

I PRIMI PASSI

Rubrica dell'aspirante elettronico

ELEMENTI DI PRATICA CON

I TRASFORMATORI

Queste pagine sono principalmente dedicate agli aspiranti elettronici, cioè a coloro che si rivolgono a noi per chiederci una mano amica e sicura nella guida attraverso l'affascinante mondo dell'elettronica. Per questa particolare categoria di lettori citeremo, di volta in volta, mensilmente, le nozioni più elementari, quelle che potrebbero sembrare banali, senza esserlo, e che molti hanno già acquisito, automaticamente, durante l'esercizio pratico.

Il trasformatore rappresenta uno dei più importanti componenti per molte apparecchiature elettroniche. Quello più comune, conosciuto da molti, provvede a trasformare la tensione elettrica della rete-luce nei valori di tensione necessari per alimentare il circuito di un apparato. In pratica, il trasformatore può essere considerato come una macchina elettrica, più precisamente una macchina statica, perché in essa non vi sono organi in movimento.

Il principio di funzionamento di qualsiasi tipo di trasformatore è basato sulla teoria dell'induzione elettromagnetica.

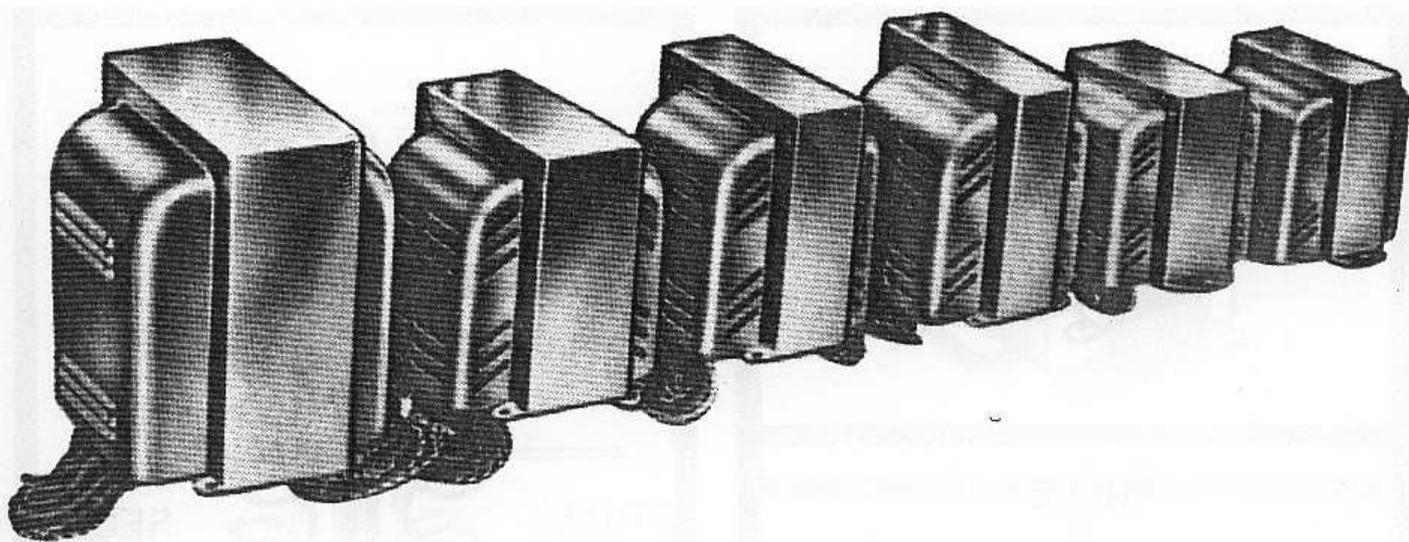
L'elemento essenziale per far funzionare un trasformatore è l'impiego delle correnti elettriche variabili, cioè delle correnti alternate o pulsanti. Infatti soltanto se le correnti sono variabili, anche il campo elettromagnetico da esse generato

è variabile e può generare in un avvolgimento, elettricamente isolato, una corrente indotta. Dunque, con la corrente continua il trasformatore non può funzionare.

Ogni trasformatore è costituito almeno da due avvolgimenti, elettricamente separati tra di loro; in uno di questi due avvolgimenti si fa scorrere la corrente che si ha a disposizione, per esempio quella proveniente da una presa della rete-luce; nel secondo avvolgimento si ottiene la tensione desiderata, che viene chiamata anche tensione indotta e il cui valore dipende dal calcolo con cui il trasformatore è stato progettato.

I due avvolgimenti prendono rispettivamente i nomi di «avvolgimento primario» e «avvolgimento secondario».

La tensione indotta, sull'avvolgimento secondario, quando questo viene collegato ad un cir-



cuito elettrico, produce una corrente la cui intensità dipende dal tipo di trasformatore adottato.

I due avvolgimenti vengono realizzati su un cartoccio, che ha funzioni di supporto del filo di rame avvolto; il cartoccio poi viene inserito su un nucleo di ferro laminato, formato da un pacchetto di lamierini di ferro al silicio.

Gli avvolgimenti, che possono essere due o più di due, sono sovrapposti oppure affiancati ma, in ogni caso, essi sono sempre isolati elettricamente tra di loro. Ciò significa che l'avvolgimento primario non deve trovarsi mai in contatto elettrico con l'avvolgimento secondario.

Il filo conduttore, di cui sono formati gli avvolgimenti, è di rame smaltato, oppure di rame ricoperto con doppio strato di cotone o seta.

L'avvolgimento primario è normalmente composto da un numero elevato di spire, che può variare fra le poche centinaia fino ad un migliaio ed oltre. Più grande è la tensione applicata all'avvolgimento primario e più elevato è il numero di spire con cui esso è composto.

Facciamo qualche esempio: per la tensione di 110 V occorrono 560 spire; per la tensione di 220 V occorrono più di 1000 spire. Il diametro del filo, con cui si realizza l'avvolgimento, dipende dalla intensità di corrente che si vuol far scorrere attraverso l'avvolgimento stesso.

Il numero di spire, che compongono gli avvolgimenti secondari del trasformatore, è proporzionato a quello delle spire dell'avvolgimento primario ed è condizionato dal valore della tensione che si vuol ottenere.

Quando l'avvolgimento primario è composto con lo stesso numero di spire con cui è realizzato l'avvolgimento secondario, la tensione presente sui terminali del secondario è identica a quella

presente sui terminali dell'avvolgimento primario. In tal caso non esiste trasformazione di tensione e si dice che il trasformatore è costruito nel rapporto 1/1. Questo tipo di trasformatore viene spesso usato in elettronica, perché esso permette di isolare elettricamente un circuito elettronico dalla tensione di rete, pur avendo a disposizione lo stesso valore di tensione.

La tensione presente sui terminali dell'avvolgimento secondario dipende dal rapporto di trasformazione, ossia dal rapporto del numero di spire dell'avvolgimento primario e di quelle dell'avvolgimento secondario.

Nei ricevitori radio di un tempo, i trasformatori erano dotati di due o tre avvolgimenti secondari: il primo di questi serviva a produrre l'alta tensione necessaria per far funzionare le valvole, gli altri due servivano per accendere i filamenti delle valvole e le lampadine di illuminazione della scala parlante. Attualmente questi tipi di trasformatori stanno divenendo molto rari, perché la radio a valvole è stata soppiantata dal ricevitore a transistor, che può funzionare con o senza il trasformatore di alimentazione. I trasformatori possono essere « corazzati », oppure no. I primi sono completamente rinchiusi in una custodia metallica che ha funzioni di schermo elettromagnetico, cioè impedisce ai campi elettromagnetici, generati dalle correnti, di espandersi e influenzare eventuali componenti elettronici montati nelle vicinanze del trasformatore stesso.

I secondi sono sprovvisti di tale custodia e in essi sono visibili i lamierini, che formano il pacco lamellare, e buona parte degli avvolgimenti. Anche il trasformatore, come tutti gli altri componenti elettronici, si esprime, nei circuiti teorici, per mezzo di un simbolo elettrico.

