

## CAPITOLO VI

### AMPLIFICATORI CON TUBI A VUOTO

#### 58. Amplificatori di potenza e di tensione.

a) La maniera fondamentale secondo cui un segnale può essere amplificato a mezzo di un tubo a vuoto (paragr. 37) può essere applicata agli amplificatori con tubi a vuoto che debbono soddisfare i vari speciali requisiti dei trasmettitori e dei ricevitori. L'importanza dei circuiti amplificatori può essere desunta dalla loro larga varietà d'impiego nella radiotecnica.

1) Nei trasmettitori, la potenza a radiofrequenza generata dall'oscillatore è troppo piccola per poter effettuare trasmissioni soddisfacenti a lunga distanza; pertanto sono usati stadi di *amplificatori di potenza* a radiofrequenza per accrescere questa potenza al livello desiderato prima di trasmetterla all'antenna.

2) La tensione di uscita ad audiofrequenza di un microfono è troppo piccola per azionare lo stadio modulatore di un trasmettitore radiotelefonico; pertanto sono usati stadi *amplificatori di tensione* per accrescere l'uscita del microfono fino al valore richiesto per il funzionamento appropriato del modulatore.

3) I circuiti *amplificatori di tensione a radiofrequenza* sono usati nei ricevitori per accrescere l'intensità dei deboli segnali in arrivo, in modo da poter realizzare una rivelazione soddisfacente.

4) Gli stadi *amplificatori di tensione ad audiofrequenza* sono pure usati nei ricevitori per amplificare l'uscita ad audiofrequenza dello stadio rivelatore (onda) per ottenere un volume di suono più grande nella cuffia.

5) Se in un complesso ricevente è richiesto il funzionamento in altoparlante, l'uscita ad audiofrequenza dello stadio amplificatore sarà un *amplificatore di potenza ad audiofrequenza*.

b) Da questa discussione dei circuiti amplificatori, si può concludere che uno stadio amplificatore con tubi a vuoto, a radiofre-

quenza oppure, ad audiofrequenza, può essere classificato come un amplificatore di tensione o un amplificatore di potenza, a seconda dello scopo per il quale deve essere usato.

c) Gli *amplificatori di tensione* sono stadi amplificatori progettati per produrre un valore elevato della tensione-segnale amplificato ai capi di un carico nel circuito di placca. Per poter produrre il valore più grande possibile della tensione-segnale amplificata attraverso il carico di tale circuito, l'opposizione del carico alle variazioni di corrente di placca (cioè la sua resistenza, reattanza e impedenza) deve essere la più alta praticamente possibile.

d) Gli *amplificatori di potenza* sono amplificatori designati per erogare un grande importo di potenza sul carico del circuito di placca. In un amplificatore di potenza, non soltanto vi deve essere un forte valore di tensione d'uscita ai capi del carico, ma pure vi deve essere abbastanza corrente attraverso il carico, poichè la potenza è eguale al prodotto della tensione per la corrente.

e) Gli amplificatori di tensione e di potenza possono essere identificati dalle caratteristiche dei loro elementi del circuito di placca. Così, uno stadio amplificatore progettato per produrre una forte tensione-segnale amplificata attraverso un'alta impedenza è un amplificatore di tensione, mentre un amplificatore progettato per erogare una relativamente grande corrente di placca attraverso un carico di impedenza più bassa è un amplificatore di potenza. Benchè qualunque tubo a vuoto possa essere fatto operare come un amplificatore di tensione o di potenza, sono stati sviluppati certi tubi che si adattano meglio come amplificatori di tensione, mentre altri sono stati progettati per essere usati come amplificatori di potenza. Si hanno pertanto tubi denominati tubi amplificatori di tensione e tubi amplificatori di potenza.

f) In aggiunta ai due tipi di amplificatori ora discussi, è stata stabilita un'ulteriore classificazione sia per gli amplificatori di tensione che di potenza. Il funzionamento di tutti gli amplificatori con tubi a vuoto può essere classificato in base alla tensione di

polarizzazione applicata alle loro griglie e in base alla porzione di ciclo della tensione alternativa-segnale durante la quale fluisce la corrente di placca. Questi tipi di amplificazione sono chiamati classe *A*, classe *AB*, classe *B* e classe *C*.

### 59. Amplificatori in classe *A*

a) Se la griglia di un tubo amplificatore è polarizzata in modo che la corrente di placca fluirà durante l'intero ciclo della tensione alternativa-segnale applicata, il circuito è chiamato *amplificatore*

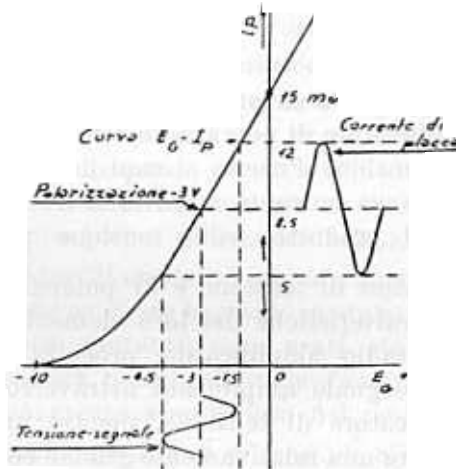


FIG. 91 - Funzionamento in classe *A*

in classe *A*. L'operazione in classe *A* di un tubo è illustrata graficamente dalla curva tensione di griglia-corrente di placca di figura 91. L'esame di questo grafico mostra che la corrente di placca fluisce sia durante i mezzi cicli positivi che durante i mezzi cicli negativi della tensione alternativa del segnale applicata alla griglia. Da notare che la curva  $E_G - I_P$  di figura 91 non è lineare sopra l'intera lunghezza, cioè, essa non è una linea retta. Affinchè si possa produrre una forma d'onda di corrente di placca che, per quanto possibile, sia una riproduzione esatta della forma d'onda

della tensione-segnale, il tubo deve essere polarizzato in modo da farlo lavorare nella porzione della caratteristica  $E_G - I_P$  (figura 91) che sia un tratto di linea retta.

