

CAPITOLO IV

AMPLIFICAZIONE

12. Generalità sugli amplificatori.

Un amplificatore è, generalmente parlando, un quadripolo, rappresentato graficamente da un rettangolo con 4 morsetti, fig. 30): fra due di questi, che si chiamano morsetti di entrata, viene applicata la tensione da amplificare, detta tensione di entrata V_e , fra gli altri due morsetti di uscita è collegato un carico al quale è applicata la tensione di uscita V_u . In certi

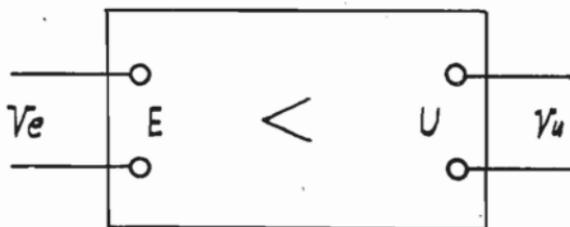


Fig. 30. — Rappresentazione grafica di un amplificatore.

amplificatori l'obiettivo principale è di sviluppare una tensione di uscita maggiore di quella di entrata, tali amplificatori si chiamano amplificatori di tensione e per essi si determina il rapporto fra la tensione d'uscita V_u e la tensione di entrata V_e , rapporto che si chiama amplificazione di tensione o guadagno di tensione, più semplicemente amplificazione o guadagno. Indicandolo con G si ha: $G = V_u/V_e$.

La definizione di guadagno presuppone implicitamente la proporzionalità fra la tensione d'uscita e quella d'entrata: essa va mantenuta perfettamente proporzionale entro certi limiti.

Altri tipi di amplificatori debbono fornire una determinata potenza all'uscita e si chiamano amplificatori di potenza. Per

essi si può parlare di amplificazione di potenza intesa come il rapporto fra la potenza d'uscita e la potenza fornita all'ingresso dell'amplificatore. Tale rapporto è scarsamente significativo e viene attribuita maggiore importanza al rendimento ed alla così detta sensibilità di potenza.

Il rendimento è relativo alla potenza d'uscita che si ottiene a spese della batteria di alimentazione delle valvole dell'amplificatore, in particolare ha importanza il rapporto tra la potenza d'uscita P_u e la potenza P_c , in corrente continua, fornita dalla batteria anodica. Indicando con η (eta) questo rapporto si ha: $\eta = P_u/P_c$.

Un'ulteriore classificazione degli amplificatori può essere fatta rispetto all'estensione della gamma delle frequenze di lavoro. Un amplificatore aperiodico dovrebbe essere in grado di amplificare uniformemente segnali di qualunque frequenza. Un tale amplificatore non esiste ma si hanno amplificatori la cui uscita può essere uniforme per segnali di frequenze comprese entro vaste gamme (amplificatori a larga banda).

Viceversa un amplificatore selettivo (a banda stretta) amplifica solo segnali la cui frequenza è compresa entro un ristretto intervallo (generalmente amplificatori a radiofrequenza).

I termini banda larga e stretta, vanno messi in relazione non con la differenza fra le frequenze esterne della banda di lavoro, ma con il rapporto fra questa e la frequenza media di lavoro. Ad es., un amplificatore la cui gamma di funzionamento si estenda da 100 a 10 000 Hz è a banda larga, un amplificatore la cui gamma di funzionamento si estenda da 1000 a 1010 kHz è selettivo. Una categoria particolare è costituita dai cosiddetti videoamplificatori usati in televisione, la cui banda di funzionamento è estesissima, da 30 Hz a 5 MHz.

Un amplificatore è normalmente costituito da più stadi amplificatori, cioè da più valvole che sono fatte lavorare in modo che la prima amplifichi la tensione all'entrata e l'applichi alla seconda, che provveda ad un'ulteriore amplificazione, e così via di seguito. I singoli stadi di un amplificatore possono essere classificati secondo il modo con cui le valvole sono fatte lavorare: si hanno così le classi di amplificazione *A*, *B* e *C*.

13. Retta di carico e caratteristica mutua dinamica.

I parametri hanno teoricamente i valori ottenuti dalle relative formule.

Con lo schema di fig. 17 c) non si utilizza la valvola ma si rilevano solo le sue caratteristiche; le variazioni di corrente anodica che si verificano durante le misure non sono utilizzate per alcuno scopo.

Per utilizzare una valvola, cioè per far uso delle variazioni della sua corrente anodica, occorre inserire nel suo circuito anodico un'impedenza di carico che può essere costituita da una semplice resistenza o da una impedenza vera e propria (un circuito comprendente induttanza, capacità e resistenza).

Si consideri il caso di un carico resistivo e realizzato il circuito di fig. 31), si ricavano le caratteristiche anodica e mutua

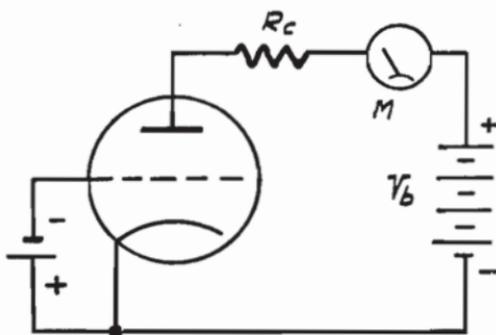


Fig. 31. — Resistenza di carico anodico.

nelle volute condizioni di funzionamento. Per la costruzione della retta di carico, relativa alle variazioni di tensione sull'anodo per la presenza di R_c , si fa uso della famiglia di caratteristiche anodiche. Scelto un valore del carico R_c e della tensione di alimentazione anodica, si comincia con l'individuare sull'asse delle ascisse il punto V_b , corrispondente alla tensione di alimentazione (corrente anodica 0), fig. 32), e sull'asse delle ordinate il punto Y corrispondente al valore della corrente che si ottiene applicando la tensione di alimentazione alla sola resistenza di carico (tensione anodica 0). Questi due punti

V_b e Y vanno collegati con una retta detta retta di carico; l'inclinazione, o pendenza di questa retta, dipende dal valore del carico stesso.

I due punti suddetti corrispondono a condizioni estreme di funzionamento della valvola. Il punto V_b sull'ascisse indica

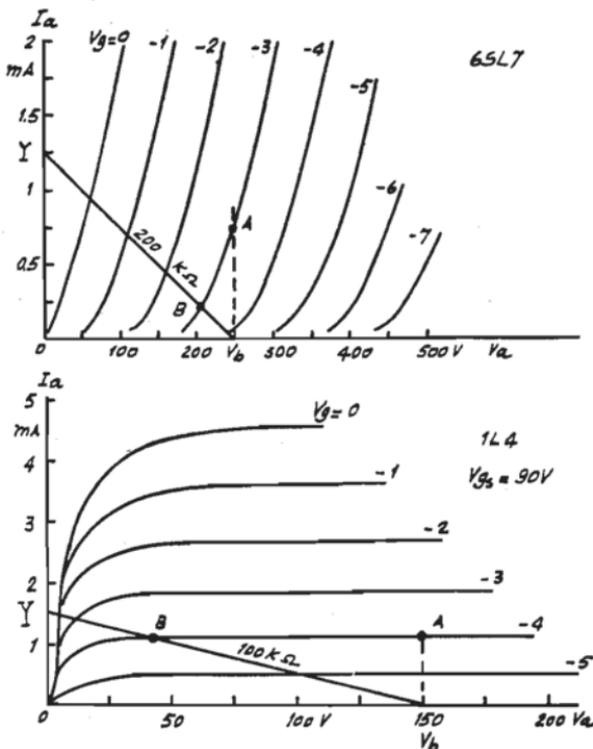


Fig. 32. — Rette di carico di un triodo e di un pentodo.

che alla valvola è applicata una polarizzazione così elevata da interdire la corrente anodica, quindi sull'anodo si ha la stessa tensione della batteria di alimentazione V_b . Il punto Y sull'asse delle ordinate corrisponde alla condizione di massima conducibilità della valvola per cui la sua resistenza interna può essere ritenuta trascurabile.

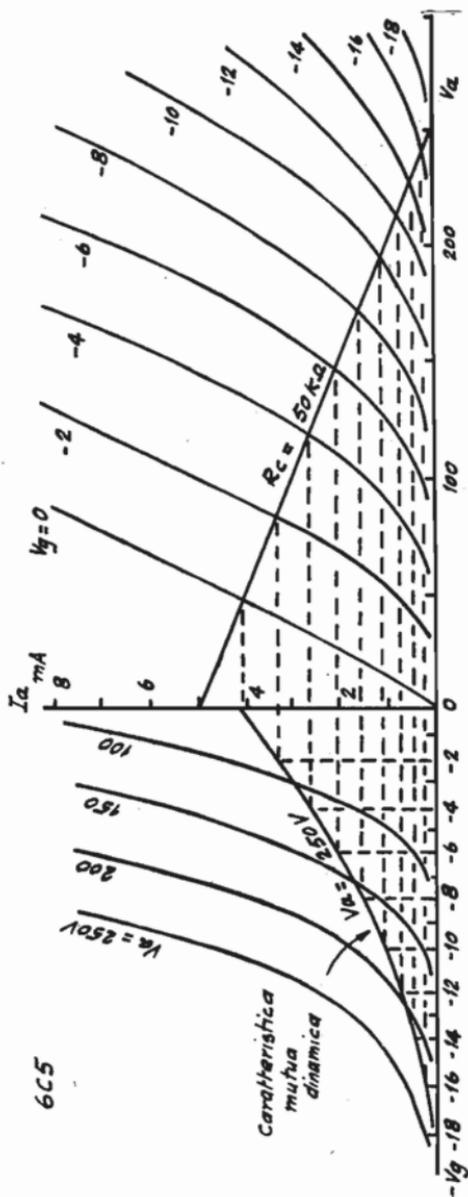


Fig. 33. - Costruzione della caratteristica mutua dinamica.

Ciò si ottiene dando alla griglia una tensione molto positiva, e pertanto la tensione sull'anodo può essere ritenuta nulla.

In condizioni normali di funzionamento la valvola lavora lungo un tratto intermedio della retta di carico congiungente i due punti estremi suddetti, che rappresentano condizioni in cui la valvola non deve mai trovarsi.

Da ogni punto della retta di carico, abbassando una perpendicolare sull'asse delle ascisse, si trova un valore della tensione eh'è quella presente sull'anodo; da questo punto a V_b sull'ascisse, si rileva la caduta di tensione sulla resistenza R_c , quindi essa è la caratteristica di una resistenza e perciò è retta, fig. 32).

Se non vi fosse il carico anodico la valvola con tensione di alimentazione anodica V_b e $-30-4$ V di polarizzazione, si troverebbe a funzionare nel punto A ; con un dato carico anodico e le stesse tensioni di alimentazione il punto di lavoro della valvola si è spostato in B .

Da una retta di carico si ricavano i punti per tracciare la corrispondente caratteristica mutua. Per ogni punto di incontro della retta di carico con le caratteristiche anodiche, si traccia una parallela all'asse delle ascisse fino a raggiungere il valore della polarizzazione corrispondente alla caratteristica anodica stessa. Si ottengono così vari punti che, collegati fra loro, costituiscono la caratteristica mutua dinamica.

