



ANALIZZATORE PER TRANSISTORI



UK 560/S

CARATTERISTICHE TECNICHE

Alimentazione:

mediante batterie di cui una da 1,5 V per la V_{cc} e due da 4,5 V in serie, per la V_{cb}

Possibilità di misura:

su transistori PNP ed NPN mediante appositi commutatori
Correnti residue di perdita I_{cbo} , I_{cbo} , I_{ces} , I_{ces}
Parametri h_{11e} , h_{12e} , h_{21e} , (β) , h_{22e}
Tracciamento per punti delle curve caratteristiche.

Campi di misura:

Corrente di base I_b da 0 a 10 mA in 3 portate: 0,1-1-10 mA fondo scala
Tensione base-emettitore V_{be} da 0 ad 1 V in tre portate: 0,1-0,5-1 V fondo scala
Corrente di collettore I_c da 0 a 250 mA in cinque portate: 0,1-1-10-100-250 mA fondo scala.
Tensione collettore - emettitore a 10 V fondo scala

Strumenti di misura: 100 μ A classe 1,5

Dimensioni: 230 x 130 x 150

Peso: 1380 g completo di batterie

Non si tratta evidentemente del solito provatransistori ma di uno strumento di precisione adatto alla misura di tutti i parametri statici dei transistori, ed al tracciamento per punti di tutte le curve caratteristiche. Mediante componenti esterni si può verificare l'influenza di tali componenti sulle caratteristiche. Permette di regolare la tensione di base e di controllare su un preciso e sensibile strumento il valore di questa tensione, oppure la corrente passante nella giunzione tra base ed emettitore. Un altro strumento di pari precisione consente di controllare l'andamento della corrente di collettore in rapporto alla tensione od alla corrente di base e la tensione tra collettore ed emettitore. Mediante appositi commutatori si possono variare le sensibilità a fondo scala degli strumenti da un minimo di 100 μ A. I transistori in prova possono essere collegati sia mediante cavetti con pinze a coccodrillo che per mezzo di zoccoli appositamente schermati per evitare inneschi di oscillazioni ad altissima frequenza. L'alimentazione avviene per mezzo di batterie incorporate, ed il tutto è contenuto in un elegante contenitore di facile trasporto.

Cosa c'è di meglio che usare la definizione data dalla famosa Enciclopedia britannica, sotto la voce Transistori.

TRANSISTORI un elemento atto ad amplificare segnali elettrici mediante la azione di portatori di carica elettronica entro un solido semiconduttore cristallino. Siccome i transistori possono essere costruiti in dimensioni molto piccole,

hanno lunga vita ed alto rendimento, trovano larga applicazione in sistemi elettronici per scopi di telecomunicazioni controllo automatico e calcolo ad alta velocità.

L'invenzione o meglio la scoperta del transistor si deve a due scienziati americani nel 1948 da J. Bardeen e W. Brattain, (in America è possibile eseguire delle ricerche anche su argomenti che non sembrano al momento avere nessuna utilità pratica immediata) sotto la direzione di quel William Shockley che ha legato il suo nome a tanti dispositivi elettronici estremamente geniali. Uno dei due inventori del transistor l'abbiamo rivisto quest'anno sui giornali perché ha ricevuto il premio Nobel per le sue scoperte sulla superconduttività: J. Bardeen.

Di poche scoperte dell'epoca moderna si può dire che abbiano influito tanto sullo sviluppo della scienza come il transistor.

Solo mediante il transistor che praticamente consuma corrente soltanto per quanto rende, è stato possibile costruire apparecchiature veramente portatili, alimentabili con batterie di piccola potenza, liberandosi dalla schiavitù che per le valvole era costituita dalla necessità di riscaldare il filamento e dall'alta tensione necessaria per l'alimentazione anodica.

Nuovi circuiti sono stati resi possibili dal fatto che è possibile costruire dispositivi a diverse polarità (NPN e PNP), ed in seguito dall'uso dell'integrazione che ha reso possibile il raggruppamento di un numero grandissimo di semiconduttori in un piccolissimo spazio.

Vale quindi la pena di vedere in modo semplice il funzionamento di questo semplice oggetto che, grazie agli scritti alquanto involuti di certi autori ha per molti ancora una certa aria di mistero.

Non spiegheremo il meccanismo fisico del transistor in quanto esulerebbe dal nostro scopo. Però è bene sapere come funziona elettricamente.

Dal piccolo contenitore del transistor fuoriescono tre conduttori che chiamiamo Collettore, Emettitore e Base. Se noi inseriamo una batteria nel circuito formato dal collettore e dall'emettitore, inserendo in questo circuito un amperometro, noi vedremo che non passa praticamente alcuna corrente: il transistor si comporta come un isolante più o meno perfetto, in dipendenza dal cristallo di cui è costituito. Se però noi usiamo un'altra batteria per far passare una certa corrente nel circuito tra la base e l'emettitore, noi vedremo che la corrente nel circuito di collettore cresce in maniera molto più rapida di quanto cresca quella di base. In effetti la giunzione tra base ed emettitore non è altro che un diodo il quale deve venire polarizzato dalla batteria di base nel senso della conduzione. Bastano quindi tensioni molto piccole perché la corrente in questo diodo cresca molto rapidamente.

Tale corrente, anche a piccoli valori, e quindi anche per piccoli valori della tensione, provoca massicce variazioni

della resistenza tra collettore ed emettitore.

Il rapporto tra la corrente che passa tra il collettore e l'emettitore e quella che passa nel diodo base-emettitore rimanendo costante la tensione tra collettore ed emettitore costituisce il famoso beta (β) ossia il coefficiente di amplificazione in corrente del transistor. Questo è un dato importante, ed è quello che indicano la maggior parte dei provatransistori esistenti in commercio. Ma, se pensiamo per prima cosa che il beta non è costante con il variare delle correnti, e che ci sono una quantità di cose che è utile conoscere su un transistor per poterlo usare nel migliore dei modi, a noi il beta interessa solo per una primissima scelta.

Molto più utili sono le curve di funzionamento fornite dai costruttori sui cosiddetti «data sheets». Ma anche qui non siamo ancora arrivati allo scopo. Infatti nessun semiconduttore è praticamente uguale ad un altro, anche se dello stesso numero e tipo. Troppi sono i fattori che influenzano le prestazioni delle giunzioni perché si possa ottenere una assoluta costanza dei risultati. Per tenere conto delle variazioni ammesse delle caratteristiche per una stessa serie si sono sviluppate una serie di tecniche che considerano sempre, per il montaggio in serie, il cosiddetto «worst case» ossia il peggiore dei casi.

In questo modo, per male che vada, l'apparecchiatura funzionerà sempre nei limiti del progetto. Ma gli elementi che hanno prestazioni migliori saranno ovviamente utilizzati al di sotto delle loro possibilità.

Diamo un'idea del procedimento delle industrie per classificare i semiconduttori. Ci sono delle tecniche per influenzare in linea di massima la prestazione del prodotto finito, quali l'azione sul drogaggio, le temperature, i tempi ecc. Applicate queste condizioni saranno statisticamente sicuri che il prodotto finito avrà delle caratteristiche comprese tra un valore minimo ed uno massimo.

Elementi con caratteristiche inferiori al minimo saranno scartati. La distribuzione dei valori entro questo campo sarà regolato dalle leggi del caso. Siccome però noi avremo introdotto degli elementi influenzanti l'andamento del processo, le caratteristiche risultanti si addenseranno attorno ad un valore preferenziale. La curva che mette in rapporto il valore della caratteristica in esame ed il numero degli elementi che rientrano in questo valore si chiama curva di Gauss ed ha la caratteristica forma di campana rovesciata che ricorda la banda passante di un circuito accordato (l'origine è la stessa).

Tale curva sarà tanto più stretta quanto più precise saranno le misure messe in atto per influenzare le prestazioni finali. Ora noi abbiamo due possibilità. O limitare la tolleranza declassando tutti gli elementi che ne escono (praticamente chiamandoli con un'altra sigla) oppure stabilire delle classi di prestazioni sotto la stessa sigla. Tali classi vengono desi-

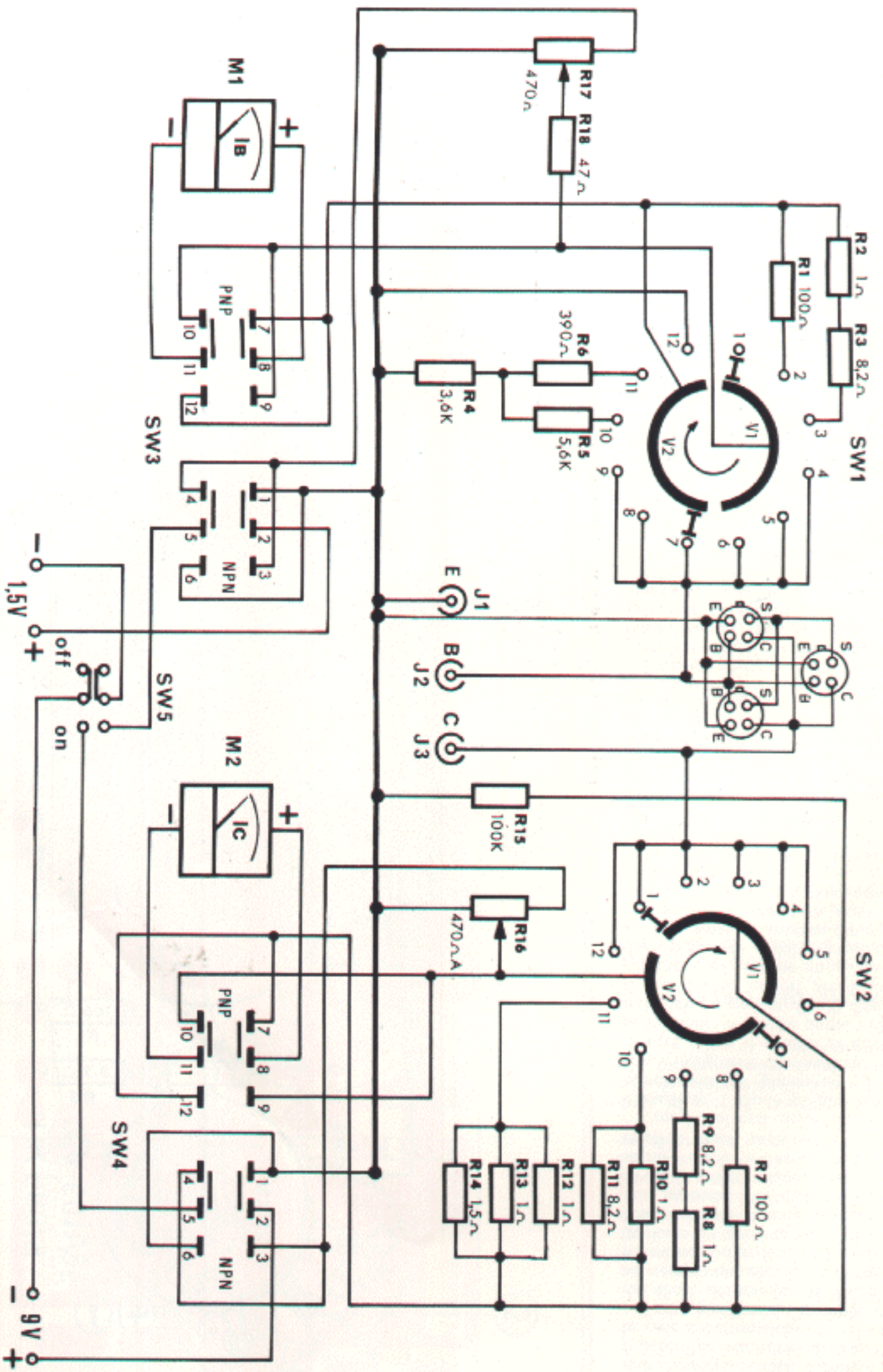


Fig. 1 - Schema elettrico.

