

PARTE I

ELEMENTI DI RADIOTECNICA

CAPITOLO I

**GRANDEZZE ALTERNATIVE E CIRCUITI
IN C. A.**

1. Tensione e corrente alternate.

Le correnti alternate variano nel tempo con continuità dal valore zero ad un valore massimo positivo, da questo si riportano al valore zero e quindi raggiungono un massimo negativo per riportarsi nuovamente a zero: esse presentano

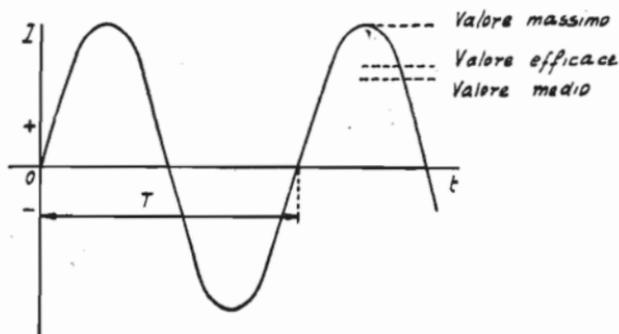


Fig. 1. - Corrente alternata sinusoidale e valori relativi ad essa.

ad intervalli regolari di tempo la stessa successione di valori, cioè sono grandezze periodiche.

Il tempo impiegato da una corrente alternata a passare per tutta una successione di valori fino a giungere allo stesso di partenza si chiama periodo, fig. 1, ed è indicato con T .

Il numero di periodi che si verificano in un secondo è la frequenza; l'unità di misura della frequenza è l'hertz, Hz.

Di una tensione o una corrente alternata sinusoidale si considerano il valore massimo, positivo o negativo, cioè la massima ampiezza della sinusoide che la rappresenta, il valore efficace ed il valore medio.

Il valore efficace corrisponde al valore della radice quadrata della media aritmetica dei quadrati dei valori assunti dalla tensione o corrente durante un periodo. Questo valore corrisponde a quello di una tensione o corrente continua che applicata o circolante nello stesso circuito, produce lo stesso effetto termico, cioè ha la stessa efficacia.

Il valore efficace risulta 0,707 volte il valore massimo; quest'ultimo è 1,414 volte il valore efficace.

Il valore medio corrisponde a quello di una tensione o corrente continua avente un'ampiezza tale che costruendo un rettangolo, avente come base quella di un semiperiodo e come altezza l'ampiezza suddetta, questo risulti con la stessa superficie della semionda. Il valore medio di una tensione o corrente risulta 0,636 volte il valore massimo; quest'ultimo 1,57 volte il valore medio. Il valore medio risulta 0,9 del valore efficace e quest'ultimo 1,11 volte quello medio.

Il valore medio di un intero periodo risulta zero, pertanto i valori suddetti si riferiscono ad un semiperiodo.

2. Circuiti in corrente alternata.

Applicando ad un resistore una tensione alternata in esso circolerà una corrente il cui valore sarà calcolabile con la legge di Ohm. La tensione applicata e la corrente risultano in fase fra loro. Applicando una tensione alternata ad una bobina con induttanza L in essa scorrerà una corrente limitata dalla reattanza della bobina, $X_L = 2 \pi fL$, con un ritardo di fase di 90° , e calcolabile con la legge di Ohm sostituendo al valore della resistenza quello della reattanza.

Applicando una tensione alternata ad un condensatore di capacità C in esso scorrerà una corrente limitata dalla sua reattanza $X_C = 1/2 \pi fC$, con anticipo di fase di 90° , calcolabile con la legge di Ohm. Nei tre casi suddetti la corrente

sarà data

$$I_R = \frac{V}{R} \quad I_L = \frac{V}{2\pi f L} \quad I_C = \frac{V}{\frac{1}{2\pi f C}} = 2\pi f C V.$$

Dalla differente combinazione in serie di un resistore, una bobina ed un condensatore risultano dei circuiti in cui, applicata una tensione alternata, scorre una corrente limitata dal valore della loro impedenza. Un circuito costituito da una bobina ed un resistore in serie fra loro ha un'impedenza

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}, \text{ (fig. 2 a).}$$

Una bobina ha sempre una resistenza propria, dovuta sia alla resistenza ohmmica del conduttore, sia alle perdite che si producono nel supporto della bobina e nell'isolante del conduttore, quando la frequenza della tensione applicata è molto alta. La qualità di una bobina è indicata dal rapporto fra la sua reattanza e la sua resistenza, $Q = 2\pi f L/R$, e tale rapporto deve risultare quanto più grande è possibile.

Un circuito costituito da un condensatore ed un resistore in serie ha un'impedenza

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}, \text{ (fig. 2 b).}$$

Un condensatore ha sempre una resistenza in serie, costituita dalla resistenza delle sue armature e dalle perdite nel dielettrico, quando la frequenza della tensione applicata è molto grande. La qualità di un condensatore è indicata dal valore di

$$\text{tg } \vartheta = 2\pi f C R,$$

che deve risultare molto piccolo se il condensatore è di qualità ottima.

Collegando in serie una bobina, un condensatore ed un resistore si ha un circuito la cui impedenza è

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}, \text{ fig. 2 c).}$$

In questo circuito la reattanza induttiva e quella capacitiva si annullano a vicenda, parzialmente o completamente: quest'ultimo caso si verifica per una particolare frequenza, detta di risonanza, ed in tale condizione è solo la resistenza che limita la corrente nel circuito, che raggiungerà perciò il valore massimo. Poichè essa circola anche nei due elementi reattivi su ognuno di questi risulta una tensione, data dal prodotto del valore della corrente per quello della reattanza, che può risultare più grande di quella applicata al circuito.

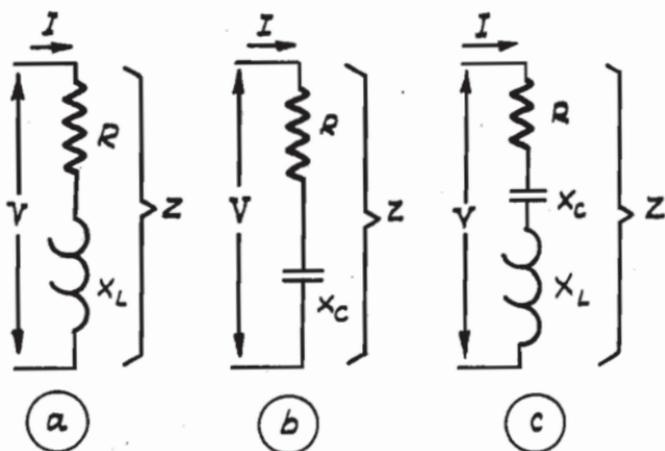


Fig. 2. — Circuiti in serie.

Gli elementi di circuito suddetti possono essere collegati in parallelo in vari modi; interessa considerare solo qualcuno di questi circuiti.

Collegando un condensatore ed un resistore in parallelo si ottiene un circuito con impedenza

$$Z = R X_c / \sqrt{R^2 + X_c^2}, \text{ (fig. 3e).}$$

Un condensatore ha sempre delle perdite che possono essere considerate come una resistenza in parallelo ad esso.

La qualità di un condensatore è indicata dal valore di

$$\text{tg } \vartheta = 1/2 \pi / C R ;$$

anche in questo caso il valore suddetto deve risultare molto piccolo. Poichè di uno stesso condensatore i due valori di $tg \delta$, ottenuti considerando le sue perdite come una resistenza

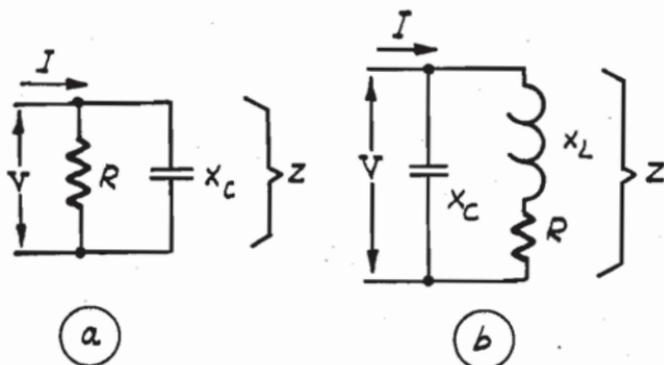


Fig. 3. - Circuiti in parallelo.

in serie o in parallelo, debbono necessariamente essere uguali il valore della resistenza in serie sarà molto piccolo e quello in parallelo grande se il condensatore è di buona qualità.