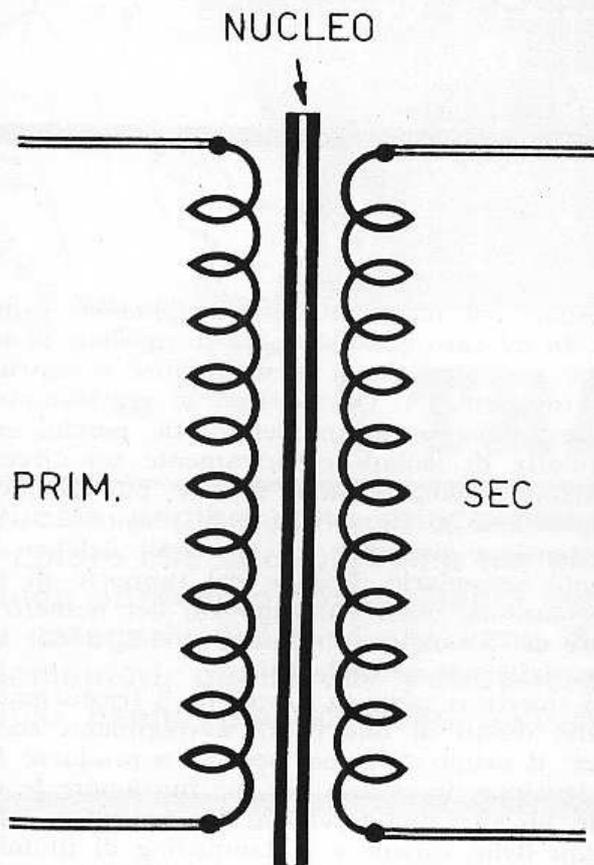
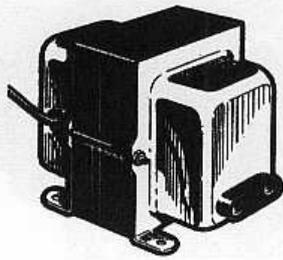


Fig. 1 - Questo è il simbolo elettrico, adottato nella composizione dei circuiti teorici, di un trasformatore con rapporto 1/1, cioè di un trasformatore in cui il numero di spire che compongono l'avvolgimento primario è uguale a quello delle spire che compongono l'avvolgimento secondario. In pratica, dunque, non si tratta di un vero e proprio trasformatore, perché in esso non è ottenuta alcuna trasformazione di tensione; questo trasformatore, che trova largo impiego nei circuiti elettronici, serve per isolare elettricamente la tensione di rete da quella che alimenta un determinato circuito. Le sbarrette verticali, disegnate fra i due avvolgimenti, simboleggiano il nucleo ferromagnetico sul quale, in pratica, vengono effettuati gli avvolgimenti del trasformatore.

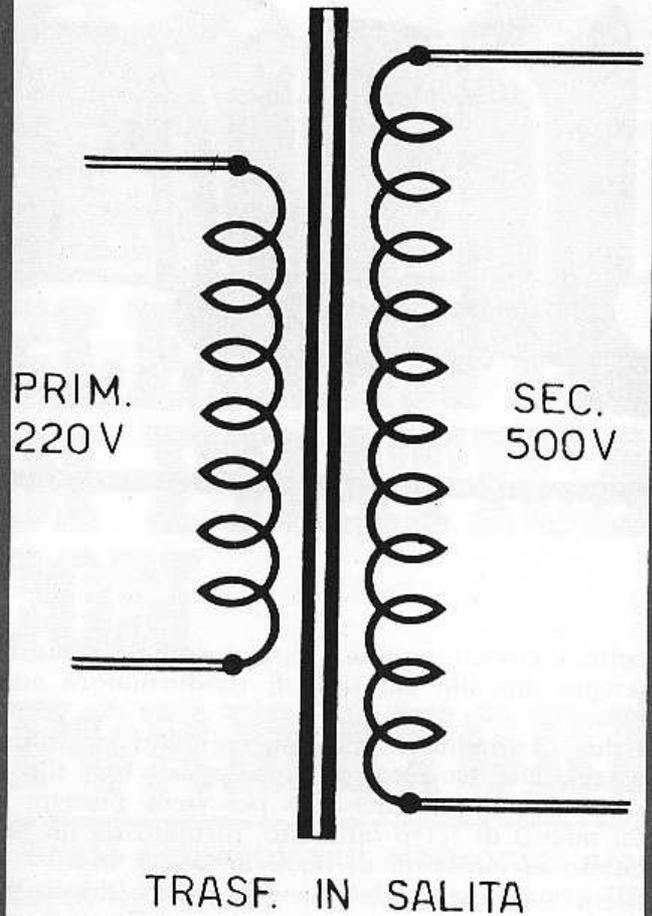
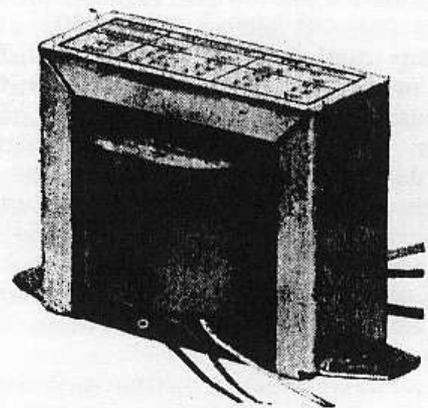


Fig. 2 - Il trasformatore, elevatore di tensione, prende anche il nome di « trasformatore in salita ». Nel caso specifico la tensione di rete di 220 V viene elevata al valore di 500 V. Si noti la particolare configurazione del simbolo elettrico, nel quale l'avvolgimento secondario è stato disegnato con un maggior numero di spire.



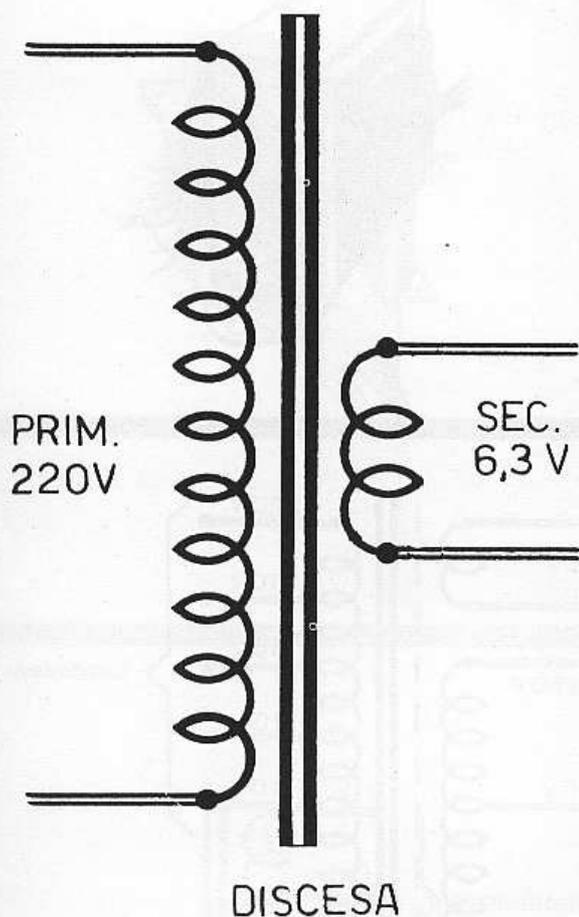
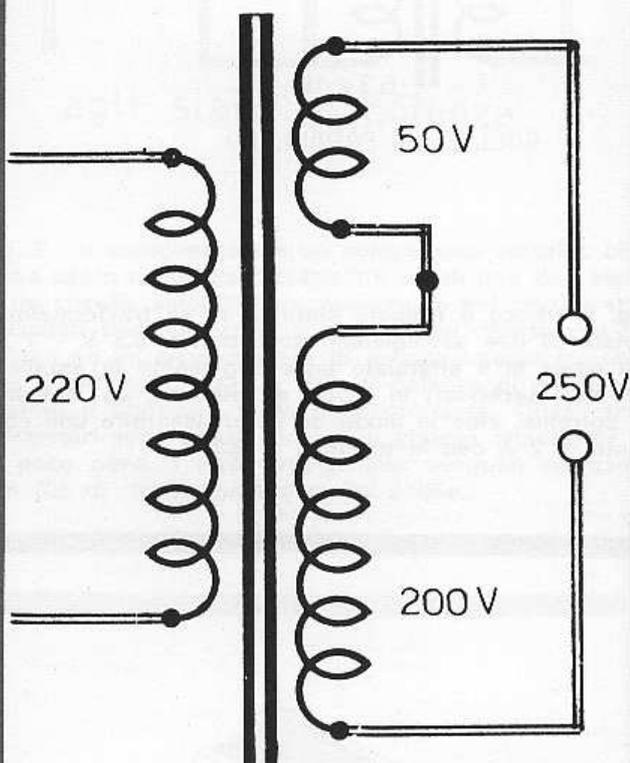
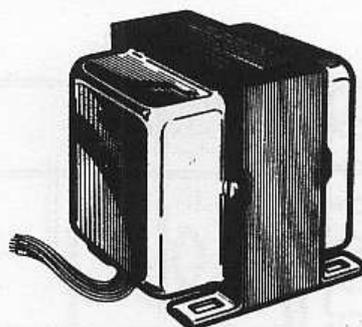
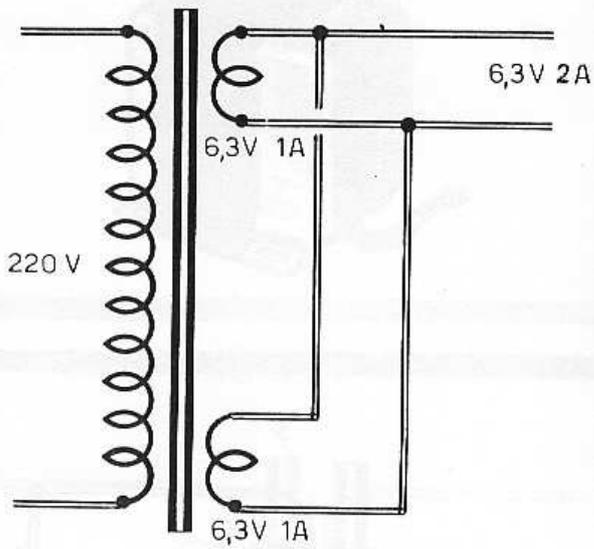


