

IL COLLEGAMENTO DELL'ALTOPARLANTE

1. — IL COLLEGAMENTO DELL'ALTOPARLANTE SINGOLO.

Il trasformatore d'uscita.

L'altoparlante è collegato alla valvola finale dell'amplificatore mediante un trasformatore a rapporto discendente, detto *trasformatore d'uscita*. È costituito dal nucleo di ferro e da due avvolgimenti di filo di rame smaltato; uno di essi è formato da molte spire e vien detto *primario*, l'altro è formato da poche spire e vien detto *secondario*. Il primario è inserito nel circuito di placca della valvola finale; il secondario è invece collegato alla bobina mobile dell'altoparlante.

La bobina mobile deve essere leggera e sottile, per potersi muovere entro il sottile traferro del magnete, e non può essere formata che da poche spire di filo di rame

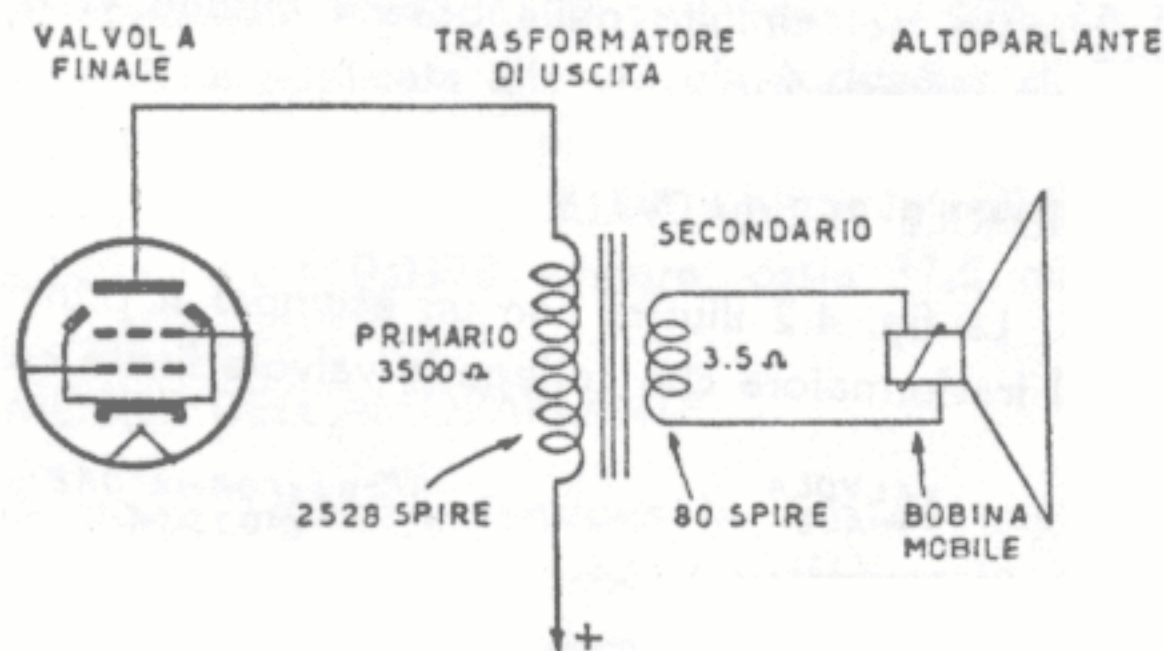


Fig. 4.1. - Esempio di stadio finale.

smaltato; la resistenza che queste spire oppongono alle audiofrequenze è solo di qualche ohm, generalmente da 2 a 3,5 ohm per gli altoparlanti piccoli e da 6 a 20 ohm negli altoparlanti grandi. Vien detta *impedenza della bobina mobile*.

La valvola finale, invece, si comporta come una resistenza di valore elevato, e funziona normalmente solo se nel suo circuito di placca è presente una adeguata *resistenza di carico*, costituita dall'avvolgimento primario del trasformatore d'uscita.

La resistenza di carico della valvola dipende dal tipo della valvola stessa e dalle sue condizioni di lavoro, ossia dalle tensioni ad essa applicate. È compresa tra 1500 ohm e 18 000 ohm.

Il trasformatore d'uscita ha il compito di trasferire la potenza dell'amplificatore all'altoparlante, ciò che non sarebbe altrimenti possibile data la diversità tra le due resistenze. Se la bobina mobile venisse posta direttamente nel circuito di placca della valvola finale, senza il trasformatore, essa si comporterebbe come una resistenza di pochi ohm posta in serie con altra di migliaia di ohm. Le due resistenze formerebbero un divisore di tensione, e la tensione ai capi della bobina mobile risulterebbe praticamente zero.

Sarebbe possibile eliminare il trasformatore d'uscita elevando l'impedenza della bobina mobile di quanto necessario, circa un migliaio di volte, ma ciò richiederebbe un avvolgimento di moltissime spire, il che la appesantirebbe notevolmente. Un tempo vennero usati, specie in Germania, altoparlanti con bobina mobile ad alta impedenza, di 3500 ohm, per usare i quali non era necessario il trasformatore d'uscita. Il risultato era discreto, ma non buono.

Il carico della valvola finale è costituito dalla bobina mobile dell'altoparlante, anche quando vi è il trasformatore d'uscita, un po' come il carico del motore di una motonave è costituito dall'elica. Il trasformatore d'uscita rappresenta una specie di riduttore di giri; l'elica non può girare alla stessa velocità del motore, poichè deve « applicare » la potenza all'acqua, così come la bobina mobile applica la potenza al cono diffusore e quindi all'aria.

Mentre nel circuito di placca della valvola finale vi è molta tensione e poca corrente, nel circuito della bobina mobile vi è poca tensione ma molta corrente, come necessario.

FORMULE PER LA VALVOLA FINALE.

La fig. 4.2 illustra con un esempio il principio del trasformatore d'uscita, ossia del trasformatore che collega la valvola finale con la bobina mobile dell'altoparlante.

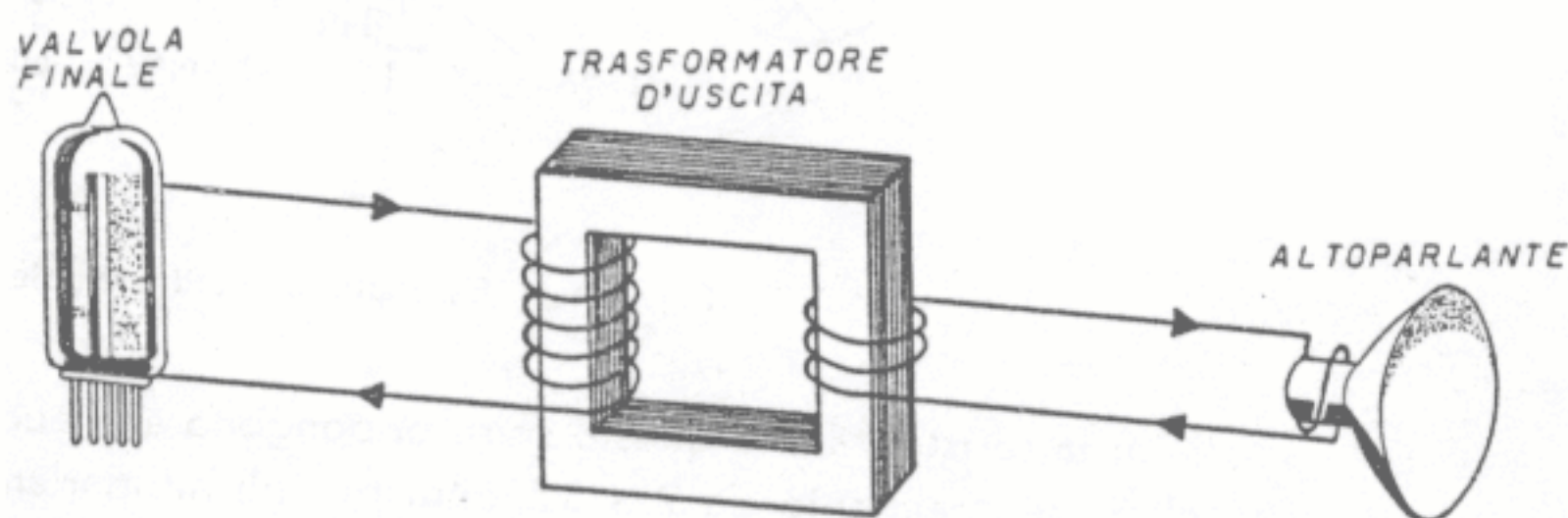


Fig. 4.2. - Principio del trasformatore d'uscita.

Nell'esempio, la resistenza di carico della valvola finale è di 6400 ohm. Si vedrà in seguito come si conosce quale sia il carico della valvola finale in ohm. La potenza d'uscita è di 9 watt.

Nello stesso esempio, la resistenza della bobina mobile (ossia la sua impedenza) è di 16 ohm, in quanto si tratta di un grosso altoparlante da 9 watt.

La tensione di placca della valvola finale è di 240 volt. La corrente anodica della valvola è di 37,5 milliampere. La tensione e la corrente si possono misurare, ma supponiamo di doverle invece calcolare. Il calcolo va fatto tenendo conto che la potenza è di 9 watt e la resistenza di carico è di 6400 ohm.