In fig. 33) è la costruzione della caratteristica suddetta, partendo dalla retta di carico di $50\,000\ \Omega$ per un triodo 6C5. Essa risulta con una pendenza minore di quella delle caratteristiche mutue perchè ora, con il carico anodico applicato alla valvola, ad una determinata variazione della tensione di griglia corrisponde una minore variazione della corrente anodica, dato che questa si deve verificare anche attraverso una resistenza in serie alla resistenza interna della valvola. Le caratteristiche mutue sono incurvate, denotando con ciò il comportamento non ohmmico della valvola, ma collegando questa in serie ad una resistenza maggiore della R_a la caratteristica mutua dinamica risulta più rettilinea di esse, perchè le variazioni di R_a costituiscono una minore percentuale della resistenza totale del circuito anodico.

14. Amplificazione.

Una valvola può essere considerata come un generatore in corrente alternata e rappresentata come in fig. 34).

La sua forza elettromotrice è espressa da $-\mu V_e$, cioè dalla tensione alternata applicata fra la sua griglia ed il catodo, moltiplicata per il coefficiente di amplificazione. Si da il

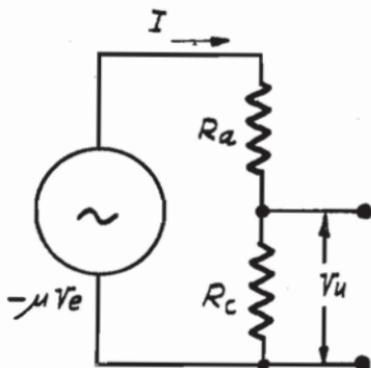


Fig. 34. — Circuito equivalente ad un triodo con resistenza di carico.

segno negativo unicamente per indicare che questa forza elettromotrice è di segno contrario alla tensione V_e che è applicata alla griglia, ma si tralascerà tale segno. La resistenza interna R_a è disegnata esternamente al generatore ed in serie a questo. Fra i suoi morsetti è collegata una resistenza R_c detta resistenza di carico, necessaria per utilizzare il funzionamento della valvola, cioè per ottenere una tensione di uscita maggiore di quella applicata fra griglia e catodo. In tutto il circuito, per la legge di ohm generalizzata, si avrà una corrente

$$I = \frac{\mu V_e}{R_a + R_c}$$

La tensione di uscita del generatore sarà quindi data da:

$$V_u = I R_c = \frac{\mu V_e R_c}{R_a + R_c}$$

L'amplificazione ottenuta praticamente, cioè il rapporto fra la tensione di uscita e quella di entrata, è data da:

$$G = \frac{V_u}{V_e} = \mu \frac{R_c}{R_a + R_c}$$

Da questa formula si rileva che l'amplificazione è sempre inferiore al coefficiente di amplificazione perchè questo risulta moltiplicato per un numero sempre inferiore all'unità, dato dal rapporto $R_c/R_a + R_c$. Questa formula è valida per i triodi ed in genere ad R_c si dà un valore intorno a 5 volte R_a .

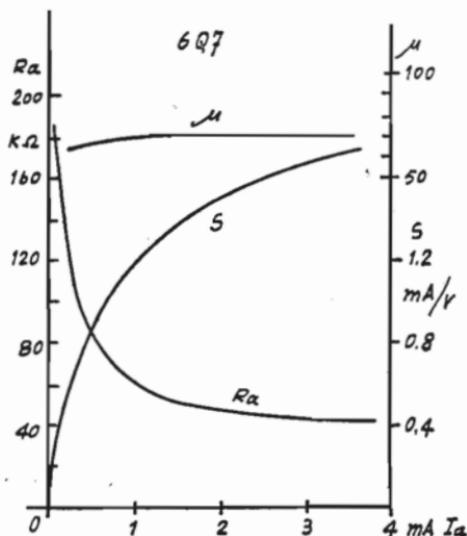


Fig. 35. — Variazioni nei valori dei parametri di una valvola al variare della corrente anodica.

La resistenza R_c non può essere aumentata oltre un certo valore perchè la corrente anodica si riduce notevolmente. Osservando l'andamento dei tre parametri di una valvola al variare di I_a , fig. 35), si nota che per un valore molto piccolo di I_a la R_a aumenta notevolmente e μ si riduce. Un aumento oltre un certo valore di R_c per ottenere una maggiore amplificazione non porta quindi ad un aumento effettivo di questa.

Nei pentodi R_a ha un valore molto elevato da 1 a 1,5 M Ω , e la R_c non può essere di valore uguale e tanto meno maggiore di R_a , altrimenti si dovrebbe far uso di una tensione anodica di alimentazione molto elevata, per non far ridurre eccessivamente la I_a . La resistenza di carico risulta per i pentodi all'incirca di 1/10 della resistenza interna, e per questa ragione si può trascurarla al denominatore della formula precedente che diventa:

$$G = \frac{V_u}{V_e} = \mu \frac{R_c}{R_a} = \frac{\mu}{R_a} R_c = S R_c$$

Si può considerare il generatore equivalente ad un pentodo come un generatore di corrente $I = S V_e$, invece di un generatore di tensione come per il circuito equivalente ad un triodo. Considerando infatti il circuito di fig. 34) la R_c può essere trascurata rispetto ad R_a e la corrente nel circuito è data da

$$I = \mu V_e / R_a = S V_e .$$

Questa corrente circolando anche nella resistenza di carico R_c produce su questa una tensione

$$V_u = I R_c = S V_e R_c \text{ per cui } G = V_u / V_e = S R_c$$

come già trovato semplificando la formula del guadagno fornito da un triodo.

15. Polarizzazione.

Si esamini ora il funzionamento pratico di una valvola come amplificatrice di tensione. Si tracci la caratteristica dinamica e si consideri la parte rettilinea di essa, compresa fra il ginocchio inferiore e l'asse delle ordinate.

Alla valvola vien data una polarizzazione di griglia corrispondente al punto centrale di questa parte rettilinea, figura 36): con essa si ottiene una corrente anodica I_{a0} , detta corrente di riposo.

La valvola è adoperata per amplificare tensioni che possono essere anche tanto piccole da non risultare misurabili o utilizzabili. Queste tensioni alternate vanno applicate alla griglia, sovrapponendole alla polarizzazione, facendo uso di uno dei circuiti di fig. 37).

Questa tensione alternata fa quindi variare la tensione di polarizzazione da valori meno negativi a valori più negativi,

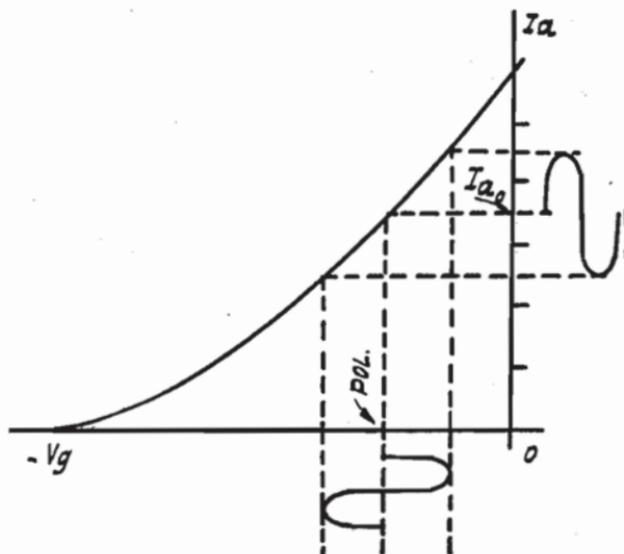


Fig. 36. — Variazione della corrente anodica al variare della tensione di griglia.

fig. 38). Ai valori che istantaneamente assume la polarizzazione di griglia, seguono variazioni della corrente anodica.

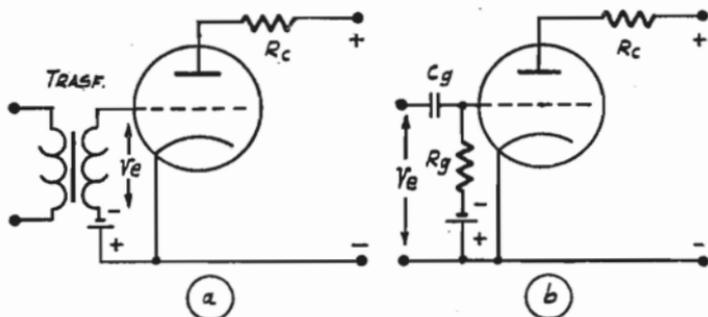


Fig. 37. — Tensione da amplificare e tensione di polarizzazione.

Dalla fig. 38) si rileva che la polarizzazione di griglia, di valore fisso dato dalla batteria, assume un valore variabile sovrapponendovi una tensione alternata, fig. 38 a), pur restando sempre negativa. In corrispondenza la I_a , fig. 38 b), da un

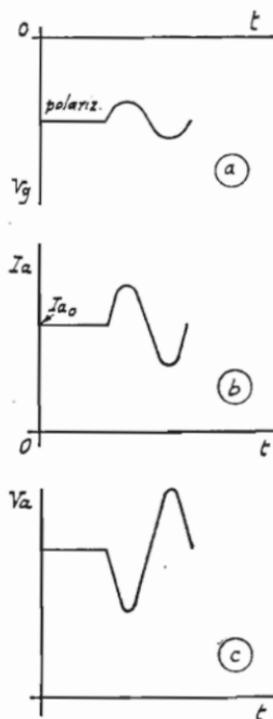


Fig. 38. — Fasi relative della tensione di griglia, della corrente e della tensione anodica.

valore costante, di riposo, varia corrispondentemente alla tensione istantanea di griglia e più precisamente a diminuzioni nella tensione negativa corrispondono aumenti di corrente. Questa corrente anodica variabile circola nella R_c e attraverso questa si hanno cadute di tensione corrispondenti, perciò quando la corrente anodica aumenta, la tensione sull'anodo V_a

diminuisce, fig. 38 c). In definitiva si rileva che ad una semionda positiva della tensione alternata applicata alla griglia corrisponde una diminuzione nella tensione sull'anodo ed essa va considerata come la semionda negativa della componente alternativa della tensione anodica, di ampiezza G volte maggiore.

16. Autopolarizzazione.

Una valvola va fatta lavorare con polarizzazione corrispondente al centro della parte rettilinea della caratteristica mutua. Nel circuito *b*) di fig. 37), la resistenza R_g ha un valore molto elevato in modo che la tensione V_e applicata attraverso al condensatore C non subisca alcuna riduzione (il generatore che fornisce V_e lavora a vuoto anche quando è collegato alla valvola).

D'altra parte la batteria di polarizzazione di griglia non fornisce alcuna corrente al circuito e lungo R_g non si ha alcuna caduta di tensione, quindi la tensione della batteria è la tensione di polarizzazione. Il condensatore C_g è necessario perchè se il generatore fornisce oltre alla V_e una tensione continua, questa altera la polarizzazione suddetta.

Per eliminare la batteria di polarizzazione, quando si alimenta con corrente alternata raddrizzata tutto l'amplificatore, si ricorre al circuito di fig. 39). In essa il valore della resistenza R_k , sul cui estremo superiore si ha una tensione con polarità positiva, è dato dal rapporto fra la tensione di polarizzazione che si deve applicare e la relativa corrente anodica di riposo. Con questo circuito il catodo risulta positivo rispetto alla massa, ma in definitiva la griglia, collegata a massa attraverso R_g , risulta negativa rispetto al catodo.