Fig. 3 - Il trasformatore riduttore di tensione prende anche il nome di « trasformatore in discesa ». In questo caso la tensione di rete, applicata all'avvolgimento primario, viene ridotta al valore di 6,3 V; normalmente questo valore di tensione viene utilizzato per l'alimentazione dei filamenti delle valvole e di lampade-spia.



COLLEG. IN SERIE

Fig. 4 - Gli avvolgimenti dei trasformatori possono essere collegati fra loro. In questo schema i due avvolgimenti secondari a 50 V e a 200 V sono collegati in serie, in modo da ottenere una tensione risultante di 250 V. Nell'effettuare tale collegamento occorre tener conto del senso di avvolgimento dei conduttori. Infatti, se nel punto di collegamento di due terminali le due tensioni, in essi presenti, risultano di fase opposta, può accadere che i valori delle tensioni, anziché sommarsi tra di loro, si sottraggano, cioè invece di ottenere la tensione risultante di 250 V, può capitare di ottenere una tensione di 150 V ($200 - 50 = 150$ V).



COLLEG. IN PARALLELO

Fig. 5 - Ecco il simbolo elettrico di un trasformatore, dotato di due avvolgimenti secondari a 6,3 V - 1 A, nel quale si è effettuato un collegamento in parallelo dei due secondari in modo da ottenere un aumento di corrente, cioè in modo da poter assorbire una corrente di 2 A con la tensione di 6,3 V.

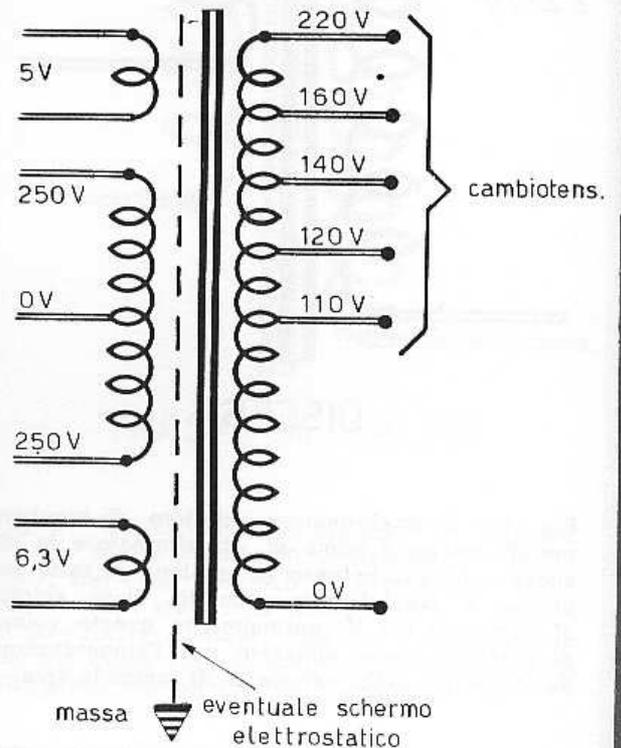
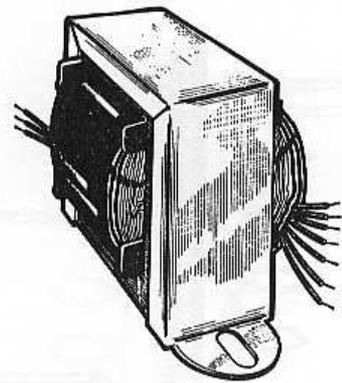
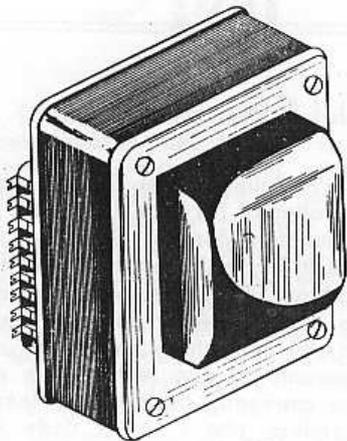
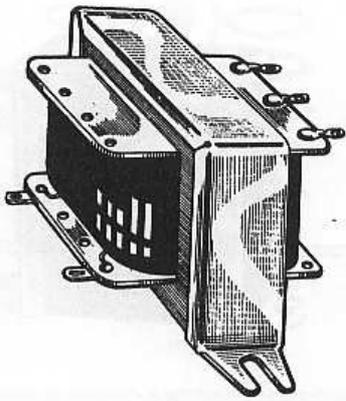


Fig. 6 - Simbolo elettrico di un classico trasformatore di alimentazione per apparato a valvole. L'avvolgimento primario, disegnato a destra, è adatto per 5 valori diversi di tensioni di entrata. Il cambiotensione permette di commutare l'avvolgimento primario in uno di questi valori. Gli avvolgimenti secondari sono tre: quello a 5 V, che normalmente serve per accendere il filamento della valvola raddrizzatrice di tensione, quello a 6,3 V, che serve ad accendere i filamenti delle altre valvole che compongono il circuito alimentato e quello ad alta tensione, con presa centrale, a 250 + 250 V. La linea tratteggiata, interposta fra gli avvolgimenti secondari e l'avvolgimento primario, simboleggia l'eventuale presa di massa del trasformatore, cioè lo schermo metallico in cui esso è racchiuso.



AUTOTRASF.

