, risparmiando così molto sul costo dello strumento. Il prototipo è stato inserito in una scatola di legno compensato dello spessore di 8 mm.

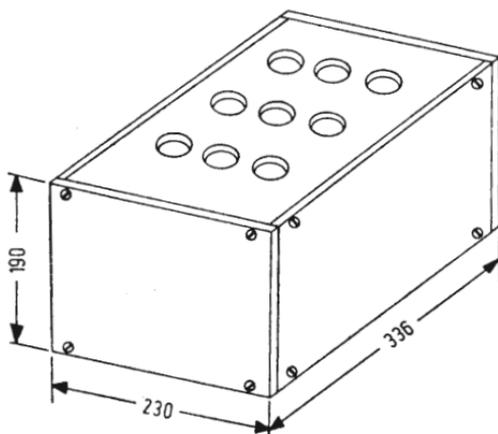
La Fig. 4.12 ne mostra la struttura. Le pareti hanno le seguenti dimensioni:

Parete frontale e posteriore:	ciascuna $190 \times 230 \text{ mm}^2$
Base e coperchio:	ciascuna $214 \times 320 \text{ mm}^2$
Parete laterale:	ciascuna $190 \times 320 \text{ mm}^2$

Sono necessari dei fori nel coperchio e nella base per permettere uno scambio di calore. Si deve considerare che nella scatola viene dissipata una potenza di quasi 100 W. Se quindi non ci fosse una buona ventilazione per scambiare calore con l'esterno, si potrebbero rovinare i componenti del circuito. La maggior quantità di calore viene prodotta dal trasformatore, dal raddrizzatore a ponte e dal transistor di potenza. Questi tre elementi dovranno perciò essere raffreddati in modo particolare, per esempio ponendoli nella corrente d'aria che si genera tra due fori.

Il trasformatore va fissato sulla base della scatola, il radiatore di

Fig. 4.12. Scatola in legno per l'alimentatore stabilizzato



raffreddamento del transistor di potenza va posto su di una parete laterale, con le alette disposte verticalmente. Tra l'altro può essere necessario spalmare una pasta ad alta conduttività termica tra il transistor e il radiatore.

Convien fissare i componenti su di una parete laterale. Se la disposizione visibile nella foto 11 della tavola 4 sembra troppo fitta, si può senz'altro aggiungere un'ulteriore parete laterale. Con un po' d'attenzione lo strumento può raggiungere un aspetto quasi commerciale. Vanno previsti anche dei capicorda per il fissaggio della massa al collettore del transistor di potenza, ai morsetti d'uscita e ad un angolo di fissaggio del trasformatore. Il cavo per l'alimentazione a rete non va saldato direttamente al trasformatore; conviene invece fissarlo ad un morsetto tripolare. Si faccia attenzione alle usuali precauzioni nel maneggiare la tensione di rete.

Per i vari usi sono state previste delle varianti dell'alimentatore stabilizzato, cioè correnti di uscita di 1 A e 1,5 A. La tabella 1 porta i valori misurati per ciascuno dei modelli e anche la tabella dei dati tecnici si riferisce ad entrambi.

Forse qualche dilettante vorrebbe costruire l'apparecchio in maniera usuale. Per questo in Fig. 4.13 è indicato un piano di incisione e in Fig. 4.14 è dato uno schema di montaggio. In questo caso è senz'altro meglio usare una scatola di metallo, che andrà ben aerata. La foto 12 di tavola 4 mostra un alimentatore stabilizzato doppio inserito in una scatola in lamiera d'acciaio. Poiché sono indicati nello schema di incisione e in quello di montaggio

due raddrizzatori e cioè, a seconda della corrente, uno rotondo e uno rettangolare, c'è da fare attenzione alla scelta giusta, visto che non vanno usati tutti e due, ma uno solo.

C'è da aggiungere che nello schema non sono stati precisati i componenti che vanno fissati al di fuori della piastra conduttrice. Lo schema sarebbe diventato poco chiaro. Rispetto all'elenco dei componenti necessari per la costruzione su legno, il montaggio sulla piastra conduttrice necessita di ulteriori componenti.

Il trimmer R19 permette la taratura dell'offset dell'amplificatore operativo. Con ciò è possibile avere una tensione di uscita di esattamente 0V mentre senza la taratura potrebbe esserci un errore di alcuni mV. Oltre a ciò si è previsto di poter comandare la limitazione con un potenziometro regolabile dall'esterno, e si sono raddoppiate le boccole d'attacco. Tutto sommato si può giudicare ben riuscito questo progetto: auguro buon successo nella esecuzione del montaggio.