b) Se la griglia del tubo è polarizzata non correttamente, per cui la tensione di griglia varia sopra una porzione non lineare della curva caratteristica, risulterà una forma d'onda distorta della corrente di placca (fig. 92). Poichè le variazioni di corrente

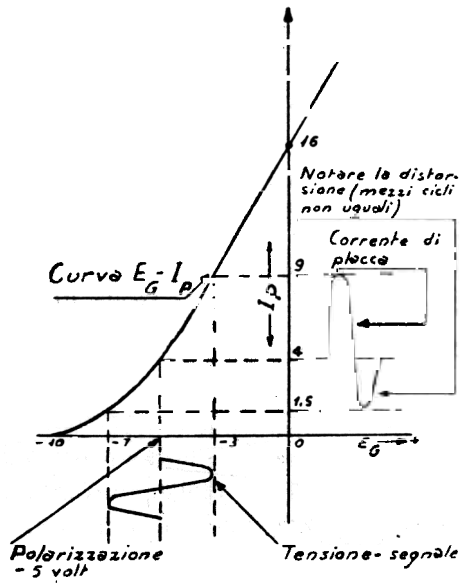


FIG. 92 - Distorsione in un amplificatore in classe A dovuta a polarizzazione non appropriata.

di placca che fluiscono attraverso il carico producono la tensione d'uscita nel circuito dell'amplificatore, una forma d'onda distorta della corrente di placca produrrà una tensione d'uscita distorta. È pertanto importante che la tensione di polarizzazione sia mantenuta al giusto valore negli stadi amplificatori in classe A, al fine di evitare la distorsione.

c) La distorsione avverrà pure in un amplificatore in classe A se è applicata alla griglia del tubo una tensione alternativa segnale

troppo grande e la tensione totale di griglia (tensione di polarizzazione più o meno la tensione segnale) varierà su porzioni lineari e non lineari della curva  $E_G - I_P$  (fig. 93).

d) La massima potenza di uscita che può essere ottenuta da un qualunque stadio amplificatore dipenderà dall'efficienza del circuito e dall'ammissibile dissipazione di placca a cui può essere

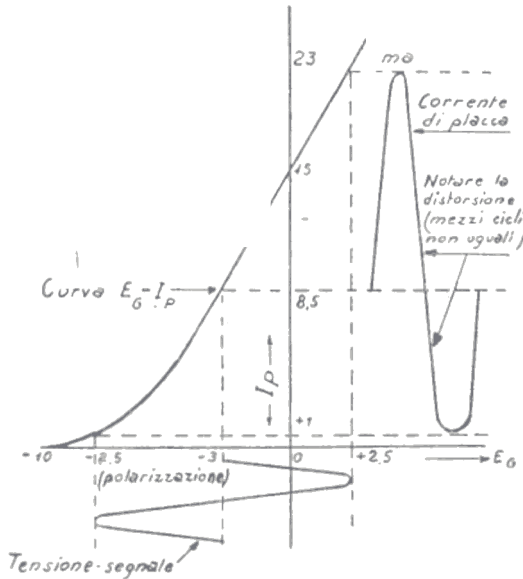


FIG. 93 - Distorsione in un amplificatore in classe A dovuta ad eccessiva tensione-segnale.

assoggettato il particolare tubo impiegato. Il rendimento di uno stadio amplificatore è il rapporto della potenza di uscita (la potenza alla frequenza del segnale disponibile sul carico) alla potenza d'ingresso di placca (tensione continua di placca moltiplicata per la componente continua della corrente di placca) espresso in per cento. Per esempio, se la potenza d'ingresso di placca in uno stadio amplificatore è 40 watt e la potenza d'uscita dello stadio è 10 watt, l'efficienza, o rendimento, dello stadio amplificatore è del 25 per cento. La dissipazione di placca o la potenza consumata dal cir-

cuito di placca di uno stadio amplificatore è la differenza fra la potenza d'ingresso e la potenza d'uscita. Così, nell'esempio sopradetto, la dissipazione di placca, sarebbe la differenza fra 40 e 10 watt; ossia 30 watt. Ciascun tipo di tubo è caratterizzato, fra l'altro, da un dato del listino di fabbrica che dà la massima dissipazione di placca a cui può essere assoggettato con sicurezza il tubo. Il rendimento di uno stadio amplificatore in classe *A* è compreso generalmente fra il 20 e il 25 per cento.

e) Praticamente, tutti gli stadi amplificatori dei radioricevitori, sia a radio che ad audiofrequenza, operano in classe *A*. Inoltre, gli stadi amplificatori della parola dei trasmettitori radiotelefonici (stadi audio impiegati per amplificare l'uscita ad audiofrequenza del microfono fino a raggiungere il livello del segnale d'ingresso appropriato per il modulatore) sono in classe *A*.

## 60. Amplificazione in classe *B*.

a) Se la griglia di un tubo amplificatore è polarizzata all'interdizione, per cui la corrente di placca fluirà soltanto durante i mezzi cicli positivi della tensione alternativa-segnale applicata, il circuito è chiamato *amplificatore in classe B*. La curva  $E_G - I_P$  di figura 94 dimostra la relazione fra tensione di griglia e corrente di placca in un tubo che funziona in classe *B*. Si può vedere dalla figura 94 che la corrente di placca fluisce soltanto durante i semicicli positivi della tensione alternativa-segnale applicata alla griglia, e, conseguentemente la forma d'onda della corrente di placca non riproduce la forma d'onda della tensione-segnale.

b) La tensione-segnale applicata alla griglia di un amplificatore in classe *B* è usualmente molto più grande, in valore, della tensione applicata alla griglia di uno stadio di classe *A*.

