

MANUALE PRATICO DI RADIOTECNICA

DI
G. MECOZZI



Mod. 617 Phonola.

CASA EDITRICE SONZOGNO - MILANO

Intergenerational Support and Well-Being of Older Adults

Barbara A. Hanrahan, University of North Carolina at Charlotte

John W. Kim, University of North Carolina at Charlotte

John W. Kim, University of North Carolina at Charlotte

John W. Kim, University of North Carolina at Charlotte

John W. Kim, University of North Carolina at Charlotte

John W. Kim, University of North Carolina at Charlotte

John W. Kim, University of North Carolina at Charlotte

John W. Kim, University of North Carolina at Charlotte

John W. Kim, University of North Carolina at Charlotte

John W. Kim, University of North Carolina at Charlotte

John W. Kim, University of North Carolina at Charlotte

John W. Kim, University of North Carolina at Charlotte

John W. Kim, University of North Carolina at Charlotte

John W. Kim, University of North Carolina at Charlotte

John W. Kim, University of North Carolina at Charlotte

John W. Kim, University of North Carolina at Charlotte

John W. Kim, University of North Carolina at Charlotte

**MANUALE PRATICO
DI RADIOTECNICA**

PROPRIETÀ LETTERARIA ED ARTISTICA RISERVATA

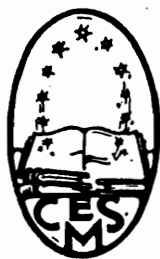
Finito di stampare il 15 luglio 1939-XVII

Stabilimento Grafico Matarelli della Soc. An. ALBERTO MATARELLI
Milano - Via Passarella N. 15. i-39-r

G. MECOZZI

MANUALE PRATICO DI RADIOTECNICA

CON 180 ILLUSTRAZIONI



№ 000009

CASA EDITRICE SONZOGNO — MILANO

della Società Anonima ALBERTO MATARELLI

Via Pasquirolo, 14



Imprimé en Italie

OPERE DELLO STESSO AUTORE

Radioricevitori L. 10.—

CASA EDITRICE SONZOGNO - MILANO

MANUALE PRATICO DI RADIOTECNICA

PARTE PRIMA

NOZIONI GENERALI DI FISICA E DI ELET- TROTECNICA

1. - Costituzione della materia ed elettricità.

L'elettricità è una forza naturale che non cade sotto i nostri sensi. L'uomo non possiede un senso che gli permetta di percepire direttamente una carica o una corrente elettrica. L'uomo percepisce soltanto certi effetti della corrente elettrica come quello termico, quello ottico; è possibile constatare gli effetti chimici di una corrente elettrica, ma la presenza di una corrente elettrica può essere rivelata soltanto mediante strumenti speciali di misura a mezzo dei quali si possono controllare gli effetti dell'elettricità. Questo fatto costituisce una speciale difficoltà per ben comprendere i fenomeni elettrici.

Soltanto con la teoria degli elettroni si può giungere ad una spiegazione e si possono riportare tutti i fenomeni più complessi alla formula dell'elettrone. È perciò necessario conoscere la moderna teoria della costituzione della materia, prima di avviarsi allo studio dei fenomeni elettrici.

Qualsiasi materia può essere divisa in parti, le quali presentano tutte le stesse caratteristiche, le stesse qualità meccaniche e le stesse proprietà chimiche. Un litro di acqua presenterà le medesime qualità fisiche e chi-

miche di un decilitro o di un centimetro cubo. Se si procede nella divisione della materia, riducendola in parti sempre più piccole, si perviene a delle particelle che non è più possibile dividere con mezzi meccanici e questa particella indivisibile, che presenta tutte le proprietà inalterate, è chiamata molecola. Se si ricorre a mezzi chimici essa può essere ancora divisa negli elementi che la compongono. Così, ad esempio, il sale può essere scomposto in sodio e cloro. Si ritiene perciò che ogni molecola (fig. 1) di sale sia formata da due atomi: uno di sodio e l'altro di cloro. Gli atomi non presentano più le qualità della molecola.

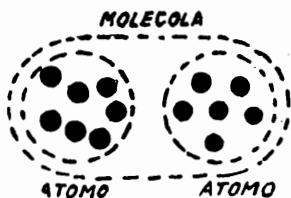


Fig. 1

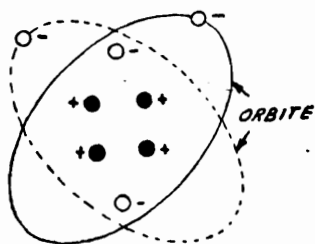


Fig. 2

Secondo le teorie recenti si ritiene che l'atomo presenti una struttura complessa simile ad un sistema solare (fig. 2). Esso si ritiene composto di un numero di protoni e di elettroni. Il centro è costituito da un nucleo di protoni intorno al quale girano a velocità vertiginose gli elettroni. I protoni e gli elettroni non sono altro che cariche elettriche. L'elettrone rappresenta la carica negativa e il protone quella positiva. Siccome le cariche di segno opposto si attraggono, così gli elettroni sono attratti dai protoni mentre si respingono fra di loro. Non tutte le sostanze sono formate dallo stesso numero di protoni; ogni elemento presenta un numero diverso di protoni. Dal numero di elettroni dipende invece la carica elettrica dell'atomo. Se il numero dei protoni è uguale a quello degli elettroni si ha un atomo che è chiamato neutro, in cui le cariche elettriche sono in perfetto equilibrio. Se nell'atomo sono in numero maggiore i

protoni si ha un atomo positivo e se preponderano gli elettroni l'atomo è chiamato negativo.

Esistono dei mezzi per allontanare gli elettroni da un atomo, e in questo caso esso diviene positivo; se invece si aggiunge qualche elettrone l'atomo diviene negativo. In ambedue i casi si è turbato l'equilibrio nell'atomo. Gli elettroni liberati dall'atomo costituiscono elettricità negativa.

Si possono staccare gli elettroni dagli atomi anche con mezzi meccanici; se si strofina un bastoncino di ebanite con una pezzuola di lana esso avrà un eccesso di elettroni; se si pone un bastone a contatto con una piastra di metallo questi elettroni in soprannumero passeranno alla piastra la quale avrà così una carica negativa. Supponiamo ora di comunicare ad un bastoncino metallico una certa quantità di elettroni ad una delle sue estremità. Gli atomi divenuti così negativi cederanno una parte degli elettroni agli atomi vicini e li renderanno quindi negativi; questi a loro volta li cederanno ai prossimi atomi e così di seguito fino a raggiungere l'altra estremità del bastoncino. Avremo così una serie di elettroni che si dirigerà da una estremità all'altra del metallo e questo fenomeno è chiamato una corrente elettrica.

2. - Elettrostatica - Legge di Coulomb - Campo elettrico. - Potenziale elettrico.

Certi materiali, come ad esempio il vetro, l'ambra, l'ebanite, diventano elettrici se vengono strofinati; essi acquistano la proprietà di attirare dei pezzettini di carta. Dufay fece la scoperta che esistevano due qualità di elettricità: quella ottenuta strofinando il vetro e quella che si ottiene strofinando l'ebanite. L'una è chiamata elettricità positiva, l'altra negativa. Molte altre materie possono divenire elettriche; così, sotto certe condizioni, anche i metalli. Certi corpi hanno la proprietà di conservare per più lungo tempo l'elettricità, altri la perdono quasi immediatamente. I primi sono chiamati isolatori, gli altri conduttori.

L'elettricità positiva e quella negativa hanno effetti diversi. Due corpi caricati con elettricità di nome eguale

si respingono, mentre quelli caricati con elettricità di nome differente si attraggono.

L'elettricità statica, cioè prodotta mediante strofinio, si può comunicare ad un altro corpo, mediante induzione. Se si avvicina un corpo carico di elettricità ad un altro corpo isolato, quest'ultimo si carica senza contatto diretto.

Nel secondo corpo si constata che la parte più vicina a quello elettrico è caricata di elettricità di segno opposto mentre la parte lontana è caricata con elettricità dello stesso segno (fig. 3). Se si allontana il secondo corpo esso perde immediatamente la carica elettrica. Se si desidera mantenere l'elettricità basta convogliare alla terra la carica dello stesso segno dell'altro corpo toccando con un corpo metallico la parte che è caricata con la stessa elettricità del primo corpo. Se prendiamo una sfera metallica e la carichiamo con elettricità positiva e se avviciniamo a questa un'altra sfera isolata avremo metà di questa, e precisamente la metà vicina alla prima sfera, carica di elettricità negativa e l'altra metà carica di elettricità positiva. Se facciamo scaricare l'elettricità positiva avremo tutta la seconda sfera carica di elettricità negativa la quale si manterrà anche dopo allontanata dalla prima sfera.

L'elettricità statica, cioè prodotta con strofinio o per induzione si diffonde alla superficie del corpo, mentre l'interno non diviene elettrico. Inoltre la distribuzione dell'elettricità in un corpo dipende dalla sua forma. In una sfera l'elettricità è distribuita egualmente sulla superficie. La densità dell'elettricità dipende dalla curvatura della superficie, ed è maggiore dove la curvatura è più forte. Se il corpo è munito di una punta si ha qui la massima densità. Questa densità alla punta può aumentare talmente, da comunicare la carica elettrica anche all'aria circostante; siccome però le elettricità dello stesso segno si respingono, così le particelle di aria caricate di elettricità tenderanno ad allontanarsi dalla punta e il fenomeno si ripeterà con altre particelle sopraggunte. In questo modo il corpo perderà man mano la sua carica elettrica. Esso si scaricherà attraverso la punta. Ma un corpo con una punta, come tende a scaricare l'elettricità, così la assorbe attraverso la punta (fig. 4).

Questi fenomeni vanno tenuti presenti perchè possono avere una certa importanza nelle costruzioni radiotecniche in quanto si devono evitare nei condensatori, nei collegamenti di antenne per trasmissione tutti gli angoli e le punte.

Coulomb ha dedotto, dal fatto che due elettricità di segno diverso si attraggono, una legge secondo la quale due sfere caricate di elettricità del segno opposto si attraggono con una forza K che è direttamente propor-

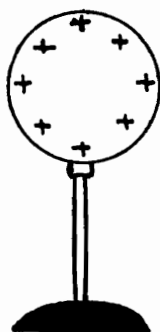


Fig. 3

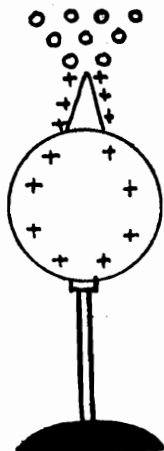
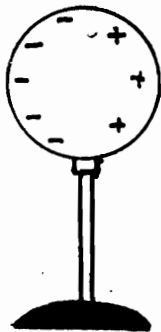


Fig. 4

zionale alle cariche elettriche delle due sfere (Q_1 e Q_2) e inversamente proporzionale alla distanza fra i centri delle sfere (R).

$$K = c \cdot \frac{Q_1 Q_2}{R^2} \quad (1)$$

Secondo questa legge ogni carica elettrica esercita su un'altra carica che si trova in prossimità un effetto di attrazione o di ripulsione. Lo spazio entro il quale si manifesta l'effetto della carica elettrica è chiamato il campo elettrico. Siccome l'effetto di una carica sull'al-

tra decresce col quadrato della distanza, così si deve dedurre che il campo elettrico non presenta in tutte le sue parti la stessa intensità. Tutti i punti che si trovano alla stessa distanza dalla carica elettrica avranno la stessa intensità di campo.

Il fenomeno di attrazione esercitato da un punto caricato di elettricità su un altro di carica opposta è basato su un lavoro compiuto, e questo lavoro si chiama potenziale elettrico o tensione. Si dice che fra due punti esiste una differenza di tensione o una differenza di potenziale.

3. - Capacità - Condensatori.

Ogni carica elettrica è formata di un certo numero di elettroni maggiore o minore a seconda della grandezza della carica. È chiaro che essendo tutti gli elettroni di eguale valore, la grandezza della carica sarà sempre direttamente proporzionale al numero di elettroni che la forma; se la facciamo andare su di una sfera metallica essa si distribuirà uniformemente alla sua superficie in modo che sopra ogni cmq. rimarranno distribuiti alcuni elettroni, in numero ben determinato e dipendente, oltre che dalla carica totale, dalla superficie della sfera. Se la sfera è di raggio doppio, per ogni cmq. della sua superficie si distribuiranno naturalmente degli elettroni in minor quantità. Poichè il potenziale posseduto da un conduttore è direttamente proporzionale alla quantità di elettricità che esso contiene per ogni cmq., dedurremo che la seconda sfera, una volta caricata, ha potenziale minore della prima. Il rapporto fra la carica comunicata alla sfera ed il potenziale da questa raggiunto dicesi capacità della sfera.

La capacità di un conduttore è quindi la proprietà di portare alla sua superficie una quantità maggiore o minore di elettricità.

Se prendiamo invece di un conduttore un pezzo di isolante ed applichiamo a due punti diversi dello stesso una differenza di potenziale potremo constatare una corrente istantanea.

Essa cessa subito anche se la differenza di tensione fra i due punti continua a sussistere.

Questo fenomeno è alquanto diverso da quello che si produce nei conduttori e va attribuito ad uno spostamento di elettricità che avviene nell'isolante.

La corrente che si produce incontra nell'isolante una resistenza tale da stabilire tosto un equilibrio.

Una corrente elettrica si constata pure al momento in cui la carica elettrica è tolta dai due punti, ma in questo caso essa circola nel senso opposto.

Queste correnti istantanee che si formano attraverso un corpo isolante, sono chiamate correnti di spostamento o correnti dielettriche. La rappresentazione grafica di tali correnti è data dalla fig. 7.

Il materiale isolante che dà luogo a correnti di spostamento è chiamato dielettrico.

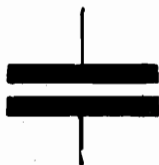


Fig. 5 - Rappresentazione grafica di un condensatore fisso.



Fig. 6 - Rappresentazione grafica di un condensatore variabile.

Ogni dielettrico può essere sollecitato elettricamente, ad esempio, mediante strofinio. Esso diviene allora sede di un potenziale elettrostatico.

Se separiamo le facce di due piastre metalliche con un dielettrico, ed applichiamo loro una differenza di potenziale, una di queste sarà caricata di elettricità positiva, e l'altra di elettricità negativa. Questa differenza di potenziale produrrà uno spostamento di elettricità nel dielettrico, il quale sarà tanto maggiore quanto maggiore sarà la differenza di potenziale. Esso dipenderà anche dalle qualità del dielettrico.

Così pure, se si avvicina ad una delle due piastre una terza, che sia isolata, vi sarà fra questa e l'altra caricata di elettricità una differenza di potenziale, la quale produrrà a sua volta uno spostamento di elettricità nel dielettrico, che, in questo caso, sarà costituito dall'aria.

Questa corrente di spostamento avrà l'effetto di comunicare alla terza piastra una carica contraria a quella della piastra alla quale è avvicinata.

Si vede, perciò, che intorno alle piastre che siano caricate esiste un campo di forza che è il campo elettrico.

Un sistema composto di due piastre separate da un dielettrico è chiamato « condensatore ».

Le piastre sono chiamate « armature ». Un'armatura può essere composta di parecchie piastre collegate assieme.

Il dielettrico può essere solido, liquido o gassoso.

Lo spostamento elettrico che abbiamo constatato alle armature di un condensatore dipende dalla differenza di potenziale applicata alle armature e dalla qualità del materiale impiegato come dielettrico.

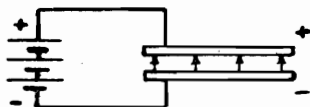


Fig. 7 - Spostamento dielettrico.

Lo spostamento si verifica al momento in cui si applica alle armature una differenza di potenziale, ed al momento in cui questa differenza di potenziale è fatta cessare. Da ciò risulta che una corrente continua non avrà alcun effetto su di un condensatore.

Il dielettrico impedisce il passaggio della corrente.

Se designamo con e la differenza di potenziale, e con Q la carica, avremo :

$$Q = Ce \quad (2)$$

in cui C è un valore costante per ogni condensatore, che è chiamato « capacità ». Dall'equazione possiamo ancora dedurre :

$$C = \frac{Q}{e} \quad (3)$$

La capacità C di un condensatore dipende :

1) dalle dimensioni delle sue armature;

II) dalla distanza fra le due armature;

III) dalla natura del dielettrico interposto fra le armature.

La capacità sarà tanto maggiore quanto più grandi saranno le armature e quanto minore la distanza fra di loro.

Se prendiamo, ad esempio, un condensatore a dielettrico aria e misuriamo la sua capacità e sostituiamo poi l'aria con un dielettrico solido constateremo una differenza nella sua capacità. Se dividiamo la capacità del condensatore a dielettrico solido (C_s) per quella del condensatore a dielettrico aria (C_a) avremo un valore che indicheremo con la lettera K .

$$K = \frac{C_s}{C_a} \quad (4)$$

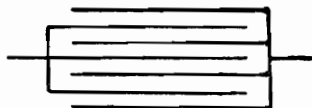


Fig. 8 - Sezione trasversale di un condensatore. - Le armature sono formate ognuna di 3 piastre collegate assieme e sono separate fra loro dall'aria che funziona da dielettrico.

Questo valore K è una costante che dipende esclusivamente dalla natura del dielettrico impiegato fra le due armature.

Essa è chiamata « potere induttore specifico », oppure più brevemente « costante dielettrica », ed esprime, come abbiamo già visto, il rapporto fra le capacità di un condensatore, le cui armature hanno determinata superficie e sono a determinata distanza riempita di aria, e di un condensatore di eguale superficie, le cui armature si trovano ad eguale distanza di quelle del precedente, ma nel quale in sostituzione del dielettrico aria è stata posta un'altra sostanza isolante, di cui si deve determinare la costante. Ogni sostanza isolante ha una differente costante dielettrica.

La costante dielettrica dell'aria è stata presa per base ed ha il valore dell'unità.

La costante dielettrica degli isolanti più usati nella fabbricazione dei condensatori è la seguente:

mica . . .	da 5 a 8 (a seconda della qualità)
carta . . .	3,5
ebanite . . .	3,—
bakelite . . .	6,—
vetro comune . . .	6,—
paraffina . . .	2,—

Attraverso a qualsiasi corpo, per quanto isolante esso sia, passa una corrente elettrica, sia pure debolissima.

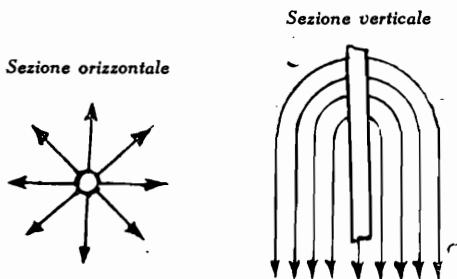


Fig. 9 - Campo elettrico di un filo.

Questa conduttività dei dielettrici permette quindi il passaggio di una debolissima corrente anche da una armatura all'altra di un condensatore.

Se un condensatore viene caricato con una determinata quantità di elettricità, e viene poi lasciato a se stesso, la carica distribuita su una delle armature passerà lentamente sull'altra armatura attraverso il dielettrico, neutralizzando la carica totale del condensatore.

La scarica avverrà in un tempo più o meno breve a seconda del potere isolante del dielettrico interposto fra le sue due armature. L'aria, ad esempio, trattiene la carica elettrica sulle due armature di un condensatore del quale essa formi il dielettrico, anche per parecchie ore. È questa una delle fonti maggiori di perdite che si verificano nei condensatori adoperati in radiotecnica.

L'unità di misura delle capacità è il « farad ». Nella pratica corrente però si usano sottomultipli assai più piccoli del « farad », per non essere costretti a scrivere dei valori con molti zeri innanzi al numero reale: in radiotecnica, il sottomultiplo, quasi esclusivamente adoperato, è il milionesimo di farad o « microfarad », che si scrive « mF ».

Il mF, per i circuiti radioelettrici è però ancora troppo grande e moltissime volte si preferisce parlare addirittura dei miliardesimi di farad o millesimi di mF;

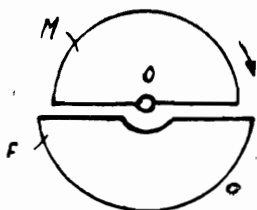


Fig. 10 - Condensatore a capacità variabile. L'armatura F è fissa; la M è mobile e può rotare intorno all'asse O.



Fig. 11 - Collegamento in serie di condensatori.

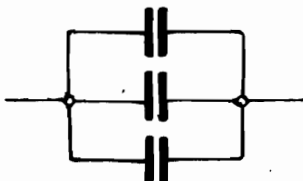


Fig. 12 - Collegamento in parallelo dei condensatori.

così si dirà, ad esempio, mezzo millesimo invece di 5 decimillesimi di microfarad.

La capacità dei condensatori si calcola con la formula seguente:

$$C \text{ (microfarad)} = \frac{1}{9 \times 100.000} \times \frac{S}{4 \pi e} \quad (5)$$

S significa la superficie delle armature in cm.² ed e significa la distanza delle armature in cm. La formula vale per il dielettrico aria. Se si usano altri dielettrici è necessario moltiplicare il risultato per il potere induttore specifico del dielettrico impiegato.

Per le materie che possono venire in considerazione il valore della costante è stato indicato più sopra. Va notato che la mica non ha un valore costante, ma varia secondo la qualità e questo è un sensibile svantaggio

perchè è difficile calcolare previamente con una certa precisione la capacità.

La superficie S della formula significa non già tutta la superficie delle armature, ma quella parte di un'armatura che sta di fronte all'altra.

Per ridurre lo spazio occupato da un condensatore si usa fare le armature di diversi pezzi eguali sovrapposti, anzichè di un pezzo solo, e si collegano assieme tutti i pezzi di cui si compone un'armatura.

Due o più condensatori possono essere collegati in serie od in parallelo.

Si ha il collegamento in serie quando l'armatura di un condensatore è collegata con l'armatura del condensatore successivo, e le due armature libere sono poi col-

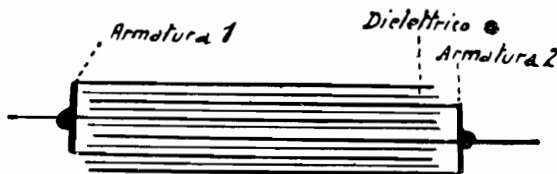


Fig. 13

legate al circuito in cui i condensatori devono funzionare (fig. 11). Quando invece due o più condensatori hanno collegato un'armatura con quella di uno o più condensatori e l'altra armatura con le armature opposte, si ha il collegamento in parallelo (fig. 12). In quest'ultimo caso la capacità risultante sarà uguale alla somma delle capacità di ogni singolo condensatore.

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad (6)$$

Nel primo caso invece la capacità complessiva sarà minore di quella di ogni singolo condensatore. Infatti in questo caso le cariche dei singoli condensatori sono uguali e la tensione si divide tra i condensatori, in proporzione alla capacità di ogni singolo.

Avremo quindi:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad (7)$$

Da questa equazione si può quindi dedurre il valore di C per due condensatori in serie

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \quad (8)$$

Ammettendo che le due capacità siano uguali, avremo $C = \frac{C}{2}$, cioè una capacità pari alla metà di ogni singolo condensatore.

La determinazione delle capacità in serie od in parallelo va tenuta bene presente perchè può essere utile

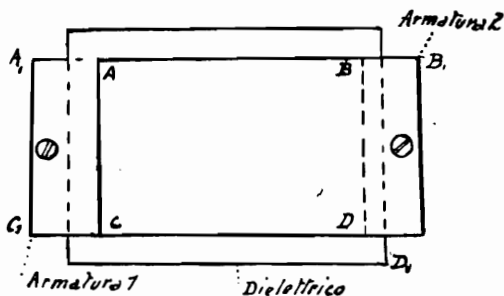


Fig. 14

in pratica per variare la capacità di un condensatore e aggiungendone un altro nel circuito.

In radiotecnica, ove i circuiti sono percorsi da correnti ad alta frequenza mentre le d , d , p sono minori che nelle correnti industriali, devono prevalere altri criteri per la costruzione dei condensatori in genere.

I condensatori possono essere fissi o variabili. Nei primi la capacità è inalterabile, mentre negli ultimi si può farla variare con mezzi meccanici entro certi limiti.

I condensatori fissi hanno ogni armatura fatta di un certo numero di fogli di carta stagnola o di metallo sottilissimo collegati assieme. I fogli appartenenti ad armature diverse sono separati da un foglietto di mica. La figura 13 rappresenta la sezione di un condensatore fisso. La fig. 14 rappresenta lo stesso condensatore visto di faccia.

L'armatura 1 è limitata dai quattro punti A , B , C e D . Però la superficie utile che sta di fronte all'armatura 2 è limitata dai punti A , B , C e D .

Ammettendo che la lunghezza del lato $A-B$ sia di 3 cm. e quella del lato $A-C$ di 2 cm., si avrà una superficie di $2 \times 3 = 6 \text{ cm}^2$. La superficie totale sarà $6 \times 5 = 30 \text{ cm}^2$, perchè il numero delle superfici che stanno una di fronte all'altra è di 5. Siccome le lamine sono 6 potremo dire che la superficie è determinata dall'area delle lamine moltiplicata per il loro numero, meno una.

Se ammettiamo ora di avere per dielettrico la mica dello spessore di $1/1000$ di cm. e con costante dielettrica 3, potremo calcolare la capacità del condensatore, sostituendo i valori nella formula:

$$C = \frac{1}{9 \times 100.000} \times \frac{30}{4 \pi \times 0.005} = 0.00053 \text{ mF.}$$

I condensatori fissi usati in radiotecnica sono costruiti quasi tutti con questo materiale e le loro dimensioni e i valori sono molto simili a quelli dell'esempio che abbiamo sott'occhio. Talvolta si impiegano anche delle capacità dell'ordine di 0.5 fino a 8 mF. In questo caso non sarebbe più pratico fare la costruzione col sistema descritto.

Il dielettrico impiegato di solito nei condensatori di grande capacità è la carta paraffinata; le armature sono fatte di un solo pezzo e sono avvolte in una specie di rotolo e pressate fortemente assieme. Si può così ridurre ad un minimo lo spazio occupato dal condensatore. I condensatori di grande capacità si usano di solito negli alimentatori di placca e di filamento.

I condensatori variabili usati nella radiotecnica superano di raro la capacità di 0,0005 mF.

Come i condensatori fissi, anche quelli variabili hanno due armature, con la differenza che in quelli variabili le superfici utili possono essere variate. Di conseguenza un'armatura è mobile e l'altra è fissa. Il tipo usato comunemente ha la forma semicircolare e consiste di una serie di piastrelle sovrapposte, fissate su un supporto, che formano l'armatura fissa o statore; l'armatura mobile è formata pure di una serie di piastrelle fissate su

un asse rotante e montate in modo che ogni piastrina possa entrare fra due piastre dell'armatura fissa.

La variazione della capacità si ottiene facendo rotare l'armatura mobile o rotore. All'asse centrale dell'armatura mobile è fissata una manopola con un disco e graduazione semicircolare, che permette di controllare con precisione il grado di sovrapposizione delle due armature.

La fig. 15 rappresenta un condensatore variabile del tipo vecchio con piastre semicircolari; il numero delle piastre corrisponde ad una capacità di circa 0,0005 mF.

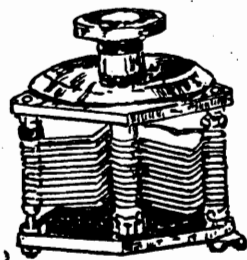


Fig. 15

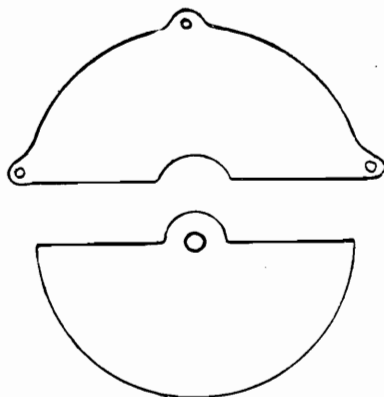


Fig. 16

In questo condensatore le piastre hanno la forma di semicerchio e corrispondono a quella della fig. 16. La capacità del condensatore varia da un minimo ad un massimo. Per noi è molto importante conoscere la legge di variazione di questa capacità ed è perciò necessario esaminare più in dettaglio come avviene la variazione della capacità.

Abbiamo veduto che la variazione avviene da un minimo al massimo facendo girare il rotore di 180° . La cosa più naturale sarebbe quindi dividere la metà del quadrante in 180 parti corrispondenti ai gradi. Difatti alcuni quadranti hanno questa divisione, altri invece

hanno la divisione in 100 parti; in questo caso ogni parte non corrisponde più ad un grado.

Ammettiamo ora di avere un condensatore variabile della capacità massima di 0,0005 mF. precisi. Quando il quadrante sarà posto a 50°, e di conseguenza quando le armature saranno con la metà una di fronte all'altra, la capacità del condensatore sarà di 0,00025 mF. A 25° essa sarà di 0,000125, a 75° sarà di 0,000375, e così di seguito per gli altri gradi.

Se tracciamo su questa base un grafico, riportando sulla linea orizzontale la graduazione e sulla verticale la capacità, la linea sarà una retta (fig. 17).

Questa caratteristica corrisponde ad un condensatore colle armature esattamente semicircolari. Se diamo alle armature una forma diversa, la legge della variazione sarà pure diversa. Quando ci occuperemo dei circuiti oscillanti vedremo quale effetto abbia sul circuito la legge di variazione della capacità di un condensatore e come si possa ottenere una variazione piuttosto che un'altra.

La capacità di un condensatore variabile si calcola con la stessa formula che serve per i condensatori fissi. La formula può essere opportunamente adattata se si tratta di lamine semicircolari. La superficie di un circolo è $r^2\pi$. Noi non possiamo però prendere tutta l'area del circolo perchè, come si vede dalla fig. 16, nel centro c'è un intaglio pure di forma semicircolare che è fatto allo scopo di impedire il contatto fra le due armature. Dobbiamo perciò calcolare l'area colla differenza dei due circoli:

$$(R^2 - r^2) (n - 1) \pi$$

in cui n significa il numero delle lamelle.

Se inseriamo questo valore nella formula precedente, abbiamo:

$$C = \frac{1}{9 \times 100.000} \frac{X (R^2 - r^2) (n - 1) \pi}{4 \pi e}$$

ed abbreviato:

$$C = \frac{0,139}{100.000} \times \frac{(R^2 - r^2) (n - 1)}{e} \quad (9)$$

Vediamo ora la parte meccanica del condensatore e l'importanza che può avere la costruzione per le sue qualità elettriche.

Per quanto possa sembrare di secondaria importanza la parte meccanica del condensatore variabile, essa influisce anche sulle sue qualità elettriche. Innanzi tutto il materiale isolante è, come abbiamo già visto, una delle fonti di perdite. Il suo impiego nella costruzione dei condensatori variabili deve essere limitato al minimo

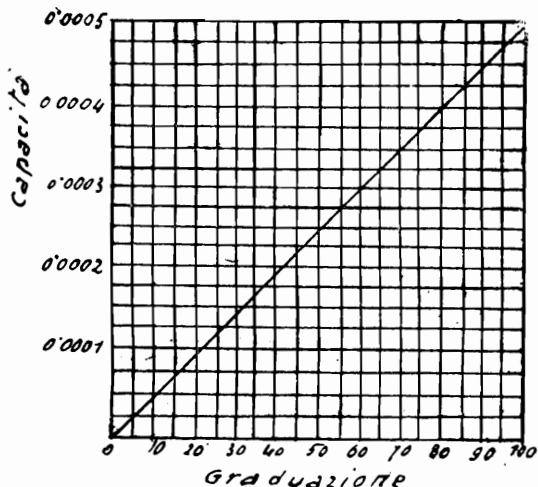


Fig. 17 - Grafico della variazione di capacità di un condensatore variabile a lamiera semicircolari.

necessario. Il materiale impiegato non deve essere igroscopico e deve esser posto fuori del campo magnetico del condensatore.

L'isolante stesso deve essere di primissima qualità. Nella costruzione dei condensatori variabili si sono fatti grandi progressi negli ultimi anni e in commercio esistono tipi in cui le perdite sono ridotte al minimo.

L'armatura mobile è di solito collegata ad un capofilo metallico che serve per fare i collegamenti dal condensatore agli altri organi dell'apparecchio. Se la parte me-

tallica alla quale è fissato il morsetto non ha altro contatto con l'armatura mobile che l'albero che gira nella piccola, si hanno di solito disturbi nel funzionamento, perchè il contatto non è perfetto.

Per assicurare un funzionamento regolare e sicuro è necessario che l'armatura mobile sia collegata al capofilo a mezzo di una molla metallica o di un filo flessibile saldato da una parte all'armatura, dall'altra al morsetto. Anche questo provvedimento è preso in quasi tutti i migliori condensatori in commercio.

I condensatori possono avere delle perdite anche nelle armature stesse in seguito alla loro resistenza.

Le armature di spessore molto piccolo presentano necessariamente una resistenza maggiore che quelle fatte con materiale di spessore maggiore. La resistenza può aumentare anche nei punti di contatto di ogni singola lamella cogli alberelli che la sostengono, e questa resistenza aumenta se il metallo si ossida come succede di solito dopo un certo tempo.

Le perdite che può presentare un condensatore variabile non sono superiori a 1 o 2 ohm, e di queste la metà o poco più va attribuita all'effetto della pelle, mentre l'altra parte è causata dal dielettrico.

Un condensatore variabile di buona qualità deve avere il dielettrico ridotto ad un minimo indispensabile per separare le due armature. Il materiale impiegato come dielettrico deve essere di ottima qualità. L'ebanite, che si impiegava una volta su vasta scala, non è il dielettrico più adatto per questo scopo. Essa si altera alla luce e perde in parte le sue qualità isolanti. Nei condensatori moderni di prima qualità si usa come dielettrico il quarzo. Il dielettrico deve essere posto nel punto in cui il campo magnetico è più debole.

Quello che vale per i condensatori variabili vale anche per i fissi. Anche in questi vanno evitate tutte le perdite, specialmente attraverso il dielettrico.

Un altro tipo di condensatore di grande capacità ha trovato applicazione negli ultimi anni e precisamente l'elettrolitico. Esso differisce alquanto dagli altri tipi per la costruzione e per il funzionamento. Nel condensatore elettrolitico un'armatura è di alluminio e l'altra è di ac-

qua acidulata. L'armatura metallica ha la forma di un recipiente nel cui interno è contenuto il liquido.

Il dielettrico è costituito da uno strato sottilissimo di ossido di alluminio di cui si riveste il metallo in determinate condizioni. Normalmente l'ossido di alluminio che si forma all'aria non è isolante. Ma quando è prodotto artificialmente esso diviene isolante e l'isolamento resiste a d. d. p. molto elevate. Il suo spessore è di dimensioni molecolari e di conseguenza la capacità è elevatissima con armature relativamente piccole.

Il condensatore elettrolitico è polarizzato. La formazione dello strato isolante avviene immergendo l'alluminio nell'elettrolito e applicando una tensione agli elettrodi. Se l'elettrolito ha le qualità necessarie (concentrazione, composizione chimica) si forma lo strato isolante. La qualità del condensatore dipende perciò dalla sua formazione. Il processo di formazione è stato studiato a lungo nei laboratori industriali ed ha portato a risultati tali che permettono l'impiego dei condensatori anche sotto tensioni elevate. Essi sono preferiti in tutti i casi in cui sono necessarie grandi capacità.

Va notato che l'elettrodo metallico va sempre collegato al capo positivo e l'elettrolito al negativo. Ciò è necessario per la caratteristica asimmetrica la quale permette il passaggio di una certa quantità di corrente, quando i poli sono invertiti.

Si deve tener conto perciò della polarità e della tensione massima che possono sopportare i condensatori prima di inserirli nel circuito.

Il tipo elettrolitico viene impiegato nei circuiti di alimentazione e nei gruppi di polarizzazione di griglie della bassa frequenza.

4. - I circuiti elettrici - Forza elettromotrice, potenziale e corrente - Resistenza - Materiali conduttori e materiali isolanti.

Una pila elettrica è un dispositivo per trasformare l'energia chimica in energia elettrica. Una pila semplice consiste di una lamina di zinco e di un pezzo di carbone immersi in acqua acidulata. Se le due piastre, che si chiamano elettrodi, vengono riunite fra di loro a mezzo

di un filo di rame, si stabilisce fra esse una corrente elettrica. Questa corrente potrà circolare soltanto quando i due elettrodi siano uniti fra loro in modo da formare un circuito chiuso. Aprendo il circuito, la corrente cessa di circolare. La corrente generata dalla pila ha una determinata direzione: avvicinando ad un conduttore, attraversato dalla corrente elettrica, l'ago di una bussola, il polo nord si sposterà alla sinistra di un osservatore che stia adagiato sul conduttore con la faccia rivolta all'ago ed in posizione che la corrente entri per i suoi piedi ed esca per la sua testa. La direzione del flusso della corrente elettrica si ritiene che vada nel conduttore dal polo positivo al polo negativo (Regola di Ampère).

La forza elettromotrice che si ottiene da un generatore di energia elettrica determina una polarità differente ai due capi.

Fra di esse vi è una differenza di potenziale, la quale determina una corrente.



Perchè la corrente possa circolare, è necessario, come abbiamo veduto, che i due capi del generatore siano fra loro collegati a mezzo di un filo conduttore. Però non tutti i conduttori lasciano passare uguale quantità di corrente. Vi sono i buoni ed i cattivi conduttori; ogni conduttore offre una certa resistenza al passaggio della corrente e questa resistenza è tanto minore quanto migliore è il conduttore. I migliori conduttori sono i metalli fra cui in prima linea l'argento, il rame, l'alluminio. I materiali che offrono maggior resistenza alla corrente sono le leghe metalliche. Sappiamo invece che altri materiali non lasciano passare alcuna corrente e sono i materiali isolanti. Tuttavia non vi è una distinzione assoluta fra materiali conduttori e materiali isolanti; tutti i corpi in generale lasciano passare una certa quantità di corrente sia pure di minima entità. Si può dunque stabilire che la conduttività dei materiali si differenzia per la resistenza più o meno elevata che essi oppongono al passaggio di una corrente elettrica.



La resistenza che un corpo oppone al passaggio di una corrente produce sempre una certa quantità di calore. Possiamo concludere che in ogni conduttore una certa quantità di energia è dissipata in forma di calore. Per poter determinare la quantità della corrente elettrica, la tensione e l'intensità, si ricorre ad istrumenti di misura. Questi sono basati sulla proprietà della corrente elettrica di spostare l'ago magnetico, o sull'effetto termico della corrente stessa. Della loro costruzione e dei sistemi usati, ci occuperemo in seguito.

La forza elettromotrice si misura in *volta* e la intensità della corrente in *ampères*. La resistenza di un conduttore, in *ohm*.

Il volta è la differenza di potenziale che, applicata ad un circuito della resistenza di un ohm, permette ad una corrente di un ampère di attraversare questo circuito.

L'ampère è la corrente che, passando attraverso ad una soluzione neutra di nitrato d'argento, produce un deposito di 0,001118 grammi di argento al secondo: o, in altre parole, è la corrente che passa attraverso ad un circuito di un ohm di resistenza a cui è stata applicata la differenza di potenziale di un volta.

L'ohm è la resistenza di una colonna di mercurio dell'altezza di 106,3 cm. e del peso di 14,4521 grammi alla temperatura di 0° C.

Queste tre unità di misura sono accettate generalmente e formano la base per la determinazione di ogni circuito elettrico.



L'opposizione, che ogni conduttore presenta al passaggio di una corrente elettrica, può essere paragonata all'attrito fra i corpi. Come l'attrito, così anche la resistenza elettrica genera calore. Il calore prodotto in un conduttore da una corrente elettrica è proporzionale alla sua resistenza, al quadrato della corrente ed al tempo durante il quale si è fatta passare la corrente. Questa legge viene espressa con la formula:

$$W = R I^2 t \quad (10)$$

la quale è conosciuta sotto il nome di *Legge di Joule*. L'energia dissipata in calore vi è espressa in joules (W), R indica la resistenza del conduttore in ohm, I la corrente in ampères e t il tempo in secondi. Da questa relazione, si vede che una parte dell'energia elettrica è dissipata in calore e che questa perdita è tanto più grande quanto maggiore è la resistenza del conduttore.

La resistenza di un tratto di filo che abbia una sezione uniforme è direttamente proporzionale alla sua lunghezza e inversamente proporzionale alla sezione del filo. Questa resistenza dipende inoltre dalla natura del materiale impiegato. Essa si esprime nella formula

$$R = \rho \times \frac{l}{s} \quad (11)$$

In questa formula R significa la resistenza, l la lunghezza del conduttore ed s la sezione trasversale; ρ è una costante (resistenza specifica) che è propria del materiale impiegato. Se determiniamo da questa formula il valore di questa costante, avremo:

$$\rho = R \times \frac{s}{l} \quad (12)$$

La resistenza specifica di un materiale è la resistenza di un filo della lunghezza di un metro e della sezione di un mm^2 costituito di questo materiale. Va qui notato ancora che la resistenza dei conduttori varia a seconda della temperatura; con l'aumentare della temperatura si riscontra cioè un aumento di resistenza.

I materiali non conduttori, quelli cioè che non lasciano passare la corrente elettrica, possono essere solidi, liquidi e gassosi. La conoscenza dei diversi tipi di isolanti è importante per chi si occupa dello studio della radio; converrà quindi considerarli più dettagliatamente. Gli isolanti solidi, comunemente impiegati nella radiotecnica, sono il caucciù, la carta, il cartone, la mica, il cotone, la seta, la porcellana e le resine. Una parte importantissima hanno l'ebanite e la bakelite le quali servono per supporti, pannelli, ecc. L'ebanite è caucciù vulcanizzato. È noto che il caucciù è un prodotto naturale, ottenuto dalla coagulazione di un succo latteo

estratto da un albero. Se si mescola il caucciù allo zolfo ad una certa temperatura, si ottiene una combinazione chimica di queste due sostanze, la quale presenta delle qualità specifiche diverse dalle sostanze che la compongono, ed è chiamata caucciù vulcanizzato. Una delle qualità importanti dell'ebanite è quella di assorbire poca energia da un circuito vicino percorso da correnti ad alta frequenza.

Un altro isolante molto impiegato nella radiotecnica è la bakelite come più sopra detto; essa è una resina artificiale di forma esteriore molto simile all'ebanite, ed è messa in commercio in diversi tipi. La bakelite è prodotta riscaldando a circa 100° il fenolo con aldeide formica e un prodotto acido o alcalino, i quali danno una materia vischiosa, solubile nell'alcool o nell'acetone, detta appunto bakelite. Riscaldando queste materie ad una temperatura più elevata, si ottiene la bakelite solida la quale è quasi insolubile; elevando ancora la temperatura, la sostanza risultante è più densa e completamente insolubile e non può essere plasmata nemmeno sotto l'influenza del calore. La bakelite è inferiore all'ebanite per quanto riguarda il suo impiego nella radiotecnica: le perdite attraverso la bakelite sono maggiori di quelle dell'ebanite nella vicinanza di un campo elettromagnetico. Da noi si trovano comunemente in commercio delle lastre che non sono composte di pura bakelite, ma che constano di un cartone impregnato di bakelite che è chiamato più giustamente cartone bakelizzato.

La produzione di dielettrici è stata estesa e migliorata negli ultimi anni; si hanno ora, in commercio, materiali ottimi con perdite minime, come la frequenta, l'ipetrolitul e altri.

Uno dei migliori dielettrici, che si impiega molto nelle costruzioni radiotecniche, è la mica: essa ha una grande resistenza di isolamento la quale è detta resistività. Di più essa assorbe pochissima energia, per cui è impiegata comunemente per la costruzione di condensatori fissi. Il suo principale difetto sta nel fatto che il potere induttore specifico, ovvero la costante dielettrica, varia a seconda della qualità della mica, ciò che rende estremamente difficile il calcolo preciso della capacità di un

condensatore in cui sia impiegata la mica. Altri dielettrici, meno impiegati nella radiotecnica, sono il vetro, la porcellana, il cartone, la carta ed il legno. Il cartone e la carta sono eccellenti dielettrici; hanno però lo svantaggio di essere dotati di un grado abbastanza elevato di igroscopicità, ciò che modifica le loro proprietà. Per poter utilizzare il cartone come isolante, è necessario farlo prima asciugare molto bene e ricoprirlo poi di uno strato di vernice. Un ottimo isolante, impiegato spesso, è il cartone « presspahn ». Fra gli isolanti plastici, menzioneremo la paraffina, che è impiegata molto spesso per proteggere dall'umidità certe materie isolanti, come il cartone e la carta. Pure un ottimo isolante è la ceralacca, molto pratica perchè è a portata di mano e può essere maneggiata con molta facilità, avendo un punto di fusione intorno ai 50°. Fra gli isolanti liquidi, menzioneremo soltanto l'olio, che talvolta viene impiegato come dielettrico, specialmente se si tratta di tensioni molto elevate.

5. - I generatori di energia elettrica: pile e accumulatori.

Ogni pila ha due elettrodi, i due poli che sono immersi in un liquido chiamato elettrolito. Gli elettrodi sono, o ambedue metallici, o constano del negativo metallico e del positivo di carbone. Gli elettroliti impiegati nelle pile sono di solito soluzioni di vari sali, oppure miscugli di acidi. La forza elettromotrice prodotta da una pila varia di solito fra uno e due volta. La corrente che è fornita dalle pile non è costante ma diminuisce fino ad esaurirsi completamente. Vi sono molti mezzi per ritardare il completo esaurimento della pila; dopo esaurita, la pila può esser messa in efficienza cambiando l'elettrolito rispettivamente sostituendo l'elettrodo deteriorato che è sempre il negativo.

La riduzione di tensione della pila e l'aumento di resistenza interna in seguito al circolare della corrente, è chiamata *polarizzazione*. La causa della polarizzazione sta nel fatto che, durante il passaggio della corrente, una parte dell'idrogeno viene liberata dall'acido e si

accumula in forma di piccole bollicine sull'elettrodo positivo; tali bollicine impediscono il contatto fra il liquido e l'elettrodo positivo ed aumentano quindi la resistenza della pila. Se si apre nuovamente il circuito, l'idrogeno viene riassorbito e la pila si rigenera parzialmente. Per impedire la formazione dell'idrogeno, si aggiunge di solito qualche sostanza chimica che entra con esso in combinazione e che è chiamata *depolarizzante*. Il depolarizzante viene messo a contatto con l'elettrodo positivo. Questi tipi di pile, in cui la rigenerazione avviene mediante cambiamento degli elettrodi, si chiamano pile primarie; quelle in cui la rigenerazione avviene mediante il ristabilimento degli elettrodi, a mezzo di una corrente elettrica, sono chiamate pile secondarie o più semplicemente *accumulatori*.



Fig. 18 - Pila Daniell.

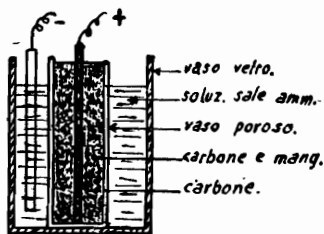


Fig. 19 - Pila Leclanché.

La forza elettromotrice di una pila dipende dal materiale di cui sono composti gli elettrodi e dalle loro dimensioni. Quando sia richiesta ad una pila una quantità considerevole di corrente, è necessario che la sua resistenza interna sia la più bassa possibile. La resistenza interna di una pila dipende, in prima linea, dalla distanza che passa fra gli elettrodi. Più grande è la distanza, più aumenta la resistenza, perchè la corrente deve attraversare una quantità maggiore di liquido. La resistenza interna dipende inoltre dalla qualità dell'elettrolito; non tutti gli elettroliti hanno la stessa resistenza. Una pila che deve funzionare continuamente deve essere, praticamente, quasi esente da polarizzazione.

Abbiamo già visto che ogni elemento di pila può for-

nire al massimo una forza elettromotrice di 2 volta circa. Le pile primarie a liquido forniscono, di solito, una tensione minore, ed hanno una resistenza interna che varia da 1 a 10 ohm.

Le pile a liquido erano talvolta impiegate nella radiotecnica per la formazione di batterie anodiche, ed eventualmente per l'alimentazione dei filamenti di valvole a debole consumo. Se si tratta di una batteria anodica, l'erogazione di corrente è dell'ordine dei milliampères, ed è quindi sufficiente l'impiego di elettrodi di dimensioni molto ridotte, mentre invece, per l'alimentazione dei filamenti, si richiede una quantità di corrente maggiore che si può calcolare con 0,06 ampères.

Fra i tipi di pile principali, menzioneremo la pila Daniell e la pila Leclanché.

La pila Daniell (fig. 18) consiste di un elettrodo di zinco e di un elettrodo di rame. Lo zinco ha la forma di un tubo, ed è immerso in acqua acidulata. L'elettrodo di rame è contenuto in un vaso poroso posto nell'interno del tubo di zinco e riempito di una soluzione di solfato di rame. Quest'ultimo ha la funzione di depolarizzante. L'acqua acidulata consiste in una soluzione al 10 % di acido solforico. Quando la pila è in funzione, la soluzione di acido solforico attacca lo zinco, formando solfato di zinco e liberando l'idrogeno; l'idrogeno decompone il solfato di rame in modo che il rame è depositato sull'elettrodo positivo dello stesso metallo con formazione di acido solforico. Di conseguenza, lo zinco diminuirà lentamente di volume, mentre aumenterà il volume del rame e diminuirà la quantità di solfato di rame. Per mantenere la pila in efficienza, è quindi necessario sostituire di quando in quando l'elettrodo di zinco, e completare la soluzione di solfato di rame.

La forza elettromotrice della pila Daniell, del tipo qui descritto, è di circa 1 volta. La resistenza interna però è abbastanza bassa e raggiunge appena 1 ohm.

La pila di Leclanché (fig. 19) è molto conosciuta perchè è impiegata, di solito, per le sonerie elettriche.

Essa si compone di un elettrodo di zinco, che può essere in forma di bastone, e di un vaso poroso che contiene l'elettrodo positivo, formato di una piastra di carbone e circondato di una miscela di biossido di man-

ganese e di carbone triturati. Questa miscela costituisce il depolarizzante. Il carbone forma il polo positivo, e lo zinco il polo negativo. L'elettrolito consiste di una soluzione di sale ammoniaco; quando la pila è in funzione, il sale ammoniaco attacca lo zinco, formando cloruro di zinco e liberando l'idrogeno che si dirige verso il carbone ove esso è assorbito dal biossido di manganese. Quando la corrente è più intensa, il biossido non assorbe con abbastanza celerità l'idrogeno, e la pila si polarizza. Però è sufficiente lasciarla riposare un po' di tempo perchè si rigeneri completamente. Il vaso poroso può essere anche sostituito con un sacchetto di tela.

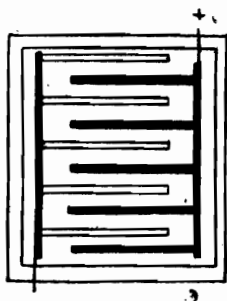


Fig. 20 - Sezione di un accumulatore.

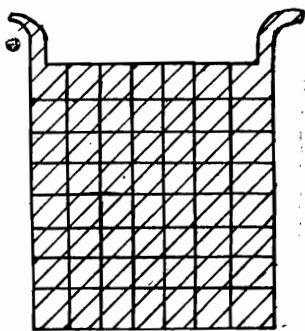


Fig. 21 - Piastra di un accumulatore.

La pila Leclanché può essere impiegata per la generazione della corrente anodica, ed in tal caso bastano i piccoli modelli che si trovano in commercio. La forza elettromotrice della pila Leclanché è di 1,5 volta, e diminuisce poi gradualmente fino a 1,1 volta. La resistenza interna varia da 1 a 6 ohm.

Gli accumulatori, o pile secondarie, differiscono dalle pile primarie per il fatto che la rigenerazione si ottiene mediante una corrente elettrica. Un accumulatore consiste essenzialmente di due lame di piombo (fig. 20) immerse in una soluzione di acido solforico: le piastre (figura 21) sono gli elettrodi della pila. Per poter ottenere che questi due elettrodi diano una corrente, è necessario

ch'essi siano sottoposti ad una carica, cioè che siano collegati ai poli di una sorgente di forza elettromotrice costante. Questa corrente sviluppa dell'ossigeno dalla parte del polo negativo — o anodo — e dell'idrogeno dalla parte del polo positivo — o catodo. L'ossigeno si accumula ai due elettrodi i quali cessano di essere uguali; ha luogo quindi una forza elettromotrice contraria a quella della sorgente. Come si vede, non si tratta che di un fenomeno di polarizzazione che noi dobbiamo combattere nelle pile primarie, ma che costituisce il principio dell'accumulatore; in esso è utilizzata la forza polarizzante per produrre la corrente che si vuol ottenere. Infatti se, dopo aver caricato un dispositivo come è qui descritto, formato di due lame di piombo immerse in acido solforico, usiamo questa pila, potremo constatare che essa darà una corrente di senso contrario a quella che è servita per caricarla. Per questo motivo, le pile di questo genere sono chiamate accumulatori. L'accumulatore restituisce alla scarica tutta l'energia che è stata in esso accumulata durante la carica. È questo il principio dell'accumulatore.

Vediamo ora, più in dettaglio, come avvenga la carica e la scarica di un accumulatore. Le lastre di piombo usate per gli accumulatori sono ricoperte di uno strato di ossido di piombo. Durante la carica, l'ossido che copre il polo negativo è ridotto dall'idrogeno; si forma quindi una massa spugnosa che conserva l'aspetto del piombo comune con una tinta grigiastra. L'ossigeno che è liberato dal polo positivo trasforma l'ossido di piombo in biossido, per cui le piastre positive acquistano un aspetto brunastro. Durante la scarica, la corrente si libera dell'acido solforico dell'idrogeno, il quale è portato sulla piastra positiva ed entra in combinazione con una parte dell'ossigeno tolto al biossido di piombo. La forza elettromotrice dell'accumulatore aumenta, e passa di solito da 1,8 volta a 2,5 volta. Alla scarica, si forma il solfato di piombo, e la forza elettromotrice si abbassa da 2,5 volta per ritornare a 1,8 volta. Questa tensione segna il limite della scarica, raggiunto il quale è necessario procedere alla ricarica dell'accumulatore.

Ogni accumulatore ha le sue caratteristiche: esse dipendono dalle dimensioni e dal numero delle piastre,

dalla resistenza interna, la quale aumenta se le piastre sono più lontane.

Qualora nella scarica un accumulatore dia una corrente di 3 ampères e la sua forza elettromotrice sia di 2 volta, avremo ad ogni minuto secondo :

$$2 \text{ volta} \times 3 \text{ ampères} = 6 \text{ joules}$$

Un joule equivale a 1 watt, per cui si potrà anche scrivere:

$$2 \text{ volta} \times 3 \text{ ampères} = 6 \text{ watts}$$

Se questo accumulatore può fornire una corrente di 3 ampères per la durata di 15 ore, la sua capacità sarà di:

$$3 \text{ ampères} \times 15 \text{ ore} = 45 \text{ ampères}$$

L'energia complessiva che si può ricavare durante le 15 ore dall'accumulatore, sono :

$$45 \text{ ampères-ora} \times 2 \text{ volta} = 90 \text{ watts-ora}$$

La quantità di elettricità che un accumulatore può fornire alla scarica, è chiamata la capacità utile dell'accumulatore. Come abbiamo visto, quando un accumulatore ha una capacità di 45 ampères-ora, vuol dire che esso può dare una corrente dell'intensità di un ampère per la durata di 45 ore, oppure una corrente di 3 ampères per la durata di 15 ore, e così di seguito. Non è però indifferente l'intensità di corrente alla quale l'accumulatore è scaricato; in pratica, questa intensità non può eccedere una certa misura senza che ne soffra l'accumulatore.

La potenza utile di un accumulatore è la quantità di energia che da esso si può ricavare per ogni secondo. Si determina la potenza utile, moltiplicando la tensione media di scarico per l'intensità della corrente.

La potenza specifica di un accumulatore è l'energia in relazione al kg. di elettrodi o al dm². di superficie.

Il rendimento di un accumulatore è determinato dal rapporto fra il numero di watts-ora impiegati per la carica e il numero di watts-ora restituiti alla scarica. Un watt-ora è uguale al prodotto della tensione moltiplicata per l'intensità della corrente in ampères moltiplicato per il numero di ore (volta \times ampères \times ore).

Perchè un accumulatore possa funzionare bene, è necessario che le piastre siano formate. Un accumulatore appena costruito non è ancora atto ad immagazzinare tutta la quantità di elettricità proporzionale alla sua capacità se non dopo aver subito un certo numero di cariche e di scariche. Questo procedimento di carica e scarica, si chiama la formazione delle piastre. Nei primi esperimenti fatti dal Planté, la formazione delle piastre richiedeva un tempo molto lungo, ciò che ne rendeva poco agevole la costruzione. In seguito, si sono escogitati dei mezzi più rapidi per la formazione delle piastre, e tali mezzi differiscono a seconda dei costruttori. Il francese Camillo Faure adottò il sistema di preparare le piastre con una pasta formata a base di ossido di piombo. Le piastre così preparate sviluppano tutta la loro capacità dopo una sola carica; è ritenuto però generalmente più sicuro il sistema primitivo Planté, che, sebbene di durata più lunga (un paio di mesi circa), dà una maggiore stabilità e garantisce una maggior durata alle piastre.

Quando si tratta di accumulatori che devono subire delle scariche molto rapide e intense, si adotta ancora il sistema Planté, perchè la pasta attiva rimane più solidamente fissa alle piastre.