Tabella 1

Punto di misura	Tensione di rete			
	209 V		242 V	
	$I_2 = 0$	$I_2 = 100\%$	$I_2 = 0$	$I_2 = 100\%$
1	43,3 V	35,1 V	50,3 V	41,9 V
2	34,9 V	34,5 V	35,4 V	35,1 V
3	8,79 V	8,79 V	8,79 V	8,79 V
4	-2,13 V	-1,98 V	-2,49 V	-2,40 V
5	31,6 V	32,7 V	31,6 V	32,5 V

A $I_2 = 100\%$ occorre sostituire la corrente nominale permessa, cioè 1, 1,5 o 2 A secondo la versione.

Tabella 2

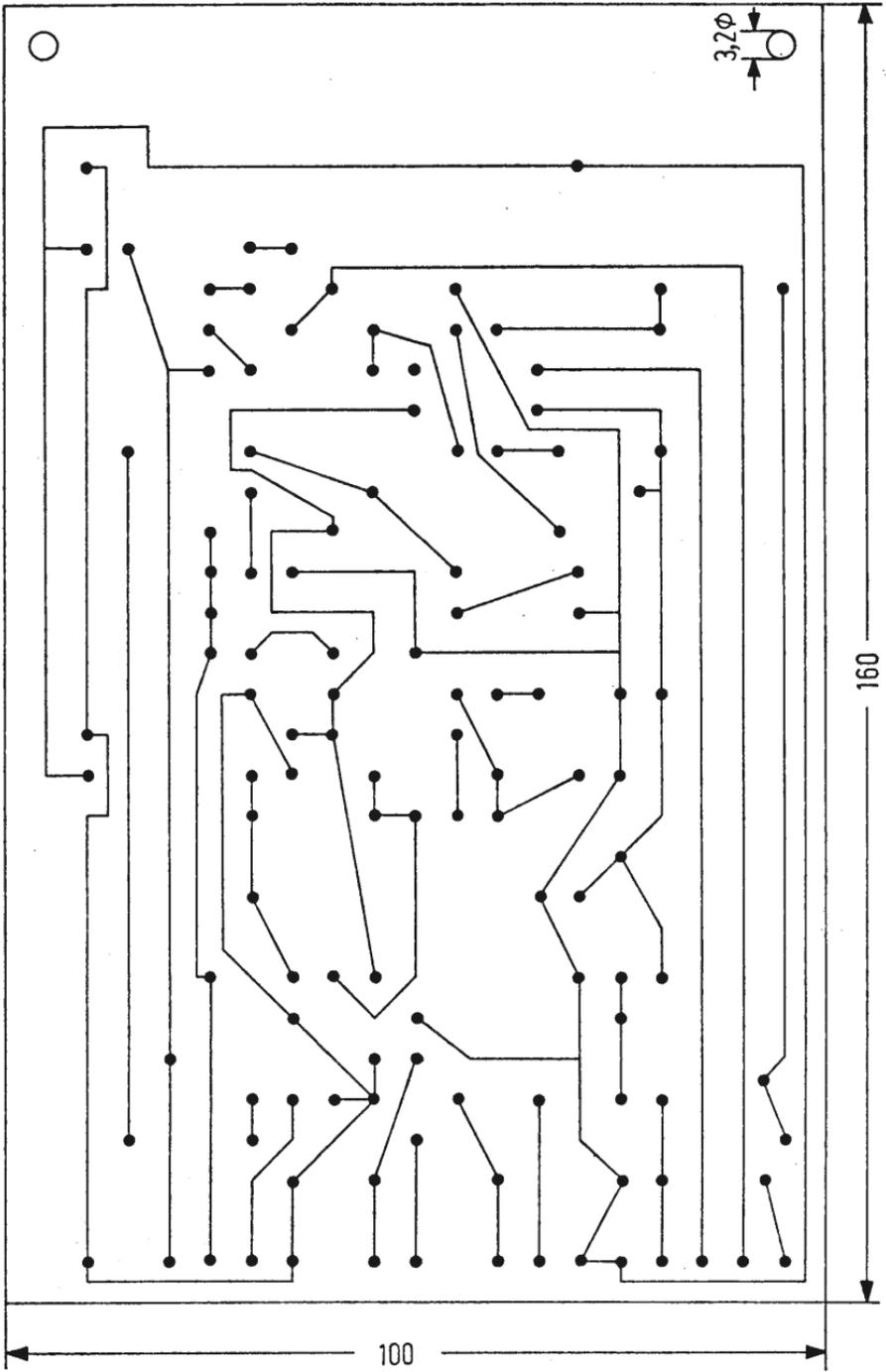
Dati tecnici

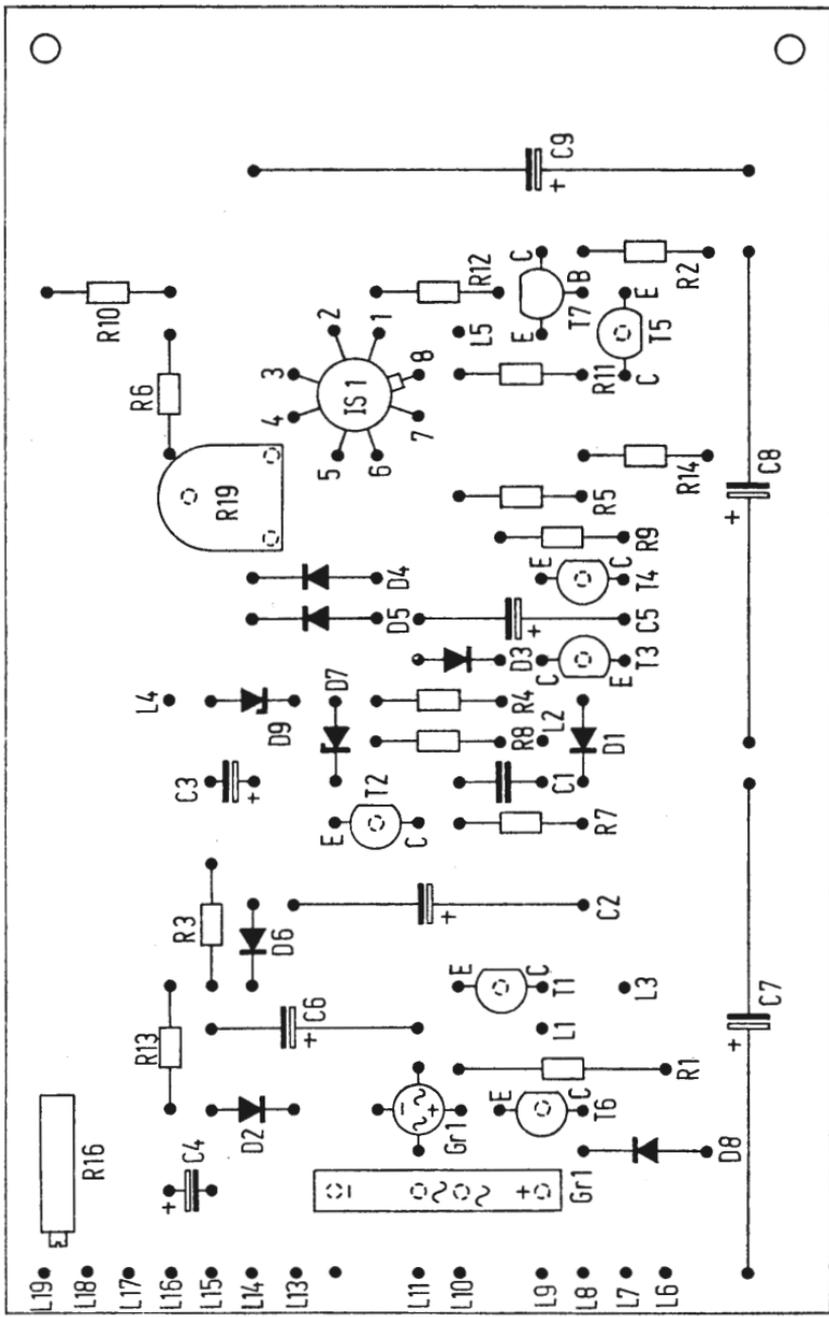
Tensione di rete	220 V $\begin{matrix} +10\% \\ -5\% \end{matrix}$ 50 Hz
Tensione d'uscita	0 ... 30 V regolabile contin.
Corrente di carico	0 ... 2 A *
Tensione d'uscita minima	± 1 mV
Cortocircuito all'uscita	Senza limiti
Variazione nella tensione d'uscita per una variazione nella tensione di rete del 10%	0,01%
Variazione nella tensione d'uscita per variazioni nella corrente di carico da 0 a 100%	0,01%
Resistenza interna	1 M Ω
Tensione alternata residua con 2 A di carico *	1 mV _{eff}

* Per le versioni 1 e 1,5 A occorre sostituire il rispettivo valore al posto dei 2 A.