L'impedenza di un circuito, comprendente una bobina, un condensatore ed un resistore in parallelo risulta

$$Z = L/C \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}, \text{ (fig. 3 b).}$$

Questa formula, nel caso che le due reattanze risultano di uguale valore, alla frequenza di risonanza, si semplifica in $Z = L/CR$ e può essere anche scritta

$$Z = 2 \pi f L Q .$$

Ad una determinata frequenza la reattanza di una bobina e quella di un condensatore collegati fra loro, risultano uguali, cioè

$$2 \pi f L = \frac{1}{2 \pi f C} ; \quad 4 \pi^2 f^2 L C = 1 ;$$

$$f^2 = \frac{1}{4 \pi^2 L C} ; \quad f = \frac{1}{2 \pi \sqrt{L C}}$$

questa frequenza è quella di risonanza del circuito.

Poichè le oscillazioni elettromagnetiche si propagano nello spazio con la velocità di $3 \cdot 10^8$ m al secondo, si può calcolare la lunghezza corrispondente ad ogni periodo o onda di dette oscillazioni, considerando che di esse se ne producono f in un secondo. La lunghezza d'onda in metri è

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{f} = 18,85 \cdot 10^8 \sqrt{LC}$$

introducendo nella formula suddetta i valori di L e C in μH e μF risulta

$$\lambda = 1885 \sqrt{LC}$$

Nei conduttori la velocità di propagazione della corrente elettrica è minore di quella delle oscillazioni elettromagnetiche nello spazio.

Si sostituisce normalmente nelle formule sin qui riportate a $2\pi f$ la lettera ω e tale sostituzione sarà effettuata nelle formule che seguono nel testo; ω è chiamata pulsazione.

CAPITOLO II

OSCILLAZIONI ELETTROMAGNETICHE

3. Circuito oscillatorio.

Un circuito oscillatorio è costituito da una bobina ed un condensatore collegati fra loro. La bobina L , fig. 4, è realizzata con un avvolgimento in filo di rame, isolato, ed ha una determinata induttanza con basso la resistenza; il condensa-

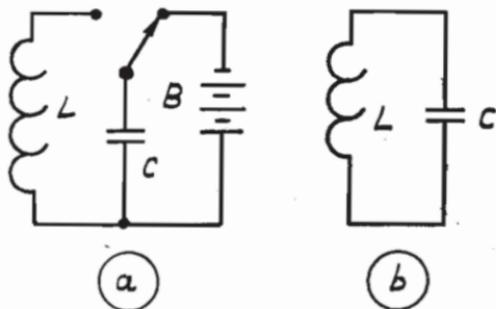


Fig. 4. - Circuito oscillatorio.

tore C ha basse perdite. Portando il commutatore I nella posizione a destra, la batteria B è collegata al condensatore C e questo si carica.

Spostando il commutatore I a sinistra il condensatore è collegato alla bobina L e si ha il circuito di fig. 16). All'istante della chiusura del circuito il condensatore è carico, la tensione presente fra i suoi morsetti è applicata alla bobina, comincia a scorrere in questa una corrente e si ha la produzione di un campo magnetico variabile. Questo induce nelle spire stesse della bobina una tensione in senso inverso a quella applicata dal condensatore: l'autoinduzione della bobina li-

mita in tal modo la corrente e questa può aumentare lentamente, facendo aumentare contemporaneamente l'intensità del campo magnetico. Quando il condensatore si è completamente scaricato sulla bobina la corrente ha raggiunto la massima intensità, così pure il campo magnetico. Non appena la corrente tende a diminuire dal valore raggiunto per portarsi a 0, il campo esistente induce una tensione nelle spire della bobina di segno tale da continuare a far passare la corrente nello stesso verso di quella fornita dal condensatore. Questa corrente non può che fluire nel condensatore e caricarlo con polarità opposta a quella datagli in precedenza dalla batteria. Poichè l'armatura superiore del condensatore era caricata negativamente al momento della chiusura di I la scarica del condensatore si è effettuata con un passaggio di elettroni dall'armatura superiore a quella inferiore.

Quando il condensatore è scarico le due armature sono allo stato neutro.

Con la nuova carica gli elettroni sono tolti all'armatura superiore e portati su quella inferiore, quindi la corrente indotta circola nella bobina nello stesso senso di quella di scarica di C . Poichè questa corrente è generata a spese dell'energia immagazzinata dal campo magnetico si ha in breve la dissipazione completa di questa e cessa la corrente di carica di C .

La polarità delle cariche sulle armature risulta di segno contrario a quello precedentemente posseduto, la carica può ora circolare attraverso l'induttanza e produrre una corrente in senso inverso alla precedente, che crea un campo magnetico d'intensità crescente. Quando la scarica del condensatore è completa il campo magnetico tende a diminuire dalla massima intensità raggiunta e induce una corrente che carica il condensatore nuovamente con polarità invertita.

Con il circuito di fig. 4 b) si ottiene una corrente alternata della frequenza che si desidera, cioè con il numero che si vuole di trasferimenti di energia in 1 sec, dal campo magnetico a quello elettrico e viceversa (i trasferimenti di energia avvengono in numero doppio del valore della frequenza perchè per ogni periodo si ha una scarica del condensatore in un senso, una carica in senso inverso, una scarica ed una carica, fig. 5).

Se nel circuito LC non vi fosse alcuna resistenza (vi è quella del filo con cui è avvolta L e quella dei collegamenti di L con C) si avrebbe una serie infinita di trasferimenti di energia dalla bobina al condensatore e viceversa, quindi una corrente alternata sempre della stessa intensità massima nel

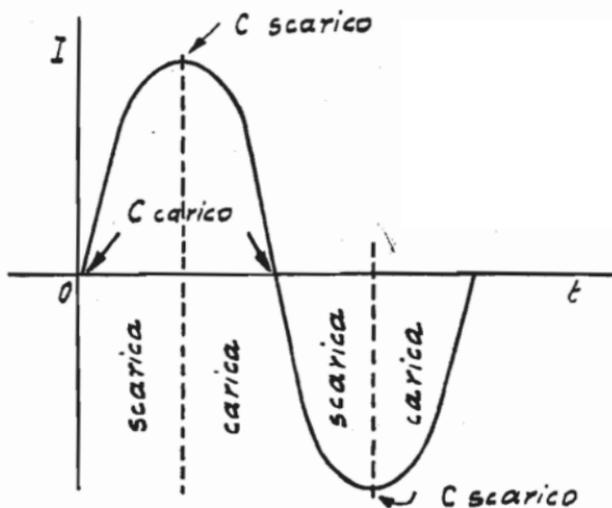


Fig. 5. - Cariche e scariche del condensatore.

circuito. Per la presenza della resistenza dei conduttori, ad ogni trasferimento di energia, dal campo magnetico della bobina a quello elettrico del condensatore, se ne ha una certa perdita e si finisce con il dissipare in calore tutta quella immagazzinata nella carica iniziale del condensatore. Per tale ragione l'intensità della corrente o l'ampiezza della tensione va man mano diminuendo sino ad annullarsi completamente: maggiore è la resistenza ohmmica dei conduttori, minore il numero delle oscillazioni prima che la corrente si annulli, fig. 6).

La tensione alternata della rete per l'illuminazione ha un'ampiezza costante e le sue oscillazioni sono dette persi-

stenti o continue. Anche con i circuiti oscillatori è possibile ottenere oscillazioni continue collegandoli a dispositivi elettronici che forniscono loro periodicamente nuova energia.

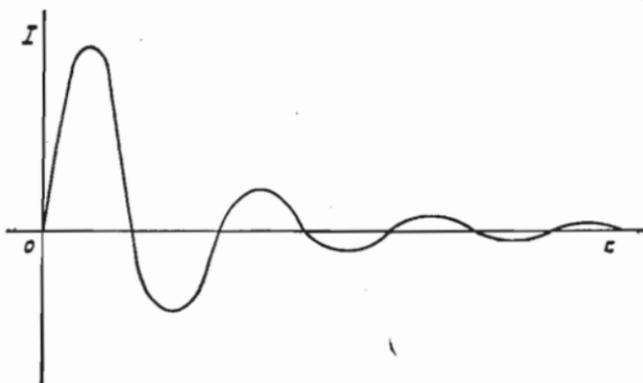


Fig. 6. — Oscillazioni smorzate.