In effetti, la tensione-segnale applicata può essere così grande che, durante la parte dei mezzi cicli positivi, la griglia sia effettivamente fatta operare con una tensione positiva rispetto al catodo (fig. 94). Poichè la griglia, durante le punte positive della tensione-segnale applicata, è positiva rispetto al catodo, parte degli

elettroni saranno attratti dalla griglia e quindi fluirà corrente di griglia.

e) Per eliminare la forte distorsione presente all'uscita di un tubo singolo, o a terminazione singola, dello stadio amplificatore in classe *B*, due tubi possono essere così disposti da costituire un circuito amplificatore in « push-pull » (vedere fig. 95). Un tubo opererà durante il primo mezzo ciclo della tensione alternativa-

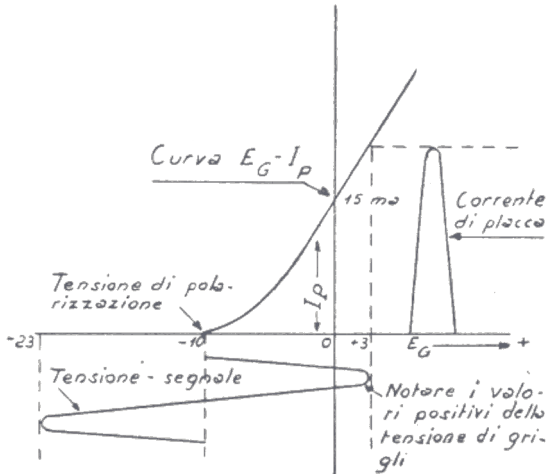


FIG. 94 - Funzionamento in classe *B*.

segnale, e l'altro tubo opererà durante il secondo mezzo ciclo. L'azione del circuito di griglia un « push-pull » di figura 95 è simile a quella del circuito rettificatore ad onda completa. Poichè la corrente di placca fluisce in un tubo soltanto durante un mezzo ciclo e nell'altro tubo durante il successivo mezzo ciclo, le forme d'onda della corrente di placca dei due tubi possono essere combinate nel circuito di carico. Il circuito di carico di figura 95 è il primario a presa centrale di un trasformatore d'uscita a push-pull. Poichè le correnti di placca di questi due tubi fluiscono in direzioni opposte attraverso le loro rispettive metà dell'avvolgimento del trasformatore, un tubo genererà una tensione attraverso il

primario del trasformatore durante un mezzo ciclo. Durante il successivo mezzo ciclo, l'altro tubo genererà una tensione di polarità opposta attraverso l'avvolgimento.

La figura 96 mostra la tensione sviluppata attraverso l'avvolgimento primario del trasformatore di ciascun tubo e la tensione

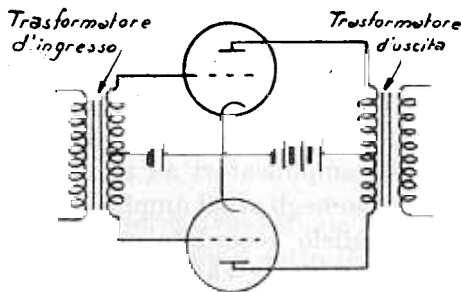


FIG. 95 - Circuito amplificatore in push-pull.

risultante attraverso il secondario del trasformatore, dovuta alla combinazione delle tensioni durante il ciclo completo della tensione-segnale. Così, usando due tubi in « push-pull » è possibile ottenere una tensione d'uscita ragionevolmente non distorta da un amplificatore in classe *B*.

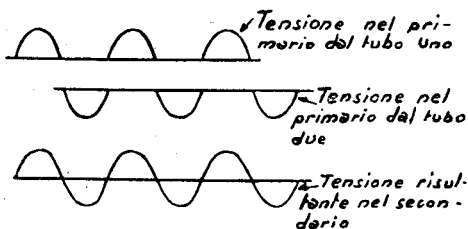


FIG. 96 - Uscita di un amplificatore in push-pull in classe *B*.

d) Gli amplificatori in classe *B* hanno un'efficienza che varia dal 50 al 60 per cento, il che significa un valore ridotto di dissipazione di placca, ed un'accresciuta potenza d'uscita per una data potenza d'ingresso. Essi sono generalmente usati dove è desiderato



di sviluppare una potenza di uscita relativamente grande nel circuito di carico.

Gli amplificatori in classe *B* a tubo singolo non sono mai usati per amplificazione ad audiofrequenza, dato che l'uscita di un tubo singolo è distorta. Invece i « push-pull » in classe *B*, costituiscono i circuiti amplificatori ad audiofrequenza largamente usati negli stadi modulatori dei trasmettitori radiotelefonici. Essi sono pure occasionalmente usati negli stadi di potenza di uscita dei radioricevitori.

e) Benchè l'amplificatore in classe *B* a tubo singolo non sia mai usato nei circuiti amplificatori ad audiofrequenza, esso può essere usato con successo negli stadi amplificatori a radiofrequenza aventi un circuito parallelo accordato come carico di placca. Il circuito accordato parallelo è chiamato qualche volta circuito serbatoio, data la sua attitudine ad immagazzinare potenza. Quando esso è usato come carico di placca di uno stadio amplificatore in classe *B* a terminazione singola, il condensatore nel circuito parallelo accordato sarà caricato dalla tensione d'uscita prodotta dal flusso della corrente di placca attraverso il carico di mezzi cicli positivi. Benchè non fluisca corrente attraverso il tubo nei mezzi cicli negativi della tensione-segnale applicata, il condensatore si scaricherà sull'induttore durante questo periodo e così alimenterà il mezzo ciclo mancante nella tensione d'uscita. Questo così chiamato effetto volano del circuito serbatoio, si verificherà soltanto quando la frequenza risonante del circuito accordato parallelo è uguale alla frequenza della tensione-segnale applicata. L'amplificatore in classe *B* a radiofrequenza, sia a terminazione singola che a « push-pull », è usato negli stadi a radiofrequenza dei radiotrasmettitori.