Il condensatore C_k è di capacità molto elevata per stabilizzare la tensione agli estremi di R_k malgrado le variazioni nella corrente anodica della valvola. La sua reattanza deve risultare minore di $0,1 R_k$ alla frequenza più bassa che interessa amplificare uniformemente

$$10 X_c \leq R_k; \quad \frac{10}{2 \pi f C_k} < R_k; \quad \frac{10}{2 \pi f R_k} < C_k$$

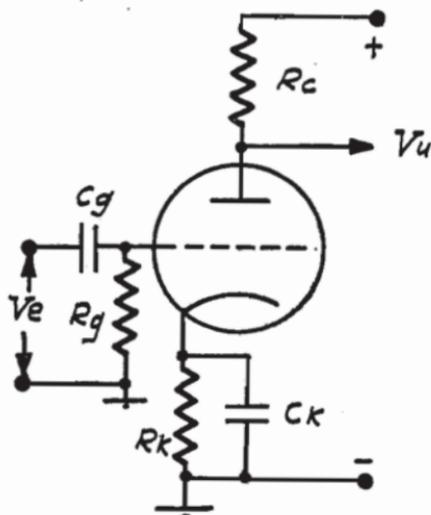


Fig. 39. — Autopolarizzazione di griglia.

17. Accoppiamento a resistenza capacità.

Si utilizza l'amplificazione fornita da una valvola per aumentare l'ampiezza di tensioni molto piccole, come quelle ottenute da alcuni tipi di generatori (microfoni, rilevatori fonografici, ecc.).

Poichè l'amplificazione fornita da una valvola è normalmente insufficiente, si può ulteriormente amplificarne la tensione di uscita a mezzo di una o più valvole successive. Per applicare la componente alternativa V_u , presente sull'anodo della prima valvola, alla griglia della seconda si fa uso di un condensatore di accoppiamento C_g . Esso permette il passaggio alla tensione alternata ed impedisce che alla griglia della seconda valvola sia applicata la tensione positiva V_a . Si è così costituito uno stadio amplificatore a resistenza capacità, accoppiato alla valvola successiva. La griglia di questa, fig. 40), è anch'essa collegata a massa con la resistenza R_g di valore elevato, che ha la doppia funzione di far applicare alla griglia la

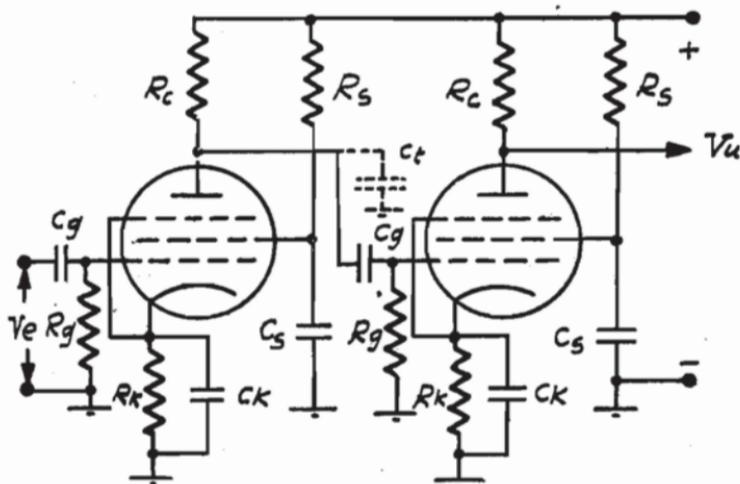


Fig. 40. — Accoppiamento a resistenza capacità.

polarizzazione e di non ridurre apprezzabilmente la tensione V_u presente dopo il condensatore C_g . Un amplificatore deve fornire una tensione d'uscita V_u sufficientemente costante a

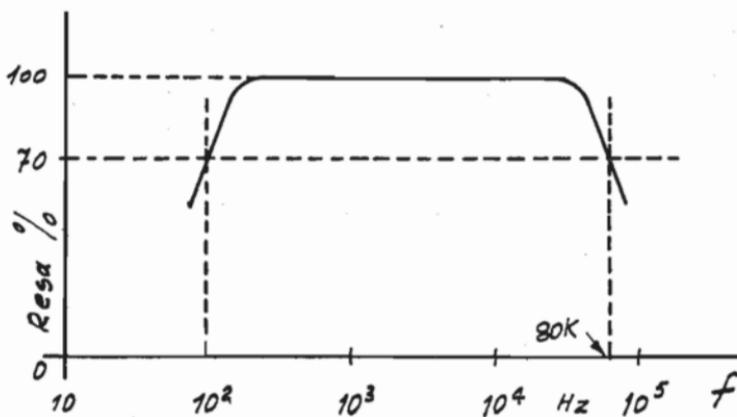


Fig. 41. — Caratteristica di resa di uno stadio amplificatore a resistenza capacità.

tutte le frequenze che occorre amplificare. Per i radiorecipienti questa gamma di frequenze va da circa 100 a 4000 Hz, per la riproduzione di dischi e film sonori da 100 a 8000 Hz, per i ricevitori a modulazione di frequenza e per le registrazioni su nastro magnetico da 60 a 15 000 Hz, per gli amplificatori video dei televisori da 30 Hz a 5 MHz. La curva che mostra la resa di uno stadio amplificatore a resistenza capacità, cioè la sua caratteristica di frequenza, ha normalmente l'andamento disegnato in fig. 41).

È facile rilevare che da 200 a 50 000 Hz, l'amplificazione si mantiene perfettamente lineare; da 100 a 80 000 Hz essa è ritenuta uniforme, malgrado la riduzione del 30 % ai due estremi; oltre tali frequenze si riduce notevolmente. Occorre studiare separatamente le ragioni per cui si verificano queste riduzioni.

18. Comportamento dell'amplificatore alle frequenze basse.

Alle frequenze basse si deve considerare l'influenza che ha la reattanza del condensatore C_g sulla tensione V_u applicata alla griglia della valvola successiva. Infatti la tensione amplificata che si ha sull'anodo della valvola non è applicata in pieno sulla griglia della valvola successiva ma è ridotta perchè la X_c di C_g , di valore sempre più crescente quanto più diminuisce la frequenza, risulta in serie con R_g e costituisce con questa un partitore di tensione.

Ad una frequenza la reattanza di C_g risulta dello stesso valore di R_g : in tale condizione la tensione sulla griglia della seconda valvola è $0,70 V_u$, la tensione presente sull'anodo dell'amplificatrice. Infatti nel circuito in serie $C_g R_g$ scorre la stessa corrente, le due tensioni $V_c = IX_c$ e $V_r = IR$ sono sfasate di 90° fra loro e risultano di uguale ampiezza, cioè $0,707$ dell'ipotenusa del triangolo rettangolo da esse individuato, a cui corrisponde V_u .

Nei ricevitori per ottenere una buona amplificazione fino a 100 Hz è sufficiente che C_g sia di 5000 pF.

Il prodotto dei μF per gli Ω di C_g e R_g dà la costante di tempo del circuito di griglia ($0,005 \mu\text{F} \cdot 500\,000 \Omega = 2500 \mu\text{s}$). Le costanti di tempo dei circuiti $R_k C_k$ e di R_s e C_s debbono

essere almeno uguali o maggiori della costante del circuito precedente (se R_k è di 2500 Ω , $C_k = 1 \mu\text{F}$ o più; se $R_s = 250\,000 \Omega$, $C_s = 0,01 \mu\text{F}$ o più) normalmente nei ricevitori si fa uso di $C_k = 10 \mu\text{F}$ e $C_s = 50\,000$ a $100\,000 \text{ pF}$, quindi molto maggiore del necessario; così pure per C_g si fa uso di $10\,000 \text{ pF}$.

19. Comportamento dell'amplificatore alle frequenze elevate.

Vi sono due capacità fra l'anodo della valvola amplificatrice e la griglia di soppressione e la griglia schermo; fra la griglia della valvola successiva ed il catodo e la griglia schermo; ne esistono altre due (se la valvola successiva è un triodo, ed ancor più se è un triodo finale, esiste una notevole capacità fra griglia ed anodo aumentata per effetto interelettrodico), la filatura ed il condensatore C_g hanno una capacità rispetto alla massa: tutte queste capacità risultano in parallelo e assommano nel condensatore C_t a $20 \div 30 \text{ pF}$.

La tensione alternata presente sull'anodo della valvola amplificatrice fa scorrere una corrente apprezzabile in questa capacità quando la sua frequenza è sufficientemente elevata.

In tal modo la capacità C_t riduce il carico risultante sulla valvola tanto più quanto più elevata è la frequenza.

Rispetto alla tensione alternata presente sull'anodo della valvola amplificatrice, le resistenze R_c ed R_g risultano in parallelo fra loro e collegate con l'estremo inferiore a massa. R_c lo è attraverso la bassa resistenza interna della batteria anodica (o attraverso l'elevata capacità del condensatore di filtro dell'alimentatore anodico). Il loro parallelo costituisce la resistenza equivalente R_e . Quando la reattanza X_c di C_t assume un valore uguale ad R_e l'amplificazione si riduce al 70 %.

Per ottenere un'amplificazione uniforme e costante, fino ad una frequenza quanto più elevata è possibile, si deve curare la filatura in modo che risulti quanto più breve è possibile.

20. Amplificatori di potenza.

Per azionare un altoparlante si deve disporre di una energia che dovrà essere fornita dallo stadio finale di un amplificatore. Per questo è necessario far uso di una valvola che abbia caratteristiche differenti dalle valvole amplificatrici di tensione. Occorre che la valvola finale, detta di potenza, abbia

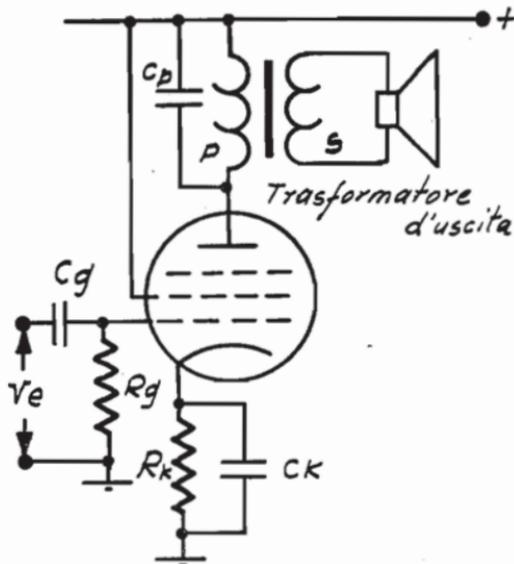


Fig. 42. — Pentodo amplificatore di potenza.

una notevole corrente anodica di riposo I_a in modo che la tensione V_e applicata alla griglia possa produrre notevoli variazioni nella corrente anodica e quindi nella tensione anodica. Lo schema normale di un tale stadio è quello in fig. 42), per cui si fa uso di un pentodo. La griglia schermo di questa valvola ha la stessa tensione di alimentazione dell'anodo, e la griglia di soppressione è collegata al catodo internamente alla valvola.

Il carico per le valvole finali non è più costituito da una

resistenza ma da un trasformatore, sul cui secondario è collegato il carico utilizzatore, la bobina mobile di un altoparlante dinamico.