4. Circuiti oscillatori in serie ed in parallelo.

Fra i morsetti di un generatore di corrente alternata è inserita, fig. 7), una bobina, con induttanza L e fattore di merito

$$Q = \frac{\omega L}{R},$$

collegata:

IN SERIE

IN PARALLELO

ad un condensatore variabile, di capacità C e senza perdite.

La tensione V del generatore applicata al circuito è mantenuta costante pur facendo variare la frequenza f da un valore molto basso ad uno molto più elevato di quella a cui risona il circuito.

La corrente I fornita dal generatore al

Nel circuito scorre la corrente $I = V/Z$

Ai capi del circuito si ha la tensione $V = IZ$

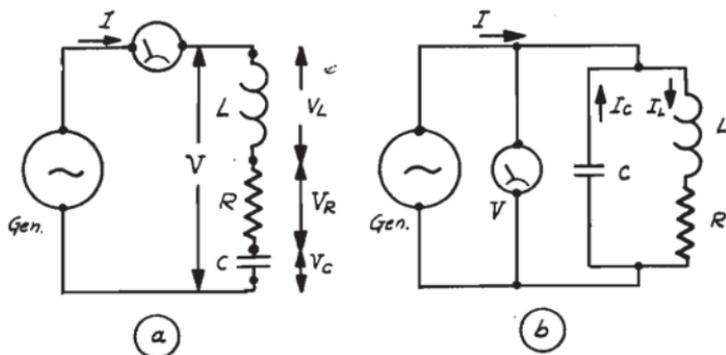


Fig. 7. — Circuiti oscillatori in serie ed in parallelo.

Poichè l'impedenza del circuito varia con la frequenza, secondo la formula

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \qquad Z = \frac{L}{C \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

ad una particolare frequenza si verifica la condizione di $X_L = X_C$ (a risonanza) e l'impedenza risulta

$$Z_0 = B_0 = \frac{\omega_0 L}{Q} = \frac{1}{\omega_0 C Q} \qquad Z_0 = \frac{L}{C R_0} = \omega_0 L Q = \frac{Q}{\omega_0 C}$$

e la corrente I raggiunge il suo valore massimo. Quel particolare valore $\omega_0 = 2\pi f_0$ della pulsazione che rende $X_L = X_C$ si chiama pulsazione di risonanza; la frequenza di risonanza è

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

Inoltre, sempre a risonanza, la corrente e la tensione sono

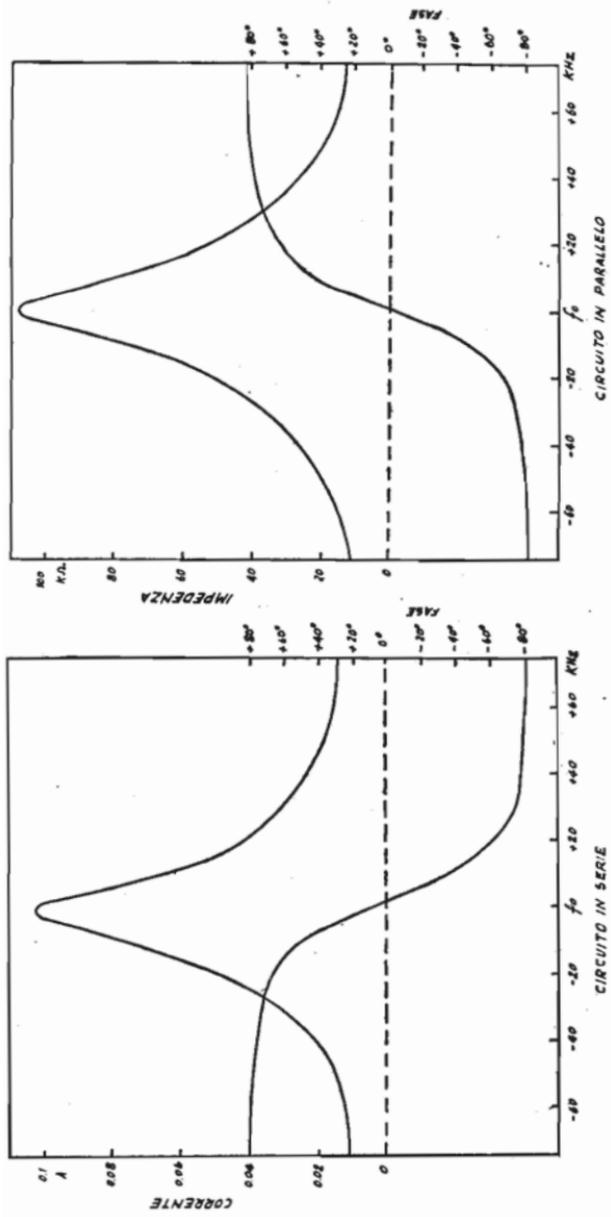


Fig. 8. - Caratteristiche di selettività dei circuiti oscillatori.

in fase, cioè il circuito si comporta come una pura resistenza di valore Z_0 , con la differenza che

ai capi di L e di C esiste una

$$V_L = V_C,$$

data da $I X_L = I X_C$, molto maggiore della V applicata dal generatore all'intero circuito, che rappresenta la sovratensione presente su L e su C .

I rapporti che seguono sono coefficiente di sovratensione

$$\varepsilon = Q = V_L/V = V_C/V = \frac{\omega_0 L}{R}$$

Per le frequenze diverse da f_0 la

in L e in C scorre una corrente

$$I_L \simeq I \varepsilon,$$

data da $V/X_L \simeq V/X_C$, molto maggiore della I fornita dal generatore all'intero circuito, che rappresenta una forte sovracorrente.

detti coefficienti di risonanza: coefficiente di sovracorrente

$$\varepsilon = Q = I_L/I \simeq I_C/I = \frac{Z_0}{\omega_0 L}$$

CORRENTE

diminuisce rapidamente secondo l'andamento della curva di risonanza, fig. 8).

Essa indica il valore della corrente che scorre nel circuito ed il relativo angolo di fase al variare della frequenza della tensione applicata. Alle frequenze più basse di quella di risonanza la reattanza capacitiva risulta grande rispetto quella induttiva, quindi il valore della corrente è determinato principalmente da essa, la corrente stessa è in anticipo ed il carico costituito dal circuito è capacitivo. Alle frequenze più alte è la reattanza induttiva che assume un valore preponderante, la corrente è in ritardo e il carico è induttivo.

TENSIONE

Essa indica il valore della tensione sul circuito e l'angolo di fase della corrente, al variare della frequenza della tensione applicata. Alle frequenze più basse la reattanza induttiva è piccola rispetto quella capacitiva e nella bobina scorre la massima parte della corrente, che risulta in ritardo rispetto alla tensione ed il carico costituito dal circuito è induttivo. Alle frequenze più alte è la reattanza capacitiva che assume un valore basso, la corrente è in anticipo ed il carico è capacitivo.

CAPITOLO III

VALVOLE ELETTRONICHE

5. Emissione termoelettrica.

Un filamento di metallo, teso fra due conduttori di supporto, è racchiuso in un'ampolla di vetro in cui si effettua il vuoto; applicando al filamento una adatta tensione, batteria *A*, vi si fa passare una corrente che lo porta a temperatura elevata: in queste condizioni il filamento si dilata, aumentano le distanze interatomiche e la velocità di rotazione degli elettroni; con ciò si ha facilmente la fuoriuscita di alcuni di essi dalle loro orbite. Molti di questi elettroni sono proiettati fuori del filamento e costituiscono intorno ad esso uno strato detto carica spaziale: il catodo (elettrodo costituito dal filamento o da un tubicino metallico riscaldato dal filamento) resta caricato positivamente per la perdita di elettroni e impedisce a questi di allontanarsi ulteriormente. Nell'ampolla di vetro, a una certa distanza dal catodo, è fissata una

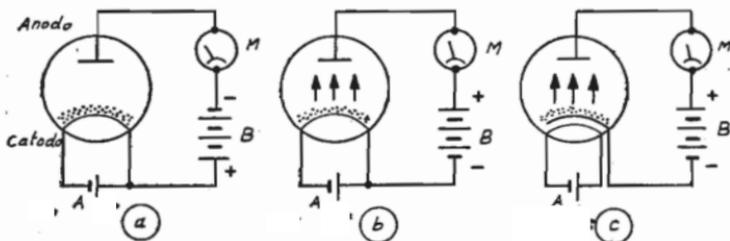


Fig. 9. - Diodo.

lamina di metallo, detta placca o anodo, con un conduttore per il suo collegamento nel circuito di fig. 9 a).