## 61. Amplificazione in classe *AB*.

a) È possibile un compromesso fra la *fedeltà* (bassa distorsione) di un'amplificazione in classe *A* e la relativa alta efficienza del funzionamento in classe *B*, polarizzando il circuito amplificatore

in modo da operare secondo una via intermedia fra la classe  $A$  e la classe  $B$ . Questo tipo di funzionamento è detto in classe  $AB$ .

b) Nel polarizzare un tubo in modo intermedio a quello delle classi  $A$  e  $B$ , il tubo non opererà lungo l'intera porzione lineare della sua curva  $E_G - I_P$  e pertanto sarà presente nell'uscita qualche distorsione. Per questa ragione i circuiti amplificatori in push-pull sono generalmente usati come amplificatori ad audiofrequenza, in classe  $AB$ . Poichè l'amplificazione in classe  $AB$  è meno efficiente sia dell'amplificazione in classe  $B$  che di quella in classe  $C$ , essa è raramente usata nei circuiti amplificatori a radiofrequenza.

c) Se la tensione alternativa-segnale applicata ad un amplificatore in classe  $AB$  è mantenuta sotto il punto in corrispondenza del quale si ha la corrente di griglia, l'operazione risultante è chiamata *amplificazione in classe  $AB_1$* . Se invece la tensione-segnale applicata è abbastanza grande da provocare un flusso di corrente di griglia durante le punte positive del ciclo della tensione-segnale, il funzionamento risultante è chiamato *amplificazione in classe  $AB_2$* .

## 62. Amplificazione in classe $C$

a) Se la polarizzazione applicata alla griglia di uno stadio amplificatore è apprezzabilmente più grande del valore d'interdizione, l'amplificazione è chiamata in classe  $C$ . Il funzionamento di un tale tubo è mostrato dalla curva  $E_G - I_P$  di figura 97. Da notare che in questo caso la tensione polarizzante è  $-20$  volt, ossia doppia del valore d'interdizione; l'uso di una polarizzazione doppia di quella d'interdizione è di pratica comune in molti amplificatori in classe  $C$ . La curva mostra che la corrente di placca fluirà soltanto durante quella porzione del mezzo ciclo positivo della tensione alternativa-segnale applicata che è numericamente più grande della tensione d'interdizione del tubo; cioè la corrente di placca fluisce soltanto durante le punte positive della tensione-segnale applicata. La curva mostra pure che la tensione alternativa-segnale applicata deve eccedere di molto la tensione d'interdizione

affinchè si possa produrre un forte valore di flusso di corrente di placca.

b) Quasi tutti i circuiti degli amplificatori a radiofrequenza usati nei trasmettitori radio operano in classe *C*. I circuiti paralleli accordati impiegati come carichi di placca per gli amplificatori in classe *C* forniscono lo stesso effetto volano come per gli amplificatori di classe *B*. Il vantaggio del funzionamento in classe *C* è che esso ha un'alta efficienza; rendimenti così elevati come il 75

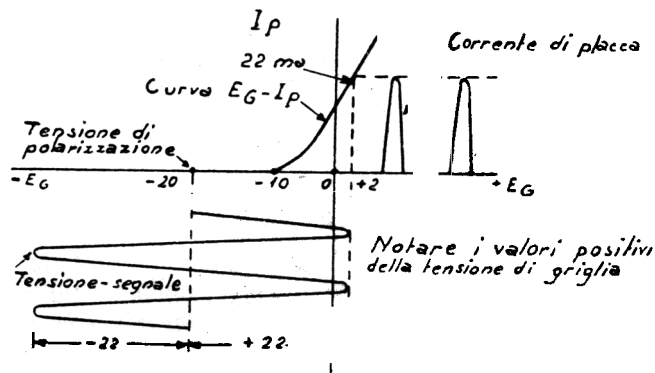


FIG. 97 - Funzionamento in classe *C*.

per cento sono possibili negli amplificatori a radiofrequenza in classe *C*. L'operazione in classe *C* non è mai usata negli amplificatori ad audiofrequenza, dato l'alto grado di distorsione di questi circuiti.

### 63. Accoppiamento fra gli stadi.

a) Uno qualunque dei metodi di accoppiamento descritti nei paragrafi dal 27 al 30, può essere usato per accoppiare il circuito di uscita di uno stadio amplificatore al circuito d'ingresso dello stadio successivo. Tre tipi di accoppiamento fra gli stadi sono mostrati nel circuito di figura 98. In questo circuito, gli elementi  $Z_1$  sono i carichi di placca per i rispettivi tubi, la polarizzazione catodica ( $R_c$ ) è usata per tutti e quattro i tubi, e la tensione-alterna-

tiva-segnale d'ingresso è indicata da  $E_G$ . Tutte e tre queste forme di accoppiamento fra gli stadi sono largamente usate nei circuiti ad audiofrequenza sia dei trasmettitori che dei ricevitori. La forma più comune di accoppiamento trovata nei circuiti amplificatori a radiofrequenza dei ricevitori è l'accoppiamento a trasformatore, mentre nei circuiti a radiofrequenza dei trasmettitori sono largamente usati sia l'accoppiamento ad impedenza che quello a trasformatore.

b) Il primo stadio del circuito di figura 98 è accoppiato a resistenza al secondo stadio, giacchè la tensione-segnale amplificata è sviluppata ai capi di un resistore nel circuito di placca. Questa