Attualmente la costruzione degli accumulatori si è molto perfezionata; le piastre sono costruite con una griglia, la quale è riempita di materia attiva in modo che essa possa subire delle dilatazioni o delle contrazioni senza che si danneggi o se ne stacchi una parte. In tal modo, anche le piastre preparate con questo sistema presentano una solidità più che sufficiente, quando non si tratti di scariche molto intense. Convieni quindi, quando trattasi di piastre di questo tipo, evitare tutto ciò che può produrne la disgregazione; specialmente le scariche troppo repentine prodotte da corti circuiti, ed in genere tutti i passaggi di corrente troppo intensi.

Come abbiamo veduto, un elemento di accumulatore non può dare che una forza elettromotrice di 2 volta. Questa tensione è di solito sufficiente per gli usi ai quali l'accumulatore è destinato. Per ottenere tensioni più elevate, è necessario usare più elementi di accumulatore, i quali vanno collegati in serie (fig. 22), cioè il polo

negativo di un elemento con il polo positivo del successivo. Il polo negativo ed il polo positivo degli elementi liberi presentano una differenza di potenziale che è uguale alla somma dei singoli elementi. Per ottenere

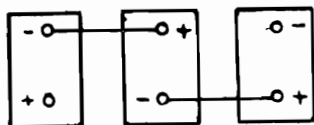


Fig. 22 - Collegamento in serie: ogni pila producendo una f. e. m. di 2 volti, la tensione ai capi della batteria sarà di 6 volti.

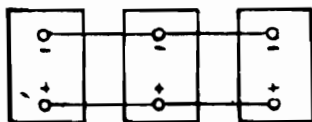


Fig. 23 - Collegamento parallelo: la f. e. m. della batteria è uguale a quella di 1 solo elemento cioè 2 volti. La capacità è uguale alla somma delle capacità dei 3 elementi (per es. $20+20+24$ amp.-ora).

Segno convenzionale di una pila

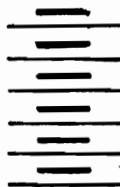


Fig. 25 - Segno convenzionale di una batteria.

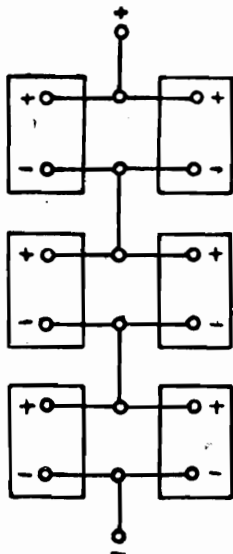


Fig. 24 - Collegamento in serie-parallelo: ogni elemento è collegato in parallelo con un altro, le coppie sono poi collegate in serie. La f. e. m. sarà di 3 volte quella di un elemento e la capacità del doppio di una pila.

quindi una tensione di 4 volti, saranno necessari due elementi di accumulatore collegati in serie, e per ottenere una tensione di 6 volti, occorreranno tre elementi collegati in serie. L'intensità della corrente che si può

ricavare da una tale batteria, composta di elementi collegati in serie, è uguale a quella che può fornire ogni singolo elemento. Qualora fosse necessaria una intensità maggiore di corrente, occorrerebbe collegare gli elementi in parallelo. Collegando due accumulatori in parallelo (fig. 23), cioè coi poli positivi collegati insieme, e i poli negativi pure collegati insieme, la forza elettromotrice rimarrà invariata, ma la capacità sarà uguale alla somma della capacità dei due elementi. Mentre nel primo caso la resistenza complessiva della batteria sarà uguale alla somma delle resistenze interne di ogni singolo elemento, nel secondo caso la resistenza sarà diminuita, e tanto più piccola, quanto maggiore il numero degli elementi riuniti in parallelo. Si può ottenere un effetto intermedio effettuando il collegamento in serie-parallelo (fig. 24).

Nel campo della radiotecnica l'accumulatore costituiva nei primi tempi il solo mezzo per alimentare i filamenti delle valvole. Ora, con l'introduzione delle valvole a corrente alternata a riscaldamento indiretto, l'accumulatore viene impiegato soltanto in casi particolari, quando non si abbia a disposizione la corrente elettrica per l'alimentazione, come, ad esempio, quando si tratti di apparecchi portatili.

Consideriamo quindi brevemente un altro tipo di pila primaria usato molto frequentemente nella radio, e cioè la *pila a secco* (la fig. 25 rappresenta graficamente una pila e una batteria di pile). Questa, contrariamente a quanto esprime il suo nome, non è in realtà una pila a secco, ma contiene pure l'elettrolito. Esso è una sostanza assorbente imbevuta di una soluzione di sale ammoniaco. La pila a secco è quasi sempre costituita da un elettrodo di carbone e da uno di zinco: il carbone, che costituisce l'elettrodo positivo, ha la forma di un piccolo cilindro, ed è immerso in una miscela di carbone e di biossido di manganese racchiusa in un sacchetto. Questa parte si trova nel centro della pila.

Lo zinco è fatto in forma di un piccolo recipiente cilindrico nel cui interno ha posto l'elettrodo di carbone che è separato dallo zinco a mezzo dell'elettrolito. La forza elettromotrice di ogni singola pila a secco è in media di 1,5 fino a 1,6 volta. Va notato che la resistenza in-

terna della pila a secco è molto elevata, per cui la tensione ai capi di ogni singolo elemento è minore di 1,5 volta, quando la pila è in uso. Gli elementi delle pile a secco possono essere riuniti a tre o più in un solo involucro, in modo da formare una batteria. Le batterie da 4,5 volta sono formate di tre pile collegate in serie. La fig. 26 dimostra come si possa utilizzare una batteria per ottenere diverse tensioni.

Le pile a secco sono atte a fornire una corrente molto intensa a brevi intervalli, oppure una corrente molto debole per una durata più lunga. Le pile a secco si polarizzano dopo un certo tempo, e non sono più adoperabili non essendo pratico nè conveniente procedere, come per le altre pile, alla rigenerazione.

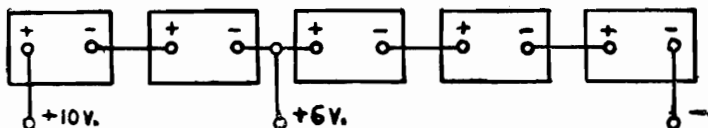


Fig. 26 - Esempio di utilizzazione di una batteria per ottenere diverse tensioni. Il polo negativo è comune.

6. - La legge di Ohm - La legge di Kirchhoff - La legge dello "shunt" - Il ponte di Wheatstone.

Abbiamo visto che ogni conduttore elettrico oppone una certa resistenza al passaggio della corrente, e abbiamo paragonato questa resistenza all'attrito dei corpi in movimento. La resistenza di un conduttore varia però con la forza elettromotrice che ad esso è applicata. Ohm ha trovato che la corrente elettrica che circola in un conduttore è proporzionale alla forza elettromotrice, ed ha stabilito che il rapporto tra forza elettromotrice e corrente è una costante per ogni corpo, la quale è definita come la resistenza di un conduttore. Questa relazione è importantissima per le molteplici applicazioni che essa trova nell'elettrotecnica, ed è conosciuta sotto il nome di *Legge di Ohm*. Essa è espressa con la seguente formula:

$$E = R I \quad (13)$$

dalla quale si deducono le ulteriori equazioni :

$$R = \frac{E}{I} \quad (14)$$

rispettivamente :

$$I = \frac{E}{R} \quad (15)$$

In altre parole, la forza elettromotrice è uguale al prodotto della resistenza per la corrente, oppure la resistenza è uguale alla forza elettromotrice divisa per l'intensità di corrente; rispettivamente la corrente è uguale alla forza elettromotrice divisa per la resistenza.

Nella formula, E significa la forza elettromotrice in volta, R la resistenza in ohm, ed I la corrente in ampères. Per quanto semplice questa relazione, essa deve essere studiata un po' in dettaglio e considerata alla stregua di esempi pratici. Supponiamo, ad esempio, di



Fig. 27 - Rappresentazione grafica di una resistenza.

avere a disposizione la forza elettromotrice di una batteria di 6 volta, la quale deve circolare in un circuito di una resistenza X . Se misuriamo l'intensità della corrente che passa attraverso il circuito, possiamo determinare esattamente la sua resistenza totale. Ammesso, ad esempio, che la corrente sia di $1/2$ A., avremo, secondo la formula (14) $R = \frac{E}{I} = \frac{6}{0,5} = 12$ ohm. Possiamo

rappresentare quindi graficamente il circuito come una resistenza che segneremo con la lettera R (vedi figura 28). In altre parole, potremo dire che il tratto di circuito A e B è attraversato da una corrente di 0,5 ampères, e che fra i capi A e B del circuito vi è una caduta di potenziale. Infatti, se inseriamo fra A e B un strumento di misura, come il voltmetro, il quale indica la differenza di tensione applicata ai suoi due capi, troveremo che fra A e B c'è una differenza di tensione di 6 volta. Nel circuito indicato nella figura, abbiamo ammesso che tutta la resistenza del circuito sia concen-

trata nel tratto AB . In realtà, però, anche il resto del circuito presenterà una resistenza, ed a questa andrà inoltre aggiunta la resistenza interna della sorgente di energia, sia essa di una pila o di un altro generatore. Queste resistenze vanno tutte sommate.

Dalla legge di Ohm si trae un'altra deduzione: che la corrente è tanto più debole quanto maggiore è la resistenza del circuito. Di conseguenza potremo anche stabilire che una pila darà una corrente tanto più debole quanto maggiore sarà la resistenza interna. Qui è importante notare che la corrente ha la stessa intensità in qualsiasi punto del circuito e qualunque sia la resistenza dello stesso. Se dividiamo, ad esempio, in due parti la resistenza del circuito prima considerato fra A e B ,

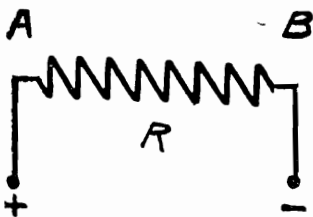


Fig. 28

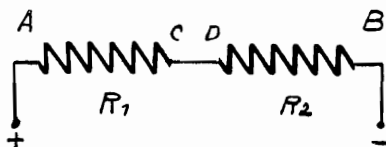


Fig. 29

potremo rappresentare graficamente, come nella fig. 29, il circuito nel quale avremo, in luogo della resistenza R , le resistenze R_1 e R_2 , la prima fra AC e la seconda fra BD . Il fenomeno rimarrà lo stesso, esso ci servirà però per stabilire un altro principio importante, che cioè due resistenze collegate in serie, si sommano. Infatti, il valore di R è uguale al valore della somma di R_1 e R_2 . Potremo quindi sostituire alla somma R_1 più R_2 , il valore complessivo, cioè R .

Stando al caso che abbiamo considerato in precedenza, avremo fra A e B della fig. 29 una differenza di potenziale di 6 volti. Qualora però misurassimo la tensione fra i capi A e C , la differenza di potenziale non sarebbe la stessa, e dipenderà dal valore delle due parti della resistenza, cioè dai valori di R_1 e R_2 . Nel caso precedente, avremo una resistenza complessiva di 12 ohm per il tratto AB . Se dividiamo la resistenza in due

parti uguali, avremo quindi una resistenza di 6 ohm per AC ed un'altra uguale per BD . Secondo la legge di Ohm, la corrente che potrà passare attraverso i capi AB , sarà di 0,5 ampères. Attraverso BD , si produrrà però una caduta di tensione la quale sarà uguale a $E=RI=6 \times 0,5=3$ volta. Avremo, quindi, tanto se misuriamo la differenza di tensione fra i capi A e C , come fra i capi B e D , 3 volta. Analogamente, se il punto intermedio si sposterà in modo che una parte della resistenza sia maggiore dell'altra, avremo una caduta di tensione proporzionale, che si potrà calcolare nello stesso modo. Su questo principio si basa il potenziometro che è largamente impiegato nei circuiti radioelettrici. Esso consiste essenzialmente di una resistenza inserita fra i due poli di una batteria con una derivazione intermedia che può essere spostata mediante un dispositivo a cursore, in modo da variare la differenza di potenziale fra la derivazione e i due capi, se la resistenza complessiva del potenziometro è scelta in misura tale da non lasciar passare che una piccolissima quantità di corrente per non scaricare la batteria.

Vi è ancora un'altra importantissima applicazione del principio più sopra enunciato. Consideriamo il circuito della figura 30: abbiamo due resistenze, R_1 ed R_2 , i cui principî sono collegati assieme in A , e le cui fini sono collegate assieme in B . Quando la corrente dal + giunge in A , deve necessariamente biforcarsi, e passare tanto per R_1 che per R_2 , contemporaneamente, e quindi ricongiungersi in B per tornare al —. Ma sappiamo che in ogni sezione di un circuito passa la stessa corrente; quindi, tanto prima di A , che fra A e B , che dopo B , cirolerà la stessa corrente: ciò vuol dire che la somma delle due correnti, che circolano nelle due resistenze, è uguale a quella che circola nelle altre parti, prima di A e dopo di B . Come si dividerà la corrente? Ai due rami R_1 ed R_2 del circuito, possiamo certamente applicare la legge di Ohm, considerando che fra A e B vi è una certa d. d. p. uguale tanto per R_1 quanto per R_2 e arriveremo alla conclusione che la corrente che circola in ogni ramo sarà inversamente proporzionale alla resistenza di ogni ramo, e che il circuito si comporterà come se fra A e B fosse intercalata una sola resi-

stenza, minore tanto di R_1 che di R_2 , e precisamente uguale a :

$$\frac{1}{\frac{1}{R_1} \times \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \quad (16)$$

Le due resistenze R_1 ed R_2 sono in questo caso in parallelo.

Lo stesso ragionamento, naturalmente, si può applicare a tre o più resistenze.

Ciò premesso, potremo enunciare la *Legge di Kirchhoff*: « In ogni nodo di un circuito elettrico — (ad es. A in fig. 30) — la somma delle correnti che entrano è uguale alla somma delle correnti che escono ».

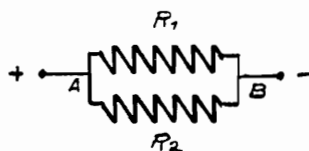


Fig. 30

Questa legge è importantissima, ed avremo occasione di richiamarla parecchie volte. Come applicazione particolare di essa, possiamo dire che l'intensità di corrente che attraversa un circuito, di cui si conosce la resistenza R_1 di un ramo, e l'intensità I_1 che l'attraversa, e la resistenza dell'altro ramo, sarà :

$$I_1 = I_2 \frac{R_1 + R_2}{R_2} \quad (17)$$

Questa legge è nota sotto il nome di *Legge dello shunt*, e serve in special modo per calcolare la riduzione di sensibilità che subisce uno strumento di misura quando ad esso è posta in parallelo una resistenza.

Altra particolare applicazione è il *Ponte di Wheatstone*.

Supponiamo due resistenze in parallelo, come quelle della fig. 30: la corrente che va dal più al meno diminuisce sempre la sua tensione, per effetto della resistenza del circuito, cosicchè in ogni punto delle due

resistenze si avrà, rispetto alla terra, una d. d. p. diversa e sempre minore, man mano che ci si avvicina al « meno ». Si dice, in tal caso, che la resistenza provoca in un circuito una caduta di tensione, e questa è uguale al prodotto della resistenza per l'intensità di corrente che l'attraversa.

Nei punti *A* e *B*, la d. d. p. rispetto alla terra è uguale per le due resistenze, e procedendo da *A* verso *B*, anche se le due resistenze sono molto diverse, per ogni punto di R_1 , si avrà in R_2 un punto alla stessa d. d. p., poichè abbiamo visto che la caduta di tensione è uguale al prodotto di $I \times R$. Supponiamo di prendere la metà di R_1 : con un semplice calcolo intuitivo, vediamo che il punto corrispondente di R_2 , allo stesso potenziale, si troverà pure a metà di R_2 ; ne viene che, se noi uniamo la metà di R_1 con la metà di R_2 a mezzo di un conduttore, nessuna corrente lo attraverserà, poichè si ha movimento di corrente solo per due punti a diverso potenziale. Lo stesso avverrà se prendiamo, ad esempio, $10/11$ di R_1 ed i $10/11$ di R_2 . Ma se invece prendiamo, per caso, un punto ai $4/5$ di R_1 , ed un altro punto qualsiasi di R_2 che non sia ai $4/5$, questo si troverà a potenziale differente al primo, maggiore se a sinistra dei $4/5$ e minore se a destra dei $4/5$. Conseguentemente fra i due punti circolerà una corrente che potrà essere rivelata da un galvanometro. Noi possiamo dividere R_1 in due parti qualunque, *a* e *b*, ed R_2 pure in due parti qualsiasi *e* e *d*: per quanto abbiamo detto, si avrà la relazione:

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$$

e se uno dei valori è ignoto, potrà immediatamente essere calcolato: se è *d* il valore ignoto, sarà

$$d = \frac{b c}{a}$$

Negli strumenti per misurazioni di resistenze, si mantengono *a* e *b* sempre uguali, si mette in *d* la resistenza da misurare e in *c* una resistenza variabile, che si regola

fino a l punto in cui uno strumento, inserito fra i due punti di collegamento di *a* con *b* e di *c* con *d*, non accusa più alcuna differenza di potenziale.

7. - Magnetismo - Elettromagnetismo.

Per magnetismo s'intende la proprietà del ferro magnetico di esercitare una forza d'attrazione su pezzi di ferro. Il ferro magnetico è un minerale chiamato anche magnetite o ossido nero di ferro. Un tale magnete, oltre alla proprietà di attrarre a sè pezzi di ferro, come — ad esempio — la limatura, presenta anche un'altra qualità e precisamente quella della polarità. Se sospendiamo, ad esempio, una sbarretta di ferro magnetico ad un filo, questo si disporrà col suo asse in direzione da nord a sud.

Se prendiamo un pezzo di acciaio e lo strofiniamo con un pezzo di magnetite, esso acquisterà le stesse proprietà magnetiche della magnetite; esso sarà quindi magnetizzato. Se applichiamo lo stesso procedimento ad una sbarretta di ferro dolce, l'effetto non sarà lo stesso, ma le sue proprietà magnetiche cesseranno quasi completamente dopo allontanato il pezzo di magnetite.

Le proprietà delle calamite, o magneti, di dirigersi da nord a sud quando siano sospese in modo da poter girare liberamente, è comune a tutte. Le due estremità sono chiamate, perciò, i due poli del magnete; l'uno è chiamato il polo nord e l'altro il polo sud. Anche fra i poli delle calamite esiste una attrazione, rispettivamente una ripulsione; precisamente i poli eguali si respingono, i poli contrari si attraggono.

Se collochiamo un ago magnetico in modo che esso possa rotare orizzontalmente su di un asse, esso si disporrà da nord a sud. Se avviciniamo ad un ago magnetico una sbarra magnetica, osserveremo che l'ago cambia direzione. Così pure, se spargiamo su di un foglio di carta della limatura di ferro e se poniamo questa carta sopra un magnete, osserveremo che la limatura di ferro si disporrà intorno ai poli del magnete, formando parecchi filetti ed accumulandosi in copia maggiore nella vicinanza dei poli. Questa disposizione che assume la limatura di ferro intorno ai poli del magnete dimostra che vi è un certo spazio intorno al ma-

gnete entro il quale agisce una forza. Le direzioni con cui si raggruppano le piccole particelle di ferro indicano queste linee di forza. Lo spazio intorno al magnete entro il quale esso esercita questa forza è chiamato « il campo magnetico ». Questo campo magnetico può avere una intensità diversa e può essere anche misurato. La direzione che assume l'ago magnetico da nord a sud dimostra che anche la Terra ha un campo magnetico.

Come abbiamo visto, l'effetto non è uguale per tutta l'estensione del campo magnetico, ma vi sono dei punti in cui la forza si manifesta con una intensità maggiore, in modo da lasciar presupporre che queste linee di forza siano analoghe ad una corrente o ad un flusso. Noi diciamo quindi che intorno a un magnete si manifesta un flusso magnetico il quale attraversa il campo magnetico. Praticamente, il flusso magnetico è rappresentato da una linea per ogni unità di flusso tracciata attraverso il campo magnetico. Il numero di queste linee in una sezione di centimetro quadrato, perpendicolare ad esse, si definisce « densità di flusso magnetico ».

Come sappiamo anche la corrente elettrica produce degli effetti magnetici. Un filo conduttore che sia attraversato da una corrente elettrica genera anch'esso un campo magnetico. L'esistenza di questo campo magnetico è dimostrata dall'esperienza che abbiamo descritta nel capitolo IV, parlando della regola di Ampère. Un ago magnetico che sia posto entro le linee di forza del campo che circonda un conduttore si sposterà nel modo che abbiamo visto. L'effetto del campo magnetico di un conduttore elettrico, attraversato da una corrente, è maggiore in immediata vicinanza di esso, e diminuisce man mano che ci allontaniamo dal conduttore.

Se pieghiamo questo conduttore elettrico in modo da dargli la forma circolare e formare parecchie spire una vicina all'altra, avremo un avvolgimento che è chiamato « solenoide ». L'intensità del campo magnetico intorno ad un solenoide, oltre che dal numero delle spire, dipende anche dalla intensità della corrente che lo percorre. Vediamo perciò che è possibile produrre lo stesso effetto magnetico, sia impiegando un rilevante

numero di spire ed una corrente di intensità minore, sia un numero piccolo di spire con una corrente più intensa. Perchè l'effetto sia perfettamente uguale, è necessario che l'intensità di corrente in ampères, moltiplicata per il numero di spire, dia lo stesso prodotto. Se indichiamo con le lettere A_s questo prodotto, con N il numero delle spire, e con I l'intensità della corrente, avremo quindi la formula:

$$A_s = N \times I \quad (18)$$

Questo prodotto è chiamato ampères-spire.

Noi supponiamo che il flusso magnetico percorra la via del polo nord al polo sud. Ritenendo altresì, come abbiamo fatto in precedenza, che la corrente elettrica vada dal positivo al negativo, possiamo stabilire il senso del campo prodotto dalla corrente elettrica. Nel caso del solenoide, possiamo usare la regola cosiddetta della mano destra. Se poniamo sul solenoide il palmo della mano destra in modo che l'indice e il pollice formino un angolo retto, e se poniamo l'indice nella direzione della corrente, il polo nord del solenoide sarà dalla parte del dito pollice.

Se introduciamo nell'interno del solenoide una sbarretta di ferro, il flusso magnetico aumenta, e le linee magnetiche saranno più numerose. Questo fenomeno è dovuto alla permeabilità magnetica del ferro. Da esso trarremo la conclusione che la permeabilità magnetica del ferro determina un aumento del magnetismo. Non tutte le qualità di ferro hanno la stessa permeabilità. I metalli che possono essere magnetizzati presentano delle qualità alquanto diverse nei riguardi della magnetizzazione. Una sbarra di ferro dolce, posta in un campo magnetico, si presenterà magnetizzata molto meglio di una sbarretta di acciaio. Il ferro dolce si potrà quindi definire più permeabile dell'acciaio. Più precisamente, designeremo quindi come permeabilità il rapporto fra il flusso magnetico che attraversa una determinata sezione del ferro e l'intensità del campo magnetico. Questo flusso, su una quantità di sezione trasversale, è chiamato induzione magnetica specifica che noi designeremo con la lettera B . Se rappresentiamo la permeabilità con la lettera m , avremo:

$$m = \frac{B}{As} \quad (19)$$

Come abbiamo fatto per l'elettricità, possiamo immaginare che un flusso magnetico percorra lo spazio da un polo all'altro di un magnete, e che in questo spazio il flusso trovi una maggiore o minore resistenza a seconda del materiale che incontra sul suo cammino. Abbiamo dato così il concetto di circuito magnetico, con la sua resistenza totale, con le sue parti in serie od in parallelo come i circuiti elettrici, con la sola differenza che il miglior isolante per il flusso magnetico, che è l'aria, si lascia da esso attraversare con una notevole facilità. Possiamo quindi, con formule simili a quelle della resistenza elettrica, calcolare la resistenza di un circuito magnetico. Noi ci limiteremo però a far rilevare che un flusso magnetico può attraversare l'aria, i metalli, e con molta maggiore facilità il ferro e l'acciaio, la ghisa, il cobalto, il nichel, i quali, possedendo una resistenza magnetica piccolissima e posti fra due punti a differente potenziale magnetico, si lasciano attraversare da una notevole intensità magnetica. Ci preme inoltre sapere che una corrente elettrica è sempre accompagnata da un campo magnetico e che questo è proporzionale alla intensità della corrente ed al numero di spire in cui circola corrente. Ora possiamo enunciare un altro principio, importantissimo, noto sotto il nome di *Legge di Lenz*: ogni volta che varia la concatenazione delle linee di flusso magnetico si ha in un conduttore una corrente che si oppone alla variazione; cioè ogni volta che un conduttore si muove in un campo magnetico, oppure ogni volta che un campo magnetico si muove in presenza di un conduttore fisso, o infine ogni volta che un campo magnetico varia di intensità in presenza di un conduttore, questo viene attraversato da una corrente; la sua intensità dipende, oltre che dall'intensità del campo e dalla velocità della variazione, anche dalla resistenza del conduttore stesso. Attorno a questo conduttore si produce un campo magnetico la cui intensità dipende dall'intensità di corrente che attraversa il conduttore, e che si oppone alla variazione di flusso che genera la corrente. Evidente-

mente la corrente che si genera avrà senso diverso a seconda che la variazione avviene in un senso oppure nell'altro. Sulla legge di Lenz si basa il funzionamento di tutte le macchine elettriche per la produzione della corrente; in esse troviamo invariabilmente un lungo conduttore avvolto in parecchie spire attorno ad un nucleo di ferro di forma speciale, il quale ruota in un campo magnetico fisso oppure rimane immobile in un campo magnetico variabile. Il campo è generato da un avvolgimento percorso da corrente, in modo da ottenersi una o più copie di poli. Abbiamo già detto che il senso della corrente che circola nel conduttore dipende dal senso della variazione; è logico quindi pensare che quando l'avvolgimento passerà davanti al polo nord della macchina sarà attraversato dalla corrente in un determinato senso mentre quando passerà davanti al polo sud sarà attraversato dalla corrente in senso opposto; alla fine degli avvolgimenti si raccoglierà quindi una corrente che cambierà periodicamente di direzione, e che è chiamata corrente alternata. Le macchine che danno corrente alternata vengono chiamate alternatori.

In altre macchine con uno speciale dispositivo, detto commutatore o collettore, si raccolgono in uno dei fili della linea solamente gli impulsi di corrente che vanno in un dato senso: queste macchine danno quindi una corrente continua e vengono chiamate dinamo a corrente continua o più semplicemente dinamo.

8. - Le correnti alternate.

Le correnti prodotte dagli alternatori elettrici non circolano sempre nello stesso senso. Il senso della corrente varia periodicamente un certo numero di volte in un determinato tempo, ad esempio 50 volte in un secondo, oppure un milione di volte in un secondo: in tal caso si dice che la corrente che attraversa il circuito è alternata, e che ha una frequenza di 50 periodi o di un milione di periodi, secondo i casi.

Della corrente alternata si fa un grandissimo uso, perchè si presta molto bene per gli usi industriali, ed in questo caso ha in genere la frequenza che si aggira

intorno a 50 periodi; la radiotecnica, in particolare, si fonda sull'impiego delle correnti alternate.

Si dicono correnti industriali quelle di frequenza sotto i 100 periodi; le frequenze acustiche che vanno da 37 a 10.000 periodi sono chiamate basse frequenze; le alte frequenze sono tutte quelle che superano i 30.000 periodi.

Si dice periodo della corrente il tempo che passa fra il passaggio della corrente in un senso ed il successivo passaggio nello stesso senso, intramezzato da un passaggio in senso inverso. Una c. a. percorre un circuito; il flusso va da sinistra a destra, poi si inverte e va da destra a sinistra, poi si inverte ancora e va da sinistra

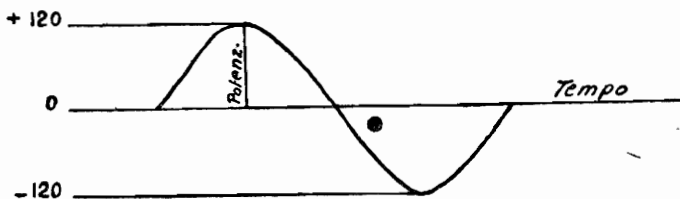


Fig. 31

a destra come prima. Ciò costituisce un periodo. L'inversione del senso della corrente non avviene bruscamente, ma la corrente diminuisce da un massimo gradualmente fino a zero, ed aumenta poi gradualmente in senso opposto fino a raggiungere un nuovo massimo, e a decrescere poi nuovamente. I valori della forza elettromotrice si possono rappresentare graficamente, tracciando una linea orizzontale, la quale rappresenta il tempo in cui avvengono le variazioni, e riportando sulle ordinate le variazioni della forza elettromotrice; otteniamo così una curva (fig. 31) la quale indica tutte le variazioni di potenziale, in un determinato tempo. Da zero il potenziale aumenta fino a raggiungere un massimo positivo, decresce poi di nuovo fino a zero e aumenta ancora in senso negativo fino a raggiungere un massimo negativo per poi decrescere nuovamente, e così di seguito. La curva che indica la variazione di forza elettromotrice è simile alla curva che in geometria è chia-

mata sinusoidale. È necessario qui aprire una parentesi per spiegare che cosa sia una sinusoidale geometrica, come si costruisca e come si calcoli.

Consideriamo un cerchio quale è rappresentato dalla fig. 32. La linea che congiunge il centro del cerchio con un punto della periferia (AB) sarà il raggio del cerchio. Fra il doppio raggio del cerchio e la periferia vi è un determinato rapporto che è espresso con una cifra costante. Essa è 3,141597. Con altre parole la periferia del circolo è uguale al doppio raggio moltiplicato per 3,141597. Questa cifra è designata brevemente con la lettera π .

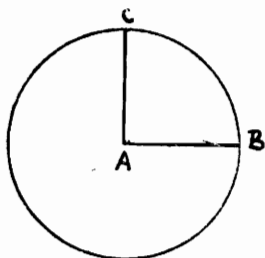


Fig. 32

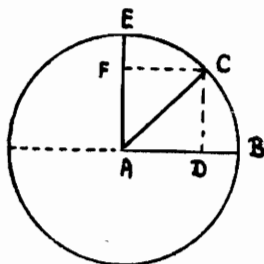


Fig. 33

Se ci figuriamo accanto al raggio AB un secondo raggio e lo facciamo rotare in modo che il centro A rimanga fisso e che l'altra estremità del raggio vada a toccare un punto della periferia in modo da percorrere un angolo retto da B a C , osserviamo che l'angolo formato dal raggio rotante col raggio AB varia da zero fino a 90° . Prendiamo ad esempio una posizione intermedia come è rappresentata nella fig. 33 e tracciamo una linea verticale tra C e il raggio AB . Questa linea AD ha una determinata lunghezza che corrisponde all'angolo fra i due raggi. Quando essi formano un angolo più piccolo, diminuisce pure la lunghezza di questa verticale, ed aumenta gradualmente fino a tanto che l'angolo raggiunge i 90° ; a questo punto la linea verticale ha raggiunto il massimo ed è uguale al raggio del cerchio. Se facciamo rotare ancora il raggio, oltre alla linea AE , la

verticale diminuisce nuovamente fino a raggiungere nuovamente il valore di zero quando l'angolo formato tra il raggio rotante ed un raggio tracciato in continuazione di AB sarà uguale a zero. Questa linea CB , che sta in rapporto con la posizione del raggio rotante e che varia con l'angolo formato da esso e dal raggio orizzontale, è chiamata il seno (\sin). Se tracciamo ancora un raggio verticale in modo che formi un angolo retto con AB , e tiriamo una linea retta tra il punto C ed il raggio in modo che essa sia perpendicolare, noi possiamo constatare che questa linea CF diminuisce col rotare del raggio AC , la lunghezza di CF diminuisce come aumenta la linea CD (fig. 33). Quando il seno ha raggiunto il massimo, la linea CF sarà uguale a zero, a 45° il seno sarà uguale a CF e quando il seno è uguale a zero, la linea CF avrà raggiunto il massimo, cioè il raggio del cerchio; la linea CF è chiamata in geometria il coseno (\cos).

Tanto la lunghezza del seno che quella del coseno variano con la grandezza del cerchio.

Però, se noi ammettiamo il raggio uguale a 1, il valore tanto del seno che del coseno saranno costanti per ogni posizione del raggio mobile, o, più precisamente, per ogni angolo.

Il valore del seno è considerato positivo quando si misura nella metà del cerchio superiore al diametro orizzontale, e negativo quando è misurato di sotto. Il coseno invece è positivo quando è misurato a destra del diametro verticale del cerchio ed è negativo quando è misurato a sinistra.

Se consideriamo ora la variazione del valore del seno, vediamo che l'aumento del valore è rapido per i primi gradi e diviene sempre più lento quanto più esso si avvicina all'angolo retto. Questa variazione è molto simile a quella del potenziale elettrico alternato. Anche questo aumenta da principio in misura maggiore e la variazione diviene più lenta quanto più ci si avvicina al massimo del potenziale.

Se vogliamo però rappresentare graficamente la variazione di potenziale in uno spazio di tempo, che sarà una piccola frazione di secondo, riporteremo accanto al cerchio, su una linea retta tracciata in continuazione del

raggio, i gradi da 0 a 360 (fig. 34). Sui punti corrispondenti ad ogni angolo noi riporteremo la lunghezza del seno sulle ordinate. Arrivato a 180° avremo il seno uguale a zero. Più oltre il seno si muoverà nella parte inferiore del cerchio sotto il raggio orizzontale, e noi riporteremo perciò le linee rette delle misure del seno al di sotto della linea orizzontale. In seguito collegheremo le estremità delle linee verticali dalla parte opposta alla linea orizzontale con una curva. Questa curva è chiamata geometricamente una sinusoide. Essa ci rappresenta graficamente molto bene la variazione di una corrente alternata. Da un potenziale O noi avremo dopo una frazione x di secondo, un potenziale positivo che supponiamo sia di 60 volta, il quale corrisponderà ad un seno

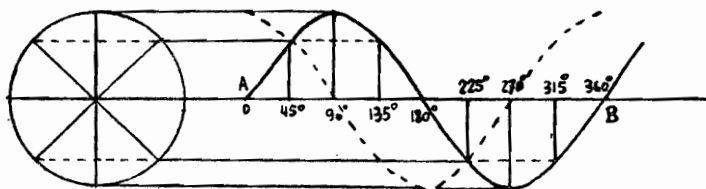


Fig. 34

di 45° . Ad un seno di 90° corrisponderà un potenziale di 120 volta. Procedendo avanti, avremo, per un seno di 135° un potenziale positivo di 60 volta, per 180° , 0 volta, per 225° , 60 volta, e così di seguito, finchè avremo per 360° di nuovo un potenziale di 0.

La linea AB , che rappresenta il tempo impiegato per le variazioni di corrente, si chiama il periodo o ciclo della sinusoide. Il numero di cicli che una sinusoide compie in un secondo è chiamato la frequenza.

Come abbiamo riportato sulle ordinate le misure del seno noi possiamo riportare quelle del coseno. In questo caso otterremo una curva simile alla prima, ma spostata di 90° . Lo spostamento tra le curve è uguale per tutto il ciclo. Questo spostamento si chiama *differenza di fase*.

Nei riguardi del tempo, diremo che la curva del coseno è in ritardo, rispetto all'altra, di $1/4$ di periodo. Altrimenti si può anche dire che essa è in ritardo di 90° .

Quando sia l'una che l'altra curva raggiunge il massimo, il valore del seno, e rispettivamente del coseno, è uguale al raggio del cerchio. Questo valore massimo si chiama *ampiezza*.

Quando diciamo di una corrente elettrica alternata che essa ha una variazione sinusoidale, significa che le variazioni di potenziale corrispondono alla variazione del valore del seno. Non è detto che una corrente alternata debba necessariamente avere una variazione sinusoidale; è possibile anche produrre correnti che abbiano una variazione diversa. Questo caso si verifica tuttavia molto raramente in pratica. Tanto le correnti industriali che quelle ad alta frequenza hanno una variazione di potenziale che corrisponde alla sinusoide. Come abbiamo visto, la variazione sinusoidale corrisponde alla variazione di una corrente in un circuito formato da un avvolgimento che fosse fatto rotare in un campo magnetico.

Potremo quindi applicare tutti i valori geometrici alle correnti alternate esprimenti con l'angolo la fase della corrente.

Siccome ad ogni angolo corrisponde un determinato arco del cerchio, potremo sostituire nell'espressione l'arco all'angolo. Supponendo come abbiamo fatto più sopra che il raggio del cerchio sia uguale ad 1, potremo esprimere l'arco con la lettera π . Sappiamo che la circonferenza del cerchio è uguale al raggio moltiplicato per 2 volte la cifra π ($c = 2 r \pi$), avremo quindi se r è uguale a 1, per la circonferenza il valore di 2π . Per un arco di 180° (metà della circonferenza) avremo il valore 2π e per un arco di 90° (1/4 della circonferenza) avremo il valore $\frac{\pi}{2}$ e così via.

Se ritorniamo al cerchio e supponiamo che un punto ruoti sulla sua circonferenza con una determinata velocità, noteremo che esso sarà ad ogni istante a una distanza differente dal raggio orizzontale ad ogni punto della circonferenza, cioè ad ogni arco corrisponde un determinato seno ed un determinato coseno.

Del pari il potenziale varia continuamente di valore, man mano che ci si riporta sull'asse dei tempi.

Come abbiamo veduto, le variazioni del potenziale

che seguono la curva sinusoidale sono rapidissime. Se facciamo una media delle varie tensioni per cui passa una corrente alternata, essa risulterà uguale a zero. Questo fatto è importantissimo perchè dimostra la prima difficoltà che si presenta per la misurazione di una tale corrente. Infatti, data la celerità delle oscillazioni, nessuno degli strumenti di misura che sono fatti per la corrente continua potrà, per la sua inerzia, seguire il movimento della corrente alternata ed esso rimarrà immobile sullo zero. Per poter misurare una corrente alternata dobbiamo perciò ricorrere ad un artificio. Abbiamo veduto che la corrente elettrica produce un effetto termico; questo effetto è *proporzionale* al quadrato del suo valore. Nella corrente alternata, l'effetto termico è proporzionale alla media dei quadrati di tutti i valori della corrente durante un periodo. Esso equivale quindi alla metà del quadrato della massima corrente. Per produrre lo stesso effetto termico in una corrente continua, sarebbe necessario che il quadrato del suo valore fosse uguale alla media dei quadrati della corrente alternata. Designeremo quindi come « corrente efficace » quell'intensità della corrente alternata che sia atta a produrre un effetto termico eguale a quello prodotto da una corrente continua nello stesso circuito. Egualmente per misurare, in pratica, l'intensità di una corrente alternata, avremo bisogno di uno strumento che ci indichi con tutta precisione la variazione di temperatura di un determinato conduttore inserito nel circuito. Di questi strumenti avremo occasione di parlare in seguito.

9. - Induzione elettromagnetica - Autoinduzione - Induzione mutua.

Abbiamo visto che ogni volta che la produzione di un campo magnetico varia relativamente ad un avvolgimento chiuso, questo viene percorso da una corrente elettrica: una corrente alternata. Attraversando un solenoide, dovrà, per la sua stessa natura, produrre un campo magnetico alternato in sincronismo con i massimi, i minimi ed il senso della corrente alternata. Il campo varierà quindi di senso e di intensità periodicamente un

certo numero di volte ad ogni secondo, quante volte varia il senso e l'intensità della corrente nello stesso tempo. Il campo magnetico prodotto da una corrente alternata si trova nelle migliori condizioni per produrre delle correnti in qualunque conduttore chiuso che in esso si trova immerso. E questo conduttore può essere tanto un avvolgimento qualsiasi messo in vicinanza al solenoide quanto il solenoide stesso che produce il campo magnetico. Consideriamo il secondo caso: la corrente nel solenoide varia periodicamente ed il campo varia in perfetto sincronismo alla corrente. Per la legge di Lenz sappiamo che ogni variazione di un campo magnetico fa circolare in un conduttore chiuso che vi è immerso una corrente, la quale a sua volta genera un campo magnetico che si oppone alla variazione, e la corrente sarà tanto maggiore quanto maggiore e più brusca è la variazione. Quando si avrà nel campo la maggiore e più brusca variazione? Evidentemente nel momento in cui il campo passa per zero e si inverte. Si ha come conseguenza che nel solenoide alimentato con corrente alternata si produce una corrente secondaria che si oppone alla corrente primaria ed è spostata di 90° in ritardo rispetto a questa, cioè in cui i massimi ed i minimi avvengono quando la corrente primaria passa per zero. Altrettanto succede in un avvolgimento separato. La corrente indotta ha un valore che dipende dal numero di spire dell'avvolgimento indotto, dalla frequenza della corrente, che è come dire dalla velocità della variazione, dall'intensità del campo alternato prodotto, la quale dipende dalla resistenza del circuito magnetico, e dalla resistenza dell'avvolgimento stesso. Concludiamo quindi che se in un avvolgimento facciamo circolare una corrente alternata, nell'avvolgimento stesso si produce una forza controelettromotrice che si oppone alla corrente primaria come se fosse una resistenza aggiunta alla resistenza ohmica, ma senza, come questa, assorbire energia, in modo che la corrente che circola nell'avvolgimento non obbedisce più alla legge di Ohm. La resistenza apparente che oppone l'avvolgimento per il suo effetto magnetico dicesi propriamente « impedenza » ed aumenta con la frequenza della corrente per un avvolgimento di dimensioni fissate; la resistenza totale

opposta dall'avvolgimento, che è uguale alla radice quadrata della somma dei quadrati della impedenza (Z) e della resistenza (R), dicesi « reattanza » (X).

$$Z^2 = X^2 + R^2; \quad Z = \sqrt{X^2 + R^2} \quad (20)$$

Conchiuderemo inoltre che basta mettere accanto due avvolgimenti e fare circolare in uno una corrente alternata perchè anche nell'altro, per mutua induzione, circoli pure una corrente alternata, e la corrente indotta sarà tanto maggiore quanto più vicini saranno i due avvolgimenti. Se i due avvolgimenti sono collegati in serie come abbiamo visto fare per le resistenze, e sono alimentati quindi ambedue dalla stessa corrente, la loro impedenza totale sarà la somma delle loro impedenze se i flussi magnetici da essi generati si sommano, mentre la loro impedenza totale sarà minore se i flussi da essi prodotti si oppongono.

Se i due avvolgimenti sono in parallelo, in modo che non si possano influenzare l'uno con l'altro, la loro impedenza totale sarà minore di quella di ciascuno degli avvolgimenti.

10. - Il coefficiente di autoinduzione.

Ogni induttanza ha, a seconda della sua forma, delle dimensioni e del numero di spire, un determinato *coefficiente di autoinduzione* o valore d'induttanza.

La unità di misura del coefficiente di autoinduzione è l'henry. In radiotecnica però si ha sempre da fare con valori relativamente piccoli che si misurano in microhenry (mH.). Un microhenry è la milionesima parte di un henry.

Una bobina non è mai un'induttanza pura; è inevitabile che il filo dal quale sono formate le spire abbia una certa resistenza, che varia a seconda della natura e dello spessore del filo. Inoltre le spire, essendo vicine una all'altra, funzionano come le armature di un condensatore.

Questa capacità, sia pure piccola, può avere una notevole importanza nei circuiti radiotelegrafici.

Ogni induttanza può essere quindi considerata come

induttanza pura con una quantità di piccole capacità fra le spire. Questa capacità si chiama brevemente la capacità distribuita della bobina. La capacità distribuita della bobina fa aumentare la sua resistenza.

Come vedremo nello studio dei circuiti oscillanti, nella radiotecnica si ha interesse che le induttanze abbiano una capacità ripartita, ed una resistenza più piccola che sia possibile. Essa deve avvicinarsi al massimo all'induttanza teorica o induttanza pura.

Per determinare la capacità, si sono studiate diverse forme di induttanza, di cui esamineremo le caratteristiche.

Rileveremo subito che quando si tratti di lunghezze d'onda fino a 600 metri, le induttanze migliori sono quelle a solenoide.

La induttanza a solenoide si compone di un avvolgimento circolare di uno strato di filo di rame isolato (figura 35). Le spire possono essere vicine una all'altra, cioè separate soltanto dall'isolante che copre il filo, o possono essere anche spaziate in modo che fra le due spire oltre all'isolante

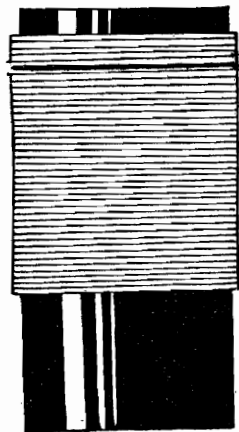


Fig. 35

si trovi anche uno strato d'aria. Ciò diminuisce la capacità distributiva.

Per calcolare il coefficiente di autoinduzione di una bobina, la formula di Nagaoka dà un risultato più preciso. Essa è:

$$L = \frac{\pi^2 D^2 n^2 l K}{1000} \quad (21)$$

in cui D significa il diametro dell'avvolgimento;

l la lunghezza dell'avvolgimento;

n il numero di spire per centimetro;

L il valore dell'induttanza in mH;

K è un coefficiente che dipende dal rapporto fra la lunghezza e il diametro dell'avvolgimento. Esso si può desumere dall'apposita tabella.

TABELLA I

d l	K	d l	K	d l	K
0.00	0.9000	0.54	0.8060	1.40	0.6115
0.01	0.9958	0.55	0.8031	1.45	0.6031
0.02	0.9916	0.56	0.8001	1.50	0.5950
0.03	0.9874	0.57	0.7972	1.55	0.5872
0.04	0.9832	0.58	0.7943	1.60	0.5795
0.05	0.9791	0.59	0.7914	1.65	0.5721
0.06	0.9750	0.60	0.7885	1.70	0.5649
0.07	0.9709	0.61	0.7857	1.75	0.5579
0.08	0.9668	0.62	0.7828	1.80	0.5511
0.09	0.9628	0.63	0.7800	1.85	0.5444
0.10	0.9588	0.64	0.7772	1.90	0.5379
0.11	0.9548	0.65	0.7745	1.95	0.5316
0.12	0.9509	0.66	0.7717	2.00	0.5255
0.13	0.9469	0.67	0.7690	2.1	0.5137
0.14	0.9430	0.68	0.7663	2.2	0.5025
0.15	0.9391	0.69	0.7636	2.3	0.4918
0.16	0.9353	0.70	0.7609	2.4	0.4816
0.17	0.9314	0.71	0.7582	2.5	0.4719
0.18	0.9276	0.72	0.7556	2.6	0.4626
0.19	0.9239	0.73	0.7530	2.7	0.4537
0.20	0.9201	0.74	0.7504	2.8	0.4452
0.21	0.9164	0.75	0.7478	2.9	0.4370
0.22	0.9126	0.76	0.7452	3.0	0.4292
0.23	0.9090	0.77	0.7426	3.1	0.4217
0.24	0.9053	0.78	0.7401	3.2	0.4145
0.25	0.9016	0.79	0.7376	3.3	0.4075
0.26	0.8980	0.80	0.7351	3.4	0.4008
0.27	0.8944	0.81	0.7326	3.5	0.3944
0.28	0.8909	0.82	0.7301	3.6	0.3882
0.29	0.8873	0.83	0.7277	3.7	0.3822
0.30	0.8838	0.84	0.7252	3.8	0.3764
0.31	0.8803	0.85	0.7228	3.9	0.3708
0.32	0.8768	0.86	0.7205	4.0	0.3654
0.33	0.8734	0.87	0.7180	4.1	0.3602
0.34	0.8699	0.88	0.7157	4.2	0.3551
0.35	0.8665	0.89	0.7133	4.3	0.3502
0.36	0.8632	0.90	0.7110		

d l	K	d l	K	d l	K
0.37	0.8598	0.91	0.7086	4.4	0.3455
0.38	0.8565	0.92	0.7063	4.5	0.3409
0.39	0.8531	0.93	0.7040	4.6	0.3364
0.40	0.8499	0.94	0.7018	4.7	0.3321
0.41	0.8466	0.95	0.6995	4.8	0.3279
0.42	0.8433	0.96	0.6972	4.9	0.3238
0.43	0.8401	0.97	0.6950	5.0	0.3198
0.44	0.8369	0.98	0.6928	5.5	0.3015
0.45	0.8337	0.99	0.6906	6.0	0.2854
0.46	0.8306	1.00	0.6884	6.5	0.2711
0.47	0.8274	1.05	0.6777	7.0	0.2584
0.48	0.8243	1.10	0.6673	7.5	0.2469
0.49	0.8212	1.15	0.6573	8.0	0.2366
0.50	0.8181	1.20	0.6475	8.5	0.2272
0.51	0.8151	1.25	0.6381	9.0	0.2185
0.52	0.8120	1.30	0.6290	9.5	0.2106
0.53	0.8090	1.35	0.6201	10.0	0.2033

Una formula più semplice per calcolare le induttanze è la seguente, in cui non è necessario inserire il coefficiente di Nagaoka.

$$L = \frac{n^2 D^2}{43,8 D + 112,5 l} \quad (22)$$

D è il diametro dell'avvolgimento;
 n il numero totale delle spire;
 l la lunghezza dell'avvolgimento.

Questa formula è meno precisa di quella di Nagaoka, ma è più che sufficiente per gli scopi pratici del dilettante.

Da questa formula si vede come il numero di spire totale, e il numero di spire contenute in un centimetro assieme al diametro, determinano il valore dell'induttanza. Se facciamo un avvolgimento di tre centimetri con un filo sottile avremo per ogni centimetro un numero di spire maggiore e l'induttanza avrà un valore maggiore di un'altra fatta con lo stesso numero di spire, ma con un filo più grosso, sebbene la lunghezza dell'avvolgimento sia maggiore nel secondo caso.

Così pure la natura e lo spessore dell'isolamento del filo hanno una influenza sul valore dell'induttanza. Un filo con due strati di cotone ha uno spessore maggiore dello stesso filo avvolto con due strati seta, ed un filo smaltato ha uno spessore ancora minore del filo isolato a seta.

Per calcolare una bobina è necessario perciò conoscere in primo luogo il tipo del filo che si vuole impiegare. Quando si voglia usare un filo diverso da quello che si è destinato per un'induttanza, conviene rifare il calcolo.

Per facilitare il calcolo riproduciamo una tabella che indica il numero di spire per centimetro secondo lo spessore del filo e secondo l'isolamento:

TABELLA II

Diametro del filo	Isol. a smalto	Isol. 1 s.c.	Isol. 25 c.	Isol. 1 s.s.	Isol. 2 s.s.
1	9.05	8.26	7.48	9.05	8.66
0.9	10.24	9.45	8.26	10.24	9.45
0.8	11.42	10.24	9.05	11.42	10.63
0.7	12.82	11.81	10.24	12.83	12.20
0.65	14.56	12.83	11.42	14.17	12.83
0.6	15.35	13.77	12.20	14.96	13.77
0.55	16.53	14.96	12.83	16.14	14.96
0.5	18.50	16.14	13.77	17.75	16.53
0.45	20.07	17.36	14.56	19.30	17.75
0.4	22.44	18.90	16.14	21.25	19.52
0.35	25.98	22.05	17.75	24.41	22.04
0.3	30.71	24.41	19.30	28.34	24.80
0.25	36.22	27.95	21.65	32.7	28.34
0.2	44.48	32.68	24.01	39.37	33.46

Chiariremo meglio questa parte con un esempio.

Supponiamo di avere una induttanza a solenoide di 80 spire, con tubo di diametro 7 e con una lunghezza di 3 cm. di avvolgimento. Quale sarà il suo coefficiente di autoinduzione?

La formula di Nagaoka (22) ci dà la soluzione:

$$L = \frac{\pi^2 D^2 n^2 l K}{1000}$$

nella quale sostituiremo i dati conosciuti

$$L = 3,142^2 \times 7^2 \times 26^2 \times 3 \times 0,462$$

(il valore di K è desunto dalla tabella).

Eseguito l'operazione otterremo

$$L = 478 \text{ microhenry}$$

Se prendiamo invece la formula più semplice

$$L = \frac{n^2 D^2}{43,8 D + 112,5 l} \quad (20)$$

avremo:

$$L = \frac{43,8 \times 7 + 112,5 \times 32}{80^2 \times 7^2 l} = 486,9$$

Partendo dalla premessa che la formula di Nagaoka è la più precisa, abbiamo con la seconda una differenza di 8 mH su 480, ciò che equivale ad un errore in meno del 2%.

Se esaminiamo la formula di Nagaoka troviamo il numero N spire per cm.: è la lunghezza dell'avvolgimento.

Se moltiplichiamo la lunghezza dell'avvolgimento per il numero di spire per cm. avremo il numero totale di spire.

$$N = n l$$

Sostituendo N a $n l$ nella formula (19) avremo

$$L = \frac{\pi^2 d^2 N^2 K}{l \times 1000} \quad (21)$$

In questo non abbiamo più il numero di spire per cm., ma il numero totale delle spire. Noi sappiamo però che la lunghezza di una spira è uguale alla circonferenza dell'avvolgimento che è uguale a due volte il raggio moltiplicato per π . Ma 2 volte il raggio essendo uguale a d avremo la lunghezza di una spira uguale a $d \pi$.

Moltiplicando $d\pi$ per il numero di spire avremo la lunghezza del filo che serve per l'avvolgimento.

$$X = dN$$

Ora questo valore può essere sostituito nella formula e si avrà così

$$L = \frac{X^2 K}{1 \times 1000} \quad (23)$$

Essa ci dà la possibilità di calcolare il valore di un avvolgimento tenendo conto semplicemente della lunghezza del filo e della lunghezza dell'avvolgimento. Matematicamente il risultato sarà identico a quello che si ottiene colla formula (21) di Nagaoka.

Abbiamo fin qui considerato le induttanze a solenoide ad uno strato perchè esse costituiscono la forma più semplice. D'altronde le loro qualità elettriche sono tali da renderle preferibili a tutti gli altri tipi per le lunghezze d'onda di 600 metri.

Tanto la resistenza che la capacità ripartita sono minori che negli altri tipi.

Nel costruire le induttanze l'obbiettivo principale deve essere la riduzione al minimo delle perdite.

Qui conviene tener presente che la resistenza che abbiamo imparato a conoscere nell'elettrotecnica non è la stessa di quella che la bobina presenta alle correnti di frequenza radiotelegrafica. Questa resistenza chiamata resistenza ad a. f. o resistenza efficace è diversa dalla resistenza ohmica, cioè dalla resistenza che l'induttanza oppone alla corrente continua. Questa dipende soltanto dalla resistenza specifica del conduttore impiegato e dalla sua lunghezza e dallo spessore.

La resistenza ad alta frequenza varia invece anche con la frequenza. Il valore della resistenza efficace ad alta frequenza si calcola dividendo la potenza che è dissipata nel conduttore per il quadrato della corrente efficace.

Oltre che dalla frequenza la resistenza efficace di una induttanza può essere influenzata dalla presenza di corpi vicini, specialmente di conduttori. L'induttanza genera in questi conduttori delle correnti indotte, che noi chiameremo parassite, perchè non sono prodotte con

intenzione, e l'energia che è necessaria per produrre queste correnti viene sottratta al circuito dell'induttanza.

Questo fenomeno è tanto più accentuato, quanto più alta è la frequenza e quindi quanto minore la lunghezza d'onda. Abbiamo detto che la resistenza efficace viene influenzata dalla vicinanza di corpi in genere e di conduttori in ispecie. Infatti non è necessario che questi corpi siano ottimi o buoni conduttori. Anche un cattivo conduttore può influire sulla resistenza efficace, specialmente quando la frequenza del circuito è molto elevata.

Anche le vernici e i colori che servono per coprire le superfici dei supporti possono avere un'influenza notevole. Così pure il materiale isolante che serve per supporto dell'induttanza, il quale, come tutti gli isolanti, può essere un conduttore più o meno cattivo, ma non è mai un isolante perfetto.

Un altro fenomeno di cui conviene tener conto nella costruzione delle induttanze, è l'effetto della pelle. Quando un conduttore è percorso da una corrente continua, se si chiude il circuito la corrente raggiunge tosto il suo valore di regime e si distribuisce con perfetta uniformità nella sezione del conduttore.

Se invece applichiamo ad un circuito una corrente alternata, le variazioni sono molto rapide e durante il tempo che passa fra il momento in cui la f. e. m. è applicata e quello in cui essa raggiunge il massimo valore, la distribuzione della corrente nella sezione trasversale del conduttore non sarà uniforme; la f. e. m. indotta tenderà a produrre degli effetti che non saranno eguali in tutta la sezione.

Per spiegarci meglio questo fenomeno esaminiamo cosa avviene in un conduttore che sia percorso da una corrente alternata ad alta frequenza. Sia la superficie tracciata della fig. 36 la sezione di un conduttore. La corrente ad alta frequenza si produrrà lungo la linea centrale ed avrà in un determinato momento la direzione della freccia. Il flusso prodotto da questa corrente sarà segnato da cerchi i quali avranno il loro centro nel centro dell'asse stesso. Con l'aumentare della corrente aumenteranno le linee di forza e questa variazione delle linee di forza aumenterà la f. e. m. indotta, che prenderà la direzione delle frecce lungo le linee tratteggiate.