Dando all'anodo una tensione negativa rispetto al catodo, a mezzo della batteria *B*, gli elettroni sono respinti da questo

elettrodo e restano intorno al catodo. Invertiti i collegamenti della batteria B si rende positivo l'anodo, fig. 9 b): gli elettroni sono ora attratti da esso e costituiscono un flusso continuo attraverso il vuoto dell'ampolla. Raggiunto l'anodo si incanalano lungo questo e il conduttore esterno, circolano nello strumento di misura M e nella batteria B e ritornano al catodo. Con il circuito suddetto è possibile ricavare le curve caratteristiche del diodo, cioè del particolare tipo di valvola elettronica costituita da un anodo e da un catodo riscaldato.

Ognuna di queste caratteristiche si riferisce ad una determinata accensione del filamento, ad es. 1,5 o 2,5 V. Dando alla batteria B una tensione man mano crescente si effettua una serie di misure del flusso di elettroni (corrente anodica I_a) corrispondente a ciascun valore di B . Trovati i punti, sul piano individuato dalle due coordinate I_a e V_a , relativi alle coppie di valori, si traccia la prima curva caratteristica corrispondente a $V_f = 1$ V, fig. 10).

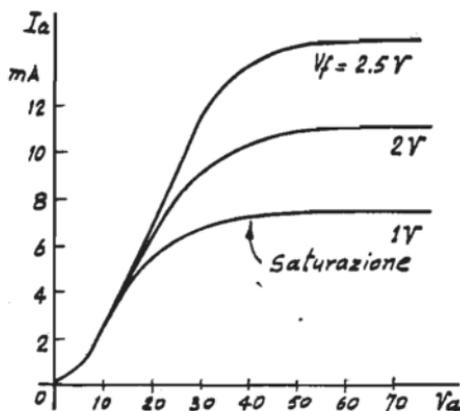


Fig. 10. — Caratteristiche anodiche di un diodo.

Da questa caratteristica si rileva che con una piccola tensione anodica si ha una piccola corrente anodica; man mano che la tensione anodica aumenta si ha un breve tratto rettilineo che mostra come la corrente anodica sia proporzionale ad essa, ma dopo questo tratto la corrente anodica aumenta

lentamente sino a mantenersi costante malgrado qualsiasi aumento della tensione anodica.

Si è raggiunta così la saturazione del diodo, cioè tutti gli elettroni emessi dal catodo sono attirati sull'anodo. Per aumentare il numero degli elettroni disponibili e quindi l'intensità della corrente nel circuito, si deve aumentare la temperatura del catodo; se si eleva la tensione della batteria A , ad es. a 2 V, una maggiore corrente circola in esso con conseguente aumento della temperatura. Partendo da una tensione minima di B si traccia la seconda curva corrispondente a $V_f = 2 V$: questa ha tutto il primo tratto in comune con la curva precedente, ma presenta un tratto rettilineo più lungo ed una corrente di saturazione maggiore. Aumentando ancora l'accensione del filamento, si può tracciare una terza curva caratteristica che mostra ancora un identico comportamento.

6. Raddrizzamento della corrente alternata con il diodo.

La proprietà del diodo di far passare la corrente nel vuoto solo quando l'anodo è positivo rispetto al catodo si utilizza per far circolare la corrente solo in un senso in una resistenza quando si dispone di c.a.

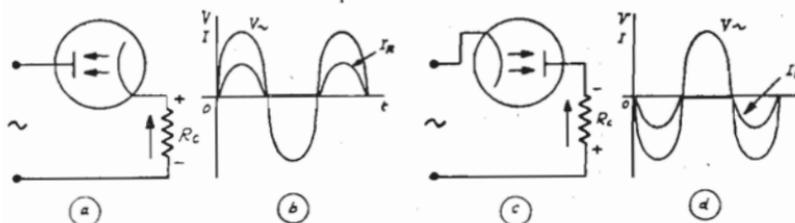


Fig. 11. — Raddrizzamento della corrente alternata con un diodo.

Realizzato il circuito di fig. 11 a) si rileva che la corrente passa nella resistenza solo quando il morsetto collegato all'anodo è positivo ed in tal caso su R_C si hanno le polarità indicate. Nel diagramma di fig. 11 b) è indicato il passaggio di corrente nel circuito solo durante le semionde di tensione

positive; negli intervalli, della durata di un semiperiodo, la corrente non può circolare perchè l'anodo è negativo.

Invertendo i collegamenti al diodo, fig. 11 c), si ha il passaggio di corrente solo quando il morsetto superiore è portato a tensione negativa, quando il catodo risulta negativo rispetto all'anodo (cioè l'anodo risulta positivo rispetto al catodo).

Il diagramma di fig. 11 d) indica il comportamento del circuito a cui è applicata la tensione alternata. Dai due diagrammi di fig. 11) si rileva che, a parte il senso in cui circola la corrente di elettroni, in R_o questa corrente assume sempre lo stesso valore massimo: essa è limitata dalla resistenza totale del circuito, data dal valore della resistenza interna del diodo R_a e da R_o .

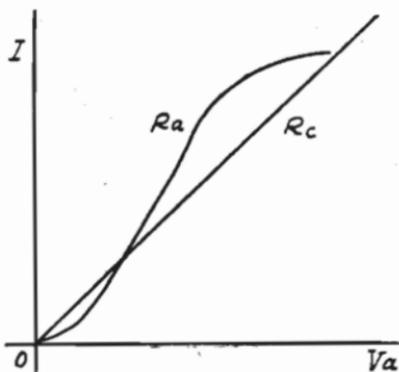


Fig. 12. - Caratteristica di una resistenza e di un diodo.

Dalla fig. 12) si rileva il differente comportamento di queste due resistenze: per R_o si ha proporzionalità fra la tensione applicata e la corrente che vi circola e la sua caratteristica è rappresentata da una retta, mentre la caratteristica R_a è quella propria del diodo.

Per questa differenza si dice che il diodo è un elemento non ohmmico del circuito e la sua resistenza equivalente ha un valore per ogni valore della corrente nel circuito.

Tenendo presente il funzionamento del diodo appare strano che si possa parlare di resistenza interna quando il catodo for-

nisce, entro un certo limite, tutti gli elettroni che si vogliono e che questi non trovano alcun ostacolo circolando nel vuoto. La potenza spesa nel diodo per far circolare gli elettroni è tramutata in calore, per l'accelerazione data agli elettroni nel loro movimento verso l'anodo. Queste piccole cariche elettriche raggiungono una grande velocità ed acquistano una notevole energia cinetica, che si trasforma in calore al momento del loro urto sull'anodo.

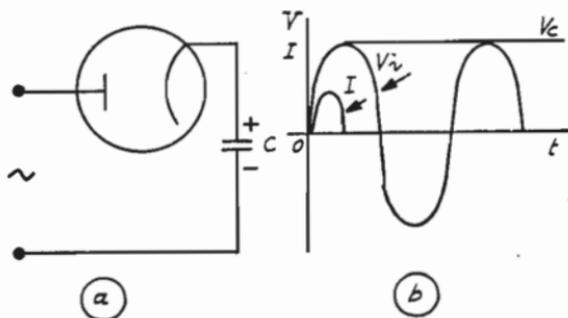


Fig. 13. - Carica di un condensatore con un diodo.

Si realizzi il circuito di fig. 13) nel quale alla R_c si è sostituito un condensatore. Questo si trova in condizioni di lavoro differenti da quelle di un circuito in c.a.: ai suoi estremi è applicata una tensione di polarità fissa, man mano crescente da 0 ad un valore massimo. Si consideri la 1^a semionda positiva applicata al circuito.