Il trasformatore è necessario per ottenere l'adattamento del

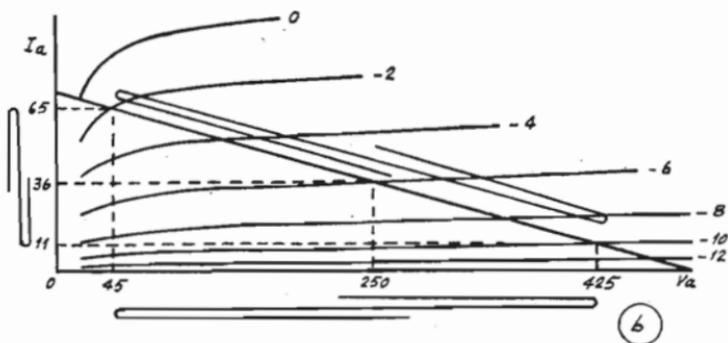
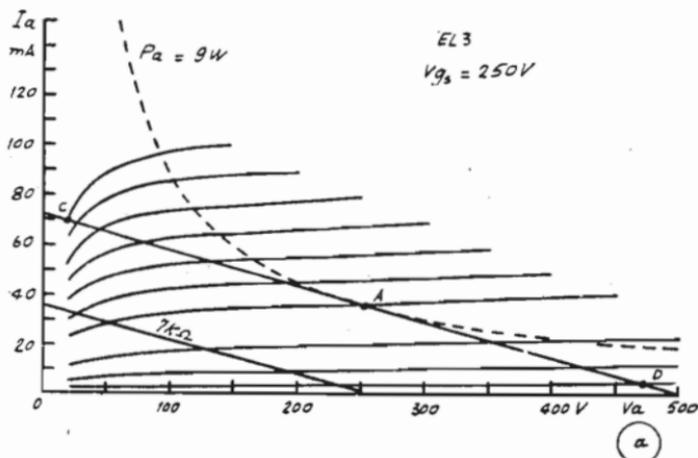


Fig. 43. — Retta di carico di un pentodo di potenza con trasformatore di uscita.

carico sul secondario al carico ottimo da inserire sul circuito anodico, necessario al funzionamento della valvola, in modo che questa fornisca la massima potenza con la minima distorsione.

Nello studio di un amplificatore di potenza la prima cosa da determinare è il valore di questo carico ottimo. Esso può essere stabilito per i triodi con una certa approssimazione ponendo $R_c = V_a/2 I_a$ e per i pentodi $R_c = V_a/I_a$.

Per ottenere il valore del miglior carico da applicare alla valvola si ricorre a metodi grafici.

Si consideri il pentodo di potenza EL3 per cui la casa costruttrice consiglia un carico di 7000Ω . Sulla famiglia di caratteristiche anodiche, (fig. 43), si traccia la retta di carico per 7000Ω : essa congiunge il punto sulle ordinate corrispondente a 36 mA ed il punto sulle ascisse a 250 V .

Il trasformatore di adattamento, collegato con il primario in serie al circuito anodico, non costituisce un carico apprezzabile nelle condizioni statiche della valvola (la resistenza ohmmica dell'avvolgimento è trascurabile) quindi $V_a = V_b$, la tensione di alimentazione, e il punto di riposo sulla caratteristica —6 resta invariato e per esso passa la retta di carico.

Non appena si applica alla griglia della valvola una tensione alternata la corrente anodica varia in corrispondenza: il carico riflesso sul primario del trasformatore costituisce il carico sul circuito anodico.

Costruita la retta di carico resistivo, il cui valore sia uguale al carico riflesso sul primario, si traccia la parallela ad essa, passante per il punto di riposo A . Applicando alla griglia una tensione alternata il punto di funzionamento si sposta lungo questa retta di carico: ad ogni estremo limite degli spostamenti corrisponde una V_a e una I_a . Si noti che alla massima I_a corrisponde la minima V_a , mentre ad I_a minima corrisponde la massima V_a .

Il valore di quest'ultima è maggiore della tensione di alimentazione anodica. Infatti la corrente anodica circolando nel primario del trasformatore di uscita crea un campo magnetico, e quando I_a tende a diminuire, il campo magnetico si oppone alla sua variazione e produce una sovratensione.

Riprendendo l'esempio precedente dopo aver tracciato la retta di carico passante per il punto di riposo A , (fig. 43 b), si applichi alla griglia della valvola una tensione alternata il cui valore di cresta è 4 V . La I_a aumenta da 36 a 65 mA e la V_a si riduce a 45 V durante le semionde positive; la I_a si riduce a 11 mA e la V_a aumenta sino a 425 V durante le semionde

negative. Dai valori assunti da I_a e V_a si può calcolare la potenza fornita al carico dalla valvola

$$P_u = \frac{I_{max} - I_{min}}{2\sqrt{2}} \cdot \frac{V_{max} - V_{min}}{2\sqrt{2}} = \frac{I_a V_a}{8}$$

in quest'ultima formula I_a e V_a rappresentano le variazioni ricavate dall'uguaglianza precedente. Sostituendo i valori numerici

$$P_u = \frac{(0,065 - 0,011)(425 - 45)}{8} = \frac{0,054 \cdot 380}{8} = 2,56 W$$

Se non si conosce il valore del carico ottimo consigliato dal costruttore, si può determinarlo per tentativi. Su di una famiglia di caratteristiche anodiche si traccia la curva della massima dissipazione anodica, P_a , che risulta un ramo d'iperbole, i cui punti sono ottenuti dividendo tale potenza per i valori crescenti di V_a , ottenendo una serie di valori decrescenti di I_a .

Come massima dissipazione anodica si intende la massima potenza che a riposo la valvola può dissipare in calore sul suo anodo.

Durante il funzionamento una parte di questa potenza è fornita al carico e l'altra parte è dissipata sull'anodo della valvola. Il rendimento che si ottiene normalmente da un triodo di potenza è del 30 %; un pentodo fornisce anche il 50 %.

Si stabilisce una tensione di alimentazione anodica ed una di polarizzazione di griglia in modo che il punto di riposo A risulti inferiore alla curva di massima dissipazione anodica. Per tale punto si traccia una retta, a cui si dà l'inclinazione corrispondente ad un voluto valore del carico anodico, osservando che non tagli la suddetta curva di dissipazione. Alla griglia della valvola si può applicare una tensione il cui valore massimo può essere uguale a quello di polarizzazione: in tal caso la valvola lavorerà lungo la retta di carico dal punto C a D . Si calcolerà la potenza ottenuta relativamente a tali escursioni e si misureranno le due lunghezze AC ed AD che debbono essere uguali, perchè la valvola non distorca la forma

della tensione applicata alla griglia, ma normalmente ci si deve accontentare di piccole differenze.

Ripetendo il calcolo della potenza e la misura dell'uguaglianza dei due tratti suddetti, per vari valori di carichi, è possibile determinarne il valore migliore che fornisce la maggiore potenza con la minima distorsione.

21. Altoparlanti elettrodinamici.

Sono costituiti da un campo magnetico di forma anulare in cui si muove una bobina fissata ad un cono di carta, fig. 44). Inviando in questa bobina una corrente alternata si produce un corrispondente campo magnetico che reagisce con quello

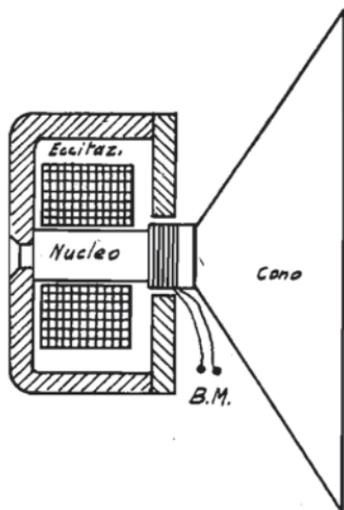


Fig. 44. — Sezione di un altoparlante elettrodinamico.

esistente e fa spostare la bobina coassialmente. Questi spostamenti sono comunicati al cono di carta che fa presa sull'aria ambiente producendo in questa variazioni di pressione, che costituiscono i suoni udibili.

Alle frequenze più basse il cono di carta si muove rigidamente e se durante la sua escursione in un senso produce una

compressione si ha una decompressione sull'altra. A tali frequenze l'aria ha il tempo di spostarsi da una faccia all'altra del cono e quindi la variazione di pressione si annulla quasi completamente. Per evitare un tale effetto e ottenere la riproduzione delle frequenze basse si fissa l'altoparlante su di un pannello, una cassetta (il mobile del ricevitore) o una tromba di dimensioni adatte, fig. 45).

Togliendo l'altoparlante di un ricevitore, dalla cassetta si ottiene una riproduzione stridula, non naturale.

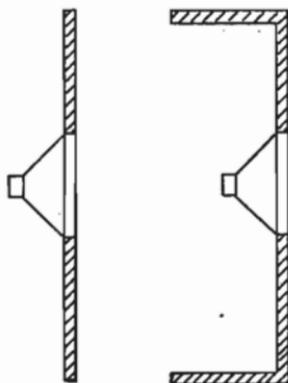


Fig. 45. — Schermi per altoparlante dinamico.

Per le frequenze alte si hanno movimenti così rapidi della bobina mobile che il cono non può seguirli come un tutto unico, per cui si hanno flessioni che si propagano sulla sua superficie.

Ogni altoparlante, avendo un cono di dimensioni e peso determinati, ha una resa più elevata ad una determinata frequenza, detta frequenza di risonanza del cono. Questa frequenza può essere facilmente determinata effettuando la misura dell'impedenza della bobina mobile. La frequenza di risonanza dell'altoparlante va da un minimo di $50 \div 60$ Hz per grandi altoparlanti per cinema a $200 \div 300$ Hz per gli altoparlanti più piccoli. Prima di tale frequenza l'altoparlante ha praticamente una resa nulla.

Questa risonanza costituisce d'altra parte un difetto per-

chè quando l'amplificatore riproduce bene questa frequenza, l'altoparlante fornisce una resa esagerata per essa. Negli amplificatori si evita questo inconveniente adoperando altoparlanti con frequenza di risonanza molto più bassa di 100 Hz e permettendo agli amplificatori di fornire un'uscita costante da 100 Hz in poi.

La misura dell'impedenza della bobina mobile, necessaria per poter stabilire il rapporto del trasformatore di uscita del-

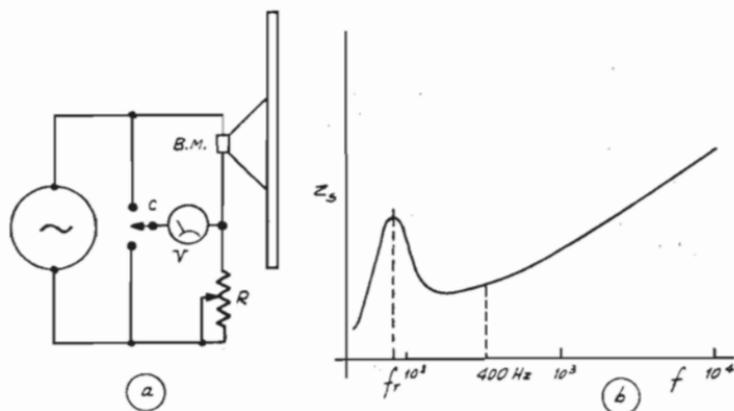


Fig. 46. — Misura dell'impedenza della bobina mobile di un dinamico e caratteristica di impedenza.

l'amplificatore, può essere effettuata praticamente con lo schema di fig. 46 a). Un oscillatore ad audio frequenza produce tutte le frequenze acustiche a cui si vogliono effettuare le misure. Esso è seguito da uno stadio amplificatore di potenza; sul secondario del trasformatore di questo sono collegati in serie la bobina mobile dell'altoparlante *B.M.* (montato su di un pannello o una cassetta di dimensioni normali e debitamente eccitato) e una resistenza variabile campione *R*; spostando il commutatore *C* e regolando *R* si determina, per ogni frequenza, il valore di quest'ultima, per cui le due indicazioni del voltmetro risultano identiche.

