

### CAPITOLO III

## CIRCUITI ACCORDATI

#### 19. Generalità.

a) I *circuiti accordati* sono combinazioni di elementi di circuiti così disposti da produrre un desiderato effetto nel circuito radio. Sia i trasmettitori che i ricevitori si basano sui circuiti accordati per il loro funzionamento sulla frequenza desiderata. E se non fosse per i circuiti accordati operanti in congiunzione con i tubi a vuoto la radio moderna non sarebbe possibile.

b) Nei ricevitori radio i circuiti accordati sono necessari non soltanto per la scelta dei segnali desiderati, ma pure per respingere i segnali indesiderati. L'abilità di un ricevitore nello scegliere una frequenza desiderata scartando le frequenze indesiderate si chiama *selettività*. La selettività di un complesso ricevente dipende completamente dall'appropriato funzionamento dei suoi circuiti accordati. Se i circuiti accordati non operassero appropriatamente, se essi fossero accordati in modo errato, o se una parte qualunque di essi fosse difettosa, allora la *sensibilità* del complesso (abilità a ricevere segnali deboli) sarebbe considerevolmente ridotta oppure il ricevitore non funzionerebbe affatto.

c) Nei trasmettitori radio, non soltanto è dovuto ai circuiti accordati la possibilità di funzionamento sulla desiderata frequenza, ma l'intero processo di generazione e amplificazione di potenza a radiofrequenza è dipendente dal funzionamento appropriato dei circuiti accordati.

Se i circuiti accordati di un trasmettitore radio non operano appropriatamente per difetto di una loro parte costitutiva o perchè accordati in modo non corretto, la potenza d'uscita del trasmettitore (e conseguentemente la portata della trasmissione) sarà considerevolmente ridotta o addirittura il trasmettitore diverrà completamente inattivo.

## 20. Curve e grafici.

Nella radiotecnica, le curve ed i grafici sono largamente impiegati per mostrare il funzionamento delle parti dei circuiti, giacchè con una singola curva o grafico si potrà spiegare il funzionamento della parte o del circuito in modo più semplice di una lunga descrizione con parole. Una curva od un grafico dà un'immagine di ciò che si verifica per il valore di una quantità di un circuito con il variare del valore di un'altra quantità. Nella radiotecnica, le curve ed i grafici possono mostrare la tensione di un circuito in relazione alla frequenza, la tensione di un circuito in relazione alla corrente, ecc. Per esempio, nel capitolo II è stato mostrato che la reattanza di un condensatore decresce con l'aumentare della frequenza di funzionamento. Questa relazione può essere mostrata con un grafico, come illustrato dalla figura 23. Ciascun punto di

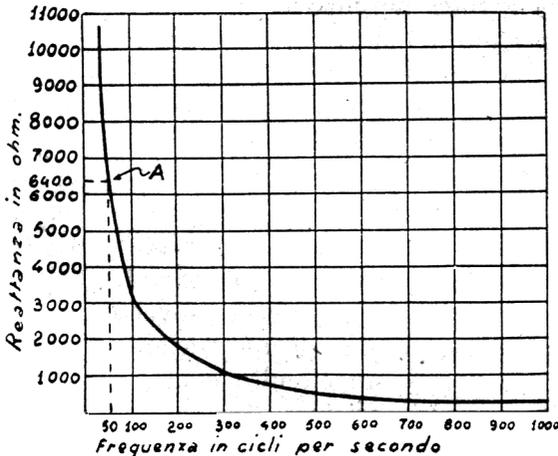


FIG. 23 - Grafico mostrante la reattanza di un condensatore di 0,5 Mf. da 30 a 1000 cicli/sec.

questo grafico mostra il valore della reattanza del condensatore per una differenza di frequenza. Il punto A mostra che la reattanza del condensatore è di circa 6.400 ohm alla frequenza di

50 cicli per secondo. I grafici saranno estensivamente impiegati in questo capitolo per indicare quello che si verifica nei circuiti accordati.