Fig. 4.13. Schema d'incisione per il circuito di Fig. 4.11

Fig. 4.14. Allestimento della piastrina di Fig. 4.13





Elenco dei componenti per il circuito di Fig. 4.11

C1	condensatore fiù nF
C2	condensatore elettrolitico 100 μ F/63 V
C3, C4	2 condensatori elettrolitici 100 μ F/40 V
C5	condensatore elettrolitico 100 μ F/16 V
C6	condensatore elettrolitico 220 μ F/16 V
C7, C8	2 condensatori elettrolitici 1000 μ F/63 V
D1	diodi universale al germanio AA 143 o simile
D2-D5	4 diodi universali al silicio 1 N 4154 o simili
D6	diodi Zener 2,7 V, ZPD 2,7 o simile
D7	diodo Zener 4,7 V, ZPD 4,7 o simile
D8	diodo Zener 24 V, ZPD 24 o simile
D9	diodo Zener 30 V, ZPD 30 o simile
GL1	lampada spia con prerresistenza per 220 V
IS1	amplificatore operazionale integrato 741 C in involucro metallico
K1	morsetto blu
K2	morsetto rosso
R2	resistenza 120 Ω
R3	resistenza 220 Ω
R4	resistenza 560 Ω
R5	resistenza 1,5 k Ω
R6	resistenza 2,7 k Ω
R7-R13	7 resistenze 5,6 k Ω
R14	resistenza 15 k Ω (tutte le resistenze con tolleranza \pm 5%, 1/4 W)
R15, R16	2 potenziometri 10 k Ω
R17	potenziometro 100 Ω con manopola
R18	potenziometro 25 k Ω con manopola
S1	interruttore bipolare
T1-T5	5 transistori universali npn BC 107, BC 184 o simili
T6	transistore universale pnp BC 177, BC 214 o simile
T7	transistore npn 2 N 1613 o simile
T8	transistore di potenza npn 2 N 3055

Per la versione 1 A va aggiunto

Gr1	raddrizzatore a ponte B 80 C 1500
R1	resistenza 0,68 Ω /2 W
Si1	fusibile 0,5 A con portafusibile
Tr	trasformatore, prim 220 V, sec 2 \times 15 V/1,5 A

Per la versione 1,5 A va aggiunto

C9	condensatore elettrolitico 1000 μ F/63 V
Gr1	raddrizzatore a ponte B 80 C 2200
R1	resistenza 0,47 Ω /2 W
Si1	fusibile 0,5 A
Tr	trasformatore, prim 220 V, sec 2 \times 15 V/1,5 A

Per la versione 2 A va aggiunto

C9	condensatore elettrolitico 1000 μ F/63 V
Gr1	raddrizzatore a ponte B 80 C 5000/3300
R1	resistenza 0,33 Ω /2 W
Si1	fusibile 1 A
Tr	trasformatore, prim 220 V, sec 2 \times 15 V/2,5 A

5. Appendice

5.1 Schemi di collegamento

In questo paragrafo vengono descritti gli schemi di collegamento di tutti i semiconduttori usati nei circuiti di questo volume. I *diodi* e i *diodi Zener* sono normalmente caratterizzati da un anello al catodo, Fig. 5.01. Spesso però i produttori usano i loro codici per questi piccoli componenti. In tal caso si debbono determinare le polarità con un Data Book o con alcune misurazioni.

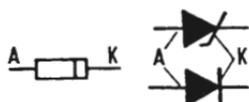


Fig. 5.01. Simboli dei diodi e dei diodi Zener

I *transistori* si trovano in una grandissima varietà di tipi e con sequenze di attacchi diverse. In Fig. 5.02 a e 5.02 b si trovano gli schemi di collegamento dei transistori universali più usuali. Come si vede tutti i tipi, escluso il BF 224 progettato per usi AF ed inserito in involucro plastico, hanno la stessa sequenza di attacchi e cioè emettitore base collettore. Lo schema di collegamento del