Si vede che la f. e. m. indotta ha nel centro del conduttore una direzione opposta a quella della corrente principale, mentre dalla parte della superficie essa ha la stessa direzione. Conseguentemente quindi che la corrente raggiungerà l'intensità massima prima alla periferia e poi al centro.

Se la f. e. m. alternativa applicata al circuito è di frequenza radiotelegrafica, le variazioni si succederanno con estrema rapidità. La corrente all'interno del conduttore sarà quindi sempre in ritardo di fase sulla corrente alla superficie del conduttore e l'angolo corrispondente a tale ritardo sarà tanto maggiore quanto minore la distanza tra il centro e la periferia.

La corrente nel centro del conduttore non avrà raggiunto il suo valore massimo quando già interverrà la

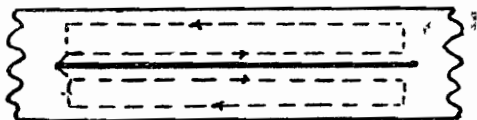


Fig. 36

nuova variazione di corrente; l'ampiezza delle oscillazioni sarà quindi maggiore alla superficie ed andrà man mano decrescendo verso il centro del conduttore.

Questo fenomeno è chiamato *effetto della pelle*. Esso dipende dalla sezione del conduttore e dalla frequenza. Un conduttore di spessore maggiore risentirà un effetto della pelle meno accentuato, perchè la superficie esterna sarà maggiore. Così quando la frequenza delle oscillazioni è minore, l'intervallo di tempo fra le singole variazioni sarà maggiore, e la corrente raggiungerà un valore maggiore anche al centro.

Una terza fonte di perdite nelle induttanze è la capacità ripartita fra le spire.

Un'induttanza può essere considerata come composta di una serie di induttanze ad una sola spira i cui valori sono sommati assieme.

Se consideriamo il tipo a solenoide, vediamo che due spire vicine presentano due superfici del conduttore una vicina all'altra, e separate dallo strato isolante del filo.

Queste due superfici metalliche costituiscono le due armature di un condensatore di piccola capacità che si può considerare collegato in parallelo con ogni spira dell'avvolgimento.

Schematicamente possiamo rappresentare queste piccola capacità come nella fig. 37. L'effetto di esse sarà anzitutto di aumentare la capacità del circuito che è di solito collegata in parallelo con l'induttanza. Ma questa serie di piccole capacità che costituisce la capacità distribuita presenterà una via per le correnti ad alta frequenza le quali oltre che per l'induttanza passeranno anche attraverso la capacità distribuita. L'effetto sarà equivalente ad un aumento della resistenza.

Questi condensatori costituiti dalle singole spire, hanno un dielettrico che non è l'aria ma cotone o seta a seconda del tipo di filo impiegato. Noi sappiamo però che il miglior dielettrico è l'aria e che tutti gli altri producono delle perdite.

Possiamo ora riassumere tutte le perdite che si verificano di solito nelle induttanze:

- 1) resistenza pura;
- 2) resistenza ad alta frequenza;
- 3) effetto della pelle;
- 4) capacità distribuita;
- 5) perdite attraverso il dielettrico.

Tutte queste si possono ridurre al minimo, ma non eliminare completamente; la diminuzione delle perdite ha un'importanza maggiore se si tratti di ricevere delle frequenze più elevate, perchè abbiamo veduto che le perdite aumentano con la frequenza.

Per le frequenze delle radiodiffusioni, conviene anzitutto ridurre al minimo la resistenza ad alta frequenza e l'effetto della pelle.

La capacità distribuita è già molto piccola per il tipo a solenoide, e può essere ancora ridotta ulteriormente, tenendo le spire leggermente spaziate in modo che fra due spire venga a trovarsi un piccolo strato d'aria. Con ciò oltre a diminuire la capacità distribuita si diminuisce anche la perdita attraverso il dielettrico.

Per ridurre invece l'effetto della pelle e la resistenza ad alta frequenza, si deve evitare di usare del filo trop-

po sottile. Lo spessore non deve essere inferiore a $2/10$ per le lunghezze d'onda da 300 a 600 metri.

Per quanto riguarda le dimensioni dell'induttanza, vi ha un certo rapporto fra il diametro e la lunghezza dell'avvolgimento, che dà i migliori risultati.

Esso è riassunto nella seguente tabella per le dimensioni più usuali; siccome la lunghezza dell'avvolgimento dipende dallo spessore del filo e dalla natura dell'isolamento, è necessario adottare il tipo e lo spessore di filo indicato.

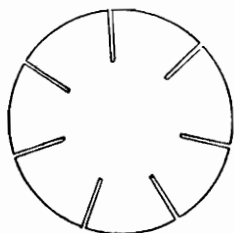


Fig. 38

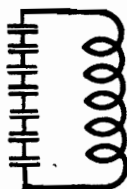


Fig. 37

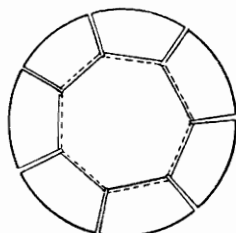


Fig. 39

TABELLA

DEI VALORI PER INDUTTANZE A SOLENOIDE AVVOLTE CON FILO DI RAME ISOLATO CON DOPPIO STRATO DI COTONE

Diametro dell'induttanza	Lunghezza dell'avvolgimento	FILO		
		6/10	5/10	4/10
6	4	124	159	216
7,5	5	242	300	421
9	6	418	535	728

I valori si intendono in microhenry e il diametro e la lunghezza sono indicati in centimetri. È facile del resto calcolare gli altri valori per spessori di filo diversi tenendo sempre costanti la lunghezza e il diametro dell'avvolgimento.

Un altro tipo di induttanza che si presta per le lunghezze d'onda delle radiodiffusioni fino ai 600 metri è

quello a fondo di paniero. Le qualità elettriche sono buone: la capacità distribuita è piccola ed anche la resistenza ad alta frequenza non è elevata. Esse sono di facile costruzione, ma presentano di fronte a quelle a solenoide il difetto di essere un po' più ingombranti e di avere un campo magnetico più esteso. Quale importanza possa avere questa qualità nei circuiti ad alta frequenza avremo ancora occasione di vedere.

Le bobine a fondo di paniero si costruiscono su un supporto di cartone presspahn o di celluloido tagliato a forma di cerchio sul quale si praticano degli intagli radiali di numero dispari e della larghezza corrispondente al doppio di quella del filo da impiegarsi compreso l'isolamento (figg. 38-39). L'avvolgimento si fa passando il filo attraverso uno degli intagli in modo da farlo entrare fino alla parte più vicina al centro e si passa poi a traverso il prossimo intaglio in modo da farlo uscire dall'altro lato del supporto e così di seguito: la figura illustra meglio il modo di fare quest'avvolgimento.

Se si praticano degli intagli in numero dispari, le spire più vicine vengono a trovarsi sempre dalla parte opposta del supporto. Esse sono separate dallo spessore del cartone. Questa distanza fra le spire riduce la capacità ripartita dell'avvolgimento. Le induttanze a fondo di paniero si possono anche fare senza supporto, e questo tipo è migliore dell'altro per le qualità elettriche ed è di minore ingombro.

Queste bobine possono essere costruite senza difficoltà usando un supporto di legno, che si compone di un cilindro del diametro di circa 4 cm. Il cilindro è munito alla periferia di un numero di fori dispari nei quali vanno introdotti dei piuoli di legno (fig. 40).

L'avvolgimento va fatto introducendo il filo fra due piuoli, facendolo poi passare lungo la periferia e riportandolo dall'altra parte fra il secondo e il terzo piuolo. La fig. 41 illustra meglio il modo di fare questo genere di avvolgimento.

Il filo deve essere abbastanza rigido per poter mantenere la posizione dopo levato il supporto. Dopo finito l'avvolgimento si levano i piuoli uno per uno e la bobina va poi fissata eventualmente su uno zoccolo e le spire

sono tenute in posizione a mezzo di una striscia di celuloide.

Le bobine a fondo di panierino si calcolano con le stesse formule che servono per il calcolo delle bobine a solenoide. La lunghezza dell'avvolgimento è data dalla distanza in cm. fra la spira interna e quella esterna. Il diametro è quello medio. Si calcola sommando assieme quello interno e quello esterno e dividendo la somma per due.

Ad esempio: una bobina a fondo di panierino del diametro interno di 4 cm. e del diametro esterno di 9 cm.

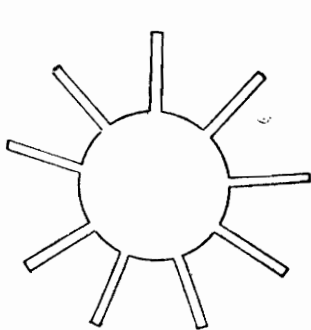


Fig. 40 - Supporto per avvolgere una induttanza a fondo di panierino.



Fig. 41



Fig. 42 - Supporto per induttanze a più strati.

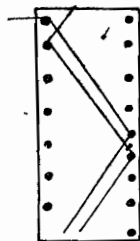


Fig. 43 - Supporto per induttanze a nido d'ape.

avrà un valore pressochè eguale ad una a solenoide il cui avvolgimento abbia una lunghezza pari alla differenza fra i due raggi: $4,5 - 2 = 2,5$. Il diametro sarà costituito dalla media, cioè: $9 + 4 = 13$; $13 : 2 = 6,5$. Avremo dunque $l = 2,5$ e $d = 6,5$.

Inserendo questi due valori nella formula per il calcolo delle bobine a solenoide si avrà il coefficiente di autoinduzione della bobina. Le bobine a fondo di panierino si prestano per le lunghezze d'onda minori e si possono usare per valori fino a circa 300 mH. Per valori maggiori sono troppo ingombranti.

Oltre ai tipi di induttanze che abbiamo studiato fin qui esistono numerosi sistemi di fare gli avvolgimenti.

Tutti sono più o meno diretti a ottenere un grande coefficiente di autoinduzione con un minimo di capacità ripartita ed in uno spazio molto ristretto. Non entreremo in particolari esaminando tutti questi tipi, prima di tutto perchè ciò ci condurrebbe troppo oltre, poi perchè tutti hanno di mira valori elevati che oggi nella radiofonia non vengono più in considerazione, data la gamma d'onda limitata che si può coprire facilmente tutta anche con bobine a solenoide.

Dobbiamo soltanto esaminare più da vicino due tipi di induttanze che sono ancora abbastanza in uso e che occorre conoscere un po' meglio: quelle a più strati e quelle a nido d'ape.

Le bobine a più strati non si usano affatto per le gamme d'onda sotto i mille metri; esse sono usate oggi quasi esclusivamente per le onde molto lunghe, come quelle che si usavano nelle supereterodine per la media frequenza.

La costruzione di queste induttanze è molto semplice. Esse sono avvolte su un supporto di ebanite di legno oppure di cartone della forma rappresentata dalla figura 42. Sul cilindro si avvolge prima uno strato di filo, e sopra questo se ne avvolge un altro, e così di seguito fino a raggiungere il valore necessario.

L'avvolgimento risulta compatto ed è naturale che la capacità fra le spire sia molto elevata, ma, trattandosi di onde molto lunghe, ciò ha molto minore importanza. Certo è che le qualità elettriche di queste induttanze non sono propriamente ottime.

Le induttanze a nido d'ape sono di costruzione molto simile a quelle a fondo di panier. Il modo di avvolgere il filo risulta dalla fig. 43. In seguito alla disposizione delle spire questo avvolgimento è superiore per qualità elettriche a quello delle bobine a più strati compatti, perchè la capacità ripartita è molto piccola.

Con questo tipo di bobina si possono raggiungere valori molto elevati in uno spazio relativamente ristretto.

La formula per il calcolo delle bobine a nido d'ape e di quelle a spire compatte è la seguente:

$$L = \frac{0.315 R^2 n^2}{6R + 9l + 10h} \quad (24)$$

in cui n significa il numero totale delle spire, R il raggio medio delle spire calcolato come abbiamo fatto per le bobine a fondo di paniero, l la lunghezza dell'avvolgimento e h lo spessore parallelamente all'asse.

Abbiamo citato questa formula tanto per essere completi; riteniamo però che in pratica si avrà raramente occasione di usarla.

Le bobine a nido d'ape si acquistano di solito pronte e su ogni bobina è indicato il valore rispettivamente alla lunghezza d'onda che si copre con i condensatori di diverse capacità.

La tabella che segue dà i valori di alcune bobine delle dimensioni e del numero di spire più usati:

Numero di spire	Diam. del filo	Valore in microH.	Lungh. d'onda con cond. da 0.0005
15	0,55	0.023	204
22	0,55	0.063	337
30	0,55	0.090	409
45	0,55	0.180	597
60	0,55	0.303	818
90	0,55	0.610	1.070
120	0,40	1.120	1.620
250	0,40	3.500	2.410
500	0,30	17.600	5.500

Sull'impiego delle induttanze nei circuiti avremo ancora occasione di ritornare in seguito. Dagli argomenti svolti finora possiamo concludere già che il tipo preferibile per i valori più comuni atti a coprire la gamma delle radiodiffusioni è quello a solenoide ad uno strato solo. Il filo deve essere scelto in modo da presentare il minimo di perdite e specialmente in modo da avere il minimo di resistenza ad alta frequenza.

Il miglior tipo di bobina si ottiene usando per l'avvolgimento, anzichè un filo solo, una traccia composta di molti fili isolati, chiamata con un termine tedesco « Litzen draht ».

Questa treccia si compone di 40 o 45 fili smaltati racchiusi in una calza di seta e lo spessore non è superiore a quello di un filo di rame isolato quale si usa comune-

mente per gli avvolgimenti. È possibile perciò ottenere un valore del coefficiente di autoinduzione senza che le dimensioni dell'avvolgimento sia superiore a quello normale. L'impiego della traccia riduce al minimo l'effetto della pelle e la resistenza ad alta frequenza.

Accanto alle bobine a solenoide si possono impiegare quelle a fondo di paniere, le quali saranno da preferirsi nei casi in cui si dovranno usare induttanze sugli zoccoli che possano essere cambiate facilmente perchè il circuito copra tutte le lunghezze d'onda. Per le onde lunghe si useranno o le induttanze a solenoide avvolte con filo più sottile (ad esempio 2/10) oppure quelle a nido d'ape.

11. - Il collegamento delle induttanze in serie e in parallelo - Il coefficiente di mutua induzione - Il variometro.

Abbiamo veduto che il coefficiente di autoinduzione di un avvolgimento dipende da diversi fattori, fra cui il numero di spire. Se si aumenta il numero di spire di un avvolgimento cresce il suo valore.

Se prendiamo due induttanze in luogo di una e se colleghiamo la fine dell'avvolgimento di una al principio dell'altra, questi avvolgimenti collegati assieme avranno, evidentemente, un valore diverso da quello delle singole induttanze. Se gli avvolgimenti sono fatti nello stesso senso e se il flusso magnetico è lo stesso, o con altre parole se gli assi delle induttanze sono sulla stessa linea, avremo praticamente un'induttanza sola le cui caratteristiche corrisponderanno alle dimensioni dei due avvolgimenti. Se le spire sono molto vicine il valore si avvicinerà a quello di un'induttanza con numero di spire uguale alla somma dei due avvolgimenti. Ma se gli assi non sono sulla stessa linea, il valore delle due induttanze sarà uguale alla somma dei valori dei due singoli avvolgimenti. È logico d'altronde che se i flussi sono contrari il valore dovrà diminuire e sarà inferiore a quello delle due induttanze sommate. La fig. 44 *a* rappresenta due induttanze collegate in serie in modo che i flussi si assommano; la fig. 44 *b* due induttanze in serie ad angolo

retto in modo da evitare un concatenamento di flussi; la fig. 45 due induttanze collegate in serie coi flussi in opposizione.

Vediamo ora più da vicino come si determina il valore di una serie di due o più induttanze.

Supponiamo di avere un'induttanza di 50 spire che abbia un coefficiente di autoinduzione di 200 mH. Essa può essere considerata come una serie di due induttanze di 25 spire accoppiate molto strettamente. Se prendiamo ora un'induttanza di 25 spire fatta in modo identico a quella di 50 spire con lo stesso diametro e lo stesso filo, avremo un coefficiente di autoinduzione che non sarà eguale alla metà ma sarà di circa 70 mH.



Fig. 44 a

a) Induttanze collegate in serie e accoppiate in modo che i flussi si sommano.

b) Induttanze collegate in serie con gli assi ad angolo retto in modo da evitare un concentramento di flussi.

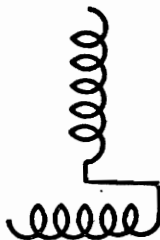


Fig. 44 b

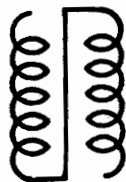


Fig. 45 - Induttanze collegate in serie con i flussi in opposizione.

Questo si può constatare facilmente calcolando il valore di un'induttanza di 50 spire e quello di un'altra di 25 spire, rimanendo tutte le caratteristiche eguali all'infuori del numero di spire.

L'induttanza da 50 spire rappresenta una serie di due induttanze di 25 spire accoppiate al massimo. Il valore è superiore a quello che è dato dalla somma delle singole induttanze. Questa differenza tra il coefficiente di autoinduzione della bobina di 50 spire e la somma dei coefficienti di due da 25 spire, è causato dall'effetto del flusso magnetico di una metà sull'altra.

Nella bobina da 50 spire il flusso magnetico di ciascuna delle due metà influisce sull'altra e produce un aumento del coefficiente di autoinduzione. Se prendiamo invece due induttanze da 25 spire l'una e le colleghiamo in serie piazzandole però in modo che i loro assi siano ad

angolo retto, i flussi magnetici non si influenzeranno a vicenda e il valore delle due induttanze sarà eguale alla somma dei coefficienti di autoinduzione di ogni singolo avvolgimento.

Nell'esempio che abbiamo considerato avremo quindi per ogni singola induttanza da 25 spire un coefficiente di autoinduzione di 70 mH. Ad un accoppiamento strettissimo delle due induttanze il coefficiente sarà di 200 mH. ed avrà raggiunto così il massimo valore che può essere ottenuto coi due avvolgimenti. Se le induttanze sono poste ad angolo retto, il valore discenderà alla somma dei due coefficienti cioè a 140 mH. La posizione reciproca delle due induttanze si chiama accoppiamento e l'effetto dei flussi magnetici è la mutua induzione.

La mutua induzione si misura in mH., cioè si esprime con la stessa unità di misura che serve per determinare il coefficiente di autoinduzione.

Se le induttanze sono poste in modo che i flussi magnetici siano contrari, il coefficiente complessivo sarà ancora minore di quello della somma dei due coefficienti. Se esprimiamo con M il coefficiente di induzione mutua fra i due avvolgimenti avremo, se i flussi sono concatenati in modo da sommarsi:

$$L1 + L2 + M1 + M2$$

$L1$ e $L2$ sono i coefficienti di autoinduzione dei due avvolgimenti e $M1$ e $M2$ sono i coefficienti di mutua induzione.

Se invece i flussi sono contrari avremo:

$$L1 + L2 - M1 - M2$$

Per tutti gli altri accoppiamenti avremo i valori intermedi fra questi due estremi, che segnano i valori di limite ottenibili con le due induttanze.

Su questo principio è basato il variometro che consiste di due induttanze il cui accoppiamento può essere variato in modo da passare dal coefficiente di autoinduzione massimo a quello minimo (fig. 46).

Di solito si prendono due induttanze a solenoide di diametro diverso. Quella che ha il diametro maggiore

rimane fissa. L'induttanza del diametro minore è posta all'interno dell'altra ed è montata in modo da poter girare l'asse dell'avvolgimento di 360°. Si ottengono in questo modo tutti i gradi di accoppiamento. L'avvolgimento fisso è chiamato statore, quello mobile rotore.

Col variometro si ottiene così un'induttanza di valore variabile entro certi limiti.

Considereremo infine ancora il caso di due induttanze collegate in parallelo. In questo caso il valore complessivo del coefficiente di autoinduzione diminuisce e si calcola con la formula:

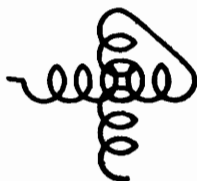


Fig. 46 - Rappresentazione schematica del variometro.

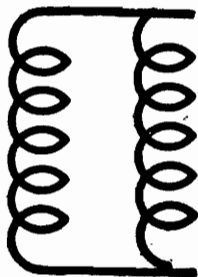


Fig. 47 - Induttanze collegate in parallelo.

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L1} \times \frac{1}{L2}$$

in cui L è il valore complessivo e $L1$ e $L2$ quello dei due avvolgimenti.

Il caso di impiegare in pratica due induttanze collegate in parallelo (fig. 47) si presenta molto raramente, per cui non ci occuperemo più in dettaglio di questo argomento.

12 - Il trasformatore.

Il trasformatore (figg. 48 e 48 a) è un dispositivo molto simile all'induttanza e si compone di due avvolgimenti accoppiati induttivamente. Se disponiamo due induttanze in modo che il loro accoppiamento sia il più stretto possibile, e se si fa passare attraverso uno degli avvolgimenti

una corrente alternata, si avrà nell'altro avvolgimento una corrente della stessa frequenza. Il primo avvolgimento è chiamato il primario e l'altro il secondario. Ogni variazione della corrente alternata nel primario produrrà una variazione analoga nel secondario. Se i due avvolgimenti hanno un nucleo di ferro dolce, le linee di forza magnetica saranno più intense e l'effetto di induzione sarà maggiore.

Le differenze di potenziale che si hanno ai capi del secondario dipenderanno, 1) dalla tensione applicata ai

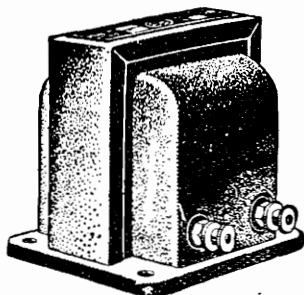


Fig. 48 a - Trasformatore per l'amplificazione di bassa frequenza.

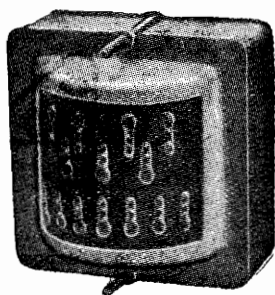


Fig. 48 b - Trasformatore per l'alimentazione di piccoli ricevitori.

capi del primario, 2) dal rapporto fra il numero di spire dei due avvolgimenti. Ad esempio se applichiamo ad un trasformatore una tensione di 120 volti e se il secondario ha il doppio numero di spire del primario si avrà ai capi di quest'ultimo una differenza di potenziale di 240 volti.

La costruzione dei trasformatori varia a seconda delle tensioni, delle correnti, e della frequenza.

I trasformatori destinati a ridurre od elevare la tensione della rete sono muniti di un nucleo di ferro, e mentre il rapporto del numero di spire del primario e del secondario dipendono dalle tensioni, il numero di spire del primario dipende dalla frequenza, e lo spessore del filo è calcolato sulla base della corrente che il trasfor-

matore deve fornire. Così il nucleo di ferro è pure calcolato esattamente per la potenza dissipata.

I trasformatori che sono destinati per le correnti di frequenza più elevata, come quella acustica, sono di dimensioni minori e sono costruiti con criteri diversi.

Infine i trasformatori destinati per i circuiti a. f. sono senza nucleo di ferro (fig. 49) oppure hanno un nucleo speciale, formato da una materia isolante in cui sono sospese delle parti piccolissime di ferro dolce. Il nucleo di ferro comune per le basse frequenze non si presterebbe per le alte frequenze per la sua inerzia. Il ferro dolce non seguirebbe tutte le rapidissime variazioni del flusso magnetico e annullerebbe l'effetto dell'induzione anzichè aumentarlo.

Un trasformatore di qualsiasi tipo può avere un solo avvolgimento in luogo di due. In questo caso si ha una derivazione ad un determinato punto dell'avvolgimento. L'effetto è lo stesso che si ottiene con un normale trasformatore a due avvolgimenti. Se, ad esempio, ai capi estremi di un trasformatore con 400 spire si avesse una tensione di 100 volti e se tra un capo e la derivazione ci fossero 100 spire, si avrebbe fra questi una tensione uguale alla quarta parte di quella totale, cioè di 25 volti. Fra la derivazione e l'altro capo esterno dell'avvolgimento si avrebbe una tensione di 75 volti. Un trasformatore di questo tipo è chiamato autotrasformatore.

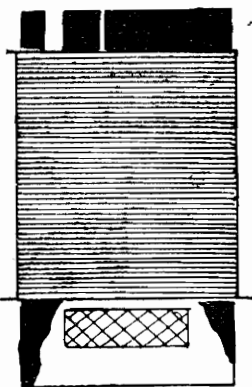


Fig. 49 - Trasformatore di alta frequenza senza nucleo di ferro. Il primario è costituito da una piccola bobina a nido d'ape nell'interno del secondario.

13. - Impedenza e reattanza.

Nell'esaminare le qualità dell'induttanza abbiamo visto che essa presenta non soltanto una resistenza come qualsiasi conduttore percorso dalla corrente continua, ma

anche una reattanza e un'impedenza. La relazione fra questi tre valori è data dalla formola 20.

Ora prima di passare al circuito oscillante è necessario esaminare più da vicino questi concetti che hanno la massima importanza.

Come abbiamo visto, la corrente alternata produce una forza elettromotrice indotta che aumenta col coefficiente di autoinduzione, cioè colle sue dimensioni e col numero di spire. Esso aumenta però anche con la frequenza, e sarà tanto più grande quanto più rapide le variazioni della corrente applicata.

Se consideriamo la curva sinusoidale (fig. 50) della corrente alternata vediamo che la variazione massima si ha quando il potenziale giunge a zero. Così anche la

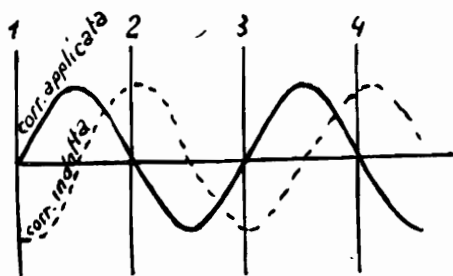


Fig. 50

corrente indotta avrà una variazione analoga della stessa forma, ma sarà in ritardo di 90° di fronte all'altra. Questa forza prodotta dalla corrente indotta che si oppone alla corrente applicata costituisce la reattanza induttiva o positiva e il suo valore dipende dal coefficiente di autoinduzione e dalla frequenza. Il valore della reattanza è :

$$X = 2 \pi F L \quad (25)$$

in cui F è la frequenza, ed L il valore dell'induttanza. Esso si esprime in ohm.

È ovvio che la reattanza produrrà nel circuito un effetto analogo a quello della resistenza; il rapporto fra corrente, forza elettromotrice e reattanza sarà determinato dalla legge di Ohm.

Noi sappiamo che $E = RI$:

se sostituiamo quindi alla resistenza R la reattanza, avremo

$$E = 2\pi FLI$$

da cui si può dedurre il valore della corrente

$$I = \frac{E}{2\pi FL} \quad (26)$$

La differenza tra l'effetto della resistenza e quello della reattanza è che nel primo l'energia va dissipata in calore, mentre nel secondo l'energia forma un campo magnetico, il quale a sua volta produce una corrente. La reattanza non produce quindi alcuna perdita di energia.

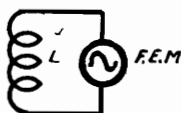


Fig. 51

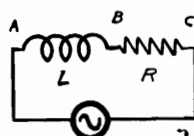


Fig. 52

In tutti i circuiti vi sarà però, oltre alla reattanza, anche una resistenza. Infatti tutti i conduttori hanno una resistenza più o meno elevata. Di questa resistenza conviene pure tener conto nella determinazione del valore della corrente in un circuito.

Si può rappresentare graficamente un circuito con induttanza come nella fig. 51 e con induttanza e resistenza come nella fig. 52.

Per determinare la corrente efficace, dobbiamo quindi inserire nella formula $E = RI$, oltre alla reattanza, anche la resistenza. Se sostituiamo al valore di R la somma dei due valori della resistenza e della reattanza non avremo però ancora il valore efficace della corrente perchè abbiamo veduto che le correnti sono fuori fase, essendo la corrente indotta in ritardo di 90° .

Il rapporto fra questi valori è precisamente quello che passa fra i lati di un triangolo rettangolo. Il lato più piccolo rappresenta la resistenza e quello medio la reat-

tanza, — che è sempre maggiore della resistenza — e l'ipotenusa rappresenta l'effetto della resistenza e della reattanza, che è l'impedenza (fig. 53).

Dalla geometria sappiamo che il quadrato della ipotenusa è uguale alla somma dei quadrati dei due lati del triangolo; potremo quindi esprimere la relazione tra questi due valori partendo dal teorema di Pitagora

$$A^2 = B^2 + C^2$$

A , rappresentando l'ipotenusa, sarà l'impedenza, che segneremo con la lettera Z ; B il lato maggiore, che so-

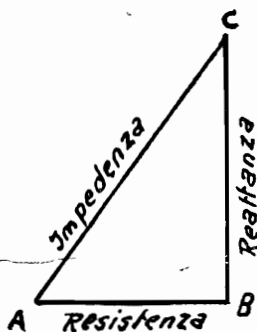


Fig. 53

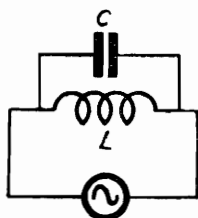


Fig. 54

stituiremo col valore della reattanza X , e C con la resistenza R . Avremo quindi

$$Z^2 = X^2 + R^2$$

oppure

$$Z = \sqrt{X^2 + R^2} \quad (27)$$

Il valore dell'impedenza potrà quindi esser sostituito al valore della resistenza, nella formula

$$E = RI$$

e risulterà quindi la formula

$$E = I \sqrt{X^2 + R^2} \quad (28)$$

oppure

$$I = \frac{E}{\sqrt{X^2 + R^2}} \quad (29)$$

Finora abbiamo considerato un circuito in cui sia soltanto una induttanza. Ora resta a considerarsi un circuito in cui sia inserito anche un condensatore. Avremo quindi un circuito contenente induttanza e capacità. Esso è rappresentato dalla fig. 54.

Prima di esaminare questo circuito, considereremo un po' più in dettaglio ciò che avviene in un condensatore quando si applichi alle sue armature una forza elettromotrice alternata.

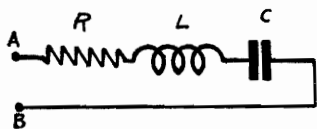


Fig. 55 - Circuito con induttanza, capacità e resistenza in serie.

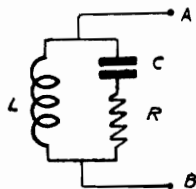


Fig. 56 - Circuito oscillante con induttanza capacità in parallelo.

Abbiamo visto che una corrente continua non passa attraverso un condensatore mentre invece vi passa la corrente alternata. Se inseriamo il condensatore in un circuito a corrente alternata, osserveremo che esso si caricherà e si scaricherà periodicamente. La differenza di potenziale tra le armature del condensatore sarà massima quando la curva sinusoidale della corrente applicata è giunta al punto zero, e sarà invece nulla quando la corrente applicata è massima. La corrente assorbita dal condensatore sarà quindi spostata di fase e precisamente essa precederà la corrente applicata di un quarto di periodo. Mentre come abbiamo veduto la reattanza induttiva produce un ritardo nella corrente, la capacità produce invece un anticipo. Questa corrente prodotta dal condensatore ha un effetto analogo di quello che si ha nell'induttanza ed è chiamato perciò reattanza di capacità e reattanza negativa.

La reattanza di un condensatore varia con la frequenza e la relazione è espressa nella formola

$$X_c = \frac{I}{2\pi F C} \quad (30)$$

in cui F è la frequenza e C la capacità. Il termine $2\pi F$ si può indicare anche più brevemente con la lettera ω . Si può scrivere quindi più brevemente anche

$$X_c = \frac{I}{\omega C}$$

14. - Il circuito oscillante.

Il funzionamento di un circuito oscillante ed il complesso dei fenomeni che si svolgono in esso hanno la massima importanza in radiotecnica. Un circuito oscillante è composto di un'induttanza e di un condensatore.

In questo circuito avremo perciò la reattanza dell'induttanza che è uguale a

$$X = 2\pi F L \text{ oppure } X = \omega L$$

e quella del condensatore sarà

$$X = \frac{I}{\omega C}$$

In un circuito oscillante il condensatore e l'induttanza possono essere collegati in serie oppure in parallelo. Nel primo caso si avrà lo schema della fig. 55.

La f. e. m. è applicata ai capi di A e B del circuito. Se invece il condensatore e l'induttanza sono in parallelo si avrà lo schema della fig. 56.

Mentre la reattanza del condensatore diminuisce con la frequenza, quella dell'induttanza aumenta. Le due reattanze tendono ad annullarsi e la reattanza totale del circuito oscillante è data dalla differenza fra le due reattanze. Ad una certa frequenza però le due reattanze si annulleranno completamente e nel circuito avremo soltanto l'effetto della resistenza.

In questo caso la corrente avrà nel circuito il massimo valore.

Se applichiamo ai capi *A* e *B* del circuito una corrente alternata ad una frequenza variabile, constateremo che la corrente nel circuito passerà da una intensità minima ad una massima secondo la frequenza. L'intensità della corrente aumenterà man mano che la frequenza si avvicinerà a quella in cui le due reattanze si annullano e decrescerà poi nuovamente.

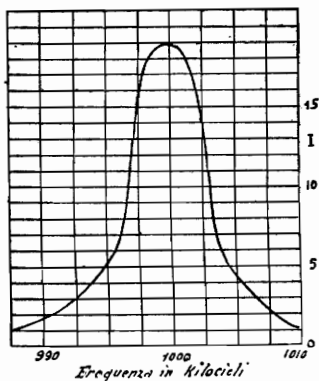


Fig. 57

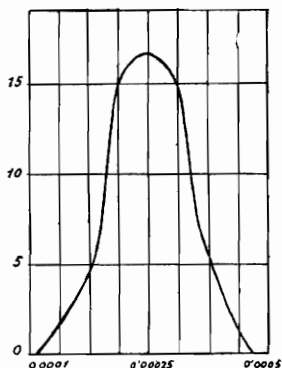


Fig. 58

Se applichiamo invece al circuito una corrente alternativa di una frequenza costante e se facciamo variare la capacità del condensatore, otterremo lo stesso effetto. La corrente aumenterà gradualmente fino a raggiungere un massimo di intensità e decrescerà poi nuovamente.

Possiamo constatare questo fenomeno inserendo nel circuito un istrumento di misura adatto per controllare la corrente. Se tracciamo un grafico riportando sulle ascisse la frequenza e sulle ordinate il valore della corrente, otterremo una curva come quella della fig. 57. Se invece riportiamo sulle ascisse la capacità del condensatore e sulle ordinate la corrente, otterremo la curva della fig. 58. Quando la corrente raggiunge il massimo valore e il circuito è in risonanza con la frequenza

della corrente applicata, noi diciamo che il circuito è accordato sulla sua frequenza naturale.

Il punto di risonanza varierà in ogni circuito secondo il valore del condensatore e quello dell'induttanza. Ogni circuito ha una frequenza propria, in cui la corrente raggiunge il massimo valore.

Se, come abbiamo veduto, le reattanze devono annullarsi, una essendo negativa e l'altra positiva, i loro valori devono essere uguali, quando il circuito è in risonanza. Avremo allora $Z = Zi$ cioè la reattanza induttiva è uguale alla reattanza capacitiva.

$$Z_c = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$Z_l = 2\pi fL$$

quindi avremo

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC}$$

Da questa equazione possiamo determinare la frequenza per la quale un circuito risuona ovvero la frequenza naturale di un circuito;

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (31)$$

(Formula di Thompson)

Con questa formula possiamo calcolare la frequenza di un circuito di cui sia noto il valore dell'induttanza e quello della capacità. Conviene sempre tener presente che i valori sono espressi in henry e in farad.

Consideriamo ora un esempio pratico di un circuito con resistenza, induttanza e capacità. Ammettiamo che l'induttanza L del circuito della fig. 55 abbia un valore di 200 mH; la capacità di 0.0002 mF; la resistenza di 4 ohm. Se facciamo il calcolo con l'aiuto della formula di Thompson vedremo che la frequenza del circuito è di 795 Kc. Ciò vuol dire, con altre parole, che a quella frequenza la reattanza del circuito sarà nulla perchè la reattanza positiva avrà raggiunto lo stesso valore di quella negativa. Ammettiamo ora di applicare ai capi A e B

dello stesso circuito una f. e. m. di 4 volta, ad una frequenza di 795 kc. che corrisponde a quello di risonanza. Il valore della corrente sarà dato secondo la legge di Ohm dalla tensione applicata divisa per la resistenza. Nel nostro caso avremo quindi $4:4=1$ cioè la corrente massima sarà di 1 amp., la d. d. p. sarà diversa nei diversi punti del circuito. Ai capi dell'induttanza avremo una d. d. p. uguale al prodotto della corrente per l'impedenza. A questo scopo noi dobbiamo calcolare il valore dell'impedenza.

Il quadrato dell'impedenza è uguale alla somma del quadrato della resistenza e del quadrato della reattanza. Per semplificare supponiamo che la resistenza dell'induttanza sia nulla. In pratica ciò non sarà il caso, ma il valore della resistenza sarà del tutto trascurabile di fronte a quello della reattanza. Avremo allora la reattanza eguale all'impedenza. Per calcolare la reattanza ricorremo alla nota formula:

$$X = \omega L \quad (32)$$

ω a sua volta è eguale a $2 \pi F$.

Nel nostro caso:

$$\omega = 2 \times 3,143 \times 795$$

Facendo la moltiplicazione otterremo per il valore di 5.000.000.

Va notato che il valore di L s'intende in questa formula in henry, per cui la reattanza e quindi anche l'impedenza sarà di

$$5.000.000 \times 0,0002 = 1000 \text{ ohm}$$

La d.d.p. che si avrà ai capi dell'induttanza sarà di

$$1 \times Z = 1000 \text{ volta}$$

Ai capi dell'induttanza noi avremo una d.d.p. di 1000 volta e siccome la reattanza del condensatore sarà eguale a quella dell'induttanza, la stessa d.d.p. si avrà pure alle armature del condensatore.

Questo esempio illustra in modo molto evidente il fenomeno della risonanza e permette di formarsi un'idea

dell'effetto che può produrre una d.d.p. di valore minimo quando il circuito è sintonizzato sulla stessa frequenza della corrente applicata.

Convieni tener presente che in un circuito che si trova in risonanza, il valore dell'impedenza si riduce alla sola resistenza e questa ha una grande influenza sulla curva di sintonia che abbiamo considerato della fig. 57. La curva si appiattisce man mano che la resistenza cresce e la sua ampiezza diminuisce in proporzione.

* *

In luogo di collegare il condensatore e l'induttanza in serie, come abbiamo fatto finora, possiamo fare il collegamento in parallelo ed allora avremo un circuito come quello della fig. 56.

La f.e.m. è applicata in questo caso ai capi *A* e *D* del circuito. La corrente si dividerà in due parti di cui una prenderà la via attraverso la bobina e l'altra attraverso il condensatore. La corrente totale del circuito è uguale alla somma delle correnti che passano nei due rami del circuito. Le due correnti che si avranno nei due rami del circuito, avranno dei valori diversi a seconda della frequenza e del valore del condensatore rispettivamente dell'induttanza. Possiamo facilmente calcolare il valore di ognuna come abbiamo fatto nel caso precedente.

La corrente non è quindi la stessa in tutte le parti del circuito. La corrente che percorre l'induttanza si può calcolare sulla base dell'impedenza. Se *E* è la f. e. m. applicata la corrente sarà $\frac{\omega L}{E}$ quella del condensatore sarà $\omega C E$ ampère. Il valore di queste due correnti corrisponde quando il circuito non abbia nessuna resistenza. Se si tenesse conto della resistenza, la corrente sarebbe:

$$I_L = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \quad (33)$$

per l'induttanza e

$$I_C = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (\omega C)^2}}$$

per il condensatore.

Se la frequenza aumenta, il valore della corrente dell'induttanza diminuirà e aumenterà invece quella del condensatore. Ad una certa frequenza le due correnti saranno eguali e allora avremo:

$$\omega C = \frac{1}{\omega L} \quad (34)$$

Il circuito sarà allora in sintonia con la frequenza della corrente applicata.

Sostituendo a ω il termine $2\pi f$ possiamo calcolare la frequenza del circuito come abbiamo fatto per il caso della risonanza in serie.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (35)$$

f è la frequenza naturale del circuito.

Se, come abbiamo veduto, la corrente che percorre il condensatore è:

$$I_C = \omega CE$$

possiamo facilmente calcolare la d. d. p. ai capi del circuito. Dalla precedente formula deduciamo il termine:

$$2\pi f = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega$$

e sostituiamo questo nell'equazione

$$I = \omega CE = \frac{CE}{\sqrt{LC}} = E \sqrt{\frac{L}{C}} \text{ ampère}$$

e di conseguenza

$$E = \frac{I}{\sqrt{\frac{L}{C}}} \quad (36)$$

Da questa formula deduciamo che la corrente sarà tanto maggiore quanto più aumenterà il rapporto fra capacità e induttanza. Per una determinata corrente la d. d. p. sarà tanto maggiore quanto più alto sarà il valore dell'induttanza rispetto a quello della capacità.

Risulta che, nel caso di risonanza, il circuito con induttanza e capacità in serie funzionerà diversamente dal circuito in parallelo. L'impedenza di un circuito in serie è molto piccola, mentre nel circuito in parallelo è molto alta.

Il circuito con induttanza e capacità in parallelo costituisce un filtro che impedisce il passaggio di una determinata frequenza. Le proprietà di un tale circuito si possono così riassumere:

1) Alla frequenza di risonanza, se la resistenza è di un valore trascurabile, l'impedenza del circuito è molto elevata; essa è infinitamente grande. Dalla sorgente della f. e. m. al circuito, non passa nessuna corrente. Se invece il circuito ha una certa resistenza si avrà una corrente il cui valore dipenderà dal valore della resistenza.

2) L'acutezza di sintonia del circuito crescerà col rapporto fra induttanza e capacità.

3) Per una determinata corrente, che si ha nel circuito, la d. d. p. è tanto maggiore quanto più alto è il rapporto fra induttanza e capacità.

4) La resistenza dev'esser tenuta entro i limiti del valore minimo possibile, allo scopo di ottenere una curva di risonanza più acuta e una maggiore d. d. p. ai capi del circuito.

Supponiamo di avere un circuito composto di capacità, induttanza e resistenza in serie.

Esso è collegato ad una batteria in modo da poter interrompere il collegamento a mezzo di un commutatore (fig. 59). Quando il commutatore è nella posizione *A* il condensatore viene caricato. La corrente che serve per caricarlo passa attraverso la resistenza *R* e una parte dell'energia viene dissipata in calore.

Se rappresentiamo la corrente con la lettera *RI*, la perdita che si ha attraverso la resistenza sarà eguale a $I^2 R$, in cui *R* indica il valore della resistenza. Ma quando il condensatore è completamente caricato, la d. d. p. che si produce tra le armature è uguale a quella della batteria, e di conseguenza non si avrà una corrente di carica. Col passaggio della corrente intorno alle spire dell'induttanza *L*, si formerà un campo magnetico. Se

manca la corrente di carica proveniente dalla batteria, il campo magnetico sarà nullo.

Ora, se muoviamo il commutatore dalla posizione *A* a quella di *B*, il condensatore si scaricherà e si avrà una corrente attraverso le spire dell'induttanza che produrrà a sua volta un campo magnetico posto intorno a *L*.

Sarà bene ricordare che la corrente sarà massima, quando la d. d. p. è più piccola e quando questa sarà giunta allo zero si avrà la massima corrente attraverso l'induttanza. In quello stesso istante anche il campo magnetico avrà raggiunto la massima intensità.

Esso produrrà una differenza di potenziale e restituirà energia al circuito, in modo che il condensatore sarà caricato con potenziale opposto a quello della prima

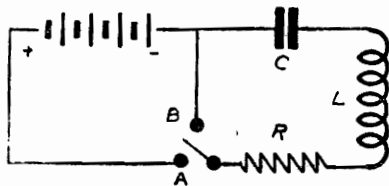


Fig. 59

carica. Le piastre che prima erano negative diventeranno positive, e viceversa.

Non appena tutta l'energia prodotta dal campo magnetico si sarà immagazzinata nelle armature del condensatore, la corrente cesserà e il condensatore ricomincerà a scaricarsi. Questo intero ciclo di carica e scarica del condensatore si ripeterà in modo da dare luogo nel circuito ad una corrente oscillatoria, la cui frequenza è data dal rapporto :

$$\frac{I}{2\pi\sqrt{L \times C}} \quad (37)$$

in cui *L* rappresenta l'induttanza in henry e *C* la capacità in farad.

Una sola carica del condensatore produrrebbe una corrente oscillatoria che si prolungherebbe all'infinito se non ci fosse la resistenza. Infatti l'energia spesa per pro-

durre il campo magnetico non si consuma, ma viene restituita completamente al circuito; la dissipazione di energia ha luogo unicamente nella resistenza, la quale la trasforma in calore.

Questa perdita deve essere bilanciata dall'energia fornita dall'esterno, ovverosia dalla sorgente di forza elettromotrice.

Siccome la differenza di potenziale, come abbiamo veduto, è molto elevata nel caso della risonanza, così basta un'energia piccolissima per mantenere l'oscillazione, a condizione però che la frequenza del circuito sia eguale a quella della sorgente.

Sul principio della risonanza, è basata la ricezione radiotelegrafica e radiotelefonica. La sorgente in questo caso è costituita dall'energia che proviene dall'irradiazione dell'antenna trasmittente. Quando la frequenza delle oscillazioni irradiate è uguale a quella del circuito che riceve, si ha in quest'ultimo la massima ampiezza di oscillazione.

Per variare la frequenza rispettivamente alla lunghezza d'onda del circuito, si può usare tanto un'induttanza di valore variabile o variometro, che un condensatore variabile. Di solito si usa quest'ultimo sistema e si impiegano invece induttanze di valore fisso.

Nel considerare i circuiti, abbiamo finora supposto che, ad essi, venisse applicata una tensione alternativa che avesse sempre la stessa ampiezza.

Abbiamo visto che una parte dell'energia fornita da questa f. e. m. va dissipata attraverso la resistenza del circuito, e di conseguenza, se viene a cessare l'energia fornita dalla sorgente esterna, le oscillazioni andranno lentamente diminuendo di ampiezza, fino ad estinguersi completamente.

Consideriamo ora il caso della figura 59.

Se carichiamo il condensatore C a mezzo della batteria, e se spostiamo poi il commutatore in modo che venga a trovarsi nella posizione B , il circuito sarà percorso, come abbiamo già visto più sopra, da una corrente oscillatoria, la quale, se la resistenza R non è troppo grande, si spegnerà lentamente perchè tutta l'energia si trasformerà in calore.

Se rappresentiamo graficamente queste oscillazioni,

potremo constatare il decrescere della loro ampiezza che sarà più lento o più rapido a seconda del valore della resistenza. Queste oscillazioni prodotte da una sola carica, e non alimentate da una f. e. m. alternativa, si chiamano oscillazioni libere. Esse sono prodotte unicamente dalla spinta iniziale che è dovuta alla carica dei condensatori, e l'energia in questi immagazzinata andrà dissipandosi facendo diminuire l'ampiezza, fino a tanto che esse cesseranno completamente.

Noi sappiamo che questa perdita di energia, si verifica per effetto Joule, il quale dipende dall'intensità di corrente e dalla resistenza del circuito. Questa resistenza non è la resistenza ohmica pura e semplice, ma ha un valore un po' maggiore di questa, ed è chiamata resistenza efficace.

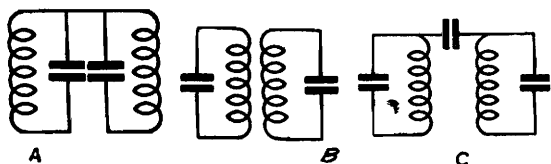


Fig. 59 bis

Se questa resistenza è costante in un circuito, è possibile calcolare il periodo delle oscillazioni libere e stabilire anche la legge secondo cui queste oscillazioni si spengono.

Essa è data dalla relazione:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$$

Quando il valore di $\frac{R^2}{4L^2}$ è uguale o maggiore del valore $\frac{1}{LC}$, il circuito non potrà generare oscillazioni

libere. Nel caso considerato, la scarica iniziale del condensatore avverrebbe in una direzione soltanto. Ciò vuol dire che l'intera energia immagazzinata dal con-

densatore viene dissipata nella resistenza del circuito. In questo caso il circuito è chiamato aperiodico.

Molte volte si usa, nella radiotecnica, un circuito che è parzialmente aperiodico o semiaperiodico.

Per ottenere questo basta fare l'avvolgimento con filo di resistenza. La curva di risonanza, in questo caso, viene appiattita e la sintonia si estende ad una intera gamma di lunghezza d'onde.

In un circuito semiaperiodico, l'ampiezza delle oscillazioni è ridotta, e precisamente questa riduzione dipende dal valore della resistenza del circuito. Una bobina che abbia una curva di risonanza estesa ad una vasta gamma di frequenza si chiama bobina d'arresto od anche semplicemente *impedenza*.

Quando la resistenza è trascurabile, la frequenza del circuito è uguale a

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

Il valore LC si chiama: la costante di oscillazione.

Consideriamo ora, un esempio pratico. Supponiamo di avere un condensatore del valore di 0,001 mF e un'induttanza del valore di 200 mH con resistenza del tutto trascurabile. Si tratta ora di calcolare la frequenza naturale del circuito.

Sostituiamo nella formola:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

$$\pi = 3,14; 2\pi = 6,28 \quad \frac{1}{2\pi} = 0,16$$

$$L = 200 \text{ mH} = 0,0002 \text{ Henry};$$

$$C = 0,001 \text{ mF} = 0,000.001 \text{ farad}$$

$$LC = 0,0002 \times 0,000.001$$

$$\frac{1}{LC} = 0,000.000.000.005$$

$$\sqrt{\frac{1}{LC}} = 0,000.002.24$$

$$f = 0,16 \times 0,000.002.24 \\ = 358,4 \text{ cicli al secondo, ciò che corri-}$$

sponde ad una lunghezza d'onda di 845 metri.

Ammettiamo ora che il circuito abbia una resistenza di 1000 ohm, e vediamo se esso potrebbe in questo caso oscillare.

Perchè il circuito possa oscillare, il valore di $\frac{R^2}{4L^2}$ deve essere minore di $\frac{1}{LC}$.

Se questi due valori sono eguali, il circuito non oscillerà più, cioè se :

$$\frac{R^2}{4L^2} = \frac{1}{LC} \text{ oppure se } R = 2 \sqrt{\frac{L}{C}}$$

l'oscillazione non potrà aver luogo. Se calcoliamo per il nostro caso, il lavoro di $2 \sqrt{\frac{L}{C}}$ otteniamo la cifra di 894,9 ciò che significa che il suo valore è minore di quello della resistenza, che è di 1000 ohm ed il circuito non potrà oscillare.

Questa diminuzione dell'acutezza di sintonia, prodotta dalla resistenza, è chiamata : lo smorzamento del circuito.

Il decremento significa il rapporto logaritmico fra le ampiezze successive delle oscillazioni in un treno d'onde. Il calcolo del decremento ha un'importanza nella radiotelegrafia ad onde smorzate, presenta però minor interesse per la radiofonia per cui noi non entreremo nei dettagli di questo calcolo.

Due circuiti oscillanti possono essere accoppiati fra di loro, cioè collegati attraverso una capacità oppure le due induttanze possono essere disposte in modo che siano in concatenazione di flusso magnetico.

Il circuito al quale è applicata la f. e. m. si chiama il circuito primario e l'altro si chiama il circuito secondario.

Se due circuiti sono accoppiati fra di loro induttivamente, si ha una reazione di uno sull'altro in guisa che

la corrente non è più la stessa che si aveva nel circuito primario, prima dell'accoppiamento.

Tanto il trasferimento di energia da un circuito all'altro, che l'effetto reattivo, variano a seconda del grado di accoppiamento o meglio a seconda che i due avvolgimenti sono più o meno vicini fra di loro.

Quando la vicinanza è massima, si ha il massimo trasferimento di energia ed allora l'accoppiamento si chiama stretto. Quando la distanza fra i due avvolgimenti è maggiore, il trasferimento di energia è più piccolo ed allora l'accoppiamento si chiama lasco. Il grado di accoppiamento fra due circuiti si misura col coefficiente di accoppiamento.

La relazione che passa fra il valore dell'induttanza dei circuiti e il coefficiente di accoppiamento, è dato dalla formula :

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

in cui M indica l'induzione mutua, cioè l'effetto reciproco del campo magnetico dei due avvolgimenti. Anche essa si misura in henry, rispettivamente in microhenry.

È importantissimo tener presente che quando due circuiti sono accoppiati, anche la frequenza di oscillazione di ognuno subisce una modificazione, ed ogni circuito risuona su due frequenze che sono diverse dalla frequenza naturale di ogni singolo dei circuiti.

La curva di risonanza di un circuito accoppiato ad un altro ha perciò due creste che corrispondono a frequenze diverse da quelle dello stesso circuito non accoppiato ad un altro. Questa differenza tra le frequenze è tanto più accentuata quanto più stretto è l'accoppiamento fra i circuiti.

Se l'accoppiamento diviene molto lasco, e se i circuiti sono sintonizzati sulla stessa frequenza, la risonanza si nota ad un punto solo e le due creste si riuniscono in una. Di questo fenomeno è necessario tener conto sempre quando si accordano sulla stessa lunghezza d'onda due circuiti accoppiati induttivamente. Per poter giungere ad una sintonia perfetta, è necessario che l'accoppiamento sia più lasco possibile.

Se accoppiamo due circuiti induttivamente, la d. d. p. che si ha ai capi del circuito primario sarà eguale a quella ai capi del secondario se i due avvolgimenti accoppiati hanno lo stesso numero di spire.

Quando, invece, il primario ha un numero di spire minore del secondario, la d. d. p. ai capi del secondario sarà tanto maggiore quanto più alto sarà il rapporto tra il numero delle spire tra i due avvolgimenti. Se, ad esempio, il circuito primario ha 50 spire ed il secondario 100, il rapporto sarà 1:2 e la d. d. p. ai capi del secondario sarà doppia di quella che c'è ai capi del primario.

Così, se le oscillazioni del primario hanno un'ampiezza di 4 volta, si avranno, ai capi del secondario, oscillazioni dell'ampiezza di 8 volta. Due avvolgimenti accoppiati strettamente e calcolati in modo da dare ai capi del secondario un potenziale che sta in un determinato rapporto con quello dei capi del primario, costituiscono un trasformatore. Per le correnti ad alta frequenza, il trasformatore è costituito semplicemente da due avvolgimenti accoppiati più o meno strettamente fra di loro.

Il funzionamento di un trasformatore ad alta frequenza presenta dei fenomeni molto complessi che noi non possiamo qui esaminare in dettaglio, perchè sarebbero necessari calcoli di matematica superiore.

Nell'accoppiamento capacitativo il grado di accoppiamento, ovverosia la quantità di energia trasferita da un circuito all'altro, dipende dalla capacità del condensatore di accoppiamento che è inserito nel tratto comune dei due circuiti.

In luogo di usare due circuiti separati per il primario e il secondario, si possono fondere in uno i due avvolgimenti facendo variare il numero di spire che fa parte del circuito primario. Questo sistema di accoppiamento è chiamato ad auto trasformatore.

Il rapporto fra la differenza di potenziale ai capi dei due circuiti dipende anchè qui dal numero di spire di un circuito e dell'altro, e l'effetto ottenuto con un auto-trasformatore è perfettamente analogo a quello ottenuto con un trasformatore a due avvolgimenti accoppiati strettamente.

15. - Unità di misura.

Per esprimere una misura è necessario avere un valore di confronto. Questo valore di confronto si dice unità di misura.

Il metro, ad esempio, è un'unità di misura per esprimere la lunghezza di un oggetto o la distanza fra due oggetti. Se diciamo che un oggetto ha la lunghezza di due metri, vogliamo significare con ciò che il metro è contenuto due volte nella lunghezza dell'oggetto.

Un campione di misura invece è la realizzazione pratica dell'unità.

Il sistema di misura più usato è il metrico decimale, di cui i campioni si conservano a Parigi. Soltanto l'Inghilterra e l'America hanno un altro sistema di misura.

Le unità di misura del sistema metrico decimale sono il centimetro, il grammo, il secondo (C.G.S.). Il centimetro è la centesima parte di un metro ed è la quattrobilionesima parte di un meridiano terrestre.

Il grammo è la massa di un centimetro cubo d'acqua distillata a 4° centigradi di temperatura.

Il minuto secondo è la 86 400^a parte del giorno solare medio.

Su queste unità sono basate pure le misure meccaniche e quelle elettriche. Per definire queste ultime dobbiamo prima conoscere le principali unità meccaniche.

La velocità è il quoziente dello spazio percorso da un oggetto in moto, moltiplicato per il tempo impiegato.

Il simbolo usato di solito è la lettera V. L'unità C.G.S. è la velocità di un punto che percorre una via rettilinea ad una velocità di un centimetro per minuto secondo (centimetri per secondi).

Velocità angolare è la velocità di un punto che ruota intorno ad un asse.

Simbolo: ω .

L'unità C. G. S. è il valore dell'angolo di cui l'arco è uguale al raggio (radiante al secondo).