## 21. Resistenza, reattanza e impedenza.

a) Un resistore presenta la stessa resistenza sia al flusso della corrente alternata che di quella continua. L'opposizione offerta al flusso della corrente alternata dagli induttori e dai conduttori è chiamata reattanza. Se un circuito contiene sia resistenza che reattanza, l'opposizione totale offerta al flusso della corrente alternata è chiamata la *impedenza* del circuito. L'impedenza di un circuito è l'*effetto combinato della resistenza e della reattanza* di opposizione al flusso della corrente alternata. L'impedenza è misurata in ohm.

b) L'effetto della reattanza induttiva e di quella capacità sulla corrente e sulla tensione è molto importante nella radiotecnica. La reattanza induttiva, oltre ad aumentare con il crescere della frequenza, ha un altro effetto che gioca una parte importante nei circuiti accordati: essa non solo si oppone al flusso della corrente alternata, ma pure provoca un ritardo della corrente rispetto alla tensione applicata di una certa frazione di ciclo, come è indicato dalla figura 24. Se un circuito contiene soltanto reattanza induttiva la corrente ritarderà rispetto alla tensione esattamente di un quarto di ciclo, ossia di  $90^\circ$ . La reattanza capacitiva ha giusto l'effetto opposto: essa provoca un anticipo della corrente rispetto alla tensione di una frazione di ciclo, com'è indicato dalla figura 25. Se un circuito contiene soltanto reattanza capacitiva, la corrente anticiperà la tensione di  $90^\circ$ .

c) Invece di fare riferimento alle frazioni di ciclo, come mezzo ciclo o un quarto di ciclo, nella radiotecnica le parti di un ciclo sono espresse in gradi: un ciclo completo uguaglia  $360^\circ$ , mezzo ciclo è uguale a  $180^\circ$ , un quarto di ciclo è uguale a  $90^\circ$ , ecc.

Se due tensioni, oppure una tensione ed una corrente, non raggiungono in un circuito contemporaneamente i loro valori massimi e minimi, la differenza fra le due è espressa in gradi.

Questo effetto è chiamato *sfasamento* o differenza di *fase*. Per esempio, se la corrente in un circuito ritarda oppure anticipa la tensione di un quarto di ciclo, ossia di  $90^\circ$ , si dice che le quantità sono  $90^\circ$  fuori fase oppure che è uno sfasamento di  $90^\circ$ . Se la corrente e la tensione in un circuito raggiungono i loro valori massimi e minimi esattamente nello stesso istante, si dice che esse sono in fase.

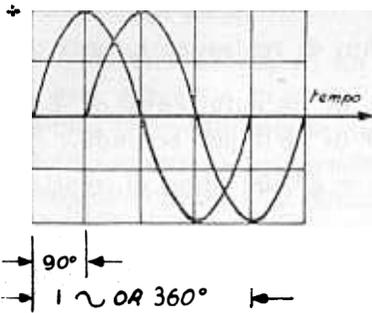


FIG. 24 Effetto della reattanza induttiva.

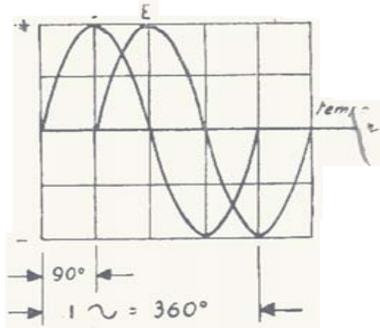


FIG. 25 - Effetto della reattanza capacitiva.

d) Poichè la reattanza induttiva provoca un ritardo di fase di  $90^\circ$  della corrente rispetto alla tensione e la reattanza capacitiva fa invece anticipare la corrente di  $90^\circ$ , si può dire che la differenza fra i due effetti è di  $180^\circ$  (ossia di mezzo ciclo). Poichè una metà di un ciclo è positiva e l'altra metà è negativa, la variazione di mezzo ciclo, ossia di  $180^\circ$ , rappresenterà un cambio di polarità. Pertanto, l'effetto della reattanza induttiva può essere considerato come *reattanza positiva* e la reattanza capacitiva può essere considerata come *reattanza negativa*.

## 22. Calcolazioni sulle reattanze.

a) Poichè la reattanza induttiva è proporzionale all'induttanza e alla frequenza, una semplice formula può essere usata per determinare la reattanza di una bobina:

$$X_L = 2 \pi f L$$

Dove:

$X_L$  = valore della reattanza induttiva in ohm;

$L$  = induttanza della bobina in henry;

$f$  = frequenza in cicli per secondo;

$2\pi = 6,28$ .