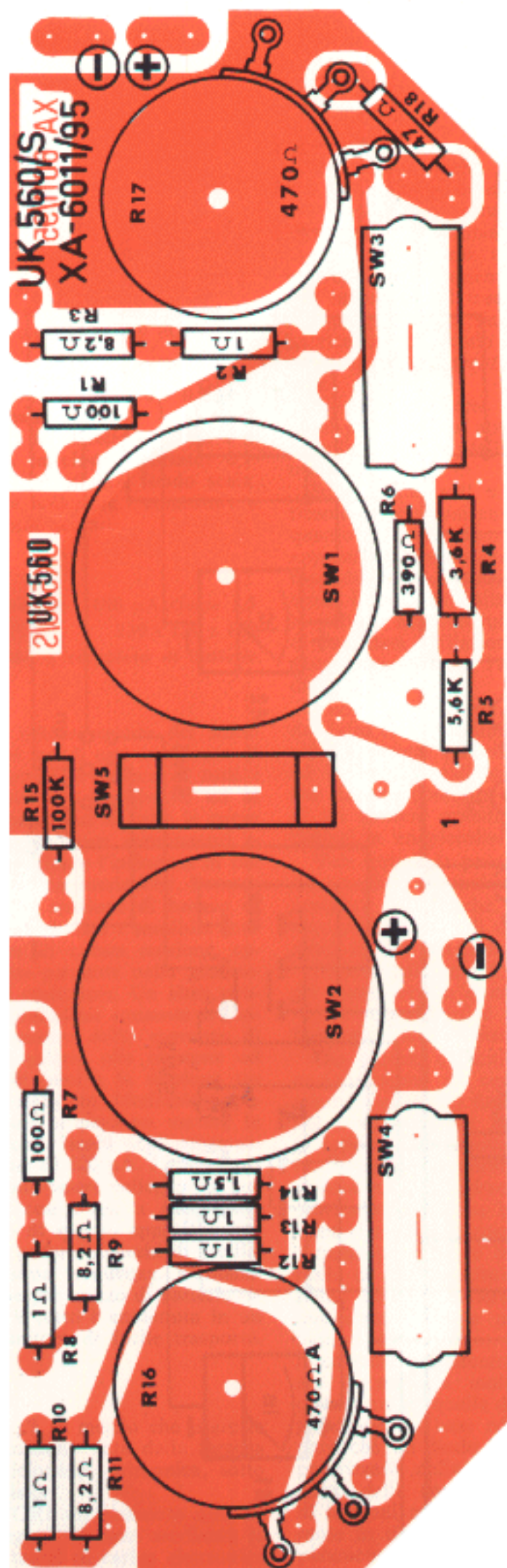


Fig. 2 - Serigrafia del circuito stampato.

gnate con un segno supplementare che segue la sigla. Anche il prezzo di ciascun semiconduttore dipende dalla sua probabilità statistica di riuscire entro le date caratteristiche.

Tanto per fare un esempio, parleremo dei diodi di potenza al silicio. Nei primi tempi, quando le tecniche non erano molto progredite, uscivano dalla produzione un gran numero di elementi a bassa tensione inversa, e molto pochi ad alta tensione. Per questa ragione i diodi ad alta tensione costavano moltissimo mentre quelli a bassa tensione erano a relativo buon prezzo.

Con l'evolversi della tecnica di fabbricazione, i diodi ad alta tensione cominciarono ad aumentare di numero, con conseguente diminuzione di prezzo, mentre saliva il prezzo di quelli a bassa tensione. A questo punto i clienti non intendevano pagare di più degli elementi che davano minori prestazioni, e qui cominciò ad entrare in gioco la legge della domanda e dell'offerta, ed i diodi a bassa tensione inversa diminuirono di prezzo nuovamente, pur essendo il loro costo effettivo molto maggiore di quelli ad alta tensione.

Ma torniamo ai nostri transistori. Tutte le considerazioni sopra dette valgono per la produzione industriale di serie, dove la prova di tutti i semiconduttori da montare condurrebbe a costi proibitivi. Noi però siamo dilettanti, e nulla ci impedisce di voler tirare fuori le massime prestazioni possibili dagli elementi in nostro possesso.

In questo caso non conviene fidarsi ciecamente delle curve che fornisce il fabbricante e che hanno uno scopo del tutto diverso, ma controllare personalmente le caratteristiche di ciascun elemento, e compilarne la carta di identità personale. Mettiamo anche il caso di dover effettuare una sostituzione con un transistor che non porta lo stesso numero di quello precedentemente montato. Va bene che ci sono le tabelle di equivalenza, ma non sempre c'è da fidarsi, in quanto qualche volta succede che sono segnati come equivalenti transistori NPN con PNP.

La cosa migliore è controllare anche qui personalmente. Gli strumenti che servono allo scopo sono di vari tipi. Quelli semplicissimi sono stati nominati prima e danno il beta a condizioni medie di funzionamento, la corrente di perdita tra collettore ed emettitore, ed eventualmente qualche altro dato. Lo scopo preciso di questi strumenti è però di controllare solo se il transistor è ancora in grado di funzionare oppure è irrimediabilmente danneggiato. All'altro estremo di sofisticazione e di prezzo stanno i tracciature che danno direttamente sullo schermo di un oscilloscopio l'intera famiglia di curve che legano due variabili tenendo costante un dato parametro.

I prezzi però non sono certo alla portata del dilettante medio, che, d'altra parte, mette in primo piano la precisione più che il tempo perduto per effettuare la misura.

In quest'ordine di idee, perché non

costruire uno strumento che permetta di disegnare le curve caratteristiche di un transistor per punti. Questo si è tenuto presente, progettando l'UK 560/S, che permette di tracciare tutte le curve di un qualsiasi transistor con una precisione ottima, in quanto le indicazioni vengono fornite da strumenti a bobina mobile di classe 1,5 corredati di componenti di alta precisione, ed il tutto ad un prezzo di tutta soddisfazione ed alla portata di tutte le borse.

E' la classica applicazione del noto detto latino «in medio stat virtus» che tutti conosceranno senza bisogno di traduzione.

In seguito, quando daremo le istruzioni per l'uso dell'analizzatore, mostriamo le possibilità dello strumento, che sono piuttosto vaste.

DESCRIZIONE DEL CIRCUITO

Lo strumento è previsto per la misura di quattro grandezze, due delle quali contemporaneamente in modo da poter osservare la variazione di una di queste in rapporto alla variazione dell'altra. Particolari accorgimenti sono adottati per mantenere costante la terza grandezza che funge da parametro e che non appare sugli strumenti.

L'indicazione è effettuata da due strumenti di caratteristiche uguali ma con scala divisa direttamente per le grandezze da misurare. La sensibilità massima degli strumenti è di $100 \mu A$, il che corrisponde ad un resistore d'ingresso di $10.000 \Omega/V$.

Il primo strumento (M1) è previsto per la misura della corrente di base in tre portate a fondo scala: 0,1 1, 10 mA commutabili mediante una delle sezioni di SW1. Lo stesso SW1 provvede a commutare il collegamento dello strumento M1 per la misura delle tensioni tra base ed emettitore.

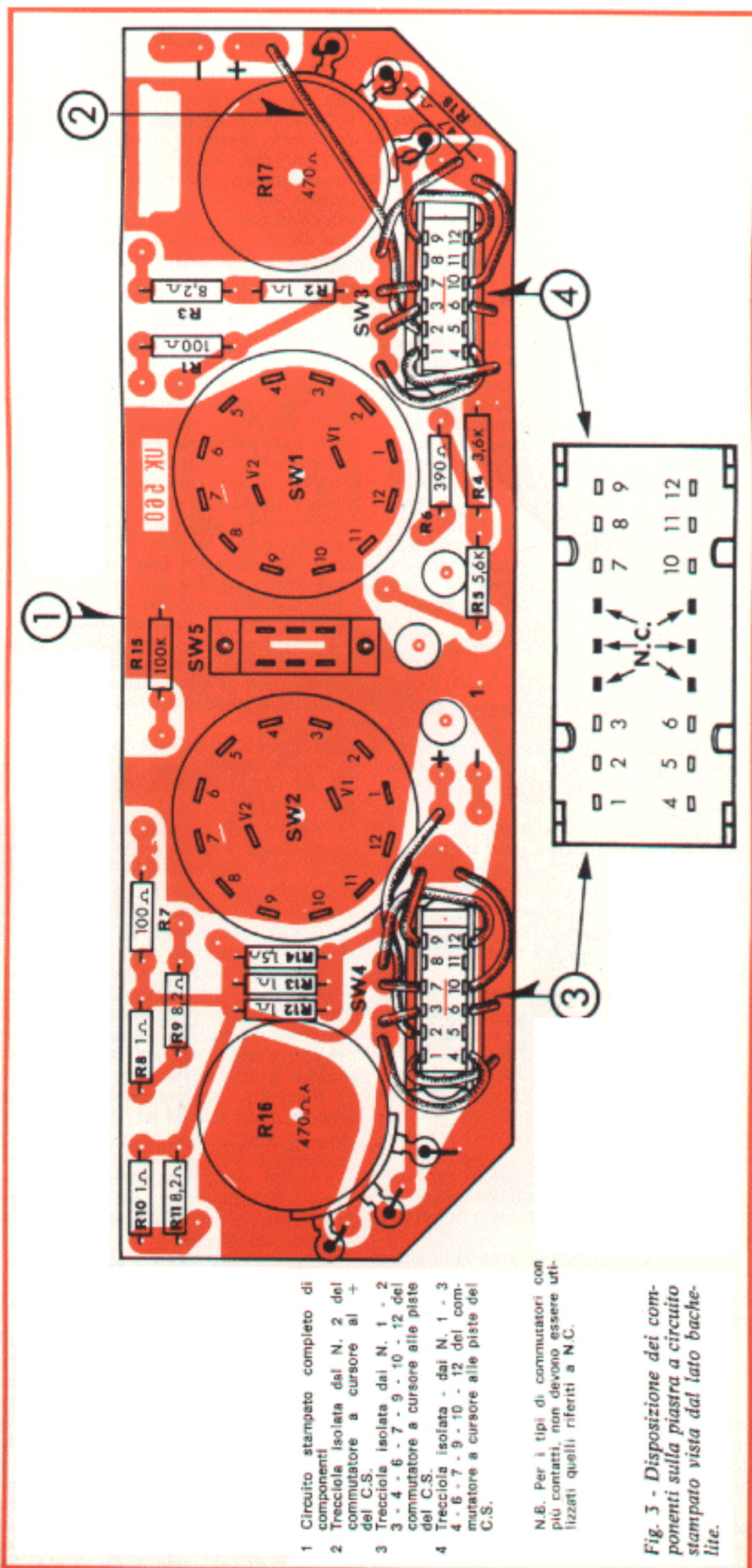
Anche per questa misura abbiamo tre portate a fondo scala, ossia 1 V, 0,5 V, 0,1 V.