La formula-base è la seguente:

Potenza in watt = tensione in volt \times corrente in ampere.

Ricordando che:

Tensione in volt = corrente in ampere \times per resistenza in ohm

Corrente in ampere = tensione in volt : resistenza in ohm

invece di scrivere la formula-base così: $W = EI$, dove W è la potenza in watt, E la tensione in volt e I la corrente in ampere, possiamo scrivere la formula-base in questo modo:

$$W = EI = E \times E : I = E^2 : R.$$

Poichè $W = E^2 : R$, risulta che $WR = E^2$ ossia:

Potenza in watt \times resistenza in ohm = (tensione in volt)² sicchè:

Tensione in volt = $\sqrt{\text{Potenza in watt} \times \text{resistenza in ohm}}$.

Nell'esempio fatto, la potenza della valvola finale è di 9 watt e la resistenza di carico è di 6400 ohm. Moltiplicando 9 per 6400 si ottiene 57 600. La radice quadrata di 57 600 è 240. La tensione applicata alla valvola è dunque di 240 volt.

La corrente anodica della valvola si ottiene più facilmente, essendo nota la tensione, dato che $I = E : R$. Poichè la tensione è di 240 volt e la resistenza è di 6400 ohm, la corrente è di $240 : 6400 = 0,0375$ ampere, ossia 37,5 milliampere.

FORMULE PER LA BOBINA MOBILE DELL'ALTOPARLANTE.

Occorre conoscere quale dovrà essere la tensione in volt da applicare alla bobina mobile, e quale la corrente in ampere, affinchè il trasferimento di potenza di 9 watt risulti esatto. Con questi dati sarà poi facile calcolare il rapporto del trasformatore d'uscita necessario.

Si parte dalla formula-base: $WR = E^2$. Nell'esempio, la potenza è di 9 watt e la resistenza della bobina mobile è di 16 ohm. Il prodotto di 9 per 16 è di 144. La tensione è data dalla radice quadrata di 144, ossia è di 12 volt.

La corrente è data da $I = E : R$, ossia dalla tensione di 12 volt divisa per la resistenza di 16 ohm, per cui è di $12 : 16 = 0,75$ ampere.

IL RAPPORTO DELLE IMPEDENZE.

Invece del termine resistenza di carico della valvola, si adopera il termine *impedenza* di carico della valvola, in quanto vi è tensione alternativa ad audiofre-

quenza. Nello stesso modo, invece del termine resistenza della bobina mobile si adopera quello di *impedenza* della bobina mobile.

Per rapporto delle impedenze s'intende il rapporto tra l'impedenza della valvola e quella della bobina mobile. Nell'esempio, l'impedenza della valvola è di 6400 ohm, mentre quella della bobina mobile è di 16 ohm. Il rapporto delle impedenze è dunque di $6400 : 16 = 400$.

RAPPORTO DEL TRASFORMATORE D'USCITA.

Il rapporto del trasformatore d'uscita risulta dalla radice quadrata del rapporto delle impedenze. Poichè, nell'esempio, il rapporto delle impedenze è di 400, il rapporto del trasformatore d'uscita dovrà essere di 20, in quanto $20 \times 20 = 400$, ossia $\sqrt{400} = 20$.

Collegando una valvola finale con impedenza di carico di 6400 ohm con una bobina mobile di 16 ohm, mediante un trasformatore con rapporto 20 a 1, si ottiene l'esatto trasferimento della potenza di 9 watt dalla valvola all'altoparlante.

Senza il trasformatore d'uscita, ossia collegando direttamente la bobina mobile nel circuito della valvola finale, invece di ottenere una potenza di 9 watt dall'altoparlante, si sarebbe ottenuta una potenza di appena 0,04 watt circa. Infatti, la corrente che avrebbe circolato nella bobina mobile sarebbe stata di 37,5 milliampere invece di 750 milliampere. Supponendo, per semplicità, che la corrente fosse di 50 milliampere, la tensione sarebbe stata di

$$E = I \times R = 0,05 \text{ ampere} \times 16 \text{ ohm} = 0,8 \text{ volt.}$$

Poichè la corrente sarebbe stata di 0,05 ampere e la tensione di 0,8 volt, la potenza in watt sarebbe stata di $0,8 \text{ volt} \times 0,05 \text{ ampere} = 0,04 \text{ watt}$.

Resistenza di carico delle principali valvole.

Il trasformatore d'uscita deve essere adatto per la valvola finale con la quale deve funzionare. Poichè la resistenza di carico varia a seconda del tipo della valvola, vi è un trasformatore d'uscita per ciascun tipo di valvola finale, o meglio per ciascun gruppo di valvole finali richiedenti la stessa resistenza di carico.

VALVOLE DI TIPO AMERICANO:

La miniatura finale **50B5** e la **25L6 GT** richiedono entrambe il carico anodico di 2500 ohm, funzionando a 110 volt di placca e di schermo.

La **50L6** richiede 2000 ohm di carico anodico con 110 volt di placca e di schermo, e 3000 ohm se viene fatta funzionare con 200 volt di placca e 110 volt di schermo.

La **6L6** richiede 2500 ohm di carico anodico se funzionante con 250 volt di placca e di schermo, e — 14 volt di polarizzazione di griglia; richiede invece 4200 ohm se funzionante con 350 volt di placca, 250 volt di schermo e — 18 volt di griglia.

La **6AQ5** e la **6V6** richiedono 5500 ohm se funzionanti con 180 volt di placca e di schermo, richiedono 5000 ohm con 250 volt di placca e di schermo, e 8500 ohm con 315 volt di placca e 225 volt di schermo.

La **6F6** richiede 7000 ohm, la **6K6** richiede 12 000 ohm di carico se funzionante con 100 volt di placca e di schermo, e 7600 ohm se funzionante con 250 volt di placca e di schermo.

Infine i vecchi triodi del tipo 45, 50, 2A3 ecc, richiedono 3500 ohm di carico, ed i vecchi pentodi del tipo 47, 2A5, 41, 42 ecc. ne richiedono 7000 ohm di carico.

VALVOLE DI TIPO EUROPEO:

Con tensioni normali di placca, schermo e griglia, le seguenti valvole finali di tipo europeo richiedono il carico anodico di:

EL 3	7000 ohm	EL 41	7000 ohm
EL 6	3500 ohm	EL 84	8000 ohm
EL 11	7000 ohm	EL 86	6500 ohm
EL 33	7000 ohm	EL 91	24000 ohm
EL 34	2550 ohm	EL 95	10000 ohm

Il carico di 2550 ohm della EL34 s'intende con 250 volt di placca, 270 volt di schermo e 12,4 volt di catodo. Con due EL41 in controfase, l'impedenza primaria deve essere di 9000 ohm.

Determinazione del rapporto spire.

$$\text{Rapporto del trasformatore d'uscita} = \sqrt{\frac{\text{impedenza di carico della valvola}}{\text{Impedenza della bobina mobile}}}$$

Se, ad es. si tratta di accoppiare un altoparlante con bobina mobile da 3,5 ohm con una valvola finale 50L6, la cui impedenza di carico è di 2000 ohm, è necessario che il rapporto del trasformatore d'uscita sia di 24 a 1; infatti:

$$\sqrt{\frac{2000}{3,5}} = \sqrt{570} = 24$$

Se l'avvolgimento primario del trasformatore d'uscita è di 4800 spire, quello del secondario dovrà essere di $4800 : 24 = 200$ spire, affinché il rapporto risulti di 24 a 1, come necessario.

La formula indicata risulta dal fatto che per i trasformatori in generale, le impedenze sono proporzionali al quadrato delle spire, ossia:

$$\frac{(\text{Numero spire primario})^2}{(\text{Numero spire secondario})^2} = \frac{\text{Impedenza primario}}{\text{Impedenza secondario}}$$

Nel caso di un trasformatore con rapporto 20 a 1, con impedenza secondario

di 3,5 ohm, l'impedenza primario risulta come segue:

$$\frac{20^2}{1} = \frac{\text{Impedenza primario}}{3,5}$$

poichè $20^2 : 1 = 400$, l'impedenza del primario è di $400 \times 3,5 = 1400$ ohm.