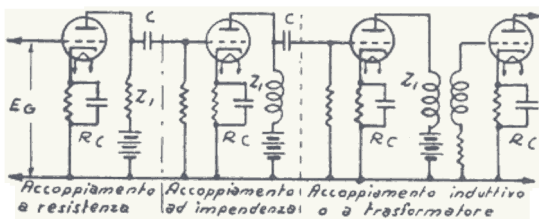


Fig. 98 - Tre tipi di accoppiamento fra gli stadi.

tensione-segnale è applicata alla griglia del secondo stadio, attraverso il condensatore di blocco (qualche volta chiamato condensatore d'accoppiamento) indicato con  $C$  nel disegno. Il resistore nel circuito di griglia del secondo stadio fornisce un cammino per la polarizzazione applicata alla griglia. Poichè il condensatore di blocco gioca una parte importante nel funzionamento di questo circuito, questo tipo di accoppiamento è qualche volta chiamato *accoppiamento a resistenza e capacità*. Poichè il condensatore di blocco fa passare le correnti alternative, esso applica la tensione-segnale amplificata sviluppata ai capi del resistore  $Z_1$  al circuito di griglia dello stadio successivo. Nello stesso tempo esso blocca il flusso di corrente continua dal circuito di placca del primo stadio al circuito di griglia del secondo stadio. Se questo condensatore si perforasse o avesse delle dispersioni, parte, o tutta, della tensione continua applicata alla placca del primo stadio apparirebbe

sulla griglia del secondo, cancellando una parte, o tutta, la tensione di polarizzazione negativa applicata a questo tubo, causando così distorsione nella sua uscita. Un condensatore di blocco che presenta delle dispersioni, può pertanto essere una sorgente di distorsione in un circuito amplificatore.

c) L'accoppiamento fra il circuito di placca del secondo tubo ed il circuito di griglia del terzo tubo (fig. 98) è simile nel funzionamento all'accoppiamento fra il primo ed il secondo tubo, ad eccezione che un induttore avente un altro valore di reattanza alla frequenza del segnale è usato come carico di placca. La funzione del condensatore di blocco è la stessa sia per l'accoppiamento a resistenza che per quello ad impedenza o induttanza.

d) Un trasformatore è usato per accoppiare l'uscita del terzo tubo all'ingresso del quarto tubo nel circuito di figura 98. Il primario di questo trasformatore è il carico di placca per il terzo tubo, mentre la tensione-segnale applicata alla griglia del quarto tubo è sviluppata attraverso il secondario di questo trasformatore. Se il trasformatore ha più spire nel secondario di quelle che ha nel primario, la tensione-segnale applicata alla griglia del quarto tubo sarà proporzionalmente più grande della tensione-segnale sviluppata attraverso il suo primario. Così è ottenuta un'amplificazione di tensione a mezzo dell'impiego del trasformatore di accoppiamento nei circuiti degli amplificatori.

e) In generale, la sola differenza fra i metodi di accoppiamento usati nei circuiti degli amplificatori ad audiofrequenza e quelli usati nei circuiti degli amplificatori a radiofrequenza è data dall'impiego dei circuiti accordati. Il circuito di figura 99 mostra un circuito amplificatore a radiofrequenza accoppiato con impedenza accordata; i carichi di placca per i due tubi sono i circuiti parallelo accordati formati da  $L_1$  e  $C_1$  e da  $L_2$  e  $C_2$  rispettivamente. Un circuito amplificatore a radiofrequenza (a due stadi) con trasformatore d'accoppiamento ad accordo singolo è mostrato nella figura 100; questo circuito è tipico di quelli trovati nel maggior numero di radioricevitori. La figura 101 mostra l'impiego del trasformatore a doppio accordo di accoppiamento fra due stadi

di amplificazione e radiofrequenza. Questo circuito ha il vantaggio di fornire un'alta selettività ed un alto guadagno (amplificazione) alla frequenza per il quale esso è accordato. Da notare che nei circuiti delle figure 99, 100 e 101, sono state usate batterie comuni a due stadi per fornire sia la polarizzazione negativa di griglia che la tensione di placca positiva per i tubi.

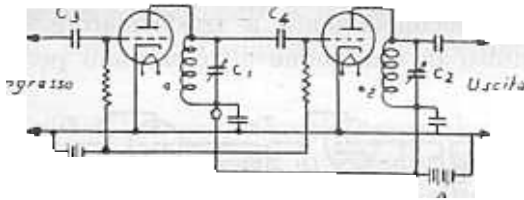


FIG. 99 - Circuito amplificatore a radiofrequenza con accoppiamento ad impedenza accordata.

f) Una delle principali considerazioni relativa al trasformatore d'accoppiamento degli amplificatori di potenza ad audiofrequenza è quella che dovrebbe verificarsi piccolissima distorsione o mancare del tutto. L'impiego di un circuito in « push-pull » riduce

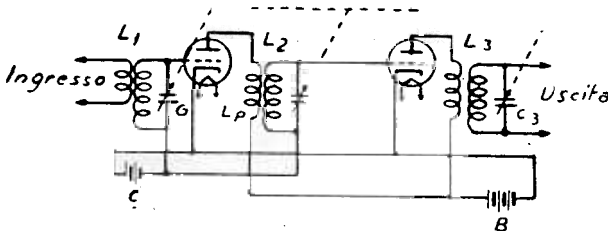


FIG. 100 - Circuito amplificatore a radiofrequenza con accoppiamento a trasformatore accordato.

grandemente la distorsione nei circuiti degli amplificatori ad audiofrequenza. Per questa ragione, il « push-pull » è largamente usato nei circuiti degli amplificatori di potenza ad audiofrequenza dei trasmettitori e ricevitori radio. Negli amplificatori in classe A, l'impiego del circuito in « push-pull » permette l'applicazione di una tensione-segnale per tubo considerevolmente più alta, per un dato

importo di distorsione nell'uscita, di quella che sarebbe possibile negli amplificatori a terminazione singola. L'impiego dei circuiti in « push-pull » è richiesto nelle classi  $AB$  e  $B$  degli amplificatori ad audiofrequenza per avere bassa distorsione nella tensione d'uscita.