*Esempio:* Trovare la reattanza di una bobina di 5 henry alla frequenza di 60 cicli per secondo.

$$= 6,28 \times 60 \times 5 = 1884 \text{ ohm di reattanza induttiva.}$$

*Esempio:* Trovare la reattanza di un'induttanza di 7 milihenry alla frequenza di 1.000.000 di cicli per secondo.

$$= 6,28 \times 1.000.000 \times 0,006 = 37.700 \text{ ohm di reattanza induttiva.}$$

Sarà tenuto presente che l'induttanza espressa in sottomultipli dell'henry deve essere convertita in henry prima di sostituirla nella formula.

b) Poichè la quantità di energia immagazzinata in un condensatore (per una data tensione) è determinata dalla capacità effettiva del condensatore, l'importo totale di energia immagazzinata (e susseguentemente riceduta al circuito) in un secondo sarà più grande quando il condensatore è caricato molte volte per secondo che quando esso è caricato soltanto poche volte per secondo. Pertanto la corrente sarà proporzionale alla frequenza ed alla capacità del condensatore. La reattanza sarà pertanto inversamente proporzionale alla frequenza ed alla capacità. La formula per la reattanza capacitiva è:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

Dove:

$X_c$  = valore della reattanza capacitiva in ohm;

$C$  = capacità del condensatore in farad;

$f$  = frequenza in cicli per secondo;

$2\pi = \text{circa } 6,28$ .

*Esempio:* Trovare la reattanza capacitiva di un condensatore di 2 microfarad a 60 cicli per secondo.

$$X_c = \frac{1}{6,28 \times 60 \times 0,000002} \quad 1.330 \text{ ohm di reattanza capacitiva.}$$

### 23. Risonanza serie.

a) Se una bobina ed un condensatore sono connessi in serie con una sorgente a corrente alternata di frequenza variabile (fig. 26), la combinazione di queste parti costituisce un *circuito accordato in serie* o un *circuito risonante in serie*. Poichè in tale circuito gli avvolgimenti della bobina presentano un certo importo di resistenza, l'effetto di questa resistenza deve essere considerato nel funzionamento del circuito. Questa resistenza è indicata nella figura 26 come un resistore  $R$ . Se la sorgente di corrente alternata è posta ad una frequenza bassa, si trova che l'opposizione più grande della corrente del circuito è data dalla reattanza del condensatore  $C$  (poichè la reattanza capacitiva aumenta col diminuire della frequenza). Se la sorgente a corrente alternata è ad una frequenza alta, si trova che l'opposizione più grande alla corrente è data dalla reattanza dell'induttore  $L$  (poichè la reattanza induttiva aumenta con l'aumentare della frequenza). In altre parole, alle frequenze basse la reattanza del circuito è principalmente *capacitiva*, mentre alle frequenze alte la reattanza è principalmente *induttiva*.

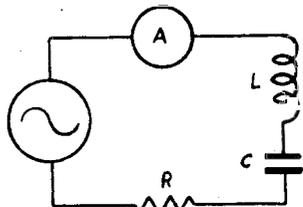


Fig. 26 - Circuito risonante serie.

b) A qualche frequenza fra gli estremi di alta e bassa frequenza, la reattanza induttiva sarà uguale alla reattanza capacitiva. Questa frequenza è chiamata la *frequenza di risonanza* del circuito, e si dice che il circuito serie è accordato a questa frequenza. Poichè la reattanza induttiva nel circuito produce un effetto posi-

tivo e la reattanza capacitiva produce un effetto negativo, quando esse acquistano, alla frequenza risonante, uguale valore, si cancellano l'una con l'altra e pertanto la sola opposizione alla corrente nel circuito è quella offerta dal resistore  $R$ .

c) La corrente nel circuito serie di figura 26 può essere misurata a mezzo dell'amperometro  $A$ . Se la frequenza della sorgente è accresciuta gradualmente da un basso ad un alto valore, la corrente aumenterà rapidamente fino a che essa raggiunge un valore massimo alla frequenza risonante, ed allora rapidamente decresce, come mostrato dal grafico di figura 27.

d) Poichè il flusso di corrente in un circuito è determinato dalla impedenza del circuito, l'impedenza di un circuito accordato serie è al suo più basso o minimo valore alla frequenza di risonanza, e diviene più grande su entrambi i lati della frequenza risonante (*vedere* fig. 28).

e) Poichè la caduta di tensione attraverso ciascun elemento di circuito sarà proporzionale alla corrente che fluisce nel circuito e all'opposizione presentata da ciascun elemento alla corrente, e poichè la corrente che fluisce in un circuito serie è massima alla frequenza risonante, la tensione che appare ai capi di ciascun elemento di circuito sarà la più grande alla risonanza. Benchè le cadute ai capi della bobina e del condensatore del circuito serie di figura 26 sono uguali in valore ed opposte in polarità alla frequenza di risonanza (e così si cancellano fra di loro per quanto ha attinenza al voltaggio totale del circuito), ciascuna di queste tensioni, prese singolarmente, è molto alta. Ciascuna di esse può essere impiegata per far funzionare altri circuiti radio (tali come i circuiti dei tubi a vuoto), poichè un segnale molto forte (amplificazione) può essere ottenuto alla frequenza di risonanza. Questa amplificazione di tensione dei segnali radio alla frequenza particolare a cui il circuito è risonante è uno degli effetti più importanti dei circuiti accordati.