Con i valori, così trovati, si traccia la curva dell'impedenza della bobina mobile Z_s , fig. 46 b). Il valore dell'impedenza che

è considerato come valore caratteristico di un determinato altoparlante, corrisponde ad una frequenza da 400 a 1000 Hz, scelta a piacere.

22. Il trasformatore di uscita.

Poichè il traferro dell'altoparlante in cui si sposta la bobina mobile deve essere quanto più stretto è possibile per ottenere la massima intensità del campo magnetico e quindi un rendimento elevato, non si può avvolgere la bobina mobile con molte spire, in modo da costituire con essa il carico adatto per una valvola di potenza. Una bobina mobile ha un'impedenza che comunemente va da 2 a 15 Ω , è necessario quindi adoperare un trasformatore di rapporto adatto a far apparire sul proprio primario il valore del carico ottimo per la valvola finale quando sul secondario si collega una determinata bobina mobile. Il rapporto del trasformatore si calcola con la formula

$$n = \frac{N_p}{N_s} = \sqrt{\frac{Z_p}{Z_s}}$$

Intendendo con n il rapporto di trasformazione, cioè il rapporto tra il numero delle spire del primario N_p e quello del secondario N_s , con Z_p il carico ottimo per lo stadio finale e con Z_s l'impedenza della bobina mobile.

23. Distorsione.

Una delle caratteristiche più importanti di un amplificatore è di fornire una tensione di uscita che sia l'esatta riproduzione, debitamente amplificata, della tensione alternata applicata alla sua entrata.

La distorsione di una tensione sinusoidale è dovuta alla produzione di armoniche nell'amplificatore, cioè di tensioni a frequenze multiple di essa.

Si sommino graficamente le sinusoidi di due tensioni di frequenze differenti, fig. 47 a), una doppia dell'altra, cioè seconda armonica di questa. La forma dell'onda risultante non è più

sinusoidale, come quelle che la compongono, ma essa dipende anche da altri fattori, come la fase relativa delle due tensioni e l'ampiezza di quella di frequenza doppia. In fig. 47 a) le due tensioni hanno l'inizio della prima semionda in fase, in fig. 47 b) risultano sfasate di 90° : la forma dell'onda risultante è completamente differente. Lo stesso comportamento si ha nel caso di una tensione di frequenza tripla dell'altra, figg. 47 c) e d).

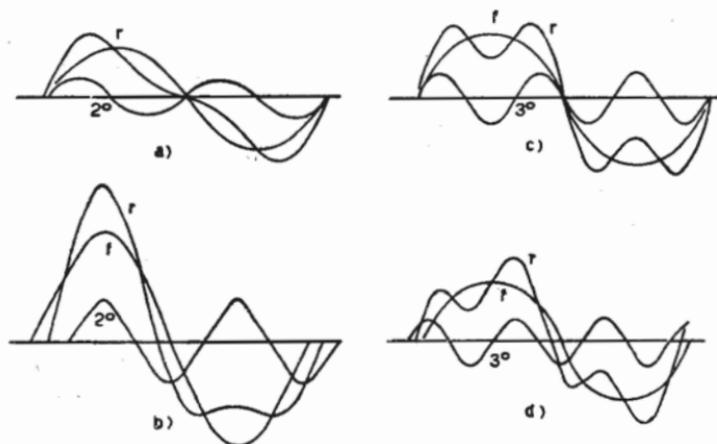


Fig. 47. — Frequenza fondamentale, armoniche, fase dell'armonica e forma d'onda risultante.

Dall'esame delle quattro curve risultanti, si rileva che sommando ad una tensione un'altra di frequenza doppia, o in generale un'armonica di ordine pari (2° , 4° , 6° ,...) si ottiene un'onda risultante con una marcata asimmetria di ciascun semiperiodo, mentre se si somma un'armonica di ordine dispari (3° , 5° , 7° ,...) i semiperiodi risultano simmetrici e simili fra loro.

Se all'uscita di un amplificatore la tensione amplificata non è più sinusoidale come quella applicata all'entrata dell'amplificatore, si hanno distorsioni. Esse possono essere prodotte da inesatta polarizzazione delle valvole amplificatrici, da ampiezza eccessiva della tensione applicata all'entrata, da esaurimento di una delle valvole, da cattivo funzionamento di un trasformatore, ecc.

Spostando la polarizzazione di una valvola, come in fig. 48), la tensione sinusoidale applicata alla griglia produce variazioni di corrente anodica che non sono più sinusoidali, in quanto la semionda negativa risulta più ridotta di ampiezza della positiva.

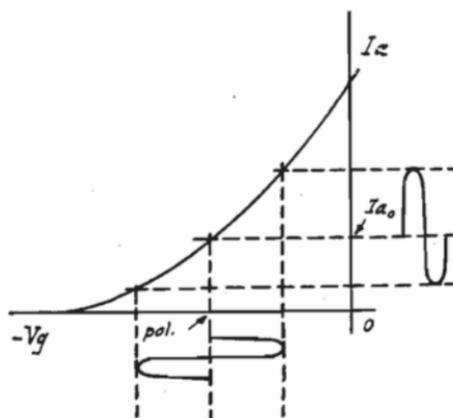


Fig. 48. - Distorsione della corrente anodica rispetto alla tensione applicata alla griglia.

24. Classi di amplificazione.

Si è trovato conveniente stabilire una serie di condizioni di funzionamento delle valvole amplificatrici, che vanno da quelle ideali di lavoro, ristrette al solo tratto rettilineo della caratteristica mutua dinamica, a quelle raggiungenti una polarizzazione vicina all'interdizione e l'applicazione di tensioni alternate alla griglia tanto ampie da portare questa sino nella regione positiva. Gli stadi amplificatori finali, in cui si applicano queste particolari condizioni di funzionamento, per ottenere un maggiore sfruttamento delle valvole, sono stati suddivisi in classi, *A*, *AB* e *B*.

La classe *A* comprende le condizioni di funzionamento sin qui studiate, cioè: *a*) la polarizzazione della valvola corrisponde al punto medio della zona rettilinea della caratteristica mutua dinamica; *b*) la corrente anodica media non varia du-

rante il funzionamento essendo indipendente dall'ampiezza della tensione applicata alla griglia, fig. 49 a).

La classe *AB* di funzionamento è relativa alle seguenti condizioni: a) la polarizzazione è spostata verso sinistra in modo ch'essa corrisponda al centro di tutta la caratteristica mutua, fig. 49 b); b) l'ampiezza del segnale applicato è tale da far lavorare la valvola da quasi all'interdizione sino ad una polarizzazione nulla (classe AB_1) oppure può essere aumentato sino a portare la griglia positiva (classe AB_2); c) il

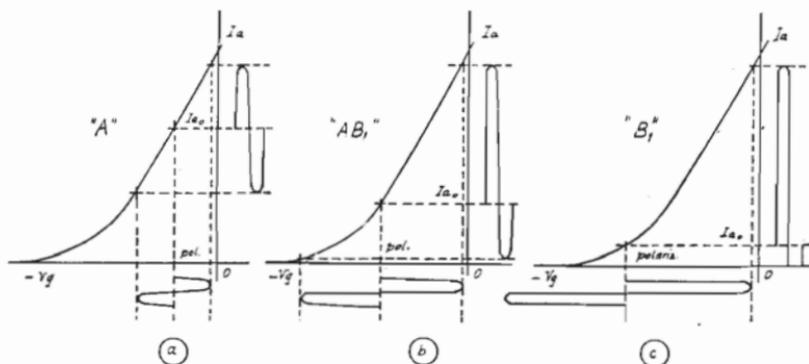


Fig. 49. - Classi di amplificazione.

valore medio della corrente anodica non è più costante ma varia con l'ampiezza del segnale applicato alla griglia; d) la corrente anodica non si annulla mai.

Nella classe *B* si hanno condizioni di funzionamento ancora più spinte, fig. 49 c), cioè: a) la polarizzazione è portata quasi all'interdizione, in modo che la corrente anodica di riposo risulti molto ridotta; b) l'ampiezza della tensione applicata alla griglia è tale da raggiungere quasi la polarizzazione zero (classe B_1) o tale da sorpassarla, rendendo la griglia positiva (classe B_2); c) durante le semionde negative la valvola è portata oltre l'interdizione e la corrente anodica si annulla, il suo valore medio non si mantiene costante e dipende dall'ampiezza del segnale.

Le classi suddette, eccetto la *A*, introducono notevoli di-

storsioni nella forma dell'onda della tensione amplificata, ma le valvole sono fatte lavorare in tali condizioni solo quando sono montate con il circuito controfase, che ha la particolarità di annullare le distorsioni prodotte nello stesso stadio finale.

25. Circuito controfase.

In fig. 50 è lo schema dell'accoppiamento controfase di due valvole di potenza V_2 e V_3 . Il trasformatore T , il cui primario costituisce il carico anodico dell'amplificatrice di tensione V_1 ,

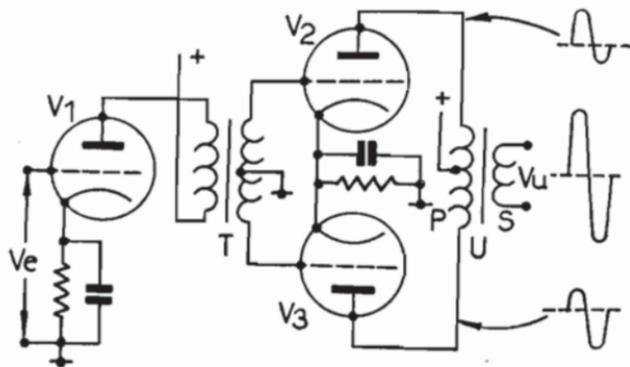


Fig. 50. — Circuito controfase.

ha il secondario con presa centrale. I due estremi di questo avvolgimento applicano alle griglie controllo delle valvole finali, in ogni istante, tensioni uguali ma di segno opposto.

Le correnti anodiche di riposo delle due valvole sono uguali e producendo ognuna un campo magnetico in un senso non si ha la magnetizzazione del nucleo del trasformatore d'uscita U . Le due metà del primario risultano in senso inverso rispetto alla presa centrale, pur essendo un unico avvolgimento tutto nello stesso senso. Anche le componenti alternative delle due correnti anodiche risultano uguali ed in opposizione ed i loro effetti si sommano nel trasformatore di uscita U , perchè l'aumento di una corrente anodica produce una variazione nel flusso magnetico dello stesso senso di quella pro-

dotta da una diminuzione nell'altra corrente. I due effetti si sommano e la corrente indotta nel secondario è il risultato delle variazioni di corrente nelle due valvole.

Dalla fig. 50 si rileva come la corrente distorta di ogni valvola, dovuta alla produzione di armoniche pari nello stadio, lavoranti in classe AB o B , si combini con l'altra corrente ugualmente ed oppostamente distorta. Poichè con queste altre classi di funzionamento si ottengono variazioni di corrente anodica molto più ampie che in classe A , le due valvole in controfase forniscono una potenza maggiore del doppio di quella ch'è possibile ottenere da una sola.