Forza è la causa che modifica lo stato di quiete o di moto di un corpo.

Simbolo: F.

Unità C. G. S. : il valore della forza, che agendo in una massa di 1 gr. le imprime un'accelerazione di 1 cm. per ogni secondo (dina).

Lavoro è il prodotto della forza per lo spazio percorso dal suo punto d'applicazione.

Simbolo: W.

Unità C. G. S. : il prodotto della forza di 1 dina su una distanza di 1 cm. (erg).

Potenza è il lavoro prodotto nell'unità di tempo.

Simbolo: P.

Unità C. G. S. di 1 erg. durante 1 minuto secondo (erg — secondo = erg^m).

In pratica però non si usano che raramente le unità fondamentali in C. G. S. perchè condurrebbero all'uso di numeri troppo grandi o troppo piccoli.

Così si impiegano altre unità, dette unità pratiche : per la velocità :

1 metro al secondo (m^m).

Per la velocità angolare :

Numero in giri al minuto (n).

Per la forza :

grammo (gr.) 1 grammo = 981 dine od il chilogram. (Kg.) 1 Kg. = 981 000 dine.

Per il lavoro :

Chilogrammetro (Kgm.) ossia il lavoro prodotto da un corpo del peso di 1 Kg. che cade dall'altezza di 1 metro.

Per la potenza :

Chilogrammetro al secondo (Kgm.) ossia la potenza corrispondente al lavoro di 1 Kg. per 1 minuto secondo.

Anche per le misure magnetiche le unità sono in C.G.S. Esse sono usate talvolta in pratica specialmente per indicare la capacità dei condensatori. Ma di solito sono usate altre unità che sono multipli o sottomultipli decimali di questa unità.

Le unità principali sono le seguenti :

Intensità di un campo magnetico in un punto è il quoziente della forza su un polo di una determinata intensità.

Simbolo: H.

Unità C. G. S. è il valore di un campo che eserciti una forza di una dina su un polo posto sul campo e che abbia un'intensità di 1 C. G. S.

Flusso magnetico è il prodotto dell'intensità del campo supposto uniforme, per la superficie da esso attraversata.

Simbolo: Q .

Unità C. G. S. è il maxwell, ossia il flusso prodotto da un campo magnetico avente una intensità di 1 unità e attraversante la superficie di 1 cm.

Induzione magnetica è il quoziente del flusso uniforme per la superficie che esso attraversa.

Simbolo: B .

Unità è il gauss come per l'intensità magnetica.

Permeabilità e conduttività magnetica è un coefficiente che indica il grado di facilità con cui un corpo si lascia attraversare da un campo magnetico.

Simbolo: U .

Unità è la conduttività dell'aria.

Riluttanza o resistenza magnetica è la resistenza che oppongono i corpi al passaggio del flusso.

Simbolo: R .

La riluttanza magnetica si calcola come si calcola la resistenza elettrica, salvo i diversi coefficienti.

Le unità elettromagnetiche sono le seguenti:

Differenza di potenziale di due punti posti in un campo elettrico è la differenza delle forze a cui sono soggetti questi due punti in causa del campo elettrico:

Simboli: E ; e ; d. d. p. V .

Unità C. G. S. è la d. d. p. necessaria perchè l'unità di quantità di elettricità sviluppi l'unità di lavoro.

L'unità pratica è il volta (che abbiamo già in precedenza definito).

Forza elettromotrice è la causa che fa muovere l'elettricità attraverso ai conduttori: ha lo stesso valore della d. d. p. e la stessa unità.

Simboli: V ; e ; E ; f. c. m.

Tensione è la pressione elettrica esercitata dall'elettricità; stesse unità, valore, e simboli della d. d. p.

Resistenza è l'impedimento che oppongono i conduttori al passaggio della corrente.

Simbolo: R oppure r .

Unità C. G. S.: la resistenza di un conduttore nel quale circola l'unità di intensità sotto l'azione dell'unità di f. e. m.

Unità pratica l'ohm già definita precedentemente.

Conduttanza o conduttività è l'inverso della resistenza.

Simbolo: G .

Unità il mho.

Resistività o conduttività, oppure resistenza o conduttanza specifica sono la resistenza e la conduttanza posseduta da un conduttore formato di una determinata materia, e variano con il valore di questa materia.

Simboli: resistività: p ; conduttività: y .

Unità pratica l'ohm è il mho per metro di lunghezza e per mm. di sezione.

Intensità di corrente è la quantità di corrente che passa attraverso un conduttore in un secondo.

Simbolo: I oppure i .

Unità C. G. S. è la corrente che traversando un circuito di 1 cm. di lunghezza avvolto ad arco di cerchio di 1 cm. di raggio esercita l'unità di forza su un polo magnetico di intensità eguale all'unità, posto al centro dell'arco. Unità pratica: Ampère (A) definito precedentemente.

Quantità di elettricità è il flusso di elettricità che ha traversato un conduttore in un dato tempo.

Simbolo: Q oppure q .

Unità C. G. S. è la q che traversa un conduttore in l' percorso dall'unità di intensità.

Unità pratica: Coulomb (C) che è la q trasportata in l' dall'unità di intensità.

Lavoro elettrico: è il prodotto della quantità di elettricità che traversa un circuito per la d. d. p. applicata ai suoi estremi.

Simbolo: L .

Unità C. G. S.: 1 erg.

Unità pratica il joule (j) ossia il lavoro prodotto in l' da una corrente di 1 A traversante un circuito di 1 ohm di resistenza.

Potenza elettrica è il prodotto dell'intensità di corrente che traversa il circuito per la d. d. p applicata ai suoi estremi.

Simbolo: W .

Unità C. G. S. erg al secondo.

Unità pratica: watt (W) o sia 1 joule al secondo.

Capacità è la quantità di elettricità che può essere im-

magazzinata in un corpo isolato, che sia collegato ad un generatore di energia.

Simbolo: C.

Unità C. G. S. : la capacità di un conduttore che richiede una carica di elettricità di 1 C. G. S. per elevare il potenziale di C. G. S. rispetto ai conduttori circostanti tenuti a potenziale costante.

Coefficiente di induzione è il rapporto tra il flusso di forza e l'intensità di corrente.

Simbolo: L.

Unità C. G. S. : un circuito che, percorso da una corrente dell'intensità di 1 C. G. S., produce un flusso di 1 C. G. S.

Anche per le misure elettriche si usano di solito le unità pratiche, per evitare i numeri troppo grandi.

Per indicare brevemente le misure più piccole si permette il prefisso milli per indicare la millesima parte dell'unità di misura e micro per indicare la milionesima parte. Così 1 milliamperè è la millesima parte di 1 A, e microfarad è la milionesima parte di un farad.

16. - Strumenti di misura.

Per misurare la corrente elettrica si impiegano strumenti di misura. La corrente elettrica produce infatti diversi effetti: magnetici, termici, chimici. Gli strumenti di misura sono basati su questi effetti.

A seconda dei casi si impiega uno strumento basato sull'uno o sull'altro di essi.

Gli strumenti di misura che si impiegano di solito in radiotecnica sono magnetici oppure a filo caldo. Se servono per misurare la qualità di corrente si chiamano amperometri, se servono per misurare la differenza di potenziale si chiamano voltometri.

Di tutti questi strumenti vi sono diverse sottospecie a seconda della loro costruzione e della loro sensibilità.

Così, ad esempio, l'amperometro che serve per misurare le correnti dell'ordine dei millesimi di ampère si chiama milliamperometro.

Strumenti di misura magnetici. — La corrente elettrica ha la proprietà di produrre la deviazione di un ago

magnetico che sia posto in vicinanza. Se poniamo una bussola nell'interno di un avvolgimento a solenoide, l'ago subisce una deviazione ogni volta che una corrente attraversa l'avvolgimento. Uno strumento così costruito rappresenta la forma rudimentale di un galvanometro.

Il *galvanometro* in questa forma è il più semplice degli strumenti di misura. Esso serve per rivelare la presenza di piccole correnti elettriche.

Quando lo strumento non dà la lettura della corrente ma indica semplicemente la presenza della corrente con una deviazione dell'ago magnetico si chiama *galvanoscopio*. Esso è utile per esperienze e può essere costruito senza cognizioni di meccanica, nel modo sopra accennato.

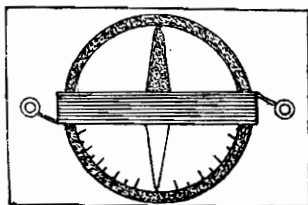


Fig. 60

Un galvanoscopio più perfetto e più sensibile può essere costruito senza grandi difficoltà usando una bussola, un supportino di legno e alcuni metri di filo di rame $3/10$ isolamento seta. Una striscia di tela isolante di 2 cm. di larghezza sarà avvolta diametralmente sulla bussola e su queste si avvolgono circa 200 spire compatte di filo. La bussola va poi fissata su un supporto e i due capi vanno collegati a due morsetti (fig. 60).

Quando si voglia usare l'istrumento si farà orientare l'ago magnetico in modo che prenda la posizione parallela all'avvolgimento. Se si collegano i due morsetti a due capi di un circuito che abbiano una d. d. p. si avrà una deviazione. Per poter fino ad un certo punto valutare la tensione si può munire il quadrante di una scala graduata.

Conviene tener presente che in uno strumento simile la deviazione è proporzionale soltanto nei primi gradi.

Più la posizione dell'ago si avvicina all'angolo retto rispetto all'avvolgimento, tanto minore sarà l'effetto della corrente. Non è possibile raggiungere una deviazione di 90 gradi. Per questa ragione uno strumento di questo genere non si presta per effettuare delle misure.

Per misure precise si costruiscono galvanometri che sono strumenti molto costosi e molto delicati. Essi servono per rivelare delle correnti piccolissime dell'ordine dei microampère. Uno dei tipi migliori è quello d'Arsonval a sospensione (fig. 61).

L'avvolgimento di questo galvanometro è fatto con filo sottilissimo in modo da costituire una bobina leggerissima che è sospesa a due fili di seta fra i due poli di un magnete. Al filo è fissato uno specchietto sul quale si proietta la luce di una piccola lampadina elettrica.

Ogni corrente produce uno spostamento della bobina e dello specchietto e sposta pure il raggio riflesso dallo specchietto che viene proiettato su una scala graduata. In questo modo si possono rivelare anche piccolissime correnti.

Il voltmetro è in origine uno strumento per decomporre l'acqua e per raccogliere gli ioni, cioè l'ossigeno e l'idrogeno.

Lo strumento consiste di un vaso di vetro contenente acqua acidulata. In essa sono immersi due provini di vetro che contengono due elettrodi di sostanze inossidabili come ad esempio il carbone. Se si collegano ai due elettrodi i poli di una sorgente elettrica l'acqua si decompone.

In questo modo si può determinare la quantità di elettricità che agisce sul bagno e calcolare, tenendo conto del tempo, l'intensità di corrente. Istrumenti di questo tipo non sono però pratici e non si prestano per la lettura diretta. Il loro uso si limita ai laboratori.

Per la pratica sono necessari strumenti che possono dare con una semplice lettura la misura delle correnti e delle tensioni. La maggior parte di questi sono basati sulla azione elettromagnetica della corrente. La corrente viene fatta passare attraverso un avvolgimento sospeso fra i poli di un magnete permanente. L'avvolgimento ha una forma rettangolare e può girare facilmente intorno ad un asse posto attraverso la metà di due lati opposti.

Quando lo strumento è in riposo il rocchetto si trova nel piano del magnete. Quando una corrente percorre l'avvolgimento il rocchetto si sposta sull'asse. Per farlo ritornare nella posizione di prima è necessaria una molla oppure negli strumenti più sensibili la torsione stessa del filo. All'asse è fissato un indice che si sposta su una scala graduata e che permette di leggere la misura.

Non entreremo qui in maggiori dettagli sulla costruzione degli istrumenti di misura, che può essere molto varia a seconda dei tipi.

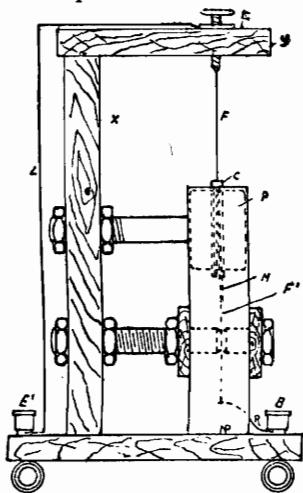


Fig. 61

Il principio però rimane sempre quello descritto, basato sull'azione elettromagnetica della corrente.

Istrumenti simili a quest'ultimo o comunque basati su questo principio possono servire per le diverse misure dell'intensità della corrente e della tensione.

Nel primo caso si chiamano amperometri, nel secondo voltometri. Essi sono costruiti in modo perfettamente uguale e indicano sempre il passaggio della corrente.

L'amperometro può servire di voltmetro e viceversa. Consideriamo un circuito elettrico qualsiasi a corrente

continua composto di un generatore (batteria) e di una lampadina elettrica.

Ai capi del generatore si avrà una differenza di potenziale che produrrà nel circuito una corrente la cui intensità dipenderà dalla resistenza della lampadina.

Se interrompiamo questo circuito in un punto qualsiasi e inseriamo uno strumento di misura, un amperometro :

Ai due capi *A* e *B* la corrente che circolerà nell'avvolgimento dello strumento produrrà una deviazione dell'indice sul quadrante, e tale deviazione sarà proporzionale alla quantità di corrente che attraversa il circuito.

Se la scala è graduata in ampère si potrà leggere direttamente la quantità di corrente in ampère che passa attraverso l'istrumento. Se l'istrumento è molto sensibile segnerà le piccolissime variazioni di corrente come i millesimi di ampère e si avrà un milliamperometro.

In pratica vi sono diverse specie di amperometri e milliamperometri i quali a seconda dello scopo hanno sensibilità diversa. In genere questi strumenti devono dare indicazioni esatte e devono rimanere inalterati anche dopo un uso più o meno lungo (fig. 62).

Essi devono permettere una lettura rapida e non devono essere soggetti ad oscillazioni troppo grandi nell'indice.

Questo scopo si raggiunge di solito con uno smorzatore, che in qualche strumento consiste di un dischetto di alluminio spostabile fra i poli del magnete.

Un amperometro molto sensibile può essere adattato alla misura di correnti maggiori che richiedono una sensibilità minore e ciò a mezzo di shunt.

Se si collega in parallelo coll'istrumento una resistenza la corrente si dividerà in due parti, di cui una attraverserà lo strumento, l'altra lo shunt.

La quantità di corrente che passa attraverso l'istrumento dipenderà dal rapporto fra le due resistenze: quella dell'istrumento e quella dello shunt. Questo rapporto è dato dalla legge dello shunt che conosciamo. La formula (28): è:

$$I_1 = I_2 \times \frac{R_1 \times R_2}{R_2}$$

Coll'aiuto di questa si può calcolare esattamente la corrente che passa attraverso l'amperometro e quella che passa attraverso la resistenza, purchè siano noti i valori delle due resistenze. Nella maggior parte degli strumenti di misura migliori è indicata la resistenza in modo che con un calcolo si può determinare il valore dello shunt per ridurre la sensibilità nel grado desiderato.

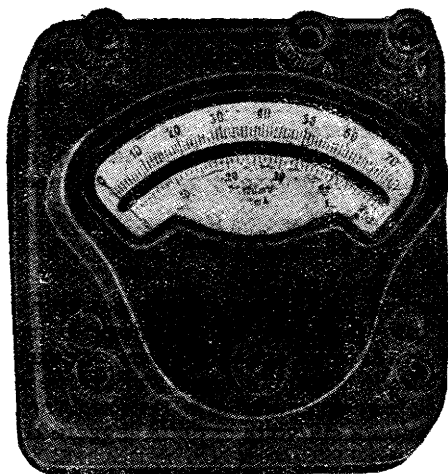


Fig. 62 - Strumento per la misura delle correnti e delle tensioni.

Di solito si prenderà un valore che permetta un calcolo rapido. Ammettiamo ad esempio di avere un milliamperometro con una resistenza di 0,99 ohm. Se misuriamo uno shunt di 0.01 avremo

$$I_1 = I_2 \times \frac{0.99 \times 0.01}{0.01} = 100 \times I_2$$

La corrente si dividerà quindi così: 1/100 passerà attraverso il milliamperometro e 99/100 attraverso lo shunt; la corrente sarà quindi 100 volte quella indicata dallo

strumento: basterà moltiplicare la lettura per cento per avere l'esatto valore della corrente.

Gli shunt si trovano pronti in commercio, e ci sono anche istrumenti che hanno gli shunt nell'interno dell'apparecchio.

Va notato ancora, ciò che del resto risalta evidente, che gli amperometri, e rispettivamente i milliamperometri, vanno sempre inseriti in serie nel circuito come indicato nella fig. 62 a. Se si inserisse in parallelo uno di questi strumenti, la corrente lo guasterebbe istantaneamente.

Il voltmetro non è altro che un milliamperometro con una resistenza elevata in serie. Esso misura pure la corrente. Ma secondo la legge di Ohm la corrente è uguale al quoziente della tensione per la resistenza:

$$I = \frac{E}{R}$$

ciò che significa che l'intensità di corrente nello strumento sarà proporzionale alla tensione e inversamente proporzionale alla resistenza. Siccome questa è costante, così si avrà nello strumento una variazione di corrente direttamente proporzionale alla tensione applicata. Se la scala è graduata sui volta si potrà leggere direttamente la tensione.

Supponiamo di avere a disposizione un milliamperometro da 5 mA fondo scala e di voler misurare le tensioni fino a 500 volta. Basterà dividere la tensione di 500 per la corrente di 0.005 amp. per ottenere il valore della resistenza che sarà di 100.000 ohm. Tale valore comprende anche la resistenza dello strumento. Se essa fosse di 100 ohm la resistenza esterna dovrebbe essere di 99.900 ohm. In questo modo si può dare al milliamperometro la sensibilità desiderata per la misura delle correnti e delle tensioni, e si può adattare lo strumento a diverse specie di misure e a diverse sensibilità inserendo in serie o in parallelo la resistenza del valore adatto per quella determinata misura.

Tutti questi strumenti servono per la misura delle correnti continue. Non è possibile invece misurare così senz'altro le correnti alternate. Infatti questa varia pe-

riodicamente e uno strumento basato sull'effetto magnetico non darebbe nessuna deviazione.

Per poter effettuare le misure in alternata è necessario servirsi di strumenti speciali che sono di diversi tipi.

1) Strumenti con raddrizzatore; 2) Strumenti a ferro mobile; 3) Strumenti termici.

I primi sono degli strumenti del tipo per corrente continua muniti di un raddrizzatore ad ossido. Il raddrizzatore lascia passare la corrente soltanto in un senso mentre oppone una resistenza quasi infinita alla corrente che passa nel senso opposto. Con un opportuno dispositivo è possibile raddrizzare ambedue le semionde e ottenere così una corrente pulsante che si può misurare con lo strumento. Gli strumenti a ferro mobile sono meno precisi e sono basati sull'effetto della corrente su un nucleo di ferro dolce.

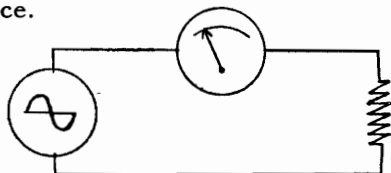


Fig. 62 a.

Gli strumenti termici si basano sull'effetto termico della corrente. Un filo sottile, ai capi del quale sia collegata una batteria, subisce un aumento di temperatura proporzionale alla corrente e diviene di conseguenza più lungo. Se il filo è fissato ad una levetta che porta un indice, ogni allungamento produrrà uno spostamento della leva e dell'indice. È così possibile costruire degli strumenti a filo caldo che corrispondono alle caratteristiche degli amperometri e dei voltometri.

17. - La corrente ad alta frequenza - Le onde hertziane - Onde smorzate e onde persistenti.

Le correnti radiotelegrafiche sono delle correnti alternate la cui frequenza è molto più elevata di quelle delle correnti industriali; la variazione delle correnti radiotelegrafiche corrisponde pure alla forma sinusoidale.

La frequenza elevatissima delle correnti radiotelegrafiche fa sì che molti fenomeni, d'importanza secondaria nelle correnti alternate industriali, acquistano invece un'importanza capitale. Mentre nei circuiti elettrici comuni si deve tener conto principalmente della resistenza, nei circuiti radiotelegrafici la resistenza passa in seconda linea ed acquista un'importanza molto maggiore la reattanza. Anche la capacità ha una funzione diversa nei circuiti ad alta frequenza. Ma la caratteristica più importante delle correnti ad alta frequenza è quella di produrre sotto determinate circostanze delle linee di forza che si propagano attraverso lo spazio e possono indurre una forza elettromotrice in un conduttore anche lontano.

Su questo fenomeno sono basate le comunicazioni radiotelegrafiche e radiotelefoniche.

Per spiegare la natura della corrente ad alta frequenza è necessario richiamare alla memoria il concetto del campo magnetico e del campo elettrico. Il primo è lo spazio intorno ad un magnete in cui si manifesta il flusso magnetico. Un campo magnetico esiste pure intorno ad un solenoide. Il campo elettrico è invece lo spazio in cui si manifestano gli effetti della carica elettrostatica di un corpo.

Il primo è prodotto da una corrente elettrica, il secondo da una carica elettrostatica.

Il caso tipico del campo elettrico si riscontra nel condensatore. Quando un condensatore sia stato caricato con una certa quantità di elettricità avrà una armatura positiva e l'altra negativa. Le linee di forza del suo campo elettrico possono essere rappresentate schematicamente come nella fig. 63. Se prendiamo un filo conduttore AB e facciamo scaricare il condensatore, cesserà la corrente che produceva il campo elettrico. Tutte le linee di forza si avvicineranno al contatto del filo conduttore e ciò fino a tanto che il condensatore sarà completamente scaricato.

Questo spostamento produrrà una corrente elettrica attraverso il filo sino alla estremità delle armature, e questa corrente produrrà a sua volta un campo magnetico. Le linee di forza di questo campo saranno perpendicolari alle linee del campo elettrico. Possiamo quindi con-

cludere che quando le linee di forza elettriche corrono lungo un conduttore, esse generano una corrente, la quale a sua volta produce un campo magnetico. Le linee di questo sono perpendicolari al movimento delle linee di forza elettriche.

Consideriamo ora l'oscillatore di Hertz.

Esso consiste di due conduttori le cui estremità sono poste una di fronte all'altra. La distanza fra queste è regolata in modo che caricando i due conduttori possa scoccare una scintilla. Lo spazio fra le due punte si chiama *spazio spinterometrico*.

La fig. 64 rappresenta questo dispositivo; le linee rappresentano il campo elettrico intorno allo spinterometro quando esso è caricato. Quando scocca la scintilla lo

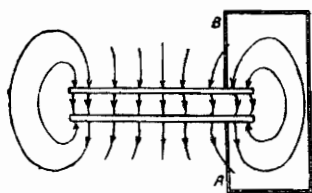


Fig. 63

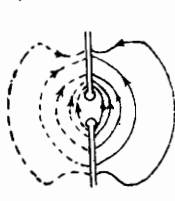


Fig. 64

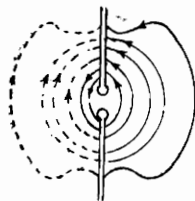


Fig. 65

spazio fra le due punte diviene conduttivo, le linee di forza si spostano verso lo spinterometro e per effetto della velocità si portano dalla parte opposta.

Nella fig. 65 vediamo la posizione di queste linee durante la scarica. In una fase successiva avremo, dopo avvenuta la scarica, i due capi dello spinterometro caricati con elettricità opposta a quella della carica precedente: le linee di forza prenderanno la direzione opposta in modo da formare degli anelli che andranno man mano appiattendosi (fig. 66) ed assumeranno dopo una semioscillazione la posizione della figura 67.

I due fasci di oscillazioni sono ora staccati e si allontanano attraverso lo spazio. Il fenomeno si ripeterà nelle fasi successive ed un altro fascio sarà irradiato dopo il primo e così di seguito. I fasci cilindrici si avvicinano, coll'allontanarsi dal centro, alla forma piana.

Le linee di forza magnetiche che sono prodotte dalla corrente dell'oscillatore assumono invece la forma di circoli con centro nell'oscillatore. Il piano di questa forza è perpendicolare al piano dell'oscillatore.

Le linee di forza magnetiche si propagano assieme a quelle elettriche. Anche le linee magnetiche assumono, con l'allontanarsi, una forma che si avvicina al piano; sono però perpendicolari alle linee elettriche.

Questo fenomeno, che si riscontra nella forma più primitiva del generatore di oscillazione ad alta frequenza, è il fondamento dell'irradiazione nelle comunicazioni senza filo. Le onde generate sono chiamate, dal nome del primo scienziato che le studiò, Hertz, onde hertziane.

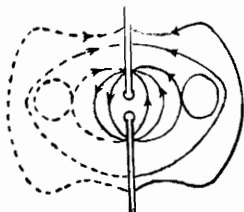


Fig. 66

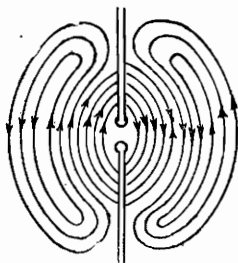


Fig. 67

Sebbene oggi la produzione delle onde non avvenga che nella radiotelegrafia a scintilla col sistema descritto, i fenomeni che si verificano sono sostanzialmente gli stessi.

Possiamo ora considerare quello che avviene in una antenna collegata ad un generatore come quello che abbiamo conosciuto ora. Prenderemo la forma più semplice di antenna, costituita da un filo verticale isolato perfettamente e collegato ad un capo dell'oscillatore a spinterometro. L'altra parte dello spinterometro sarà collegata alla terra. Il fenomeno sarà lo stesso come nel caso esaminato poc'anzi. Soltanto, poichè c'è il collegamento alla terra, si produrranno solamente le semionde come nella fig. 68.

Le linee elettriche sono rappresentate in sezione verticale, quelle magnetiche in sezione piana.

Se consideriamo le onde ad una certa distanza dal centro d'irradiazione, avremo press'a poco delle linee come nella fig. 69, le quali a loro volta corrispondono a delle variazioni sinusoidali, che sono analoghe a quelle che abbiamo conosciute dalla corrente alternata di frequenza industriale.

Come già rilevato, il modo di produzione delle onde non è oggi in uso e non viene in considerazione se si tratti delle trasmissioni radiofoniche. Vedremo in seguito come si producano le oscillazioni ad alta frequenza a mezzo di valvole. Comunque però il funzionamento ri-

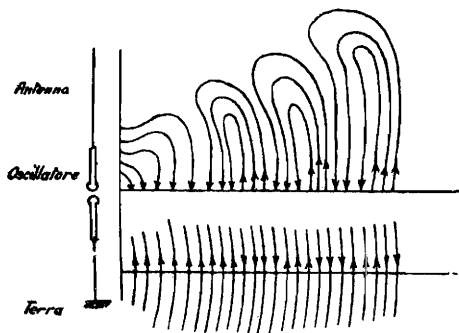


Fig. 68

mane lo stesso e il modo di irradiazione e di propagazione è pure uguale.

Se usiamo il sistema a scintilla avremo delle cariche e scariche periodiche attraverso lo spinterometro; le onde prodotte da questo sistema saranno formate da treni di oscillazioni che si spengono periodicamente e sono chiamate onde smorzate (fig. 70). Se invece le oscillazioni sono continue, cioè senza interruzione, sono chiamate persistenti. Le caratteristiche comuni di ambedue sono la variazione sinusoidale e l'altissima frequenza (fig. 71).

Le correnti alternate di natura industriale hanno una frequenza che varia di solito da un minimo di 30 ad un massimo di 60 periodi al secondo. Le frequenze delle correnti radiotelegrafiche variano invece dai 30.000 pe-

riodi al secondo in su e possono raggiungere perfino i 30.000.000 di periodi.

In luogo di periodi si usa di solito in radiotecnica la unità di misura di kilocicli, un kilociclo essendo eguale a 1000 periodi. Così 30.000.000 di periodi corrispondono a 30.000 kilocicli.

Convieni esaminare un po' più da vicino come avvenga la produzione delle onde smorzate e quali siano le principali caratteristiche.

Abbiamo considerato come avvenga la formazione del campo magnetico e di quello elettrico intorno ad uno spinterometro, partendo dalla premessa che i due capi siano periodicamente caricati di elettricità. Per ottenere ciò possiamo far uso di un circuito composto di un condensatore e di un'induttanza (fig. 72). Fra l'induttanza e il condensatore è inserito lo spinterometro. Se carichiamo questo condensatore le due armature avranno una quantità di elettricità di polarità opposta e tenderanno a scaricarsi attraverso l'induttanza e lo spinterometro. La corrente che si stabilirà nella scarica del condensatore produrrà, come sappiamo, una f. e. m. indotta nell'induttanza, la quale contrasterà il passaggio della corrente.

Dopo avvenuta la scarica gli effetti della f.e.m. indotta, avrà raggiunto il massimo e produrrà una corrente in senso contrario la quale a sua volta ricaricherà il condensatore, ma con polarità opposta a quella della carica precedente. Questo fenomeno si ripeterà e continuerebbe all'infinito, se non ci fosse la resistenza, per cui parte dell'energia va perduta in calore. Le cariche che si susseguono diminuiranno perciò gradualmente di intensità, fino ad estinguersi completamente. Questa diminuzione della corrente è chiamata smorzamento e le oscillazioni, oscillazioni smorzate.

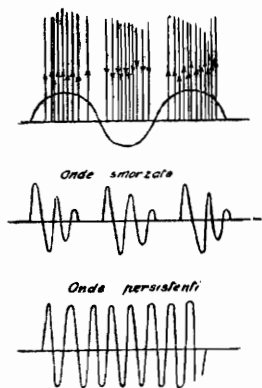
La forma delle oscillazioni smorzate sarà corrispondente a quella della figura 70. La caratteristica di questa curva consiste nella differenza di ampiezza; conviene però tener presente che la frequenza rimane la stessa, perchè dipende dalle caratteristiche del circuito.

Si mantiene pure costante il rapporto fra l'ampiezza delle oscillazioni, in modo che se il rapporto fra la prima

e la seconda oscillazione è di $3/4$, quello fra la seconda e la terza sarà pure di $3/4$.

Questo rapporto è chiamato il fattore di smorzamento o di decremento.

Le oscillazioni persistenti sono invece caratterizzate da un'ampiezza eguale di ogni oscillazione. Esse non decrescono come le onde smorzate e cessano quando viene a cessare il funzionamento del sistema dal quale sono prodotte.



Figg. 69-70-71

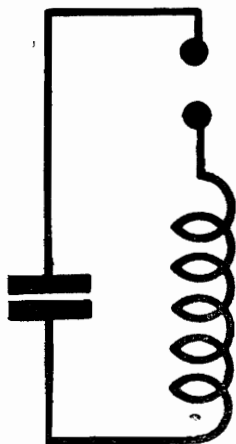


Fig. 72

Le oscillazioni che interessano direttamente la radiofonia sono quelle persistenti che avremo in seguito occasione di studiare più in dettaglio.

18. - La propagazione delle onde elettromagnetiche. - Loro proprietà.

Le onde elettromagnetiche prodotte sia a mezzo di una scintilla, sia a mezzo di un oscillatore ad onde persistenti, sono irradiate, come abbiamo veduto, dall'antenna trasmittente.

Esse producono un campo magnetico ed un campo elettrico che variano d'intensità in periodi brevissimi di

tempo, i quali dipendono dalla frequenza. Il campo elettrico è perpendicolare alla direzione di propagazione ed il campo magnetico è perpendicolare tanto alla direzione di propagazione che al campo elettrico: possiamo rappresentare questa posizione dei campi uno rispetto all'altro se ci figuriamo due piani che si intersecano ad angolo retto: uno rappresenta il senso del campo magnetico, l'altro quello del campo elettrico.

Va notato che le variazioni di intensità dei due campi sono perfettamente in fase (fig. 73).

La velocità con cui si propagano le onde elettromagnetiche è uguale a quella della luce, cioè di 300.000.000 di metri al secondo. La propagazione avviene in tutte le direzioni. La loro intensità diminuisce man mano che aumenta la distanza dal centro d'irradiazione.

Il mezzo attraverso il quale passano le onde influisce a seconda delle sue qualità elettriche sulle loro caratteristiche. Nella maggior parte dei mezzi si ha un certo grado di assorbimento di energia.

La costante dielettrica del mezzo può determinare una riflessione od una deviazione delle onde.

Un cattivo conduttore è il miglior mezzo per la propagazione delle onde, un buon conduttore può influire in diverse guise sulla propagazione. Se esso è posto in direzione del movimento delle onde il campo magnetico produrrà delle correnti nel conduttore stesso e guiderà così le onde.

L'assorbimento di energia sarà in questo caso minore se il conduttore è buono, maggiore se il conduttore è meno buono. Un conduttore di grande superficie, posto ad angolo retto colla direzione di propagazione, non lascerebbe passare affatto le onde, ma le rifletterebbe.

Ora, quando avviene una trasmissione senza filo, le onde che si propagano lungo la superficie terrestre incontrano nel loro cammino dei mezzi svariati, buoni e cattivi conduttori, materie con diverse costanti dielettriche. Tutti questi mezzi influiscono sulla propagazione, ne modificano le caratteristiche, producendo delle irregolarità, che si riscontrano quasi sempre nella ricezione.

Prescindendo dalla varietà della materia che l'onda elettromagnetica incontra nel suo cammino, lo spazio da essa percorso è limitato da due parti; in alto e in

basso, da materia la cui conduttività è diversa. In alto si ha l'aria rarefatta, in basso la terra. L'aria rarefatta subisce, in seguito ai raggi del sole, una ionizzazione che la rende conduttrice. Questo strato ionizzato, chiamato lo *strato di Heaviside*, riflette le onde elettromagnetiche.

Se consideriamo ora un centro di irradiazioni, ad esempio una stazione trasmittente, e seguiamo il cammino percorso dalle onde, vediamo che un treno segue la superficie terrestre nello strato più basso dell'atmosfera. Questo strato è bensì per sé un buon dielettrico e favorisce quindi la propagazione, ma i fenomeni di assor-

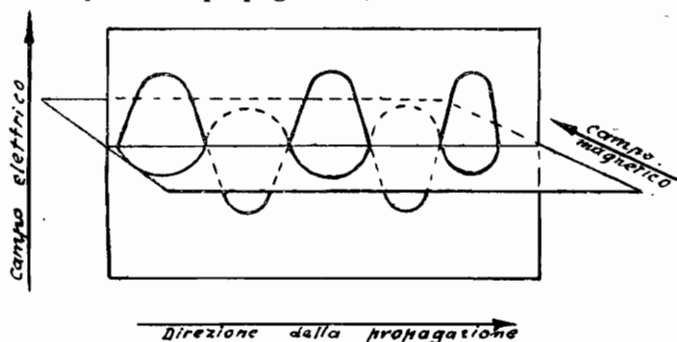


Fig. 73

bimento e di rarefazione producono delle irregolarità e ostacolano il cammino delle onde. Quella parte invece che si muove in direzione degli strati superiori è riflesso e ritorna quindi verso la superficie terrestre ove la loro energia si aggiunge a quella dei treni d'onda che percorrono l'atmosfera più bassa. La differenza fra la conduttività degli strati alti e di quelli bassi dell'atmosfera è molto più accentuata di notte che di giorno. Di conseguenza la ricezione dei segnali è migliore durante le ore notturne che di giorno. Questa diversità è determinata dai raggi solari. Per questo motivo si hanno anche le maggiori irregolarità durante le ore del tramonto, quando la posizione del sole rende più variabile le qualità elettriche dell'atmosfera.

Questa differenza fra le ore diurne e notturne si riscontra ad una certa distanza dal centro irradiante. Nella zona più vicina non si ha la combinazione delle onde riflesse con le onde dirette, ma si ricevono soltanto queste ultime, che in seguito al minor cammino percorso hanno un'energia maggiore.

Un altro fenomeno da notare è la regolarità della propagazione sulla superficie del mare, e quindi la ricezione migliore e più regolare nelle località site in riva al mare. Ciò si spiega facilmente con le considerazioni svolte più sopra. L'assenza completa di oggetti e materie che possono rifrangere od assorbire l'energia permette alle onde di propagarsi regolarmente e con perfetta uniformità.

Il mezzo attraverso il quale viaggiano le onde è, come abbiamo visto, l'atmosfera. Ma noi tutti sappiamo che l'atmosfera è soggetta a variazioni, talvolta perfino brusche e violente, delle sue qualità elettriche. Durante i mesi estivi i fenomeni elettrici si accentuano e diventano più frequenti.

La densità dell'atmosfera è soggetta a variazioni più frequenti ed è la sede di cariche d'elettricità statica che determinano differenze di potenziale fra la terra e gli strati dell'atmosfera rispettivamente fra punti diversi dell'atmosfera. Questi fenomeni elettrici, che raggiungono il loro culmine nelle scariche chiamate, nel linguaggio comune, fulmini, devono necessariamente influire sul cammino delle onde elettromagnetiche e produrre delle irregolarità nella loro propagazione. Di più, le scariche stesse ed in genere i fenomeni elettrici producono delle onde elettromagnetiche che si uniscono a quelle irradiate e si manifestano nella ricezione.

Questi disturbi atmosferici sono i fenomeni più sgradevoli che accompagnano le radiotrasmissioni e rendono difficili e perfino talvolta impossibili le comunicazioni senza filo durante i mesi estivi oppure nei paesi tropicali. A questi disturbi si possono anche aggiungere le scariche di elettricità che avvengono attraverso l'antenna. Purtroppo non è stato finora possibile trovare un rimedio efficace contro questi disturbi.

29. - Il meccanismo della trasmissione e della ricezione delle onde elettromagnetiche. - Frequenza e lunghezza d'onda.

L'organo che serve ad irradiare l'energia è l'aereo. Questo può essere costituito tanto da un semplice filo conduttore verticale, che da un filo conduttore orizzontale ed è collegato all'apparecchio che produce le oscillazioni di cui abbiamo conosciuto la forma più rudimentale. Per poter ora studiare il meccanismo della trasmissione e della ricezione, ci rappresenteremo la forma più semplice d'aereo, cioè il conduttore verticale, ed

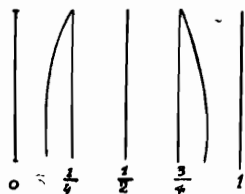


Fig. 75 - Variazioni di corrente in un'antenna durante un periodo.

ammetteremo che esso sia la sede di oscillazioni elettromagnetiche prodotte con uno dei mezzi che impareremo a conoscere in seguito più da vicino. Una corrente circolerà quindi nell'aereo, ma questa corrente non avrà la stessa intensità in tutti i punti dell'antenna. Infatti l'antenna può essere considerata come l'armatura di un condensatore, di cui l'altra è costituita dalla terra.

Come nel condensatore, avremo una corrente di spostamento, che va alla terra. Questa corrente avrà la massima intensità nel punto più vicino alla terra e diminuirà verso l'estremità libera dell'aereo, ove sarà completamente nulla.

Il caso contrario si verificherà invece per la tensione; questa avrà il massimo valore all'estremità libera e sarà nulla al punto più vicino alla terra (fig. 74).

Siccome però la corrente dell'aereo non è continua, ma alternata, essa avrà un moto oscillatorio, varierà cioè d'intensità in tutti i punti, e la variazione non sarà uguale; essa sarà massima al punto più vicino alla terra e sarà nulla all'estremità libera, finchè sarà nulla in tutti i punti. Dopo raggiunto lo zero, la corrente comincerà a circolare in senso opposto ed aumenterà fino a raggiungere il massimo al punto più vicino alla terra, mentre all'estremità libera sarà sempre nulla. E così di seguito la corrente passerà attraverso l'intero periodo, precisamente come avviene nella corrente alternata in genere. Potremo quindi rappresentare le variazioni di corrente in un aereo trasmettente come nella fig. 75.

Vediamo che all'estremità più alta, la corrente è sempre nulla, e che nella fase del massimo valore l'intensità massima è dalla parte della terra. Si avrà quindi



Fig. 76 - Propagazione del moto ondoso.

sempre la variazione massima di corrente al punto più vicino alla terra.

Un periodo intero di oscillazioni si produce in un determinato intervallo di tempo. La frequenza indica quante volte al secondo il ciclo si ripete. Queste oscillazioni dell'aereo producono, come abbiamo veduto, delle variazioni nel medio che lo circonda, le quali hanno lo stesso periodo e si propagano in tutte le direzioni. La velocità di propagazione è di 300.000.000 di metri al secondo.

Possiamo rappresentare queste oscillazioni nello spazio intorno all'antenna come nella fig. 76.

Ammettendo che al punto A sia sita l'estremità dell'aereo, le variazioni si susseguiranno attraverso lo spazio nella misura segnata dalla curva. Nello spazio fra i punti A e C avremo un intero periodo.

Poichè sappiamo che la velocità di propagazione è di 300.000.000 di metri al secondo, potremo calcolare facilmente la distanza che passa fra i punti A e C, se co-

nosciamo la frequenza della oscillazioni. Ammettiamo, ad esempio, che la frequenza sia di 100.000 cicli al secondo. Se l'onda percorre una distanza di 300.000.000 di metri al secondo la lunghezza di un ciclo sarà data dal quoziente $\frac{300.000.000}{100.000}$ cioè 3000, il quale rappresen-

terà la distanza fra *A* e *C*. Vediamo quindi che la distanza fra i due nodi varia colla frequenza e precisamente in senso inverso. Ad una frequenza maggiore corrisponde una distanza minore. Questa distanza fra i due punti nodali estremi di un ciclo si chiama la lunghezza d'onda.

Se esaminiamo una delle curve della corrente nell'aereo, come rappresentata nella fig. 76, vediamo che essa corrisponde ad una quarta parte di un ciclo.

Da ciò possiamo dedurre che la lunghezza d'onda naturale di un'antenna è uguale al quadruplo della sua lunghezza.

In pratica si può calcolare che il fattore è un po' superiore a quattro. Di solito si usa come costante 4.2 per determinare con una certa approssimazione la lunghezza di onda naturale di un'antenna.

Stando a queste considerazioni, la frequenza delle onde trasmesse dipenderebbe unicamente dalla lunghezza dell'antenna. Per cambiare la frequenza rispettivamente la lunghezza d'onda sarebbe necessario cambiare la lunghezza dell'aereo. C'è però un altro mezzo più semplice per farlo.

Infatti, se inseriamo fra l'antenna e la terra un'induttanza, la lunghezza d'onda non sarà più quella, ma sarà modificata e sarà tanto maggiore quanto più elevato sarà il valore dell'induttanza. Se colleghiamo ai capi dell'induttanza un condensatore variabile, la lunghezza di onda potrà essere ancora modificata variando la capacità.

Avremo occasione in seguito di studiare più da vicino tutti questi fenomeni; per ora ci basterà sapere che l'aereo ha una lunghezza d'onda naturale la quale può essere modificata coll'aiuto di un circuito inserito in serie.

Le stesse caratteristiche presenta pure l'aereo ricevente: anch'esso ha la sua lunghezza d'onda naturale

la quale può essere variata coll'aiuto di un circuito oscillante. Anche l'aereo ricevente presenta gli stessi fenomeni che abbiamo studiato sull'aereo trasmittente. Ma mentre nell'antenna trasmittente la corrente raggiunge un valore elevato, nell'aereo ricevente si tratta di correnti di minimo valore.

Esso varia colla frequenza dell'aereo. Più essa si avvicina alla frequenza delle onde trasmesse, tanto maggiori saranno le oscillazioni: quando la frequenza sarà la stessa si avrà il massimo valore. Allora i due aerei saranno *in risonanza*.

La conoscenza di questi fenomeni ci permette di formarci un concetto di come avvenga la trasmissione e la ricezione nelle comunicazioni senza filo.

Dalla stazione che trasmette, sono prodotte oscillazioni di una data frequenza, la quale è determinata dalle caratteristiche dell'aereo e del circuito oscillante che ad esso è collegato. Queste oscillazioni sono irradiate dall'aereo, si propagano attraverso lo spazio e inducono delle correnti oscillatorie in ogni conduttore che incontrano, il quale abbia una frequenza di oscillazione vicino a quella della trasmissione. Esse colpiscono quindi ogni aereo ricevente. Se poi questo è accordato in modo che la sua frequenza sia uguale a quella delle oscillazioni in arrivo, si produrranno in esso variazioni elettromagnetiche che possono a loro volta subire un'amplificazione e produrre dei fenomeni meccanici od acustici.

È ovvio che quanto più ci allontaniamo dall'aereo trasmittente, tanto minore sarà il valore delle correnti prodotte nell'aereo ricevente, e ad una certa distanza avremo delle variazioni talmente piccole che non si potranno più utilizzare in pratica. La distanza che può essere coperta da una stazione trasmittente, o meglio il raggio entro il quale si possano ricevere ancora dei segnali percettibili, dipende dall'altezza dell'aereo trasmittente, e dall'intensità della corrente, dalla quale esso è percorso. Si può esprimere la relazione fra l'energia trasmessa e l'energia captata dall'aereo ricevente colla formula:

$$I_r = \frac{188 h_t h_r I_t}{R \lambda d}$$

In questa formula :

- h_t significa l'altezza dell'aereo trasmittente;
- h_r l'altezza di quello ricevente;
- I_t l'intensità di corrente dell'aereo trasmittente;
- R la resistenza del circuito ricevente;
- λ la lunghezza d'onda;
- d la distanza fra le due stazioni;
- I_r è l'intensità di corrente nell'aereo ricevente.

Questa relazione vale quando ambedue le stazioni abbiano un'antenna orizzontale. Se nel circuito ricevente fosse impiegato un altro tipo di aereo, come ad esempio il telaio, la relazione andrebbe modificata.

Convieni ora esaminare questa formula. Innanzi tutto risalta la questione dell'altezza degli aerei. L'intensità della corrente è direttamente proporzionale tanto all'altezza dell'aereo trasmittente che a quella dell'aereo ricevente.

Per altezza si intende la distanza dell'aereo dalla terra; quando esso è piantato direttamente al suolo, l'altezza sarà misurata dal suolo. Quando invece l'aereo è piantato su un tetto, l'altezza si misura dal tetto perchè tutto il fabbricato forma un corpo solo colla terra ed è allo stesso potenziale della terra.

Il secondo fattore che influisce sulla ricezione è l'intensità della corrente che percorre l'antenna trasmittente.

La ricezione è invece inversamente proporzionale alla distanza, e alla resistenza del circuito ricevente.

Infine vediamo che la ricezione dipende anche dalla lunghezza d'onda. A parità di condizioni si avrà nel circuito ricevente una corrente tanto maggiore quanto più corta la lunghezza d'onda usata.

Noi possiamo determinare più esattamente l'intensità di ricezione prendendo per base l'intensità del campo elettrico prodotto dall'aereo trasmittente. Questa intensità si esprime in microvolta per metro. Il minimo di intensità necessario perchè sia possibile una ricezione discreta è di circa 5 microvolta.

Va notato però che tutti questi calcoli hanno soltanto un valore teorico, e possono dare soltanto un'idea ap-

prossimativa dell'effetto, perchè, come abbiamo visto, il cammino delle onde elettromagnetiche è influenzato dalla configurazione del terreno e da molti altri fattori dei quali non è possibile tener conto in un calcolo matematico.

Il meccanismo usato per la trasmissione telegrafica e per la telefonica è nel principio lo stesso. Il problema si presenta però molto più semplice, se si tratta della telegrafia.

Tutti sanno che in questo caso si tratta della trasmissione di segnali, che sono composti di punti e strisce. Tradotti fonicamente, essi significano segnali brevi e segnali lunghi.

Per esprimere una lettera ed una cifra si raggruppano in modi determinati i segnali brevi coi segnali lunghi, lasciando un intervallo più lungo fra i segnali che compongono ogni singola lettera. Il modo di raggruppare questi segni è stato inventato dal Morse ed è in uso fin dalle prime applicazioni del telegrafo.

I segnali sono perciò chiamati segnali Morse.

È ovvio che per trasmettere segnali telegrafici basterà regolare l'apparecchio in modo che esso possa funzionare per brevi tratti, e che si possa interrompere la trasmissione con un dispositivo semplice.

Ciò avviene come per il telegrafo a filo mediante un interruttore. Le onde generate dall'apparecchio possono essere tanto persistenti che smorzate. Nel primo caso l'effetto sarà di produrre nell'apparecchio ricevente un suono simile al fischio, nel secondo un suono rauco simile a quello di un cicalino.

Le stazioni ad onde smorzate, prodotte a mezzo di scintilla, sono ormai antiquate e non si usano più.

Quando si tratti della telefonia la cosa è un po' diversa, e meno semplice. Per trasmettere il suono e la parola non è sufficiente disporre di una corrente ad alta frequenza, ma si ha bisogno di onde persistenti le quali devono essere modulate.

Qui è necessario esaminare brevemente la caratteristica dei suoni. Ogni suono che giunga al nostro orecchio è prodotto da vibrazioni dell'aria. Queste vibrazioni dell'aria hanno le stesse caratteristiche delle onde dell'acqua e delle onde elettriche.

Esse hanno un moto ondoso ed hanno un periodo di vibrazione proprio. In esse si riscontra pure il fenomeno della risonanza. Ad ogni suono corrisponde un movimento caratteristico dell'aria. Ad ogni nota musicale corrisponde un periodo di oscillazione determinato. Così il *la* dell'orchestra (*la*₄) è stato fissato a 870 vibrazioni al secondo. Questo corrisponde al *la* temperato dell'ottava media del pianoforte. Il limite dei suoni musicali che colpiscono il nostro orecchio, e che noi siamo in grado di percepire e valutare, varia da 32 a 7000 vibrazioni al secondo.

Il procedimento usato per la trasmissione nella telefonia con filo consiste nel trasformare le vibrazioni acustiche in vibrazioni elettriche che abbiano le stesse caratteristiche. Ciò si ottiene mediante il *microfono*.

Il microfono è basato sulla resistenza che certe qualità di carbone compresso offrono al passaggio della corrente elettrica: questa resistenza varia a seconda del grado di compressione. Se si comprime del carbone in un recipiente che abbia i due lati opposti di materia conduttrice e se si fa passare una corrente elettrica attraverso il carbone, questo opporrà una determinata resistenza al passaggio della corrente. La resistenza varierà secondo il grado di compressione del carbone.

Se si comunica a mezzo di un dispositivo adatto la vibrazione dell'aria prodotta da un suono ad uno dei lati della capsula, varierà il grado di compressione del carbone e di conseguenza l'intensità della corrente elettrica.

Le variazioni di corrente saranno corrispondenti alle vibrazioni dell'aria. Se si inserisce nel circuito un ricevitore telefonico comune, si potranno, a mezzo di questo, trasformare nuovamente in vibrazioni acustiche le variazioni elettriche e si avrà così una trasmissione del suono a distanza.

Il ricevitore telefonico consiste di un magnete i cui poli sono uniti a due espansioni di ferro dolce. Su questo è fatto un avvolgimento di filo sottilissimo i cui capi vengono collegati al circuito telefonico. Di fronte alle due espansioni è posta una lamina di ferro dolce.

Quando una corrente attraversa i due rocchetti si produce una variazione del flusso magnetico e la lamina

sarà attratta più o meno, a seconda della corrente. La lamina seguirà tutte le variazioni della corrente e produrrà un suono che sarà corrispondente a quello ricevuto dal microfono.

La fig. 77 rappresenta la sezione di un microfono e la fig. 78 quella di un ricevitore telefonico. La fig. 79 rappresenta tutto il circuito.

Nella radiotelegrafia sono impiegati pure il microfono e il ricevitore telefonico. Ma per render possibile l'irradiazione delle onde, è necessario che la loro frequenza sia molto elevata, mentre quella acustica è invece molto

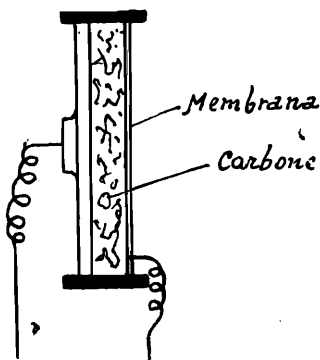


Fig. 77 - Principio del microfono.

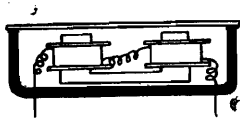


Fig. 78



Fig. 79 - Schema di principio di una installazione telefonica con filo.

bassa. Si ricorre allora ad un altro mezzo: si sovrappongono le oscillazioni di ordine acustico, o di bassa frequenza, a quelle di alta frequenza, e si ottiene così una oscillazione di alta frequenza che presenta continue variazioni di ampiezza.

Questo procedimento è chiamato *modulazione*.

Una rappresentazione grafica varrà a chiarire meglio questo procedimento. La fig. 80 a rappresenta un'onda sinusoidale ad alta frequenza.

La fig. 80 b rappresenta un'oscillazione a bassa frequenza corrispondente alle vibrazioni acustiche. Se si sovrappone quest'ultima all'oscillazione ad alta frequenza, ne risulta un'onda come quella della fig. 80 c. Essa

presenta delle caratteristiche diverse delle due componenti.

Come si possa ottenere la modulazione si vedrà in seguito, quando ci occuperemo della valvola termoionica.

Il mezzo più semplice consiste nell'inserire nel circuito dell'aereo trasmittente il microfono della fig. 81.

Nel propagarsi, le oscillazioni mantengono le variazioni prodotte dalla modulazione, e quando esse sono

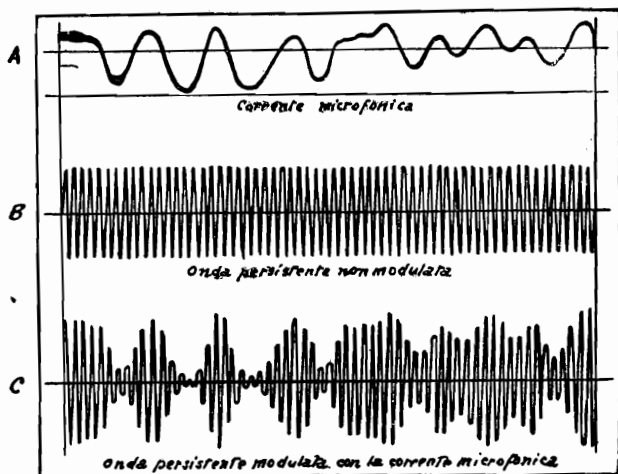


Fig. 80

raccolte dal collettore d'onda del circuito ricevente, presentano sempre tutte le caratteristiche della modulazione.

Per ricevere le trasmissioni, abbiamo veduto che è sufficiente un collettore d'onda collegato ad un circuito oscillante, a mezzo del quale il sistema possa essere accordato sulla lunghezza d'onda della stazione che trasmette, premesso, naturalmente, che l'energia raccolta sia abbastanza forte da azionare la membrana del ricevitore telefonico.

Pure se si tratta di trasmissioni radiofoniche, un cir-

cuito così costruito lascerebbe muto il telefono anche se l'energia fosse molto grande.

Le oscillazioni hanno una frequenza troppo elevata perchè la membrana possa seguire tutte le variazioni. Si ricorre allora alla rettificazione delle oscillazioni.

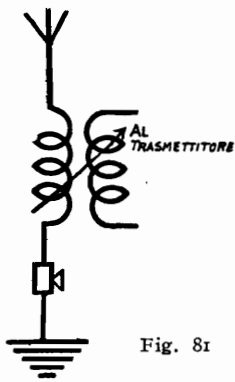


Fig. 81

Se esaminiamo una delle curve, che rappresentano le variazioni della corrente oscillatoria, vediamo che la corrente aumenta da zero, prendendo un valore positivo, discende poi nuovamente a zero e prende un valore negativo; meglio ancora la corrente cambia di direzione e questo cambiamento avviene con rapidità enorme, la quale dipende dalla frequenza dell'oscillazione.

Se si inserisce nel circuito un dispositivo che lasci passare la corrente in un senso soltanto, le caratteristiche della curva saranno alquanto modificate. Avremo bensì

delle variazioni corrispondenti, ma queste si produrranno in un senso soltanto. Si avrà quindi una corrente non più oscillatoria, ma pulsante.

L'ampiezza di ogni singola variazione sarà corrispondente a quella impressa mediante la modulazione che è segnata in tratteggio nella fig. 82.

Il telefono riceverà questi impulsi, i quali, essendo sempre nella stessa direzione, produrranno un movimento della membrana.

Questa, per la sua inerzia, non seguirà ogni singolo impulso ad alta frequenza, ma compirà un movimento corrispondente all'ampiezza delle creste degli impulsi e il movimento vibratorio risultante avrà le caratteristiche della linea tratteggiata, rispettivamente dalla curva C, la quale sarà perfettamente corrispondente alle variazioni della corrente microfonica che ha servito per la modulazione.

Si avrà in questo modo una riproduzione del suono, colle caratteristiche uguali a quelle del microfono. La fedeltà di riproduzione dipenderà dalla qualità del microfono e da quella del telefono.

In pratica le correnti sono amplificate prima di essere trasmesse a mezzo dell'aereo, e possono essere pure amplificate nel sistema ricevente.

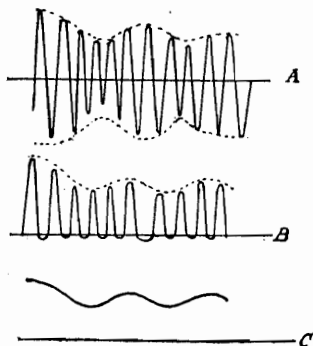


Fig. 82 - A) Corrente ad alta frequenza modulata; la linea tratteggiata rappresenta la variazione della corrente microfonica a bassa frequenza. - B) Forma della curva dopo la rettificazione. - C) Corrente pulsante a bassa frequenza.