Il secondo strumento M2 è previsto per la misura delle correnti di collettore in cinque portate: 0,1 1, 10, 100, 250 mA. E' prevista anche una portata voltmetrica supplementare che misura la tensione tra collettore ed emettitore con 10 V fondo scala. Il commutatore SW2 provvede al corretto collegamento dello strumento.

Come è noto la differenza principale tra un transistor PNP ed uno NPN è che l'alimentazione di uno avviene a polarità invertita rispetto a quella dell'altro, sia per la batteria di collettore che per quella di base.

Tale compito di invertire la polarità delle alimentazioni e di conseguenza quelle di connessione degli strumenti, è svolto dai due commutatori a slitta SW3 ed SW4.

L'alimentazione elettrica è svolta da due distinte batterie in modo da non avere interazioni tra i due valori di tensione. La batteria che fornisce la tensione di collettore è di 9 V ed il valore della tensione applicata al collettore è regolato tramite il potenziometro R16



che essendo di valore abbastanza basso può approssimarsi ad un generatore di corrente, ossia a tensione costante con il carico.

La tensione di polarizzazione di base è fornita da una batteria da 1,5 V e viene parzializzata dal potenziometro R17. Abbiamo così raggiunto le condizioni necessarie per la esecuzione di tutte le prove statiche sui transistori nelle condizioni di precisione sufficienti per una ottima affidabilità.

Tutti gli altri componenti servono ad adattare le portate di fondo scala degli strumenti a quelle desiderate.

Il collegamento con gli elettrodi dei transistori avviene sia mediante tre zoccoli di tipo corrispondente alle connessioni più usate, sia mediante tre uscite a cavetto e pinza a coccodrillo.

L'interruttore SW5 disconnette le batterie quando lo strumento non è in uso.

Noterete che alcuni dei resistori per l'adattamento delle portate sono disposti in serie od in parallelo tra di loro. Questo per il fatto di dovere adattare la serie di valori normalizzati dei resistori ai valori effettivamente richiesti per ottenere le portate di fondo scala degli strumenti.

MECCANICA

L'intero strumento, comprese le batterie di alimentazione, è contenuto in uno dei nuovi contenitori unificati, che sono composti da sette parti facilmente montabili e smontabili per verifiche e riparazioni.

Comandi e strumenti sono riuniti sul pannello frontale, come pure gli zoccoli e le prese per il collegamento dei transistori da provare.

Sulle scale degli strumenti sono riportati i valori effettivi delle grandezze indicate, quindi la lettura risulta semplice e diretta.

Il circuito principale è disposto su un circuito stampato, ed i collegamenti a cavo anche se numerosi sono facili da eseguire data l'ottima accessibilità delle varie parti. Anche gli zoccoli per i transistori sono montati su un apposito circuito stampato che permette di ridurre al minimo la possibilità di errori nei collegamenti.

Le batterie sono contenute in appositi portapile fissati al pannello inferiore, e la sostituzione delle batterie risulta facile e comoda.

Sul pannello anteriore sono serigrafate tutte le indicazioni necessarie per identificare prontamente senza errori le posizioni e le funzioni dei comandi.

I° Fase - Istruzioni per il montaggio

Questa fase di montaggio consiste nella connessione dei vari componenti ai circuiti stampati e nell'esecuzione dei collegamenti a cavo per le connessioni non previste in pista di rame.

Diamo qui di seguito alcuni consigli generali di montaggio e le precauzioni da adottare per ottenere il miglior risultato finale.

Le resistenze vanno montate parallele alla superficie della piastrina del circuito stampato.

I terminali dei resistori vanno piegati alla giusta distanza tra loro ed infilati nei fori praticati nel C.S. controllando l'esatta disposizione sulla fig. 3 dove abbiamo riprodotto la serigrafia del circuito stampato, con sovrapposta la disposizione dei componenti. Effettuare la saldatura usando un saldatore di potenza non elevata per evitare di surriscaldare i componenti. Questo è molto importante nel nostro caso, in quanto trattandosi di resistori a tolleranza piuttosto ristretta, adatti alla precisione dello strumento, una variazione permanente delle loro caratteristiche porterebbe a falsare il risultato delle letture. La quantità di stagno depositata su ciascuna isoletta deve essere la minima necessaria per assicurare un buon contatto. Se la saldatura non riesce subito perfetta non insistere ma attendere il raffreddamento del componente e ripetere il tentativo.

Durante la saldatura fare molta attenzione a non formare ponti di stagno tra le piste adiacenti. Una volta effettuata la saldatura tagliare con un tronchesino i terminali che superano di 2 mm il piano delle piste di rame di collegamento.

I collegamenti in cavetto devono essere tenuti più corti possibile.

Preso atto di queste precauzioni, possiamo dare inizio alle operazioni di montaggio.

□ Montare e saldare sul circuito stampato le resistenze R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12, R13, R14, R15, R18.

□ Fissare sul circuito stampato i due commutatori a cursore SW3, SW4, mediante due viti da 2.6M x 4 e SW5 2M. SW5 è il generale e va montato sull'asse del circuito. SW3 ed SW4 sono uguali, quindi non ci sono prescrizioni per la disposizione.

□ Fissare in maniera provvisoria con i relativi dadi i due commutatori SW1 ed SW2 inserendo accuratamente la linguetta di riferimento sporgente dal corpo del commutatore nel corrispondente intaglio praticato sul circuito stampato.

□ Fissare in maniera provvisoria i due potenziometri R16 ed R17 facendo attenzione a non scambiarli di posto. Il potenziometro R16, pur avendo il medesimo valore di R17, si differenzia per la maggiore dimensione del contenitore. I contatti vanno rivolti nella direzione indicata sul disegno.

□ Inserire e saldare i 5 ancoraggi marcati (1) (+) (-) (+) (-).

Ora resta da eseguire il cablaggio tra i commutatori ed il circuito stampato. A questo punto conviene fare parecchia attenzione per non incorrere in qualche errore di collegamento. I collegamenti devono essere eseguiti con trecciola isolata del diametro esterno minore salvo dove altrimenti specificato, gli stessi devono essere più corti possibile e, data la miniaturizzazione dei commutatori, bisogna usare un saldatore con punta molto affilata. I contatti dei commutatori sono numerati sia sullo schema di fig. 1, sia sui piani di cablaggio di fig. 3 e 4. Per

facilitare ed abbreviare, useremo una sigla per ciascun contatto di ciascun commutatore. Per esempio il contatto 4 del commutatore SW3 lo chiameremo semplicemente 4 = SW3.

Quando diremo che un capo del conduttore va al circuito stampato, controllare esattamente sulla figura in quale foro va inserito.

Per la numerazione dei contatti di SW1 ed SW2 il riferimento è costituito dai contatti centrali V1 e V2.

Collegamento di SW4

- Da 1 = SW4 a circuito stampato
- Da 2 = SW4 a circuito stampato
- Da 3 = SW4 a circuito stampato
- Da 4 = SW4 a circuito stampato
- Da 5 = SW4 ad 1 = SW5
- Da 6 = SW4 a circuito stampato
- Da 7 = SW4 a circuito stampato
- Da 8 = SW4 collegare uno spezzone di filo rosso lungo 10 cm
- Da 9 = SW4 a circuito stampato
- Da 10 = SW4 a circuito stampato
- Da 11 = SW4 collegare uno spezzone di filo nero lungo 10 cm
- Da 12 = SW4 a circuito stampato

Collegamento di SW3

- Da 1 = SW3 a circuito stampato
- Da 2 = SW3 a circuito stampato
- Da 3 = SW3 a circuito stampato
- Da 4 = SW3 a circuito stampato
- Da 5 = SW3 a 2 = SW5
- Da 6 = SW3 a circuito stampato
- Da 7 = SW3 a circuito stampato
- Da 8 = SW3 collegare uno spezzone di filo rosso lungo 10 cm
- Da 9 = SW3 a circuito stampato
- Da 10 = SW3 a circuito stampato
- Da 11 = SW3 collegare uno spezzone di filo nero lungo 10 cm
- Da 12 = SW3 a circuito stampato.

Collegamento di SW2

- 12 = SW2, 1 = SW2, 2 = SW2, 3 = SW2, 4 = SW2, 5 = SW2 collegati insieme con filo rigido nudo stagnato.
- Da 6 = SW2 a circuito stampato
- Da 7 = SW2 non collegato
- Da 8 = SW2 a circuito stampato
- Da 9 = SW2 a circuito stampato
- Da 10 = SW2 a circuito stampato
- Da 11 = SW2 a circuito stampato
- Da V1 = SW2 a circuito stampato
- Da V2 = SW2 a circuito stampato

Collegamento di SW1

- 1 = SW1 non collegato
- Da 2 = SW1 a circuito stampato
- Da 3 = SW1 a circuito stampato
- 4 = SW1, 5 = SW1, 6 = SW1, 7 = SW1, 8 = SW1, 9 = SW1, collegati insieme con filo rigido nudo stagnato.
- Da 10 = SW1 a circuito stampato
- Da 11 = SW1 a circuito stampato
- Da 12 = SW1 a circuito stampato
- Da V1 = SW1 a circuito stampato
- Da V2 = SW1 a circuito stampato
- Collegare e saldare i terminali dei potenziometri R16-R17 al C.S. con spezzone di filo nudo.

1° Fase - Montaggio degli zoccoli portatransistori - Fig. 5

Con l'aiuto della figura è semplice montare i tre zoccoli al punto giusto. La ragione della presenza dei due zoccoli uguali è che le connessioni sono diverse e corrispondono ambedue a tipi in uso.

2° Fase - Montaggio degli elementi sulla mascherina - Fig. 7

☐ Sulla mascherina (1) montare gli strumenti (2) tenendo conto che quello con le indicazioni $V_{bc} - I_s$ va posto a sinistra guardando il pannello. Il fissaggio va effettuato con i dadi 3M (3).