f) Un circuito è alla risonanza quando la reattanza induttiva ha lo stesso valore della reattanza capacitiva. Se si cambia il valore o della bobina o del condensatore, cambia pure la frequenza di

risonanza del circuito. Se è accresciuta la capacità o l'induttanza oppure se entrambe sono accresciute contemporaneamente, la frequenza di risonanza diminuisce. Inversamente, se è diminuita la capacità o l'induttanza, oppure se sono diminuite contemporaneamente entrambe, la frequenza di risonanza è aumentata. Pertanto, facendo o l'induttore o la capacità variabile nel circuito, il circuito stesso può essere accordato (o messo in risonanza) per una larga gamma di frequenze. I limiti della gamma di frequenze entro cui il circuito può essere accordato dipendono dal valore del-

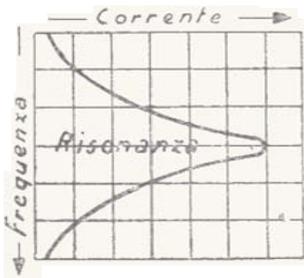


FIG. 27 - Corrente nel circuito risonante serie.

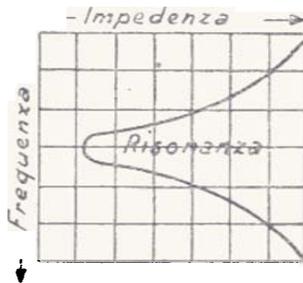


FIG. 28 - Curva di impedenza nel circuito risonante serie.

l'elemento fisso e dai valori massimo e minimo dell'elemento variabile. È usualmente più conveniente e più efficiente fare del condensatore l'elemento variabile in un circuito accordato. Per questa ragione i condensatori variabili insieme con bobine di induttanza fissa, costituiscono i circuiti accordati di praticamente tutti i moderni radio trasmettitori e ricevitori.

g) La resistenza presente in un circuito accordato risonante determina il valore della selettività di cui il circuito è capace. Le curve di risonanza per tre valori differenti di resistenza ( $R$  in fig. 26) sono mostrate nella figura 29. Queste sono dello stesso tipo di curva di quella mostrata dalla figura 27 in cui la corrente è determinata per i valori della frequenza intorno alla risonanza. Le curve di risonanza di figura 29 dimostrano la praticità di un circuito accordato quale dispositivo selettivo. La corrente che fluisce in un circuito accordato quando sono applicate ai suoi ter-

minali varie tensioni di valori uguali ma di frequenze differenti, è composta principalmente di frequenze uguali o molto vicine a quella di risonanza del circuito. Con l'aggiunta di resistenza al circuito, è ottenuta una curva di risonanza (o di risposta) del circuito avente valori di correnti minori e tendenti ad una maggiore uniformità. Pertanto la resistenza nel circuito ha l'effetto di ridurre la selettività. Può pure dimostrarsi che l'effetto di resistenza in parallelo sia ai capi dell'induttore che a quelli del condensatore,

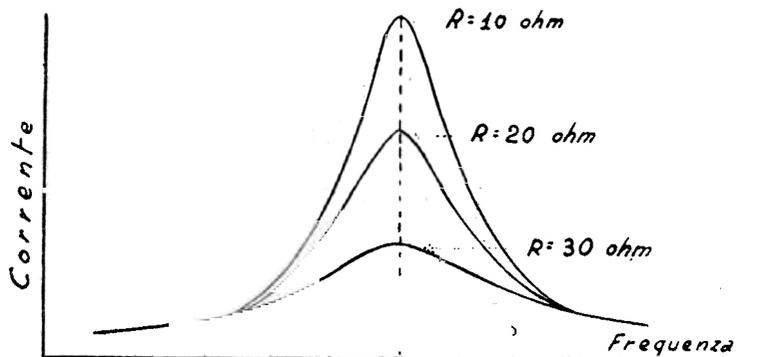


FIG. 29 - Curve di risonanza mostranti l'effetto di appiattimento della resistenza serie.