CAPITOLO V

TRASMISSIONE

26. Generazione di oscillazioni persistenti.

Un pendolo, spostato dalla sua posizione di riposo, oscilla per un certo tempo con ampiezze delle oscillazioni sempre più ridotte sino a fermarsi. Lo scappamento di un orologio, con colpetti dati all'istante giusto, sopperisce a tutte le perdite dovute agli attriti ed il suo pendolo può così oscillare per un tempo indefinito, sempre con la stessa ampiezza di oscillazione.

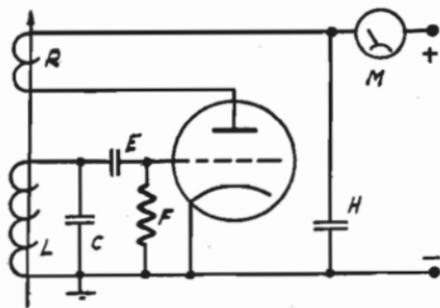


Fig. 51. - Oscillatore Meissner.

Questo concetto è seguito anche negli oscillatori a valvola in cui si provvede a fornire ad un circuito oscillatorio l'energia necessaria a mantenerlo in oscillazione. Il circuito di fig. 51 comprende un circuito oscillatorio LC , un triodo collegato ad esso ed alla bobina R , che provvede con il suo accoppiamento con L , a fornire al circuito oscillatorio l'energia sufficiente per mantenervi oscillazioni di ampiezza costante. Non appena si applica alla valvola la tensione anodica, la corrente nel circuito anodico si porta rapidamente al valore massimo perchè

la griglia non è polarizzata; circolando in R essa crea un campo magnetico, che induce in L una tensione e nelle spire di questa scorre una corrente che va a caricare C . Il circuito oscillatorio riceve in tal modo un impulso ed entra in oscillazione alla frequenza che gli è propria. Il collegamento delle bobine R ed L è eseguito in modo tale che inducendo la bobina R una tensione in L , durante l'aumento di corrente nella valvola, essa risulta di senso tale da rendere positiva la griglia, facilitando ancor più l'aumento della corrente anodica.

Questo trasferimento di energia dal circuito anodico a quello oscillatorio, può essere regolato in modo da essere sufficiente a mantenere questo circuito in oscillazione continua, oppure può risultare maggiore di quanto occorra: si ottiene ciò variando l'accoppiamento fra R ed L . La valvola fornisce energia al circuito LC a spese della batteria di alimentazione, infatti durante ogni semiperiodo di un certo segno il condensatore si carica in un certo senso, e la corrente indotta provvede a mantenere questa carica sempre della stessa quantità.

Durante il primo impulso al circuito oscillatorio la griglia diventa positiva per effetto della tensione indotta in L e si raggiunge la saturazione.

In R circola una corrente che tende a mantenersi costante, quindi essa non induce più in L una tensione che continui a far aumentare la corrente di carica di C e questo comincia a scaricarsi su L .

La griglia, durante l'escursione nella regione di polarizzazione positiva, ha attirato una certa quantità di elettroni che hanno caricato E e circolano continuamente in F . La griglia ha così cominciato ad assumere una sua polarizzazione negativa (che continuerà ad aumentare man mano durante le prime oscillazioni): a questa polarizzazione si sovrappone la tensione indotta in L . Diventando la griglia meno positiva la corrente anodica, si riduce, diminuisce il flusso accoppiato con L e quindi la corrente di carica del condensatore C .

All'inizio della successiva scarica alla griglia è applicata una tensione negativa, che si somma alla polarizzazione e la corrente anodica si annulla per un certo tempo, finchè la tensione di griglia è tanto negativa da mantenere la valvola al-

l'interdizione. Da questo funzionamento risulta che quando alla griglia è applicata una semionda positiva, la corrente anodica e portata al massimo valore, la bobina di reazione cede energia al circuito oscillatorio e la tensione sull'anodo si riduce necessariamente al minimo valore, cioè all'anodo risulta applicata una semionda negativa. Questa relazione di fase fra tensione applicata alla griglia e tensione sull'anodo si inverte durante il semiperiodo successivo: la griglia è resa molto negativa, la tensione anodica, risultando la corrente anodica annullata, è al valore massimo. In tutti gli oscillatori i collegamenti alle bobine sono effettuati in modo che si realizzi una tale relazione di fase indispensabile al loro funzionamento.

L'ampiezza delle oscillazioni si mantiene costante per la presenza di E ed F perchè, se per una causa qualsiasi si riduce, si ridurrà l'ampiezza della tensione applicata alla griglia e questa non potrà, durante le semionde positive, raggiungere la regione di corrente di griglia e la sua tensione di autopolarizzazione diminuirà. Ciò porta ad un aumento della corrente anodica che può in tal modo fornire al circuito oscillatorio impulsi di maggiore intensità e durata, che riporteranno le oscillazioni all'ampiezza primitiva.

Il condensatore di griglia E e la resistenza di fuga debbono essere proporzionati, e cioè se l'oscillatore produce oscillazioni a frequenze acustiche E avrà una capacità di $5\,000 \div 10\,000$ pF ed F $50\,000 \Omega$; per un oscillatore a radio-frequenza E avrà $100 \div 200$ pF ed F $50\,000 \Omega$, ma se l'oscillatore fa uso di una valvola di potenza F scende anche a $5\,000 \div 10\,000 \Omega$.

Inserendo nel circuito anodico di un oscillatore un milliamperometro, questo indica una corrente elevata se l'accoppiamento fra le bobine è insufficiente a far innescare le oscillazioni. Non appena si realizza un accoppiamento sufficiente si ha l'innescio di oscillazioni continue ed il milliamperometro indica una brusca riduzione della corrente anodica.

Il condensatore H in fig. 51, è necessario per impedire che la componente alternata della corrente anodica circoli nello strumento M .

27. Tipi di oscillatori.

L'oscillatore Meissner è quello di fig. 51: per i ricevitori a due valvole questo schema è molto adoperato, però occorre che la bobina R abbia un accoppiamento variabile con L , perchè in questi ricevitori non si deve raggiungere l'innesco di oscillazioni continue.

Per facilitare costruttivamente la realizzazione di questo circuito si fa uso di un condensatore variabile D (circuito Reinartz) che regoli il passaggio della componente alternativa

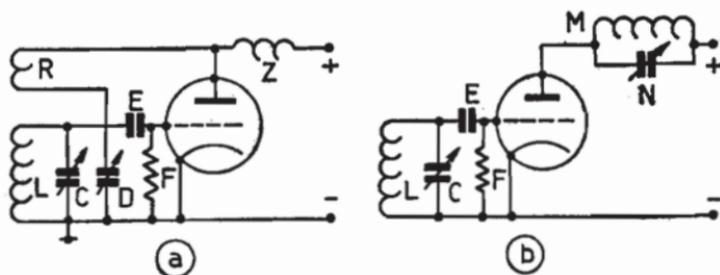


Fig. 52. - Oscillatori Reinartz ed Armstrong.

della corrente anodica in R . La bobina Z , fig. 52 a), detta impedenza a RF (choke), permette che all'anodo sia applicata la tensione di alimentazione impedendo il passaggio della componente alternativa della corrente anodica, ch'è forzata a passare in R , in misura determinata dal valore di D . La bobina Z è avvolta con un gran numero di spire per risultare con induttanza molto maggiore di quella di L . A volte la bobina Z è sostituita da una resistenza di qualche diecina di migliaia di ohm.

Nel circuito Armstrong, fig. 52 b), vi sono due circuiti oscillatori LC e MN , da accordare alla stessa frequenza per ottenere l'innesco delle oscillazioni. L'accoppiamento fra i due circuiti è dato dalla capacità esistente internamente alla valvola fra anodo e griglia.

In fig. 53 a) è lo schema dell'oscillatore Hartley, in cui si

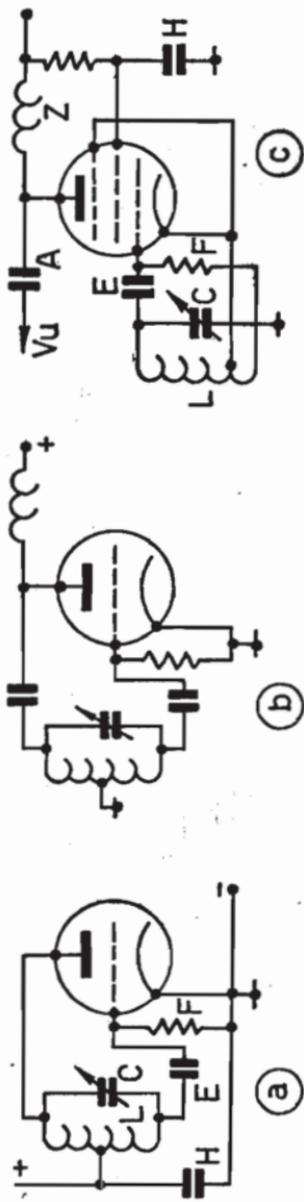


Fig. 53. - Oscillatori Hartley, Colpitts modificato e con accoppiamento elettronico.

fa usa solo di una bobina L , con presa intermedia. A questa presa va collegata la tensione anodica di alimentazione della valvola (essa è collegata a massa attraverso il condensatore H di grande capacità ed a massa è il catodo) ed i due estremi della bobina fanno capo alla griglia ed all'anodo. La corrente anodica che circola nella metà superiore della bobina, induce nell'altra metà una tensione di segno contrario per cui all'anodo ed alla griglia sono applicate tensioni di fase opposta, relazione necessaria a far mantenere in oscillazione continua il circuito LC , alimentandolo a mezzo della valvola. A volte il circuito è realizzato secondo lo schema di fig. 53 *b*), detto con alimentazione in parallelo (come risulta anche il Reinartz rispetto al Meissner), oppure secondo lo schema di fig. 53 *c*), detto ad accoppiamento elettronico (eco): in esso si fa uso di un pentodo la cui griglia schermo funziona da anodo oscillatore. Si può collegare a massa sia l'estremo del circuito oscillatorio che il centro. Nello schema è collegato a massa l'estremo inferiore e la griglia schermo va a massa a mezzo del condensatore di elevata capacità, H , che ne stabilizza la tensione di alimentazione. Con l'accoppiamento elettronico la griglia con-

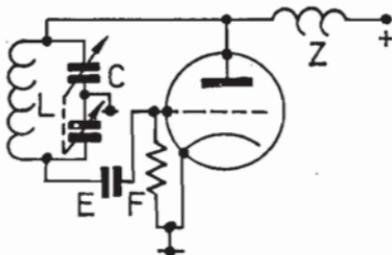


Fig. 54. — Oscillatore Colpitts.

trollo fa variare anche la corrente anodica, quindi sull'anodo, per la presenza dell'impedenza di carico Z , si ha una tensione alternata alla stessa frequenza del circuito oscillatorio.

Si può così prelevare la tensione a mezzo di A senza influire sulla frequenza prodotta dall'oscillatore. Nel circuito Colpitts, fig. 54, la bobina non ha una presa intermedia ed il catodo è collegato al centro di due condensatori in serie costi-

tuenti la capacità di accordo C del circuito oscillatorio: rispetto questo centro elettrico si verifica la necessaria relazione di fase della tensione alternata applicata all'anodo ed alla griglia.