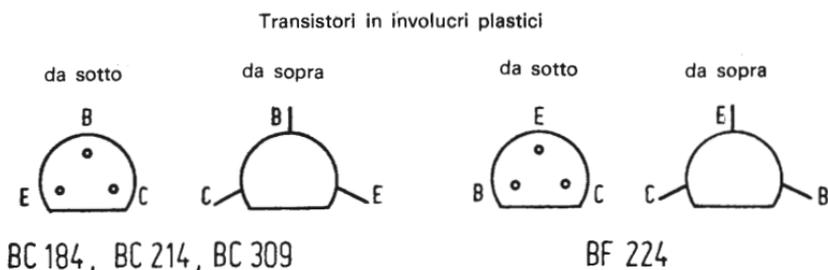


Fig. 5.02 a). Schema degli attacchi di alcuni transistori in involucro plastico

Transistori in involucri metallici

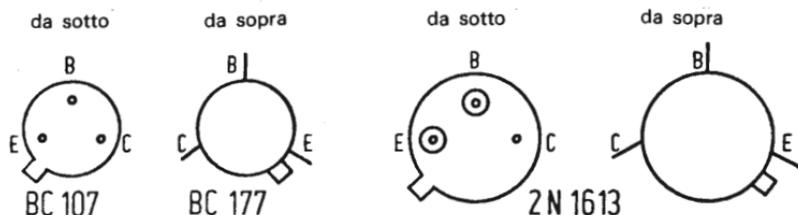


Fig. 5.02 b). Schema degli attacchi di alcuni transistori in involucro metallico

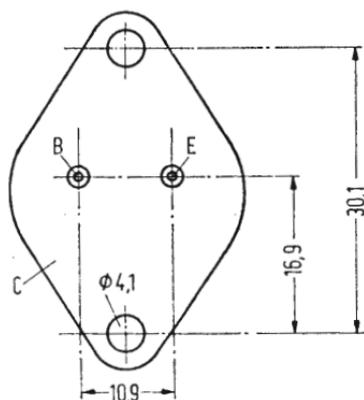


Fig. 5.03. Misure per il fissaggio dei transistori di potenza in involucro metallico TO-3 (da sotto)

transistore di potenza più usato, il 2N 3055, è rappresentato in Fig. 5.03.

Per i *circuiti integrati* non è naturalmente possibile uno schema universale di attacchi. In Fig. 5.04 è solo indicato il modo per numerare gli attacchi dei circuiti in involucri plastici Dual-In-Line. Tutti gli altri dati vanno ricercati nei Data Book della ditta costruttrice.

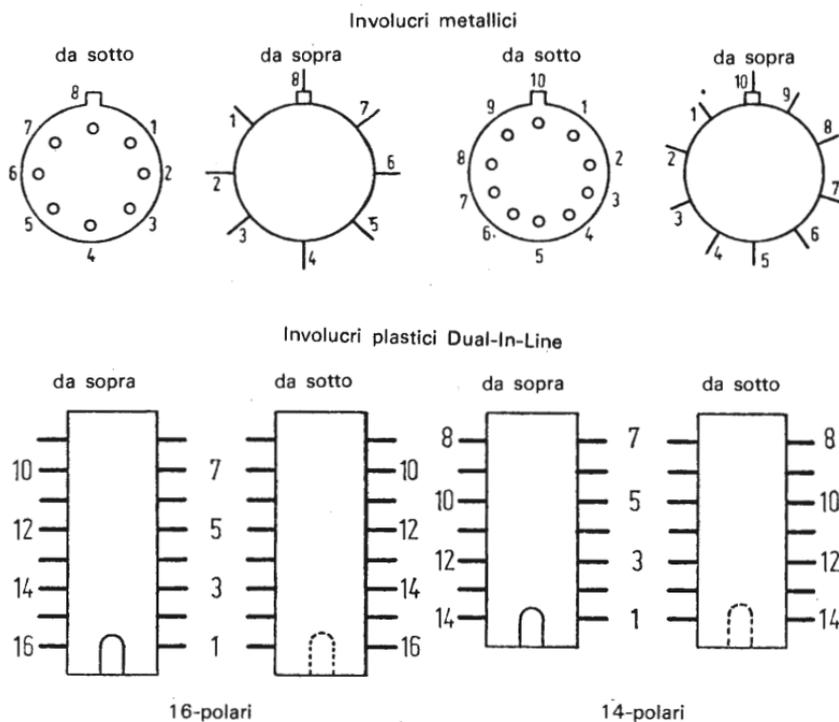


Fig. 5.04. Modo di contare i piedini dei circuiti integrati

5.2 Scatole in legno

Una scatola in legno risolve molti problemi ed evita molti svantaggi. L'unica obiezione può riguardare il suo aspetto, che non è professionale. Ma non bisogna fermarsi a questo punto: con un po' di pazienza e abilità si può costruire una scatola che non rivela la propria origine fino a quando non la si apre. Una scatola in legno non solo costa poco, ma è facilmente costruibile. Il legno si lavora con facilità e può assumere qualunque forma si desideri. Come materiale di partenza conviene scegliere del legno compen-

sato da 8 mm di spessore. In tal modo si hanno delle misure esterne che sono più grandi rispetto a quelle di una scatola costruita con legno più sottile, ma questo maggior spessore sarà appunto quello che ci permetterà di dare agli angoli una bella curvatura (Fig. 5.05). Le pareti della scatola vanno segate con un seghetto da traforo e poi limate con una lima in modo da renderle lisce e regolari.