Un trasformatore a presa centrale è il mezzo più conveniente per fornire da un unico stadio due tensioni, eguali in ampiezza ma di fase opposta, alle due griglie di un circuito amplificatore a « push-pull ». L'accoppiamento a trasformatore è pertanto più largamente usato in qualunque altro metodo per questo scopo.

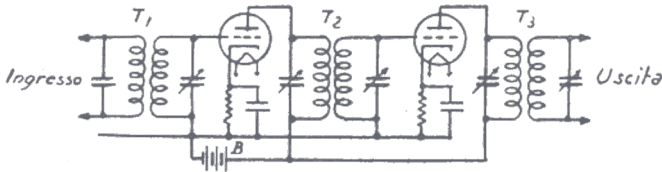


FIG. 101 - Circuito amplificatore a radiofrequenza con accoppiamento a trasformatore ad accordo doppio

g) Nei circuiti degli amplificatori in classe  $AB_2$  e in classe  $B$  vi è un altro e più importante requisito per il quale necessita l'uso di un trasformatore d'accoppiamento. Il maggior numero dei tubi intesi per essere impiegati come amplificatori di potenza sono così progettati che le loro griglie possono essere fatte funzionare ad una tensione positiva nel circuito amplificatore in « push-pull » senza provocare distorsione.

Se una tensione positiva è applicata alla griglia di un tubo; esso assorbirà un certo importo di corrente di griglia, poichè degli elettroni saranno attirati dalla griglia. Se il circuito di griglia di un tubo che assorbe corrente contiene un forte valore di resistenza, la corrente di griglia attraversando questa resistenza produrrà una tensione di polarizzazione, per effetto dell'azione di dispersione di griglia della resistenza. Poichè questa tensione sarebbe applicata alla griglia in aggiunta a qualunque valore di polarizzazione che è applicato nel circuito, essa varierebbe le caratteristiche di funzionamento del circuito, ridurrebbe la potenza d'uscita e causerebbe distorsione. I circuiti degli amplificatori sia della classe

$AB_2$ , che della classe  $B$  sono usualmente fatti funzionare in modo che essi assorbano corrente di griglia quando sono applicate delle forti tensioni-segnale. La resistenza del circuito di griglia di tali amplificatori, deve essere pertanto mantenuta piccola onde poter impedire lo sviluppo di indesiderabili tensioni di polarizzazione aggiuntive. La bassa resistenza presentata dagli avvolgimenti di un trasformatore soddisfa a questi requisiti. Conseguentemente il trasformatore d'accoppiamento è sempre usato per i circuiti amplificatori di potenza ad audiofrequenza operanti nelle classi  $AB_2$  e  $B$ .

*h)* Se le griglie di uno stadio amplificatore assorbono corrente, esse richiedono un certo importo di potenza dalla sorgente del segnale. Per potere ottenere il massimo trasferimento di potenza del circuito di placca del precedente stadio, usualmente chiamato lo stadio eccitatore, l'impedenza di uscita di questo stadio deve essere adattata all'impedenza d'ingresso del circuito amplificatore in « push-pull ». Questo requisito, in questo tipo di amplificatore ad audiofrequenza è soddisfatto in modo più conveniente ed efficiente a mezzo di un trasformatore d'accoppiamento.

#### 64. Controllo del guadagno negli amplificatori a radiofrequenza.

*a)* È stato mostrato in precedenza [par. 37-*e*] che il guadagno, o amplificazione, di un triodo può essere controllato convenientemente variando la tensione di polarizzazione applicata alla sua griglia. Questo metodo di controllo del guadagno è usato più frequentemente di qualunque altro metodo nei circuiti degli amplificatori a radiofrequenza.

*b)* Per un *controllo manuale* del guadagno di un amplificatore a radiofrequenza, la resistenza della polarizzazione catodica è spesso costituita da un resistore fisso e da un resistore variabile connessi in serie. Il resistore fisso è del valore corretto per fornire la polarizzazione del tubo per la sua amplificazione massima. Il resistore variabile può essere posto ad un valore che va da zero a quel valore di resistenza richiesta per la tensione di interdizione.



Questo sistema fornisce un metodo conveniente per aggiustare il guadagno del circuito a qualunque desiderato valore.

c) Per un controllo automatico di volume, la tensione negativa di polarizzazione di griglia aggiuntiva può essere fornita agli stadi degli amplificatori a radiofrequenza di un ricevitore dal resistore di carico del diodo nel circuito del rivelatore. La tensione negativa sviluppata ai capi del resistore, sarà proporzionale alla tensione-segnale applicata al rivelatore dell'amplificatore a radiofrequenza. La polarizzazione di griglia aggiuntiva applicata ai tubi dell'amplificatore a radiofrequenza tenderà così a mantenere ad un valore costante il livello del segnale applicato al rivelatore e, conseguentemente, si avrà la stessa costanza nell'uscita del rivelatore. I circuiti e l'applicazione del controllo automatico di volume saranno discussi in dettaglio nei capitoli relativi ai radiorecettori.