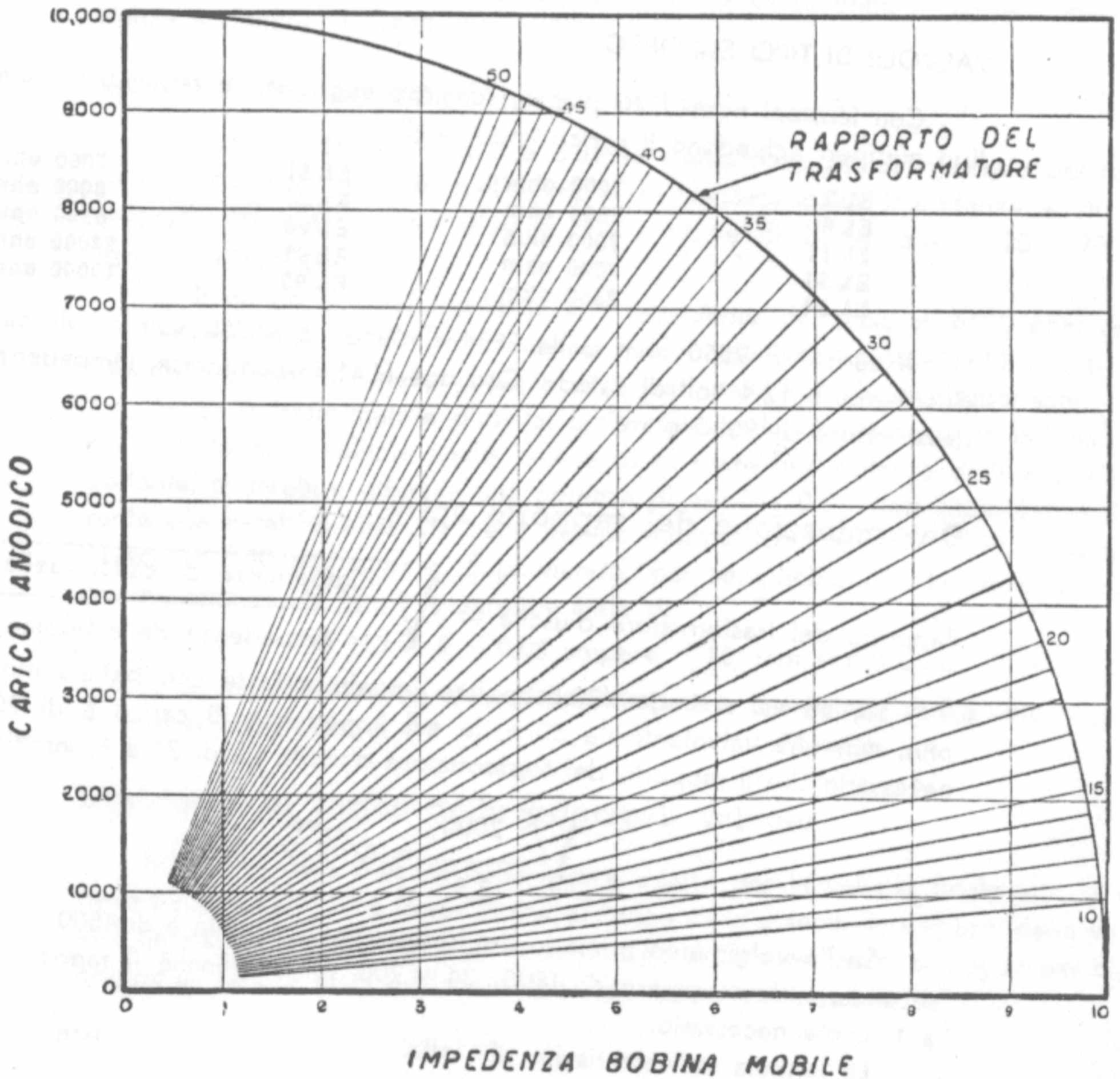


Fig. 4.3A. - Nomogramma per la determinazione del rapporto del trasformatore di uscita. (Vedi testo).

Quanto sopra equivale a dire che le spire sono proporzionali alla radice quadrata del rapporto delle impedenze, ossia che:

$$\frac{\text{Numero spire primario}}{\text{Numero spire secondario}} = \sqrt{\frac{\text{Impedenza primario}}{\text{Impedenza secondario}}}$$

poichè l'impedenza primaria è costituita dalla resistenza ottima di carico della valvola finale, e l'impedenza secondaria da quella della bobina mobile dell'altoparlante, risulta la formula generale indicata all'inizio per trovare il rapporto del trasformatore d'uscita.

Il grafico di fig. 4.3 A consente la rapida determinazione del rapporto del trasformatore d'uscita necessario per accoppiare qualsiasi altoparlante con bobina mobile sino a 10 ohm con qualsiasi valvola finale, della quale sia nota la resistenza ottima di carico. Nel caso dell'esempio fatto all'inizio, di altoparlante con bobina mobile da 3,5 ohm da accoppiare con valvola richiedente la resistenza di carico di 2000, basta trovare il punto di intersecazione tra 3,5 e 2000, e quindi seguire la linea inclinata, la quale porta all'arco di cerchio sul quale sono segnati i valori dei rapporti del trasformatore, in questo caso 24.

L'uso del grafico risulta di utilità pratica, poichè uno stesso trasformatore d'uscita può servire per diversi accoppiamenti, ad es. il trasformatore rapporto 24 a 1 può servire oltre che per accoppiare la bobina mobile di 3,5 ohm con la valvola 50L6, anche per accoppiare un altoparlante con bobina mobile di 6 ohm con una valvola EL6, richiedente il carico di 3500 ohm, oppure un altoparlante di 9,5 ohm con valvola 6AQ5 richiedente 5500 ohm di carico. Basta percorrere una data linea inclinata, quella corrispondente al trasformatore d'uscita disponibile, per constatare tutte le possibili applicazioni dello stesso.

Nello stesso modo si può trovare facilmente il numero di spire che occorre abbia il secondario di un dato trasformatore d'uscita per una data applicazione. Le spire del secondario sono avvolte all'esterno, per cui è facile togliere alcune di esse qualora sia necessario aumentare il rapporto del trasformatore, per es. da 24 a 28 o a 30, e non è difficile aggiungerne alcune qualora sia necessario diminuire il rapporto, da 24 a 20 o a 18. È anche possibile, con un mezzo così semplice, determinare il numero di spire alle varie prese di un trasformatore d'uscita destinato ad accoppiare più altoparlanti allo stesso amplificatore.

Qualora non sia noto il rapporto del trasformatore d'uscita a disposizione, lo si può conoscere applicando al primario una tensione alternativa e misurando quella che si determina ai capi del secondario. La misura può venir fatta con un voltmetro con elemento rettificatore; poichè il numero delle spire di ciascun avvolgimento è proporzionale alla tensione ai suoi capi, è facile conoscere il rapporto spire essendo quello stesso del rapporto tensioni, con buona approssimazione.

Esempi di trasformazione d'uscita.

ESEMPIO A. — Un altoparlante con bobina mobile a 7 ohm d'impedenza deve venir collegato ad un amplificatore da 10 watt, con valvola finale EL34, funzionante con 250 V di placca e 270 V di schermo. A tali condizioni di funzionamento, il carico esterno della EL34 deve essere di 2500 ohm.

Il rapporto impedenza del trasformatore d'uscita è di $2500 : 7 = 357$. Il rapporto spire è di $\sqrt{357} = 18,9$; il rapporto del trasformatore è dunque di 18,9 a 1.

Il primario del trasformatore dovrà essere di 2500 spire, filo smaltato da 0,22 mm; la sezione del nucleo di ferro dovrà essere di 10 cm², il traferro di 0,2 mm.

Il secondario del trasformatore dovrà essere di 132 spire, filo rame smaltato da 1 mm. L'efficienza del trasformatore sarà compresa tra il 75 e l'80 %.

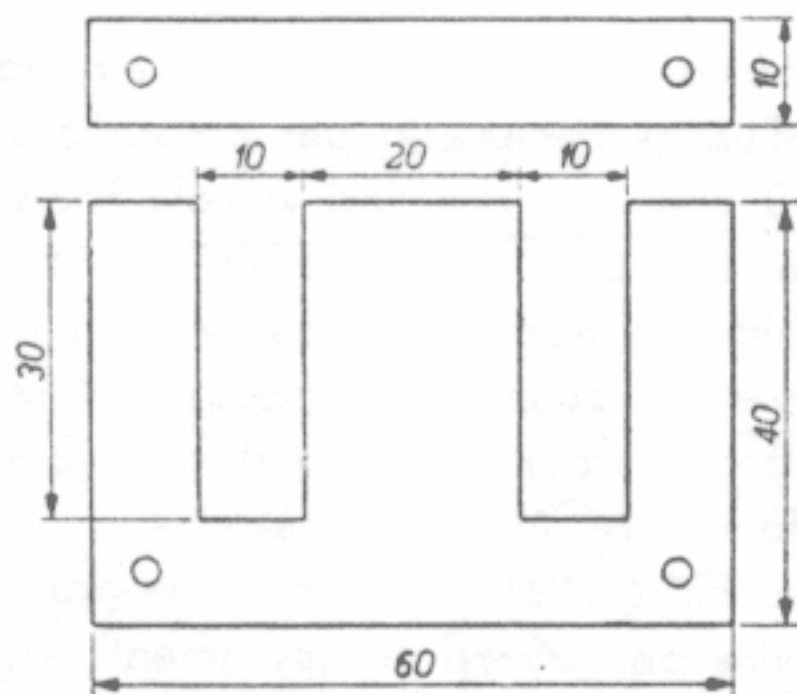


Fig. 4.3B. - Dimensioni dei lamierini del trasformatore di uscita per valvola ECL 80.

ESEMPIO B. — La valvola triodo-pentodo ECL80 richiede uno dei carichi anodici più alti, quello di 11 000 ohm. Il triodo funziona da amplificatore di tensione ad audio-frequenza, ed il pentodo da finale di potenza. La potenza d'uscita è di appena 1 watt, essendo la valvola adatta per apparecchi di televisione, parte audio. Il rapporto impedenza è di $11\ 000 : 5 = 2200$, supponendo che la bobina mobile dell'altoparlante sia di 5 ohm.