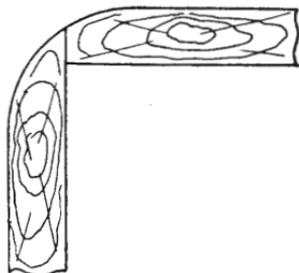


Fig. 5.05. Le pareti laterali in legno compensato permettono spesso eleganti curvature

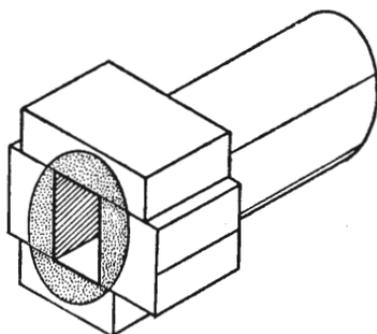


Fig. 5.06. Con vari strati di legno compensato si possono realizzare anche forme complicate, per esempio un manico rotondo e cavo

Le parti in legno vanno incollate assieme con una buona colla, per esempio UHU-Plus. Affinché la colla secchi occorre attendere un po' di tempo che può essere diminuito se si pone la parte incollata in un forno a 100 °C. Con vari strati di legno si possono ottenere costruzioni anche complicate, come quella in Fig. 5.06.

Una volta sagomata rozzamente la forma della scatola, la si lavora con una grossa lima ed infine la si rifinisce con una lima fine. Eventualmente si può usare carta vetrata. In tal caso, per evitare di fare delle onde si appoggia la carta vetrata su un blocchetto di legno e quindi si passa sulla scatola.

Per stuccare si usa stucco da legno. L'intera superficie esterna deve essere ricoperta di stucco utilizzando una spatola sulle superficie piane e le dita sulle superfici curve. L'ultima finitura va fatta con carta vetrata a grana fine. Occorre tener presente che la

carta vetrata si consuma presto e perciò ne serviranno vari fogli per tutta la scatola.

I fori per le viti di fissaggio devono essere fatti prima di stuccare perché il legno si scheggia facilmente. Siccome le viti non sono molto estetiche si dovrebbe cercare di fissare solo la parete frontale, mentre una delle pareti laterali deve rimanere smontabile. La cosa migliore è lasciare smontabile la parete di fondo. In tal caso la piastra conduttrice va fissata tra guide sagomate come mostra la Fig. 5.07.

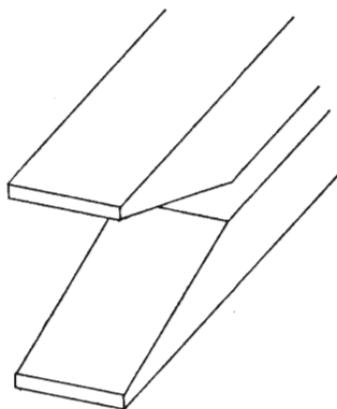


Fig. 5.07. Guide sagomate per piastre conduttrici

Per dipingere si consiglia una tinta spray semilucida. Scegliete pure un colore vivace. Non c'è alcuna ragione per fare le scatole monotone grigie e senza fantasia come quelle commerciali. Probabilmente la prima mano di tinta non risulterà soddisfacente, perchè solo a questo punto si noteranno i punti dove vi sono graffiature. Con una seconda mano otterremo una superficie senza difetti, un ottimo aspetto estetico, una scatola come quelle commerciali di tipo migliore.