☐ Montare le tre boccole per l'inserimento dei terminali a coccodrillo facendo bene attenzione a non spezzare l'isolamento in plastica specialmente stringendo il dado di fissaggio. Il fissaggio va fatto con i dadi (6) interponendo le rondelle (5). La boccia rossa corrisponde al collettore.

☐ Togliere i dadi che avevamo adoperato per il provvisorio fissaggio dei commutatori e del potenziometro al circuito stampato, e, facendo bene attenzione a non danneggiare il cablaggio, sostituirli con le quattro bussole distanziali non filettate. Infilare i quattro perni e le levette dei deviatori nei corrispondenti fori del pannello anteriore ed effettuare il fissaggio mediante i quattro dadi (9) precedentemente tolti dai potenziometri e dai commutatori. Per mezzo di questi il circuito stampato completo viene rigidamente collegato alla mascherina.

☐ Fissare solidamente ai perni dei commutatori e dei potenziometri le manopole con indice (10), facendo attenzione che gli indici corrispondano alla graduazione stampata sul pannello. Per assicurarsi di questo, basta portare i quattro elementi alla loro estrema posizione anterioria e fissare le manopole con l'indice all'inizio della graduazione.

☐ Montare sulla parte posteriore della mascherina il circuito stampato portazoccoli (11) fissandolo con le due viti M2,6 x 6 ad intaglio a croce (12) ed i relativi dadi (13).

3° Fase - Collegamenti elettrici tra gli elementi della mascherina - Fig. 6

☐ Inserire sulle uscite degli strumenti le quattro pagliette di contatto.

☐ Collegare il filo rosso (8) uscente dal contatto 8 = SW3 al polo positivo dello strumento indicatore M1.

☐ Collegare il filo nero (9) uscente dal contatto 11 = SW3 al polo negativo dello strumento M1.

☐ Collegare il filo rosso (1) uscente dal contatto 8 = SW4 al polo positivo dello strumento indicatore M2.

☐ Collegare il filo nero (2) uscente dal contatto 11 = SW4 al polo negativo dello strumento indicatore M2.

☐ Collegare con uno spezzone di filo marrone (3) l'emettitore dello zoccolo superiore con la piastra in rame che collega i due emettitori degli zoccoli inferiori.

☐ Collegare con uno spezzone di filo rosso il collettore dello zoccolo inferiore destro con i due collettori degli altri due

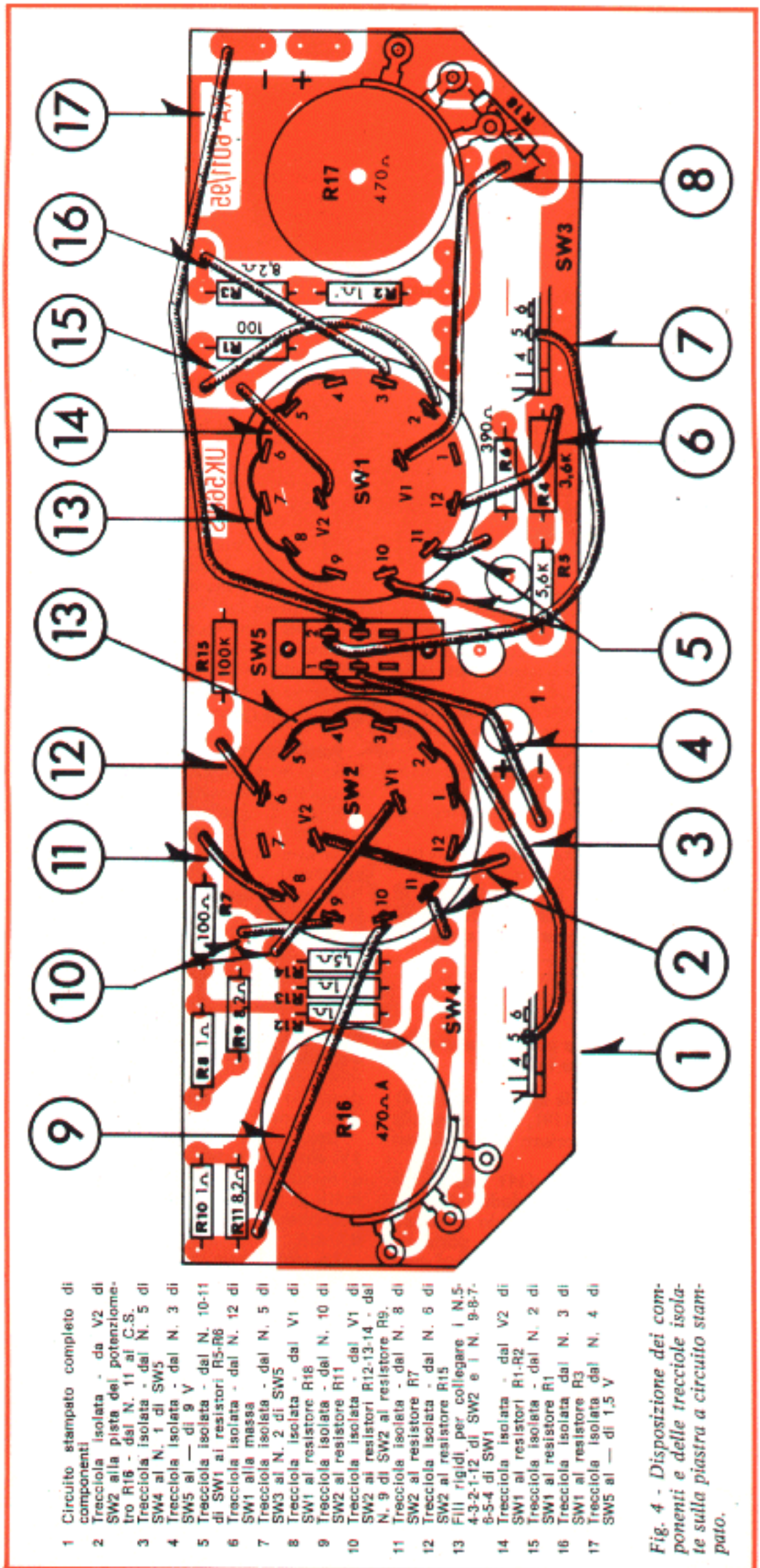


Fig. 4 - Disposizione dei componenti e delle treccie isolate sulla piastra a circuito stampato.



Fig. 5 - Montaggio degli zoccoli portatransistori sulla relativa bassetta.

zoccoli collegati tra di loro da una pista in rame.

Collegare a massa con uno spezzone di filo bianco (4) il connettore di schermo dello zoccolo inferiore sinistro. Gli altri due connettori di schermo sono già collegati a massa sulla relativa pista di rame.

Collegare con uno spezzone di filo marrone (7) il ponte che unisce gli emettitori degli zoccoli con la boccia miniatura sul pannello corrispondente all'uscita di emettitore stampigliata «E» sulla mascherina.

Tale bussola va anche collegata con l'ancoraggio contrassegnato «1» sul circuito stampato.

Collegare con un filo rosso (6) i tre collettori uniti insieme sul portazoccoli con la boccia miniatura contrassegnata «C» sul pannello anteriore (rossa).

Tale boccia va collegata con un filo rosso (10) al contatto 1 = SW2.

Collegare con un filo bianco (11) la pista del portazoccoli che unisce le basi con la boccia miniatura contrassegnata «B» sulla mascherina.

Collegare la suddetta bussola al contatto 9 = SW1 con filo bianco.

4ª Fase - Montaggio e collegamento degli elementi del pannello inferiore

Fissare mediante le apposite viti (18) M3 x 8 con dadi (19), due portapile (17) al pannello inferiore (privo di fori di ventilazione).

Fissare il portapile (14) con 4 viti (15) M2,6 x 10 e relativi dadi (16).

Collegare insieme saldando le rispettive lamelle adiacenti i due portapile (17) in modo che le batterie in essi contenute risulteranno in serie per fornire i 9 V richiesti.

Fare ora riferimento alla fig. 8.

Collegare con un filo rosso il polo positivo del portapile (1) all'ancoraggio marcato (+) sul circuito stampato e contrassegnato «1,5 V» in fig. 7.

Collegare con un filo nero il polo negativo del portapile (1) con l'ancoraggio marcato — sul circuito stampato, vicino al precedente.

Collegare con un filo rosso il polo positivo della batteria a 9 V con l'ancoraggio marcato + (9 V) sul circuito stampato.

Collegare con un filo nero il polo negativo della batteria a 9 V con l'ancoraggio marcato — (9 V) sul circuito stampato.

Nota bene: I quattro precedenti collegamenti devono essere di lunghezza tale da permettere ai due pannelli di giacere orizzontali uno accanto all'altro.

Montare i due piedini sul pannello inferiore e fissarli con le relative preste. Incollare i due feltrini autoadesivi.

5ª Fase - Montaggio del contenitore - Fig. 7

Collegare la mascherina (1) ai due pannelli laterali (21) (22) interponendo la cornice (26). Fissare con le quattro viti autofilettanti (28) misura 2,9 x 9,5.

Inserire a scorrimento il pannello inferiore (20) ed il pannello superiore (23) facendo attenzione che ambedue penetrino bene nei relativi incastri.

Fissare il pannello posteriore (24) mediante le quattro viti autofilettanti (25) misura 2,9 x 6,5.

Montare il supporto inclinazione strumento (27). Naturalmente, prima di chiudere il contenitore è sempre conveniente procedere ad un accurato controllo del montaggio, con particolare riferimento ai cablaggi che in questo caso sono alquanto laboriosi.

USO DELLO STRUMENTO

Possiamo ora cominciare ad imparare l'uso e le possibilità davvero molteplici di questo analizzatore.

Prima di cominciare consigliamo una semplice verifica allo scopo di assicurarci di aver fatto le cose in ordine coi collegamenti.

Collegare una resistenza da 10 kΩ tra le uscite di base ed emettitore.

Connettendo la batteria, portando in «ON» — l'interruttore generale, porteremo il commutatore di sinistra sulla posizione $V_{bc} = 0,1$ V. Girando in senso orario il potenziometro V_{bc} porteremo l'indice dello strumento di sinistra a fondo scala (0,1 V). Portando il commutatore sulle posizioni 0,5 V e 1 V dovremo constatare che le indicazioni sono sempre di 0,1 V.

Ora, con il commutatore in posizione 1V portare l'indice a fondo scala (1 V) e misurare le correnti esplorando gli scatti I_s mA. In tutte e tre le posizioni dovremo avere la stessa indicazione di 0,1 mA.

La stessa serie di operazioni dovrà essere eseguita per la sezione di collettore (a destra), inserendo tra le prese di collettore e di emettitore una resistenza di 100 kΩ. Le indicazioni per la massima tensione di 9 V, dovranno essere sempre di 0,09 mA. Desiderando una maggiore escursione dell'indice armatevi di legge di Ohm e fate tutte le altre prove che volete, badando di non mandare in sovraccarico lo strumento indicatore.

Potete ora prendere un transistor, possibilmente non il più caro che avete, ed imparare ad usare lo strumento.