Il rapporto spire risulta da $\sqrt{2200} = 47$, dunque è di 47 a 1. L'impedenza di 11 000 ohm si ottiene con 3500 spire, utilizzando filo da 0,12 mm, rame smaltato, avvolto su nucleo di ferro di 20 mm di spessore, e con le dimensioni di fig. 4.3 B. Le spire secondarie sono perciò $3500 : 47 = 74$ circa, filo 0,6 rame smaltato.

Il nucleo è costituito da un pacchetto di lamierini sagomati da 0,5 mm ciascuno. Il traferro è costituito da un foglio di carta dello spessore di 30 micron.

Esempi pratici.

CALCOLO DELLA POTENZA D'USCITA. — La potenza d'uscita dell'amplificatore è data dalla tensione d'uscita al quadrato divisa per il carico, oppure dalla corrente d'uscita al quadrato moltiplicata per il carico. Se l'impedenza della bobina mobile (il carico) è di 20 ohm, e se la tensione ai suoi capi è di 24,5 volt, ed è percorsa da corrente di 1,22 ampere, la potenza dell'amplificatore a cui essa è collegata è data da:

$$\begin{array}{llll} P = E^2/R & E = 24,5 & R = 20 & P = 600 : 20 = 30 \text{ watt} \\ P = I^2 \times R & I = 1,22 & R = 20 & P = 1,49 \times 20 = 30 \text{ watt} \end{array}$$

IMPEDENZA DEL SECONDARIO. — È data dalla tensione d'uscita al quadrato divisa per la potenza d'uscita, oppure dalla potenza d'uscita divisa per la corrente al

quadrato. Se la potenza è di 30 watt, la tensione d'uscita di 122,5 volt e la corrente di 0,245 ampere, l'impedenza del secondario del trasformatore d'uscita è di:

$$\begin{array}{llll} Z_s = E^2/P & E = 122,5 & P = 30 & Z_s = 15\,000 : 30 = 500 \text{ ohm} \\ Z_s = P/I^2 & I = 0,245 & P = 30 & Z_s = 30 : 0,06 = 500 \text{ ohm} \end{array}$$

SPIRE AVVOLGIMENTO PRIMARIO. — Risulta dal rapporto del trasformatore. Se il secondario è costituito da 50 spire e se il trasformatore è adatto per valvola 6AQ5, qualora la bobina mobile dell'altoparlante sia di 3,5 ohm, sarà:

$$\text{Rapporto impedenze} = 5000 : 3,5 = 1427$$

$$\text{Rapporto trasformatore} = \sqrt{1427} = 37,5 \text{ a } 1$$

5000 è la resistenza di carico richiesta dalla 6AQ5. Visto che le spire del secondario sono 50, quelle del primario sono $50 \times 37,5 = 1875$ spire.

IMPEDENZA DEL PRIMARIO. — Elevare al quadrato il rapporto del trasformatore e moltiplicare il risultato per l'impedenza secondaria. Se il rapporto del trasformatore è di 20 a 1, l'impedenza secondaria è di 6 ohm, quale è l'impedenza primaria?

$$\text{Impedenza primaria} = \text{Impedenza secondaria} \times$$

$$\times \text{Rapporto del trasformatore al quadrato} = 20^2 \times 6 = 400 \times 6 = 2400 \text{ ohm.}$$

TENSIONE AI CAPI DELLA BOBINA MOBILE. — È data da $E = \sqrt{P \times R}$. Se l'amplificatore è da 15 watt e la bobina mobile è da 10 ohm, la tensione ai suoi capi, in corrispondenza della potenza massima, è di

$$E = \sqrt{P \times R} = \sqrt{10 \times 15} = 12,25 \text{ volt.}$$

S'intende che non vi sono altri altoparlanti collegati allo stesso amplificatore, diversamente occorre tener conto della potenza assorbita dalla bobina mobile che interessa.

TRASFORMATORI D'USCITA IN SERIE. — Come si comportano due trasformatori d'uscita collegati in serie, i due primari in serie nel circuito anodico ed i due secondari in serie collegati ai capi della bobina mobile? — Il rapporto impedenze non varia, quindi non varia neppure il rapporto di trasformazione; varia il valore dell'impedenza primaria complessiva, e quello dell'impedenza secondaria. Due trasformatori d'uscita con impedenza primaria di 3500 ohm, posti in serie, si comportano come uno solo con impedenza primaria di 7000 ohm.

Potenza trasferita all'altoparlante.

È possibile calcolare quale parte della potenza totale disponibile all'uscita dell'amplificatore venga effettivamente trasferita all'altoparlante. A tale scopo occorre conoscere la *resistenza riflessa del secondario* e la *resistenza riflessa della bobina*

mobile. La resistenza riflessa del secondario è data dal valore ohmico di tale resistenza moltiplicato per il rapporto di trasformazione al quadrato; lo stesso per la resistenza riflessa della bobina mobile.

La formula per determinare la potenza trasferita all'altoparlante è la seguente:

$$\text{Potenza trasferita all'altoparlante} = \text{Potenza dell'amplificatore} \times \frac{R_{rbm}}{R_p + R_{re} + R_{rbm}}$$

in cui R_{rbm} è la resistenza riflessa della bobina mobile, R_{re} quella riflessa del secondario e R_p la resistenza del primario.

Se, ad esempio, la potenza dell'amplificatore è di 6 watt, l'impedenza della bobina mobile di 3,5 ohm, la resistenza c. c. del primario di 300 ohm e quella del secondario di 1 ohm, ed il rapporto di trasformazione è 24, risulta:

$$\begin{aligned} \text{Resistenza riflessa del secondario} &= \text{Rapporto trasform.}^2 \times \text{Resist. secondario} \\ &24^2 \times 1 = 576 \text{ ohm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Resist. riflessa della bob. mobile} &= \text{Rapporto trasform.}^2 \times \text{Impedenza bobina mobile} \\ &24^2 \times 3,5 = 576 \times 3,5 = 2016 \text{ ohm} \end{aligned}$$

per cui:

$$\text{Potenza trasferita all'altoparlante} = 6 \times \frac{2016}{300 + 576 + 2016} = 6 \times 0,697 = 4,18 \text{ watt.}$$

L'efficienza del trasferimento di potenza risulta essere:

$$\frac{\text{Potenza trasferita all'altoparlante}}{\text{Potenza dell'amplificatore}} = \frac{4,18}{6} = 0,696 = 69,6 \%$$

Fattori determinanti la qualità del trasformatore d'uscita.

Il trasformatore d'uscita è la parte componente più importante dell'amplificatore, poichè è il trasformatore d'uscita che trasferisce l'audiofrequenza all'altoparlante, e solo se tale trasferimento avviene in modo perfetto, l'altoparlante può riprodurre i suoni corrispondenti. Non è necessario un trasformatore d'uscita di alta qualità, e quindi di alto costo, quando l'amplificatore e l'altoparlante sono di qualità mediocre, ma non è neppure possibile usare un trasformatore d'uscita di qualità mediocre quando l'amplificatore e l'altoparlante sono di alta classe.

I fattori che determinano la qualità di un trasformatore d'uscita sono i seguenti:

A) *Autoinduttanza dell'avvolgimento primario.* Solo se è sufficientemente elevata, il trasformatore può trasferire le frequenze più basse, diversamente tali frequenze vengono eliminate.

B) *Capacitanza distribuita del primario.* La capacità tra le spire del primario deve essere bassa, poichè si trova in parallelo con l'induttanza del primario, e forma

con esso un circuito accordato, la cui frequenza non deve cadere entro la gamma delle audiofrequenze.

C) *Efficienza*. Il rendimento del trasformatore non deve essere troppo basso, diversamente solo una parte modesta della potenza dell'amplificatore viene trasferita all'altoparlante. L'efficienza è normale per i trasformatori d'uscita di piccola potenza; quindi è compresa tra il 75 e l'80 %.

D) *Capacitanza tra gli avvolgimenti*. Deve essere quanto minore è possibile, dividendo gli avvolgimenti e scegliendo l'adatta posizione tra di loro, oppure impiegando schermi tra di essi.

Calcolo del trasformatore di uscita.

Il trasformatore di uscita per una data valvola finale e per un dato altoparlante, può venir costruito calcolando:

- a) l'induttanza dell'avvolgimento primario;
- b) le dimensioni del nucleo di ferro;
- c) lo spessore del traferro;
- d) il numero di spire dell'avvolgimento primario;
- e) il rapporto di trasformazione;
- f) il numero delle spire dell'avvolgimento secondario;
- g) spessore del filo per i due avvolgimenti.

Per poter effettuare il calcolo sono necessari i seguenti dati:

- a) impedenza del carico anodico (Z_o);
- b) resistenza interna della valvola (R_i);
- c) corrente anodica della valvola (I_p);
- d) potenza dello stadio finale (P_u);
- e) impedenza della bobina mobile (Z_{bm});
- f) frequenza più bassa da riprodurre (f).