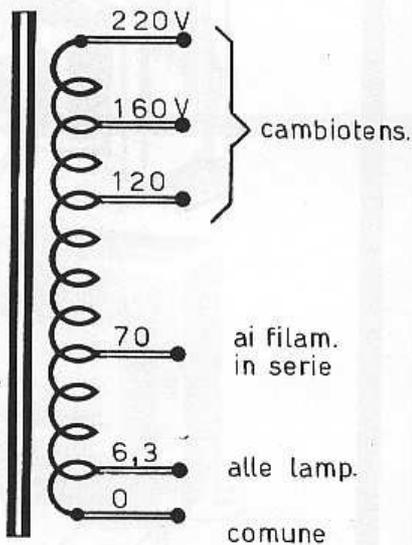
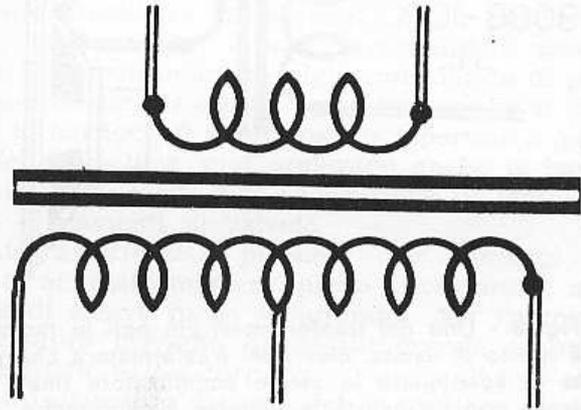


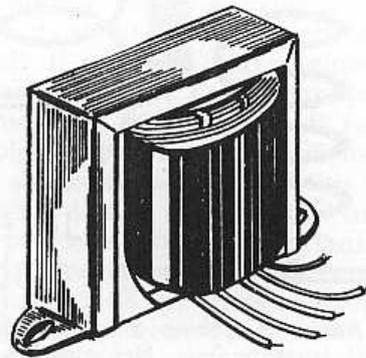
Fig. 7 - In questo modo viene simboleggiato l'autotrasformatore. Nel simbolo non esiste l'avvolgimento secondario, mentre viene disegnato soltanto quello primario, unitamente alle linee verticali che si riferiscono al nucleo ferromagnetico sul quale viene effettuato l'avvolgimento. Il primario è dotato di alcune prese intermedie, che permettono di ricavare valori di tensioni intermedi fra lo 0 e 220 V, che è il normale valore della tensione di rete applicato sui terminali estremi dell'avvolgimento primario. Con l'autotrasformatore i filamenti delle valvole vengono accesi in serie, con la tensione di 70 V.

al circuito
preamplif.



agli stadi di potenza

Fig. 8 - Il trasformatore è un componente elettrico che viene usato anche per accoppiare tra di loro due stadi di un circuito amplificatore, soprattutto nei circuiti amplificatori transistorizzati. Il simbolo qui riportato si riferisce ad un trasformatore di accoppiamento fra uno stadio preamplificatore e uno di potenza di un amplificatore o ricevitore radio transistorizzato. Questi trasformatori sono quasi sempre di piccole dimensioni e di poco peso. I loro avvolgimenti vengono realizzati con filo di rame smaltato molto sottile.



TRASF. D'USCITA

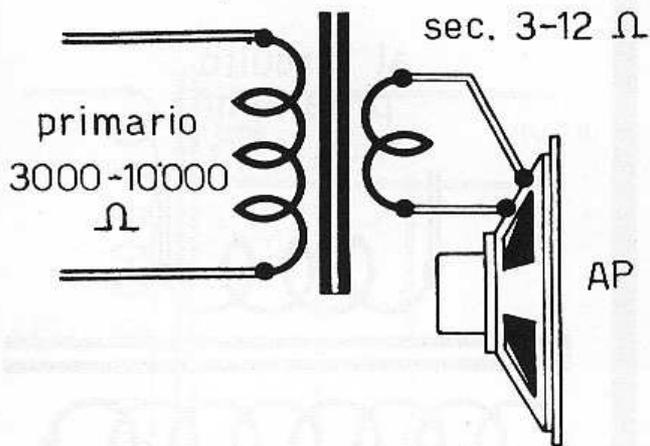


Fig. 9 - Uno dei trasformatori più noti in radiotecnica è quello di uscita, cioè quel trasformatore che permette di accoppiare lo stadio amplificatore finale di potenza con l'altoparlante. Questo trasformatore, nei casi più comuni, è dotato di un solo avvolgimento primario, composto da un numero elevato di spire, e da un solo avvolgimento secondario, composto da un numero ridotto di spire di filo di rame smaltato di sezione elevata. Quando si collega questo trasformatore, il principiante deve sempre ricordarsi di asportare lo smalto dai terminali dei conduttori prima di effettuare la saldatura a stagno. L'individuazione dell'avvolgimento secondario è molto semplice, perché i terminali di questo avvolgimento sono di dimensioni molto più elevate di quelli dell'avvolgimento primario. Le caratteristiche fondamentali dei trasformatori di uscita sono: la potenza, l'impedenza dell'avvolgimento primario e quella dell'avvolgimento secondario. L'impedenza dell'avvolgimento primario deve adattarsi alla valvola amplificatrice finale; quella dell'avvolgimento secondario deve essere pari all'impedenza della bobina mobile dell'altoparlante.

BOBINA AF

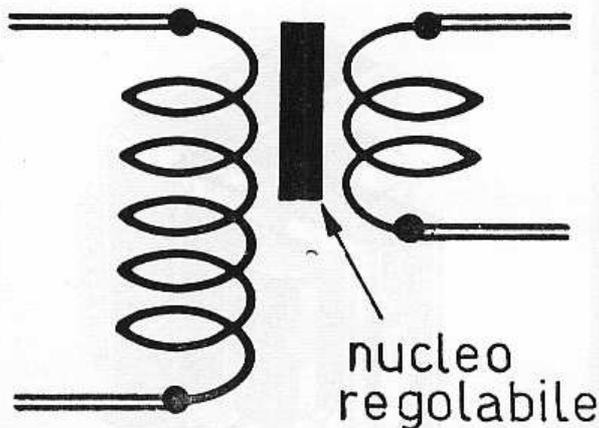
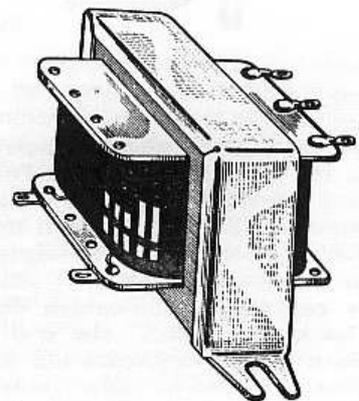
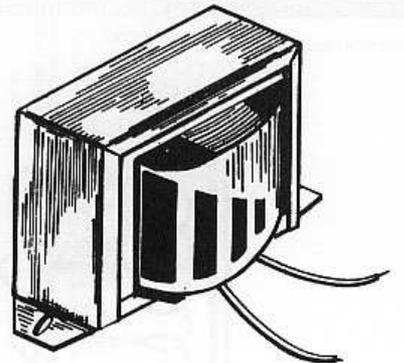
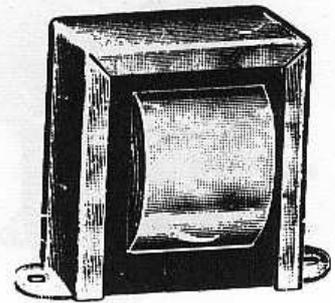


Fig. 10 - Anche le bobine di alta frequenza sono, in pratica, dei trasformatori. Nel simbolo, qui riportato, la bobina AF è dotata di due soli avvolgimenti: quello primario e quello secondario; il nucleo ferromagnetico, disegnato con una linea verticale intera, sta a simboleggiare la ferrite regolabile della bobina stessa; questa ferrite può essere avvitata o svitata dal supporto della bobina, in modo da far variare l'induttanza della bobina stessa, adattandola alle caratteristiche del circuito.