Per prima cosa misureremo le correnti di fuga e, importante tra le importanti,

I_{cbo} , ossia la corrente inversa del diodo base collettore con emettitore non connesso.

Per effettuare questa prova, collegate il transistor con il collegamento di base alla boccia E e con quello di collettore alla boccia C. L'altro non deve essere connesso. I commutatori PNP-NPN devono essere collegati nel modo corrispondente alla polarità del transistor in prova.

Procedimento di misura

- 1) Portare i due deviatori nella posizione adatta al tipo di transistor PNP o NPN.
- 2) Portare il comando di regolazione della tensione V_{bc} a 0.
- 3) Regolare il comando di regolazione della tensione V_{cc} a 0.
- 4) Predisporre il selettore 3 per la portata di $I_s = 250$ mA.
- 5) Collegare il transistor in prova con il terminale del collettore alla boccia C e con il terminale di base alla boccia E lasciando libero il terminale dell'emettitore.
- 6) Accendere l'analizzatore.
- 7) Regolare lentamente la V_{cc} da 0-9 V e osservare lo strumento indicatore. Cambiare la portata fino a leggere la corrente la quale è compresa fra qualche μA e qualche mA a secondo del tipo di transistor e della potenza. In ogni caso i valori I_{cbo} sono indicati dal costruttore.

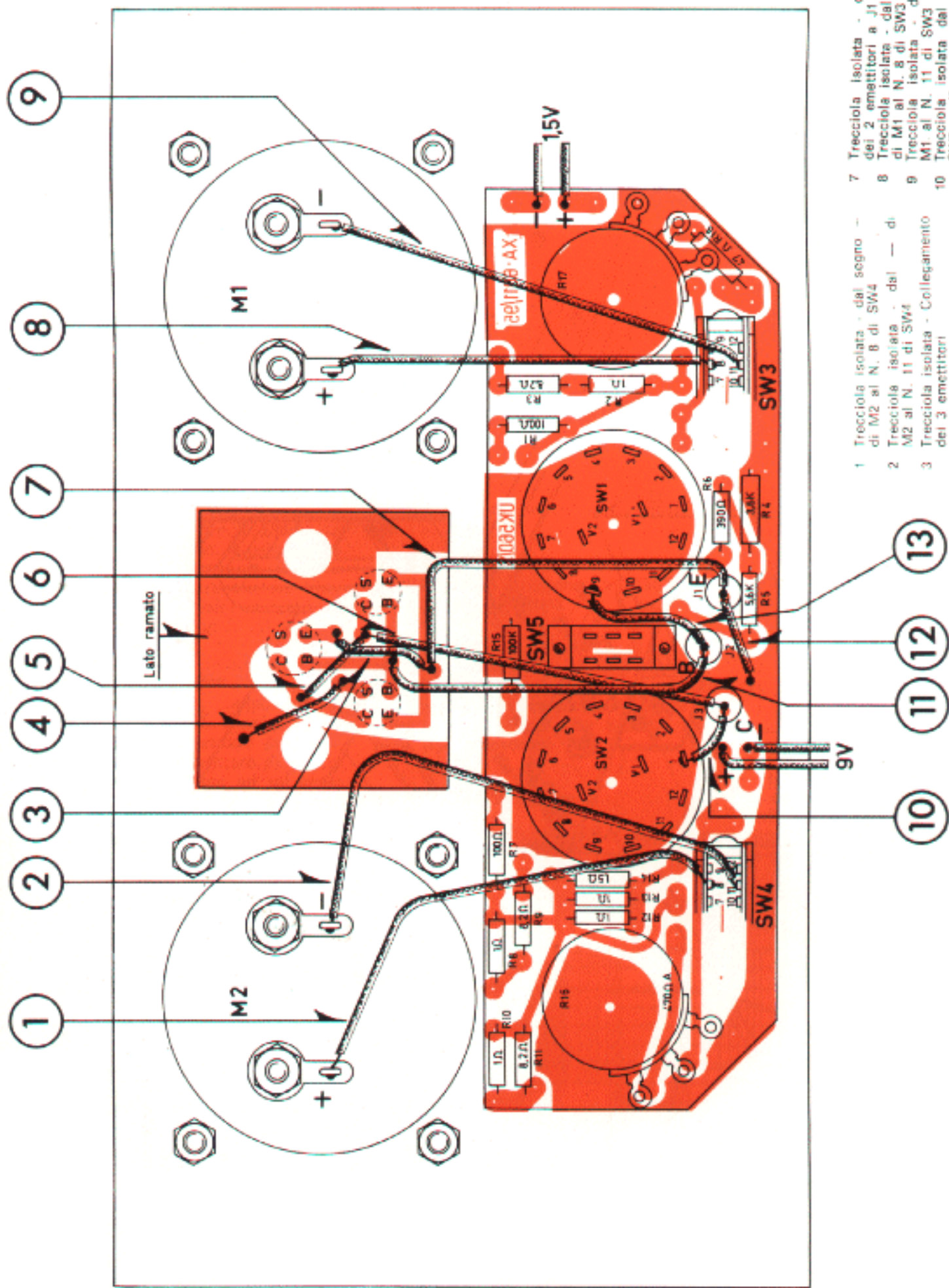
Diamo ora qualche chiarimento sul comportamento di questa corrente, che costituisce il più importante elemento di cui tenere conto per la stabilità termica e per la buona durata di un amplificatore.

Senza entrare nella spiegazione fisica del fenomeno, diremo che in assenza di corrente di base la giunzione tra collettore e base polarizzata in senso inverso non è un perfetto isolante, ma lascia passare una certa corrente che dipende nel suo valore globale dal materiale di cui è costituita la giunzione: per esempio il silicio ha una corrente inversa molto minore di quella del germanio. Ma questa corrente, anche per lo stesso materiale, non è costante, ma dipende da due fattori: temperatura e tensione applicata.

La parte dipendente dalla temperatura o I_s è detta corrente di saturazione mentre la parte dipendente dalla tensione o I_L è detta corrente di perdita; avremo quindi:

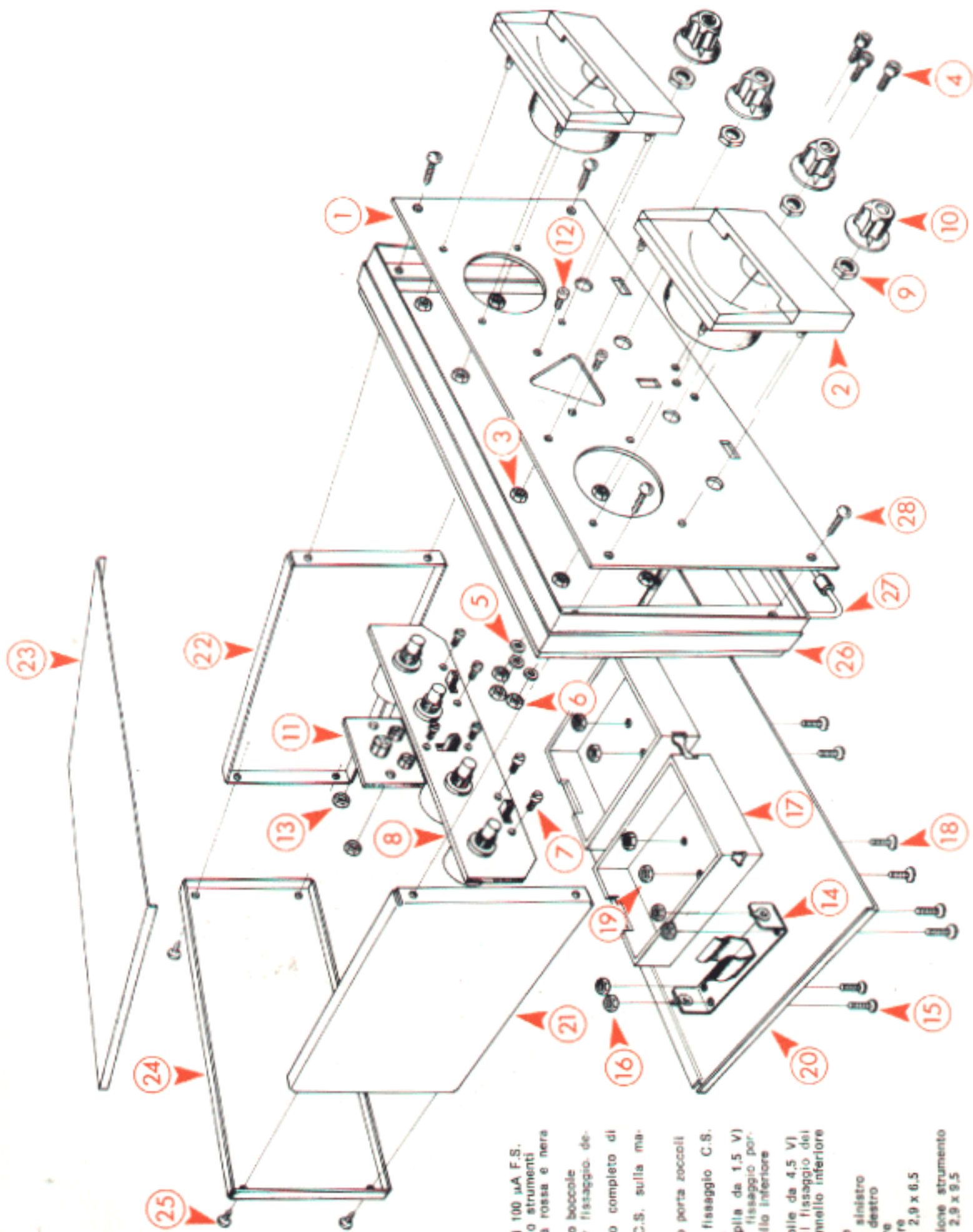
$$I_{cbo} = I_s + I_L$$

La conoscenza di I_{cbo} è di importanza fondamentale per la polarizzazione dei transistori. Infatti, a causa della sua dipendenza dalla temperatura, nei circuiti a piccoli segnali, essa può divenire una componente percentualmente della corrente di base, mentre nei circuiti per grandi segnali essa può dare luogo ad un autoriscaldamento e quindi provocare una deriva. La I_{cbo} viene normalmente misurata a due diversi livelli di tensione sia a temperatura ambiente che ad



- 1 Trecciola isolata - dal segno - di M2 al N. 8 di SW4
- 2 Trecciola isolata - dal - di M2 al N. 11 di SW4
- 3 Trecciola isolata - Collegamento dei 3 emettitori
- 4 Trecciola isolata - dalla massa allo schermo dello zoccolo di sinistra
- 5 Trecciola isolata - collegamento dei 3 collettori
- 6 Trecciola isolata - dai 3 collettori a J3
- 7 Trecciola isolata - dal punto dei 2 emettitori a J1
- 8 Trecciola isolata - dal segno + di M1 al N. 8 di SW3
- 9 Trecciola isolata - dal - di M1 al N. 11 di SW3
- 10 Trecciola isolata dal N. 1 di SW2 a J3
- 11 Trecciola isolata - dal punto delle basi a J2
- 12 Trecciola isolata dalla massa a J1
- 13 Trecciola isolata - dal N. 9 di SW1 a J2

Fig. 6 - Esploso di montaggio del contenitore e degli elementi alla mascherina frontale.