In tutti i casi un oscillatore è costituito da un circuito oscillatorio, le cui costanti determinano la frequenza di oscillazione e da una valvola amplificatrice, autopolarizzata, accoppiata in modo tale al suddetto circuito che si abbia un trasferimento di energia dal circuito anodico a quello di griglia con l'adatta relazione di fase.

28. Stabilità di frequenza.

Nei trasmettitori commerciali e per radio diffusione, la frequenza di trasmissione deve essere mantenuta rigorosamente costante altrimenti si ha sovrapposizione delle trasmissioni.

Quando un oscillatore funziona si hanno nel circuito oscillatorio correnti di circolazione che, per la resistenza del circuito stesso, producono un aumento progressivo della temperatura di questo; anche la valvola aumenta di temperatura. Per queste ragioni l'induttanza della bobina, la capacità del condensatore e le capacità interne della valvola variano. Per ottenere una frequenza sufficientemente costante è necessario lasciar riscaldare un oscillatore almeno per un quarto d'ora per fare stabilizzare la temperatura.

Uguale influenza hanno le tensioni di alimentazione della valvola. La capacità fra gli elettrodi non è determinata solo dalle dimensioni e distanze di essi, ma è notevolmente influenzata dal flusso di elettroni che stabilisce una specie di ponte conduttore fra loro. Si debbono perciò stabilizzare la tensione di accensione e quella anodica di alimentazione.

29. Produzione delle onde elettromagnetiche.

Un filo metallico isolato, alto da terra, ed uno sotterrato costituiscono un condensatore con le armature a notevole distanza fra loro. I due conduttori sono collegati alla bobina A , fig. 55, in cui può essere indotta una tensione alla frequenza che si desidera. Una corrente alla stessa frequenza scorrerà nella bobina per caricare il condensatore suddetto.

I gas sono normalmente ionizzati, cioè in essi a causa delle radiazioni ultraviolette o cosmiche, vi è un certo numero di elettroni liberi, vaganti fra le molecole. Essi fanno parte della massa di aria compresa fra i conduttori di aereo e terra e si trovano assoggettati al campo elettrico alternato prodotto. Essi si spostano seguendo la direzione di questo e con ciò producono una corrente di spostamento a sua volta origine di un campo magnetico.

Quest'ultimo influenza gli elettroni più prossimi, meno assoggettati all'azione del campo elettrico, facendoli spostare

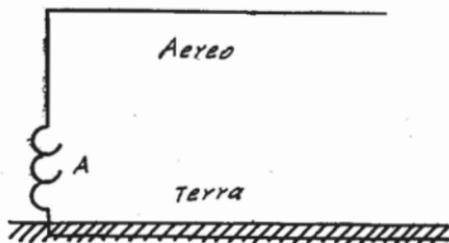


Fig. 55. — Circuito aereo terra.

con produzione di una carica e quindi di un campo elettrico successivo (spiegazione molto approssimativa per dare una nozione generica del fenomeno).

Il condensatore costituito dall'aereo e dalla terra non obbedisce al concetto di reattanza capacitiva studiato in c.a. perchè esso, contrariamente ad un normale condensatore, dissipa la potenza fornitagli. L'intensità del campo elettromagnetico irradiato è proporzionale al quadrato della corrente. Per ottenere il massimo valore di questa si accorda il circuito d'aereo alla stessa frequenza della tensione indotta in *A* e, poichè esso si comporta come un circuito oscillatorio in serie, quando si ottiene la risonanza la corrente indicata da un amperometro collegato fra la bobina *A* e la terra raggiunge il valore massimo.

30. Propagazione delle onde elettromagnetiche.

Le onde elettromagnetiche si propagano tutto intorno all'aereo e sono soggette alle stesse leggi sulla riflessione, rifrazione e diffrazione delle onde luminose, anch'esse di origine elettromagnetica.

Tutto intorno alla terra, ad un'altezza di 100 km o più, vi sono vari strati ionizzati, cioè strati di gas rarefatti con un notevole numero di elettroni liberi. La loro ionizzazione varia con l'ora, il giorno e le stagioni. Rispetto alle oscillazioni elettromagnetiche interessanti il campo radio, questi strati si com-

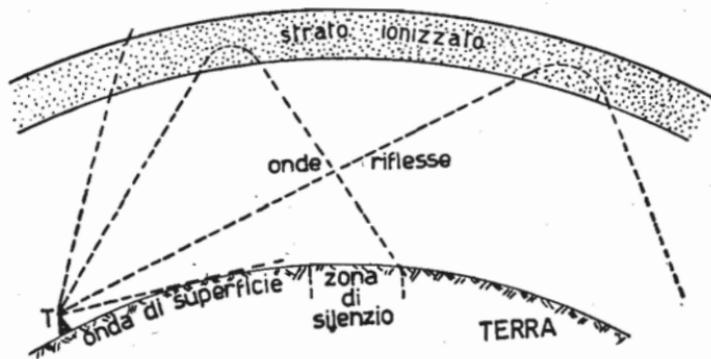


Fig. 56. — Propagazione delle onde elettromagnetiche.

portano come riflettori metallici. Col variare della densità degli elettroni liberi si hanno contemporaneamente effetti di riflessione e di rifrazione, perciò le onde radio che li colpiscono sono riflesse sulla terra, fig. 56.

In un conduttore qualsiasi, che si trova immerso nel campo elettromagnetico dovuto a queste onde, è indotta una tensione alla loro stessa frequenza.

Si fa uso di conduttori isolati, posti ad altezza più o meno elevata da terra, collegati ad apparecchi radiorecipienti, per poter captare queste oscillazioni elettromagnetiche e utilizzare le correnti indotte in essi, che costituiscono il segnale ricevuto.

Un aereo ricevente è colpito da onde radio, emesse dallo

stesso trasmettitore, dopo aver percorso distanze differenti: esse risultano sfasate in grado variabile, continuamente e per tempi più o meno brevi. Sull'aereo possono essere indotte tensioni uguali ed in perfetta opposizione con conseguente scomparsa del segnale. Per assicurare le comunicazioni, malgrado questi effetti di evanescenza, si fa uso di 2 o 3 antenne, installate a distanze maggiori di una lunghezza d'onda e collegate a 2 o 3 ricevitori, tutti regolati alla stessa frequenza e le cui uscite sono inviate allo stesso altoparlante.

31. Frequenze e lunghezze d'onda.

Le onde elettromagnetiche adoperate durante le prime comunicazioni via radio erano di frequenza molto bassa, onde lunghe. Man mano, col perfezionarsi dei mezzi per la produzione e la ricezione delle oscillazioni elettromagnetiche, si è aumentata sempre più la loro frequenza. Vi sono varie denominazioni delle onde elettromagnetiche a seconda della loro frequenza e le cui particolari applicazioni e caratteristiche sono indicate di seguito.

I

FREQUENZE E LUNGHEZZE D'ONDA

f kHz	λ m	onde
30 ÷ 100	10000 ÷ 3000	lunghissime
100 ÷ 500	3000 ÷ 600	lunghe
500 ÷ 1500	600 ÷ 200	medie
1500 ÷ 6000	200 ÷ 50	medie-corte
6000 ÷ 30000	50 ÷ 10	corte
30000 ÷ 300000	10 ÷ 1	cortissime
300000 ÷ 3000000	1 ÷ 0,1	iperfrequenze

Lunghissime: adoperate come ultrasuoni.

Lunghe: attenuazione bassa di notte, alta di giorno, più elevata di estate che d'inverno, adoperate in marina e aeronautica.

Medie: comportamento identico alle lunghe. Adoperate per radio diffusioni.

Medie-corte: attenuazione bassa di notte, moderata di giorno. Adoperate per comunicazioni a piccola distanza.

Corte: bassa attenuazione ma variazione della distanza di trasmissione a seconda della ionizzazione dell'alta atmosfera, molto variabile durante il giorno e le stagioni; per comunicazioni a grande distanza, in aeronautica.

Cortissime: con propagazione rettilinea non sono riflesse dalla ionosfera; adatte per comunicazioni a piccole distanze, televisione e radio-fari.

Iperfrequenze: radar, esperienze di laboratorio, televisione.

32. L'aereo.

Il conduttore costituente l'aereo possiede una capacità e un'induttanza distribuite, cioè ad ogni metro di conduttore corrisponde un valore di induttanza e di capacità, quindi ogni conduttore costituisce un circuito oscillatorio che ha una propria frequenza di risonanza. Un conduttore isolato nello spazio ha, teoricamente, una frequenza di risonanza il cui valore è dato dal rapporto fra la velocità di propagazione delle oscillazioni elettromagnetiche e il doppio della lunghezza del conduttore

$$f = \frac{v}{2l} \qquad \begin{array}{l} f \text{ Hz} \\ v \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m} \\ l \text{ m} \end{array}$$

da cui si ricava la lunghezza che deve avere un conduttore perchè risuoni ad una data frequenza.

L'aereo più semplice è costituito da un conduttore verticale collegato con l'estremo inferiore a terra. Nel punto di collegamento s'introduce la tensione a mezzo di un generatore a radio frequenza, costituito in pratica da una o più spire accoppiate al circuito oscillatorio di un oscillatore a valvola, fig. 57.

Regolando ad un valore adatto la frequenza della tensione indotta, si ottiene la distribuzione della corrente come indicato dalla curva tratteggiata I , cioè si ha un valore massimo alla

base dell'aereo e che si riduce progressivamente fino a zero all'estremo superiore. Contemporaneamente la tensione da un

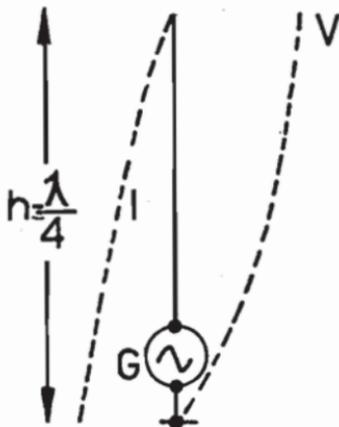


Fig. 57. — Aereo in quarto d'onda.

valore minimo alla base dell'aereo aumenta sino ad un valore massimo all'estremo superiore. Alla frequenza a cui si verifica

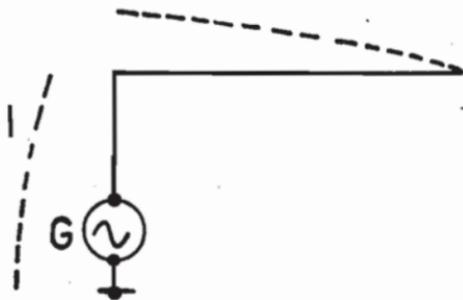


Fig. 58. — Aereo ripiegato in quarto d'onda.

il massimo di corrente corrisponde una lunghezza d'onda uguale a 4 volte la lunghezza del conduttore d'aereo, cioè questo lavora in quarto d'onda.

L'aereo può essere ripiegato, fig. 58, ed in tal caso la distribuzione della corrente resta fundamentalmente uguale a quella di fig. 57.

Un aereo di determinate dimensioni può funzionare ad una frequenza differente dalla propria, con una distribuzione di corrente simile a quella già vista.