determina similmente una riduzione di selettività. In alcuni casi, elementi di resistenza sono deliberatamente introdotti in un circuito radio allo scopo di allargare la gamma di frequenze cui il circuito possa rispondere, benchè generalmente la resistenza inerente al circuito è più che sufficiente per questo scopo.

h) I circuiti accordati serie sono spesso usati nei sistemi di antenna dei trasmettitori e dei ricevitori. Essi sono particolarmente convenienti per i requisiti cui debbono soddisfare le antenne dei trasmettitori, poichè queste sono attraversate alla risonanza da una corrente massima. Ciò significa che la massima corrente percorrerà l'antenna alla desiderata frequenza di funzionamento e conseguentemente vi sarà un massimo di radiazione di potenza a questa frequenza. I circuiti accordati serie sono pure usati come elementi di filtro (vedere paragr. 26).

## 24. Risonanza parallelo.

a) Se una bobina ed un condensatore sono connessi in parallelo (fig. 30), la combinazione delle parti è chiamata un *circuito accordato parallelo* od un *circuito risonante parallelo*. Come nel circuito accordato serie di figura 26, la resistenza presente nel circuito dovuta agli elementi circuitali è indicata nel diagramma con il resistore  $R$ . Poichè la bobina ed il condensatore del circuito accordato parallelo sono entrambi connessi ai capi della linea, partendo dalla sorgente di corrente alternata a frequenza variabile, vi sono due cammini attraverso cui la corrente può finire: un cammino attraverso la bobina, ed un cammino attraverso il condensatore. Se la sorgente di corrente alternata è portata ad una frequenza bassa, la maggior parte della corrente attraverserà la bobina, poichè la reattanza della bobina sarà piccola per le correnti alternate e la reattanza del condensatore sarà invece alta. Se la sorgente di corrente alternata è portata ad una frequenza alta, la maggior parte della corrente attraverserà il condensatore, poichè la sua reattanza sarà piccola per le alte frequenze mentre la reattanza della bobina sarà alta.

b) Alla frequenza di risonanza, giusto come nel caso del circuito accordato serie, la reattanza del condensatore  $C$  sarà uguale alla reattanza dell'induttore  $L$ . Tuttavia, a differenza del circuito serie, poichè i due elementi circuitali sono in parallelo, la corrente che attraversa la reattanza induttiva (bobina  $L$ ) sarà opposta in polarità alla corrente che attraversa la reattanza capacitiva (condensatore  $C$ ). Poichè alla frequenza di risonanza la reattanza induttiva è uguale alla reattanza capacitiva, le correnti che attraversano le due reattanze avranno uguale valore ma saranno di polarità opposta e conseguentemente si cancellano fra di loro.

c) La corrente che attraversa il circuito parallelo di figura 30 può essere misurata con l'amperometro  $A$ . Se la sorgente di frequenza è variata da un valore di frequenza bassa ad un valore di frequenza alta passando attraverso la frequenza di risonanza, la corrente decrescerà rapidamente dal suo valore più alto, corrispon-

dente al valore di frequenza bassa, ad un minimo alla frequenza di risonanza e quindi aumenterà ancora fino a raggiungere il più alto valore in corrispondenza del valore di alta frequenza, come è indicato nel grafico di figura 31.

d) La corrente di linea è la differenza fra la corrente che attraversa la branca induttiva e quella capacitiva del circuito, come indicato dal grafico di figura 32. Data la presenza di una certa resistenza, le due correnti di branca non possono cancellarsi completamente fra di loro. Benchè la corrente di linea possa essere

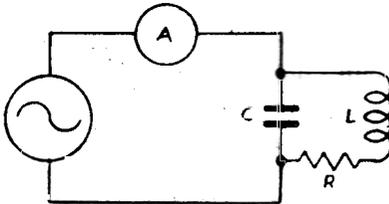


FIG. 30 Circuito risonante parallelo.