- 1 Mascherina
- 2 Microamperometri 100 μ A F.S.
- 3 Dadi 3M fissaggio strumenti
- 4 Boccole miniatura rossa e nera
- 5 Rondelle piatte
- 6 Dadi per fissaggio boccole
- 7 Viti 2,6M x 4 per fissaggio deviatori a cursore
- 8 Circuito stampato completo di componenti
- 9 Dadi fissaggio C.S. sulla mascherina
- 10 Manopole
- 11 Circuito stampato porta zoccoli
- 12 Viti 2,6M x 6
- 13 Dadi 2,6M per fissaggio C.S. sulla mascherina
- 14 Porta pile (per pile da 1,5 V)
- 15 Viti 2,6M x 6 per fissaggio porta pile sul pannello inferiore
- 16 Dadi 2,6M
- 17 Porta pile (per pile da 4,5 V)
- 18 Viti 3M x 6 per il fissaggio dei porta pile sul pannello inferiore
- 19 Dadi 3M
- 20 Pannello inferiore
- 21 Pannello laterale sinistro
- 22 Pannello laterale destro
- 23 Pannello superiore
- 24 Pannello posteriore
- 25 Viti autofilettanti 2,9 x 6,5
- 26 Cornice
- 27 Supporto inclinazione strumento
- 28 Viti autofilettanti 2,9 x 9,5

Fig. 7 - Collegamenti elettrici tra gli elementi della mascherina e il circuito stampato.

una temperatura superiore. Una delle misure deve essere fatta a tensione sufficientemente bassa per poter trascurare l'effetto valanga che si ha nella giunzione polarizzata inversamente quando la tensione supera la barriera di potenziale della giunzione. A questa bassa tensione vengono fatte anche le misure per la temperatura più elevata in modo da assicurare che la corrente di saturazione sia grande rispetto a quella di perdita. Un'altra misura poi viene fatta a temperatura ambiente in prossimità della massima tensione inversa ammessa per il diodo base-collettore. Riassumendo, alle basse temperature I_{CBO} è dovuta essenzialmente alla corrente di perdita, mentre alle alte temperature la corrente di saturazione diventa predominante. La dipendenza della corrente di saturazione dalla temperatura viene espressa dalla formula:

$$I_s = AT^{1-N} e^{-N/T}$$

dove A ed N sono costanti dipendenti dal materiale e T è la temperatura assoluta in gradi Kelvin. Come noto, la temperatura assoluta si ottiene aggiungendo 273 al valore espresso in gradi centigradi.

Si vede che la corrente di saturazione cresce in maniera molto rapida con la temperatura. In genere tale corrente si raddoppia ogni 10°C per il silicio ed ogni 14°C per il germanio. A prima vista sembrerebbe che il germanio presenti una situazione più favorevole, ma bisogna tener conto che i valori a temperatura ambiente sono di gran lunga inferiori per il silicio.

Variazioni di I_{CBO} al valore della tensione applicata.

Alle basse tensioni la componente di perdita di I_{CBO} varia in maniera pressoché lineare con l'aumentare della tensione applicata. All'aumentare della tensione il fenomeno assume ad un certo punto l'andamento cosiddetto «a valanga» e questo provoca un rapido aumento della corrente di collettore all'aumentare della tensione applicata.

La posizione del collegamento di base è molto importante per il valore delle correnti di perdita tra il collettore e l'emettitore. Queste correnti si possono misurare con il nostro strumento collegando il collettore e l'emettitore alle rispettive bocche. Vedremo poi cosa fare con la base.

Potremo distinguere tre distinte correnti di perdita.

I_{CBO} rappresenta la corrente di collettore quando il collettore venga polarizzato inversamente rispetto all'emettitore (alta resistenza) ed il circuito di base sia aperto.

Procedimento di misura

- 1) Predisporre l'analizzatore come per la I_{CBO} .
- 2) Collegare il transistor in prova con il terminale del collettore alla boccia C e con il terminale dell'emettitore alla boccia E lasciando libero il terminale della base.
- 3) Accendere l'analizzatore.
- 4) Regolare lentamente la V_{ce} da 0 ÷ 9 V

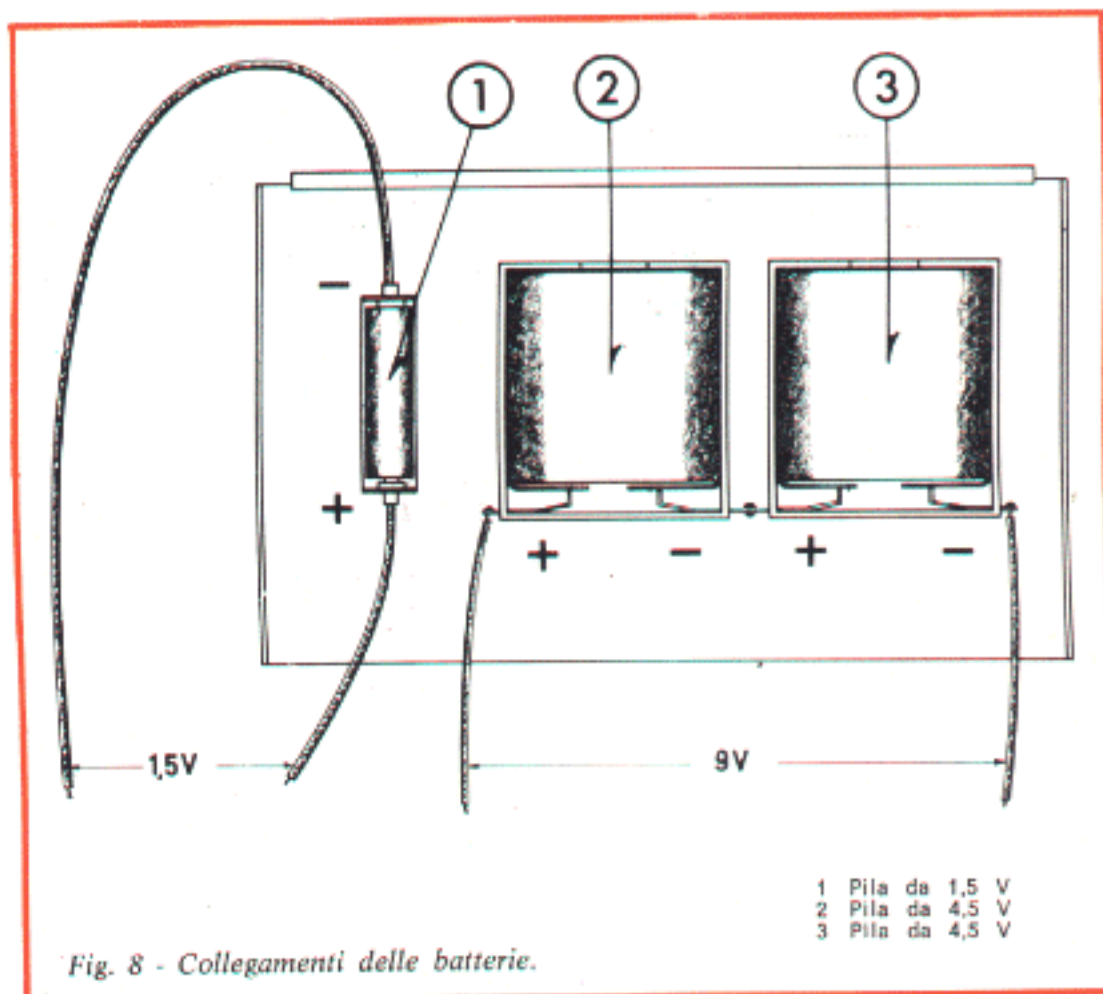


Fig. 8 - Collegamenti delle batterie.

e osservare lo strumento indicatore. Cambiare la portata fino a leggere la corrente.

I_{CBO} rappresenta la corrente di collettore quando il collettore stesso sia polarizzato inversamente rispetto all'emettitore e la base sia connessa direttamente all'emettitore. Tale corrente è molto inferiore alla precedente.

Procedimento di misura

- 1) Predisporre l'analizzatore come per le precedenti misure.

- 2) Collegare il transistor in prova con il terminale del collettore alla boccia C ed i terminali emettitore e base alla boccia E.
- 3) Accendere l'analizzatore.
- 4) Regolare lentamente la V_{ce} da 0 ÷ 9 V e osservare lo strumento indicatore. Cambiare la portata fino a leggere la corrente residua.

I_{CER} rappresenta la corrente di collettore quando il collettore stesso venga polarizzato inversamente rispetto all'emettitore e la base sia collegata all'emettitore mediante una resistenza esterna.

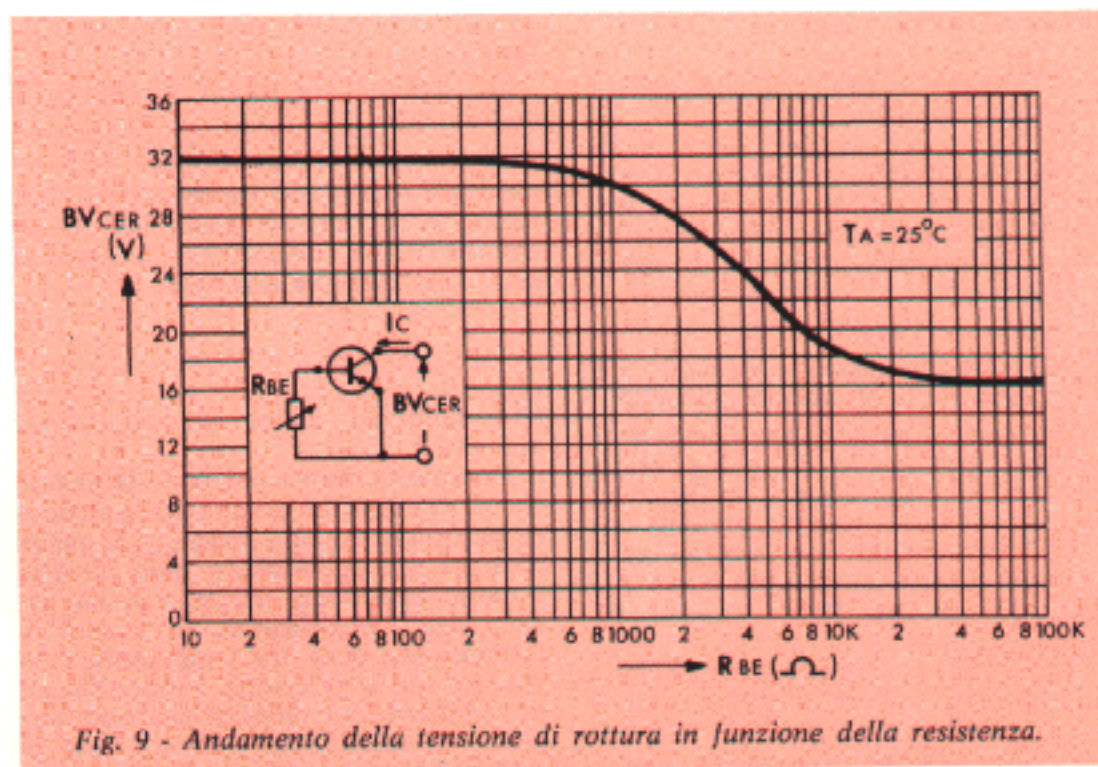


Fig. 9 - Andamento della tensione di rottura in funzione della resistenza.