6. Raccolta di formule usuali

Per le equazioni sono state usate le seguenti abbreviazioni e simboli:

i	corrente alternata in generale, valore efficace
\hat{i}	corrente alternata istantanea massima, valore di picco
I	corrente continua, in generale
I_B	corrente di base
I_C	corrente di collettore
I_{CBO}	corrente residua collettore-base
I_E	corrente d'emettitore
$I_1 \dots$	qualsiasi corrente in un circuito
L	induttanza, in genere
$L1$	induttanza di un avvolgimento primario
$L2$	induttanza di un avvolgimento secondario
n	numero di spire, in generale
$n1$	numero di spire di un avvolgimento primario
$n2$	numero di spire di un avvolgimento secondario
P	potenza, in generale
R	resistenza, in generale
R_{Cu}	resistenza del rame, per corrente continua, di un avvolgimento
R_{tot}	resistenza complessiva di un insieme di resistenze
R_C	resistenza di carico
R_{AP}	impedenza di un altoparlante
R_L	resistenza di lavoro per corrente alternata
$R1 \dots$	qualsiasi resistenza in un circuito
v	tensione alternata in generale, valore efficace
\hat{v}	tensione alternata, massimo valore istantaneo
t	rapporto di trasformazione di un trasformatore

V	tensione continua, in generale
V_B	tensione di batteria, tensione d'alimentazione
V_{tot}	somma di più tensioni in un circuito
V_{R1}	caduta di tensione in una resistenza

La legge di Ohm esprime la relazione tra corrente, tensione e resistenza:

$$V = R \cdot I, I = V/R, R = V/I.$$

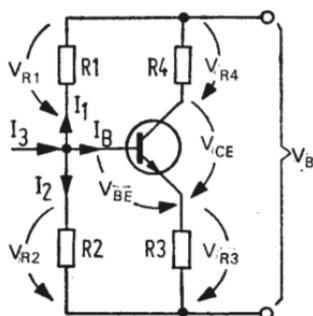


Fig. 6.01. Simboli per correnti e tensioni

La regola di Kirchhoff alle maglie dice che la somma di tutte le tensioni di una maglia chiusa è uguale a zero. In Fig. 6.01 sono rappresentate due maglie, prese da uno schema più grande. Si può scrivere per esempio:

$$V_{R2} = V_{BE} + V_{R3}, V_{R2} + V_{BE} + V_{R3} = 0$$

$$V_{R4} + V_{CE} + V_{R3} = V_B, V_{R4} + V_{CE} + V_{R3} + V_B = 0.$$

La regola di Kirchhoff ai nodi può essere anch'essa dedotta dal disegno: la somma di tutte le correnti che entrano in un nodo è uguale alla somma di tutte le correnti che ne escono:

$$I_3 = I_1 + I_2 + I_B, I_3 - I_1 - I_2 - I_B = 0.$$

Il collegamento in parallelo di due resistenze fornisce la resistenza totale

$$R_{\text{tot}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Volendo ricavare R_2 note R_{tot} e R_1 si usa la

$$R_2 = \frac{R_1 \cdot R_{\text{tot}}}{R_1 - R_{\text{tot}}}$$

Per più di due resistenze vale questa relazione:

$$\frac{1}{R_{\text{tot}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

Il collegamento in parallelo di più condensatori fornisce la capacità totale

$$C_{\text{tot}} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

Il collegamento in serie di più condensatori fornisce la capacità totale

$$\frac{1}{C_{\text{tot}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

Si definisce valore efficace di una tensione alternata quel valore di tensione continua che fornisce la stessa potenza. Il valore efficace della tensione di rete in Italia è di 220 V. Le lampadine delle nostre stanze farebbero la stessa luce se alimentate con 220 V continui. Il valore di picco della tensione alternata è maggiore di un fattore $\sqrt{2}$. Se non altrimenti specificato quando ci si riferisce ad un valore di tensione alternata si intende sempre il valore efficace

$$v = \hat{v}/\sqrt{2}, \hat{v} = v \cdot \sqrt{2}$$

In pratica spesso, oltre al valore di picco della tensione, interessa

anche la differenza di potenziale tra il picco negativo e quello positivo della tensione alternata. Questa tensione detta tensione picco-picco vale

$$v_{pp} = 2 \cdot \hat{v} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot v$$

La corrente di picco viene calcolata in modo analogo

$$\hat{i} = i \cdot \sqrt{2}$$

Per calcolare la potenza a partire dalla corrente di picco e dalla tensione di picco (la potenza è sempre la potenza efficace, eccetto che negli schemi Hi-Fi) occorre ricordare che $\sqrt{2} \cdot \sqrt{2} = 2$

$$P = \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\hat{v}}{\sqrt{2}} = \frac{\hat{i} \cdot \hat{v}}{2}$$