Non appena l'anodo comincia a diventare positivo, attira elettroni dal catodo che ne riceve un uguale quantitativo dall'armatura superiore di C , in quanto lo stesso quantitativo di elettroni è fornito dalla rete all'armatura inferiore. Man mano che la tensione sull'anodo aumenta, l'armatura superiore del condensatore risulta a tensione sempre più positiva perchè deve cedere al catodo gli elettroni attirati dall'anodo. La corrente di carica del condensatore aumenta con l'aumentare della tensione della semionda positiva, raggiunge un massimo e quindi si riduce a 0, quando la tensione della semionda è massima. La carica del condensatore è durata 1/4 di periodo,

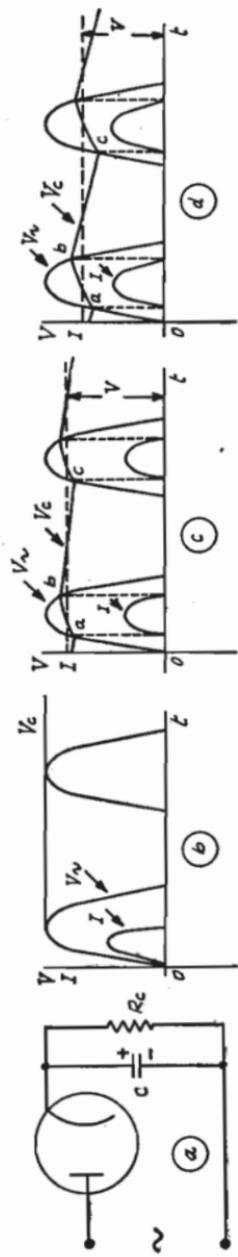


Fig. 14. - Raddrizzamento e filtraggio della corrente raddrizzata.

e sul condensatore si ha una tensione uguale al valore della tensione massima alternata: il condensatore rimane carico ed attraverso al circuito non si ha più passaggio di corrente.

Nel circuito di fig. 14 a) si è collegato in parallelo al condensatore C una resistenza R_c rappresentante il carico utilizzatore della corrente raddrizzata.

Il circuito è quello di un normale raddrizzatore per l'alimentazione di un radiorecettore: se la resistenza R_c ha un valore elevatissimo, cioè se attraverso ad essa passa una corrente trascurabile, si ha il funzionamento secondo il grafico di fig. 14 b).

Il condensatore, caricato durante la prima metà della prima semionda positiva dalla corrente di carica I , si mantiene praticamente carico alla tensione massima V_c senza richiedere più il funzionamento del diodo.

Si riduca il valore di R_c e si consideri il comportamento del circuito. Il condensatore C , caricato durante una semionda positiva, precedente quella del grafico di fig. 14 c), si è scaricato parzialmente durante la semionda negativa.

All'inizio della prima semionda positiva, fig. 14 c), la tensione alternata aumenta da 0 fino al valore a , cioè fino a quello della tensione del condensatore che si sta scaricando su R_c . Da questo istante in poi la tensione applicata all'anodo del diodo rende questo positivo rispetto al catodo, ed ha inizio il passaggio di una corrente nel diodo, che costituisce la corrente di carica I del condensatore.

La tensione sul condensatore aumenta durante questa carica da a a b . In questo punto la tensione alternata si è ridotta sino a raggiungere quella del condensatore, l'anodo del diodo non risulta più positivo rispetto al catodo e cessa la corrente di carica del condensatore. Quest'ultima è rappresentata da un impulso di corrente I , disegnata in scala differente da quella dell'ordinata V : la durata di quest'impulso è minore di un semiperiodo.

Quando la tensione alternata si riduce al disotto del valore b il condensatore comincia a scaricarsi sulla resistenza R e la tensione fra le sue armature varia secondo il tratto $b c$. A partire dal punto b la tensione alternata si riduce a zero, compie tutta l'escursione della semionda negativa poi ritorna ad essere positiva, ma, fino al raggiungimento del valore c

uguale ad a , il diodo non conduce: da questo valore in poi si ha nuovamente un ciclo di carica del condensatore. La tensione su quest'ultimo e sulla resistenza, varia secondo le pulsazioni di questa tensione continua, rappresentate dalla curva $a b c$. Se si collega in parallelo a C un voltmetro per corrente continua questo indica il valore V (perchè l'equipaggio mobile dello strumento ha una certa inerzia e non può seguire le rapide va-

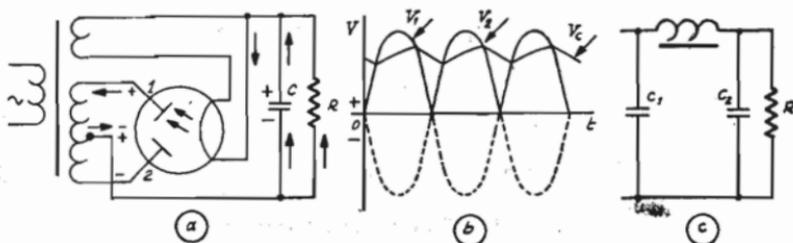


Fig. 15. - Circuito di raddrizzatrice a due anodi.

riazioni di tensione). Dalla fig. 14 *d*) si rileva che riducendo ancora il valore della resistenza R_c si ha un periodo di carica più lungo, la corrente I ha un più elevato valore massimo e la tensione sul condensatore varia entro limiti ampi e non raggiunge più lo stesso valore massimo di fig. 14 *c*).

Per ridurre il tempo fra una carica e l'altra del condensatore si fa uso di doppi diodi collegati ad un trasformatore di alimentazione, fig. 15). Questo ha un avvolgimento ad alta tensione con presa centrale: in tal modo si ha la possibilità di avere, durante ogni semiperiodo della corrente nel primario del trasformatore, uno degli anodi positivo rispetto al catodo. Si ha cioè il funzionamento di una metà dell'avvolgimento ad alta tensione durante un semiperiodo e quello dell'altra metà durante il semiperiodo successivo. In figura è indicato il percorso degli elettroni durante una semionda. Il condensatore ha minore tempo di scaricarsi, la tensione su di esso si mantiene molto più costante; si può inoltre ottenere una tensione raddrizzata di qualsiasi valore perchè l'avvolgimento con presa centrale può essere avvolto per fornire, per ogni metà, una tensione più alta o più bassa di quella di rete.

Per ottenere una tensione continua più elevata di quella della rete senza far uso di un trasformatore elevatore di tensione si può ricorrere al circuito duplicatore di tensione, realizzato collegando due diodi invertiti fra loro ai morsetti della rete, fig. 16). L'accensione delle due valvole è ottenuta con un trasformatore con due secondari isolati oppure, se l'isolamento fra filamento e catodo lo permette, l'accensione è data da un

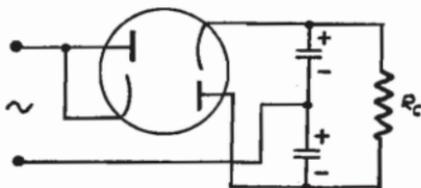


Fig. 16. — Duplicatore di tensione.

solo secondario. Esistono in commercio doppi diodi con catodi separati e con filamenti in serie sufficientemente isolati (25Z5). Ogni diodo carica un condensatore e questi risultano con le polarità in serie, per cui alla resistenza R_c è applicata una tensione somma delle tensioni esistenti fra le loro armature.

7. Triodi.

Per controllare la corrente anodica di un diodo, si può variarne l'accensione o la tensione anodica. Un terzo metodo consiste nell'introduzione di un altro elettrodo nel diodo, sotto forma di una spirale metallica, coassiale con il catodo e compresa fra questo e l'anodo. Essa permette di ottenere questo controllo con qualsiasi rapidità e senza alcuna spesa di energia (per pura applicazione di una tensione). Questo terzo elettrodo si chiama griglia o griglia di controllo. Si colleghi questo elettrodo direttamente al catodo: gli elettroni emessi non subiscono alcuna influenza per la sua presenza e solo in minima quantità vi vanno a cadere, incontrandone le spire sul proprio cammino, fig. 17 a).

Dando alla griglia una tensione di qualche volt, positiva rispetto al catodo, fig. 17 b), a mezzo della batteria V_g , essa attrae degli elettroni emessi dal catodo e facilita la fuoruscita

di altri. Questi si avviano verso di essa, ma avvicinandovisi risentono della maggiore attrazione prodotta dall'anodo e si dirigono verso questo. In definitiva una piccola tensione positiva applicata alla griglia facilita l'emissione e fa aumentare la corrente anodica.

Pochi elettroni cadono sulla griglia e costituiscono una corrente di griglia di piccola intensità.