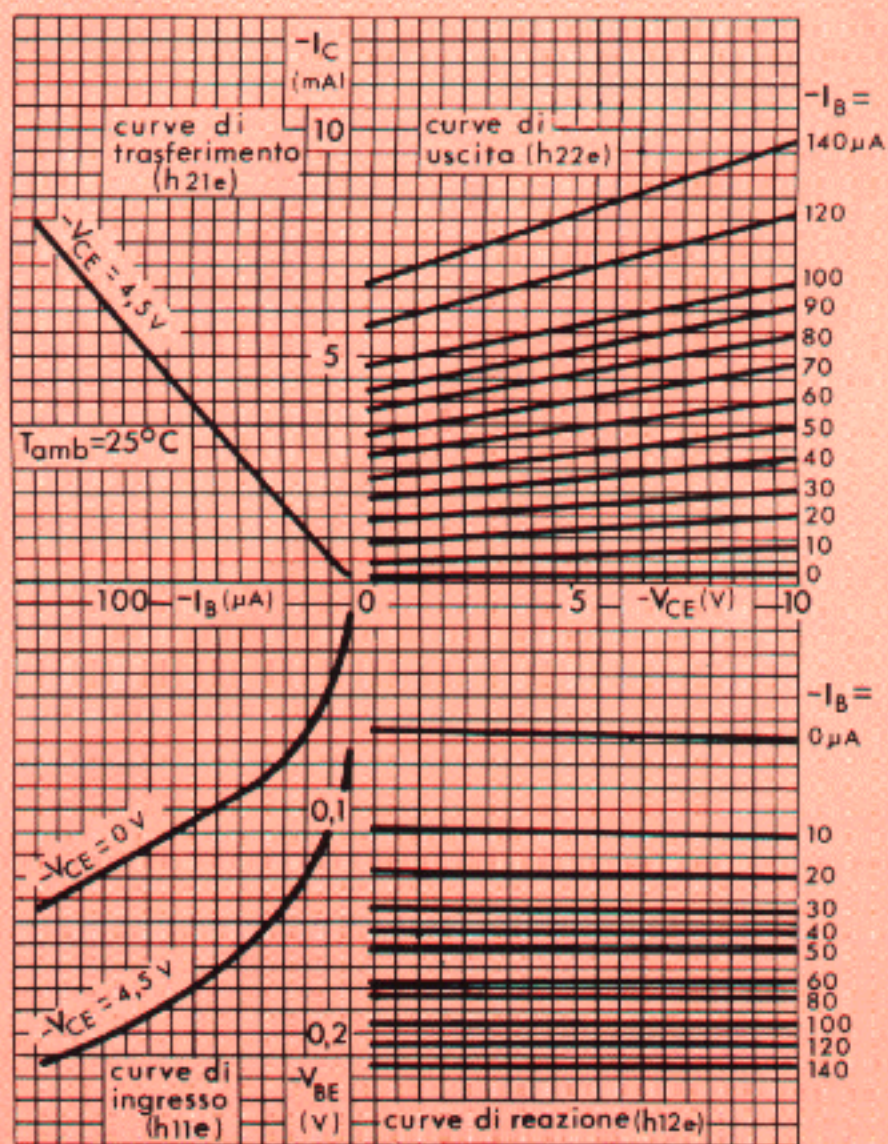


Fig. 10 - Rilievo delle curve caratteristiche di un ricevitore.

Procedimento di misura

- 1) Predisporre l'analizzatore come le precedenti misure.
- 2) Collegare il transistoro con il terminale del collettore alla boccia C e il terminale dell'emettitore alla boccia E. Collegare fra emettitore e base un resistore variabile di valore adatto.
- 3) Accendere l'analizzatore.
- 4) Regolare lentamente la V_{ce} da 0 ÷ 9 V e osservare lo strumento indicatore.

Cambiare la portata fino a leggere la corrente. Regolare la R_{be} per il valore migliore della I_{cer} . Seguire le istruzioni già date per la I_{ceo} , tenendo presente che la I_{cer} è sempre inferiore alla I_{ceo} ed è tanto più piccola quanto più basso è il valore del resistore (R).

Infatti per:

$$R = \infty \quad I_{cer} = I_{ceo}$$

$$R = 0 \quad I_{cer} = I_{ces}$$

I_{cbo} rappresenta la corrente di perdita

nel diodo base-emettitore polarizzato inversamente.

La relazione che lega la I_{cbo} alla I_{ceo} è la seguente:

$$I_{ceo} = I_{cbo} / (1 - \alpha)$$

dove α è il rapporto tra corrente di collettore e corrente di emettitore in un circuito a base comune. Esso è legato al beta della seguente relazione:

$$-\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

ed è tanto più vicino all'unità quanto più alto è il beta.

Facendo quattro conti si potrà vedere che la corrente di perdita tra collettore ed emettitore è molto maggiore di quella esistente tra collettore e base. Questo è molto importante per la stabilità termica degli amplificatori ad emettitore comune, che sono tra i più usati. Non staremo qui a descrivere i procedimenti di stabilizzazione termica, che sono ampiamente descritti in qualsiasi testo riguardante i transistori.

Risulta anche importante la misura della I_{cer} in quanto nei circuiti ad emettitore comune la base risulta effettivamente collegata all'emettitore mediante una certa resistenza. Questo specialmente quando il transistoro debba lavorare in condizioni gravose.

La resistenza tra base ed emettitore ha anche una notevole influenza sulla tensione massima sopportabile dal transistoro tra collettore ed emettitore BV_{cer} (B sta per «breakdown» ossia rottura ed R indica l'inserzione di una resistenza tra base ed emettitore). Il grafico di fig. 9 mostra l'andamento della tensione di rottura in funzione della famosa resistenza e dimostra che tanto più alta è la resistenza, tanto più bassa risulta la tensione di rottura, con un andamento quasi a gradino per un certo valore della resistenza di base.

Rilievo delle curve caratteristiche di un transistoro

Questo costituisce l'uso più proficuo che si può fare del nostro utilissimo strumento.

Qualche volta i costruttori danno l'intera serie delle caratteristiche come mostrato in fig. 10, ma a prescindere dal fatto che si tratta di valori tipici, soggetti a variazioni sia pure entro limiti ristretti, non sempre avremo a disposizione l'intera tabellina, dal momento che taluni costruttori hanno l'abitudine di fornire soltanto le caratteristiche d'uscita. Risulta pertanto utilissima la possibilità che abbiamo di costruire queste curve proprio per il determinato transistoro in nostro possesso. Analizziamo ora uno per uno i quattro quadranti nel quale è diviso il grafico di fig. 10.

Il quadrante in alto a destra (I° quadrante) mostra l'andamento della corrente di collettore in funzione della tensione esistente tra collettore ed emettitore.

Il parametro e la corrente di base, ossia per una serie di valori fissi della corrente di base, abbiamo una serie di curve (Notare che la serie di curve è data per la configurazione ad emettitore comune, ma è possibile costruire qualcosa di analogo anche per le altre configurazioni). Esaminando la pendenza di queste curve potremo ricavare i parametri del transistoro per la corrente continua o statici. Per esempio dalla pendenza delle curve del primo quadrante ricaveremo la conduttanza di uscita ad emettitore comune:

$$h_{22e} = \frac{\Delta I_c}{\Delta V_{ce}}$$

Il segno Δ indica un intervallo talmente piccolo da poter considerare la curva approssimata da una retta entro questo intervallo.

a) Rilievo della curva caratteristica:

$$I_c = f(V_{ce}) \quad I_b = \text{Cost} (h_{22e})$$

- 1) Commutatore per I_b . Portata adatta alla corrente di base che si vuole misurare.

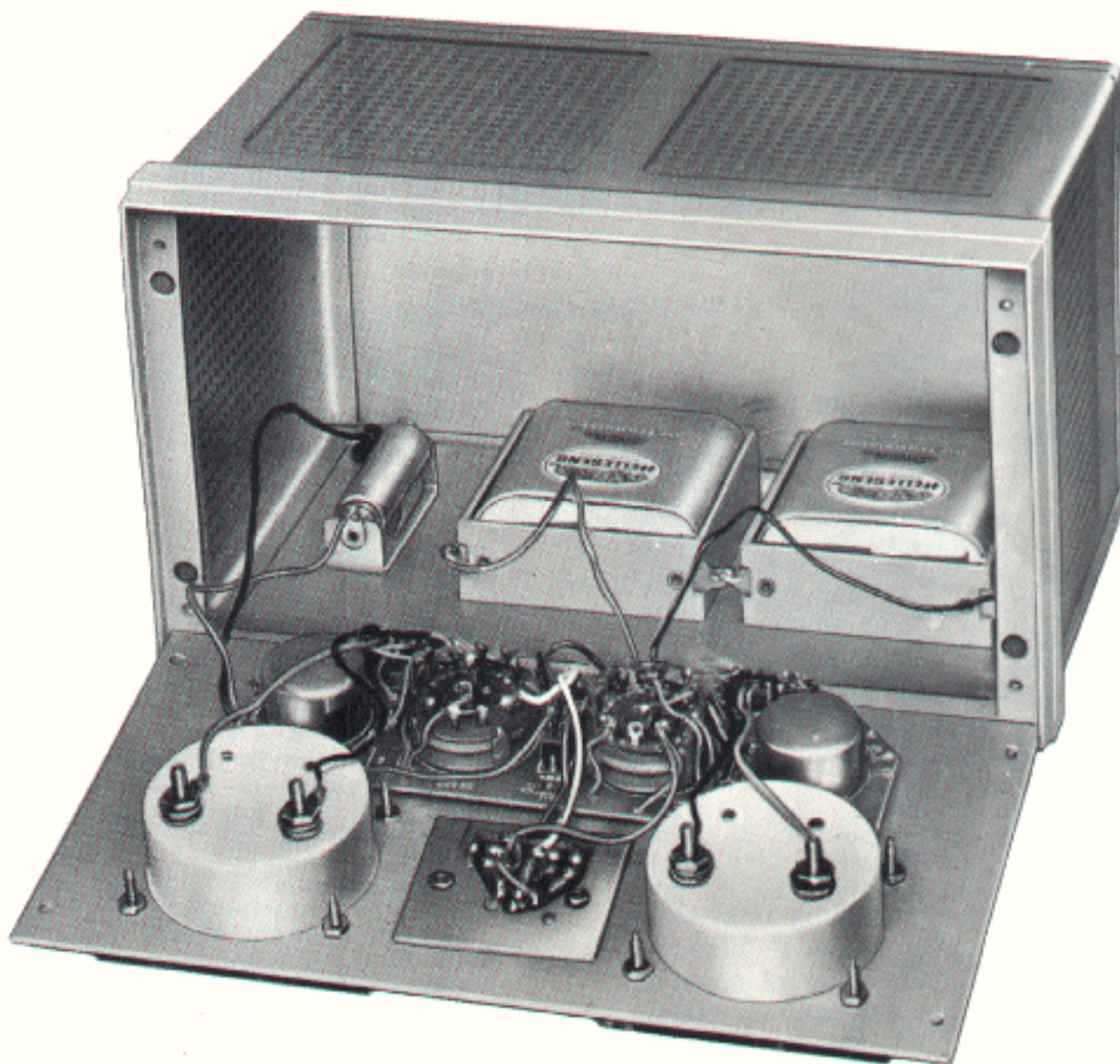


Fig. 11 - Vista interna dell'UK 560/S a montaggio ultimato.