Oltre che dal prodotto della corrente per la tensione, la potenza può essere calcolata anche mediante la resistenza:

$$P = R \cdot I^2 = V^2/R$$

e l'uguaglianza vale anche per correnti alternate

$$P = R \cdot i^2 = v^2/R.$$

Il fattore di trasformazione di un trasformatore t è proporzionale al rapporto tra il numero di spire n_1 (avvolgimento primario) e n_2 (avvolgimento secondario). Le varie grandezze corrente, tensione, potenza, vengono trasformate nei modi seguenti (Fig. 6.02)

$$t = \frac{n_1}{n_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{i_2}{i_1} = \sqrt{\frac{R_L}{R_{AP}}} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$$

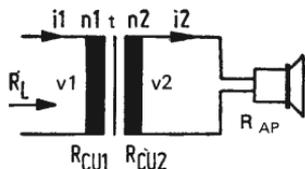


Fig. 6.02. Fattore di trasformazione di un trasformatore

Da questa formula segue che la potenza non viene trasformata:
 $P_1 = P_2$. Si ricava allora facilmente che

$$R_C = R_{cu1} + t^2 (R_{AP} + R_{cu2})$$

Da qui si vede che l'altoparlante carica il circuito con una resistenza uguale a t^2 volte il valore di R_{AP} .

7. Indice analitico

- Accoppiamento termico 71
Alimentatore 23
Avvolgimento primario 75
Avvolgimento secondario 75
- Breakdown 66, 70, 71
- Caratteristiche non lineari 59
Circuito Darlington 81
Circuito raddrizzatore 59
Circuiti stabilizzatori 66
Coefficiente di temperatura 71
Componenti 17
Condensatori in parallelo 99
Condensatori in serie 99
Corrente di carico 70
Corrente di cortocircuito 80
Corrente di picco 100
- Data Book 92
Dimensionamento 78
Diodo raddrizzatore 14
Diodo universale 71
Dual In Line 93
- Efficienza 74
- Fattore di trasformazione 100
Fenolftaleina 9
Frequenza 75
- Impulso di corrente 75
Ingresso invertito 59
Ingresso non invertito 46
- LED 15
- Modulo di alimentazione 74
- Nucleo 75
- Offset 46
- Partitore di tensione 54
Piastrina Veroboard 73
Polarità 13
Potenza 100
Potenza efficace 100
Potenza d'uscita 78
- Ramo di contraccoppiamento 59
Regole di Kirchhoff 98
Resistenza derivata 46
Resistenza limitatrice 67
Resistenze in parallelo 99
Resistenze in serie 12, 99
- Saturazione 77
Scala lineare 59
Scala non lineare 59

Soluzione elettrolitica 7
Stabilizzazione 66
Stabilizzazione doppia 71

Tensione di riferimento 78
Tensione di soglia 80
Tensione indotta 75
Transistore 18
Transistor-arrays 71
Transistore FET 59

Transistori integrati monolitici 71
Transistore planare 71
Trasformatore di bloccaggio 74
Trasformatore di corrente continua 75

Valore efficace 99
Voltmetro 33

biblioteca tascabile elettronica

coordinata da Mauro Boscarol

strumenti di misura e di verifica

tester universali, voltmetri ed altri strumenti di misura

Nessun elettronico dilettante può praticare a lungo il proprio hobby senza strumenti di misura e verifica. Questo volume descrive i più importanti fra essi. Per ogni strumento viene data una esauriente descrizione e vengono forniti tutti gli schemi necessari alla realizzazione, compreso quello del circuito stampato e quello relativo all'allestimento della piastrina.

La costruzione di tester, voltmetri, decadi di resistenze e capacità, sorgenti di tensione campione è così resa possibile a chiunque, anche grazie a completi elenchi dei componenti che completano ogni circuito.

- | | | |
|---|---------------------|---|
| 1 | Hanns-Peter Siebert | L'elettronica e la fotografia
Strumenti elettronici per la
fotografia e la camera oscura |
| 2 | Richard Zierl | Come si lavora con i transistori
Prima parte: i collegamenti |
| 3 | Heinrich Stöckle | Come si costruisce un circuito
elettronico
Dai componenti elettronici
ai circuiti stampati |
| 4 | Heinz Richter | La luce in elettronica
Esperimenti di fotoelettricità |
| 5 | Richard Zierl | Come si costruisce un
ricevitore radio
Dal circuito oscillante
al ricevitore OC |
| 6 | Richard Zierl | Come si lavora con i transistori
Seconda parte: l'amplificazione |
| 7 | Helmuth Tünker | Strumenti musicali elettronici
Dai generatori d'onde a un miniorgano |
| 8 | Heinrich Stöckle | Strumenti di misura e di verifica
Tester universali, voltmetri ed altri
strumenti di misura |