## 6 Controllo di guadagno degli amplificatori ad audiofrequenza.

a) Il metodo più popolare di controllo di volume per i circuiti ad audiofrequenza, consiste nell'impiego di un potenziometro, come resistore di griglia di un amplificatore con tubo a vuoto (fig. 102). Poichè la tensione-segnale è applicata attraverso questo

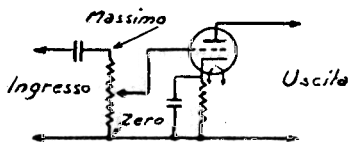


Fig. 102 - Circuito semplice per il controllo di volume.

resistore variabile, la posizione della presa variabile sul resistore determinerà il valore della tensione-segnale applicata alla griglia e, conseguentemente, l'uscita dell'amplificatore.

b) Il controllo automatico di volume è raramente applicato ai circuiti dell'amplificatore ad audiofrequenza, poichè è generalmente più conveniente eseguire il controllo del guadagno di un radiorecettore nei circuiti dell'amplificatore a radiofrequenza che precedono il rivelatore.

## 66. Distorsione.

a) La distorsione di un amplificatore può essere classificata grosso modo in tre varietà: distorsione di frequenza, distorsione non lineare e distorsione di fase (o ritardo). La distorsione di frequenza ha origine per effetto della non abilità dell'amplificatore ad amplificare ugualmente tutte le frequenze. La distorsione non lineare è una conseguenza del funzionamento sopra una porzione curva (non lineare) della caratteristica dei tubi, per cui sono introdotte delle armoniche o frequenze multiple. La distorsione di fase risulta dagli effetti della trasmissione di frequenze differenti a velocità differenti, dando così nell'uscita uno spostamento di fase relativo lungo lo spettro di frequenza. Ad eccezione che nelle ultra alte frequenze o nelle linee di trasmissione, gli effetti della distorsione di ritardo sono usualmente insignificanti. La distorsione di frequenza negli amplificatori a radiofrequenza dei trasmettitori è ordinariamente di piccola importanza, poichè questi amplificatori operano soltanto su una gamma di frequenze relativamente stretta.

b) Negli amplificatori a radiofrequenza dei ricevitori sono impiegati vari dispositivi di compensazione per ottenere un responso uniforme ad una banda di frequenze. La figura 103 illustra una di tali disposizioni di compensazione. Un avvolgimento primario di alta induttanza  $P$ , lascamente accoppiato al secondario  $S$  risona (per effetto della autocapacità) ad una frequenza più bassa della più bassa frequenza per il quale l'amplificatore deve funzionare. Questo fatto permette un alto guadagno all'estremità bassa della banda di frequenze, per effetto dell'alta impedenza del carico di placca alle frequenze più basse. La piccola capacità  $C_1$  dovuta alla spira di filo agganciata attorno alla sommità del secondario, provvede ad aumentare l'accoppiamento alle più alte frequenze migliorando così il responso all'estremità superiore della banda.

c) La distorsione che si genera quando un tubo a vuoto funziona sopra una porzione non lineare della sua caratteristica, con-

siste principalmente in frequenze multiple (armoniche) e frequenze somma e differenza corrispondenti a ciascuna frequenza presente nel segnale originale. Supponiamo, per esempio, che il segnale di ingresso di un amplificatore a radiofrequenza non lineare sia composto di tre frequenze: 500.000; 501.000 e 501.025 cicli. L'uscita contiene allora, in aggiunta alle tre frequenze originali, le seguenti frequenze di distorsione:

- 1) Armoniche: 1.000.000; 1.500.000  
1.002.000; 1.503.000  
1.002.050; 1.503.075
- 2) Frequenze somma: 1.001.000; 1.001.025; 1.002.025
- 3) Frequenze differenza: 1.000; 1.025; 25.

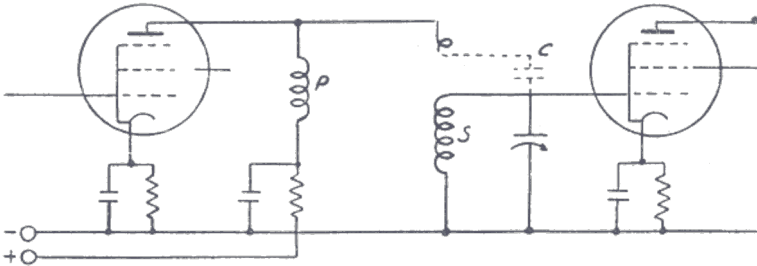


Fig. 103 - Disposizione speciale del circuito in un amplificatore a radiofrequenza per ottenere una risposta uniforme sopra una banda di frequenza.

d) L'azione filtrante di un circuito risonante parallelo, in un circuito di placca di un amplificatore, che è accordato 500.000 cicli minimizza gli effetti di tutte queste componenti di distorsione. Il grado di questa soppressione delle frequenze componenti di distorsione può essere controllato a mezzo di un'appropriata progettazione del circuito accordato. A frequenze molto lontane dalla frequenza di risonanza, il circuito parallelo offre essenzialmente l'impedenza della branca di più bassa impedenza. In un circuito accordato a 500.000 cicli, l'impedenza offerta alla corrente di 1.000.000 di cicli è praticamente quella della sola capacità e l'impedenza offerta alle correnti di 1.000 cicli è praticamente quella della sola induttanza. Così, un basso rapporto da  $L$  a  $C$

minimizza le tensioni sviluppate ai capi del circuito parallelo alle frequenze di distorsione. L'accoppiamento con cappio intermedio d'accoppiamento (fig. 104) è usato qualche volta per trasferire l'energia fra due circuiti accordati. Questo elimina accoppiamenti occasionali fra i due circuiti, dovuti alla capacità distribuita delle spire ed elimina pure il trasferimento di armoniche da un circuito all'altro.

e) In un amplificatore ad audiofrequenza le frequenze di distorsione coprono generalmente le frequenze del segnale desiderate, cosicchè non è possibile il filtraggio. Negli amplificatori ad audiofrequenza, occorre prevenire più che curare. Il funzionamento in classe *A* è una soluzione. Le disposizioni in «push-pull» sono di ulteriore assistenza.