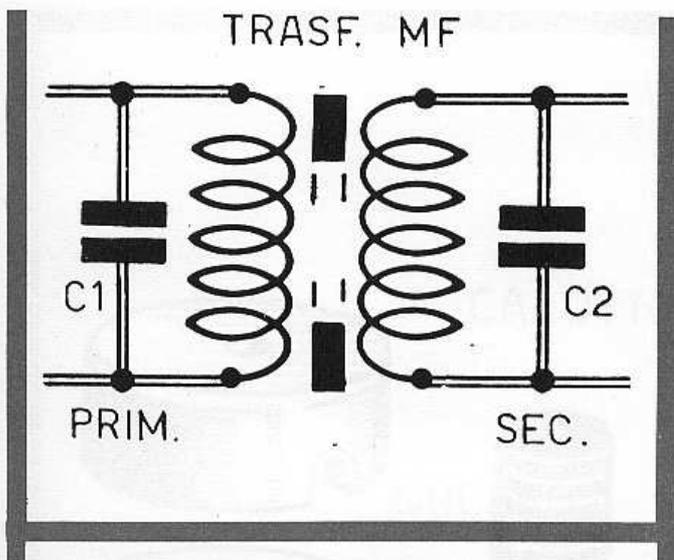


Fig. 11 - Questo è il simbolo di un trasformatore di media frequenza, che i radiotecnici, in gergo, chiamano, più semplicemente, « media frequenza ». Si tratta di un semplice trasformatore dotato di due soli avvolgimenti e di due nuclei ferromagnetici che permettono di variare l'induttanza degli avvolgimenti; in parallelo ai due avvolgimenti sono collegati due piccoli condensatori. Il tutto è sempre racchiuso in un contenitore metallico, che ha funzioni di schermo elettromagnetico. Questi trasformatori, presenti nei ricevitori a valvole e in quelli transistorizzati, hanno il compito di accoppiare fra loro due stadi successivi.

L'AUTOTRASFORMATORE

In molti tipi di apparecchiature elettroniche il trasformatore è sostituito da un componente molto simile, che prende il nome di « autotrasformatore ». Anche questo componente fonda il suo principio di funzionamento sulla teoria dell'induzione elettromagnetica. Come il normale trasformatore, anch'esso fa impiego di un pacchetto lamellare, ma non vi sono avvolgimenti secondari; esiste un unico avvolgimento dotato di prese intermedie; da queste prese intermedie si preleva la tensione di valore pari o superiore a quello della rete-luce, e si prelevano anche le basse tensioni necessarie per l'accensione di lampadina o filamenti di valvole.

L'autotrasformatore presenta due vantaggi rispetto al trasformatore: quello di costare di meno e di essere meno voluminoso. Ma l'autotrasformatore presenta anche un grande svantaggio rispetto al trasformatore: quello di non avere un isolamento elettrico fra la tensione di rete e i circuiti alimentati da esso.

A molti lettori sarà capitato di toccare con il dito il telaio di un apparecchio radio a valvole dotato di autotrasformatore, e di prendere la scossa; tale fenomeno si presta ad una immediata spiegazione: poiché l'autotrasformatore è dotato di un solo avvolgimento, la tensione della rete-luce, pur risultando trasformata nel suo valore reale, è direttamente applicata ai circuiti dell'apparecchio radio e, in parte, anche al telaio, che funge da elemento conduttore di uno dei due conduttori di rete.

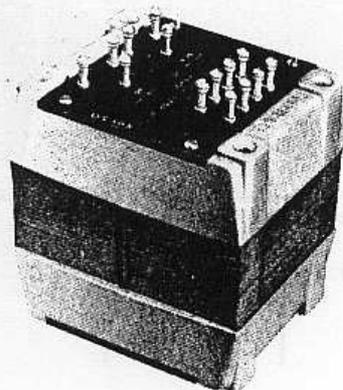
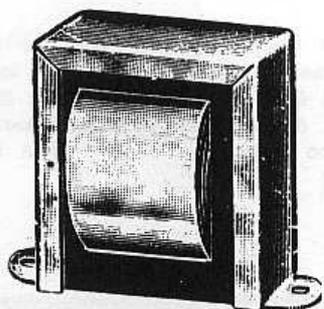
IL TRASFORMATORE D'USCITA

Il trasformatore d'uscita è, prima di tutto, un trasformatore di corrente; esso prende il nome di « trasformatore d'uscita » perché in tutti i ricevitori radio viene applicato fra l'uscita del circuito e l'altoparlante, cioè fra la valvola amplificatrice finale o i transistor amplificatori finali e l'altoparlante.

Il trasformatore d'uscita, come quello di alimentazione, è costituito da un pacco di lamierini di ferro sovrapposti, che prende il nome di « nucleo »; sul nucleo vengono avvolti due avvolgimenti di filo di rame; uno di questi due avvolgimenti prende il nome di « avvolgimento primario » del trasformatore: esso è composto da un elevato numero di spire di filo di rame sottile. L'altro avvolgimento, che prende il nome di « avvolgimento secondario », è costituito da un centinaio di spire di filo di diametro maggiore ed esso viene collegato con l'altoparlante, più precisamente con la bobina mobile di questo.

Quando si fa uso di un trasformatore d'uscita, prima di effettuarne la scelta, si deve tener conto di alcuni dati essenziali. Essi sono:

- 1 - Caratteristiche della valvola finale, cioè impedenza di carico.
- 2 - Impedenza del secondario, che deve corrispondere all'impedenza dell'altoparlante da collegare.



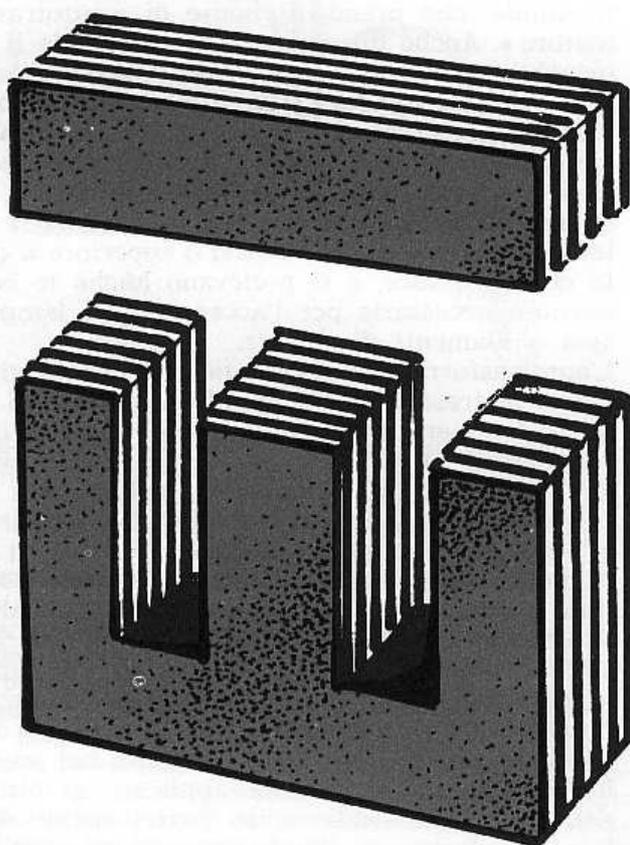


Fig. 12 - Alcuni tipi di nuclei ferromagnetici. A sinistra quello di tipo più semplice di un trasformatore di uscita; si tratta di un pacco lamellare di tipo ad « E » l'avvolgimento viene effettuato su un cartoccio inserito nella colonna centrale. Il nucleo disegnato al centro si riferisce alla ferrite presente nella maggior parte dei trasformatori di media frequenza e nelle bobine di alta frequenza; sulla sommità di questo nucleo è presente il taglio sul quale viene inserito il cacciavite per la regolazione dell'induttanza della bobina. Quello disegnato a destra è il nucleo di ferrite di un trasformatore di media frequenza per circuiti transistorizzati.

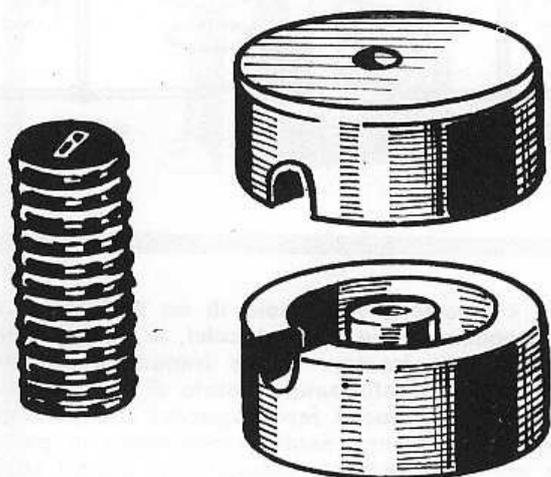
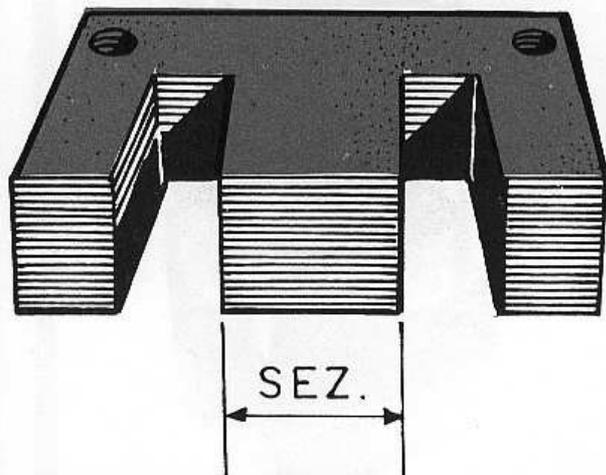


Fig. 13 - Con l'espressione « sezione del nucleo » di un trasformatore, si definisce la superficie, espressa in millimetri quadrati o in centimetri quadrati, della sezione della colonna centrale del pacco lamellare, cioè quella indicata nel disegno.