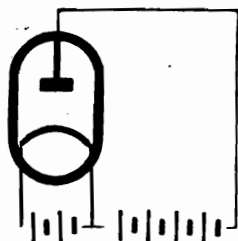


Fig. 83

Quest'ultima amplificazione è necessaria quando si vogliono ricevere delle oscillazioni provenienti da stazioni lontane, la cui energia non sarebbe sufficiente a muovere la membrana del telefono. Questa amplificazione si compie a mezzo della valvola termoionica.

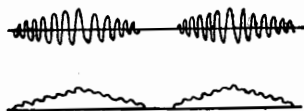


Fig. 84

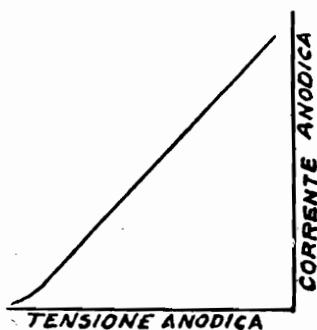


Fig. 85

Quando le oscillazioni sono amplificate, anche i sistemi di amplificazione, tanto quello usato nella trasmittente che quello del circuito ricevente, hanno un'influenza sulla fedeltà di riproduzione e possono alterare le caratteristiche del suono.

Per quanto riguarda la rettificazione o rivelazione, il mezzo più semplice consiste nell'impiego di un rivelatore a cristallo. Negli apparecchi a valvola, la rivelazione è prodotta a mezzo di una valvola.

20. - La valvola termoionica.

La valvola termoionica è basata sull'effetto Edison. Egli aveva osservato per il primo, ancora quando si costruirono le prime lampadine elettriche ad incandescenza, un fenomeno di cui non trovò la spiegazione. Egli introdusse nel bulbo di una lampadina un altro elettrodo della forma di una placca metallica che aveva un filo di collegamento esterno (fig. 83).

Quando il filamento diveniva incandescente, se si collegava la placca al polo negativo della batteria che accendeva il filamento non passava alcuna corrente attraverso il conduttore della placca; ma se la si collegava al polo positivo un galvanometro inserito nel circuito segnava il passaggio di una corrente. La corrente cessava appena la temperatura del filamento si abbassava sotto un certo limite.

Questo fenomeno è dovuto all'emissione elettronica. È noto che i liquidi evaporano da un recipiente aperto. Gli atomi che sono alla superficie si allontanano, divengono liberi e si muovono fra gli atomi dell'aria. Lo staccarsi di questi atomi è la causa dell'evaporazione. Gli atomi che si trovano alla superficie, i quali hanno la massima velocità sono quelli che abbandonano prima gli altri atomi. Rimangono nel liquido quelli che hanno minore velocità: ma una minore velocità degli atomi produce una temperatura minore. Così si spiega che il liquido che evapora ha una temperatura più bassa. L'alcool lasciato ad evaporare diminuisce di parecchi gradi di temperatura. Quanto maggiore è la temperatura degli atomi tanto più facilmente si staccheranno dalla superficie del liquido e vinceranno la coesione cogli altri.

Un fenomeno analogo si ha anche nei metalli. Se un metallo è riscaldato esso si ricopre di un ossido e questo impedisce che avvenga un processo simile all'evaporazione. Ma se il metallo viene riscaldato nel vuoto si staccheranno da esso degli elettroni. Così in una lam-

padina che ha il filamento nel vuoto, quando la temperatura raggiunge un certo grado di calore si staccano dal filamento numerosi elettroni. Siccome essi sono più leggeri degli atomi è sufficiente una temperatura più bassa perchè si abbia il fenomeno degli elettroni liberi.

Il fenomeno è chiamato comunemente *emissione elettronica*. Nel caso dell'Edison la placca collegata alla batteria attraeva gli elettroni emessi dal filamento se la placca era collegata al polo positivo. Si formava così una corrente di elettroni tra filamento e placca. Essi entravano nella placca, passavano attraverso il filo conduttore e ritornavano al filamento.

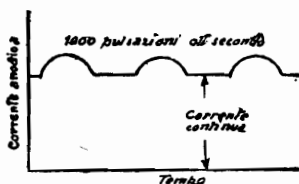


Fig. 86



Fig. 87



Fig. 88

Per circa vent'anni l'effetto Edison era noto ma non era sfruttato in pratica. Il Fleming ebbe insieme a Marconi l'idea di utilizzarlo per ottenere la rettificazione dei segnali telegrafici ad alta frequenza.

Tale rettificazione o rivelazione avviene in modo analogo a quella ottenuta col cristallo. Le oscillazioni prodotte da una stazione a scintilla presentano la forma come in figura 84.

La frequenza delle oscillazioni trasmesse dall'aereo sia ad esempio di 1.000.000 al secondo ed i gruppi di 1000 al secondo. L'orecchio non può percepire vibrazioni di 1.000.000 al secondo, bensì 1000 vibrazioni.

È perciò necessario usare nel circuito ricevente un dispositivo che dia al telefono un impulso per ogni singolo treno d'onda. Se si inserisce in serie col telefono un dispositivo che permetta alla corrente di passare in un senso solo (dispositivo rettificatore) la corrente nel telefono avrà l'aspetto rappresentato dalla parte inferio-

re della fig. 84. Ogni impulso consiste di un treno d'onde rettificato. Ognuno di questi impulsi darà un movimento alla membrana del telefono, così si otterrà che i treni di onde ad alta frequenza producano al telefono una nota udibile di 1000 vibrazioni.

In altre parole il Fleming utilizzò degli impulsi elettrici in luogo delle correnti e questi impulsi si dimostrano atti a produrre una nota musicale al telefono.

Il Fleming sfruttò l'effetto Edison per rettificare i segnali radiotelegrafici nella maniera illustrata dalla fig. 83. Il filamento veniva portato alla temperatura necessaria a mezzo della batteria di accensione. L'elettrodo addizionale, la placca, veniva tenuta ad un potenziale positivo a mezzo della batteria anodica. Gli elettroni passavano dalla placca al telefono e di lì al filamento.

Quando arrivava il segnale radiotelegrafico la d.d.p. fra placca e filamento veniva aumentata o diminuita. La corrente di placca varia con la tensione anodica, come si vede dalla curva della fig. 85.

Si deve notare che usando il detector di Fleming una corrente passerà sempre attraverso il telefono.

Questa corrente, essendo continua, non produrrà nessun suono al telefono. Solamente le variazioni di corrente si manifesteranno al telefono. La forma della corrente è rappresentata dalla fig. 86.

Lo stesso sistema di rettificazione a mezzo della valvola di Fleming o « diodo » può essere impiegato anche per la rettificazione delle oscillazioni modulate delle trasmissioni radiofoniche. In luogo di un treno d'onde ad alta frequenza si avrà allora un'oscillazione ad alta frequenza modulata.

In luogo di avere al telefono singoli impulsi della stessa ampiezza come nel caso che abbiamo considerato, avremo delle vibrazioni di frequenza musicale che riprodurranno la parola o la musica.

L'INTRODUZIONE DI UN TERZO ELETTRODO NELLA VALVOLA.

Il De Forest ha introdotto nella valvola termoionica come realizzata dal Fleming un terzo elettrodo. Questa modificazione significa forse il più grande progresso compiuto nella radiotecnica.

Egli ebbe l'idea di introdurre una griglia tra il filamento e la placca in modo che la corrente di elettroni dovesse passare attraverso questa griglia. Questa valvola a tre elettrodi chiamata comunemente triodo o semplicemente valvola termoionica è ancora oggi in uso; essa è la base della radiotecnica moderna (fig. 87).

La disposizione di un triodo è rappresentata (fig. 88) da una linea tratteggiata fra il filamento e la placca. Un elettrone *a* che è emesso dal filamento viene attratto dalla placca alla quale è dato un potenziale positivo a

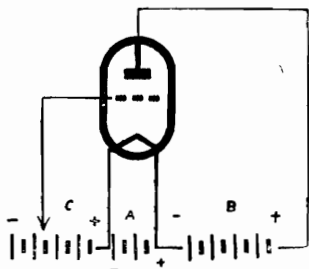


Fig. 89

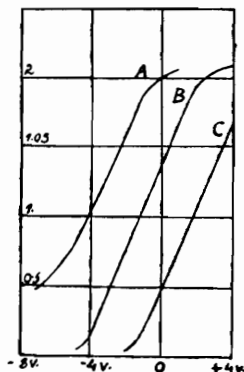


Fig. 90

mezzo della batteria anodica. Per giungere alla placca l'elettrone deve però passare attraverso le maglie della griglia e questa griglia può avere una carica positiva oppure negativa.

Il potenziale è fornito alla griglia dalla batteria C (fig. 89). Se il potenziale di griglia è positivo, l'elettrone è attratto e il suo passaggio alla placca viene favorito dalla griglia. Qualche elettrone andrà però alla griglia stessa.

Se aumentiamo il potenziale positivo della griglia, il flusso di elettroni verso la placca diverrà sempre maggiore. Questo aumento della corrente di placca continuerà fino a tanto che tutti gli elettroni che si staccano affluiranno alla placca.

Quando il potenziale positivo avrà raggiunto un certo grado, tutti gli elettroni emessi andranno alla placca ed in parte alla griglia ed un ulteriore aumento del potenziale della griglia non produrrà più nessun aumento della corrente di placca. Questa corrente massima di placca è chiamata *corrente di saturazione*.

Se diamo invece alla griglia un potenziale negativo invertendo i capi della batteria C, gli elettroni, che possono arrivare alla placca soltanto attraverso le maglie della griglia, saranno da questa respinti.

Che cosa succederà ora? Alcuni elettroni saranno respinti nuovamente verso il filamento dal quale son emessi; altri riesciranno invece a passare attraverso la griglia e raggiungeranno la placca con una velocità maggiore che se la griglia non ci fosse. Difatti una volta passata la griglia essi si trovano nello spazio fra griglia e placca e sono attratti da quest'ultima che ha un potenziale positivo, mentre sono contemporaneamente respinti dalla griglia negativa.

Quanto maggiore è il potenziale negativo della griglia, tanto maggiore sarà l'ostacolo incontrato dagli elettroni. Nelle valvole comuni usate nei radiocircuiti bastano alcuni volta di potenziale negativo per impedire completamente il passaggio di un flusso elettronico dal filamento alla placca.

Quando la tensione della batteria di placca è mantenuta costante, una variazione graduale del potenziale di griglia produce una variazione della corrente di placca.

Queste variazioni sono rappresentate dalle curve della fig. 90. Come aumenta il potenziale di griglia (curva A) aumenta anche la corrente di placca fino a che sia raggiunta la corrente di saturazione. Da questo momento un ulteriore aumento del potenziale di griglia non produce più nessun effetto sulla corrente anodica.

Se produciamo le stesse variazioni del potenziale di griglia con una corrente anodica maggiore, otterremo la curva C. Con una valvola comune si ottiene la curva A, con una tensione di placca di 10 volta; la curva B, con una tensione di 20 volta e la curva C con una tensione di 30 volta.

Da questa curva risulta che a mezzo della tensione di

griglia si può regolare la corrente di placca come nella valvola di Fleming si regola a mezzo della tensione di placca.

Ma con un'opportuna costruzione degli elettrodi, una variazione di 1 volta della tensione di griglia può produrre una variazione della corrente di placca che è 100 volte maggiore di quella prodotta dalla stessa variazione della corrente di placca. Ciò significa che la griglia costituisce un controllo sensibilissimo sul flusso elettronico del circuito di placca ed ha su questa la funzione di una valvola.

Oscillazioni radioelettriche relativamente deboli, applicate alla griglia in modo da variare il suo potenziale, producono delle variazioni di corrente anodica che sono molto maggiori di quelle che si produrrebbero con la valvola di Fleming col circuito che abbiamo esaminato nel precedente capitolo.

Se le maglie della griglia sono più strette e rispettivamente lo spazio fra le spire della griglia minore, si otterrà un'amplificazione maggiore; perchè la valvola possa dare i migliori risultati, è necessario che la tensione di placca sia scelta giustamente per ogni valvola.

LA VALVOLA COME RIVELATRICE.

Per ottenere una rettificazione delle oscillazioni col triodo, si usa molto spesso inserire fra la griglia ed il circuito oscillante un condensatore fisso di piccola capacità. In questo caso lo schema è quello della fig. 91.

Un condensatore fra griglia e circuito oscillante è shuntato con una resistenza e il circuito di griglia è collegato al positivo della batteria di accensione.

Il funzionamento della valvola è in questo caso un po' diverso da quello che abbiamo esaminato precedentemente.

Quando una oscillazione in arrivo produce una d.d.p. ai capi del condensatore C_1 , la griglia cambierà continuamente di potenziale seguendo le oscillazioni come se il condensatore C non ci fosse.

Quando la griglia diviene positiva, essa attrae a sè una parte degli elettroni che passano attraverso le sue maglie nel loro percorso verso la placca. Quando la gri-

glia diviene negativa questi elettroni non possono allontanarsi dalla griglia perchè non possono staccarsi da un metallo freddo.

Quando la griglia diviene nuovamente positiva, al principio del prossimo ciclo, sono attratti nuovamente altri elettroni alla griglia. Si accumuleranno quindi elettroni fino a tanto che durano le oscillazioni in arrivo e la quantità di elettroni dipenderà dal grado di potenziale positivo che è stato applicato alla griglia dalle singole oscillazioni.

Una oscillazione forte produrrà un potenziale fortemente positivo, mentre un'oscillazione debole produrrà

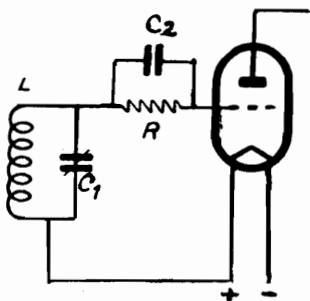


Fig. 91

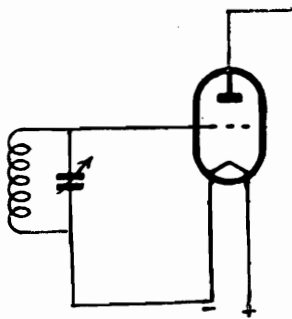


Fig. 92

un potenziale minore. Si accumuleranno quindi più elettroni con oscillazioni forti che non con oscillazioni deboli.

Questa accumulazione di elettroni nella griglia la renderebbe così negativa che la corrente di placca rimarrebbe costantemente bassa e l'azione rettificatrice della valvola darebbe un minimo rendimento, se non si provvedesse a che questi elettroni accumulati ritornino al filamento dal quale sono venuti.

A questo scopo serve la resistenza R . Gli elettroni che si sono accumulati nei periodi in cui la griglia era positiva, e che non si possono allontanare nell'interno della valvola per emissione, ritornano al filamento attraverso la resistenza R e l'induttanza L .

I valori di R e C_2 devono essere giusti perchè la valvola possa funzionare nelle condizioni migliori. Per le

valvole usuali, C_2 ha di solito un valore di 0,0002 mF e R di 2-3 megohm.

La valvola termoionica può funzionare da rivelatrice anche senza il condensatore di griglia shuntato da una resistenza. La rettificazione si produrrà anche in un circuito dello schema come quelli della fig. 92. In questo caso il potenziale di griglia deve essere regolato in modo che allo stato di riposo la corrente anodica sia vicina al minimo, in modo che una diminuzione del potenziale di griglia non produca alcuna variazione della corrente anodica.

La corrente oscillatoria ricevuta dall'aereo produce per induzione una corrente corrispondente nel circuito oscillante, il quale sarà accordato esattamente sulla lunghezza d'onda delle oscillazioni in arrivo. Queste oscillazioni saranno applicate alla griglia della valvola e tutte le variazioni del potenziale di griglia saranno riprodotte corrispondentemente dalla corrente di placca in conformità alle curve della figura 90.

Una parte della curva B della figura è tracciato nuovamente nella figura 93.

La curva sotto la linea orizzontale rappresenta la d.d.p. prodotta da un treno d'onda in arrivo ed applicata alla griglia. Ad ogni potenziale della griglia corrisponde una determinata corrente di placca. I valori di queste correnti di placca sono rappresentati dalla curva superiore.

Data la caratteristica delle correnti di placca la fase positiva dell'oscillazione impressa alla griglia produce una variazione più ampia della corrente anodica che non la fase negativa della stessa ampiezza.

Un aumento del potenziale di griglia in senso positivo produce una variazione di corrente anodica maggio-

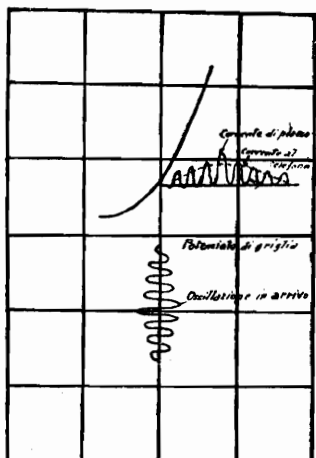


Fig. 93

re, che un aumento eguale in senso negativo. Questa oscillazione ad alta frequenza della corrente di placca, la quale corrisponde perfettamente alla frequenza delle oscillazioni applicate alla griglia, passa attraverso il telefono.

Vediamo così che un treno d'onda applicato alla griglia della valvola produce un aumento di corrente al telefono; un impulso eguale a quello che abbiamo riscontrato nella valvola di Fleming. L'ampiezza della pulsazione sarà maggiore nel caso del triodo che con l'impiego della valvola di Fleming. Ciò significa in altre parole che il triodo è un rettificatore più sensibile della valvola di Fleming.

Quando si vogliono ricevere le trasmissioni radiofoniche la funzione sarà molto analoga.

Ritorniamo ora al circuito della fig. 91. Abbiamo visto che un segnale ricevuto da un circuito oscillante accumula una certa quantità di elettroni nella griglia, i quali si scaricano poi attraverso la resistenza R . Un segnale forte farà accumulare una quantità maggiore di elettroni che un segnale debole. Siccome però gli elettroni costituiscono elettricità negativa, così il potenziale della griglia prodotto dagli elettroni sarà tanto più negativo quanto più forte sarà il segnale.

Supponiamo che la curva a della fig. 94 rappresenti la forma di una oscillazione ad alta frequenza ricevuta da una stazione radiofonica.

Nella parte A della curva l'ampiezza della corrente ad alta frequenza nel circuito oscillante sarà molto ridotta; gli elettroni accumulati nella griglia saranno pochi ed il potenziale della griglia sarà presso a poco lo stesso come se non ci fossero oscillazioni in arrivo.

Quando però la corrente ad alta frequenza cresce di intensità, come nella parte B della curva, gli elettroni si accumuleranno più rapidamente ed il potenziale diverrà più negativo come indicato dalla curva tratteggiata b al punto E della fig. 94.

Al punto C la corrente è di nuovo debole e il potenziale di griglia si avvicina di nuovo nel punto F al suo valore normale. Effettivamente il potenziale di griglia seguirà esattamente la linea che congiunge le creste delle singole oscillazioni ad alta frequenza e che nella fi-

gura è segnata in tratteggio. Questa curva tratteggiata corrisponde a sua volta alla forma delle oscillazioni prodotte dalla voce nella stazione trasmittente.

Ora, siccome la corrente anodica che passa attraverso il telefono segue esattamente le variazioni di potenziale di griglia, si avranno nel circuito di placca degli aumenti e diminuzioni di corrente che avranno la forma delle

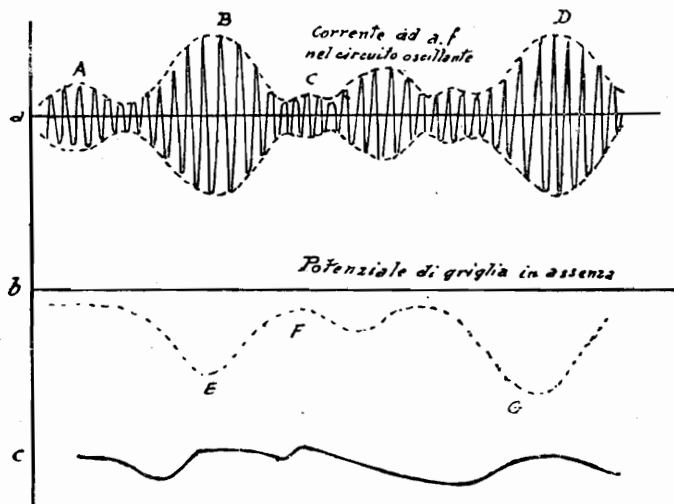


Fig. 94

vibrazioni della voce come indicato dalla curva c della fig. 94.

Il telefono darà un suono che corrisponderà alla corrente dalla quale è attraversato, esso riprodurrà un suono che sarà analogo a quello della stazione che trasmette.

La valvola rivelatrice con condensatore shuntato è chiamata rivelatrice a caratteristica di griglia; mentre se la rivelazione è ottenuta mediante potenziale negativo di griglia la valvola si dice rivelatrice a caratteristica di placca.

IL DIODO RIVELATORE.

Negli apparecchi moderni è impiegato di preferenza il diodo per la rivelazione. Ma in questa funzione non si applica alla placca una tensione anodica come avviene nei triodi, ma la stessa tensione oscillante produce una corrente di placca. Lo schema è rappresentato dalla figura 95.

La resistenza R è chiamata resistenza di carico; essa è necessaria per ottenere la d.d.p. fra la placca e il fi-

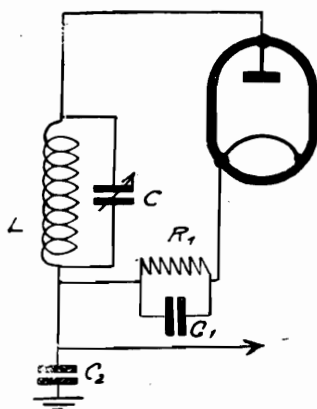


Fig. 95

lamento. Ogni oscillazione produrrà una d.d.p. ai capi della resistenza; la semionda positiva darà un potenziale positivo alla placca e di conseguenza passerà una certa corrente attraverso la valvola. Il valore della corrente dipenderà dalla tensione dell'oscillazione e dal valore della resistenza interna della valvola e può essere calcolato sulla base della relazione di Ohm. La semionda negativa darà invece alla placca un potenziale negativo e non si avrà alcun passaggio di corrente. Come si vede l'effetto sarà lo stesso che si può ottenere col triodo facendolo funzionare da rivelatore.

Il diodo è di solito incorporato nel bulbo assieme ad una valvola amplificatrice.

Una curva caratteristica del triodo rivelatore è riprodotta dalla fig. 96. Da questa si vede il rapporto fra la tensione alternata efficace applicata e la corrente raddrizzata. È naturale che i valori del diagramma possono valere soltanto per un circuito realizzato con un minimo

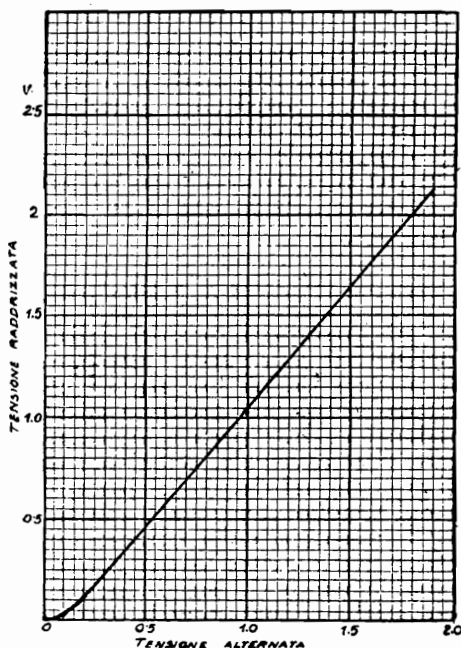


Fig. 96

di perdite, applicando le necessarie precauzioni alle quali abbiamo accennato.

Per giudicare meglio il rendimento di un rivelatore prendiamo un caso pratico. Supponendo che la tensione alternata applicata al diodo sia di 1 volta efficace, troveremo nel diagramma il punto corrispondente della curva che ci indicherà la corrente raddrizzata di circa 1 volta. Se però il segnale è modulato si avranno delle varia-

zioni in più o in meno della tensione applicata; con una percentuale di modulazione del 50 % avremo il potenziale di entrata che varierà da 0,5 a 1,5 volta. Ciò corrisponde a una variazione di corrente continua nel circuito del diodo da 0,4 e 1,6 volta. L'ampiezza di questa variazione sarà di 0,4 volta e la tensione efficace di 0,3 volta.

Si vede quindi che anziché realizzare un guadagno col diodo si ha in realtà una perdita, la quale può assumere anche maggiori proporzioni quando il montaggio non sia fatto con criteri tecnici.

Il vantaggio principale del diodo sta nella perfetta linearità della sua caratteristica e quindi nell'assenza di distorsione; inoltre col diodo non si ha il fenomeno del sovraccarico.

LA VALVOLA TERMOIONICA COME AMPLIFICATRICE.

Una delle più importanti funzioni della valvola termoionica consiste nell'aumentare l'ampiezza delle oscillazioni e di rendere udibili dei segnali che altrimenti sarebbero troppo deboli per produrre gli effetti al telefono. Se produciamo delle piccole variazioni nel potenziale di griglia di una valvola, otteniamo delle rilevanti variazioni di corrente nel circuito di placca.

L'energia del circuito di placca è fornita dalla batteria anodica. Il passaggio della corrente anodica attraverso il telefono non produce nessun suono fino a tanto che la corrente è continua, ma quando un segnale è applicato alla griglia di una valvola amplificatrice, l'energia fornita dalla batteria anodica subisce delle variazioni e la forma di queste corrisponde perfettamente all'oscillazione applicata alla griglia.

La fig. 97 *a* rappresenta un circuito di uno stadio di amplificazione nella forma più elementare.

La d.d.p. alternativa (fig. 97 *b*) da amplificare è applicata fra la griglia e il filamento della valvola. Come sappiamo, ogni variazione del potenziale di griglia produrrà una variazione corrispondente della corrente di placca. Nel circuito di placca è inserita una resistenza non induttiva R , la quale produrrà una caduta di tensione.

Si ottiene così ai capi della resistenza una d.d.p. ana-

loga a quella applicata alla griglia della valvola, ma di maggior ampiezza.

La variazione di corrente produce attraverso la resistenza in una variazione di potenziale.

Quando la valvola nel circuito della figura funziona regolarmente, le variazioni di potenziale ai capi della resistenza R avranno la stessa forma dell'oscillazione applicata alla griglia, ma saranno più ampie.

L'energia impiegata nel circuito di griglia per produrre le variazioni di potenziale non hanno nessuna importanza. Solo la d.d.p. o con altre parole l'ampiezza delle oscillazioni ha importanza.

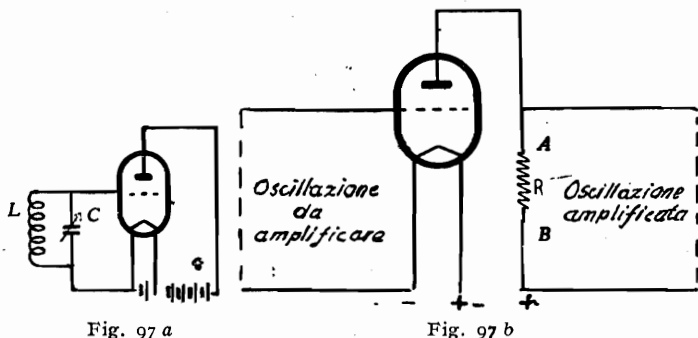


Fig. 97 a

Fig. 97 b

Anzichè limitarsi all'amplificazione ottenuta con una valvola, si possono collegare i capi $M-N$ alla griglia e al filamento di una seconda valvola. Ammettiamo ora che l'amplificazione ottenuta con la prima valvola sia di 10. La d.d.p. applicata alla griglia della seconda valvola sarà allora 10 volte quella applicata alla prima.

La d.d.p. ai capi della resistenza nel circuito di placca della seconda valvola sarà di 10×10 cioè 100 volte quella applicata alla griglia della prima valvola.

L'ampiezza dell'oscillazione avrà subito un'amplificazione di 100. A questo si può aggiungere un ulteriore stadio con un'altra valvola.

È evidente che un segnale che sarebbe appena percettibile usando una valvola sola, sarà invece fortissimo dopo l'amplificazione attraverso più stadi.

Teoricamente sarebbe possibile aumentare a piacimento il numero degli stadi e spingere così l'amplificazione in misura enorme, ammesso però che non ci fossero altri fenomeni che ci segnano dei limiti: già i disturbi della ricezione c'impediscono di andare oltre una certa misura.

LA VALVOLA TERMOIONICA COME OSCILLATRICE.

Nello studio dei circuiti oscillanti abbiamo visto che comunicando un impulso al condensatore si produce una corrente oscillatoria, la quale si prolungherebbe all'infinito se non ci fosse la resistenza. Se non viene fornita al circuito dell'energia dall'esterno, le oscillazioni decresceranno di ampiezza sino a spegnersi completamente. Affinchè le oscillazioni si possano mantenere in un circuito, è necessario che ad esso sia fornita una certa quantità di energia che sia sufficiente a superare lo smorzamento prodotto dalla resistenza. Sotto queste condizioni le oscillazioni non si spengono più ma il circuito diviene la sede di oscillazioni persistenti.

Il miglior mezzo finora conosciuto per produrre in un circuito delle oscillazioni persistenti è costituito dalla valvola termoionica.

Se prendiamo ad esempio il circuito rappresentato dalla fig. 97 *a* vediamo che il circuito composto dalla induttanza L e dal condensatore C non potrà essere così senz'altro la sede di oscillazioni persistenti per le cause che conosciamo e che sono dovute alla resistenza. Però sappiamo che nel circuito di placca o circuito anodico ogni oscillazione darà luogo ad una variazione della corrente anodica fra i punti A e B (fig. 97 *b*). Se si trova il modo di riportare al circuito di griglia questa energia che ci viene fornita dalla batteria anodica nel modo che già conosciamo, l'energia riportata servirà a togliere gli effetti della resistenza e a consentire la persistenza delle oscillazioni nel circuito. Un mezzo per riportare questa energia dal circuito di placca a quello di griglia consiste nell'inserire nel primo una induttanza che viene poi accoppiata a quella di griglia (fig. 98 *a*). Si vede che questo circuito è uguale a quello della fig. 97 *a* con la sola differenza che qui è aggiunta un'altra induttanza inse-

rita nel circuito di placca. Questa induttanza si chiama induttanza di reazione, ed è accoppiata induttivamente a quella del circuito d'accordo L_1 . L'effetto dell'accoppiamento fra i due circuiti è chiamato reazione.

Il fenomeno della reazione si può spiegare nel modo seguente. Se comunichiamo al circuito $L_1 C_1$ un impulso, questo produrrà una corrente oscillatoria della frequenza corrispondente a quella del circuito stesso.

Per effetto di queste oscillazioni si avranno nel circuito di placca delle analoghe variazioni di corrente, le quali produrranno delle variazioni nel campo magnetico della bobina di reazione L_2 e di conseguenza, per effetto dell'induzione elettromagnetica, anche nel campo magnetico dell'induttanza L_1 .

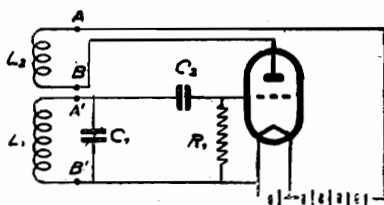


Fig. 98

Viene rifornita così al circuito di griglia l'energia dissipata nella resistenza e le oscillazioni permarranno nel circuito, mantenendo costantemente la stessa ampiezza fino a tanto che le batterie forniranno l'energia necessaria.

Perchè la rigenerazione possa avvenire rispettivamente, perchè il circuito possa essere la sede di oscillazioni libere, è necessario che sussistano certe premesse che esamineremo più dettagliatamente.

Innanzitutto è necessario che fra le due induttanze di griglia e di placca vi sia un coefficiente di mutua induzione negativo perchè la rigenerazione abbia luogo. In altre parole, è necessario che se l'una delle due induttanze è percorsa dalla corrente in un determinato senso induca nell'altra un flusso magnetico atto a produrre una corrente di senso inverso. Se le due induttanze sono avvolte nello stesso senso e se sono poste una vicina

all'altra coll'asse comune, il principio dell'avvolgimento della induttanza di griglia deve essere collegato alla griglia e la fine dell'avvolgimento dell'altre alla placca. Se invece le bobine sono avvolte in senso inverso, il principio di ogni avvolgimento sarà collegato alla griglia rispettivamente alla placca.

Il coefficiente di mutua induzione viene ad essere così negativo, ma perchè si abbia un regime stabile di oscillazioni è necessario che M (coefficiente di mutua induzione) sia superiore al valore di $\frac{1}{K} L \times K \times C \times R_1 \times R$

in cui L è il valore dell'induttanza di griglia, K il coefficiente di amplificazione della valvola, C la capacità del circuito oscillante, R_1 la resistenza interna della valvola e R la resistenza apparente del circuito oscillante. Quest'ultima è la resistenza del circuito ad alta frequenza ed è costituito dalla somma della resistenza che si ha nell'induttanza e nella capacità del circuito, delle perdite per effetto Joule e delle perdite di energia per irradiazione. I valori di M , L , C , R_1 , R devono essere espressi in unità pratiche, vale a dire in henry per M e L in farad per C e in ohm per R_1 e R . Quando queste condizioni sussistono una qualsiasi perturbazione produce l'oscillazione del circuito e le oscillazioni permangono aumentando di ampiezza. Effettivamente se il circuito di griglia e quello di placca sono regolati, si avrà per ogni oscillazione del circuito di griglia una variazione di intensità della corrente di placca e si produrrà una forza elettromotrice alternativa che avrà lo stesso periodo di oscillazione del circuito oscillante; ma se la f.e.m. è *in fase* con la perturbazione iniziale, le oscillazioni seguenti aumenteranno di ampiezza. Il regime di oscillazioni diviene stabile e la sua ampiezza dipende soltanto dall'ampiezza della corrente di placca.

Se il valore M del coefficiente di mutua induzione non è superiore a $\frac{1}{K}(L \times C R_1 R)$ si avranno pure oscillazioni persistenti, ma non si avrà un aumento di ampiezza e il regime sarà instabile. In questo caso basta la variazione di una delle costanti del circuito per produrre sia la cessazione delle oscillazioni sia un aumento

dell'ampiezza. Queste possibili variazioni possono essere un aumento o una diminuzione della temperatura del filamento, una variazione della resistenza apparente del circuito, della tensione di placca, ecc.

Riassumendo, se le condizioni per la produzione delle oscillazioni persistenti sono realizzate, la batteria anodica restituisce al circuito oscillante la stessa quantità di energia che va perduta ad ogni oscillazione per conseguenza della resistenza. Se il coefficiente di mutua induzione è negativo, la batteria restituisce più energia di quella che viene consumata, e l'oscillazione iniziale aumenta di ampiezza. L'aumento è limitato dal ginocchio che forma la curva caratteristica della valvola.

Quello della fig. 98 b non è però l'unico montaggio che si può impiegare per produrre con la valvola termionica delle modulazioni persistenti. L'accoppiamento fra il circuito di placca e quello di griglia può avvenire tanto a mezzo di una induttanza che a mezzo di una capacità. Nel primo caso il grado di accoppiamento si regola, come abbiamo visto, variando il coefficiente di mutua induzione fra le due induttanze, vale a dire variando la loro posizione una rispetto all'altra. Nel secondo caso, invece, si usa una capacità variabile, e l'accoppiamento fra i circuiti aumenta o diminuisce col variare di questa capacità.

L'accoppiamento può essere anche misto, cioè: induttivo e capacitativo. Degli esempi di accoppiamento misto sono dati dagli schemi delle figg. 99 e 100.

Lo schema della fig. 99, che è noto sotto il nome di *circuito Hartley*, ha un circuito oscillante collegato fra la griglia e la placca della valvola. Per impedire che la corrente anodica possa passare alla griglia e produrre un corto circuito, si inserisce fra la placca ed il circuito oscillante un condensatore che di solito è variabile, C_2 .

Il circuito di accensione è collegato ad una derivazione intermedia della induttanza L . Anche in questo caso è necessario inserire nel circuito anodico una impedenza Z per i motivi sopra esposti.

Il circuito di fig. 100, dovuto al Reinartz, ha un funzionamento analogo.

Con ciò non sono esauriti tutti i montaggi che si possono realizzare per produrre delle oscillazioni persi-

stenti a mezzo di un triodo. Esiste una grande quantità di circuiti dei quali noi però non ci occuperemo. Essi hanno tutti la comune caratteristica di un circuito accordato, che può essere anche quello di placca e di un dispositivo che serve per produrre l'accoppiamento fra il circuito di placca e quello di griglia.

Il triodo, come oscillatore, è impiegato nelle stazioni trasmettenti, ed in questo caso l'energia impiegata è notevole per poter produrre delle irradiazioni di una certa potenza, oppure come oscillatore locale con impiego di energia minima, ed allora è impiegato sia in certi tipi di apparecchi riceventi (Supereterodine), sia per scopi di laboratorio.

Il fenomeno dell'innesco dell'oscillazione della valvola è infine sfruttato anche nei comuni apparecchi riceventi per aumentare l'amplificazione a mezzo della reazione, ed in questo caso la valvola viene fatta funzionare in modo che l'oscillazione non avvenga, ma che l'energia riportata dal circuito di placca a quello di griglia sia tale da produrre un effetto rigenerativo. Di questo speciale impiego avremo occasione di occuparci più diffusamente in seguito.

LE CARATTERISTICHE DELLA VALVOLA TERMOIONICA.

Abbiamo fin qui sottoposto ad un esame generale il funzionamento della valvola termoionica e più particolarmente del triodo, senza entrare in maggiori dettagli della qualità dei singoli tipi che possono differire notevolmente uno dall'altro per il loro funzionamento. Le particolarità che presenta ogni singola valvola di un determinato tipo sono indicate solitamente dal costruttore e si chiamano: le caratteristiche della valvola.

Prima di tutto faremo notare che le principali caratteristiche si esprimono in forma di grafici, che sono oramai introdotti nell'uso e che si forniscono dal costruttore assieme ad ogni valvola venduta.

Su questi grafici sono tracciate delle famiglie di curve che riproducono la variazione delle correnti che si verificano in determinate condizioni.

Considerando la curva caratteristica di una valvola, abbiamo l'indicazione precisa della variazione di cor-

rente anodica che corrisponde ad ogni potenziale di griglia. Per ricavare i dati necessari al tracciamento di queste curve, la valvola viene montata in modo speciale. Il potenziale di griglia viene variato per mezzo del potenziometro; detta variazione viene indicata da un voltmetro inserito ai due capi della batteria di griglia. La corrente anodica è segnata dal milliamperometro inserito nel circuito di placca (fig. 101).

Ad ogni potenziale di griglia corrisponde una determinata corrente anodica. Esempio: con una valvola di 0,6 ampère si regola il potenziometro in modo che il po-

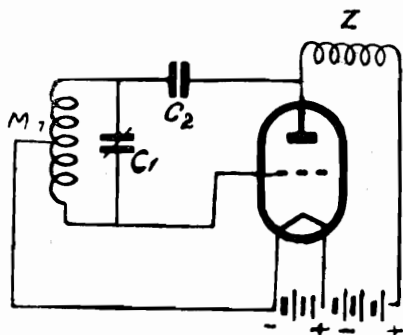


Fig. 99

tenziale di griglia indicato dal voltmetro sia di 10 volta, e si leggerà 0,6 mA., con una tensione anodica di 50 volta. Mantenendo costante la tensione anodica e facendo variare il potenziale di griglia, si otterranno i seguenti valori:

<i>Eg.</i>	<i>I_a</i> , con tensione anodica 50 v.
10 v.	0,6 mA.
8 v.	1, = mA.
6 v.	1,4 mA.
4 v.	2, = mA.
2 v.	2,6 mA.
0 v.	3,5 mA.
2 v.	4,3 mA.

<i>Eg.</i>	<i>I_g</i> , con tensione anodica 50 v.
4 v.	5,1 mA.
6 v.	6, = mA.
8 v.	7, = mA.
10 v.	7,7 mA.
12 v.	8,5 mA.

Portando ora la tensione anodica a 100 volta si otterranno dalla misurazione i seguenti dati :

<i>Eg.</i>	<i>I_g</i> , con tensione anodica 100 v.
18 v.	0,6 mA.
16 v.	1, = mA.
14 v.	1,5 mA.
12 v.	2, = mA.
10 v.	2,6 mA.
8 v.	3,4 mA.
6 v.	3,1 mA.
4 v.	4,9 mA.
2 v.	5,6 mA.
0 v.	7,2 mA.
4 v.	8, = mA.
5 v.	8,7 mA.
8 v.	9,2 mA.
10 v.	9,6 mA.
12 v.	9,7 mA.

Se prendiamo una carta millimetrata e riportiamo sulle linee orizzontali (ordinate) le tensioni di griglia, e sulle verticali (ascisse) le correnti anodiche in milliampère, si potranno segnare tutti i punti corrispondenti alla misurazione, i quali collegati fra loro daranno la curva caratteristica che è qui riprodotta.

Per stabilire la corrente di saturazione si collegherà la griglia con la placca dopo avere staccato la batteria di griglia. La griglia e la placca saranno al medesimo potenziale e l'emissione sarà portata al massimo.

I dati così ricavati non possono essere applicati senz'altro ad una valvola inserita in un circuito ricevente,

nel quale le condizioni sono evidentemente diverse ed il funzionamento più complesso, essendo in ogni circuito anodico inseriti un circuito oscillante, una impedenza ed una resistenza. Le curve dinamiche di una valvola non si potrebbero usare in pratica per la definizione delle sue caratteristiche, richiedendo ogni circuito una curva diversa e molte volte non essendo possibile tracciarle tutte, data la enorme quantità e varietà di materiale e di circuiti.

Necessario è quindi valutare la quantità di una valvola in base alle curve statiche, cosa che riesce molto facile con un po' di pratica.

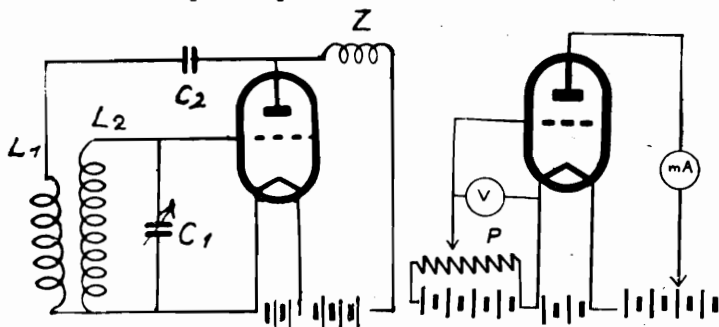


Fig. 100

Fig. 101

L'inclinazione della curva della valvola vien detta pendenza. Essa è espressa dal rapporto fra la variazione della corrente in ma. e la variazione corrispondente della tensione della griglia.

Ad esempio, secondo la figura 102, ad una variazione di 4 volta di griglia, corrisponde una variazione di 2 mA. di corrente anodica. La pendenza sarà dunque indicata dalla formula :

$$\frac{I_a}{V_g} = \frac{2}{4} = 0,5 \text{ mA/V.}$$

La pendenza deve essere giudicata così e non dal grafico che potrebbe essere causa di errori. Dalla fig. 103, ad esempio, vediamo come la curva formi con l'ordinata un angolo di 60° circa. Se invece la curva viene tracciata

con una scala diversa per la corrente anodica, avremo una curva come quella della fig. 104.

Le due curve, pur esprimendo la stessa caratteristica, sono differenti l'una dall'altra in quanto quella della fig. 103 è assai meno inclinata sull'ordinata di quanto non lo sia quella della fig. 104.

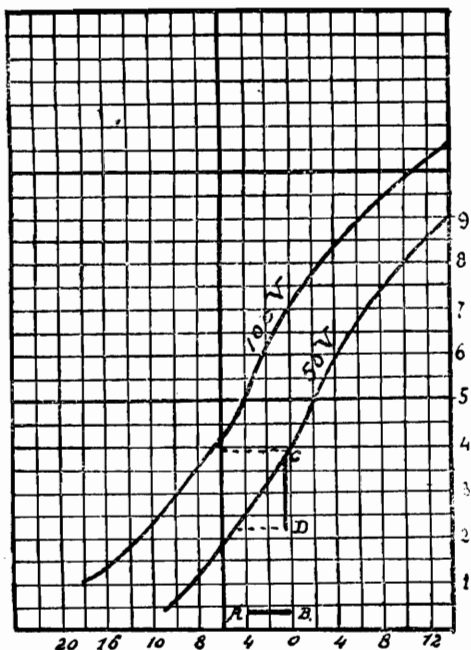


Fig. 102 - Curva caratteristica di una valvola.

Di ciò bisogna tenere conto, poichè tutte le fabbriche non usano la stessa scala per i loro grafici. Una valvola con coefficiente di amplificazione maggiore darà una variazione maggiore nella corrente anodica per una stessa variazione di tensione di griglia. La curva perciò sarà più ripida. I_a sarà maggiore in rapporto a V_g . Ciò permette di giudicare a prima vista se la valvola abbia o meno un coefficiente di comunicazione elevato.

Il coefficiente di amplificazione di una valvola si può definire come il rapporto fra la variazione di tensione anodica e la variazione di potenziale di griglia necessaria per ottenere una determinata variazione di corrente anodica. Il coefficiente di amplificazione si simboleggia con la lettera greca μ . Se prendiamo, ad esempio, le due curve della figura vedremo che per portare la corrente anodica da 2 a 4 ma. bisogna aumentare la tensione anodica da 50 a 100 volta.

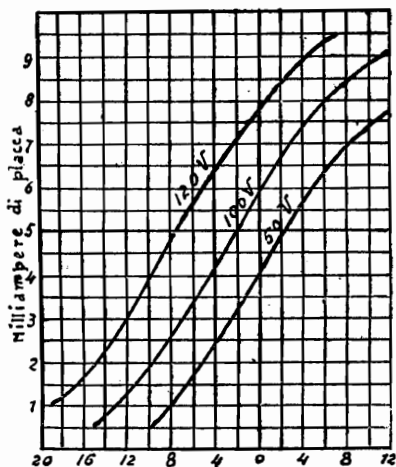


Fig. 103 - Volta tensione di griglia.

Con la tensione di 50 volta per ottenere lo stesso effetto dovremo variare il potenziale di griglia da 4 a 0. Avremo così che il valore di μ sarà :

$$\mu = \frac{50}{4} = 12,5$$

Possiamo quindi stabilire la relazione che determina il coefficiente di amplificazione :

$$\mu = \frac{V_a}{V_g}$$

in cui V_a rappresenta la differenza di tensione di placca e V_g la differenza di potenziale di griglia per ottenere la stessa variazione di corrente anodica.

Questo coefficiente di amplificazione non rappresenta l'amplificazione effettiva che dà una valvola, e non va confuso con questa. Sebbene il grado di amplificazione effettiva dipenda dal coefficiente di amplificazione, i due concetti non si confondono.

Ad esempio, se facciamo un collegamento a resistenza-capacità, inseriremo, nel circuito anodico di una valvola, una resistenza.

È naturale che per determinare il grado di amplificazione effettiva non può essere trascurata la resistenza interna della valvola in rapporto alla resistenza esterna del circuito. Si avrà quindi:

$$\mu_a = \frac{\mu R}{R + R_1}$$

Da questa equazione si vede che l'amplificazione effettiva sarebbe eguale al fattore μ , solamente se il fattore R fosse infinito.

Se si sostituisce la resistenza con una induttanza di valore elevato, avremo invece:

$$\mu_a = \frac{2\pi f L \mu}{\sqrt{R_1^2 + 4\pi^2 + f^2 L^2}}$$

in cui f indica la frequenza delle oscillazioni, ed L il valore dell'induttanza in henry.

Vediamo quindi che il grado di amplificazione dipende dal circuito anodico, o meglio dal sistema di collegamento adottato. I Tedeschi usano un altro valore, introdotto dal Barkhausen, in luogo del coefficiente di amplificazione, per il quale hanno adottato il termine « Durchgriff » che significa, in italiano, il coefficiente di assorbimento. Esso indica l'energia con cui l'anodo influenza il flusso elettronico fra griglia e filamento.

Il coefficiente di assorbimento è espresso con la percentuale di variazione della tensione di griglia, rispetto alle variazioni di tensione anodica necessarie per produrre la stessa variazione di corrente anodica:

$$D = \frac{V_g}{V_a} = \%$$

Se noi prendiamo l'esempio precedente

$$\mu = \frac{50}{4}$$

avremo per la stessa valvola

$$D = \frac{4}{50} = 0,08, \text{ cioè } 8\%$$

Per quanto quest'espressione non sia in uso da noi, è bene conoscerla per poterla valutare se si dovesse riscontrare in qualche testo tedesco.

È altresì importante conoscere la resistenza interna di una valvola. Essa si può determinare facilmente se si conoscono la pendenza e il coefficiente di amplificazione. Può esser pure desunta dalla curva caratteristica. Per rimanere al nostro esempio, consideriamo le due curve della figura 102. Per ottenere un aumento di corrente anodica da 2 a 4 mA. è necessario portare la tensione da 50 a 100 volta. Secondo la legge di Ohm la resistenza sarà :

$$R_i = \frac{100 - 50}{0,002} = 25.000 \text{ ohm.}$$

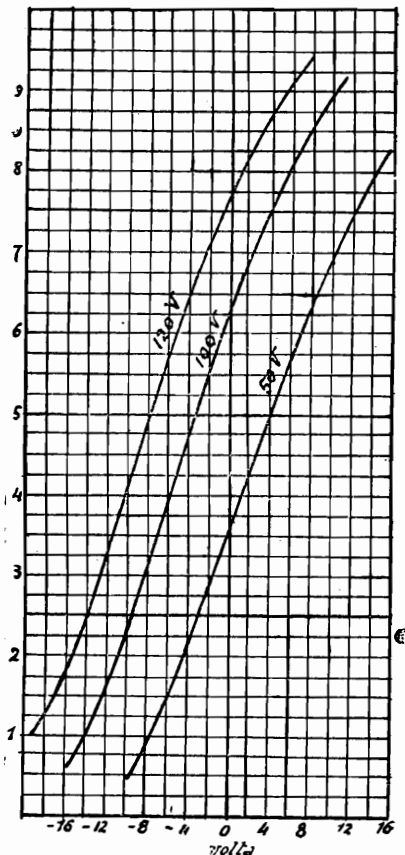


Fig. 104 - La caratteristica della fig. 103 con rapporto diverso fra ordinate e ascisse.

oppure in termini generali:

$$R_i = \frac{V_a}{I_a}$$

in cui V_a è la differenza fra le due tensioni anodiche in volta e I_a la differenza fra le correnti anodiche in ampère.

È infine importante la mutua conduttanza della valvola (G_m). Essa si ricava moltiplicando per 1000 il coefficiente di amplificazione, e dividendo il risultato per la resistenza in migliaia di ohm. La cifra risultante indica la mutua conduttanza in MHO.

Nel nostro caso avremo:

$$G_m = \frac{\pi \times 1000}{R_i} = \frac{12,5 \times 1000}{25} = 50 \text{ MHO}$$

LE VALVOLE A RISCALDAMENTO INDIRETTO.

Il tipo di valvola che abbiamo considerato fino ad ora consta di un filamento, di una griglia e di una placca. Il filamento deve essere alimentato a mezzo della corrente continua e così pure alla placca deve essere applicata una tensione continua. Le valvole di questo tipo, che sono state per molti anni le sole che si impiegavano negli apparecchi radiofonici, presentavano l'inconveniente che era necessario disporre di sorgenti di corrente costose, che richiedevano una continua manutenzione. Si è perciò studiato il modo di usare la corrente alternata per l'alimentazione tanto della placca che dei filamenti. Per quanto riguarda la tensione anodica, dato che si tratta di correnti relativamente piccole, si è riusciti a costruire già nei primi tempi degli alimentatori in cui la corrente alternata veniva raddrizzata e livellata. Maggiori difficoltà presentavano invece i filamenti perchè la tensione basse e la quantità di corrente richiedevano dispositivi speciali che non soddisfacevano pienamente. Si è cercato perciò di costruire delle valvole da alimentare direttamente con la corrente alternata. In un primo tempo si costruirono delle valvole comuni con filamenti speciali più grossi, i quali sopportavano le variazioni della corrente alternata senza far sentire troppo il ronzio; ma

il loro impiego non era possibile negli stadi ad alta frequenza, e comunque il risultato non è stato pienamente soddisfacente.

Solamente in tempi relativamente recenti il problema venne completamente risolto. Le valvole a riscaldamento indiretto differiscono dalle altre, inquantochè il filamento non funziona da catodo; in altre parole, la corrente anodica non passa attraverso il circuito d'accensione, bensì attraverso un catodo speciale che circonda il filamento, il quale viene così ridotto alla funzione di elevare la temperatura del catodo per produrre l'emissione. Il filamento produce solamente un effetto termico e rimane completamente estraneo al circuito della valvola il quale si chiude attraverso il catodo. La temperatura del catodo

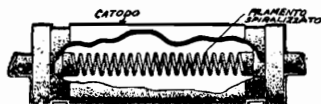


Fig. 105 - Sezione attraverso il catodo di una valvola a riscaldamento indiretto. In mezzo si vede il filamento a forma di spirale.

rimane così perfettamente costante e la valvola non può risentire gli effetti della corrente alternata inquantochè l'inerzia del catodo non permette che si producano variazioni nell'emissione. Questo tipo di valvola si presta per qualsiasi funzione: essa può essere impiegata sia come amplificatrice e oscillatrice. La base funzionamento è analoga a quella delle valvole comuni. La sola particolarità consiste nel filamento (fig. 105).

Se prendiamo in esame il circuito d'accensione di una valvola comune, vediamo che un capo è collegato al polo positivo della batteria d'accensione mentre l'altro è collegato al polo negativo.

La differenza di potenziale fra i due capi è di solito di 4 volti nelle valvole europee. Di conseguenza si ha attraverso il filamento una caduta di potenziale di 4 v. Lungo il filamento il potenziale non sarà uguale, ma sarà più positivo verso il collegamento al polo positivo della batteria e sarà invece più negativo verso l'altra estremità.

Per dare alle griglie il potenziale necessario si usa di solito collegare i ritorni del circuito al capo negativo.

In tal modo la griglia viene ad essere staticamente allo stesso potenziale della estremità negativa del filamento, mentre è molto più negativa del capo positivo. Nelle valvole a corrente alternata non si può parlare di caduta di potenziale attraverso il catodo perchè il suo potenziale è uguale in ogni sua parte. Per dare alla griglia il potenziale necessario per il regolare funzionamento di una valvola si deve dare al catodo un potenziale più positivo di quello della griglia. Siccome questa è collegata alla terra o alle masse, così basta che il catodo sia di tanti volta più positivo delle masse quanti sono i volta negativi da dare alla griglia.

La corrente anodica passa dalla placca al catodo e da questo ritorna al capo negativo della corrente di alimentazione anodica; così una resistenza R inserita nel circuito produrrà, secondo la legge di Ohm, una caduta di tensione. La caduta di tensione dipende dal valore della resistenza x e della corrente che la percorre. Ad esempio, per ottenere una caduta di tensione di 1 volta con una corrente di 0,001 amp. si dovrà impiegare una resistenza di 1000 ohm (fig. 106).

Se si inserisce questa resistenza fra il catodo e la massa o la terra, si avrà la terra a potenziale zero e il catodo a potenziale di 1 volta. La griglia, essendo collegata alla terra attraverso un'induttanza o una resistenza o attraverso un trasformatore, avrà lo stesso potenziale statico della terra e sarà di 1 volta più negativa del catodo.

Il condensatore collegato in parallelo alla resistenza serve per lasciar libero il passaggio delle oscillazioni che altrimenti sarebbero bloccate dalla resistenza.

I filamenti delle valvole vanno alimentati a mezzo di un trasformatore che riduce la tensione della rete a quella necessaria per il filamento che può variare, a seconda del tipo, da 2,5 a 5 o 6 volta.

LA VALVOLA A PIÙ GRIGLIE.

La valvola bigriglia. — Questo è il tipo più vecchio fra le valvole a più di una griglia e da essa si sono poi svi-

luppate tutte le altre. La bigriglia era stata costruita allo scopo di neutralizzare gli effetti della carica spaziale.