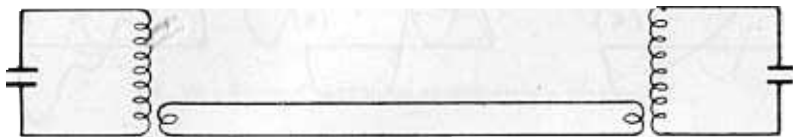


FIG. 104 - Circuiti accordati accoppiati ad anello.

f) Delle frequenze armoniche, la seconda è usualmente quella predominante. Le rimanenti sono ordinariamente deboli. E dannosa la seconda armonica (come pure le altre armoniche di ordine pari) che è assente nell'uscita di un amplificatore a «push-pull». Che questo sia vero, può essere visto considerando le curve di figura 105. Qui (1) rappresenta una frequenza segnale fondamentale (prima armonica); (2) e (3) sono curve di frequenza multipla, rispettivamente seconda e terza armonica del segnale. La curva spessa di (4) è ottenuta addizionando la fondamentale (1) e la seconda armonica (2). La curva spessa di (5) è ottenuta addizionando la fondamentale (1) e la terza armonica (3). La fondamentale, la seconda armonica e la terza armonica sono composte per dare la curva spessa di (6). La risultante in (5) è tale che se il mezzo ciclo negativo della curva è spostato lungo l'ascissa (asse orizzontale), così da porsi direttamente sotto il mezzo ciclo positivo,

allora il mezzo ciclo negativo rappresenta l'immagine speculare del mezzo ciclo positivo rispetto all'ascissa. Può essere mostrato che qualunque combinazione di armoniche di ordine dispari possiede questa stessa simmetria; per di più, qualunque onda risultante formata da una combinazione di armoniche e possedente questa simmetria, non può contenere armoniche di ordine pari. Nel funzionamento in « push-pull », i due tubi scambiano i loro ruoli durante le semialternanze cosicchè se la curva a tratti di figura 106

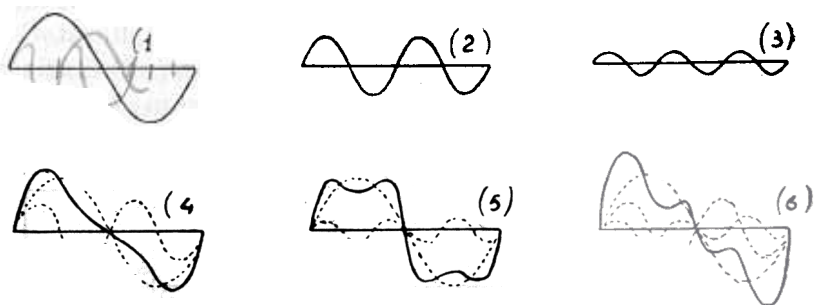


Fig. 105 - Analisi della distorsione armonica. — (1) Fondamentale. — (2) Seconda armonica. — (3) Terza armonica. — (4) Fondamentale più seconda armonica. — (5) Fondamentale più terza armonica. — (6) Fondamentale più seconda e terza armonica

rappresenta l'uscita di un tubo, la curva a punti della stessa figura rappresenta l'uscita del tubo gemello. La dissimmetria nella forma d'onda d'uscita di ciascun singolo tubo indica un definito contenuto di armoniche pari, laddove la simmetria della forma d'onda combinata mostra la completa assenza di qualunque armonica di ordine pari.

g) Il funzionamento in « push-pull » serve a diminuire la distorsione anche in altri modi:

1) Le correnti continue presenti nelle due metà del primario del trasformatore d'uscita, si bilanciano l'una con l'altra nei loro effetti magnetici, cosicchè il nucleo non può essere saturato con corrente continua (la saturazione è uno stato di magnetizzazione del nucleo dovuto a correnti ragionevolmente intense, per

cui un ulteriore aumento nella corrente produce soltanto un piccolo aumento nell'induzione magnetica).

2) Le componenti alternative del potenziale di alimentazione di placca, che sono dovute al filtraggio incompleto, non producono effetto nell'uscita del secondario del trasformatore, poichè i potenziali così sviluppati attraverso il primario si bilanciano l'un con l'altro. Data la difficoltà di ottenere un perfetto bilanciamento,

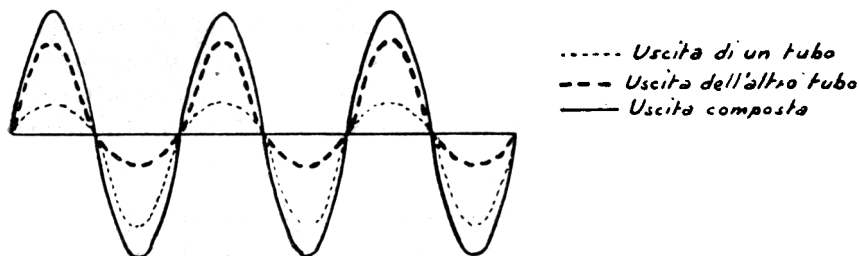


FIG. 106 - Forme d'onda in un amplificatore a push-pull.

particolarmente nei tubi, le possibilità complete degli amplificatori in « push-pull » sono raramente realizzate in pratica. Tuttavia, in condizioni di bilanciamento moderatamente buone, l'amplificatore in « push-pull » offre un definito miglioramento in qualità rispetto al corrispondente amplificatore a terminazione singola.

h) In un trasmettitore, per raddoppiare la frequenza, alle radiofrequenze, è deliberatamente favorita la distorsione armonica in un amplificatore a terminazione singola operante su un circuito  $LC$  accordato appropriatamente.