Dando alla griglia una tensione negativa, invertendo la

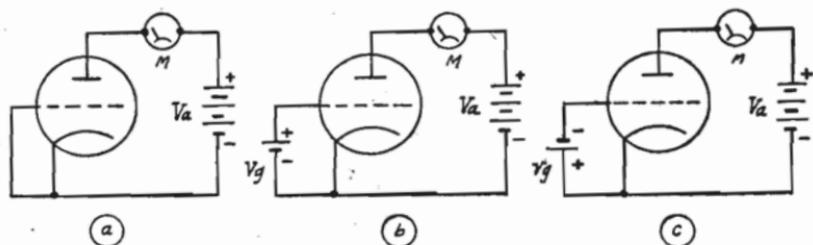


Fig. 17. - Triodo.

batteria V_g , si riduce la corrente anodica. La griglia respinge gli elettroni e questi per raggiungere l'anodo si debbono addensare fra le sue spire.

La griglia con polarità 0 è sede di una ridottissima corrente di elettroni di pochi μA , che si annulla con una tensione leggermente negativa, intorno a $-0,5$ V. La corrente di griglia aumenta apprezzabilmente dando alla griglia tensioni positive di qualche volt, ma non si faranno mai lavorare le valvole, per le applicazioni che si studieranno, con una tensione di griglia positiva.

Aumentando la tensione negativa applicata alla griglia si raggiunge un valore di essa a cui corrisponde un annullamento della corrente anodica: il triodo è portato all'interdizione. La tensione che si applica alla griglia è chiamata tensione di polarizzazione o semplicemente polarizzazione.

Dei triodi vanno rilevate le caratteristiche anodiche: variando la tensione anodica si misura la corrente anodica corrispondente ad ogni valore di essa, facendo uso dello schema

di fig. 17 a). Si ottiene così la prima caratteristica della famiglia di caratteristiche anodiche di fig. 18), con un andamento simile alla parte inferiore di quella del diodo, fig. 19).

Si introduce quindi la batteria di griglia V_g , fig. 17 c) e, per ogni valore dato alla tensione di polarizzazione di questo elettrodo, si rileva una caratteristica anodica.

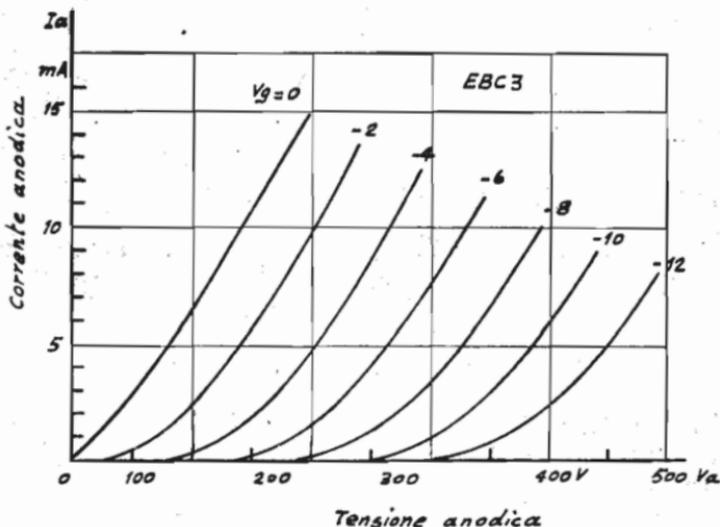


Fig. 18. — Caratteristiche anodiche di un triodo.

Un'altra famiglia di caratteristiche, ch'è necessario rilevare per studiare il funzionamento di un triodo, è quella delle caratteristiche mutue, fig. 19).

Scelta una tensione di alimentazione anodica si varia la tensione di polarizzazione di griglia da 0 ad un valore tanto negativo da ottenere l'annullamento della corrente anodica.

Le curve caratteristiche anodiche e mutue sono parallele ed equidistanti fra loro, purchè la corrente anodica non scenda ad un valore molto basso.

Per tutta la zona in cui queste caratteristiche si muovono sufficientemente diritte, parallele ed equidistanti, si può

ritenere che i parametri di ogni valvola si mantengano costanti. Questi parametri sono la resistenza interna, il coefficiente di amplificazione e la pendenza.

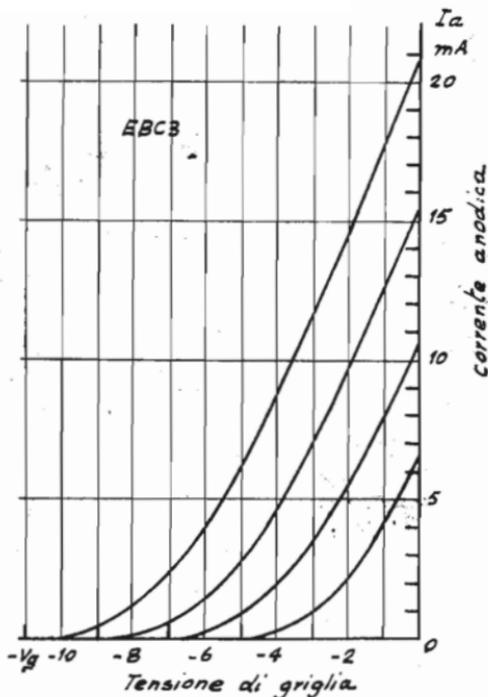


Fig. 19. — Caratteristiche mutue di un triodo.

8. Parametri dei triodi.

Il valore della resistenza interna di un triodo è differente da quello ottenuto dal rapporto fra tensione anodica e corrente anodica, relative ad un punto di una caratteristica. Essa è definita il rapporto fra una piccola variazione della tensione anodica e la corrispondente variazione della corrente anodica, mantenendo costante la tensione di griglia

$$R_a = \frac{\Delta V_a}{\Delta I_a} \quad (V_g \text{ costante})$$

È più giusto chiamarla resistenza anodica differenziale o resistenza anodica in c.a.; il suo valore è espresso in ohm.

Il coefficiente di amplificazione è il rapporto, in valore assoluto, fra una piccola variazione della tensione anodica e la corrispondente variazione della tensione di griglia, necessaria a mantenere costante la corrente anodica.

$$\mu = \frac{\Delta V_a}{\Delta V_g} \quad (I_a \text{ costante})$$

Mantenendo costante la tensione anodica si può ottenere un piccolo aumento della corrente anodica rendendo un po' meno negativa la tensione di griglia, o una piccola riduzione rendendola più negativa.

Si può così determinare un nuovo parametro, detto pendenza o mutua conduttanza o trasconduttanza, ed il suo valore è dato dal rapporto fra la variazione della corrente anodica e la variazione data alla tensione di griglia, mantenendo costante la tensione anodica.

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta V_g} \quad (V_a \text{ costante})$$

La pendenza è normalmente espressa in mA/V (milliampere per volt), ma vi sono altri sistemi per indicarla

$$1 \text{ mA/V} = 10^{-3} \text{ A/V} = 10^{-3} S = 10^3 \mu\text{A/V} = 10^3 \mu\text{mho}$$

ma si deve tener presente che nelle formule essa va introdotta in A/V.

La resistenza interna di una valvola ha un particolare significato e va considerata come resistenza, in quanto una certa potenza è dissipata in calore internamente alla valvola. Per i triodi la resistenza interna assume valori da circa 1000 Ω ad alcune decine di migliaia di ohm.

Il coefficiente di amplificazione μ rappresenta la maggiore influenza che ha la tensione di griglia rispetto quella anodica nei riguardi della corrente anodica. Esso dipende dalle dimensioni relative degli elettrodi e principalmente dalle differenze fra la distanza griglia-catodo e quella catodo-anodo, dallo spessore del filo e dal passo dell'avvolgimento adoperati nella

costruzione della spirale della griglia. Per i triodi μ ha un valore da qualche unità a 100.

La pendenza corrisponde all'inclinazione che la caratteristica mutua presenta: essa ha valori compresi fra 1 mA/V e 10 mA/V.

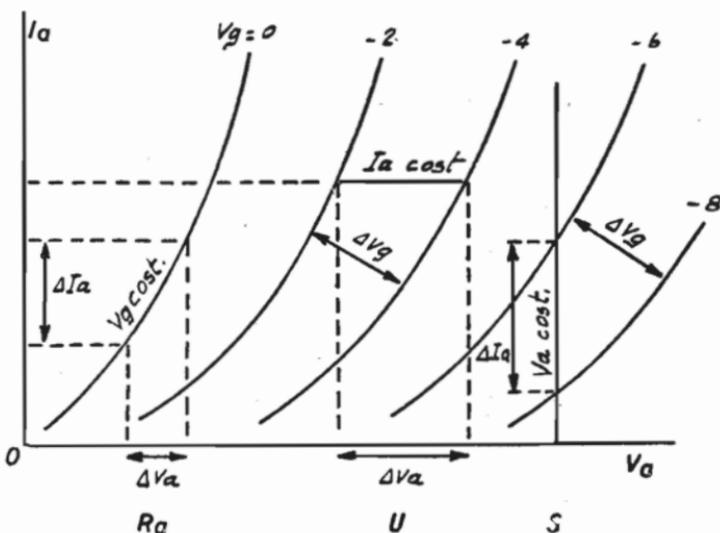


Fig. 20. - Rilievo dei valori dei parametri dalle caratteristiche anodiche.