Per determinare l'induttanza dell'avvolgimento primario è anzitutto necessario calcolare il valore corrispondente al rapporto seguente:

$$\frac{R_i}{Z_o}$$

Conosciuto tale valore, è necessario stabilire quale debba essere l'amplificazione richiesta alle più basse frequenze da riprodurre. In genere tale amplificazione è del 70 per cento. Ciò significa, in altri termini, che se la più bassa frequenza riproducibile è di 50 cicli, tale frequenza viene riprodotta con una attenuazione del 30 per cento, rispetto al tratto lineare della caratteristica.

Il valore dell'induttanza dell'avvolgimento primario risulta indirettamente dal

grafico di fig. 4.4. Occorre riferirsi a quella curva del grafico corrispondente al valore ottenuto dalla formula precedente; tale valore può essere compreso tra 0,1 e 10. Sull'ordinata va cercato il valore corrispondente all'amplificazione delle frequenze più basse; raggiungendo con una retta la curva corrispondente e discendendo da questo punto sull'oscillatore, si trova un valore corrispondente alla formula seguente:

$$k = \frac{2\pi f L_p}{Z_o}$$

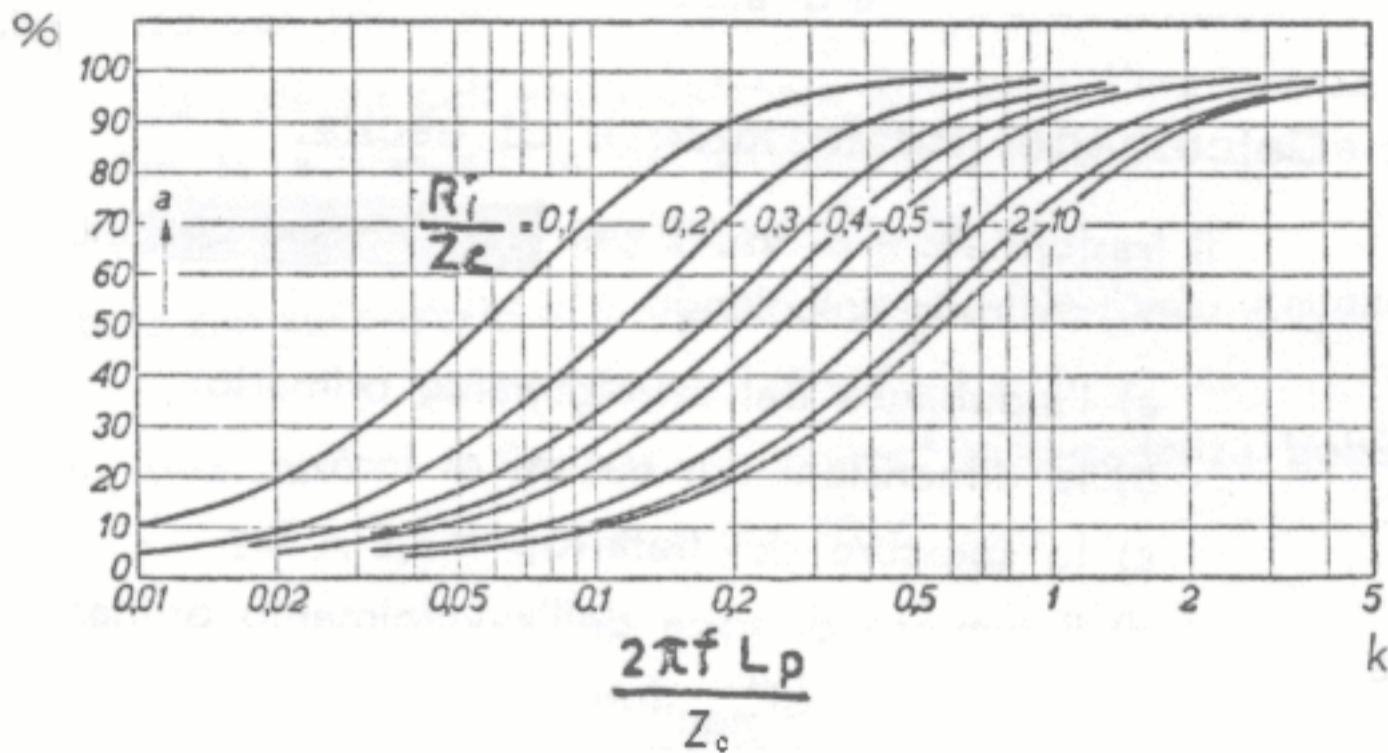


Fig. 4.4.

Essendo noti Z_o e $2\pi f L_p$, l'induttanza primaria L_p risulta da:

$$L_p = k \frac{Z_o}{2\pi f} \quad (\text{Henry})$$

Le dimensioni del nucleo di ferro vanno calcolate con la formula empirica seguente:

$$S = 10 \sqrt{\frac{2 P_u}{f}} \quad (\text{cm}^2)$$

in cui S è la sezione netta in cm^2 della colonna centrale del nucleo.

Per calcolare lo spessore del traferro, il quale consente di ottenere il massimo valore di induttanza primaria in presenza della corrente continua di alimentazione anodica, è necessario anzitutto conoscere il valore di $\frac{L_p I_p^2}{v}$ dove v rappresenta il

volume netto del pacchetto di lamierini, ossia dell'effettivo ferro escluse le finestre.

Tale valore compreso tra 0 e 0,0001 va cercato sull'ordinata di fig. 4.5. Dal punto trovato va raggiunta la curva sulla quale si trova un nuovo valore, quello di α . Esso consente di trovare lo spessore del traferro con la formula:

$$l_t = \alpha l_r$$

Utilizzando un lamierino formato E I è necessario dividere per due lo spessore del traferro calcolato.

in cui l_r è la lunghezza del circuito magnetico in cm; tale circuito è costituito dal percorso medio intorno ad una sola finestra.

Il numero di spire dell'avvolgimento primario risulta dallo stesso grafico di fig. 4.5; occorre scendere dal punto trovato sulla curva dell'ascissa sottostante dove si trova il valore del campo magnetico $\frac{I_p N_p}{l}$ ossia le ampere-spire per centimetro.

Moltiplicando tale valore per la lunghezza del circuito magnetico e dividendo

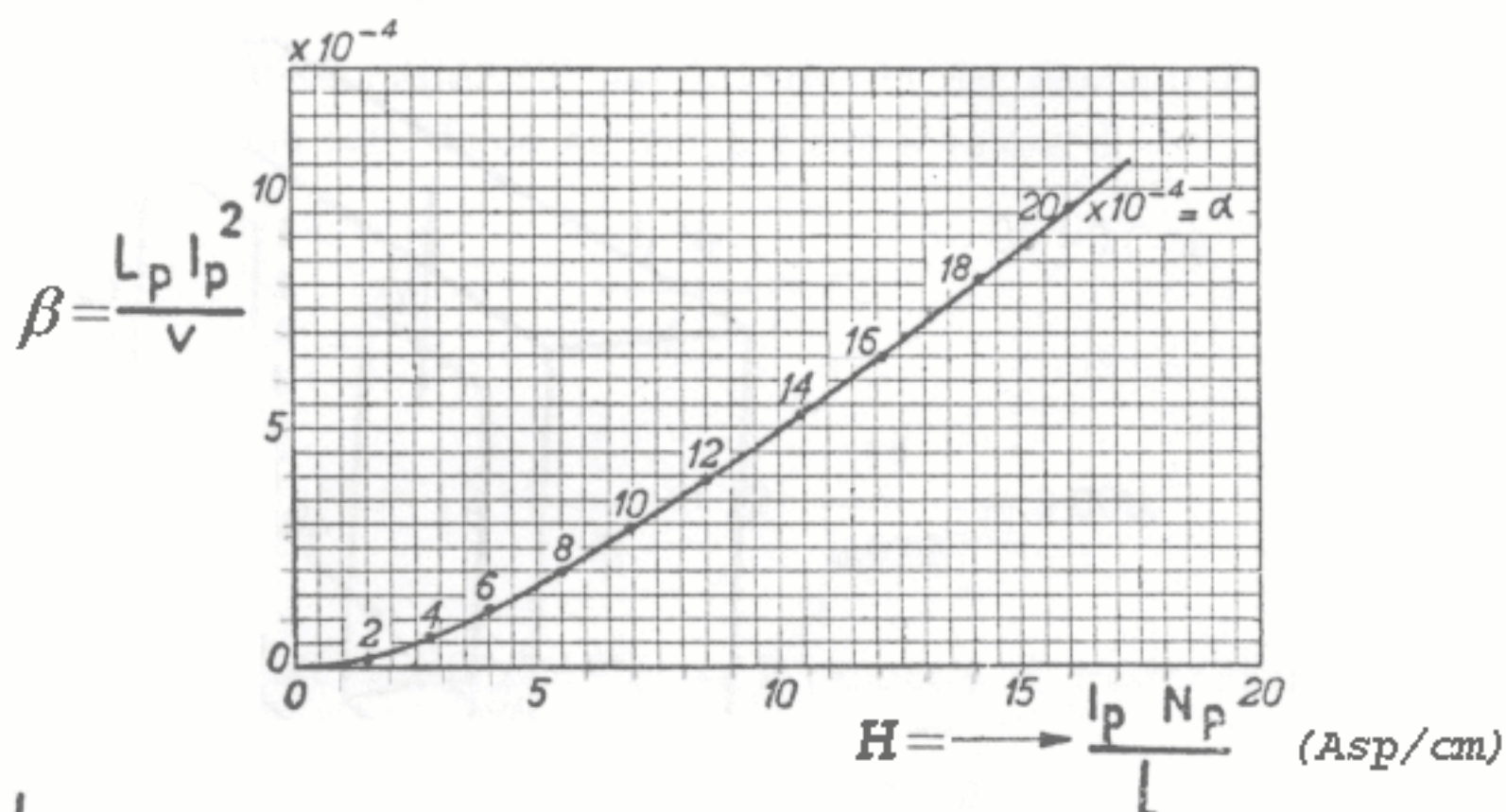


Fig. 4.5.

il risultato per l'intensità di corrente anodica in ampere si ottiene il numero delle spire dell'avvolgimento primario.