La carica spaziale è basata su un fenomeno elettronico. Gli elettroni emessi dal filamento aumentano con la tensione anodica. Quando però questa ha raggiunto un certo limite, non è possibile più ottenere un aumento di emissione, e la corrente massima ottenibile è chiamata la corrente di saturazione. Secondo Helmholtz gli elettroni non hanno tutti la stessa velocità e quelli di velocità minore rimangono sospesi intorno al filamento ove

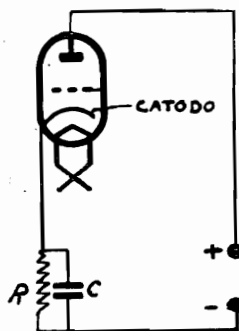


Fig. 106



Fig. 107



Fig. 108

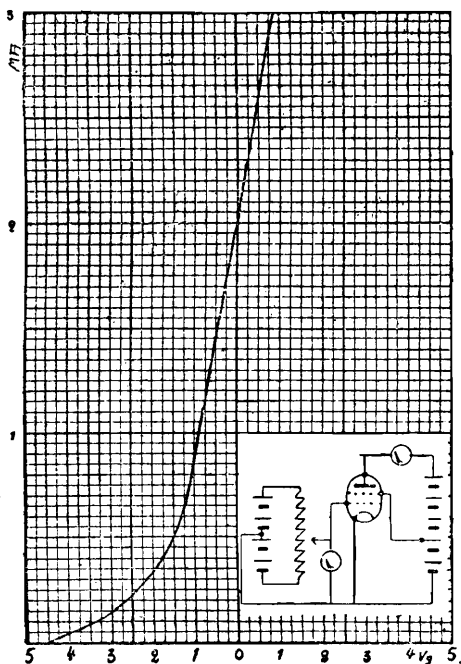
formano una specie di strato, chiamato lo *strato di Helmholtz*. Questo fenomeno conosciuto come la carica spaziale può essere diminuito in proporzioni notevoli introducendo nella valvola una seconda griglia fra la griglia normale e il filamento e dando ad essa un potenziale positivo.

Il vantaggio che si può ritrarre dalla seconda griglia è una corrente anodica maggiore con tensione minore, appunto perchè, essendo neutralizzata almeno in parte la carica spaziale con l'acceleramento degli elettroni, si ottiene, a parità di condizioni, una corrente maggiore.

Questa valvola era una volta in uso per alimentare piccoli apparecchi con tensioni anodiche bassissime, ma la

sua ragione di essere venne a mancare quando gli apparecchi si alimentarono a mezzo della corrente alternata e non si impiegarono più le batterie anodiche.

La valvola schermata. — La valvola schermata è pure munita di due griglie, ma ha la griglia di comando vicina



Figg. 109 e 110 - Curve caratteristiche di valvole schermate ottenute con gli schemi segnati.

al filamento, mentre la seconda griglia è vicina alla placca e la racchiude costituendo una specie di schermo (figg. 107-108).

La schermata presenta di fronte al triodo due vantaggi:

1) un coefficiente di amplificazione di gran lunga superiore; mentre col triodo non si raggiunge che un coef-

ficiente di qualche decina, con la valvola schermata si può ottenere un coefficiente di amplificazione di parecchie centinaia;

2) lo schermo elimina la capacità fra gli elettrodi della valvola o meglio li riduce ad un minimo. Con ciò viene eliminata la tendenza della valvola ad oscillare. Infatti, quando un triodo ha il circuito di griglia e quello di placca accordati sulla stessa lunghezza d'onda, la capacità fra gli elettrodi è sufficiente per produrre l'accoppiamento fra i circuiti e produrre l'oscillazione. In

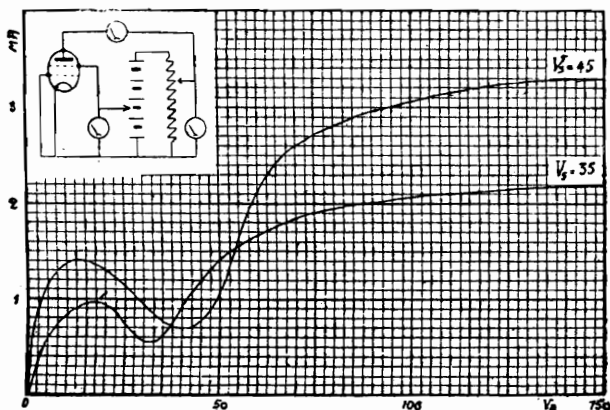


Fig. 110

queste condizioni la valvola non può funzionare da amplificatrice di alta frequenza se non si provvede alla neutralizzazione della capacità. Con la valvola schermata tale inconveniente è evitato se si dispone il circuito in modo che gli accoppiamenti non possano avvenire esternamente fra gli avvolgimenti o fra i collegamenti.

Sappiamo che il coefficiente di amplificazione di una valvola rappresenta il rapporto fra la variazione di tensione anodica e la variazione di tensione di griglia per ottenere la stessa variazione di corrente anodica. Più è alto tale coefficiente tanto minore sarà la variazione di tensione di griglia per ottenere un determinato effetto,

e tanto più grande dovrà quindi essere la variazione di tensione anodica per ottenere lo stesso effetto. Ciò vuol dire, in altre parole, che una variazione della tensione anodica avrà un effetto tanto minore sulla corrente anodica quanto più alto è il coefficiente di amplificazione. Con un coefficiente di amplificazione elevatissimo come quello della valvola schermata la tensione anodica non ha che un effetto del tutto trascurabile sulla corrente anodica perchè con un aumento della tensione la curva non si sposterebbe che di una distanza minima.

Di pari passo col coefficiente di amplificazione va anche la resistenza interna la quale è elevatissima per la schermata. Siccome il rendimento di un circuito è massimo quando la sua resistenza è uguale a quella del circuito di utilizzazione, così è necessario che anche la resistenza esterna del circuito anodico sia elevata.

Il pentodo. — Il pentodo differisce dalla valvola schermata per il fatto che fra la griglia-schermo e la placca è interposta una terza griglia. Con ciò si ottiene una indipendenza della corrente anodica dalla tensione anodica, molto maggiore che nella schermata. Inoltre la terza griglia, che è collegata al catodo oppure al centro del filamento, ha la funzione di impedire gli effetti dell'emissione secondaria della placca. Gli elettroni emessi dalla placca non possono giungere alla griglia-schermo perchè sono portati al catodo attraverso la terza griglia (figg. 111-112).

Si ottiene in questo modo innanzitutto un aumento considerevole del coefficiente di amplificazione, il quale va anche fino a 5000, mentre con la schermata si ottiene appena un coefficiente di 700-900. In questo caso la resistenza interna della valvola è alquanto elevata. Essa è adatta per l'amplificazione di alta frequenza. Per l'impiego nello stadio finale il pentodo viene costruito con caratteristiche diverse; il coefficiente di amplificazione viene notevolmente ridotto e così anche la resistenza interna.



Fig. 111
Simbolo
del
pentodo.

Tuttavia il guadagno che si ottiene con lo stadio finale a pentodo permette di usarlo in sostituzione di due stadi di bassa frequenza.

L'IMPIEGO DELLA VALVOLA NEI CIRCUITI AD ALTA FREQUENZA.

Nello studio delle caratteristiche delle valvole abbiamo veduto che una piccola variazione del potenziale di griglia produce una variazione di maggior entità nella corrente di placca.

Se il potenziale di griglia rimane costante avremo una corrente di placca costante. Se applichiamo, invece, una f.e.m. alternativa al circuito di griglia e di una valvola, avremo degli aumenti e delle diminuzioni della corrente anodica la quale varierà, ad esempio, per una determinata valvola tra 1,5 e 2,5 mA. Per gli effetti della amplificazione a noi interessano soltanto le variazioni della corrente, dalla cui ampiezza dipende il grado di amplificazione.

Una valvola che per un'oscillazione di 0,5 volta applicata alla griglia produce una variazione di corrente anodica da 1,5 a 3 mA., darà una amplificazione maggiore che una la quale, per lo stesso potenziale alternativo di griglia, produrrà una variazione della corrente di placca da 1,5 a 2,5 mA.

Il rapporto fra il potenziale di griglia e la corrente anodica è dato, come abbiamo veduto, dal coefficiente di amplificazione. Se E è la d. d. p. applicata alla griglia della valvola, la corrente anodica sarà eguale al prodotto di V per il coefficiente di amplificazione μ .

Avremo quindi :

$$I = E \cdot \mu$$

in cui I indica il valore della corrente anodica in ampère.

Se vogliamo usufruire di una maggiore amplificazione possiamo collegare più valvole in cascata in modo da applicare alla seconda la d. d. p. già amplificata dalla



Fig. 112 - Un pentodo. Il collegamento alla griglia va fatto al vertice del bulbo.

prima. Per potere far ciò, conviene anzitutto trasformare le variazioni di corrente che si hanno nel circuito di placca in altrettante variazioni di potenziale, perchè alla griglia si devono applicare variazioni di potenziale; inoltre conviene che il potenziale applicato alla griglia in assenza di oscillazioni sia leggermente negativo. Vediamo ora come questo si possa ottenere.

Consideriamo un caso dei più semplici: supponiamo che nel circuito anodico di una valvola sia inserita una resistenza.

Supponiamo che la differenza di potenziale applicata alla griglia di una valvola sia eguale a E volta. La variazione di corrente nel circuito di placca sarà maggiore delle variazioni di tensione applicate al circuito di griglia e precisamente saranno eguali a μE , in cui μ rappresenta il coefficiente di amplificazione della valvola.

La corrente anodica si chiude, come sappiamo, attraverso lo spazio placca-catodo, oppure placca-filamento della valvola. Questo spazio presenta alla corrente una resistenza che è chiamata resistenza interna della valvola. Di questa resistenza dobbiamo tener conto nella determinazione delle variazioni che si producono nel circuito anodico. Queste variazioni di corrente saranno quindi direttamente proporzionali al coefficiente di amplificazione della valvola e della d.d.p. applicata alla griglia, e saranno inversamente proporzionali alla resistenza interna.

In altre parole, più grande sarà il coefficiente di amplificazione della valvola oppure la d. d. p. applicata alla griglia, tanto maggiori saranno le variazioni della corrente anodica; quanto più grande sarà la resistenza interna, tanto minore la variazione di corrente anodica.

Questo rapporto può essere espresso nella formula:

$$I = \frac{\mu E}{R}$$

In pratica si avrà sempre nel circuito una oscillazione di una determinata frequenza e nel circuito anodico sarà inserita una resistenza oppure una induttanza che produrrà l'effetto di trasformare le oscillazioni di corrente in oscillazioni di potenziale (fig. 113).

Consideriamo ora il caso pratico dell'induttanza collegata in serie nel circuito di placca (fig. 114). Se ω rappresenta la pulsazione che corrisponde alla lunghezza d'onda ricevuta, si dovrà sostituire nella suddetta formula al valore di R :

$$\sqrt{R^2 + L \omega^2}$$

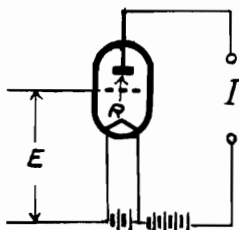


Fig. 113 - Principio del funzionamento di una valvola. Alle variazioni del potenziale E corrispondono variazioni di corrente I .

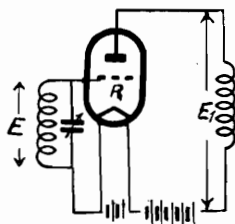


Fig. 114 - Valvola termionica con una induttanza pura nel circuito anodico. Le variazioni di corrente anodica danno d.d.p. E_1 ai capi della induttanza di placca.

Avremo dunque variazione di corrente anodica ai capi dell'induttanza espressa:

$$I = \frac{\mu E}{\sqrt{R^2 + L \omega^2}}$$

La differenza di potenziale ai capi dell'induttanza sarà:

$$E_1 = \mu E \frac{L}{\sqrt{R^2 + L \omega^2}}$$

Se esaminiamo questa formula possiamo trarre delle conclusioni abbastanza interessanti: la d.d.p. sarà massima quando R avrà un valore molto piccolo rispetto a L e potrà raggiungere al massimo il valore di μE . La resistenza interna R è completamente indipendente dalla lunghezza d'onda o meglio dalla frequenza dell'oscillazione, mentre L dipende da tale frequenza, per cui il valore di L dovrà essere variato per ogni frequenza af-

finchè si abbia il massimo rendimento. Di solito si inserisce in parallelo una capacità variabile la quale permette di far variare la frequenza di oscillazione naturale del circuito anodico e di ottenere così per ogni frequenza la massima d.d.p.

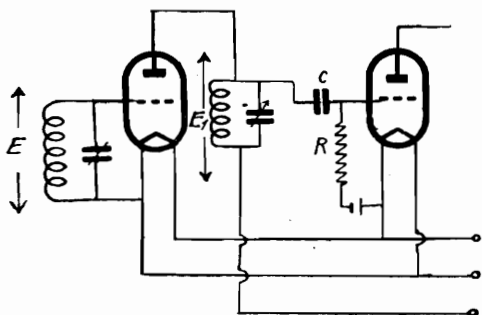


Fig. 115

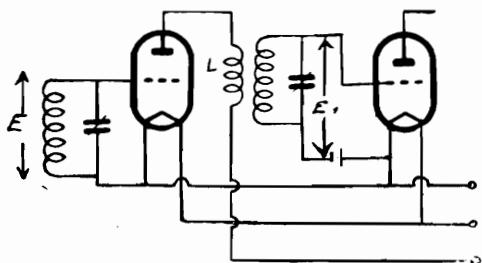


Fig. 116

Se desideriamo collegare questo circuito anodico alla valvola successiva è necessario evitare che la corrente anodica possa giungere alla griglia della valvola, perchè sappiamo che per funzionare regolarmente la griglia abbisogna invece di un potenziale negativo. È quindi necessario applicare alla griglia della valvola successiva soltanto la d. d. p. alternativa che si ha ai capi del circuito anodico.

Questo obbiettivo si raggiunge facendo il collegamento attraverso un condensatore fisso il quale presenta un ostacolo al passaggio della corrente continua; lascia passare invece le oscillazioni (fig. 115).

Allo scopo di dare alla griglia il potenziale necessario per il funzionamento, si collega fra la griglia e il filamento una resistenza e precisamente al capo negativo del circuito di accensione. In questo modo le variazioni di potenziale del circuito anodico sono applicate alla valvola successiva e possono subire attraverso lo stadio successivo una ulteriore amplificazione.

In luogo di collegare la griglia direttamente al circuito anodico attraverso una capacità, si può anche accoppiare

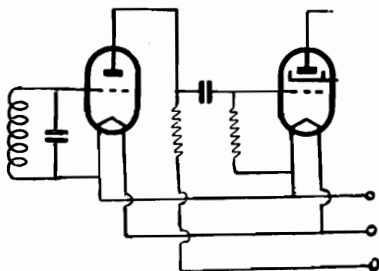


Fig. 117

induttivamente il circuito anodico della valvola precedente al circuito di griglia della valvola successiva. In questo caso si ha il collegamento a trasformatore. Di solito il primario di questo trasformatore che serve per il collegamento intervalvolare non è accordato, mentre invece il secondario è sintonizzato sulla frequenza dell'onda che si vuole amplificare (fig. 116).

Mentre nel primo caso la d. d. p. applicata alla griglia della valvola successiva è eguale a quella che si ha ai capi dell'induttanza, nel secondo caso questa d. d. p. potrà aumentare secondo il rapporto fra il numero di spire dei due avvolgimenti. Da ciò risulta la possibilità di ottenere a mezzo del trasformatore un'amplificazione maggiore per ogni singolo stadio. Mentre col sistema a circuito anodico accordato la massima amplificazione è

data dal coefficiente della valvola, è possibile con l'accoppiamento a trasformatore ottenere un'amplificazione maggiore.

Questa amplificazione dipende in gran parte, ma non interamente, dal rapporto di trasformazione. In realtà essa non è eguale alla d. d. p. ai capi del circuito anodico moltiplicata per il rapporto di trasformazione, ma è molto più limitata, in causa di fenomeni più complessi che si svolgono nel circuito.

In luogo di inserire nel circuito anodico della valvola una induttanza, è possibile collegare semplicemente una resistenza pura (fig. 117). In questo caso il calcolo del coefficiente di amplificazione di uno stadio viene notevolmente semplificato, in quanto che al valore di

$$\sqrt{R^2 + L \omega^2}$$

viene sostituito il valore di $r+R$, in cui r rappresenta il valore della resistenza esterna del circuito anodico.

Avremo quindi:

$$I = \frac{\mu E}{r + R}$$

$$F = \mu E \times \frac{R}{r + R}$$

Come si vede, in questo caso l'amplificazione è perfettamente indipendente dalla frequenza e sarà eguale per tutte le frequenze. Per questo motivo il sistema è anche completamente abbandonato nell'alta frequenza perchè difetta di selettività.

Infatti è facile vedere come dalla relazione risulti che il rendimento massimo potrà essere uguale al coefficiente di amplificazione della valvola, mentre col collegamento a trasformatore questo coefficiente può essere superato.

L'amplificazione uguale per tutte le frequenze non rappresenta per l'amplificazione ad alta frequenza un vantaggio, perchè si ha il massimo interesse di rendere l'apparecchio selettivo, cioè di amplificare soltanto la frequenza corrispondente all'oscillazione in arrivo e ad escludere tutte le altre, ciò che col collegamento a resistenza capacità riesce impossibile.

Per questi motivi il solo sistema usato in pratica è quello a trasformatore accordato per tutti gli innumerevoli vantaggi che offre.

LA VALVOLA NELL'AMPLIFICAZIONE DI BASSA FREQUENZA.

Le oscillazioni che escono dal circuito della valvola rivelatrice hanno, come abbiamo veduto, caratteristiche diverse da quelle che si hanno nei circuiti ad alta fre-

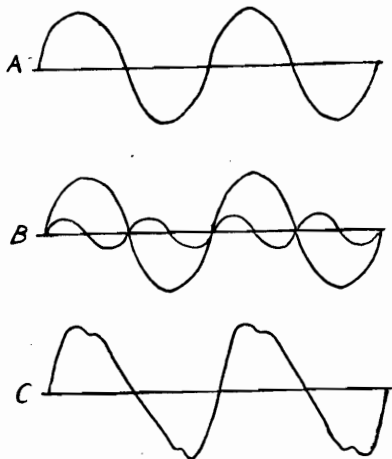


Fig. 118 - A) Onda fondamentale. - B) Seconda armonica sovrapposta alla fondamentale. - C) Onda risultante dalla sovrapposizione.

quenza. Mentre in questa abbiamo oscillazioni di frequenza elevata, modulate, all'uscita dalla rivelatrice la frequenza è molto più bassa e corrisponde perfettamente a quella della gamma musicale.

È universalmente noto come ogni suono sia prodotto da una serie delle vibrazioni dell'aria. Tali vibrazioni hanno una frequenza che varia a seconda della nota del suono emesso. La frequenza è tanto maggiore quanto più la nota è alta. Nel suono però, oltre all'altezza della nota, noi riscontriamo un'altra caratteristica, denomina-

ta: timbro del suono. Esso consiste nello speciale carattere che è proprio ad una determinata emissione, e che permette di distinguere uno strumento da un altro; Il timbro del suono proviene dalle armoniche che accompagnano la nota fondamentale. Ogni singola nota emessa da uno strumento produce, oltre al suono fondamentale, una serie di armoniche, cioè di note di intensità minore, ma di frequenza che è un multiplo della fondamentale. Il grado di intensità di queste armoniche e la loro frequenza danno il timbro del suono. Nella figura 118 sono rappresentate graficamente le vibrazioni della nota fondamentale e della seconda armonica. Perfettamente la stessa cosa avviene nei circuiti elettrici che servono per la trasmissione del suono. Come è noto il microfono trasforma le oscillazioni acustiche in oscillazioni elettriche, mentre il telefono compie la funzione precisamente inversa. La rappresentazione grafica delle onde sonore è uguale anche per le onde elettromagnetiche. È ovvio precisare come sia indispensabile, per ottenere una fedele riproduzione dei suoni, che non soltanto le note fondamentali, ma anche tutte le armoniche siano fedelmente trasformate in oscillazioni elettriche e che il telefono abbia poi a riprodurle acusticamente.

Nei circuiti elettrici la riproduzione delle armoniche non avviene sempre in un modo ideale e da ciò derivano distorsioni spesso notevoli, le quali si manifestano all'orecchio in modo sgradevole e tolgono al suono le caratteristiche che ne costituiscono il timbro.

La mancanza delle armoniche è difficilmente percettibile da un orecchio non musicale e costituisce forse uno dei difetti che meno si osservano nella riproduzione radiofonica, ma che tuttavia compromettono la fedeltà dei suoni. La voce appare cavernosa, gli strumenti non si distinguono uno dall'altro. Perchè un amplificatore a bassa frequenza dia una amplificazione perfetta, è necessario che tutte le note della gamma musicale vengano riprodotte con la stessa intensità di suono o meglio che l'amplificazione sia eguale per tutte le frequenze. L'amplificatore a bassa frequenza deve essere perciò esente da effetti di risonanza.

È necessario inoltre che l'isteresi del nucleo di ferro dolce che è impiegato nel collegamento a trasformatori

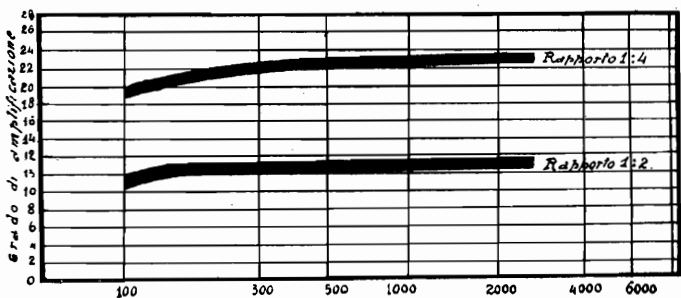


Fig. 119 - Frequenza al secondo (in cicli).

non sia eccessiva. I diagrammi molto noti che sono riprodotti nella fig. 119 possono permettere di formarsi una più chiara idea del grado di amplificazione ottenibile per le varie frequenze della gamma acustica.

In particolare si può vedere da questi diagrammi quanto sia spesso diversa l'amplificazione per le varie frequenze, con evidente danno della fedeltà di riproduzione.

La fig. 120 rappresenta in alto la scala musicale, di cui ogni nota corrisponde ad una determinata frequenza di

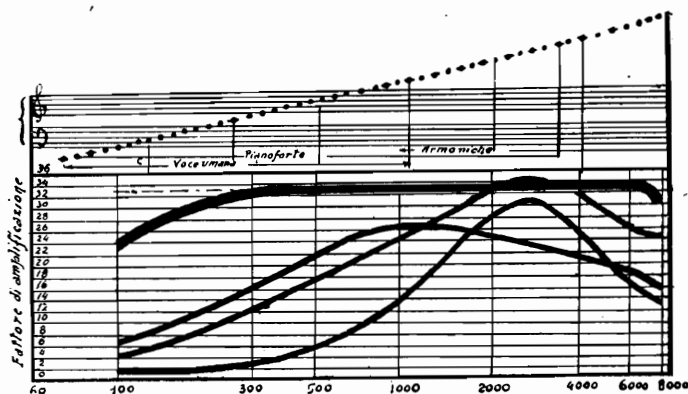


Fig. 120 - Frequenza al secondo (in cicli).

vibrazioni la quale è indicata con maggiore precisione nel grafico inferiore.

In questo sono tracciate parecchie curve.

La curva I è perfettamente retta e rappresenta la riproduzione ideale di un sistema di amplificazione a basse frequenze in cui tutte le frequenze sono riprodotte con uguale intensità. La curva II è stata tracciata sulla base di un trasformatore in commercio, di ottima qualità, applicando alla valvola una tensione anodica di 20 volta, ad una tensione negativa di griglia di 4,5 volta. Come si può constatare essa si scosta notevolmente dalla linea ideale, e precisamente in quella parte che corrisponde alla frequenza della voce umana. Nonostante questa deficienza il trasformatore in parola è ancora ottimo se si considerino le curve III, IV, V fornite da trasformatori di altri tipi.

Sulla risonanza non è però senza influenza il rapporto fra primario e secondario.

Per rendere evidente anche l'influenza di questo sulla riproduzione rappresentiamo in fig. 119 la curva I corrispondente ad un rapporto $1/4$, e quella della curva II, tracciata per un trasformatore dello stesso tipo e costruzione, ma con un rapporto $1/2$. È per questo che si devono escludere *a priori* i rapporti di trasformazione molto alti, i quali, non solo aumentano la distorsione, ma non danno sempre una amplificazione superiore a quella data da trasformatori a rapporto basso.

Un buon trasformatore deve avere al primario un numero di spire abbastanza elevato, specialmente nel caso in cui la valvola precedente abbia una grande resistenza interna. Il nucleo di ferro deve avere dimensioni sufficienti per ridurre al minimo le perdite, mentre l'isolamento deve essere ottimo. Aumentando il numero delle spire si incorre però in un altro inconveniente, quello di aumentare la capacità distribuita. A tale inconveniente si può ovviare usando degli avvolgimenti ripartiti in diverse sezioni.

La fig. 121 rappresenta lo schema di un amplificatore a bassa frequenza, a trasformatore. Il trasformatore ha un rapporto $1:3$.

Il senso dell'avvolgimento ha una importanza assai relativa poichè sarà facile in seguito invertire i capi del

primario e del secondario quando il funzionamento non sia soddisfacente. La batteria inserita fra il filamento e il secondario serve per dare il potenziale alla griglia. Nelle valvole a riscaldamento indiretto ciò si ottiene mediante una resistenza catodica.

Non è neppure senza influenza sul funzionamento dell'amplificatore a bassa frequenza il nucleo di ferro le cui dimensioni devono essere tali da evitare assolutamente la saturazione quando la corrente raggiunge una certa intensità. Non è possibile entrare qui in maggiori dettagli del calcolo e della qualità dei nuclei di ferro da impiegare nei trasformatori. Conviene soltanto tener presente

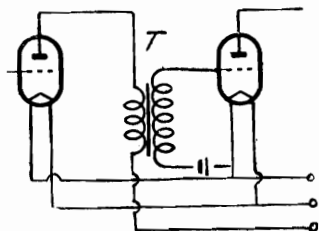


Fig. 121

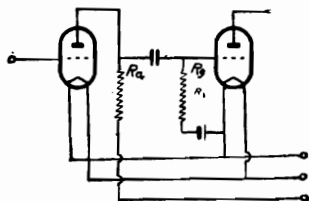


Fig. 122

che gli amplificatori destinati per una riproduzione di maggiore potenza, ciò che avviene di solito nei moderni apparecchi e negli amplificatori grammofonici, devono avere nuclei di ferro di dimensioni molto maggiori che non i trasformatori destinati per riproduzioni con modesto volume di suono.

Un sistema col quale è più facile ottenere una amplificazione eguale di tutte le frequenze musicali è quello a resistenza capacità. Lo schema di principio di un tale amplificatore è rappresentata dalla fig. 122.

Esaminiamo ora sulla scorta di questo le particolarità della sua applicazione alla bassa frequenza.

Siccome nell'anodo della valvola è inserita una resistenza pura, essa rimane inalterata per tutte le frequenze e si avrà perciò con questo sistema una riproduzione praticamente uniforme su tutta la gamma.

In questo montaggio conviene tener conto innanzi tutto della resistenza. Essa può facilmente venire determinata dalla legge di Ohm. Se nel circuito è inserita una resistenza di 100.000 ohm, e la corrente che in essa circola è di un milliampère, avremo, secondo la formula

$$e = ri = 100.000 \times 0,001 = 100 \text{ volta di caduta}$$

Da ciò deriva la necessità di impiegare tensioni anodiche molto elevate con questo sistema di collegamento. Per quanto riguarda l'amplificazione che si può ottenere è necessaria qualche considerazione teorica.

Sia K l'amplificazione di uno stadio V_o la tensione applicata alla valvola seguente, e V_i la tensione applicata alla valvola precedente. Il coefficiente può venire espresso con

$$K = \frac{V_o}{V_i}$$

Diminuendo il valore della resistenza anodica R , anche K viene ad essere diminuito.

Per ottenere in V_i una variazione di 1 volta, è necessario ottenere nel circuito anodico una variazione di $V_i \times \mu$ in cui μ rappresenta il fattore di amplificazione della valvola.

La corrente I nel circuito anodico è uguale a

$$\frac{V_i}{R_a + R_i}$$

in cui R_a rappresenta la resistenza placca-filamento della valvola. La tensione sarà

$$I_a \times R = \frac{V_i \times \mu \times R}{R_a + R_i} = V_o$$

premesso che il condensatore abbia sufficiente capacità. Quindi:

$$V_o = \frac{V_i \times \mu \times R}{R_i \times R} = \frac{V_o}{V} = \frac{\mu R}{R_a + R} = K$$

Se prendiamo $\mu = 100$, che corrisponde ad un coeffi-

ciente di amplificazione abbastanza comune nelle valvole moderne, ed $R_i = 30.000$ ohm, e ammettendo la resistenza esterna del circuito anodico eguale a 50.000, avremo :

$$K = \frac{100 \times 50.000}{30.000 \times 50.000} = 62,5$$

Ammettendo invece $R_i = 100.000$, si avrà :

$$K = \frac{100 \times 100.000}{30.000 \times 100.000} = 77$$

Aumentando R si aumenta quindi anche K , e per il massimo valore di R avremo $K = \mu$.

Da ciò risulta quindi evidente che il massimo dell'amplificazione che si può ottenere è uguale al coefficiente di amplificazione della valvola.

Esistono però delle valvole con elevato coefficiente di amplificazione e con grande resistenza interna, ed è quindi evidente, in base alla formula sopra sviluppata, che con esse si potrà raggiungere un grado elevato di amplificazione.

Il valore del condensatore di collegamento non è critico, e può aggirarsi fra 0,06 e 0,02 microfarad senza dare una differenza sensibile all'audizione. La resistenza di griglia sarà tenuta abbastanza bassa, eventualmente 500 mila ad 1 megohm, ciò specialmente per l'isolamento del condensatore che è perfetto.

PARTE SECONDA

LA TRASMISSIONE

21. - Le stazioni di trasmissione - Le trasmettenti di radiodiffusione su onda media.

Per poter effettuare la trasmissione della parola e della musica mediante la radio, è necessario trasformare le vibrazioni acustiche in oscillazioni elettriche a mezzo del microfono; tali oscillazioni non si possono trasmettere direttamente; ma è necessario produrre delle oscillazioni di alta frequenza e sovrapporre a queste le oscillazioni di frequenza acustica. Tale processo si chiama la modulazione.

Le oscillazioni che è necessario produrre per la trasmissione fonica sono quelle persistenti, che attualmente si producono soltanto mediante la valvola termoionica. Il funzionamento della valvola come oscillatrice è stato già considerato in altra parte, e gli schemi sono quelli che già conosciamo. Una valvola di caratteristiche adatte viene collegata al circuito in modo da ottenere un accoppiamento del circuito di griglia a quello di placca in condizioni tali che il circuito oscillante accordato sia la sede di oscillazioni persistenti.

Per ottenere poi la modulazione di queste oscillazioni si possono usare parecchi sistemi. Il più semplice consiste nell'applicazione delle oscillazioni acustiche direttamente alla griglia della valvola oscillatrice. Il microfono

va collegato attraverso un trasformatore di rapporto alto (1:20) ad un condensatore che è inserito fra la griglia e il circuito oscillante. Questo circuito è accordato sulla frequenza che si vuole impiegare per la trasmissione. Se questo circuito è poi collegato ad un'antenna, si ha una trasmittente del tipo più semplice con la quale è possibile trasmettere la voce e il suono.

Uno schema come quello della fig. 123, che è basato su questi criteri, darebbe risultati soddisfacenti soltanto per la trasmissione della parola. In prima linea la

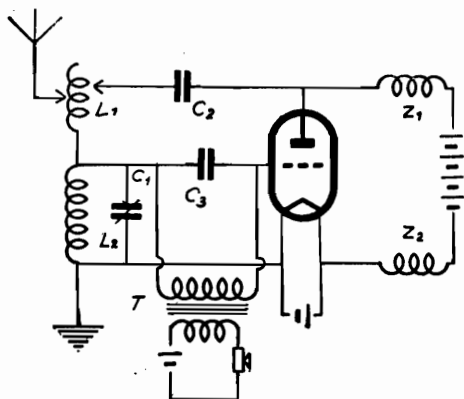


Fig. 123

modulazione non è applicata nel miglior modo. Con l'inserzione del circuito microfonico nel circuito di griglia si possono avere dei fenomeni di variazione dell'energia di trasmissione e si possono avere anche delle interruzioni nella trasmissione stessa. Avviene, cioè, che quando le oscillazioni acustiche hanno una certa ampiezza, varia con ogni oscillazione anche la corrente anodica e con ciò anche le oscillazioni nell'antenna sono soggette a fluttuazioni. Ma con ciò si influisce anche sull'oscillazione della valvola perchè la reazione tra i due circuiti dipende anche dalla corrente anodica. Se l'ampiezza delle oscillazioni acustiche raggiunge un certo limite, le variazioni di corrente anodica possono essere tali da far ces-

sare momentaneamente l'oscillazione. Da ciò risulta una trasmissione ineguale e distorta. Per queste ragioni il sistema si impiega soltanto per trasmettenti di piccolissima potenza e per la trasmissione della parola.

Un sistema migliore per ottenere la modulazione è quello di Heising, che viene impiegato su vasta scala nelle stazioni di trasmissione radiofonica (fig. 124). Il sistema Heising consiste nell'impiego di due valvole alimentate dalla medesima sorgente di tensione anodica. La prima valvola è la oscillatrice di alta frequenza e l'altra serve per la modulazione. Il microfono è inserito nel circuito di griglia. Le variazioni di potenziale prodotte dal

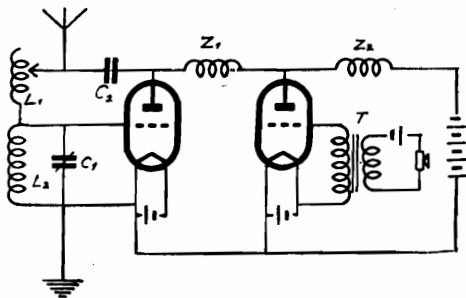


Fig. 124

microfono nel circuito di griglia causano delle variazioni di corrente anodica. L'impedenza inserita nel circuito di placca trasforma le variazioni di corrente in variazioni di tensione che sono comunicate alla placca della valvola oscillatrice e che fanno di conseguenza variare l'ampiezza delle oscillazioni trasmesse all'aereo. Esse seguiranno tutte le variazioni del circuito del microfono e si avrà quindi una modulazione delle correnti ad alta frequenza.

Questo sistema dà buoni risultati per le potenze fino ad 1 kilowatt. Oltre tale limite è necessario ricorrere a sistemi più complessi. Infatti con questo sistema è necessario che le due valvole abbiano la stessa potenza e ciò rappresenta un grande svantaggio se si tratta di potenze elevate.

Gli schemi di trasmettenti che abbiamo esaminati rappresentano il mezzo più semplice per effettuare la trasmissione. Ma simili schemi sarebbe possibile impiegare soltanto per potenze molto ridotte. Se la potenza deve essere elevata è necessario impiegare degli stadi di amplificazione ad alta frequenza e degli altri di frequenza acustica.

La trattazione di questi dettagli esorbiterebbe dai limiti tracciati a questo lavoro e per questa ragione dobbiamo limitarci alle indicazioni generali che abbiamo fin qui esposte.

22. - Le trasmettenti ad onda corta.

Le lunghezze d'onda, normalmente usate nelle trasmissioni, fino a qualche anno fa non andavano sotto i 200 metri. Nei primi tempi si riteneva che per le trasmissioni a grandi distanze fosse necessario ricorrere alle onde lunghe. Si impiegarono così nei primi tempi due gamme d'onda: quella delle onde medie da 200 a 600 metri e quelle da 1000 metri in su. Ma Marconi aveva già sperimentato delle trasmissioni su onda cortissima nel 1916, durante la guerra. Egli impiegò allora, tanto sul fronte italiano quanto su quello inglese, lunghezze d'onda a 2 e 3 metri.

Le onde erano smorzate. Ma i risultati non sono stati tali da permettere l'impiego di quelle lunghezze d'onda per trasmissioni a grandi distanze. Appena dopo l'anno 1920 si tentò nuovamente di impiegare per le trasmissioni le onde corte, mantenendosi però tra i 10 e i 100 metri.

Sono noti i risultati ottenuti in quell'epoca dai dilettranti di trasmissioni, che riescono a stabilire comunicazioni fra i continenti impiegando stazioni di energia ridottissima. Da quell'epoca le trasmissioni su onde corte si svilupparono sempre più e portarono ai risultati che tutti conoscono. È stato naturalmente all'avanguardia Guglielmo Marconi il quale realizzò comunicazioni a grandissima distanza col suo sistema di onde a fascio.

Le trasmettenti su onda corta, quando si scenda sotto i 100 metri, richiedono schemi e materiali speciali desti-

nati per le frequenze elevatissime. Le induttanze devono essere costruite possibilmente senza supporto e il filo deve avere uno spessore notevole per ridurre l'effetto della pelle che su quelle frequenze è molto più accentuato. Anche i condensatori, oltre ad essere di capacità molto minore, devono essere costruiti espressamente per ridurre al minimo le perdite.

Anche la capacità fra gli elettrodi delle valvole ha una grandissima importanza e perciò vanno impiegate soltanto valvole adatte.

Uno schema di trasmettente per onde corte è rappresentato dalla fig. 125. Si tratta di un montaggio semplicissimo col quale è possibile scendere fino a 10 metri

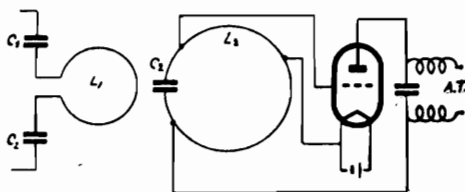


Fig. 125

di lunghezza d'onda. È possibile, usando qualche precauzione, scendere anche sotto i 100 metri.

Per il circuito oscillante è usato un cerchio L_1 col condensatore C_1 , che si compone di due piastre a distanza regolabile. La lunghezza d'onda dipende dalle dimensioni dell'induttanza. I punti di collegamento 1, 2 e 3 vanno trovati per esperimento. Il circuito d'antenna si compone di un'induttanza simile a quelle del circuito oscillante della valvola e va regolato sulla stessa lunghezza d'onda per avere una maggiore energia.

Lo stesso circuito può essere impiegato senz'altro anche per onde più lunghe fino a 100 metri con impiego di condensatori e induttanze di valore maggiore. Nella messa a punto di queste piccole trasmettenti è necessario innanzitutto proporzionare i valori delle induttanze e delle capacità e stabilire poi il funzionamento della valvola

oscillatrice. È necessario poi regolare l'accoppiamento del circuito d'antenna perchè dal grado di accoppiamento dipende il rendimento della stazione.

Un altro circuito che si presta per la trasmissione delle onde corte è l'Hartley, di cui è riprodotto lo schema nella fig. 126. Esso può servire per le onde corte e cortissime fino a 5 metri. L'induttanza del circuito oscillante è divisa in due sezioni: L_2 ed L_3 . Fra queste due parti è inserita l'induttanza d'aereo. Il circuito oscillante viene accordato a mezzo del condensatore C_2 , mentre il condensatore C_1 serve per accordare il circuito d'an-

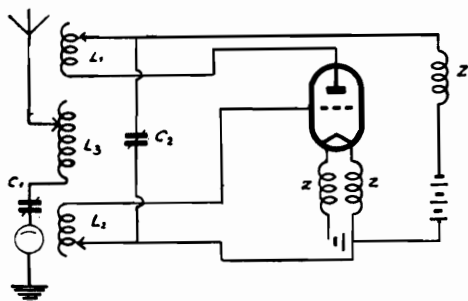


Fig. 126

tenna. Un milliamperometro termico, inserito nel circuito d'antenna, permette di controllare quando si ha la massima energia nell'antenna. I condensatori variabili sono a tre piastre per ogni armatura.

Tanto a questo trasmettitore quanto a quello si può aggiungere il dispositivo per la modulazione di griglia. Essa è sufficiente se ci si limita alla trasmissione della parola.

IL CONTROLLO A CRISTALLO.

La stabilità di frequenza generata da un oscillatore qualsiasi dipende da fattori svariatisissimi ed è assai difficile il raggiungere una stabilità dell'ordine, ad esempio dell'1 %, senza rivolgersi ad artifici di varia natura.

Se si volessero riassumere i principali fattori che intervengono sfavorevolmente nella costanza della frequenza si possono considerare:

- a) variazioni della tensione anodica;
- b) variazioni della tensione d'accensione;
- c) variazioni dell'emissione della valvola generatrice;
- d) variazioni di altre caratteristiche della valvola generatrice;
- e) variazioni di valore dei componenti il montaggio oscillatore;
- f) variazioni dovute alla modificazione della capacità oscillatore-terra.

La eliminazione dei due primi inconvenienti enumerati può essere praticamente raggiunta mediante l'alimentazione del complesso, mediante batterie di notevole capacità, tale comunque, da assicurare una costanza assoluta di tensione durante tutto l'esperimento.

Con questo, però, non si raggiunge la costanza assoluta in quanto sussistono sempre tutti quei fattori considerati in c), d), e) ed f).

Variazioni di emissione della valvola possono verificarsi con una certa facilità anche quando le tensioni di alimentazione vengano mantenute costanti quale il caso dell'alimentazione mediante batterie, che è il caso migliore.

Variazioni di altre caratteristiche delle valvole sono assai più difficili in posti fissi e protetti, ma nel caso di posti mobili, anche lievi scosse od urti possono provocare oscillazioni meccaniche degli elettrodi che portano appunto a tali inconvenienti.

L'ultimo fattore che può intervenire con una certa facilità, specialmente con componenti non perfetti, riguarda la variazione dei loro valori. Tale variazione può essere apportata da fenomeni meccanici, quali urti o scosse, da fenomeni meteorologici, quali variazioni di umidità, di temperatura, ecc., ed infine da fenomeni di origine elettrica, quali riscaldamento dovuto al passaggio di corrente, ecc.

Da questa breve esposizione si comprende che per raggiungere la massima costanza di oscillazione in un

generatore qualsiasi non è sufficiente l'alimentazione ottenuta da corrente continua rigorosa, quale quella fornita da grosse batterie, ma è necessario rivolgersi a dispositivi accessori che provvedano adeguatamente allo scopo.

Tra i sistemi utilizzati allo scopo primeggia a tutt'oggi il controllo a cristallo sfruttante la nota proprietà dei cristalli piezoelettrici.

Certe categorie di cristalli naturali, e tra essi i cristalli di quarzo, possiedono la proprietà di deformarsi meccanicamente per azione di un campo elettrostatico; viceversa possono fornire cariche elettriche se sottoposti a deformazioni meccaniche.

Per raggiungere questi fenomeni con tali cristalli è necessaria una adatta preparazione, che consiste essenzialmente nel taglio del cristallo secondo adatti criteri e nella formazione di lamine, che vengono levigate e lavorate appropriatamente.

La caratteristica del cristallo piezoelettrico, che lo rende adatto al controllo di frequenza, risiede nel fatto che la frequenza di oscillazione, alla quale può oscillare, dipende dalle sue dimensioni geometriche. Pertanto una lamina preparata sarà capace di oscillare sulla frequenza corrispondente al suo spessore e costantemente su tale frequenza.

Un sistema di sfruttamento della lamina di quarzo per il controllo della frequenza in un oscillatore è riportato in fig. 127. Nello schema è riportata una valvola del tipo a riscaldamento indiretto montata come oscillatrice e controllata dal cristallo Q. Il meccanismo di funzionamento del complesso è esattamente quello dell'oscillatore a reazione con accoppiamento attraverso la capacità griglia-placca della valvola. L'impulso provocato, ad esempio, dall'accensione della valvola o dall'applicazione della tensione anodica, provoca una carica elettrostatica alle armature che comprendono il quarzo Q ed il cristallo si deforma in un senso. Le cariche alle armature eccitano la griglia della valvola V che le amplifica immettendole nel circuito di placca accordato, rappresentato dall'induttanza L2 e dalla capacità variabile C2. La capacità griglia-placca permette contemporaneamente alle oscillazioni amplificate di ritornare sulla griglia e di eccitare

nuovamente il cristallo. In tal modo si mantengono oscillazioni che avranno una frequenza dipendente dalle stesse dimensioni geometriche del cristallo, le quali, rimanendo evidentemente inalterate salvo casi particolari, mantengono rigorosamente la stessa frequenza indipendentemente dalle caratteristiche dell'oscillatore. Il circuito di placca deve essere accordato anch'esso sulla frequenza del quarzo.

Il circuito è quindi un autorigeneratore. Se si sostituisce il cristallo con un circuito oscillante accordato si ha lo schema del comune circuito di un oscillatore.

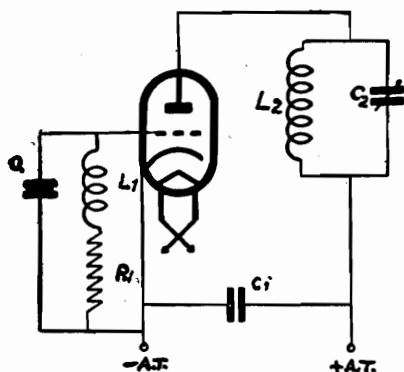


Fig. 127

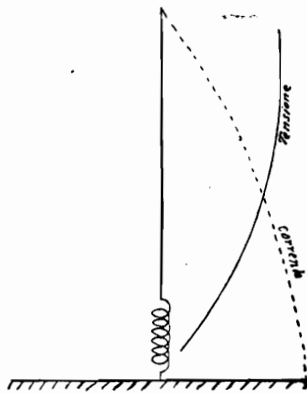


Fig. 128 - Antenna Marconi.

AEREI PER STAZIONI DI TRASMISSIONE A ONDE CORTE.

Il sistema aereo-terra costituisce uno degli elementi più importanti della stazione ad o. c. Dalla costruzione dell'aereo e dal modo come è regolato il sistema aereo-terra o aereo-contrappeso dipende in grandissima parte il risultato della trasmissione.

Sarebbe troppo lungo se volessimo qui entrare in dettagli sui sistemi di aereo e sulla loro regolazione. Dobbiamo però esaminare i tipi principali impiegati di solito.

L'antenna Marconi è rappresentata dalla fig. 128. Qui essa appare collegata alla terra attraverso l'induttanza,

che serve per l'accoppiamento alla stazione. L'antenna presenta una piccola capacità, ma la sua radiazione è prevalentemente terrestre, pur essendo presente anche l'onda spaziale. Questo tipo d'aereo si presta meglio per le onde lunghe, essendo poco efficiente per le onde corte.

Un altro aereo che si presta meglio per le onde corte è quello di Hertz. Tale aereo riproduce il classico ri-

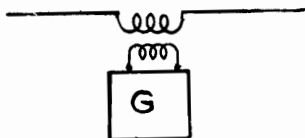


Fig. 129 - Antenna Hertz.

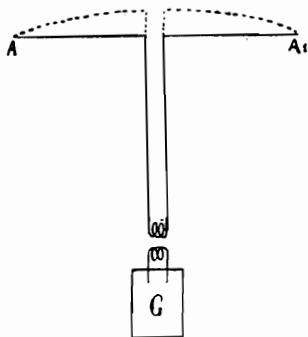


Fig. 130 - Antenna Levy.

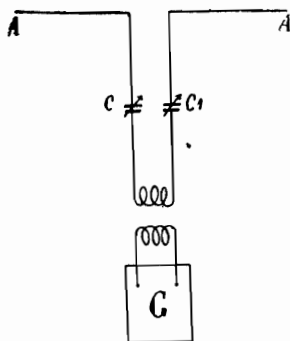


Fig. 131 - Antenna Alexanderson.

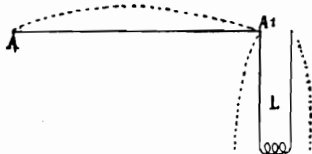


Fig. 132 - Antenna Zeppelin.

suonatore di Hertz e non ha collegamento alla terra (vedi fig. 129). Dall'aereo Hertz è derivata l'antenna Levy (fig. 130) che rappresenta il primo tipo d'aereo con operazione a distanza. Il tratto irradiante è costituito da un aereo Hertz. A metà il conduttore è spezzato per un tratto da 10 a 20 cm., ed è inserita una linea bifilare di alimentazione il cui compito è quello di convogliare la energia oscillante della stazione al sistema radiante, senza dissipazione di energia. La linea assolve perfetta-

mente questo compito perchè nei due conduttori l'energia è sempre diretta in senso contrario, così che l'irradiazione di uno annulla quella dell'altro ed evitando così che l'irradiazione avvenga in cattive condizioni.

Se si inseriscono dei condensatori variabili nella linea si ha l'aereo Alexanderson (fig. 131), che per tutto il rimanente è identico al Levy. I due condensatori permettono di accordare la linea di alimentazione.

Questi aerei operano tutti con eccitazione di corrente. Per ottenere l'eccitazione di tensione si ricorre all'antenna Zeppelin che è rappresentata dalla fig. 132.

Il tratto irradiente di quest'antenna deve contenere sempre una o più semilunghezze d'onda complete.

PARTE TERZA

I RADIORICEVITORI

23. - L'alimentazione dei ricevitori.

I ricevitori erano in primo tempo alimentati tutti senza eccezione a mezzo di batterie. La prima ad essere sostituita è stata la batteria anodica, quando vennero in uso gli alimentatori di placca, dispositivi che trasformavano la corrente alternata in corrente continua e fornivano le tensioni adatte da applicare ai circuiti anodici delle valvole. Infine, con la costruzione delle valvole a riscaldamento indiretto, l'alimentazione a mezzo di batterie è stata abbandonata completamente e l'alimentatore venne costruito assieme all'apparecchio.

Dell'alimentazione dei filamenti delle valvole a riscaldamento indiretto si è già parlato. Basta applicare ai filamenti la tensione necessaria per l'emissione elettronica, che viene fornita dal secondario di un trasformatore collegato alla rete di illuminazione.

L'alimentazione anodica si ottiene raddrizzando la corrente alternata, in modo da ottenere una corrente pulsante, ma sempre nella medesima direzione e livellando poi la pulsazione a mezzo di un filtro adatto. Il mezzo comunemente usato per il raddrizzamento della corrente alternata è il diodo. Siccome la corrente da

raddrizzare è dell'ordine di parecchie decine di milliamperè, il diodo deve avere un'emissione fortissima perchè tutta la corrente anodica deve passare attraverso lo spazio tra filamento e placca del diodo. Infatti, solo dopo lunghi studi si riescì a costruire dei diodi adatti. Successivamente perfezionati, permisero di costruire dei diodi che danno anche 200 mA. di corrente.

Il funzionamento del diodo è noto ed è stato descritto nel capitolo dedicato alle valvole termoioniche. Se si collega attraverso una resistenza il capo segnato con + a quello segnato con — si ha un passaggio di corrente in una direzione sola; perchè il diodo permette soltanto il passaggio dal filamento alla placca, ma non viceversa. La corrente della rete di illuminazione presenta delle variazioni che si possono rappresentare dal diagramma della fig. 133 A. La curva sinusoidale indica la corrente della rete che cambia di potenziale e di direzione in ogni fase. La corrente ai capi dal raddrizzatore cambia di fase ma non di direzione. Si ottengono così soltanto le semionde positive ovvero sia una corrente pulsante. Le pulsazioni di corrente sono interrotte per la durata della fase negativa, come risulta dal diagramma della fig. 133 B. È possibile ottenere anche il raddrizzamento della seconda semionda se si impiega allo scopo un secondo diodo collegato in opposizione con l'altro. Il principio risulta dalla fig. 133 C. Si ottiene così il raddrizzamento di ambedue le semionde e la corrente pulsante presenta allora le variazioni che sono raffigurate sul diagramma. Il sistema è impiegato in tutti i raddrizzatori che servono per l'alimentazione anodica degli apparecchi riceventi.

Altri raddrizzatori di corrente non si impiegano quasi mai nei radioricevitori, per cui non entreremo in dettagli dei raddrizzatori di altro tipo, ma ci limiteremo al solo diodo.

La corrente che esce dal diodo è, come abbiamo visto, una corrente pulsante. Ma per l'alimentazione anodica abbiamo bisogno di una corrente continua perchè altrimenti le periodiche variazioni di potenziale farebbero sentire un ronzio continuo.

La corrente deve essere livellata, e questo livellamento si ottiene a mezzo di filtri adatti. Il filtro più sem-

plice è costituito da un condensatore di grande capacità e da un'impedenza a nucleo di ferro. Quando il potenziale raggiunge il massimo valore il condensatore si carica, immagazzina elettricità, la quale viene scaricata nella seconda fase quando il potenziale raggiunge lo zero (fig. 134).

Se si inserisce nel circuito un'impedenza di valore adatto alla frequenza delle pulsazioni, questa si opporrà al passaggio della corrente, che avverrà più lentamente. Se inseriamo poi all'uscita dell'impedenza un

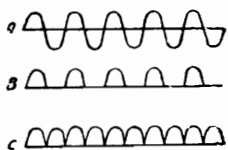


Fig. 133 - Diagramma delle oscillazioni della corrente altern. F. A) Prima del raddrizzamento. - B) Dopo raddrizzata una semionda. - C) Variazioni di corrente nel caso del raddrizzamento di ambedue le semionde.

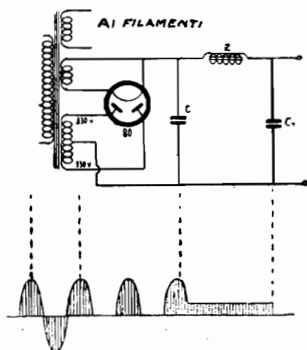


Fig. 134

secondo condensatore, anche questo avrà la stessa funzione del primo, di immagazzinare, cioè, l'elettricità al momento del massimo potenziale e di scaricarsi poi durante la fase successiva. Le pulsazioni così già appiattite dal primo condensatore e dall'impedenza saranno ancor più eguagliate dal secondo condensatore e si otterrà una corrente che sarà praticamente continua e che potrà essere impiegata per l'alimentazione anodica.

Il valore di questi condensatori deve essere elevato. Si impiegano di solito dei valori dell'ordine da 8 a 16 mF. L'impedenza consiste di un solo avvolgimento e ha un valore di una cinquantina di henry.

Negli apparecchi moderni si impiega la bobina di eccitazione dell'altoparlante come impedenza per il cir-

cuito di filtro. In questo modo il filtro si compone soltanto di due condensatori.

Notiamo che il polo positivo dell'alimentatore è quello che è collegato al filamento del diodo, mentre quello collegato alla placca rappresenta il negativo. Perché il circuito sia chiuso è necessario che il polo negativo sia collegato alla massa, alla quale sono pure collegati tutti i ritorni di griglia e i catodi.

Per dare poi ad ogni anodo e alle griglie-schermo delle valvole il giusto potenziale, è necessario ridurre la tensione anodica al giusto valore. Ciò avviene nello stesso modo che abbiamo indicato per il potenziale dei catodi. La caduta di tensione è ottenuta a mezzo di una resistenza. Per poter calcolare il valore è necessario conoscere la corrente che la percorrerà e la differenza di potenziale che si vorrà avere ai suoi capi.

Ammettiamo di avere una valvola che richiede una tensione anodica di 160 volta mentre quella fornita dall'alimentatore potrà essere, ad esempio, di 200. Si dovrà quindi avere una caduta di tensione di 40 volta. Se la corrente a 160 volta è di 5 mA. potremo calcolare con tutta precisione il valore della resistenza sulla base della legge di Ohm:

$$R = \frac{40}{0.005} = 800 \text{ ohm.}$$

Se inserissimo così semplicemente la resistenza nel circuito anodico si formerebbe ai suoi capi una d. d. p. alternativa e le oscillazioni non perverrebbero al negativo del circuito anodico. Per poter lasciar passare le oscillazioni è necessario inserire fra la placca e la massa un condensatore di una capacità adatta che sarà nel nostro caso di 1 mF.

Eguale si deve tener conto della caduta di tensione attraverso l'impedenza del filtro sulla base della resistenza che presenta. Per il calcolo di tale caduta è necessario prendere per base la corrente anodica totale consumata dal ricevitore. Così, ad esempio, se la corrente fosse di 60 mA. e se si avesse a disposizione una tensione di 360 volta si dovrebbe, per avere 260 volta all'uscita dell'alimentatore, produrre una caduta di ten-

sione di 100 volta. La resistenza dell'avvolgimento dovrebbe quindi avere un valore di

$$R = \frac{100}{0,06} = 1666 \text{ ohm}$$

che si possono arrotondare a 1700.

Di solito, siccome gli altoparlanti hanno le bobine di eccitazione di valori fissi, conviene fare il calcolo inverso e determinare la tensione sulla base della resistenza della bobina.

Oltre al potenziale da dare alle placche dei ricevitori è anche necessario che le griglie abbiano la giusta polarizzazione.

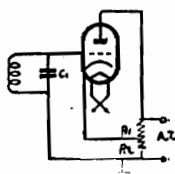


Fig. 135

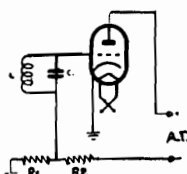


Fig. 136

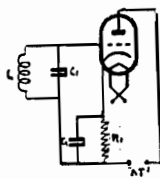


Fig. 137

Il potenziale della griglia di ogni valvola deve essere negativo di fronte al catodo. Per ottenere questa differenza di potenziale vi sono diversi sistemi. Quello più semplice, ma poco in uso, è il potenziometrico. Se si collega una resistenza o una serie di resistenze fra il capo positivo e quello negativo della sorgente anodica si possono scegliere a volontà i potenziali di cui si abbisogna (fig. 135). Se si collega al capo negativo il ritorno di griglia e il catodo ad un punto che abbia un potenziale più positivo della griglia, di tanti volta quanti sono quelli necessari per la polarizzazione, si avrà allora una polarizzazione fissa la quale varia lievemente con la corrente consumata dalla valvola o dall'apparecchio. Un altro sistema (fig. 136) consiste nel collegare fra la terra e il negativo anodico una o più resistenze. Se si collega poi alla terra il catodo e la griglia al capo opposto della resistenza si ha la griglia ad un potenziale più negativo del catodo. Il terzo sistema (fig. 137), che è quello più in

uso, consiste nell'intercalare una resistenza fra il catodo e la terra. Siccome il circuito anodico si chiude attraverso il catodo, così la corrente della valvola percorre la resistenza e produce una caduta di tensione la quale porta il catodo ad un potenziale positivo quanto è necessario per polarizzare la griglia. Di questi tre sistemi si può senz'altro scartare il primo che è pochissimo usato e che rappresenta una polarizzazione fissa e non subisce alterazioni col passaggio della corrente attraverso l'apparecchio o lo stadio. Nel secondo sistema abbiamo le resistenze inserite fra il negativo della tensione anodica e la terra. Di conseguenza tali resistenze saranno percorse da tutta la corrente anodica consumata dall'apparecchio e il valore di ognuna delle resistenze sarà calcolato tenendo conto del consumo totale di corrente. Nel terzo sistema la caduta di tensione è prodotta dalla corrente consumata dalla valvola. Se la corrente anodica aumenta si ha una caduta di tensione maggiore, la quale produce a sua volta la polarizzazione più negativa della griglia e limita quindi anche il passaggio di corrente. Si ha in questo modo una limitazione della corrente anodica che si produce automaticamente e per questa ragione la polarizzazione è chiamata automatica.