Fra i vari parametri esiste la relazione

$$\mu = S Ra$$

ottenuta nel modo seguente

$$\mu = \frac{\Delta Va}{\Delta Vg} = \frac{\Delta Ia Ra}{\frac{\Delta Ia}{S}} = S Ra$$

I valori dei parametri non sono costanti, dipendendo dalle condizioni di funzionamento della valvola,

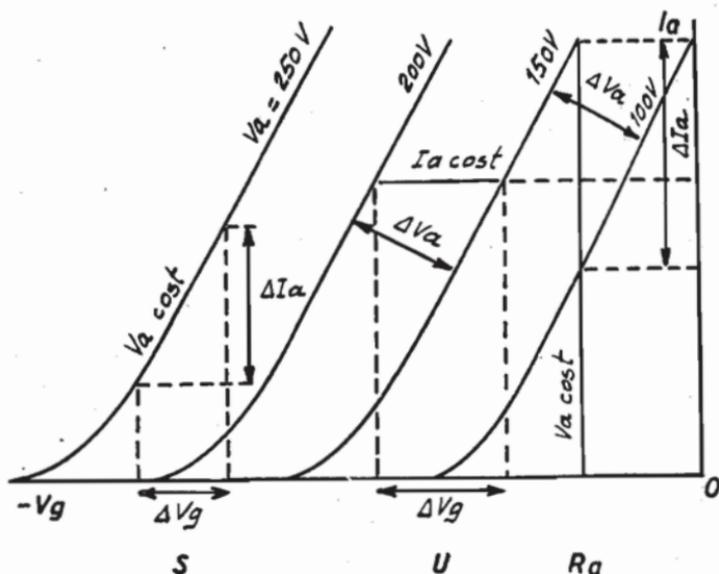


Fig. 21. - Rilievo dei valori dei parametri dalle caratteristiche mutue.

9. Tetrodi.

Per l'amplificazione a RF è necessario eliminare la capacità esistente fra griglia e anodo internamente alla valvola. Venne perciò introdotta una seconda griglia fra quella di controllo e l'anodo, funzionante da schermo fra questi due elettrodi. Per compiere tale funzione essa dovrebbe essere collegata a massa, fig. 22), in modo che le capacità esistenti fra la griglia controllo e la griglia schermo e fra questa e l'anodo non possano influenzarsi. È sufficiente però che fra questo nuovo elettrodo e la massa esista una capacità C molto elevata, fig. 23), in modo che tutte le tensioni variabili che possano essere indotte su di esso siano facilmente fuggate a massa.

Oltre questo condensatore alla griglia schermo è applicata una tensione positiva: in tal modo essa funziona anche da acceleratrice degli elettroni. L'anodo può essere piazzato a maggiore distanza dal catodo e si realizza così un coefficiente di amplificazione molto maggiore che nei triodi, infatti queste

nuove valvole, dette tetrodi, hanno valori di μ compresi fra 500 e 1500.

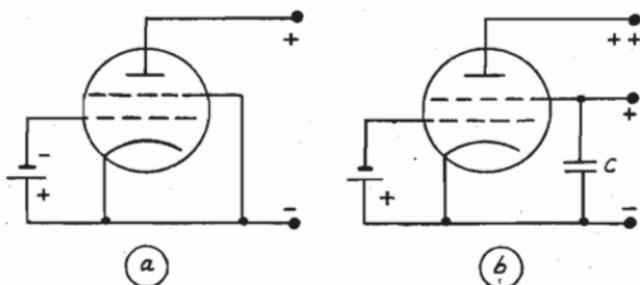


Fig. 22. - Tetrodo

Con l'aumentare della distanza dell'anodo aumenta anche la resistenza interna R_a , ma la pendenza S conserva un valore pressochè uguale a quello dei triodi. Valori normali di S si aggirano intorno a 1,3 mA/V.

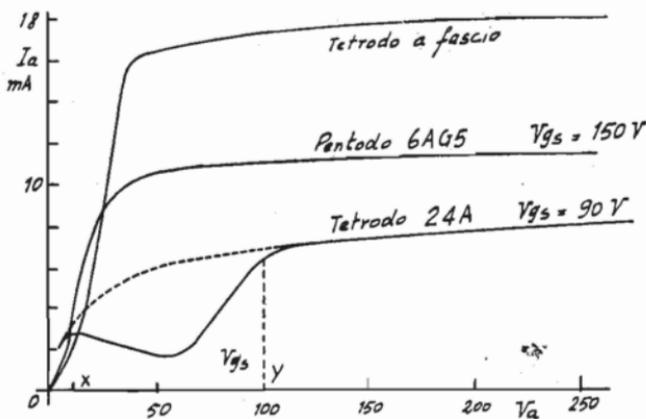


Fig. 23. - Caratteristiche anodiche di tetrodi e pentodi.

Il comportamento particolare delle caratteristiche anodiche di un tetrodo rivela che se la tensione anodica è più bassa di quella della griglia schermo, si ha una diminuzione della corrente anodica invece di un aumento progressivo, fig. 23).

Gli elettroni, quando la tensione anodica supera il valore

x ma è inferiore ad y , giungono sull'anodo con una notevole velocità e fanno emettere dagli atomi superficiali di questo degli elettroni secondari. Il numero di questi ultimi è maggiore di quelli giungenti dal catodo: in tali condizioni l'anodo funziona da sorgente di elettroni.

Gli elettroni secondari, allontanandosi dall'anodo, sono attratti dalla griglia schermo che è a tensione più positiva dell'anodo. Per ridurre questo flusso di elettroni secondari il metallo dell'anodo è trattato in modo speciale, o si ricorre a forme particolari dell'anodo stesso; in ogni caso a questo elettrodo va applicata una tensione positiva maggiore di quella della griglia schermo V_{gs} .

10. Tetrodi a fascio.

Dei tetrodi hanno le spire della griglia controllo e della griglia schermo allineate e con l'anodo ad una distanza adatta,

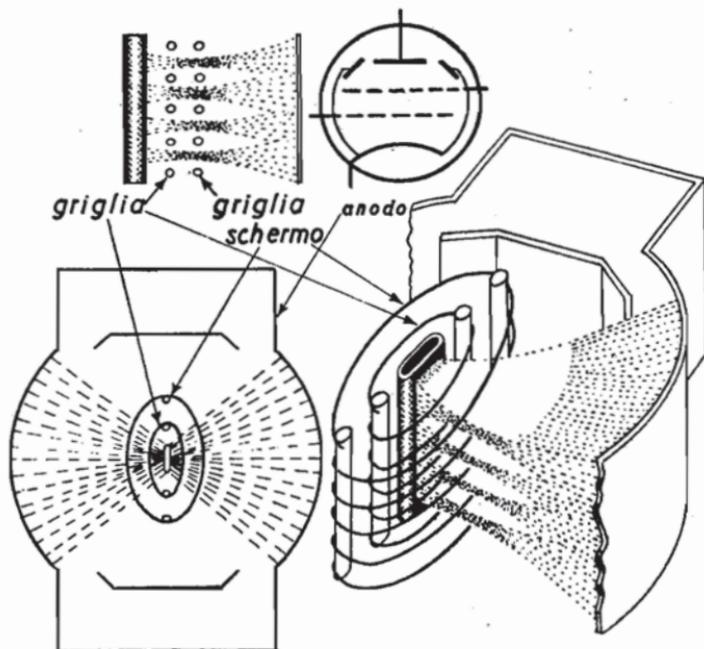


Fig. 24. — Tetrodo a fascio.

fig. 25). I fascetti di elettroni passano attraverso le spire delle griglie e si allargano dirigendosi verso l'anodo. Ad una certa distanza da questo vi sarà una superficie completamente coperta dal flusso di elettroni, e delimitata da due lamine di metallo ad U collegato al catodo, fig. 24).