Il rapporto di trasformazione è dato da:

$$n = \sqrt{\frac{Z_o}{Z_{bm}}}$$

Lo spessore del filo dell'avvolgimento primario risulta dalla formula $1,2 \sqrt{I_p}$; mentre quello dell'avvolgimento secondario risulta da:

$$\sqrt{n} \times \text{spessore del filo primario.}$$

ESEMPIO DI CALCOLO NUMERICO DI TRASFORMATORE DI USCITA.

Qualora le caratteristiche della valvola finale fossero le seguenti:

- impedenza di carico $Z_o = 3\,500 \, \Omega$,
- resistenza interna $R_i = 33\,000 \, \Omega$,
- corrente anodica $I_a = 72 \text{ mA}$,
- potenza di uscita $P_u = 6 \text{ W}$,

e qualora l'impedenza della bobina mobile dell'altoparlante fosse di 7 ohm, la più

bassa frequenza da riprodurre di 50 cicli, corrispondente al limite di amplificazione del 70 per cento della media, il trasformatore di uscita necessario può venir calcolato come segue.

INDUTTANZA DELL'AVVOLGIMENTO PRIMARIO. — Si trova il rapporto:

$$\frac{R_i}{Z_o} = \frac{33\,000}{3\,500} = 9,4.$$

Sul grafico di fig. 4.4 va cercata la curva corrispondente al valore di 9,4, quindi

Lunghezza circuito magnetico:
 $1f = 30 + 30 + 50 + 50 = 160\text{mm} \approx 16\text{cm}$

Volume netto del pacco
 di lamierini:

$$7 \times 7 \times 2,5 = 122,5 \text{ cm}^3$$

$$5 \times 1,5 \times 2 = 15 \text{ cm}^3$$

$$\frac{122,5 - 15}{1,2} = 89,6 \text{ cm}^3 \approx 90 \text{ cm}^3$$

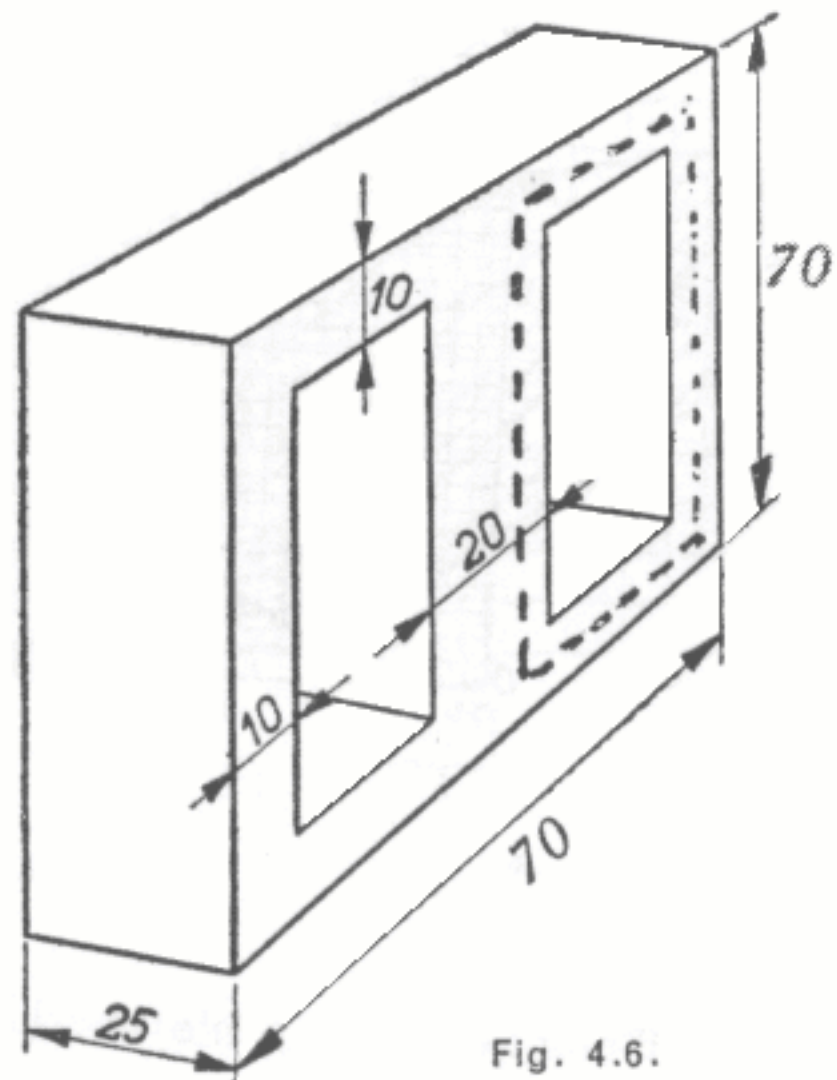


Fig. 4.6.

va cercato sull'ordinata il valore corrispondente a 70 per cento e da questo punto va raggiunta la curva dalla quale si scende sull'ascissa, dove si trova il valore 1. Tale

valore è quello del rapporto $k = \frac{2 \pi f L_p}{Z_o}$.

Da tale rapporto va dedotta l'induttanza mediante la formula:

$$L_p = k \frac{Z_o}{2 \pi f} = 1 \cdot \frac{3\,500}{2 \pi \cdot 50} = 11 \text{ henry.}$$

DIMENSIONI DEL NUCLEO. — Le dimensioni nette del nucleo centrale del pacchetto di lamierini risultano da:

$$10 \sqrt{\frac{2 P_u}{f}} = 10 \sqrt{\frac{2 \cdot 6}{50}} \approx 5 \text{ cm}^2.$$

SPESSORE DEL TRAFERRO. — Va ricavato dal valore:

$$\frac{L_p I_p^2}{v} = \frac{11 \cdot 0,072^2}{90} = 0,00063.$$

Sull'ordinata del grafico di fig. 4.5 va cercato il valore di 0,00063 e da esso va raggiunta la curva nel punto $\alpha = 0,0016$. Lo spessore del traferro risulta da:

$$l_t = 0,0016 \times 16 = 0,026 \text{ cm} \approx 0,3 \text{ mm.}$$

NUMERO DI SPIRE PRIMARIE. — Scendendo dal punto 0,0016 della curva del grafico di fig. 4.5, sulla sottostante ascissa, si trova il valore di:

$$\frac{I_p N_p}{l} = 12$$

da cui:

$$N_p = 12 \times \frac{l}{I_p} = 12 \cdot \frac{18}{0,072} = 3\,000 \text{ spire}$$

NUMERO DI SPIRE SECONDARIE. — Il rapporto di trasformazione è di:

$$n = \sqrt{\frac{Z_c}{Z_{bm}}} = \sqrt{\frac{3\,500}{7}} = 22,36$$

per cui il numero di spire secondarie è di:

$$N_s = N_p : 22,36 = 3\,000 : 22,36 = 134 \text{ spire.}$$

SPESSORE DEL FILO. — Lo spessore del filo primario, in base alla densità di corrente di circa 1 A per mm^2 , risulta da $1,2 \times \sqrt{I_p} = 1,2 \cdot \sqrt{0,072} \approx 0,3 \text{ mm}$.

Lo spessore del filo secondario è dato da:

$$\sqrt{n} \times \text{spessore del filo primario} = \sqrt{22,36} \cdot 0,3 = 1,4 \text{ mm.}$$

Esempi di trasformatori d'uscita.

La tabella riporta le caratteristiche dei trasformatori d'uscita Philips, in uso con le principali valvole finali (UL41, EL41 e EL84) in stadio singolo, ad una valvola, e in stadio in controfase, con due valvole, nonché dei trasformatori d'uscita per transistor.

PER UNA SOLA VALVOLA FINALE UL41:

Il trasformatore d'uscita per una UL41 è riportato dalla fig. 4.7; è munito di alette di fissaggio. È il modello PK 510 80.