Il vantaggio di quest'ultimo sistema è quello di proporzionare la polarizzazione alla corrente anodica e di evitare un eccessivo passaggio di corrente. Esso sposta il punto di lavoro della valvola in relazione alla corrente anodica. Il sistema è quindi preferibile per gli stadi di amplificazione dell'apparecchio.

Nello stadio finale presenta invece qualche vantaggio il sistema semiautomatico della fig. 136. In questo caso la variazione della corrente anodica influisce soltanto in misura limitata sulla polarizzazione perchè la variazione della corrente totale dell'apparecchio viene aumentata di una percentuale piccolissima.

Nell'amplificatore di bassa frequenza e particolarmente nello stadio finale la polarizzazione semifissa porta dei vantaggi come quello di seguire meglio le variazioni di ampiezza dell'onda di modulazione facendo risaltare la differenza di sonorità nel passaggio dai forti ai pianissimi e viceversa. Certo che in queste condizioni la durata della valvola viene abbreviata.

24. - L'antenna ricevente.

L'antenna è l'organo che ha il compito di raccogliere le radioonde emesse dalle stazioni di trasmissione e di convogliarle al ricevitore. Un'antenna regolare consiste di uno o più fili conduttori tesi ad una certa altezza dal suolo, completamente isolati e collegati soltanto all'entrata del ricevitore. L'antenna si compone di due parti: l'aereo propriamente detto e il filo di discesa che è un conduttore che trasmette l'energia captata dall'aereo.

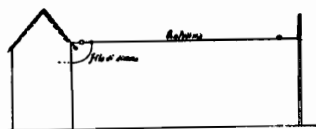


Fig. 138 - Esempio di un'antenna unifilare.

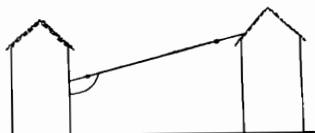


Fig. 139 - Antenna unifilare inclinata. Il filo di discesa va attaccato alla parte più bassa dell'antenna.

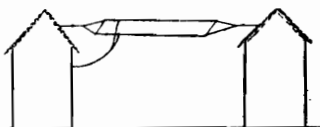


Fig. 140 - Esempio di antenna bifilare. La distanza fra i due fili deve essere di un metro almeno.

Tre esempi di antenne sono illustrati dalle figg. 138, 139 e 140.

Per quanto la sensibilità dei moderni ricevitori abbia ridotto l'antenna ad un organo subordinato che è di solito un semplice pezzetto di filo, tuttavia non sarà inutile un esame sul rendimento di un aereo. La formula ci è già nota (pag. 118):

$$I_r = \frac{188 h_t h_r I_t}{R \lambda d}$$

Il termine d'altezza dell'antenna trasmittente e l'intensità della trasmissione sono estranei all'antenna rice-

vente e non vengono in considerazione per giudicare le qualità dell'aereo che riceve. Il primo fattore che troviamo nel numeratore è l'altezza dell'antenna ricevente dal suolo. Il rendimento è quindi direttamente proporzionale all'altezza.

Questa va calcolata dal suolo rispettivamente dalle masse che sono allo stesso potenziale del suolo. Un'antenna che è costruita sopra il tetto di una casa avrà un'altezza che si calcola dal tetto, perchè il fabbricato è connesso al suolo ed è allo stesso potenziale della terra.

Il secondo fattore che determina l'efficienza dell'aerea è la sua resistenza. Come in ogni circuito radiotelegrafico, l'ampiezza delle oscillazioni è massima quando la resistenza è minima. La resistenza diminuisce se il filo impiegato è di diametro più grosso. La treccia presenta una resistenza più ridotta del filo singolo e risente meno l'effetto della pelle.

L'efficienza dell'aereo è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda.

Il numero dei fili impiegato per l'aereo, vediamo che non viene in considerazione nella formula. L'effetto del numero dei fili è soltanto di aumentare la capacità dell'aereo.

Non sarà il caso di entrare qui in ulteriori considerazioni pratiche sulla costruzione degli aerei. È importante soprattutto che l'isolamento sia perfetto e in questo riguardo conviene tener presente che i fili rimangono esposti alle intemperie e all'umidità che diminuisce le qualità isolanti del materiale impiegato.

Per questo motivo si usano sempre più isolatori in serie. Il filo di discesa deve esser tenuto lontano da tutte le masse che sono connesse al suolo come le pareti, parti di un edificio, ecc. Non è affatto necessario che esso sia ricoperto di uno strato isolante, perchè noi sappiamo che il miglior isolante è l'aria, e siccome il filo non deve venire a contatto con altri oggetti, la presenza di un isolante diverso dall'aria non porterebbe che un peggioramento delle sue condizioni, aumentando le capacità parassite.

L'antenna va poi collegata al circuito oscillante del-

l'apparecchio ricevente che si sintonizza sulla lunghezza d'onda che si vuol ricevere.

L'impiego di un buon aereo costituisce un fattore importantissimo per ottenere una buona ricezione. Anche con un apparecchio sensibilissimo si ha un vantaggio indiscutibile con un aereo perfetto.

Per ridurre i disturbi della ricezione che provengono dagli impianti elettrici il solo mezzo è di collocare l'aereo ad un'altezza tale dove i disturbi non possono essere captati. È però anche necessario evitare che essi siano raccolti dal filo di discesa che deve necessariamente passare attraverso la zona ove si trovano gli impianti. Il mezzo che si impiega di solito consiste nell'uso di un filo di discesa schermato con lo schermo collegato alla terra. Siccome lo schermo formerebbe una capacità eccessiva con filo di discesa, così è necessario ricorrere ai fili appositi che sono costruiti in modo da ridurre questa capacità mantenendo una certa distanza fra i due conduttori.

Il filo schermato deve essere portato fino all'apparecchio e lo schermo collegato allo *châssis* metallico, per evitare che anche una piccola parte del filo possa raccogliere le oscillazioni indesiderate.

25. - Il circuito d'entrata dei ricevitori.

Il circuito di entrata dei ricevitori rappresenta il primo circuito oscillante al quale vengono dirette le oscillazioni in arrivo prima di essere amplificate. Tale circuito deve perciò essere collegato all'antenna e alla terra.

Il più semplice collegamento consiste nell'inserire lo stesso circuito oscillante fra l'antenna e la terra (fig. 141). Il sistema antenna-terra costituisce però già da per sé un circuito oscillante che presenta induttanza, capacità e resistenza. L'induttanza è costituita dall'aereo stesso che come conduttore ha pure esso un coefficiente di autoinduzione. La capacità è costituita dall'aereo e dalla terra che formano le armature di un condensatore. Come ogni altro circuito, così anche il sistema aereo-terra ha una resistenza propria.

Nel collegamento della fig. 141 abbiamo questo sistema aereo-terra in parallelo col circuito oscillante, e quindi lo smorzamento da esso prodotto sarà notevole e avrà l'effetto di appiattire la curva di sintonia, diminuendo così la selettività del ricevitore.

Per questa ragione il collegamento del circuito d'entrata non è mai fatto direttamente; si ricorre ad un accoppiamento fra i due circuiti che sono separati uno dall'altro (fig. 142).

L'accoppiamento può essere induttivo oppure capacitativo. Il secondo sistema non si usa quasi mai, ma si ricorre di solito a quello induttivo, impiegando due circuiti separati con accoppiamento non troppo stretto. Vi è la possibilità di impiegare due induttanze del tutto separate, oppure di usare l'induttanza stessa come autotrasformatore collegando l'aereo ad una presa intermedia dell'avvolgimento. Quest'ultimo sistema, una volta molto usato, è ora completamente abbandonato.

L'accoppiamento fra il primario e il secondario non dev'essere molto stretto perchè venga ridotto al minimo l'effetto dello smorzamento. Con un trasformatore di alta frequenza normale si usa un rapporto di trasformazione che si aggira intorno ad 1:3. Il miglior rapporto dipende dalle caratteristiche dell'aereo. Perciò con questo sistema si è costretti a procedere ad una regolazione ogni volta che si cambia l'aereo. Per poter rendere costante il circuito si inserisce un condensatore fra l'aereo e il primario del trasformatore di entrata.

In luogo del primario si può inserire una bobina di arresto o impedenza. Questa essendo semiaperiodica non ha una risonanza su una determinata frequenza. L'accoppiamento fra il primario e il secondario è tenuto ad un minimo, come si vede dalla figura 143. L'impedenza è posta alla base della bobina e precisamente nel suo interno e l'effetto di induzione è ridotto al minimo.

Siccome le oscillazioni in arrivo sono inviate al circuito oscillante prima di essere sottoposte ad un'amplificazione ad alta frequenza, così è necessario che le sue caratteristiche siano scelte in modo da ridurre al minimo le perdite. La forma migliore per l'induttanza è quella a solenoide; per l'impedenza del primario si impiega, di solito, la forma a nido d'ape.

Nella sintonizzazione del circuito d'entrata il condensatore variabile in parallelo all'induttanza assume una importanza particolare. Il condensatore che abbiamo studiato si compone di armature semicircolari, e si ottiene la variazione di capacità mediante un movimento circolare dell'armatura mobile; il valore della capacità è proporzionale all'angolo di rotazione (fig. 144).

Questa variazione non è molto favorevole all'accordo di un circuito sulle diverse lunghezze d'onda. Essa dà la stessa variazione assoluta della capacità per la stessa

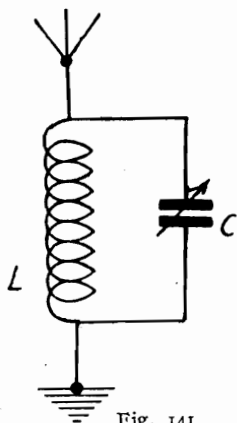


Fig. 141

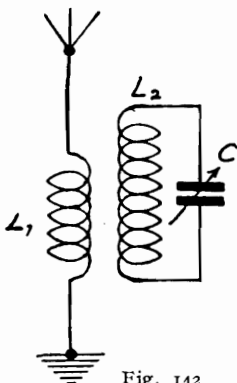


Fig. 142

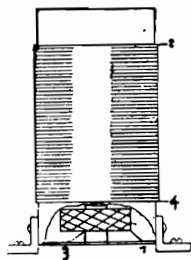


Fig. 143

rotazione, vale a dire per le capacità piccole si ha una variazione relativamente grande ed una variazione relativamente piccola per le capacità maggiori.

Per formarsi un'idea dell'effetto di questa variazione, possiamo tracciare un grafico, riportando sulle ascisse i gradi del condensatore corrispondenti a quelli del quadrante che si fissa di solito all'asse, e sulle ordinate la capacità del condensatore. Segnando con un punto la capacità corrispondente ad ogni grado di condensatore otterremo la linea I della fig. 145. La variazione di capacità che si ha ai primi 20 gradi del condensatore, è relativamente rapida, e se facciamo un calcolo con l'aiuto della formula di Thompson della variazione di

frequenza che si ottiene in un circuito oscillante con un condensatore di questo tipo, possiamo facilmente constatare come la variazione che si ha per ogni grado del condensatore, dall'uno al venti, è molto più rapida che non agli ultimi gradi del condensatore.

Si è constatato, perciò, che questa variazione non era

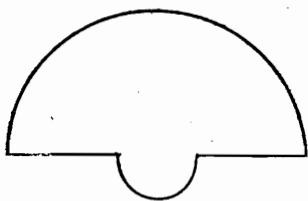


Fig. 144 - Armatura semicircolare di un condensatore variabile.



Fig. 146 - Lamina di un condensatore a variazione lineare della lunghezza d'onda.

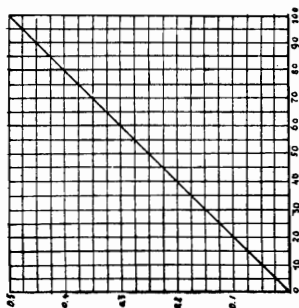


Fig. 145 - Grafico di variazione della capacità di un condensatore a lamine semicircolari.

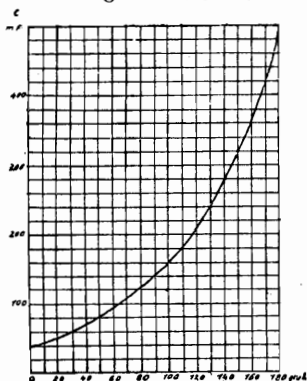


Fig. 147 - Grafico della capacità di un condensatore a variazione lineare della lunghezza d'onda.

molto favorevole per l'uso dei circuiti in cui si deve avere una facile variazione della sintonia e si sono costruiti quindi dei condensatori che seguono una legge di variazione diversa. Lo scopo si ottiene variando la forma di una delle armature. Di solito si varia la forma dell'armatura mobile.

Sono stati così creati dei tipi di condensatore che seguono leggi di variazione diverse. Il condensatore a variazione parabolica o quadratica della capacità dà una variazione proporzionale al quadrato dello spostamento angolare dell'armatura mobile. Siccome la lunghezza d'onda di un circuito oscillante varia col quadrato della

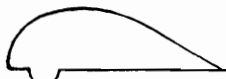


Fig. 148 - Lamina di un condensatore a variazione lineare della frequenza.

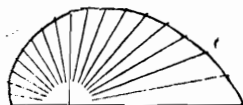


Fig. 150 - Lamine di un condensatore a variazione logaritmica.

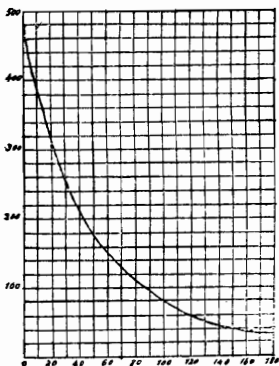


Fig. 149 - Grafico della capacità di un condensatore a variazione lineare della frequenza.

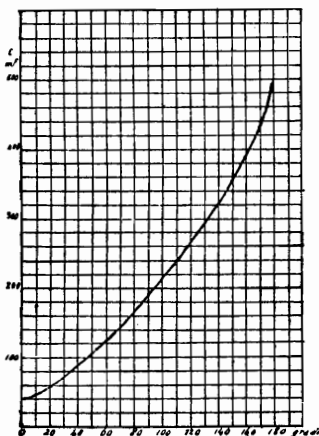


Fig. 151 - Grafico della capacità di un condensatore a variazione logaritmica.

capacità, così si ottiene una variazione lineare della lunghezza d'onda. L'uso di questi condensatori permette di ottenere una variazione di lunghezza d'onda del circuito oscillante che è uguale per tutti i gradi del condensatore.

Così, ad esempio, se con una determinata induttanza

si ottiene una lunghezza d'onda di m. 350 su 40 gradi del condensatore, si può senz'altro calcolare che a 80 gradi la lunghezza d'onda sarà di 700 metri (figg. 146 e 147).

Siccome le lunghezze d'onda sono state distribuite fra le diverse stazioni secondo il piano di Ginevra, tenendo conto delle frequenze anzichè delle lunghezze d'onda, così si è pensato di creare un tipo di condensatore che dia al circuito una variazione di frequenza uguale per ogni grado, e questo tipo è chiamato comunemente a variazione lineare di frequenza.



Fig. 152 - Condensatore variabile a variazione logaritmica.

Siccome la frequenza è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda, così la forma delle piastre del condensatore dovrà, in questo caso, avere una forma diversa da quella del condensatore a variazione lineare di lunghezza d'onda (figure 148 e 149).

Il calcolo della curva delle armature è una operazione che riguarda il costruttore e di cui noi non ci occuperemo qui. Osserveremo ancora che è stato creato un tipo di condensatore che segue una legge diversa, cioè la logaritmica. Esso ha lo scopo di ottenere una variazione di lunghezza d'onda che sia eguale per tutti gli angoli di rotazione del condensatore qualunque sia il valore dell'induttanza impiegata (figg. 150 e 151).

In questo modo è possibile ottenere che due circuiti accordati con due condensatori variabili abbiano la stessa lunghezza d'onda per lo stesso grado del quadrante del condensatore.

Il principio è usato per sintonizzare in un apparecchio simultaneamente due o più circuiti con condensatori il cui asse è comune a tutti. Si può effettuare, così, la sintonizzazione di un apparecchio che abbia molti circuiti accordati con una manovra sola.

La fig. 152 rappresenta un condensatore variabile a variazione logaritmica; la fig. 153 alcuni condensatori variabili accoppiati per la sintonizzazione simultanea di due o più circuiti; la fig. 154 un tipo di condensatore variabile di precisione per misure radioelettriche.

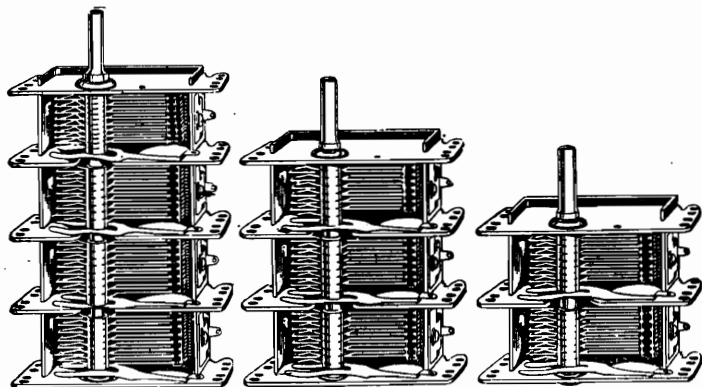


Fig. 153

Condensatori variabili accoppiati per la sintonizzazione simultanea di due o più circuiti.



Fig. 154

Tipo di condensatore variabile di precisione per misure radioelettriche.

26. - Il rivelatore a cristallo.

Il cristallo è la forma caratteristica che assume una sostanza chimicamente pura, quando le sue molecole si orientano. Molti corpi semplici, come ad esempio i sali, hanno sovente, allo stato naturale, la forma di cristallo.

Per quanto riguarda le proprietà elettriche, essi hanno la caratteristica di non lasciar passare la corrente elettrica in tutte le direzioni. Essi offrono alla corrente una resistenza molto maggiore in una direzione che in un'altra. Si dice che la loro conduttività è unilaterale. Di conseguenza se si applica ad un cristallo una f. e. m. ad a. f., tutte le semionde negative vengono soppresse. Le semionde positive invece sono lasciate passare liberamente. In questo modo si ottiene a mezzo dei cristalli la rettificazione delle correnti oscillanti e queste correnti rettificate possono azionare la membrana telefonica nel modo che abbiamo esaminato in precedenza.

L'effetto della rettificazione dipende in prima linea dalla qualità del cristallo. Certi cristalli, come le piriti di ferro, la galena, il carborundum, danno i migliori risultati come raddrizzatori. La galena, che è il cristallo più in uso, è un solfuro di piombo.

Il carborundum è carburo di silicio trattato nel forno elettrico. Altri cristalli raddrizzatori sono la molibdenite, la bornite, la zincite, la calcopirite, la silice.

Il raddrizzatore a cristallo consiste di una punta metallica appoggiata al cristallo a mezzo di una molla. Così sono usati la galena e gli altri cristalli impiegati di solito per la ricezione radiofonica. Il dispositivo per fissare il cristallo al supporto e per tener ferma la punta assume le forme più svariate; il funzionamento è sempre lo stesso e consiste nel contatto del metallo e del cristallo (fig. 155).

Si può anche ottenere un effetto di rettificazione mettendo a contatto due cristalli diversi come la bornite e la zincite. Raddrizzatori di questo tipo sono in commercio sotto il nome di « pericon ».

Perchè un raddrizzatore a cristallo dia buoni risultati è necessario che esso lasci passare la corrente elettrica in un senso solo e che la sua conduttività vari in proporzione al valore della differenza di potenziale appli-

cata. Non tutti i cristalli hanno questa proprietà nello stesso grado. Per giudicare meglio le qualità dei cristalli conviene esaminare più da vicino come avvenga la rettificazione.

Consideriamo un contatto fra due conduttori metallici. Esso lascia passare la corrente elettrica in tutti i sensi e

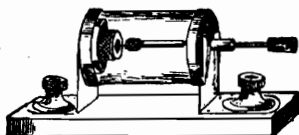


Fig. 155

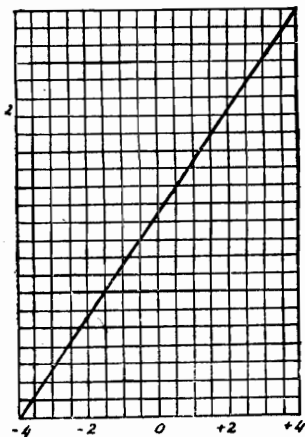


Fig. 156

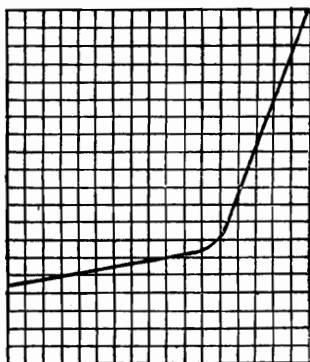


Fig. 157

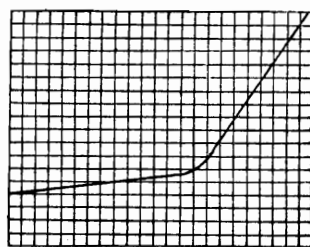


Fig. 158

si comporta come se fosse un conduttore solo e si chiama perciò contatto perfetto. Come ogni conduttore esso seguirà la legge di Ohm, vale a dire che la differenza di potenziale, applicata ai suoi capi, corrisponderà alla intensità di corrente che lo percorre. Secondo la legge di Ohm la corrente è uguale alla resistenza moltiplicata per la differenza di potenziale applicata: $E=RI$.

Ora, se supponiamo che in un contatto la resistenza sia di 0,5 ohm, avremo $E=0,5 \times I$, ossia la corrente sarà uguale alla metà della differenza di potenziale di 2 volta, una corrente di 1 ampère, per una d.d.p. di 4 volta, una corrente di 2 ampère e così via.

Se si costruisce su questa base un grafico riportando sulla linea orizzontale la d.d.p. e su quella verticale l'intensità di corrente, e se ne segniamo con un punto le posizioni in cui i valori corrispondenti si intersecano, otterremo una linea retta come quella della fig. 156. Da questo grafico vediamo che la linea verticale corrispondente al valore di più 4 volta segnato in calce s'incontra con la linea diagonale al punto corrispondente della corrente di 2,5 ampère. Così per ogni valore della d. d. p. avremo una corrente corrispondente che dipenderà dalla resistenza del circuito.

Un contatto rivelatore è invece un contatto imperfetto e non segue la legge di Ohm, ossia non si avrà, come in contatto fra due metalli, una variazione di eguale intensità per ogni tensione applicata.

Se si prende, ad esempio, un contatto fra una punta metallica ed un cristallo di galena, si può constatare che, aumentando il potenziale ai suoi capi, si avrà un aumento proporzionale di corrente quando questa circola in un senso.

Se si invertono i capi del circuito, non passerà nessuna corrente. Se tracciamo un grafico, come abbiamo fatto per il contatto fra i due metalli, non otterremo più una linea retta, ma una curva come quella della fig. 157. Da questa curva possiamo stabilire che quando il potenziale è positivo, la corrente che passa attraverso il cristallo è determinata dalla legge di Ohm, cioè è proporzionale alla differenza di potenziale. Quando invece il potenziale diviene negativo, la corrente che passa, se pure aumenta in piccolissima misura con l'aumentare del potenziale, ha un valore che è del tutto trascurabile. Si ha quindi l'effetto raddrizzatore.

Tracciamo ora la stessa curva per un cristallo di carborundum. Essa avrà lo stesso aspetto di quella della galena con la differenza però che il ginocchio, anzichè essere nella posizione corrispondente al potenziale zero, è spostato a destra e corrisponde al potenziale di circa

più 1 volta (fig. 158). Ciò significa che se le oscillazioni ad alta frequenza hanno, ad esempio, un'ampiezza di due volte, variano da meno 1 a più 1 volta, non passerà nessuna corrente attraverso il cristallo perchè, secondo il grafico, la corrente corrispondente a quelle d. d. p. è pressochè zero.

È evidente che per questo motivo non si otterrebbe nessun risultato usando un carborundum al posto della galena, perchè non passerebbe nè la semionda positiva nè quella negativa.

Ma qui si ricorre di solito ad un artificio e si applica ai capi del circuito una d.d.p. costante a mezzo di una pila che genera una corrente continua. Così si ottiene che allo stato di riposo, cioè in assenza di oscillazioni, ai due punti di contatto del cristallo vi sia sempre una certa d. d. p. Una semionda positiva di un'oscillazione produrrà un aumento di potenziale e il cristallo lascerà passare la corrente, mentre invece la semionda negativa diminuirà il potenziale e la corrente non potrà passare attraverso il cristallo.

Siccome sarebbe difficile trovare la giusta tensione necessaria perchè il cristallo funzioni al punto dove la curva forma il ginocchio, si usa di solito un potenziometro col mezzo del quale si può variare entro certi limiti il potenziale e trovare il miglior punto di funzionamento.

Il contatto carborundum è un po' più sensibile per le oscillazioni deboli e dà una sintonia leggermente più acuta degli altri cristalli, perchè la sua resistenza è più elevata. Un contatto di carborundum ha una resistenza di circa 20.000 ohm. La resistenza della galena e della maggior parte degli altri cristalli si aggira intorno ai 5000 ohm.

È quindi evidente che il carborundum darà il maggior vantaggio quando si debbano rettificare delle oscillazioni molto deboli, mentre in condizioni favorevoli, quando le oscillazioni sono forti, come avviene quando si voglia ricevere una stazione nelle immediate vicinanze, i due cristalli si equivalgono.

Convieni, infine, rilevare ancora che i cristalli non sono egualmente sensibili in tutti i punti e che è necessario cercare con la punta metallica la posizione mi-

gliore in cui si ha il massimo passaggio di corrente per le semionde positive. Ciò avviene mediante un dispositivo che permette di spostare la punta di contatto durante il funzionamento. Per ottenere il miglior risultato la punta deve toccare appena il cristallo. E perciò nature che anche delle vibrazioni meccaniche leggerissime possono spostare la punta dalla sua posizione e rendere necessaria un'altra regolazione.

Il carborundum non ha bisogno di un contatto a punta metallica, ma è sufficiente mettere a contatto col cristallo una lamina di metallo a pressione costante.

Il cristallo è usato come rivelatore per la ricezione della stazione locale. La ricezione di trasmissioni lontane non riesce che in casi eccezionali e richiede infinite precauzioni. Per questa ragione il suo uso rimane limitato. La sola energia che viene in considerazione nel circuito è quella raccolta dall'aereo; per questa ragione non è possibile azionare un altoparlante servendosi del solo ricevitore a cristallo, ma la ricezione deve avvenire mediante una cuffia.

Comunque nel caso della stazione locale il cristallo dà ottimi risultati ed è sufficiente inserirlo ad uno dei due capi di un circuito oscillante collegato in qualche modo ad un aereo e collegare poi la cuffia.

27. - La reazione.

Abbiamo avuto a suo tempo occasione di conoscere quali siano le condizioni perchè il circuito collegato ad una valvola possa essere la sede di oscillazioni persistenti. La reazione è da considerare ora sotto l'aspetto particolare che assume dal punto di vista della ricezione. È noto che agli apparecchi riceventi può essere conferita una enorme sensibilità con l'impiego razionale della reazione.

Per potere sfruttare al massimo questo fenomeno è necessario regolare l'apparecchio all'estremo limite dell'inesco o meglio aumentare l'accoppiamento reattivo fino al massimo che è possibile senza che si produca l'oscillazione. A tale scopo è utile conoscere da quali fattori dipende l'entrata in oscillazione della valvola e quali

siano gli accorgimenti pratici per trarne il massimo profitto.

Le condizioni perchè si produca l'oscillazione si possono così riassumere :

1) accoppiamento fra il circuito di griglia e quello di placca;

2) le oscillazioni dei due circuiti devono essere in fase.

Il grado di accoppiamento fra il circuito anodico e quello di griglia necessario per produrre l'oscillazione dipende dalla resistenza interna della valvola e dal coefficiente di amplificazione.

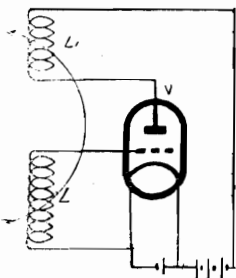


Fig. 159

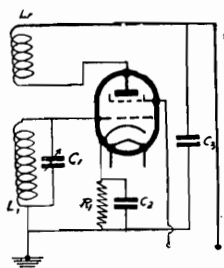


Fig. 160

Quando la resistenza interna aumenta è necessario un accoppiamento maggiore perchè la valvola possa oscillare. Quando invece il coefficiente di amplificazione aumenta, l'accoppiamento sarà minore.

Ordinariamente una valvola che abbia un alto coefficiente di amplificazione ha anche una resistenza interna elevata. Dal rapporto fra questi due valori dipenderà la tendenza minore o maggiore della valvola ad oscillare. Per tale motivo accade assai spesso che sostituendo una valvola in un circuito a reazione sia necessario cambiare la bobina per aumentare il grado di accoppiamento. È ovvio considerare quale importanza abbia il fenomeno dell'oscillazione; cercheremo quindi qui di illustrarlo più dettagliatamente.

Prendiamo in considerazione il circuito della fig. 159. Un circuito oscillante, composto di un condensatore va-

riabile e di una induttanza è inserito fra la griglia e il filamento. Ogni variazione prodotta da una oscillazione in questo circuito causerà una variazione analoga nel circuito di placca. Tali variazioni sono fatte passare attraverso la bobina del circuito anodico, la quale è accoppiata alla bobina di griglia.

In seguito alla mutua induzione l'oscillazione del circuito anodico produrrà delle variazioni maggiori nel circuito di griglia. Se tali oscillazioni sono in fase nei due circuiti, l'energia fornita dal circuito anodico compenserà le perdite del circuito di griglia. Se invece il flusso avesse la direzione opposta si produrrebbe il fenomeno inverso e lo smorzamento del circuito di griglia verrebbe ad essere ancora aumentato.

Abbiamo visto come per mantenere l'oscillazione sia necessario che dal circuito anodico sia fornita tanta energia quanto è indispensabile per compensare le perdite causate dalla resistenza nel circuito di griglia. Vi ha però un punto critico nell'accoppiamento dei due circuiti al disotto del quale l'energia è insufficiente per produrre l'oscillazione. Se μ è il coefficiente di amplificazione e Vg la differenza di potenziale applicata alla griglia, la tensione prodotta nel circuito anodico sarà μVg . Se r significa la resistenza interna della valvola, la corrente anodica sarà $\frac{\mu Vg}{ri}$, la potenza del circuito anodico sarà $\frac{\mu Vg Va}{ri}$, in cui Va è la d.d.p. della corrente oscillatoria.

Se consideriamo ora il circuito di griglia avremo in questo la corrente oscillante che esprimeremo con la lettera I e la resistenza R . La potenza dissipata sarà quindi I^2R .

Se M è la mutua induzione fra le due induttanze se la corrente oscillatoria I è tenuta ad una frequenza f , la d.d.p. trasmessa per induzione dal circuito di griglia a quello anodico sarà $IM2\pi f$. Questa d.d.p. costituirà il valore di Va della formula precedente. Potremo quindi scrivere:

$$Va = IM2\pi f$$

Se chiamiamo L_1 l'induttanza del circuito di griglia avremo la corrente oscillante di griglia

$$V_g = IM 2 \pi f$$

Possiamo quindi sostituire questi valori nella prima formula

$$\frac{\mu V_a V_g}{ri} = \frac{\mu I M^2 \pi f \times I^2 L_1 2 \pi f}{ri} = \frac{I^2 M L_1 (2 \pi f)^2 \mu}{ri}$$

questa, essendo la potenza del circuito anodico, rappresenterà il valore necessario per compensare la dissipazione di energia $I^2 R$.

Si avrà quindi:

$$I^2 R = \frac{I^2 M L_1 (2 \pi f)^2 \mu}{ri} \quad \text{e} \quad M = \frac{R ri}{L_1 \mu (2 \pi f)^2}$$

Noi sappiamo però che la frequenza secondo la formula di Thomson è:

$$f = \frac{1}{2 \pi \sqrt{L_1 C}}$$

in cui C è la capacità del condensatore.

Perciò:

$$2 \pi f = \frac{1}{\sqrt{L_1 C}} \quad \text{e} \quad (2 \pi f)^2 = \frac{1}{L_1 C}$$

sostituendo questo valore nella relazione precedente si avrà:

$$M = \frac{C R ri}{\mu}$$

Tale relazione ci indica il grado di accoppiamento critico che è necessario per produrre l'oscillazione.

Dall'esame di questa ultima formula possiamo agevolmente dedurre quali siano gli elementi che influiscono sull'oscillazione della valvola.

La capacità nel circuito oscillante ha innanzi tutto una importanza che è spesse volte ignorata. Più grande è

la capacità, tanto maggiore dovrà essere l'accoppiamento fra i circuiti.

La resistenza del circuito oscillante influisce pure sull'innescò dell'oscillazione.

Più aumenta la resistenza del circuito tanto maggiore dovrà essere l'accoppiamento.

La resistenza interna e il coefficiente di amplificazione costituiscono poi i due valori che determinano la tendenza ad oscillare della valvola. Se aumenta la resistenza interna deve aumentare conseguentemente l'accoppiamento.

Quando invece aumenta il coefficiente di amplificazione, l'accoppiamento sarà minore. I due fattori: resistenza interna e coefficiente di amplificazione sono correlativi. Se aumenta il coefficiente di amplificazione aumenterà anche la resistenza interna.

Il rapporto non è però costante per tutte le valvole, ma dipende dalla costruzione e dalla disposizione e forma degli elettrodi.

Due valvole che abbiano lo stesso coefficiente di amplificazione possono avere una resistenza interna diversa.

Questa relazione è espressa nel concetto della mutua conduttanza della valvola.

Essa si misura in mHo e si ottiene moltiplicando per mille il coefficiente di amplificazione e dividendo il prodotto per la resistenza interna in migliaia di ohm.

$$G m = \frac{\mu \times 1000}{R i}$$

Questo valore ha quindi una notevole importanza per poter giudicare la tendenza che ha una valvola ad oscillare, e dovrebbe essere sempre indicata fra le caratteristiche. Una valvola che abbia una mutua conduttanza maggiore avrà anche una maggiore tendenza ad oscillare. Va qui posto in rilievo come il coefficiente di amplificazione della valvola, quale può essere calcolato teoricamente nei modi usuali, non corrisponde al reale coefficiente, il quale deve essere misurato al ponte di Miller. Per calcolare la mutua conduttanza è necessario pren-

dere per base il coefficiente reale, che di solito è indicato fra le caratteristiche fornite dal costruttore.

Il fenomeno della reazione può essere applicato nei circuiti riceventi in qualsiasi stadio per ottenere una maggiore sensibilità. Negli apparecchi che consistono di una sola valvola, la reazione è applicata alla rivelatrice; negli apparecchi con amplificazione ad alta frequenza, la reazione si applica pure alla rivelatrice.

Il tipo di reazione può essere ad accoppiamento elettromagnetico, elettrostatico oppure misto.

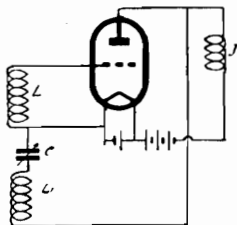


Fig. 161

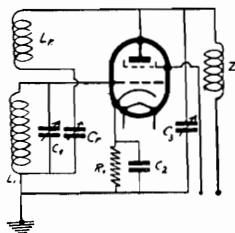


Fig. 162

La rappresentazione schematica della reazione ad accoppiamento induttivo è data dalle figg. 159 e 160. Nelle figg. 161 162 l'accoppiamento è misto, cioè elettrostatico e induttivo. Si inserisce nel circuito anodico un'impedenza la quale ha la funzione di lasciar passare bensì la corrente continua, ma di impedire il passaggio della corrente oscillante, la quale deve invece prendere la via attraverso il condensatore C2 al circuito di griglia.

Questo sistema misto, cioè induttivo e capacitativo ad un tempo, è chiamato anche Reinartz, perchè questi fu il primo che lo impiegò.

IL RICEVITORE A REAZIONE.

Una valvola collegata ad un circuito ricevente in modo da funzionare come rivelatrice potrebbe servire agevolmente per la ricezione della stazione locale, e rappresenta il mezzo più elementare per la ricezione a mezzo di una sola valvola. Come sensibilità troviamo che è di poco superiore a quella di un comune buon circuito a

cristallo e non sarebbe quindi sufficiente per ricevere in condizioni normali stazioni più lontane. Per poter conseguire questo scopo è indispensabile che la valvola sia atta a dare una amplificazione sufficiente delle oscillazioni. La reazione ci permetterà di raggiungere questo obiettivo. Avremo quindi che il circuito più semplice per ricevere le stazioni lontane è la valvola rivelatrice a reazione.

L'enorme diffusione che incontrarono i circuiti di questo tipo al loro apparire fu giustificato dal fatto che è possibile giungere ad un rendimento tale di una valvola rivelatrice da consentire la ricezione di stazioni anche lontanissime. Attualmente il favore che godevano questi circuiti è notevolmente scemato dato lo sviluppo raggiunto dalla radio e dall'aumento di nuove stazioni per cui la selettività di tali circuiti si è dimostrata nella maggioranza dei casi insufficiente. Ciò nonostante questo semplice montaggio non è affatto da trascurare, ed è forse uno dei migliori per la ricezione su onde corte.

Per chi disponga di un aereo ben sviluppato e sia ubicato sufficientemente lontano dalle stazioni radiotrasmettenti, la valvola a reazione può rendere ancora ottimi servizi, e si impone nel campo dei dilettanti, soprattutto per il vantaggio della grande semplicità. Abbiamo già accennato come la sensibilità di questi circuiti sia basata sull'effetto della reazione. La massima amplificazione si avrà quindi quando l'accoppiamento sia tale da dare il massimo grado di amplificazione senza che si producano gli effetti dell'innescamento. Ora, il grado di accoppiamento fra i due circuiti per produrre l'oscillazione può variare entro certi limiti, e l'aumento di amplificazione, dal minimo fino al massimo, può avere una variazione molto lenta o molto rapida.

E ovvio che con una regolazione lenta debba essere possibile avvicinarsi con maggiore facilità all'innescamento senza incorrere nel rischio di innescare le oscillazioni. È da questo fattore che dipende la sensibilità del circuito. L'effetto della reazione equivale ad una diminuzione della resistenza nel circuito ricevente. Infatti sappiamo che in qualsiasi circuito ricevente, formato da un condensatore e da un'induttanza, una oscillazione dovrebbe rima-

nera persistente se non ci fosse la resistenza che produce uno smorzamento e riduce gradualmente di ampiezza ogni singola oscillazione fino a tanto che essa si spegne completamente. Questo effetto fu talvolta paragonato all'attrito che si ha, ad esempio, in un pendolo il quale continuerebbe in eterno il suo moto, se non vi fosse la resistenza dell'aria a rallentare e quindi a spegnere il movimento. La reazione paralizza praticamente l'effetto della resistenza la quale viene così a diminuire man

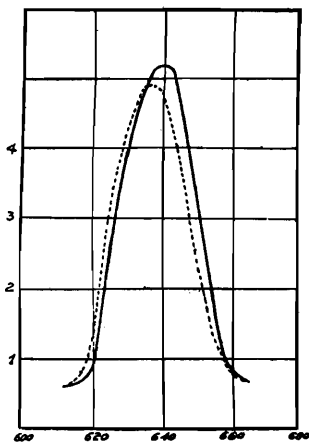


Fig. 163

mano che cresce l'energia trasferita dal circuito di placca. Quando questa energia è sufficiente per paralizzare completamente l'effetto della resistenza, le oscillazioni non si spengono più, ma diventano persistenti. L'effetto è lo stesso come se il circuito non avesse nessuna resistenza.

Si dovrebbe perciò ritenere che fosse pressochè indifferente, nel caso di un circuito a reazione, che il materiale impiegato abbia più o meno resistenza e dovrebbe essere quindi inutile usare materiale a minima perdita, perchè le perdite verrebbero compensate dalla reazione.

Ciò si verifica però sino a un certo punto.

Il grafico della figura 163 rappresenta l'amplificazione data da una valvola a reazione con l'impiego di una induttanza a minima perdita. La curva segnata in tratteggio segna il grado di amplificazione che dà lo stesso circuito collegando in serie con l'induttanza un'alta resistenza.

Le due curve stanno a rappresentare l'acutezza di sintonia nei due casi distinti, per le frequenze dai 600 ai 660 kilocicli.

Come si può osservare la differenza non è eccessiva, tuttavia la curva di risonanza ottenuta con la bobina a minima perdita sta a dimostrare che con questo sistema l'amplificazione è un poco maggiore e anche la sintonia più acuta.

Osserveremo inoltre come la massima amplificazione sia ottenuta nei due stadi con accoppiamento diverso della reazione: infatti con una bobina a minima perdita è sufficiente un grado di accoppiamento molto minore che non con la resistenza inserita in serie.

Inoltre la regolazione per ottenere il massimo dell'amplificazione è molto più critica quando la resistenza sia elevata.

Da ciò si deduce come la scelta di un materiale a minima perdita presenti un fattore non trascurabile di vantaggio in questi circuiti.

Perchè in un circuito a valvola possa verificarsi la rigenerazione è indispensabile che si verifichino alcune condizioni. È anzitutto necessario che le forze elettromotrici, alternate di placca e di griglia, siano opposte di fase. Ciò si ottiene usando la reazione elettromagnetica nel caso in cui il senso del flusso delle due bobine è contrario.

Se colleghiamo, ad esempio, il principio della bobina d'aereo alla griglia e la fine alla corrente del filamento, sarà necessario collegare la fine della bobina di placca e il principio all'alta tensione. È inoltre necessario che le oscillazioni possano passare alla batteria anodica senza che il loro cammino sia ostacolato dall'impedenza della cuffia.

Per tale motivo è necessario quasi sempre inserire un

condensatore con un capo alla fine della bobina di reazione e con l'altro capo alle batterie.

Solitamente si usa shuntare la cuffia oppure il trasformatore a bassa frequenza con una capacità dell'ordine di 1 o 2 millesimi di mF. È però molto più razionale collegare uno dei capi del condensatore non già al positivo della batteria anodica, ma al positivo della batteria del filamento perchè le oscillazioni devono arrivare al filamento della valvola e nel primo caso dovrebbero passare attraverso la batteria anodica che ha quasi sempre una resistenza abbastanza elevata.

L'acutezza di sintonia dipende dalla resistenza ad alta frequenza, che presenta l'induttanza del secondario L'2 del grado di accoppiamento fra le due induttanze ed infine anche dalle caratteristiche della induttanza L'1.

Basterà tener presente che col diminuire le spire di L1 aumenta la selettività, diminuisce però l'ampiezza delle oscillazioni nel circuito L2. Per quanto riguarda il secondario sarà sempre opportuno aumentare al massimo il numero delle spire per non essere costretti a usare una capacità troppo grande.

Anzichè usare due induttanze, i due circuiti possono essere confusi in una induttanza sola in modo che questa funzioni da autotrasformatore. È questo il sistema che si usa molto di frequente negli apparecchi riceventi; il numero di spire del primario che dà il massimo rendimento insieme al grado necessario di selettività dipende dalle caratteristiche dell'aereo impiegato ed è perciò che l'antenna viene collegata a una derivazione variabile. Noteremo soltanto che il numero di spire optimum si aggira dalle 12 alle 15 del collegamento che va alla terra.

28. - L'amplificazione ad alta frequenza.

Nella amplificazione ad alta frequenza le oscillazioni vengono aumentate di ampiezza pur mantenendo intatte le loro caratteristiche principali che sono la frequenza e la modulazione. Dopo l'amplificazione ad alta frequenza sappiamo che queste oscillazioni devono es-

sere sottoposte ad una rettificazione per poter fare funzionare il telefono.

Se si tratta di ottenere una sonorità esuberante è necessario far seguire alla rettificazione una successiva amplificazione a bassa frequenza, perchè l'amplificazione ad alta frequenza praticamente non produce un aumento del volume che soltanto entro certi limiti. Il compito dell'alta frequenza è invece quello di aumentare la sensibilità dell'apparecchio e di rendere possibile la ricezione di oscillazioni che hanno una ampiezza molto limitata.

La tecnica dell'amplificazione ad alta frequenza è stata nei primi tempi irta di scogli ed è stata la più studiata, e quella che ha subito più evoluzioni delle altre nella radiotecnica.

Noi non abbiamo un interesse particolare a studiare attualmente i sistemi che si usavano nei primi tempi per l'amplificazione ad alta frequenza. Essi erano collegamenti a resistenza capacità, collegamenti con trasformatori aperiodici oppure con impedenza, circuiti neutralizzati; sistemi questi che sono stati completamente scartati dopo che è stata costruita la valvola schermata.

Le particolarità dell'amplificazione ad a. f. sono state studiate già ampiamente; non sarà quindi difficile rendersi conto della causa per cui si è ricorsi al collegamento a trasformatori accordati, che è quella che effettivamente dà il massimo rendimento. Nella pratica il collegamento intervalvolare ad alta frequenza mediante trasformatori, per quanto si presenti a prima vista molto semplice, contiene tuttavia dei problemi la cui soluzione è venuta soltanto dopo molti anni, e forse non siamo ancora oggi giunti al punto della massima perfezione. Il primo problema che si presenta è quello del rapporto fra primario e secondario, premesso che sia accordato sulla lunghezza d'onda da ricevere il secondario soltanto, come avviene, si può dire, esclusivamente in tutti i montaggi.

Convieni anche premettere che per ottenere un buon rendimento è necessario che l'accoppiamento fra i due avvolgimenti, primario e secondario, sia strettissimo, allo scopo di evitare la perdita per flusso prodotto dalle induttanze che nell'alta frequenza sono considerevoli.

Il rapporto fra primario e secondario dipende dal tipo di valvola e dalle qualità elettriche del circuito. Questo problema è strettamente connesso con la questione della stabilizzazione per cui avremo occasione di studiarlo più da vicino dopo esaminato il funzionamento di questo genere di amplificatore.

E noto l'effetto prodotto dalla reazione; le oscillazioni amplificate attraverso le valvole sono inviate nuovamente nel circuito di griglia, perchè vengano nuovamente amplificate attraverso la valvola, aumentando così notevolmente l'ampiezza delle oscillazioni.

L'effetto della reazione è regolato sia mediante il grado di accoppiamento induttivo fra l'induttanza del circuito di griglia e quello anodico, sia mediante un condensatore variabile, nella reazione a capacità. È importante, per ottenere il massimo rendimento, che la regolazione della reazione possa avvenire con lentezza e facilità.

Nei circuiti in cui sono uno o più stadi di amplificazione ad alta frequenza, questo effetto di reazione si produce spontaneo, quando i diversi circuiti sono accordati sulla stessa lunghezza d'onda.

Nel mentre la reazione introdotta intenzionalmente nel circuito ci consente una regolazione dell'effetto, in questo caso, siccome essa si manifesta senza che vi sia alcun accoppiamento apparente fra i circuiti, l'effetto è sottratto al nostro controllo. Questo fenomeno è dovuto alla capacità fra gli elettrodi della valvola e i conduttori che collegano i diversi organi. La piccola capacità fra queste parti è già sufficiente per produrre l'accoppiamento fra i circuiti, e non è in nostra facoltà diminuirlo, essendo essa formata dagli stessi organi necessari al funzionamento.

Questo fenomeno costituì sempre un ostacolo alla realizzazione di parecchi stadi ad alta frequenza.

La stabilizzazione era ottenuta di solito con espedienti che diminuivano il rendimento, oppure complicavano eccessivamente il circuito.

Abbiamo visto in precedenza come si ottenga una amplificazione delle oscillazioni ad alta frequenza e come si possa determinare il grado di amplificazione realizzabile col sistema a circuito anodico accordato rispet-

tivamente al trasformatore. Sappiamo che il massimo coefficiente di amplificazione si ottiene a mezzo del trasformatore quando questo corrisponda a certi requisiti. Dovremmo ora soffermarci ulteriormente su questo sistema di collegamento studiandolo più da vicino, dato il particolare interesse che esso presenta. Questo collegamento è teoricamente il più complesso e anche praticamente presenta delle difficoltà nella realizzazione. Il suo rendimento può variare in misura notevole a seconda delle caratteristiche dei trasformatori e delle valvole.

Esaminiamo ora un collegamento con primario anodico accordato che funzionerà come nell'apparecchio a risonanza. Però se accoppiamo strettamente il secondario le caratteristiche saranno diverse.

L'accoppiamento del secondo circuito produrrà nel circuito anodico una diminuzione del valore dell'induttanza ed un aumento della resistenza. La lunghezza d'onda del circuito primario sarà diminuita. La d.d.p. applicata fra griglia e filamento della seconda valvola è data dalla relazione:

$$Vg_2 = M I$$

in cui M rappresenta il coefficiente di induzione mutua fra primario e secondario.

Il coefficiente di accoppiamento fra i due circuiti sarà:

$$\eta = \frac{M}{\sqrt{L_2 L_3}}$$

e quindi

$$M = \eta \sqrt{L_2 L_3}$$

Sostituendo questo valore nella formula precedente

$$Vg_2 = \omega \eta \sqrt{L_2 L_3} I a$$

e sostituendo in questa il valore $I a$ che abbiamo calcolato per il circuito anodico accordato, si avrà:

$$Vg_2 = \frac{\omega \eta l \sqrt{L_2 L_3} Vg}{\sqrt{(ri+r)^2 \times L^2 \omega^2}} \mu$$

se poniamo $r=0$ avremo

$$Vg_2 = \mu \frac{\omega \eta l \sqrt{L_2 L_3} Vg}{\sqrt{ri^2 + L_2^2 \omega^2}}$$

Da questa relazione si vede che il grado di amplificazione dipende dal coefficiente di accoppiamento fra le due induttanze.

Esso è tanto maggiore quanto più grande è il valore di L_3 di fronte a L_2 , o, in altre parole, quanto più elevato è il rapporto fra primario e secondario. Soprattutto però vediamo, confrontando un sistema con l'altro, che mentre col sistema a circuito anodico accordato è possibile soltanto ottenere una amplificazione che è inferiore al coefficiente della valvola, impiegando un trasformatore l'amplificazione può essere portata anche ad una proporzione superiore che dipende dal rapporto fra primario e secondario.

Questo rapporto può essere però aumentato fino ad un certo punto perchè un valore troppo elevato del secondario porta con sè un aumento della capacità propria dell'avvolgimento. Se si vuole invece ridurre il valore del primario è necessario impiegare una capacità maggiore per C_2 , ciò che è poco vantaggioso. È perciò molto meglio accordare il secondario. In questo si può aumentare in misura maggiore il rapporto fra primario e secondario. Se però si oltrepassa un certo limite, il valore dell'impedenza del primario diviene troppo piccolo in relazione alla resistenza interna della valvola e secondo la reattanza del circuito secondario. Esso raggiunge per certe valvole il valore di 5, ciò che dà già un'amplificazione elevatissima.

La relazione è data dalla seguente formula:

$$n = \frac{x}{\sqrt{R_s \times r_1}}$$

in cui x è la reattanza induttiva del secondario, R la

resistenza ohmica del secondario e r_1 la resistenza interna della valvola.

La reattanza di una bobina può essere calcolata nel modo noto :

$$x = 2\pi fL$$

Come già abbiamo potuto osservare il rapporto dipende dalla lunghezza d'onda. Dato che i trasformatori devono essere impiegati per una certa gamma di lunghezze d'onda, si potrà prendere per base la lunghezza d'onda media del circuito, cioè 400-450 metri.

Supponiamo, ad esempio, di avere un trasformatore con un secondario di 200 mh. e con una resistenza di 10 ohm. La reattanza del secondario sarà di 2136 ohm a 1700 Kc. ($\lambda = 460$ metri).

Il rapporto per il trasformatore con una valvola che abbia una resistenza interna di 16.000 ohm, sarà :

$$n = \frac{2136}{\sqrt{16.000 \times 10}}$$

cioè un rapporto di 1 : 5.

Ciò significa che se il secondario, per avere un valore di 200 ohm, ha un numero di spire di 60, il primario ne avrà 12.

Il coefficiente di amplificazione che si può realizzare con uno stadio è dato dalla metà del prodotto del rapporto di trasformazione per il coefficiente di amplificazione della valvola.

Nel nostro esempio, quindi, se la valvola avesse un coefficiente di 9, avremo conseguentemente un'amplificazione di

$$\frac{1}{2} \times 9 \times 5 = 22,5$$

La valvola che si impiega nei circuiti di alta frequenza è la schermata, oppure il pentodo, perchè con la griglia-schermo si elimina la possibilità di effetti reattivi.

Il coefficiente di amplificazione di una valvola è, come bene sappiamo, assai diverso dal grado di amplificazione che dà uno stadio. L'amplificazione massima che si può ottenere con un triodo neutralizzando la capacità

parassita fra gli elettrodi della valvola può giungere fino a 20 ed anche 25 per stadio. Non è tuttavia facile ottenere in pratica questi risultati. Soltanto con il montaggio di accumulatori e usando trasformatori in cui le perdite siano ridotte di un minimo, si può ottenere questo coefficiente relativamente elevato.

La valvola schermata e il pentodo hanno un coefficiente molto più elevato del triodo; le indicazioni date dal costruttore parlano di solito di coefficiente dell'ordine di 100 e giungono fino a 1000 ed anche oltre.

Però la realizzazione pratica di un simile coefficiente di amplificazione è direttamente legata all'impiego delle valvole nell'apparecchio.

Il coefficiente di amplificazione e la resistenza della valvola non sono costanti, ma variano a seconda delle tensioni applicate. Il guadagno di amplificazione che si ha per uno stadio con la valvola schermata va per le lunghezze d'onda delle radiodiffusioni fino a 30-35, può raggiungere anche la cifra di 50, ma la supera raramente.

Ciò non dimostra che le indicazioni del costruttore sono errate; dimostra semplicemente che il guadagno ottenibile con uno stadio è inferiore al coefficiente di amplificazione della valvola.

Il vantaggio che si ottiene sotto questo punto di vista è però notevole specialmente se si usino due o più stadi successivi di amplificazione ad alta frequenza. Ammettendo di realizzare con uno stadio un coefficiente di 35, si avrà all'uscita del secondo stadio un guadagno di 35×35 , cioè 1225, e dopo un terzo stadio di 42.875. Impiegando invece un collegamento a mezzo di triodi con un coefficiente di amplificazione di 15 per stadio si avrebbe, dopo il secondo stadio, un guadagno di 15×15 , cioè di 225 e dopo il terzo stadio di 3375.

Nel primo caso avremo quindi un apparecchio che dà un'amplificazione maggiore la quale sta di fronte al triodo come 1 : 14.

Un'altra qualità della valvola schermata consiste nella eliminazione pratica della capacità fra gli elettrodi, che nei triodi è la causa di oscillazioni intempestive.

La griglia esterna che è collegata alla batteria forma uno schermo e impedisce gli accoppiamenti.

Questo fatto potrebbe far ritenere che la valvola schermata non possa entrare in oscillazione nei circuiti ad alta frequenza, se non vi si introduce intenzionalmente la reazione. Invece non è così. Se i circuiti sono accordati sulla stessa lunghezza d'onda la valvola entra in oscillazione precisamente come avviene in un circuito a triodi non neutralizzati.

Noi sappiamo infatti che la capacità fra gli elettrodi della valvola non sono la sola causa delle oscillazioni nei circuiti ad alta frequenza. Esse sono prodotte dalla capacità fra i collegamenti esterni, dall'accoppiamento capacitativo e induttivo fra i circuiti, ed infine dall'accoppiamento attraverso la batteria anodica. Nella valvola schermata è bensì ridotta ad un minimo la capacità fra gli elettrodi, ma non è completamente eliminata.

Tutti gli altri fattori che producono l'oscillazione permangono tuttavia.

È necessario quindi eliminare le cause che determinano l'oscillazione, ciò che si ottiene a mezzo di una schermatura dello stadio. La schermatura deve essere completa e racchiudere tutti i fili di collegamento e tutte le parti di cui si compone lo stadio.

È particolarmente importante che siano separati i fili che vanno alle griglie da quelli che vanno alle placche; quello della griglia sarà compreso sempre in uno spazio schermato separato da quello che contiene il filo di placca. L'accoppiamento attraverso la batteria anodica si può evitare usando filtri particolarmente adatti. Resta infine quel residuo di capacità fra gli elettrodi, il quale non è sufficiente da solo a produrre l'oscillazione. Il calcolo del rapporto di trasformazione per i singoli stadi con valvola schermata si effettua in modo analogo a quello che si impiega per i triodi.