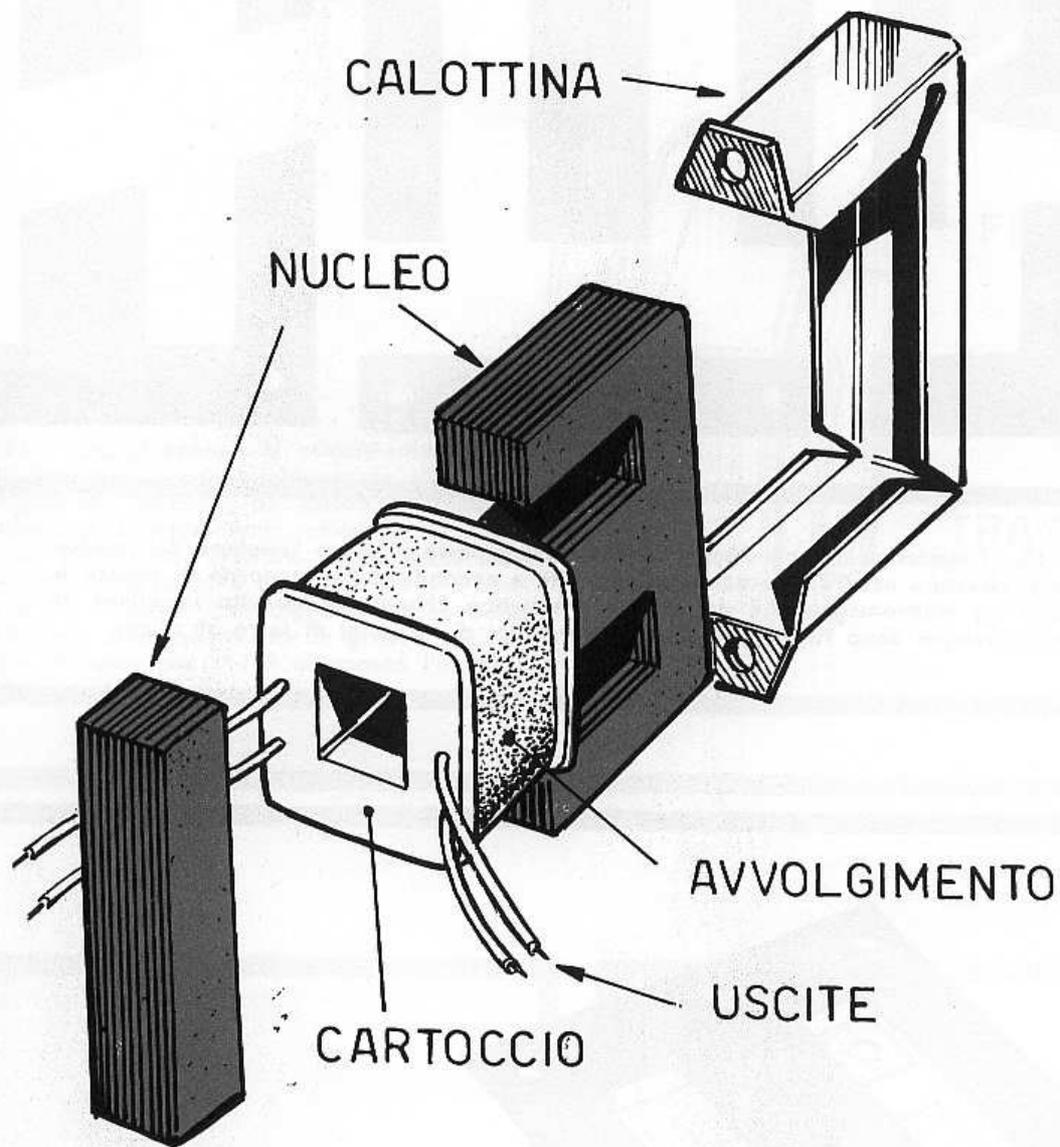


Fig. 14 - Disegno « esploso » di un classico trasformatore di uscita. Gli avvolgimenti (primario e secondario) sono effettuati sul cartoccio e sono ricoperti con una striscia di carta paraffinata o, comunque, isolante. La calottina funge solo parzialmente da schermo elettromagnetico; la sua principale funzione è quella di mantenere pressato il pacco lamellare del nucleo ferromagnetico.

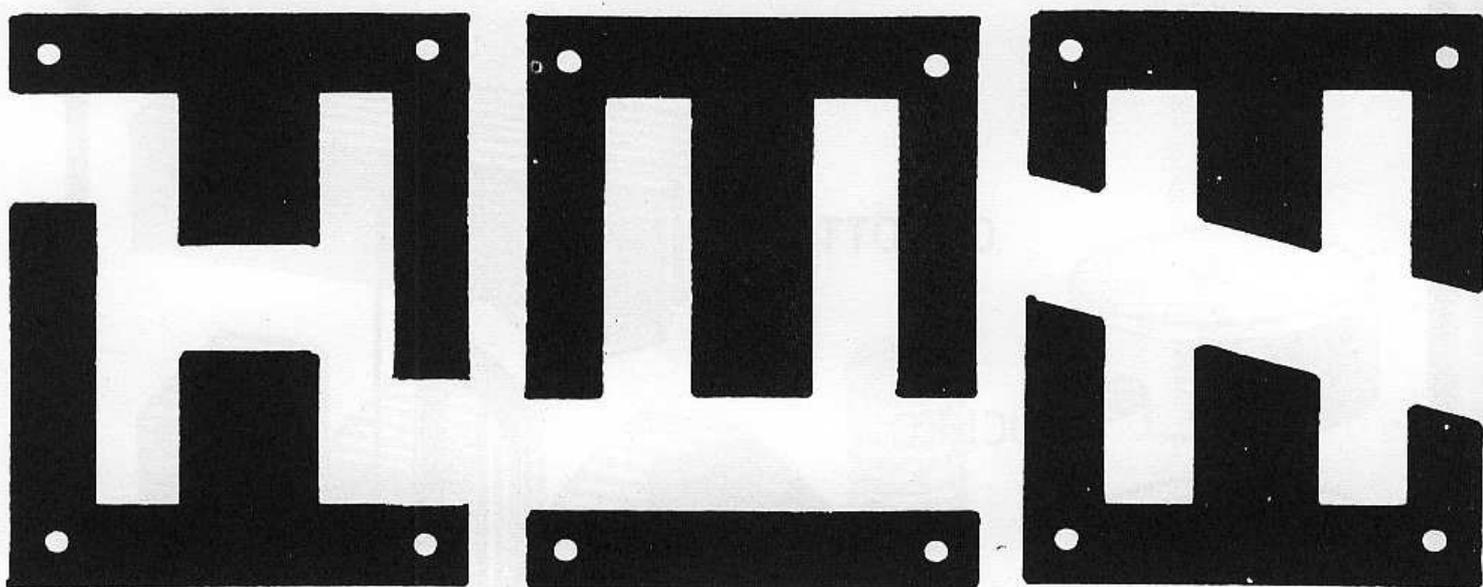


Fig. 15 - I lamierini al ferro-silicio, destinati a comporre il pacco lamellare dei trasformatori, possono essere diversamente costruiti, a seconda della necessità di ridurre le dispersioni elettromagnetiche del campo magnetico chiuso nel circuito lamellare. In questo disegno sono rappresentati tre diversi tipi di lamierini di ferro al silicio.