- 2) Commutare per V_{ce} 10-V fondo scala.
- 3) Portare a zero il regolatore di V_{be} .
- 4) Portare a zero il regolatore di V_{cc} .
- 5) Commutare i due deviatori per il tipo di transistor PNP o NPN.
- 6) Collegare il transistor ai tre terminali dell'analizzatore.
- 7) Accendere l'analizzatore.

Procedimento

Si regola la tensione V_{be} fino a leggere sullo strumento una corrente di base I_b , es.: $10 \mu A$ si faccia variare la tensione collettore-emettitore, da $0 \div 9 V$ mediante il regolatore V_{cc} . Si indichino in corrispondenza dei successivi valori di V_{ce} i corrispondenti valori che assume la corrente I_c . Con il medesimo procedimento si possono ricavare le necessarie curve per differenti valori di I_b e si ottiene così la famiglia di curve di uscita.

Il quadrante in alto a sinistra (II° quadrante) stabilisce la dipendenza della

corrente di collettore dalla corrente di base. Il parametro sarebbe la tensione V_{ce} ma si preferisce disegnare una sola curva per un valore caratteristico di V_{ce} in quanto la variazione di questo valore influisce poco sull'andamento della curva. Tale curva si chiama «caratteristica di trasferimento» e la sua pendenza calcolata con la:

$$h_{FE} = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b}$$

ci dà proprio il dato più interessante ossia il β (beta) che può essere chiamato anche h_{FE} , oppure h_{FE} .

b) **Rilievo della curva caratteristica**
 $I_c = f(I_b)$ per $V_{ce} = \text{cost}$ (h_{FE})

1) Predisporre i comandi dell'analizzatore come in (a).

Procedimento

Si regoli la tensione V_{ce} , es.: $4,5 V$; si faccia variare I_b , si indichino per differenti valori di I_b i corrispondenti valori

che assume I_c . Il rapporto dei differenziali di ΔI_c e ΔI_b , dà il coefficiente di am-

$$\text{plificazione di corrente} = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b}$$

Con il medesimo procedimento si può ricavare il β per diversi valori di V_{ce} .

Il quadrante in basso a sinistra (III quadrante) ci mostra la dipendenza della corrente di base in funzione della tensione tra base ed emettitore, ossia costituisce, per $V_{ce} = 0V$ la caratteristica diretta del diodo base-emettitore. Tale curva è data anche per un valore tipico di V_{ce} e costituisce la caratteristica d'ingresso del transistor in emettitore comune. La sua pendenza:

$$h_{ie} = \frac{\Delta V_{be}}{\Delta I_b}$$

è la resistenza d'ingresso del transistor e varia molto a seconda del tratto di curva nel quale è fatta la misura.

Sarà interessante rifare questo espe-

imento con un resistore inserito nel circuito di emettitore: si vedrà che questa resistenza apparirà nel circuito d'ingresso col suo valore moltiplicato per beta.

c) **Rilievo della curva caratteristica**

$$I_b = f(V_{ce}) \text{ per } V_{ce} = \text{cost} (h_{ie})$$

- 1) Predisporre i comandi dell'analizzatore come in (a).

Procedimento

Si regoli la tensione V_{ce} , es.: 4,5 V, indi si faccia variare V_{be} , si indichino per differenti valori che assume I_b . Con il medesimo procedimento si possono ricavare varie curve per differenti valori di V_{ce} .

Sul IV quadrante vedremo messe in relazione la tensione tra collettore ed emettitore con la tensione tra base ed emettitore. Tali curve si chiamano caratteristiche di reazione ed il parametro è costituito dalla corrente di base. La loro pendenza così calcolata:

$$h_{12c} = \frac{\Delta V_{ce}}{\Delta V_{be}}$$

ci darà il coefficiente di reazione in tensione tra uscita ed ingresso. Tale valore è importantissimo per calcolare la stabilità di un amplificatore, ossia la sua tendenza o meno ad oscillare. Tale calcolo deve tenere conto anche di altri fattori di natura reattiva, che però qui non stamemo ad elencare.

d) **Rilievo della curva caratteristica**

$$V_{be} = f(V_{ce}) \text{ } I_b = \text{cost} (h_{12c})$$

- 1) Predisporre l'analizzatore come in (a).

Procedimento

Si regoli per una corrente di base, es.: 10 μ A, si faccia variare la V_{ce} da 0÷9 V e si indichino, per differenti valori di V_{ce} i corrispondenti valori che assume la V_{be} . Con il medesimo procedimento si possono ricavare varie curve per diversi valori di I_b .

Daremo ora alcune precauzioni da tenere presente nell'uso dello strumento.

1) Durante la prova non superare la potenza massima ammessa per ciascun transistor (prodotto di $V_{ce} \times I_c$) pena il danneggiamento o la bruciatura del transistor.

- 2) Non superare la V_{ce} ammessa qualora questa sia inferiore a 9 V.

3) Durante la misura cominciare col predisporre i commutatori degli strumenti alle portate più alte, aumentando poi gradatamente la sensibilità di quanto necessario per una buona lettura.

4) Tenere sempre il potenziometro che regola V_{be} tutto ruotato in senso antiorario ed aumentare gradualmente la tensione tenendo d'occhio la I_c .

- 5) Per effettuare la prova mediante i fili con pinze a coccodrillo, badare che

le stesse non vadano a porsi in corto circuito tra di loro.

- 6) Quando si debbano provare transistori con frequenza di taglio molto alta, non fare uso dei fili con pinze a coccodrillo in quanto la reazione tra i detti fili può permettere l'entrata in oscillazione del transistor con effetti deleteri per il medesimo e con le letture che nulla hanno a che fare con la realtà. Fare uso degli zoccoli,

i quali, per la presenza delle schermature, hanno collegamenti caldi e estremamente brevi, e la possibilità di oscillazione non esiste alle frequenze di taglio raggiunte dai transistori.

Con il che possiamo dire che conoscete alcune delle svariate possibilità di questo apparecchio. Ma le prove che si possono fare sono ancora più numerose e lasciamo alla fantasia di ognuno l'escoltarle.

ELENCO DEI COMPONENTI

N.	Sigla	Descrizione	Codice
2	R1-R7	resistori da 100 Ω - \pm 5% 0,33 W	17-1-101-13
5	R2-R8-R10 R12-R13	resistori da 1 Ω - \pm 5% 0,33 W	17-1-109-23
3	R3-R9-R11	resistori da 8,2 Ω - \pm 5% 0,33 W	17-1-829-23
1	R4	resistore da 3,6 k Ω - \pm 5% 0,33 W	17-1-362-31
1	R5	resistore da 5,6 k Ω - \pm 5% 0,33 W	17-1-562-13
1	R6	resistore da 390 Ω - \pm 5% 0,33 W	17-1-391-13
1	R14	resistore da 1,5 Ω - \pm 5% 0,33 W	17-1-159-23
1	R15	resistore da 100 k Ω - \pm 5% 0,33 W	17-1-104-13
1	R18	resistore da 47 Ω - \pm 5% 0,33 W	17-1-470-23
1	R16	potenziometro a filo da 470 Ω A	13-1-471-65
1	R17	potenziometro da 470 Ω A	13-5-471-51
2	SW1-SW2	commutatori due vie sei posizioni	41-1-203-65
2	SW3-SW4	deviatori a slitta	32-4-316-00
1	SW5	deviatore a slitta a due scambi	32-4-152-00
2	J1-J2	boccole miniatura nere	26-0-144-00
1	J3	boccola miniatura rossa	26-0-146-00
2	—	banane miniatura nere	26-4-904-00
1	—	banana miniatura rossa	26-4-902-00
4	—	manopole ad indice	21-0-045-00
4	—	rondelle distanziatrici	41-1-007-00
3	—	pinze a coccodrillo	26-7-660-00
2	—	viti M2 x 6	23-0-812-00
4	—	terminali	24-1-700-00
1	C.S.	circuito stampato	63-1-091-00
5	—	ancoraggi per C.S.	24-0-280-00
1	—	circuito stampato per zoccoli	63-1-237-10
2	—	zoccoli per transistori	28-0-430-00
1	—	zoccolo per transistore	28-0-410-00
m 2	—	trecciola isolata nera	12-0-020-10
cm 70	—	trecciola isolata rossa	12-0-020-02
cm 70	—	trecciola isolata bianca	12-0-020-09
cm 70	—	trecciola isolata marrone	12-0-020-01
cm 30	—	filo rame stagnato nudo	12-0-280-00
4	—	viti M2,6 x 4	40-2-300-21
6	—	dadi M2,6	23-1-473-00
1	—	pannello superiore	62-1-179-70
1	—	pannello inferiore	62-1-245-80
1	—	pannello posteriore	62-1-200-50
2	—	fiancate reversibili	62-1-168-90
1	—	mascherina frontale	62-1-245-70
1	—	cornice in plastica	62-1-179-50
1	—	supporto inclinazione strumento	62-1-180-00
2	—	pedini	62-1-160-90
2	—	prestole	23-2-634-00
4	—	viti autofilettanti 2,9 x 9,5	23-0-390-00
4	—	viti autofilettanti 2,9 x 6,5	23-0-380-00
1	M1	microamperometro 100 μ A f.s. (V_{ce})	74-2-087-00
1	M2	microamperometro 100 μ A f.s. (V_{ce})	74-2-085-00
2	—	portabatterie	29-0-350-00
1	—	portabatteria	29-0-500-00
4	—	viti M3 x 6	23-0-814-01
6	—	viti M2,6 x 6	23-0-813-00
4	—	dadi M3	23-1-474-00
2	—	feltrini	62-1-157-50
1	—	confezione stagno	49-4-901-10
2	—	cilindretti in gomma	62-9-009-00