Data la elevatissima resistenza interna della valvola schermata si avrà quasi sempre in questi montaggi un rapporto molto basso.

Con le valvole schermate si impiegano anche dei trasformatori di cui il primario è costituito da una bobina di arresto aperiodica. L'accoppiamento viene in questo caso ridotto al minimo fra il primario e il secondario (figg. 164-165). La bobinetta a nido d'ape viene fissata anche ad angolo retto nell'interno del solenoide

che costituisce il secondario. L'accoppiamento viene completato a mezzo di una capacità che è costituita da una o due spire di filo avvolte dalla parte superiore del secondario e precisamente presso al capo che va collegato alla griglia. Questo tipo di trasformatore ha dato, con le valvole moderne, risultati soddisfacenti.

Talvolta si impiega però ancora il trasformatore con due avvolgimenti a solenoide sovrapposti in modo da avere un accoppiamento strettissimo con un numero di spire limitato per il primario.

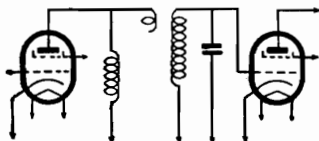


Fig. 164

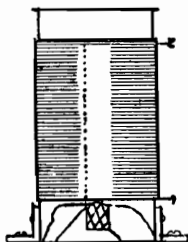


Fig. 165

29. - Gli amplificatori a bassa frequenza.

L'amplificazione a bassa frequenza è la parte che presenta forse meno difficoltà per il costruttore comune quando si tratta di apparecchi di piccola potenza, ma è anche la parte che ha una importanza essenzialissima per quanto riguarda la qualità di riproduzione.

Abbiamo già studiato l'amplificazione a bassa frequenza e sappiamo quindi quali siano i sistemi di accoppiamento e da quali fattori dipenda la qualità di riproduzione. Nella pratica costruzione di questi amplificatori conviene distinguere se le oscillazioni a bassa frequenza da amplificare abbiano un'ampiezza molto limitata, oppure siano abbastanza ampie. Nel primo caso non sarà difficile far funzionare in modo soddisfacente l'amplificazione con sistemi di collegamento e soprattutto anche la scelta del trasformatore sarà meno difficile.

Le difficoltà crescono enormemente quando l'oscillazione raggiunge una certa ampiezza.

Questo fenomeno si osserva in pratica negli apparecchi riceventi comuni quando si tratta di ricevere la stazione locale. Mentre è possibile ottenere riproduzioni discrete delle trasmissioni provenienti dalle stazioni lontane, la riproduzione della stazione locale è del tutto deficiente e distorta, ed è spesso necessario attenuare la sonorità per poter ottenere una qualità di suoni accettabili. Ciò deriva dal fatto che tanto il sistema di rivelazione che l'amplificazione a bassa frequenza non sono destinate per oscillazioni di grande ampiezza e producono quindi una distorsione dovuta principalmente al sovraccarico delle valvole ed eventualmente alla saturazione dei trasformatori a bassa frequenza. Negli apparecchi moderni l'inconveniente si toglie col dispositivo per il controllo automatico della sensibilità.

Inoltre si hanno, specie quando le oscillazioni hanno grande ampiezza, dei fenomeni secondari di reazione a bassa frequenza che possono persino assumere proporzioni tali da impedire ogni ricezione. Questi fenomeni, che si riscontrano con oscillazioni molto ampie, scompaiono negli amplificatori di piccola potenza. Da ciò deriva la necessità di usare, per tutti gli amplificatori che sono destinati a grandi amplificazioni, delle valvole speciali a bassa resistenza interna e dei trasformatori il cui nucleo di ferro abbia qualità tali da non saturarsi quando le variazioni di potenziale assumano proporzioni maggiori. Ci porterebbe qui troppo oltre dare delle regole per la costruzione dei trasformatori a bassa frequenza, operazione questa delicatissima che richiede laboratori molto bene attrezzati ed una lunghissima esperienza in questo ramo. Essa è perciò riservata alle case specializzate le quali hanno portato il prodotto a un tal grado di perfezione, raggiungibile solo attraverso lunghi e laboriosi studi.

E perciò consigliabile attenersi sempre ai prodotti di case di indubbia fama la cui produzione sia nota e conosciuta come ottima.

La stessa cosa vale per le valvole. Negli amplificatori a bassa frequenza ha la massima importanza il funzionamento delle valvole le quali devono essere regolate

in modo da poter lavorare completamente sulla parte rettilinea della curva caratteristica della corrente di placca.

Soltanto a questo modo possono essere evitate completamente le distorsioni.

Per poter raggiungere questo è necessario applicare una giusta tensione anodica e nello stesso tempo regolare in modo opportuno il potenziale negativo di griglia a mezzo di resistenze di valore opportuno.

Le tensioni esatte da applicare non si possono indicare in linea generale, ma dipendono dal tipo di valvola che si impiega e sono di solito indicate dallo stesso

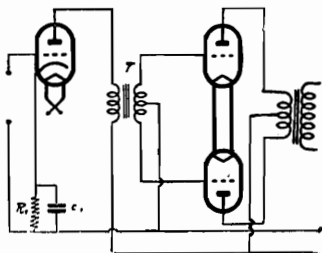


Fig. 165 bis

costruttore. Si noti anche che la tensione anodica per la bassa frequenza deve essere abbastanza elevata, per poter ottenere una corrente anodica rilevante atta a fornire allo stadio finale la potenza necessaria. Lo stesso vale per il potenziale negativo di griglia.

Quando le oscillazioni da amplificare sono molto ampie succede molte volte che la parte rettilinea della caratteristica di una valvola non abbia una sufficiente ampiezza e allora si può rimediare usando in luogo di una sola valvola per uno stadio, due valvole in opposizione, sistema che è indicato con la denominazione di amplificazione di classe A prima (push pull). Il sistema non ha nulla di particolare tranne che i trasformatori debbono essere costruiti in modo speciale, cioè con una derivazione alla parte centrale dell'avvolgimento, come risulta dalla fig. 165 bis.

Le valvole funzionano così alternativamente una per una semionda e l'altra per l'altra.

L'amplificazione data da uno stadio non è aumentata, ma la qualità di riproduzione se ne avvantaggia enormemente in quanto che è praticamente evitata la distorsione. Il sistema di collegamento con valvole in opposizione richiede l'impiego di un trasformatore di uscita, oppure di una impedenza di uscita in modo da poter raccogliere le semionde amplificate da ogni singola delle due valvole.

Gli stadi di valvole in opposizione possono essere uno solo, oppure due. Ciò dipende dal grado di amplificazione che si deve raggiungere. Una grande importanza hanno gli amplificatori a bassa frequenza, le capacità fisse che sono collegate di solito fra le placche delle valvole e uno dei capi della bassa tensione; essi hanno lo scopo di offrire il passaggio delle oscillazioni che non sono di frequenza musicale e costituiscono così una specie di filtro. La capacità di questi condensatori è sempre superiore a un millesimo e va sino a cinque millesimi. Dal valore di queste capacità dipende anche in gran parte la qualità del suono che si ottiene al circuito di uscita ed è perciò possibile modificare la tonalità variando questi valori.

Di solito una di queste capacità shunta l'altoparlante, e una qualche volta è collegata alla valvola oscillatrice quando non vi sia una reazione elettrostatica.

Le capacità che shuntano le resistenze di polarizzazione devono avere un valore dell'ordine di 10-20 mF, affinché siano riprodotte tutte le frequenze musicali. Per poter ottenere questi valori elevati si ricorre al tipo elettrolitico, che permette di raggiungere valori elevati in un volume ristrettissimo.

Lo stadio finale dell'amplificatore di bassa frequenza (fig. 166) è destinato ad azionare l'altoparlante e deve perciò avere una certa energia. Quest'energia si misura in watt. Il watt è il prodotto della tensione per la corrente. La tensione che viene in considerazione non è però quella anodica che si ha nel circuito di placca anche quando l'altoparlante tace. La tensione è quella delle oscillazioni di bassa frequenza che muovono la membrana. Se colleghiamo l'altoparlante, come succede

di solito al secondario di un trasformatore di cui il primario è inserito nel circuito anodico della valvola finale, avremo nel secondario tutte le oscillazioni che ci sono nel circuito anodico, mentre la corrente anodica passerà attraverso il primario. Se misuriamo la tensione alternata ai capi del secondario avremo il valore da moltiplicare per la corrente per ottenere i watt di potenza.

Da ciò consegue che la valvola finale di un ricevitore deve dare anche una notevole corrente, mentre nell'alta frequenza abbiamo soltanto bisogno di amplificazione di tensione.

Fra le valvole finali il pentodo di potenza è quello che dà una corrente notevole assieme ad un'amplifica-

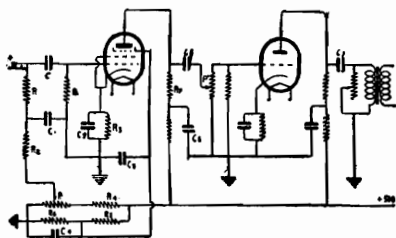


Fig. 166 - Schema completo di un amplificatore di bassa frequenza.

zione che altrimenti si ottiene con due stadi. Il suo impiego richiede però delle precauzioni perchè altrimenti si possono verificare facilmente delle distorsioni.

30. - Il telefono e l'altoparlante.

Il ricevitore telefonico è il dispositivo che serve per trasformare le oscillazioni elettriche in vibrazioni acustiche. Ogni ricevitore consiste di un magnete permanente (fig. 167), ai cui poli sono fissate due bobine avvolte con filo sottile isolato. Queste due bobine sono collegate in serie e i due capi vanno uniti al circuito che è percorso dalle oscillazioni elettriche.

Ogni corrente che passa attraverso questi avvolgimenti produce una variazione del campo magnetico e quindi

un rinforzo dell'effetto del magnete permanente. Le oscillazioni producono delle variazioni periodiche del campo magnetico il quale seguirà esattamente ogni cambiamento di corrente del circuito. La membrana del telefono sarà attratta più o meno dai poli del magnete e vibrerà producendo un suono. Siccome le correnti corrispondono alle vibrazioni acustiche che sono trasmesse, così anche il movimento del diaframma produrrà gli stessi suoni che sono stati trasmessi. Il principio è lo stesso che è applicato al telefono con filo. I telefoni che servono per ricevere le trasmissioni senza filo sono di solito più sensibili degli altri, e si distinguono per la leggerezza delle parti mobili, che li rende più atti a seguire tutte le pulsazioni della corrente.

Le bobine hanno un numero di spire molto elevato, in modo da produrre con una corrente relativamente debole un campo magnetico abbastanza intenso. In questo modo è possibile costruire degli strumenti dotati di grande sensibilità. Il numero di spire delle bobine sta in relazione con la resistenza che deve avere il complesso degli avvolgimenti.

La intensità del suono che è prodotto dalla membrana dipende dal flusso magnetico della calamita permanente e dalla variazione di questa forza che è prodotta dall'avvolgimento. Perchè la lamina produca un suono forte è necessario che la sua vibrazione sia ampia. Il diaframma è attratto con una forza che sta in proporzione col quadrato del flusso magnetico. Perchè l'attrazione sia forte è perciò necessario che questo flusso sia più forte.

La forza di attrazione dipende ancora dall'intensità della corrente che circola nell'avvolgimento. Questo avvolgimento costituisce un elettromagnete e l'attrazione dipende, come in tutti gli elettromagneti, dal prodotto del numero di spire per la corrente. Ora un grande numero di spire, se da un lato aumenta la forza magnetomotrice, produce anche un aumento della resistenza del circuito del telefono, perciò è necessario usare del filo più sottile per non aumentare troppo il volume e il peso. Si è perciò costretti a ricorrere ad un compromesso, perchè se la resistenza dell'avvolgimento fosse superiore

a quella del circuito, la corrente circolante diminuirebbe e di conseguenza anche il numero di ampèrespire.

La resistenza che si usa di solito per i telefoni che vanno inseriti nei circuiti a valvola è di 4000 ohm, mentre per i circuiti a cristallo si usano telefoni con resistenza minore. Si può ritenere come regola che la resistenza del telefono deve essere uguale a quella del circuito in cui va inserito.

In luogo della cuffia si usa, di solito, per ricevere le radiodiffusioni, un altoparlante. L'altoparlante nella sua forma più semplice non è che un telefono con magnete più grande e con diaframma di dimensioni maggiori munito di tromba di amplificazione. Lo scopo è di muovere una quantità d'aria maggiore, in modo che il suono sia

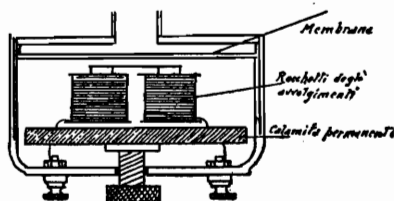


Fig. 167 - Sezione trasversale di un telefono.

percepibile anche a parecchi metri di distanza. Elettricamente l'altoparlante non differisce dalla cuffia se non per le dimensioni maggiori. L'altoparlante dà più facilmente distorsioni, che sono prodotte dalla vibrazione delle sue parti, come il diaframma. Queste parti hanno una frequenza di vibrazione propria ed entrano in risonanza acustica ogni qualvolta è prodotto il suono della stessa frequenza.

Di altoparlanti esiste una grande varietà; in ogni tipo il costruttore ha tentato, con applicazione di qualche modificazione, di ottenere una riproduzione forte e fedele del suono.

L'altoparlante a cono ha un motore dello stesso tipo delle cuffie e degli altoparlanti a tromba. Però la membrana è sostituita da una lamella alla quale è fissato un perno. Questo a sua volta è fissato ad un cono di cartone, oppure di altro materiale (celluloide, tela). La vi-

brazione della lamella viene comunicata al cono il quale funziona da membrana.

Questi tipi di altoparlanti hanno tutti un difetto comune; pur avendo una grande sensibilità per le oscillazioni di piccola energia, il movimento è limitato dal percorso che può fare la levetta o dal movimento della membrana. Quando l'energia della valvola di uscita supera un certo limite, la vibrazione dell'altoparlante non può più aumentare e da ciò proviene l'impossibilità di raggiungere grandi sonorità e distorsioni.

Per questa ragione si è ricorsi al tipo di altoparlante elettrodinamico non appena gli amplificatori dei comuni ricevitori poterono dare delle potenze di uscita maggiori. Il dinamico è il solo tipo ancora in uso. Esso consiste (fig. 168) di una bobina mobile che è solidale con un cono; tale bobina è immersa nel campo di un elettromagnete eccitato da una corrente continua. La corrente dell'apparecchio viene inviata alla bobina mobile la quale, essendo soggetta a periodiche variazioni del suo flusso magnetico, compie dei movimenti che corrispondono alle variazioni di corrente della valvola finale.

La bobina di campo dell'elettromagnete viene di solito eccitata dallo stesso circuito di alimentazione anodica del ricevitore, inviando la corrente raddrizzata e livellata attraverso l'avvolgimento prima di utilizzarla per l'alimentazione anodica. A seconda della resistenza di questa bobina di campo si ha una caduta di tensione che può essere calcolata facilmente e di cui si deve tener conto nella scelta della tensione fornita dall'alimentatore. Ad esempio, se occorre per l'alimentazione del ricevitore una tensione di 260 volti e se la bobina dell'altoparlante assorbe 100 volti, sarà necessario che l'alimentatore fornisca una tensione raddrizzata di 360 volti.

La bobina mobile deve avere pochissime spire ed ha perciò una resistenza bassissima che si aggira intorno a 5 ohm. Se si collegasse la bobina mobile all'altoparlante si avrebbe un rendimento minimo. Infatti (fig. 169) se la corrente fosse di 0,1 amp. e la tensione del circuito di 160 volti, la caduta di tensione attraverso la bobina sarebbe, secondo la legge di Ohm, di $0,1 \times 5 = 0,5$ volti. Ciò darebbe una potenza di 5 watt. Si deve perciò usare un trasformatore di rapporto adatto per ottenere il mas-

simo rendimento. Questo si ha quando la resistenza esterna del circuito è uguale a quella interna.

Se la valvola ha una resistenza interna di 2000 ohm dovremo avere un circuito di utilizzazione della stessa resistenza. Supponiamo che la tensione sia di 160 volta. Potremo allora calcolare la potenza in watt che si può ricavare dal circuito. Se dividiamo 160 per 2000 otterremo 0,08 amp. La potenza sarà quindi di $160 \times 0,08$,

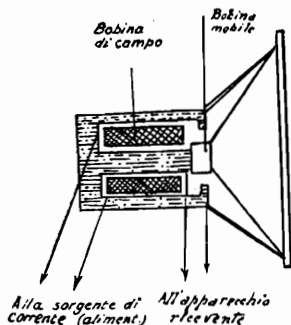


Fig. 168 - Sezione schematica di un altoparlante elettrodinamico a bobina mobile.

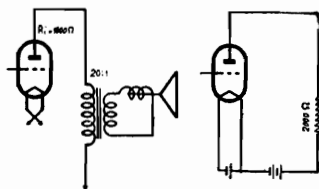


Fig. 169

cioè 12,8 watt. Per poter avere la stessa dissipazione con resistenza della bobina mobile, che supponiamo sia di 5 ohm, dovremo ridurre la tensione a mezzo di un trasformatore. La potenza in watt è data dal quoziente di

$$W = I \times E$$

Siccome però, secondo la legge di Ohm, $E = R.I$, così possiamo sostituire nella prima formula E , ed avremo:

$$W = R.I^2$$

e quindi

$$I = V \frac{W}{R}$$

Nel nostro caso otterremo 1,6 amp. Per raggiungere con questa corrente una potenza di 12,8 watt dobbiamo dividere 12,8 per 1,6 e avremo 8 volta.

Ciò vuol dire che per ottenere nella bobina mobile una dissipazione di 12,8 watt abbiamo bisogno di una tensione di 8 volti. Siccome il circuito della valvola ha una tensione di 160 volti, così il trasformatore dovrà avere un rapporto di 20/1.

31. - Il controllo automatico della sensibilità.

Se prendiamo un apparecchio ricevente semplice composto di un amplificatore di alta frequenza di una valvola rivelatrice e di un amplificatore di bassa frequenza potremo osservare che le stazioni non sono riprodotte tutte con la medesima sonorità. Le stazioni più lontane saranno riprodotte molto più deboli che quelle più vicine e la stazione locale avrà un'intensità tale da produrre il sovraccarico delle valvole.

Quest'inconveniente è dovuto alla differenza dell'intensità di campo delle stazioni. Quelle più lontane producono un campo molto debole, mentre quelle vicine hanno un campo intenso. Per ottenere una ricezione, se non eguale, per lo meno più uniforme delle stazioni, si ricorre di solito ad un mezzo chiamato la regolazione automatica della sensibilità.

In certe valvole moderne, l'amplificazione non si mantiene costante, e dipende non soltanto dalle caratteristiche, ma anche dal punto di lavoro. Se il potenziale di griglia è regolato in modo da essere molto negativo, l'amplificazione verrà notevolmente ridotta, mentre dando alla griglia un potenziale più positivo si otterrà una amplificazione maggiore.

Questa proprietà di variare il coefficiente di amplificazione non l'hanno tutte le valvole, ma soltanto i tipi più moderni a coefficiente di amplificazione variabile o multimu.

Di questa proprietà si può approfittare per modificare il coefficiente di amplificazione e ridurlo quando le oscillazioni in arrivo raggiungono una certa ampiezza, come, ad esempio, quando si riceve la stazione locale. Il mezzo per ottenere la variazione di polarizzazione automaticamente senza alcuna operazione esterna è dato dal

rivelatore. Quello che meglio di tutti si presta allo scopo è il diodo oramai universalmente impiegato in tutti gli apparecchi più completi. Ai capi della resistenza di carico del diodo si ha un potenziale che aumenta con l'oscillazione. Non appena sopraggiunge un'oscillazione amplificata attraverso gli stadi ad alta frequenza si avranno delle oscillazioni che il diodo raddrizzerà e si avrà quindi un potenziale pulsante che a mezzo di una capacità e di una resistenza si potrà facilmente rendere continuo. Esso subirà delle variazioni a seconda dell'ampiezza delle oscillazioni in arrivo.

Se si applica tale potenziale alle griglie delle valvole di alta frequenza di tipo adatto, si avrà una variazione dell'amplificazione, a seconda dell'intensità del segnale.

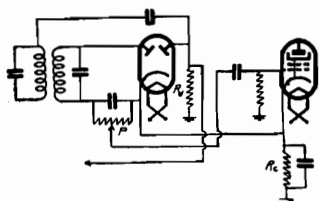


Fig. 170

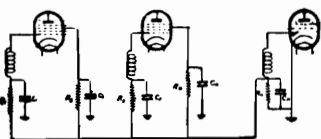


Fig. 171

La stazione locale, ad esempio, produrrà una d.d.p. notevole alla resistenza del diodo e il potenziale di griglia delle valvole controllate diverrà più negativo, in guisa che anche l'amplificazione diminuirà (fig. 170).

Con questo sistema si avrà un aumento di potenziale alla resistenza del diodo appena sopraggiunto un qualsiasi segnale anche debole, e si avrà una diminuzione dell'amplificazione, se pure in misura minore, anche con le stazioni deboli, ciò che non si cerca di raggiungere, ma che rappresenta un inconveniente. Si ricorre allora ad un altro mezzo e si assegna ad un diodo separato il solo compito di regolare la sensibilità. Si dà alla placca di questo diodo un potenziale leggermente negativo. Fino a tanto che la placca del diodo non diviene positiva non si ha alcuna d.d.p. ai capi della resistenza di carico. Un segnale debole renderà la placca del diodo meno negativa, ma non la renderà ancora positiva e il

controllo non entrerà in funzione. Il potenziale negativo che si applica alla placca dipende da quando deve entrare in funzione il controllo e può essere regolato a volontà in relazione alla sensibilità del ricevitore. Più il potenziale sarà negativo e tanto maggiore dovrà essere l'ampiezza dell'oscillazione in arrivo perchè il dispositivo entri in funzione. Si evita così la diminuzione della sonorità quando si ricevono le stazioni deboli, e non si sacrifica la sensibilità del ricevitore. Questo sistema di controllo automatico che richiede un diodo separato è chiamato il controllo ritardato. Le valvole che si impiegano comunemente nei ricevitori hanno nello stesso bulbo, oltre alla sezione amplificatrice, anche due diodi separati di cui uno viene impiegato per la regolazione ritardata della sensibilità e l'altra per la rivelazione.

A seconda dell'efficacia del dispositivo si applica il controllo ad una o a due od anche tre valvole di alta frequenza. La figura 171 illustra il modo di applicare ai ricevitori il controllo automatico.

32. - La supereterodina.

La ricezione delle stazioni avviene di solito, come abbiamo veduto, sintonizzando un circuito oscillante collegato all'aereo sulla lunghezza d'onda da ricevere ed amplificando eventualmente queste oscillazioni attraverso uno o più stadi successivi, i quali devono essere tutti accordati sulla stessa lunghezza d'onda del primo circuito.

Invece di amplificare le oscillazioni in arrivo mantenendo la stessa frequenza, è possibile far variare tale frequenza facendo interferire un'onda prodotta da un oscillatore locale. Questo sistema di ricezione è chiamato a cambiamento di frequenza, oppure supereterodina (fig. 172).

Producendo a mezzo di eterodina delle oscillazioni ad una frequenza leggermente maggiore o minore di quella delle onde in arrivo si ottengono i battimenti ad una frequenza molto minore. Queste oscillazioni di frequenza minore si possono amplificare senza incontrare le difficoltà di solito lamentate e con un rendimento aumen-

tato perchè, come è noto, il fattore di amplificazione diminuisce con l'aumentare della frequenza. Siccome la frequenza prodotta a mezzo dei battimenti è costante, l'amplificatore non ha bisogno di essere regolato che una volta per sempre e i soli organi di sintonia rimangono il condensatore d'aereo e quello dell'eterodina.

Il cambiamento di frequenza aumenta contemporaneamente, in modo non raggiunto dagli altri dispositivi, la selettività per i motivi che vedremo in seguito.

Dobbiamo quindi concludere che la supereterodina è superiore a qualsiasi altro apparecchio:

- 1) per sensibilità;
- 2) per selettività;
- 3) per semplicità di manovra.

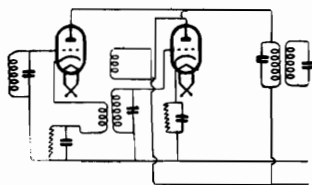


Fig. 172

Essa rappresenta l'ideale degli apparecchi ricevitori per grande distanza.

La supereterodina ha però lo svantaggio di richiedere un'accurata messa a punto per funzionar bene. Essa costituisce infatti un sistema abbastanza complesso che richiede già una buona esperienza per funzionare a dovere. Come è semplice nella manovra altrettanto è laboriosa la sua messa a punto. Inoltre non basta che l'apparecchio sia una supereterodina per dare buoni risultati. Una supereterodina che non sia studiata e costruita bene, può dare anche un rendimento inferiore ad un apparecchio comune.

Le parti di cui si compone una supereterodina sono:

- 1) la parte ricevente (circuitto d'aereo);
- 2) la prima rivelatrice;

- 3) la valvola oscillatrice;
- 4) l'amplificatore a media frequenza;
- 5) la seconda rivelatrice, ed eventualmente
- 6) l'amplificatore a b. f.

La parte ricevente e la prima rivelatrice non sono altro che un comune apparecchio ricevente ad una o due valvole. Le oscillazioni sono amplificate e rettificate dalla prima o dalle prime due valvole. Un'altra valvola che funziona da eterodina è fatta oscillare su una lunghezza d'onda calcolata in modo che le due onde, quella proveniente dalle oscillazioni in arrivo e quelle prodotte dall'eterodina, formino delle interferenze dando luogo ad una lunghezza d'onda molto più elevata. Queste, a loro volta, sono amplificate e poi rettificate ed eventualmente amplificate a bassa frequenza. I grafici della figura 173 illustrano appunto questi fenomeni.

Come si vede la supereterodina è un dispositivo non molto semplice, ove ogni parte deve compiere la sua funzione con tutta precisione a scampo di pregiudicare il risultato finale.

Conviene quindi esaminare più dettagliatamente i fenomeni che si svolgono nel circuito per passare poi al funzionamento del complesso.

La parte ad a. f. non ha nulla di particolare, per cui essa non differisce da quella di un comune apparecchio ricevente. La prima funzione invece che non si riscontra nei comuni apparecchi è il cambiamento di frequenza. È questa la parte più delicata e importante della supereterodina. È noto che le oscillazioni di frequenza diversa sottostanno a leggi analoghe a quelle delle onde sonore o delle onde prodotte alla superficie di un liquido. Le due oscillazioni interferiscono producendo un'onda risultante di ampiezza diversa dalle sue componenti.

Il calcolo della lunghezza d'onda risultante è dei più semplici: basta una operazione di sottrazione delle due frequenze per ottenere la frequenza prodotta dalla sovrapposizione delle due onde.

Ammettiamo, ad esempio, di avere il ricevitore accordato su una lunghezza d'onda di 350 metri e l'eterodina su una lunghezza d'onda di 360 metri.

Per fare il calcolo è necessario innanzitutto conoscere

le frequenze corrispondenti alle due lunghezze d'onda. Esse sono, secondo la formula:

$$f = \frac{300.000}{\lambda} \text{ Kilocicli}$$

Nel nostro caso avremo la prima frequenza di 856,6 e la seconda di 832,8. La differenza tra le due frequenze è di 23,8, che corrisponde ad una lunghezza d'onda di 12,605 m. Se l'eterodina fosse accordata su 340 m. avremmo una frequenza di 881,8 e la frequenza risultante sarebbe di 25,2 corrispondente approssimativamente alla stessa lunghezza d'onda ottenuta con l'accordo

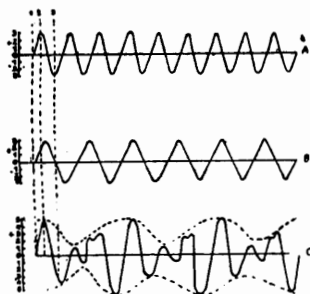


Fig. 173

della supereterodina su 832,8. Da ciò risulta che si può ottenere lo stesso effetto su due frequenze della valvola oscillatrice.

Per ottenere i battimenti e il cambiamento di frequenza è sufficiente un circuito di entrata con una valvola rivelatrice e una valvola generatrice di oscillazioni accordate ognuna sulla giusta frequenza. Per ottenere buoni risultati con la supereterodina non è però sufficiente produrre i battimenti, ma è necessario che le oscillazioni inviate al circuito d'entrata della media frequenza, presentino certe caratteristiche. La valvola oscillatrice deve in particolare avere le caratteristiche adatte per la sua funzione e deve poter oscillare con facilità senza bisogno di un accoppiamento troppo stretto fra il circuito di gri-

glia e quello di placca. L'oscillazione prodotta deve avere un'ampiezza proporzionale a quella dell'onda in arrivo. Siccome però le oscillazioni in arrivo non hanno tutte la medesima ampiezza è necessario sceglierne una media, stabilita in base alle caratteristiche del ricevitore. L'accoppiamento fra il circuito di griglia e quello di placca deve essere tale da non dar luogo alla formazione di armoniche.

La prima rivelatrice ha la funzione di raddrizzare la corrente di alta frequenza e di amplificare le oscillazioni. Queste sono due funzioni che stanno fino ad un certo punto in contraddizione fra di loro. La valvola non deve avere una curva lineare ma parabolica, e il suo coefficiente di amplificazione deve essere possibilmente elevato. Da questo dipende il rendimento che si può avere dal complesso dello stadio a cambiamento di frequenza. Il rapporto fra l'ampiezza dell'oscillazione applicata all'entrata del sistema e quella della oscillazione di media frequenza nel circuito di filtro è chiamato coefficiente dell'amplificazione di conversione. Essa dipende dalle caratteristiche della prima rivelatrice.

Siccome l'oscillazione in arrivo può essere amplificata prima del cambiamento di frequenza, così l'amplificazione di conversione del sistema ha un'importanza minore di quello che ha il rapporto fra l'ampiezza delle due oscillazioni. Si ha il massimo interesse, per il regolare funzionamento della supereterodina, che il rapporto fra l'ampiezza dell'oscillazione in arrivo e quella dell'oscillazione locale sia costante. Più debole è l'oscillazione in arrivo, più piccola deve essere la tensione oscillante dell'eterodina. Per avvicinarsi a questo risultato si debbono innanzitutto evitare le variazioni di ampiezza secondo la frequenza; l'eterodina deve avere possibilmente un'ampiezza costante su tutta la gamma delle frequenze. Questo risultato è facilmente raggiungibile con gli espedienti che sono noti per ottenere la stabilizzazione; cioè, trattandosi di una valvola comune, l'inserzione di un condensatore e di una resistenza nel circuito di griglia e nel circuito di placca.

Le oscillazioni in arrivo sono invece diverse di ampiezza a seconda dell'intensità di campo prodotta dalla stazione. Quindi tutti gli sforzi di mantenere costante l'ete-

rodina non portano ad un risultato pratico se non si provvede a fare altrettanto con la oscillazione in arrivo.

Tale uniformità può essere ottenuta meglio a mezzo di uno stadio di preamplificazione. È necessario che l'amplificazione ottenuta con esso sia maggiore per le stazioni deboli e minore per quelle forti. Il mezzo per ottenere questo risultato ci è dato dalla regolazione automatica della sensibilità applicata alla valvola preamplificatrice. Con questo mezzo il segnale più forte riduce il coefficiente di amplificazione della prima valvola, mentre col segnale più debole il coefficiente di amplificazione è il massimo che può dare la valvola. La regolazione automatica della sensibilità presenta perciò, oltre agli altri, anche il vantaggio di un funzionamento migliore e più regolare del cambiamento di frequenza.

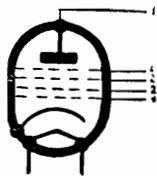


Fig. 174

Queste considerazioni, pur avendo per base il sistema di cambiamento di frequenza con due valvole, sono di indole generale e perciò applicabili a qualsiasi sistema di cambiamento di frequenza.

Oramai in tutte le supereterodine è impiegata per il cambiamento di frequenza una sola valvola a più griglie, che presenta un funzionamento abbastanza complesso. Questa valvola è l'ottodo, che si è sviluppato dall'esodo. Cominceremo con l'esaminare quest'ultimo (fig. 174).

Se consideriamo la valvola esaminando lo schema riprodotto nella figura, che rappresenta un cambiamento di frequenza (fig. 175), possiamo supporre che sia composta di due unità: una è costituita dal catodo e dalle due griglie interne ed equivalente ad un triodo, in cui la griglia più esterna fa la funzione di placca; quest'unità è destinata ad essere impiegata per l'oscillatore. L'altra unità si compone delle due griglie esterne e della placca e ad essa è affidata la funzione di modulatrice. A quest'ultima mancherebbe il catodo; però, come vedremo ora, avviene nella valvola un fenomeno, per cui il catodo viene sostituito da una carica elettronica.

Nel considerare il funzionamento della valvola chiameremo prima griglia quella più vicina al catodo e quarta quella prossima alla placca e corrispondentemente

quelle intermedie. Dallo schema riprodotto si comprende facilmente quali delle griglie hanno un potenziale positivo e quali lo hanno negativo. La prima griglia, che funziona da griglia di controllo dell'unità modulatrice, è negativa e la quarta, che fa da schermo, è positiva. Se si mette in funzione la valvola collegata ad un circuito secondo lo schema, avremo innanzitutto il triodo oscillatore, che funzionerà nel modo più normale: la corrente elettronica passerà attraverso la prima griglia e prenderà la via verso la seconda griglia positiva; gli elettroni attratti da quest'ultima raggiungeranno una certa velocità, in modo che una parte oltrepasserà le maglie di essa e si avvicinerà alla terza griglia la quale, come abbiamo visto, è negativa; questa a sua volta farà rallentare la loro velocità e li respingerà ancora verso la seconda griglia. Si formerà così una nube elettronica fra la seconda e la terza griglia e questa può essere considerata come un catodo virtuale che assumerà le funzioni di un catodo reale: il potenziale positivo della placca e della griglia-schermo vicino ad essa, avrà l'effetto di attrarre una parte degli elettroni che si trovano nel catodo virtuale attraverso le maglie della griglia di controllo, che è la terza. Abbiamo così in sostanza due valvole che lavorano ognuna coi propri elettrodi separati; il loro funzionamento non sarà però indipendente.

Effettivamente il catodo virtuale viene alimentato di elettroni dalla valvola dell'oscillatore; quindi quando la griglia di questo, cioè la prima, sarà positiva, si avrà una certa quantità di elettroni per il catodo virtuale della valvola modulatrice, mentre quando la prima griglia diviene negativa la sorgente di elettroni della modulatrice cesserà di funzionare. L'emissione elettronica della modulatrice sarà perciò dipendente dalle variazioni di potenziale della prima griglia. Si avrà in questo modo la sovrapposizione della frequenza dell'oscillatore a quella dell'oscillazione in arrivo.

L'esodo in questo impiego presenta il vantaggio di una rilevante amplificazione che equivale alla possibilità di un guadagno di 120 attraverso il sistema di cambiamento di frequenza, premesso naturalmente che la valvola venga completamente sfruttata con i valori migliori e con impiego di materiale adatto per i singoli circuiti

ad essa collegati. È data inoltre la possibilità di controllare il volume mediante variazione della polarizzazione della griglia di controllo della modulatrice. Infine la sola media frequenza è collegata alla placca ed è perciò che la regolazione del trasformatore non influisce sul funzionamento dell'oscillatore e della modulatrice. Si esclude in questo modo anche ogni radiazione dall'aereo, ciò che non è possibile con gli altri sistemi ad una sola valvola. Inoltre l'impiego dell'esodo assicura anche una minore quantità di armoniche.

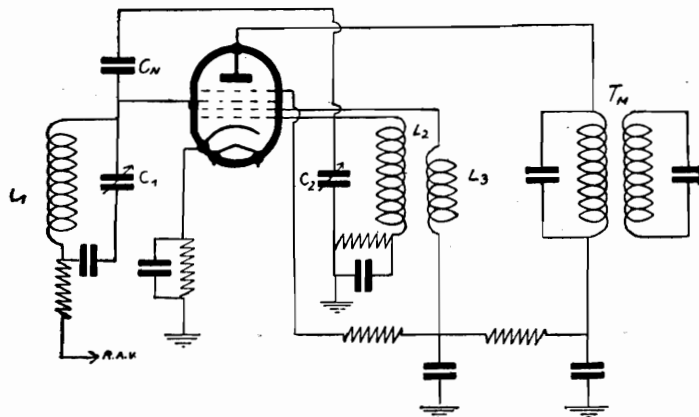


Fig. 175

Come lo dice il nome, l'ottodo è una valvola con otto elettrodi. Noi conosciamo l'esodo, che è stato creato appunto per il cambiamento di frequenza, il quale ha sei griglie. L'ottodo è però diverso dall'esodo anche per il funzionamento. Lo schema della valvola è rappresentato dalla fig. 176. Vediamo che delle griglie, quelle segnate con g_1 e g_2 sono indipendenti; la g_3 è collegata internamente alla griglia g_5 , e la griglia g_6 è collegata al catodo come nei pentodi. La g_4 fa perciò da schermo alla griglia g_3 e la g_5 fa da schermo alla placca. Di conseguenza abbiamo in questa valvola lo stesso numero di contatti esterni come nell'esodo: sette piedini e un contatto al vertice del bulbo, che va alla griglia g_4 .

Nel funzionamento della valvola vediamo che le due parti interne sono invertite: mentre nell'esodo abbiamo la griglia g_1 che funziona da griglia di controllo, nell'otodo questa funzione è affidata alla griglia g_4 .

I vantaggi presentati dall'otodo in confronto alle altre valvole finora impiegate per il cambiamento di frequenza sono: 1) una maggiore amplificazione di conversione; 2) una maggiore semplicità nell'impiego, essendo ridotto il numero delle tensioni anodiche a due soltanto; 3) la possibilità di controllare il coefficiente di amplificazione dato il sistema a mezzo della griglia g_4 ; 4) *riduzione del rumore di fondo caratteristico delle supereterodine*; 5) eliminazione della modulazione parassita; 6) indipendenza completa del circuito d'entrata da quello della parte oscillatrice.

Lo schema è rappresentato dalla fig. 177.

Le due griglie più prossime al catodo sono impiegate per la produzione delle oscillazioni: la griglia 1 è quella di comando, mentre la griglia 2 funziona da anodo per la parte oscillatrice. La griglia 1 abbisogna di un potenziale negativo di 1,5 volta, mentre la tensione anodica da applicare alla griglia 2 è di 70 volta. La griglia 1 è una griglia normale, come si riscontra nelle altre valvole; la griglia 2 è costruita invece in modo diverso e si compone di due piccole asticine che sono piazzate in modo da trovarsi più che sia possibile fuori del flusso elettronico che va alla placca. Le due griglie 3 e 5 servono per schermare completamente la griglia di controllo g_4 ; ad esse va applicato un potenziale di 70 volta che è lo stesso applicato alla griglia g_2 . Esso si ottiene a mezzo della caduta di tensione attraverso la resistenza R_3 .

Per quanto riguarda la parte dell'oscillatore potremo aggiungere che il suo funzionamento non è critico; è necessario come per l'esodo un accoppiamento molto stretto del circuito di reazione a quello della griglia oscillatrice. La tensione oscillante che si deve avere ai capi del circuito dell'oscillatore $S_1 C_1$ e precisamente E_2 della fig. 177 è di circa 8 volta. Ai capi della bobina di reazione S_2 la tensione oscillante sovrapposta a quella continua è di 4 volta. Tali tensioni non sono però critiche e un'eventuale differenza non compromette il regolare funzionamento dell'oscillatore.

La schermatura a mezzo delle due griglie che circonda quella di controllo impedisce in via assoluta che le oscillazioni dell'eterodina si propaghino al circuito d'entrata. La capacità fra la griglia 1 e la griglia 4 è di 0,15 micro-microfarad. Viceversa anche il circuito d'entrata è indipendente e non reagisce sul funzionamento dell'eterodina; così è possibile controllare l'amplificazione del sistema mediante polarizzazione della griglia 4, senza che con ciò venga alterato il regolare funzionamento del cambiamento di frequenza.

Va notato ancora che la corrente anodica consumata dalla valvola alla tensione massima di 200 volti è di 0,8 mA. Essendo questa corrente la principale fonte del

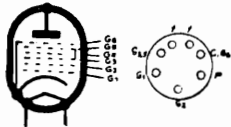


Fig. 176

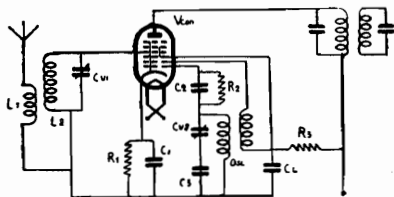


Fig. 177

rumore di fondo caratteristico delle supereterodine, si può dire che esso viene praticamente eliminato o quasi.

Infine diremo che l'ottodo ha dato ottimi risultati anche sulle onde corte.

Dopo ottenuto il cambiamento di frequenza le oscillazioni sono amplificate attraverso uno o più stadi accordati sulla media frequenza. Il collegamento intervalvolare avviene mediante trasformatori con primario e secondario accordato.

Il primo trasformatore è inserito fra la valvola convertitrice e il primo stadio a media frequenza. Questo trasformatore è chiamato filtro. I trasformatori sono formati da due bobinette a nido d'ape accoppiate induttivamente; in parallelo ad ognuna è collegato un condensatore la cui capacità può essere regolata dall'esterno mediante una vite che serve per avvicinare più o meno le armature (fig. 178).

La frequenza per quest'amplificatore è di solito di 175 Kc. Talvolta si impiegano frequenze più elevate, specialmente se si tratta di apparecchi in cui il cambiamento di frequenza non è preceduto da uno stadio di amplificazione ad alta frequenza. In questo caso la selettività è minore e si ha l'interesse che i due battimenti abbiano luogo su frequenze più lontane per evitare che il secondo battimento possa produrre delle interferenze che si manifestano in forma di sibili.

Dopo l'amplificazione di media frequenza l'apparecchio ha gli stadi normali, cioè uno stadio rivelatore e un amplificatore di bassa frequenza.

Contrariamente a quanto può apparire a prima vista, la qualità di riproduzione non dipende soltanto dalla parte del ricevitore che serve per l'amplificazione a bassa frequenza, ma anche tutto il resto dell'apparecchio può avere un'influenza notevole sul responso acustico del ricevitore. È quindi condizione essenziale che la modulazione rimanga inalterata attraverso l'amplificazione ad alta frequenza fino allo stadio rivelatore, per poter poi ottenere una riproduzione di buona qualità.

L'ostacolo principale che si incontra nell'amplificatore di alta e di media frequenza è dato dalle esigenze di selettività. Sappiamo che la selettività rende necessario l'impiego di circuiti con curve di risonanze acute che si estendono al massimo a 5 chilocicli da ogni lato dell'onda portante. Siccome le stazioni di radiodiffusione impiegano delle frequenze che differiscono di 9 chilocicli, ovvero di 10.000 cicli una dall'altra, così è indispensabile che la curva di sintonia del ricevitore tagli tutte le frequenze che si estendono ad oltre 5000 cicli da ogni lato dell'onda portante. Noi sappiamo, d'altronde, che la gamma musicale ha un'estensione molto maggiore di 5000 cicli, se si considerano tutte le armoniche, che costituiscono la caratteristica del timbro musicale. Sappiamo anche che la parola comprende una quantità di frequenze che sono più elevate di 5000 cicli al secondo. Da ciò risulta che, con una curva di sintonia che ammette soltanto il passaggio di frequenze per un'estensione di 5000 cicli, la riproduzione dovrà apparire deficiente. Sta però il fatto che tutti gli apparecchi comuni destinati per la ricezione delle stazioni lontane, che hanno una selet-

tività sufficiente presentano questa deficienza; le frequenze che vengono tagliate da una serie di circuiti se-

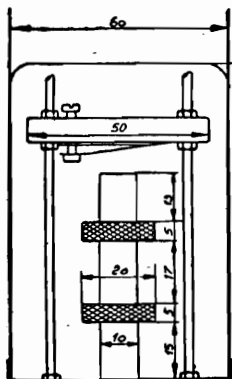


Fig. 178

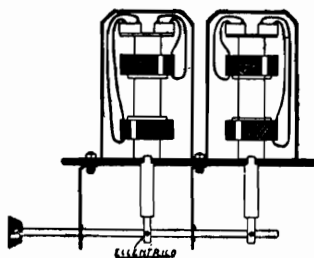


Fig. 179

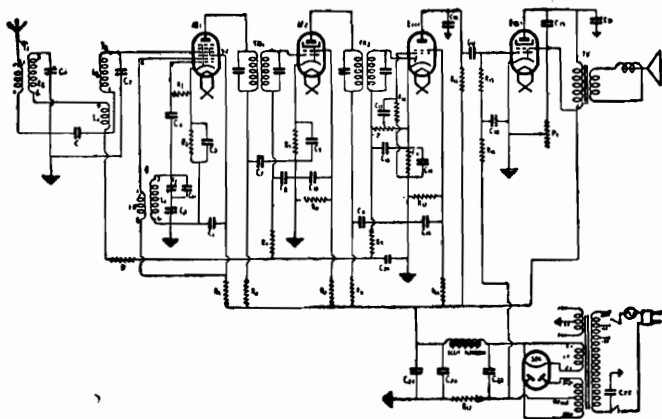


Fig. 180

lettivi sono quelle più alte della gamma acustica. Si ha quindi un certo abbassamento del tono e una alterazione del timbro. A questo fenomeno il nostro orecchio si è

ormai assuefatto, ma il paragone dato dalla successiva prova di due apparecchi, di cui uno selettivo e l'altro con curva di sintonia molto appiattita, ci rivela senz'altro le manchevolezze del primo per quanto riguarda la qualità di riproduzione.

È quindi naturale che trattandosi di progettare un apparecchio che abbia una riproduzione perfetta si debba affrontare in prima linea questo problema per poi passare alla rivelazione e all'amplificazione di bassa frequenza.

Poichè il taglio delle bande laterali dipende dal grado di selettività è evidente che variando il grado di selettività si varia anche l'estensione della gamma di frequenze acustiche che sono amplificate a bassa frequenza e che sono riprodotte dall'altoparlante. Si è tentato così di realizzare dei ricevitori che abbiano la selettività variabile. Si è considerato che la gran parte dei radioascoltatori si dedicano con preferenza alla ricezione della stazione locale o comunque di stazioni vicine, e si è cercato di dare la possibilità di ricevere almeno queste con una gamma completa delle frequenze musicali. La soluzione del problema così posto si presenta abbastanza semplice. Basta allo scopo disporre di una serie di circuiti a media frequenza che abbiano una curva di sintonia variabile. Si usano, ad esempio, per un trasformatore una bobina fissa e l'altra spostabile in modo da poter aumentare o diminuire la distanza fra un avvolgimento e l'altro. È noto che con la distanza fra il primario e il secondario varia anche la curva di sintonia del trasformatore. Con accoppiamento molto lasco si ha una curva di sintonia molto acuta e quindi una selettività molto elevata. Quando invece si avvicinano i due avvolgimenti la curva di sintonia assume una forma diversa: essa presenta due punte con un leggero incavo nel mezzo. La caratteristica è quella del filtro di banda.

Per poter ottenere una regolazione esatta dei trasformatori, le bobine mobili sono fissate su un asse il quale può essere spostato entro certi limiti a mezzo di un eccentrico fissato su un albero che viene manovrato dall'esterno dell'apparecchio (fig. 179).

La fig. 180 rappresenta lo schema di una supereterodina completa con controllo automatico della sensibilità.

Il circuito d'entrata ha due trasformatori accoppiati induttivamente per ottenere un grado di selettività maggiore. Il cambiamento di frequenza è ottenuto con l'ottodo. Segue poi uno stadio di amplificazione a media frequenza con una valvola schermata.

Per la rivelazione è impiegato un diodo rappresentato dalla placchetta nella valvola E 444. Segue, infine, uno stadio di amplificazione a bassa frequenza che è a sua volta collegato al pentodo finale a resistenza-capacità.

FINE

INDICE

PARTE PRIMA

NOZIONI DI FISICA E DI ELETTROTECNICA.

1. Costituzione della materia ed elettricità	Pag. 5
2. Elettrostatica. Legge di Coulomb. Campo elettrico. Potenziale elettrico	» 7
3. Capacità. Condensatori	» 10
4. I circuiti elettrici. Forza elettromotrice, potenziale e corrente. Resistenza. Materiali conduttori e mate- riali isolanti	» 23
5. I generatori di energia elettrica: pile e accumulatori	» 28
6. La legge di Ohm. La legge di Kirchhoff. La legge dello « shunt ». Il ponte di Wheatstone	» 37
7. Magnetismo. Elettromagnetismo	» 43
8. Le correnti alternate	» 47
9. Induzione elettromagnetica. Autoinduzione. Induzio- ne mutua	» 53
10. Il coefficiente di autoinduzione	» 55
11. Il collegamento delle induttanze in serie e in paral- lelo. Il coefficiente di mutua induzione. Il vario- metro	» 70
12. Il trasformatore	» 73
13. Impedenza e reattanza	» 75
14. Il circuito oscillante	» 80
15. Unità di misura	» 94
16. Strumenti di misura	» 98

17. Lo corrente ad alta frequenza. Le onde hertziane. Onde smorzate e onde persistenti	<i>Pag.</i> 105
18. La propagazione delle onde elettromagnetiche. Loro proprietà	» 111
19. Il meccanismo della trasmissione e della ricezione delle onde elettromagnetiche. Frequenza e lunghezza d'onda	» 115
20. La valvola termoionica	» 126

PARTE SECONDA

LA TRASMISSIONE.

21. Le stazioni di trasmissione. Le trasmettenti di radio-diffusione su onda media	<i>Pag.</i> 172
22. Le trasmettenti su onda corta	» 175

PARTE TERZA

I RADIORICEVITORI.

23. L'alimentazione dei radioricevitori	<i>Pag.</i> 183
24. L'antenna ricevente	» 189
25. Il circuito d'entrata nei ricevitori	» 191
26. Il rivelatore a cristallo	» 198
27. La reazione	» 202
28. L'amplificazione ad alta frequenza	» 211
29. Gli amplificatori a bassa frequenza	» 219
30. Il telefono e l'altoparlante	» 223
31. Il controllo automatico della sensibilità	» 228
32. La supereterodina	» 230

TELEVISIONE

G. G. CACCIA

304 illustrazioni

300 pagine

Manuale completo e veramente utile al profano e al tecnico, per la perfetta conoscenza della radiovisione e per la realizzazione pratica dei televisori.

Prezzo Lire **10**

Inviare l'importo alla CASA
EDITRICE SONZOGNO
MILANO - Via Pasquirolo, 14

MANUALI TECNICI SONZOGNO

Sono manuali teorici e pratici insieme, compilati da competenti, i quali, oltre che dallo studio, hanno acquistato capacità d'insegnamento e di vulgarizzazione dall'esperienza quotidiana nelle officine e nei laboratori.

1. **IL FENOMENO DELLA VITA.** Opera premiata al Concorso internazionale di «Scienza per Tutti» di ANTONINO CLEMENTI Prezzo L. 4.—
2. **PAGINE DI BIOLOGIA VEGETALE** (*Antologia Delpiniana*) del Prof. FR. NICOLOSI-RONCATI, 28 illustraz., 1 tav. Prezzo L. 4.—
3. **LA RICOSTRUZIONE DELLE MEMBRA MUTILATE** del Prof. G. FRANCESCHINI, 71 illustraz., 1 tav. Prezzo L. 4.—
4. **I PIU' SIGNIFICATIVI TROVATI DELLA CITOLOGIA** del Dott. R. GALATI MOSELLA, 80 allustraz., 1 tav. Prezzo L. 4.—
5. **I CIBI E L'ALIMENTAZIONE**, D.r A. ANGIOLANI Prezzo L. 4.—
6. **LE RECENTI CONQUISTE DELLE SCIENZE FISICHE** di DOMENICO RAVALICO, 61 illustraz. 1 tav. Prezzo L. 4.—
7. **LA CHIMICA MODERNA** (*Teoria fondamentali*) del Dott. ARGO ANGIOLANI (vol. doppio) Prezzo L. 8.—
8. **PRINCIPII DEL DISEGNO ARCHITETTONICO** del Prof. GIUSEPPE ODONI, 24 illustrazioni Prezzo L. 3.—
9. **L'AUDION E LE SUE APPLICAZIONI** di EMILIO DI NARDO, 98 illustrazioni Prezzo L. 4.50
10. **LE LECHE INDUSTRIALI DEL FERRO** del Dott. A. ANGIOLANI, con 45 illustrazioni Prezzo L. 8.—
11. **LA CONQUISTA DELL'ARIA** dell'Ing. P. A. MADONIA, con 56^{1/2} illustrazioni Prezzo L. 4.—
12. **ELEMENTI DELLE MACCHINE** dell'Ing. P. A. MADONIA, con 122 illustrazioni Prezzo L. 5.—
13. **FERROVIE AEREE** (*Teleferiche*) dell'Ing. F. BARBACINI, con 204 illustrazioni Prezzo L. 7.—
14. **L'AUTOMOBILE** - Ing. A. PISELLI Prezzo L. 5.—
15. **CINEMATICA DEI MECCANISMI** - Ing. A. UCCELLI, con 112 illustrazioni Prezzo L. 6.—
16. **MACCHINE ELETTRICHE** - Ing. A. MADERNI, con 233 illustrazioni Prezzo L. 10.—
17. **MACCHINE UTENSILI** - Ing. A. NANNI, 108 ill. Prezzo L. 6.—
18. **MANUALE TEORICO-PRATICO DI RADIOTECNICA**, - Ing. A. BANFI con 176 illustraz. e 3 tavole fuori testo. Prezzo L. 10.—
19. **MANUALE DI COSTRUZIONE DI GALLERIE** - Ing. ENZO LOLLI, con 49 illustrazioni Prezzo L. 6.—
20. **IL PERICOLO NEISSER** (*Conseguenze e cura della BLENORRAGIA*) - Dott. ANTONIO POZZO, con 21 illustrazioni e 2 tavole a colori fuori testo Prezzo L. 5.—
21. **L'AUTOMOBILE ELETTRICA** - Ing. RENATO BERNASCONI, con 55 illustrazioni Prezzo L. 4.—
22. **GUIDA ALLA ANALISI CHIMICA** - *Qualitativa Vol. I* - del Dott. CARLO LELLI, con 13 illustrazioni Prezzo L. 8.—

Inviare Cart.-Vaglia alla Casa Editrice Sonzogno, Milano (104)
Via Pasquirolo, 14.

SEZIONE SCIENTIFICA SONZOGNO

Diretta dal Dott. EDGARDO BALDI dell' Università di Milano

Mira a porgere ai ricercatori, ai docenti, agli studiosi, agli studenti, a tutte le persone colte e agli autodidatti una comprensiva sintesi delle attuali condizioni della conoscenza filosofica e scientifica, mediante una serie di volumi ripartiti in più sezioni, rispecchianti ogni ramo del progresso scientifico, ed è destinata a costituire un centro di organamento e di diffusione del pensiero scientifico italiano.

Volumi pubblicati (in-16):

G. FAURE	1. <i>I Batteri</i>	L. 5.50
A. STEFANELLI	2. <i>I microscopici dispositivi periferici del nervi</i>	» 4.—
G. SERGI	3. <i>La vita animale e vegetale</i>	» 4.50
E. ABRAMOWSKI	4. <i>L'analisi fisiologica della percezione</i>	» 3.50
B. RUSSELL	5. <i>I problemi della filosofia</i>	» 5.—
W. Mc. DOUGALL	6. <i>Psicologia</i>	» 4.—
U. PIERANTONI	7. <i>Gli animali luminosi</i>	» 4.—
SVANTE ARRHENIUS	8. <i>Leggi quantitative della chimica biologica</i>	» 4.—
A. REALE	9. <i>Le aristocrazie</i>	» 4.50
A. KEITH	10. <i>Il corpo umano</i>	» 5.—
Sir J. MURRAY	11. <i>L'Oceano</i>	» 8.—
J. B. FARMER	13. <i>Morfologia Biologica Vegetale</i>	» 7.—
G. FAURE	14. <i>Microtecnica e microchimica animale e vegetale</i>	» 6.—
A. STEFANELLI		

Volumi pubblicati (in-8):

P. ENRIQUES	12. <i>La riproduzione nei protozoi</i>	L. 15.—
-----------------------	---	---------

Sono in corso di pubblicazione:

FR. SODDY	<i>Materia ed energia.</i>
A. THOMSON	} <i>Evoluzione.</i>
P. CEDDES	
R. R. MARETT	<i>L'Antropologia.</i>
A. THOMSON	} <i>La sessualità.</i>
P. CEDDES	
FRASER HARRIS	<i>I nervi.</i>

Inviare Cartolina-Vaglia alla CASA EDITRICE SONZOGNO
Milano (104) - Via Pasquirolo, 14.

== AUMENTO ==
Sul prezzo di copertina **5**⁰/₀ 25 febbraio 1940-XVIII
Determinazione Ministero Connessioni
Casa Editrice Sonzogno - Milano

Prezzo L. **8.-**