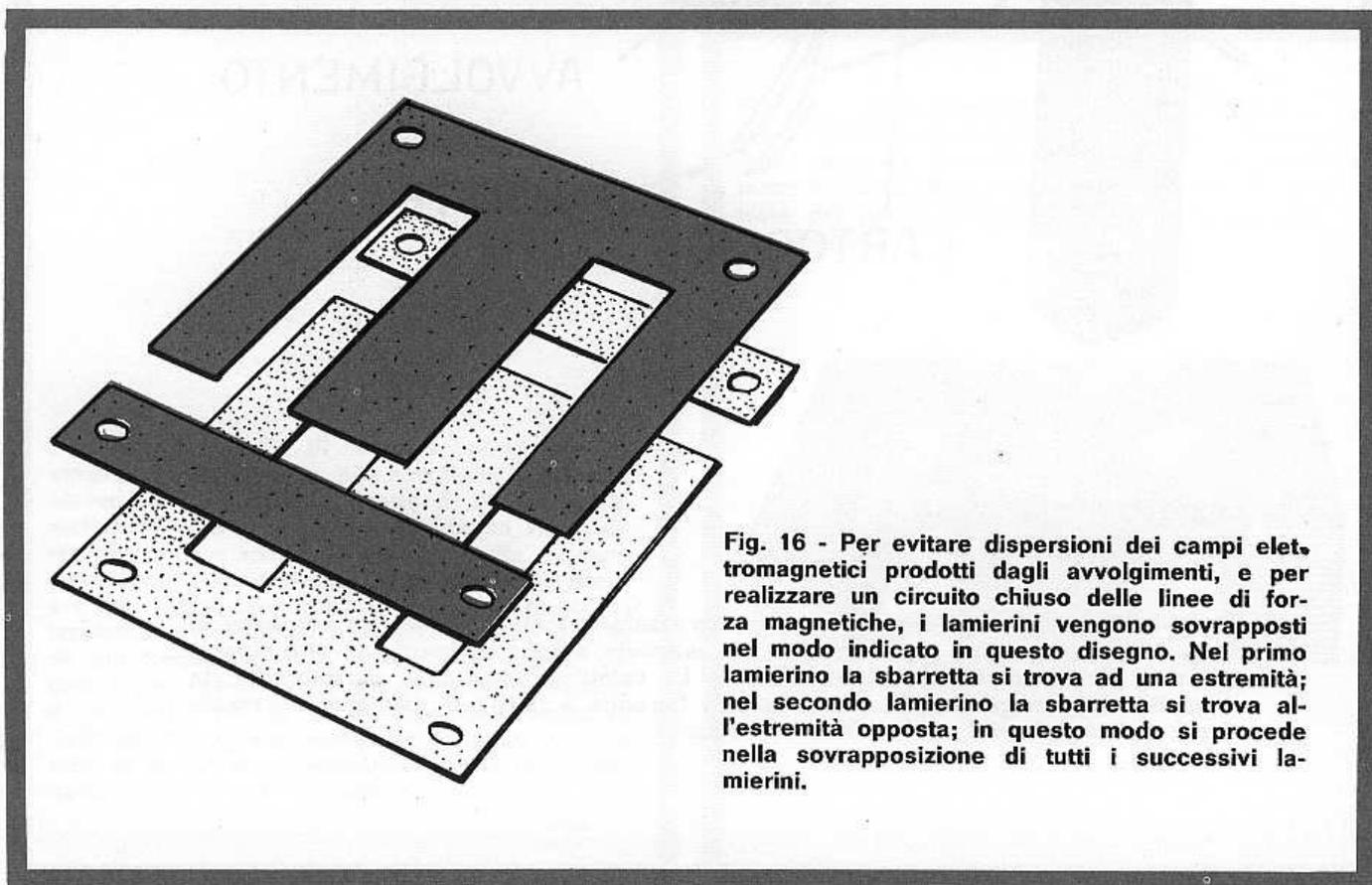


Fig. 16 - Per evitare dispersioni dei campi elettromagnetici prodotti dagli avvolgimenti, e per realizzare un circuito chiuso delle linee di forza magnetiche, i lamierini vengono sovrapposti nel modo indicato in questo disegno. Nel primo lamierino la sbarretta si trova ad una estremità; nel secondo lamierino la sbarretta si trova all'estremità opposta; in questo modo si procede nella sovrapposizione di tutti i successivi lamierini.

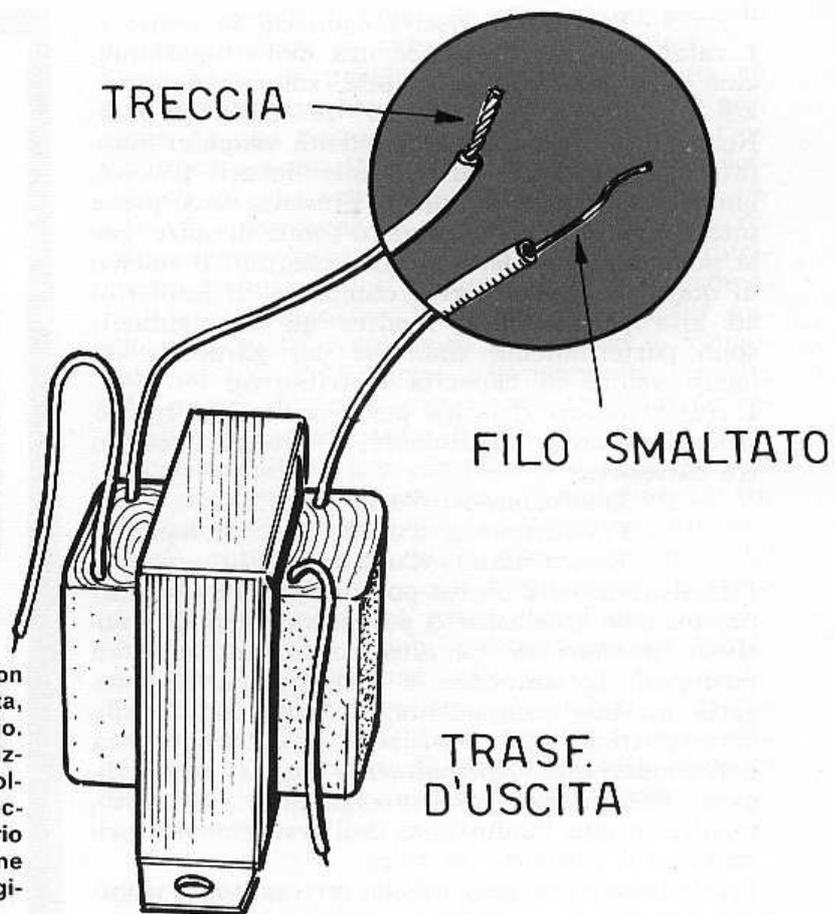
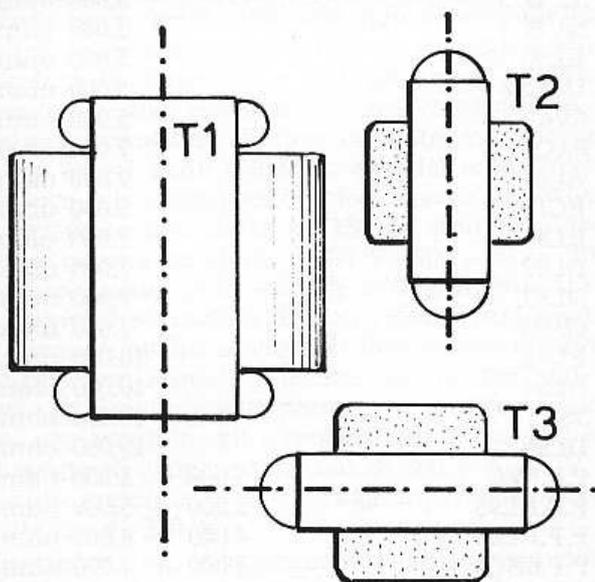


Fig. 17 - Capita spesso al principiante di non saper distinguere, nel trasformatore di uscita, l'avvolgimento primario da quello secondario. Normalmente l'avvolgimento primario è realizzato con filo di rame smaltato molto sottile, collegato ad un filo uscente composto da una trecciola di fili di rame. L'avvolgimento secondario è facilmente distinguibile per la grossa sezione del filo di rame con cui è composto l'avvolgimento.