Gli elettroni secondari, che l'anodo deve forzatamente emettere, non possono giungere sulla griglia schermo in quanto dovrebbero attraversare lo spazio compreso tra le due lamine di metallo ad U, in cui si addensano gli elettroni diretti verso l'anodo che li respingono.

La caratteristica anodica di questi tetrodi detti a fascio è molto migliore di quella dei normali tetrodi, fig. 23), in quanto l'effetto dell'emissione secondaria è completamente eliminato e si può far funzionare la valvola anche con tensioni anodiche molto ridotte. I tetrodi a fascio, sono adoperati solo come valvole di potenza, cioè con una notevole corrente anodica che permette di realizzare lo strato di sbarramento al passaggio degli elettroni secondari verso la griglia schermo.

11. Pentodi.

Introducendo fra la griglia schermo e l'anodo una terza griglia e collegando questa al catodo si costituisce un pentodo, valvola con cinque elettrodi, in cui l'emissione secondaria non

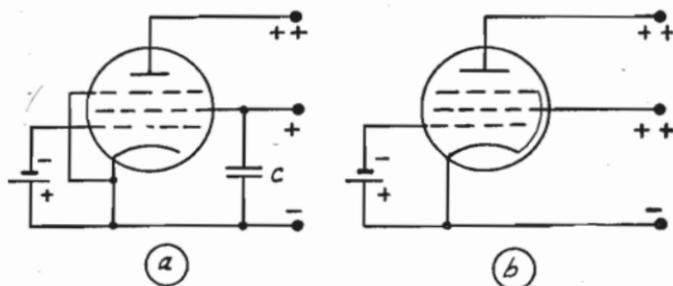


Fig. 25. - Pentodi.

influisce sulla caratteristica perchè gli elettroni secondari non possono giungere sulla griglia schermo incontrando la nuova griglia detta di soppressione, fig. 25). Nei pentodi amplificatori di tensione questa griglia è collegata ad un piedino dello zoc-

colo, che va normalmente connesso al catodo, fig. 25 a); nei pentodi amplificatori di potenza questa griglia è sempre collegata al catodo internamente alla valvola, fig. 25 b).

In fig. 26) è la famiglia di caratteristiche anodiche di un pentodo ottenuta mantenendo costante la tensione applicata

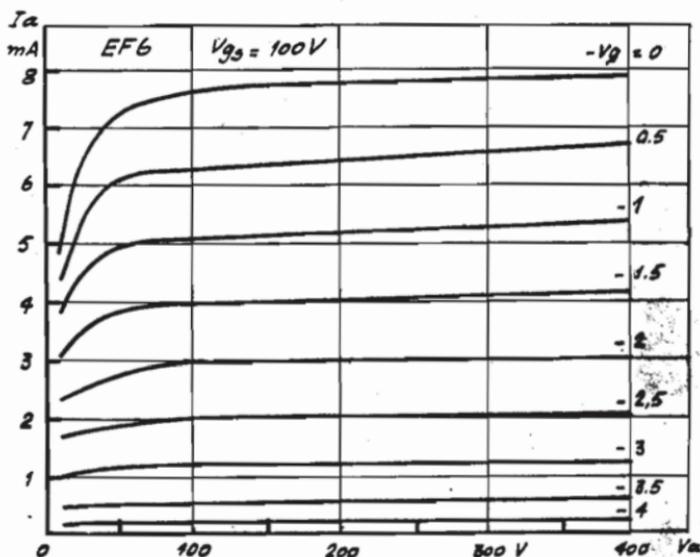


Fig. 26. — Caratteristiche anodiche di un pentodo.

alla griglia schermo: da essa si rileva come la corrente anodica si mantenga praticamente costante pur aumentando la tensione anodica da un valore minimo a valori molto elevati. Ciò è da attribuire all'elevatissima resistenza interna della valvola per cui pur variando notevolmente la tensione anodica si ottiene una piccola variazione della corrente nel circuito.

Da questo particolare comportamento risulta che la famiglia di caratteristiche mutue è costituita da una serie di curve che sono praticamente sovrapposte e non equidistanti, fig. 27); è quindi sufficiente disegnarne una sola.

Per particolari applicazioni si sono costruiti pentodi con la pendenza variabile, come la 6K7; essi hanno la caratteri-

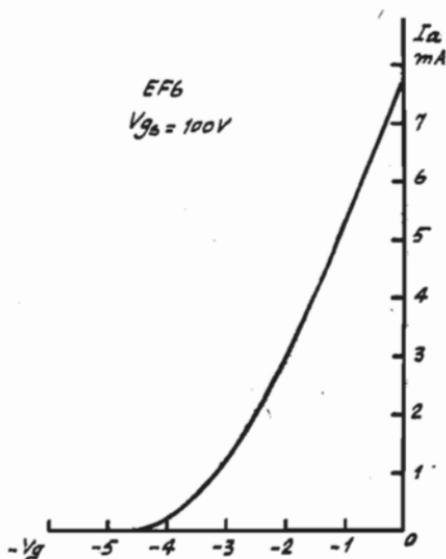


Fig. 27. — Caratteristica mutua di un pentodo con tensione anodica da 100-250 V.

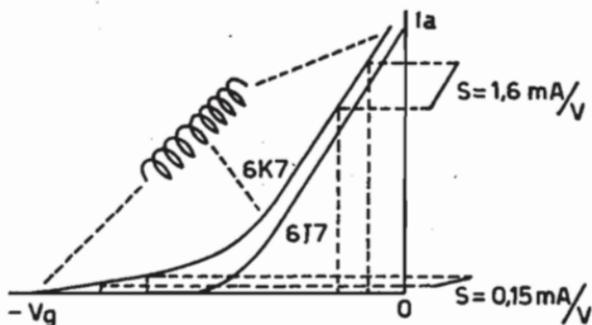


Fig. 28. — Caratteristiche mutue di pentodi a pendenza fissa e variabile.

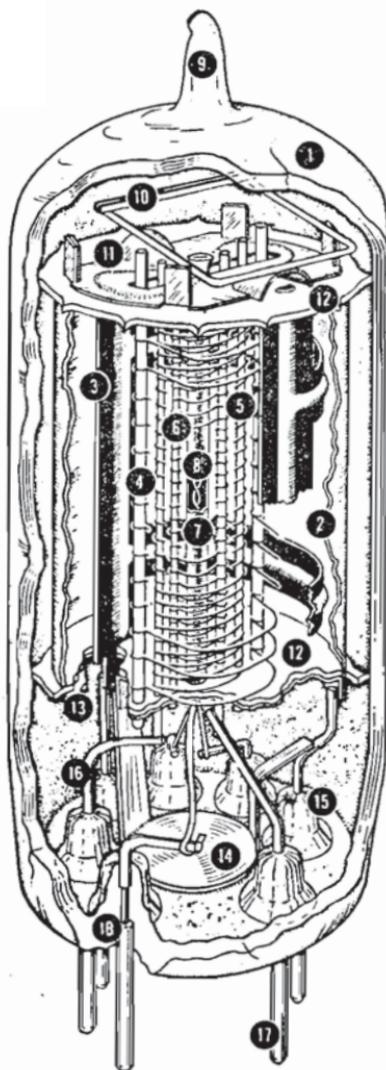


Fig. 29. - Vista interna di un pentodo.

1, bulbo di vetro - 2, schermo interno - 3, anodo - 4, griglia di soppressione - 5, griglia schermo - 6, griglia controllo - 7, catodo - 8, riscaldatore - 9, tubetto per la vuotatura - 10, getter - 11, supporto dei spaziatori - 12, spaziatore isolante - 13, schermo spaziatore - 14, schermo tra i piedini - 15, goccia di vetro di saldatura - 16, collegamento 17, piedino - 18, saldatura vetro-metallo.

stica mutua come in fig. 28), e cioè per piccole tensioni negative di polarizzazione di griglia, la pendenza si mantiene elevata come in un normale pentodo 6J7. Aumentando la polarizzazione la pendenza diminuisce sempre più. Si ottiene questo funzionamento costruendo la griglia con le spire non equidistanti per tutta la lunghezza, ma con una parte di esse ravvicinate ed una parte più distanziate.

In questo modo, quando la tensione di griglia è ridotta, tutta la griglia controlla il flusso di elettroni; aumentando oltre un certo valore la tensione di griglia, questa blocca la corrente anodica lungo il tratto di catodo affacciato alle spire più ravvicinate, e può controllare solo debolmente la corrente dovuta all'altro tratto di catodo.