Se alla sua base si inserisce un condensatore si ottiene un accorciamento dell'aereo e quindi la possibilità di trasmettere a frequenze maggiori della fondamentale, se vi si collega una

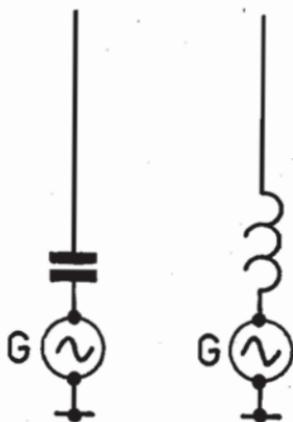


Fig. 59. — Accorciamento e allungamento di un aereo.

induttanza si riduce la frequenza di risonanza, cioè si allunga l'aereo, fig. 59.

Un aereo possiede una resistenza totale costituita da due componenti, quella ohmmica e quella di radiazione. La prima è dovuta alla resistenza dei conduttori, della bobina e della terra ed alle perdite negli isolanti, componente puramente passiva; la seconda è la componente utile e determina, con una data corrente, la potenza irradiata.

Un aereo ricevente deve funzionare su una vasta gamma di frequenze, a differenza di quello di un trasmettitore, fornendo una sufficiente tensione al ricevitore. La tensione indotta in

un tale aereo dalle oscillazioni elettromagnetiche che lo incontrano nella loro propagazione è data da:

$$V = E h$$

in cui E è la componente del campo elettromagnetico espressa in $\mu\text{V/m}$ ed h l'altezza efficace in metri dell'aereo. Nel caso di un aereo verticale adoperato per le onde medie, poichè la sua lunghezza è molto ridotta rispetto quella delle onde delle stazioni ricevute, l'altezza efficace può essere ritenuta metà della sua altezza da terra. Per ottenere una buona ricezione occorre che la componente del campo elettromagnetico di un trasmettitore risulti almeno di $100 \mu\text{V/m}$ nella zona dell'aereo ricevente.

33. Trasmettitori.

Per irradiare un'onda elettromagnetica di una certa frequenza, si deve accoppiare l'aereo con il circuito oscillatorio LC , sede di una corrente oscillante a quella frequenza. Sul

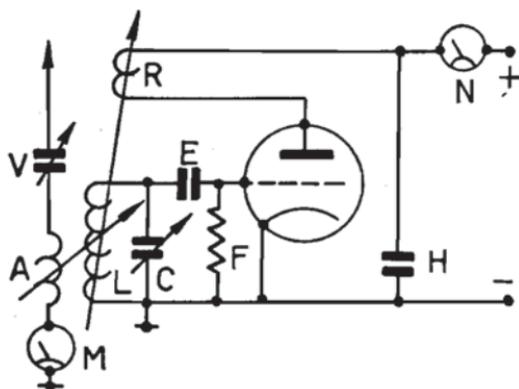


Fig. 60. — Trasmettitore.

conduttore di collegamento fra l'aereo e la terra è introdotta la bobina A che permette questo accoppiamento, fig. 60.

Il circuito antenna terra costituisce un circuito oscillatorio in serie e per variare la frequenza di accordo, o di sintonia,

si introduce in serie ad A il condensatore variabile V . Regolando questo man mano che la frequenza di risonanza dell'aereo si avvicina a quella del circuito oscillatorio LC aumenta la corrente indicata dall'amperometro d'aereo M : essa raggiunge il massimo ad accordo perfetto. Il circuito LC fornisce, in queste condizioni, una potenza notevole all'aereo, se l'accoppiamento fra A ed L è sufficientemente stretto.

Se regolando V si ha un'eccessiva richiesta di potenza dal circuito LC si può avere il disinnescamento delle oscillazioni continue. Occorre una volta trovato l'accordo dell'aereo, regolare l'accoppiamento delle due bobine A ed R con L , per ottenere la massima corrente in M . Non si deve superare il valore della corrente anodica massima specificata dal costruttore della valvola e indicata da N .

Le variazioni negli accoppiamenti producono il disaccordo del circuito LC e di quello d'aereo, si deve perciò controllare con un ricefrenquenzimetro la frequenza prodotta e si effettueranno i piccoli ritocchi per la messa a punto esatta del trasmettitore.

34. Modulazione di ampiezza.

Per ottenere la trasmissione a distanza di segnali telegrafici è sufficiente inserire un tasto telegrafico sul circuito anodico della valvola oscillatrice: solo nei brevi istanti in cui il tasto è mantenuto abbassato si ha trasmissione. Le radiazioni elettromagnetiche sono chiamate onde portanti perchè, con il loro mezzo è possibile inviare dei messaggi a distanza. Quando si debbano trasmettere suoni o parole non si può avere una così radicale interruzione della portante, ma occorre farne variare l'ampiezza corrispondentemente alla frequenza e all'intensità dei suoni da trasmettere. Si deve cioè fare in modo che se la frequenza di un suono è di 1000 Hz, l'ampiezza della portante vari 1000 volte in 1 sec. Se questo suono è debole l'ampiezza della corrente deve variare poco, se forte si devono avere variazioni ampie.

Per ottenere la modulazione della portante si può far uso del sistema di modulazione di griglia. Lo schema è quello di fig. 61, in cui una valvola oscillatrice è collegata al circuito oscillatorio LC . Fra questo e il catodo è inserito il secondario

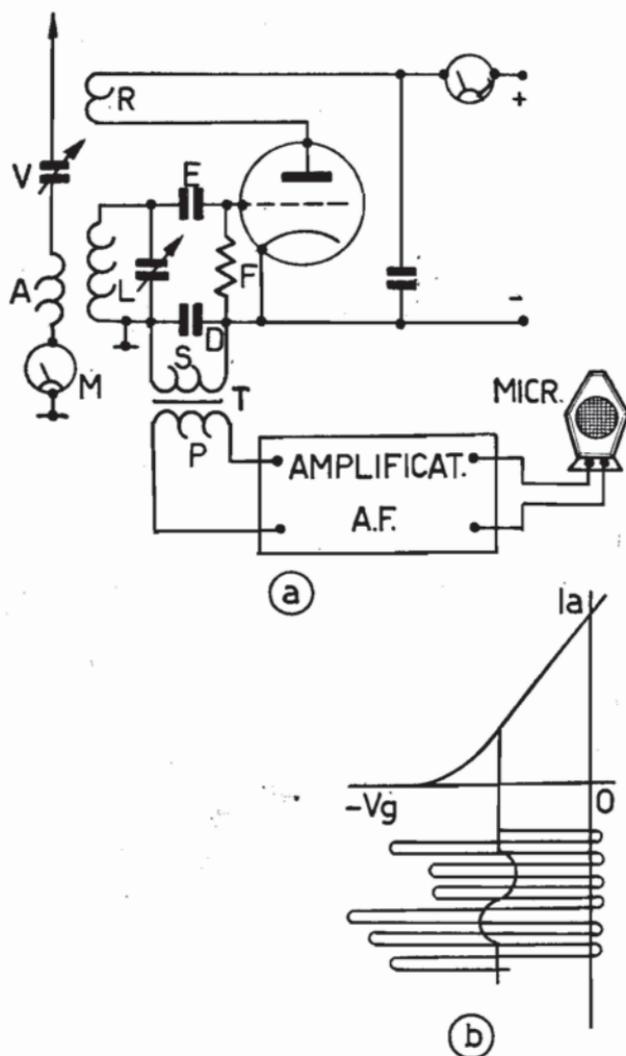


Fig. 61. — Trasmettitore con modulazione di ampiezza.

del trasformatore di uscita di un amplificatore ad AF con il condensatore D in parallelo per facilitare il passaggio della tensione a RF.

Sulla griglia dell'oscillatore risultano due tensioni alter-nate che si sommano o si sottraggono fra loro. La corrente anodica risulta controllata da entrambe contemporaneamente, a causa dell'autopolarizzazione di griglia variabile prodotta, quindi fornirà un'energia variabile al circuito oscillatorio LC , la cui ampiezza di oscillazione non si manterrà costante. Anche l'ampiezza delle oscillazioni elettromagnetiche irradiate nello spazio varierà a seconda della frequenza e dell'intensità dei suoni emessi innanzi al microfono, cioè l'onda portante risulterà modulata in ampiezza.

La percentuale di modulazione è data dal rapporto fra l'aumento o la diminuzione di ampiezza M , dovuto alla modulazione, e l'ampiezza della portante P , senza modulazione: $m\% = M/P$, fig. 62 a).

Se la tensione alternata di uscita dell'amplificatore ad audiofrequenza è di ampiezza maggiore della tensione alternata a RF, fig. 62 c), si ha sovr modulazione, cioè interruzione della portante per un tempo t .

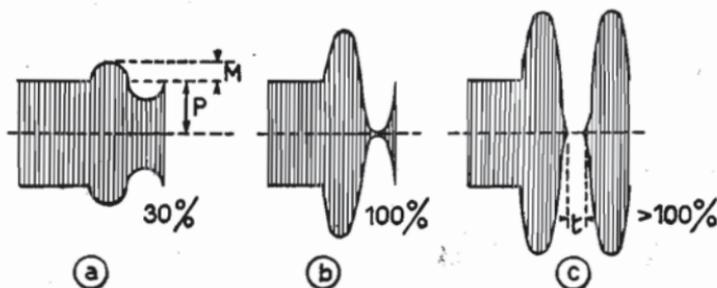


Fig. 62. - Percentuale di modulazione.

Con la modulazione del 100% la potenza istantanea irradiata raggiunge 4 volte la potenza irradiata senza modulazione perchè la tensione o la corrente si raddoppia e la potenza è proporzionale al quadrato della tensione o della corrente, perchè data dalla formula $P = R I^2 = V^2/R$, in cui R

è la resistenza di irradiazione dell'aereo. Il valore medio della potenza con modulazione del 100 % è di 1,5 volte la potenza dell'onda non modulata. L'amplificatore di audiofrequenza deve quindi fornire, durante la modulazione massima, una potenza all'incirca uguale alla metà di quella fornita a RF dal trasmettitore all'aereo.

Una portante modulata è costituita da oscillazioni elettromagnetiche ad una determinata frequenza radio, la cui ampiezza varia secondo l'intensità dei suoni emessi innanzi al microfono con una rapidità data dalla frequenza dei suoni stessi. La componente a radio frequenza di questa portante è costituita dalle oscillazioni a RF irradiate dall'aereo, la componente ad audiofrequenza è costituita dall'involuppo di queste oscillazioni, cioè dalle variazioni della loro ampiezza susseguentisi con rapidità variabile, secondo le correnti prodotte nel microfono dai suoni incidenti. È compito di un radio ricevitore, allorchè il suo aereo ricevente è colpito da oscillazioni elettromagnetiche di questo tipo; cioè da una portante modulata, di separare queste due componenti.

Quando un'onda portante è modulata con una tensione a frequenza acustica si ha contemporaneamente la produzione di 3 radiofrequenze, e cioè la frequenza della portante, la frequenza somma di quella della portante e di quella di modulazione e la frequenza differenza fra quella della portante e quella di modulazione

$$f_p, f_p + f_m, f_p - f_m$$

Un trasmettitore durante il funzionamento non occupa quindi un solo punto in una gamma di frequenze, ma una banda di frequenze la cui larghezza è di 2 volte il valore della frequenza massima di modulazione. Per convenzione internazionale ogni trasmettitore radiofonico a onde medie occupa una banda di frequenze di 9 kHz, cioè la frequenza massima a cui può essere modulata la portante è di 4,5 kHz.