Fig. 18 - Quando in un circuito elettronico si debbono montare due o tre trasformatori, vicini tra loro, per evitare che ciascuno di questi interferisca sugli altri con il proprio campo elettromagnetico, occorre sempre montare i trasformatori in modo che essi formino un angolo di 90° , così come indicato nel disegno. Questa disposizione è valida per i trasformatori T1-T3 e per i trasformatori T2-T3, ma non per i trasformatori T1-T2, i cui assi risultano paralleli tra loro.



3 - Potenza di uscita espressa in watt.

I valori comuni di impedenza dell'altoparlante, cioè della sua bobina mobile, sono i seguenti: 2,5 - 3 - 3,8 - 4,6 - 5 - 7 - 8 - 16 - 20 - 500 - 800 ohm. Negli amplificatori ad alta fedeltà vengono montati trasformatori d'uscita ultralineari. L'avvolgimento primario di questi presenta una presa intermedia al 43% del numero totale di spire, per la polarizzazione delle griglie schermo. Il nucleo di questi trasformatori è composto di lamierini ad alta permeabilità, mentre gli avvolgimenti sono perfettamente suddivisi per garantire un basso valore di capacità distributiva.

I trasformatori d'uscita per ricevitori a transistor si possono suddividere, a grandi linee, in tre categorie:

- 1 - Trasformatori d'uscita normali
- 2 - Trasformatori d'uscita per push-pull
- 3 - Trasformatori d'uscita HI-FI

I trasformatori d'uscita possono essere costruiti per un solo transistor o per una coppia di transistor montati in circuito controfase, cioè in push-pull; in ambedue i casi, quando si progetta un tale componente, si tiene conto delle caratteristiche del transistor e dell'impedenza dell'altoparlante. Normalmente non si usa indicare l'impedenza dell'avvolgimento primario, mentre si cita l'induttanza dell'avvolgimento primario e il rapporto di spire.

Presentiamo ora una tabella in cui sono riportati i valori di impedenza dell'avvolgimento primario di un trasformatore d'uscita in corrispondenza della valvola finale amplificatrice:

VALVOLA	IMPEDENZA
UL84	2.500 ohm
45 B 5	2.500 ohm
UL41	3.000 ohm
35 QL 6	3.000 ohm
35 D 5	3.000 ohm
35 B 5	3.000 ohm
50 B 5	3.000 ohm
EL90	5.000 ohm
UCL82	5.000 ohm
6V6	5.000 ohm
6AQ5	7.000 ohm
EL84	7.000 ohm
ECL86	5.000 ohm
EL41	7.000 ohm
DL92	7.000 ohm
DL93	7.000 ohm
6BQ5	7.000 ohm
EL42	10.000 ohm
DL94	10.000 ohm
3S4	10.000 ohm
DL96	15.000 ohm
P.P.6V6	5.000 + 5.000 ohm
P.P.EL95	5.000 + 5.000 ohm
P.P.EL84	4.000 + 4.000 ohm
P.P.6BQ5	4.000 + 4.000 ohm
P.P.EL41	3.500 + 3.500 ohm
P.P.EL86	1.750 + 1.750 ohm



Trasformatore di alimentazione, di tipo tradizionale, per amplificatori a valvole o apparecchi radio a valvole. Questo trasformatore è di tipo « corazzato », cioè completamente schermato, in modo che i campi elettromagnetici, generati dagli avvolgimenti, non interferiscano sugli altri componenti elettronici sistemati nelle vicinanze del trasformatore.

IL TRASFORMATORE PER CAMPANELLI

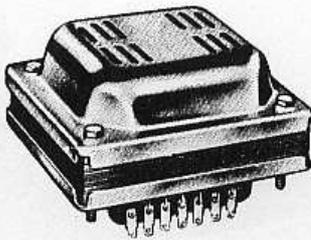
Il trasformatore più comune fra tutti e universalmente conosciuto anche dai non competenti è senza dubbio quello incorporato nelle suonerie elettriche per uso domestico.

Non potevamo certo dimenticare questo piccolo trasformatore, che merita una particolare menzione e che il principiante deve pur conoscere nella sua intima composizione.

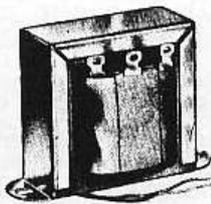
Il trasformatore per campanelli è composto da due avvolgimenti: quello sottoposto alla tensione di rete e quello che eroga la bassa tensione necessaria per il funzionamento del campanello elettrico. Anche in questo caso il primo avvol-



Speciale tipo di trasformatore di uscita per alta fedeltà. Per la tecnica di costruzione ed i materiali impiegati, esso può considerarsi il più perfetto trasformatore da utilizzare in apparati atti a riprodurre l'intero spettro audio con la minor distorsione possibile.



Tipico trasformatore di alimentazione montato nei vecchi televisori a valvole. Si noti la conformazione appiattita del componente, necessaria per lasciare ampio spazio al cinescopio dell'apparato televisivo.



Trasformatore di uscita per amplificatori o apparecchi radio a valvole con uscita in push-pull. L'avvolgimento primario, come si può notare nella foto, è munito di tre terminali.

gimento prende il nome di primario, il secondo prende il nome di avvolgimento secondario. L'avvolgimento primario, che è sottoposto ad una tensione relativamente elevata (220V), è percorso da una corrente di piccola intensità; l'avvolgimento secondario, i cui terminali sono sottoposti ad una tensione relativamente bassa (4-6-12 V), è percorso da una corrente elettrica relativamente elevata. Per questi motivi l'avvolgimento primario del trasformatore per campanelli è composto con filo conduttore molto sottile, mentre l'avvolgimento secondario è composto con filo di diametro relativamente elevato, allo scopo di poter sopportare la notevole intensità di corrente che lo percorre.

Il trasformatore per campanelli è composto di due elementi fondamentali: l'avvolgimento (in pratica due avvolgimenti realizzati su un cartoccio-supporto) e il nucleo ferromagnetico, che è composto da un pacco di lamierini di ferro dolce. Il compito del pacco lamellare è quello di incorporare i campi elettromagnetici, impedendone la dispersione nello spazio circostante. La forma del nucleo ferromagnetico, cioè del pacco lamellare, non viene stabilita a caso; essa riproduce in pratica il percorso delle linee di forza magnetiche generate dall'avvolgimento primario.

COLLEGAMENTO DI TRASFORMATORI

Gli avvolgimenti primari e quelli secondari dei trasformatori possono essere talvolta collegati tra di loro per un pratico adattamento alla tensione dell'avvolgimento primario e per ottenere valori diversi di tensione sull'avvolgimento secondario.

Ad esempio, possedendo un trasformatore munito di due avvolgimenti secondari, uno a 50 V e l'altro a 100 V, si possono collegare tra di loro i due avvolgimenti per ottenere una tensione risultante di 150 V. Si tratta di eseguire un collegamento in serie, che non può essere realizzato senza tener conto del senso di avvolgimento dei conduttori. Infatti, se nel punto di congiungimento di due terminali le due tensioni in essi presenti risultano di fase opposta, può accadere che i valori delle tensioni, anziché sommarsi tra di loro, si sottraggono, cioè invece di ottenere la tensione risultante di 150 V, può capitare di ottenere una tensione di 50 V ($100 - 50 = 50$ V). Questo stesso principio di collegamento tra avvolgimenti secondari di uno stesso trasformatore si estende anche al caso di due trasformatori separati, per i quali possono essere collegati tra loro gli avvolgimenti primari e quelli secondari. Se, per esempio, gli avvolgimenti secondari sono in grado di erogare tensioni di 200 V e 150 V, con il collegamento si potrà raggiungere il valore risultante di 350 V.

Questo tipo di collegamento rimane condizionato al tipo di avvolgimenti primari dei due trasformatori, che devono essere progettati per l'alimentazione con uno stesso valore di tensione di rete.