TIPO	Valvole o transistor	Potenza (W)	Rendimento (%)	Rapporto spire	Impedenza primaria (Ω)	Impedenza secondaria (Ω)	Induttanza (H)	Resistenza (Ω)	Corrente di magnetizzazione (mA)	TERMINALI					
										1	2	3	4	5	6
PK 505 70	EL 41	3	80	34	7000	5	7	700	36	alim.	placca EL41	—	altop. mass.	altop.	—
PK 505 71	2X EL 41	8	84	36.8	7000	7	30	650	5	altop.	altop.	reaz. negat.	placca 1 ^a EL41	alim.	placca 2 ^a EL41
PK 505 98	EL 84	3	78	31.6	5000	5	10	700	45	altop.	altop.	—	placca EL84	alim.	—
PK 508 11	2X EL 84	8	85	33.7	8000	7	25	640	5	altop.	altop.	nucl.	placca 1 ^a EL84	alim.	placca 2 ^a EL84
PK 508 12	2X EL 84	15	90	34	8000	7	38	2x170	5	—	—	—	—	—	—
PK 508 13	EL 84	4	77	27	5000	7	14	750	48	placca EL84	alim.	altop.	altop.	—	—
PK 510 80	UL 41	2	77	23.7	3000	5	3.5	370	36	altop.	altop.	placca UL41	gr. sch. UL41	alim.	—
PK 510 94	2X OC72	0.2	85	3.9	320	5	1.7	2x6	—	altop.	altop.	coll. OC72	coll. 2 ^o OC72	alim.	—
PK 510 95	OC71 2XOC72	—	—	1.8	—	—	2.6	350	2	alim.	coll. OC71	base 1 ^o OC72	base 2 ^o OC72	alim.	—
PK 511 01	OC71 2XOC74	—	—	1.9	—	—	5	155	2	alim.	coll. OC71	base 1 ^o OC74	base 2 ^o OC74	alim.	—
PK 511 02	2XOC74	1	80	1.9	73	5	0.8	2	—	altop.	altop.	coll. 1 ^o OC74	coll. 2 ^o OC74	—	—

PER UNA SOLA FINALE EL41 O EL84:

Il trasformatore d'uscita è quello di fig. 4.8. Per la finale EL41 il modello è PK 505 70; per la finale EL84 il modello è PK 505 98. Le caratteristiche sono riportate dalla tabella.

PER DUE FINALI EL41 O EL84 CON RESA D'USCITA DI 8 WATT:

Il trasformatore d'uscita è quello di fig. 4.9. I modelli sono rispettivamente:

per due finali EL41 ... PK 505 71

per due finali EL84 ... PK 508 11.

Le caratteristiche sono riportate dalla tabella.

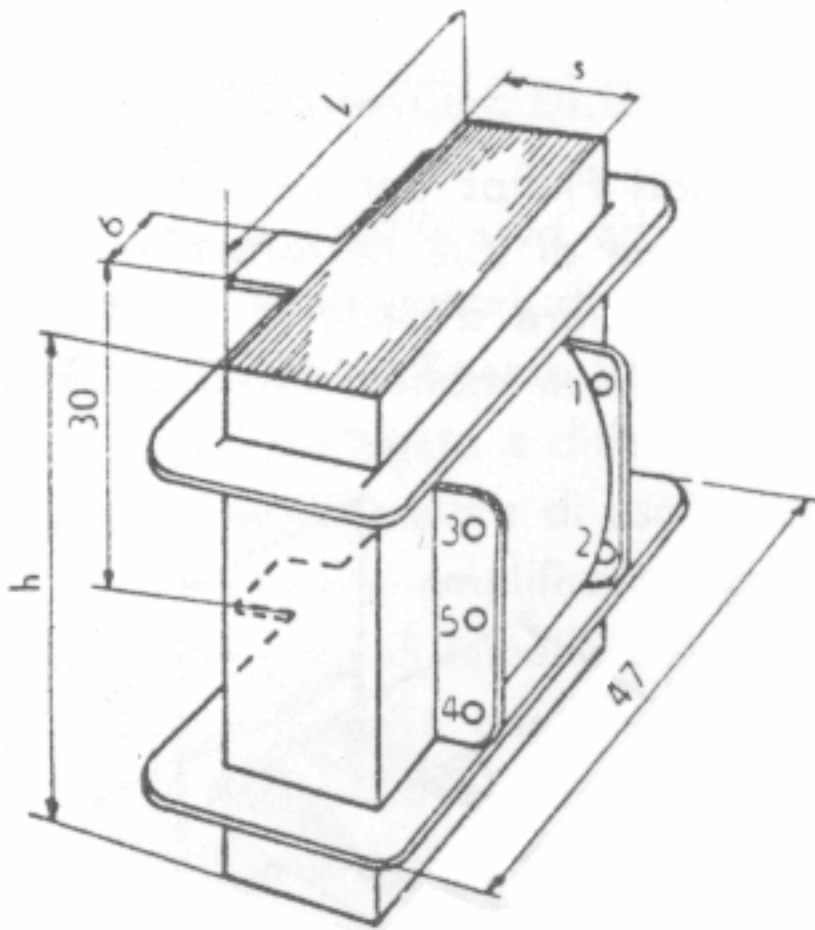


Fig. 4.7. - Trasformatore d'uscita per una UL 41 finale.

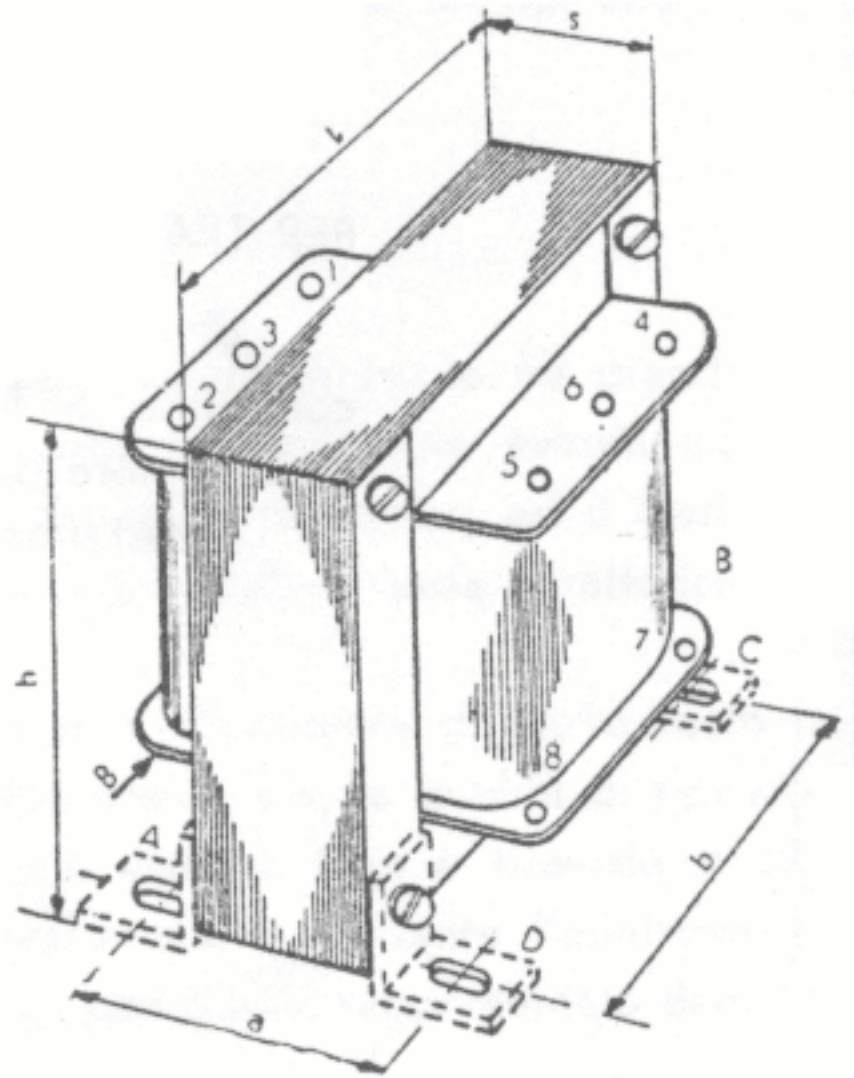


Fig. 4.8. - Trasformatore d'uscita per una EL 41 o EL 84.

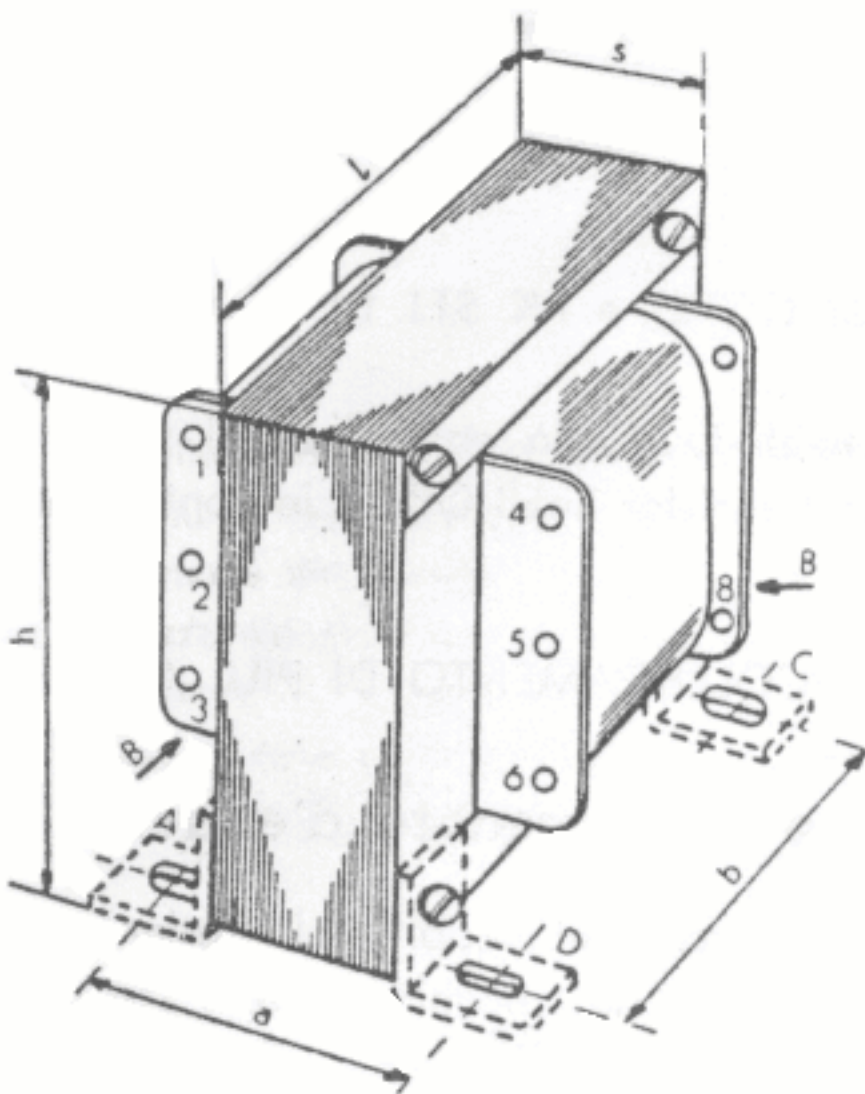


Fig. 4.9. - Trasformatore d'uscita per due EL 41 o EL 84, in controfase, con resa d'uscita di 8 watt.

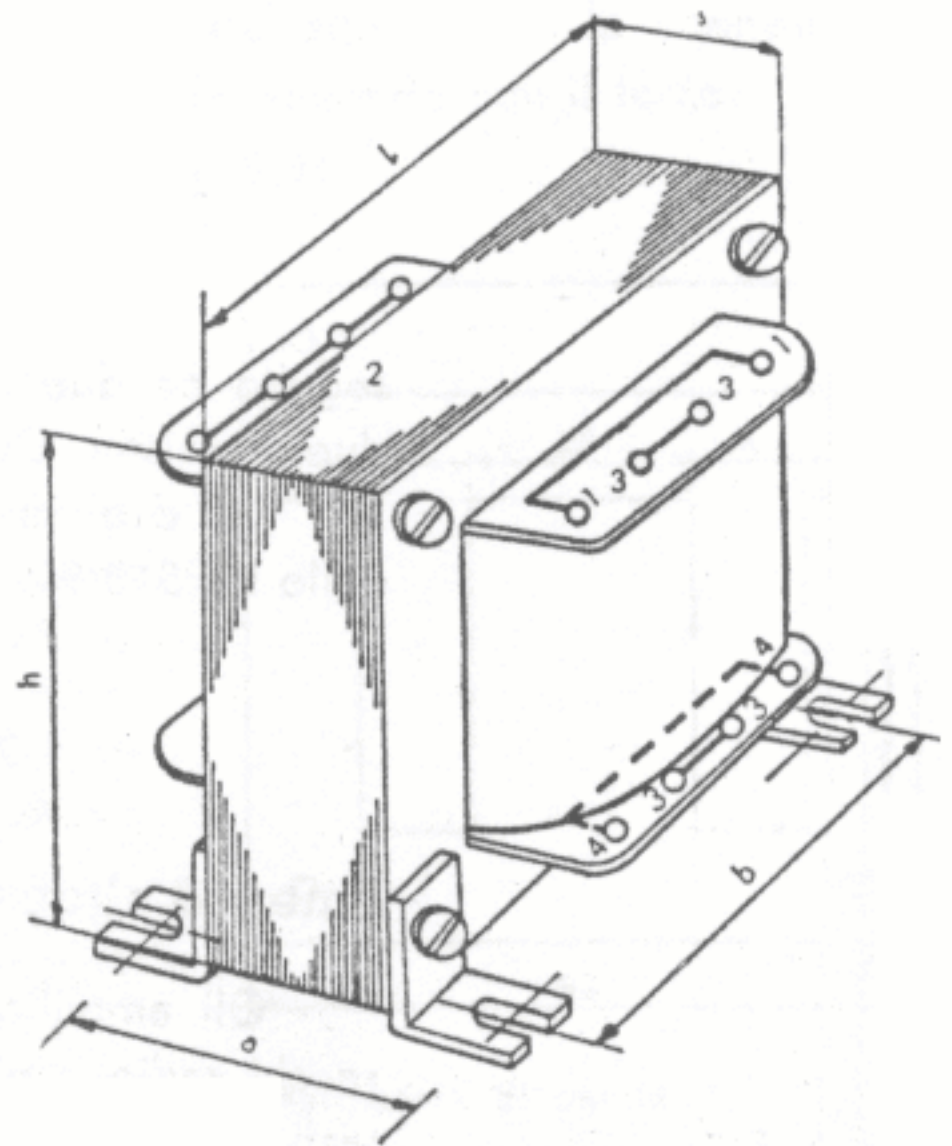


Fig. 4.10. - Trasformatore per due finali EL 84 con resa d'uscita di 15 watt.

PER DUE FINALI EL84 CON RESA D'USCITA DI 15 WATT:

Il trasformatore è quello di fig. 4.10; il modello è PK 508 12. Le caratteristiche sono riportate dalla tabella.

PER TRANSISTOR.

Vi sono quattro trasformatori Philips per transistor, con due transistor finali in controfase. Si tratta di due coppie di due trasformatori, in quanto è necessario un trasformatore pilota e un trasformatore d'uscita.

I trasformatori pilota sono i due modelli PK 510 95 (con un transistor OC71

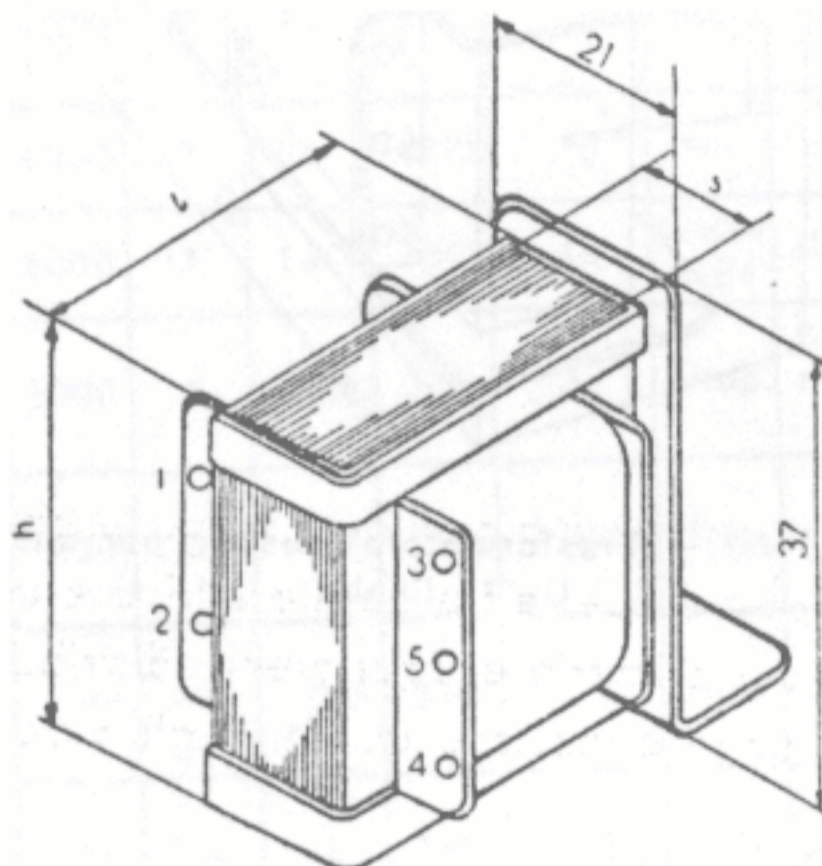


Fig. 4.11. - Trasformatore d'uscita per transistor.

seguito da due transistor OC72) e PK 511 01 (con un transistor OC71 seguito da due transistor OC74).

Per due transistor finali OC72 in controfase, il trasformatore d'uscita è il modello PK 510 94. Per due transistor finali OC74, in controfase, il modello è PK 511 02.

2. — IL COLLEGAMENTO DI PIU' ALTOPARLANTI

Linea d'altoparlanti e trasformatore d'entrata.

Gli amplificatori posti vicino al proprio altoparlante, come ad es. negli apparecchi radio, nei radiofonografi, nei piccoli impianti sonori portatili, ecc. sono provvisti di trasformatore d'uscita con secondario ad impedenza eguale a quella della bobina mobile dell'altoparlante. Quando, invece, gli altoparlanti sono numerosi, posti lontano dall'amplificatore, l'impedenza di carico varia, a seconda del numero e della