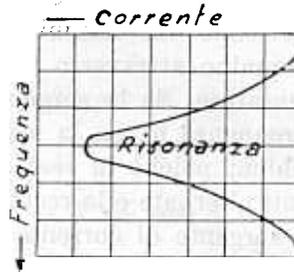


FIG. 31 - Corrente nel circuito risonante parallelo.

molto piccola, la corrente circolante fra la bobina ed il condensatore può essere molto grande.

e) Poichè la corrente totale, ossia la corrente di linea, in un circuito parallelo risonante è minima alla frequenza di risonanza, l'impedenza del circuito (ossia l'opposizione totale al flusso di corrente) avrà un massimo alla risonanza e decrescerà su ciascun lato della frequenza di risonanza, come indicato dal grafico di figura 33.

f) La selettività di un circuito accordato parallelo è inversamente proporzionale alla resistenza di ciascuna branca del circuito; cioè aumentando la resistenza in ciascuna branca del circuito diminuisce la selettività.

g) Per una data frequenza del generatore a corrente alternata in un circuito come quello mostrato dalla figura 30, una variazione

del condensatore  $C$  è accompagnata da una variazione dell'indicazione dell'amperometro (corrente di linea) poichè varia l'impedenza del circuito. Il minimo di corrente nella linea indica che vi è un massimo di corrente circolante entro il circuito accordato parallelo. Un circuito risonante parallelo in un trasmettitore radio è accordato in questo modo, ossia dall'indicazione di un minimo nella lettura dell'amperometro.

h) L'impedenza dei circuiti accordati paralleli è molto alta alla frequenza di risonanza e bassa a tutte le altre frequenze. Per

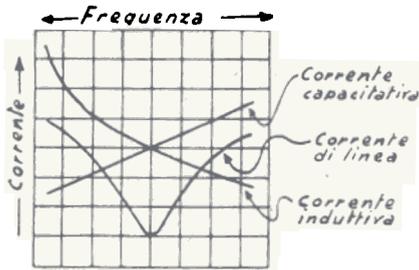


FIG. 32 - Corrente nelle branche del circuito risonante parallelo.

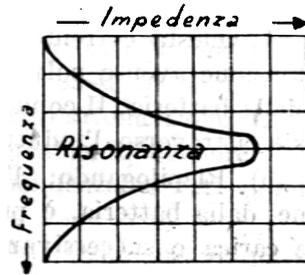


FIG. 33 - Curva d'impedenza nel circuito risonante parallelo.

questa ragione, essi sono usati con i tubi a vuoto per generare, rivelare o amplificare segnali di una data frequenza. I tubi a vuoto sono comparativamente dispositivi di alta impedenza e per un appropriato funzionamento debbono essere connessi a circuiti di alta impedenza, tale come i circuiti accordati parallelo. I circuiti risonanti parallelo sono pure usati come filtri (paragr. 26). Un terzo importante impiego del circuito accordato parallelo è basato sul principio del circuito «serbatoio» impiegato nei trasmettitori radio.

## 25. Principio del circuito « Serbatoio »

a) Se il condensatore in un circuito accordato parallelo è caricato a mezzo di una batteria (corrente continua) e la batteria è

successivamente disconnessa, una corrente alternata di brevissima durata sarà generata alla risonanza del circuito.

*b)* Questa corrente viene prodotta nei seguenti modi:

1) Il condensatore si scaricherà nell'induttore facendo fluire in esso una corrente. Questa corrente crea un campo magnetico attorno all'induttore.

2) Quando il condensatore si è scaricato, la corrente cessa ed il campo sparisce.

3) Una tensione, di tale polarità da determinare il persistere della corrente nella stessa direzione, è indotta nella bobina.

4) Questa corrente fluendo nel condensatore lo carica ad una tensione avente polarità opposta a quella della carica originale della batteria. Il condensatore si carica allora nella direzione opposta attraverso l'induttore ed il processo si ripete.

5) Riepilogando: l'energia del circuito proveniente in origine dalla batteria, è prima immagazzinata nel condensatore quale carica e successivamente trasferita nel campo magnetico dell'induttore. Questa corrente è alternativa, poichè essa inverte la sua direzione alla frequenza di risonanza del circuito accordato.

*c)* Questo processo si ripeterà indefinitamente se il circuito non presenta resistenza. Ma, poichè tutti i circuiti presentano della resistenza, sia pure piccola, il procedimento continuerà soltanto sino a che l'energia che era stata fornita al circuito sia stata dissipata, o consumata, dalla resistenza del circuito.

*d)* Per poter produrre delle correnti alternate persistenti è necessario soltanto fornire, in tale circuito accordato parallelo, una potenza sufficiente a sovrabilanciare le perdite dovute alla sua resistenza. È possibile fare ciò in certi circuiti associati con tubi a vuoto impiegati nei trasmettitori, come sarà spiegato più tardi. Le correnti alternate generate in tali circuiti serbatoio accordati in parallelo, sono chiamate *correnti oscillanti*. Poichè tale circuito accordato parallelo può immagazzinare potenza per un certo periodo di tempo, esso è chiamato circuito « serbatoio ».

## 26. Filtri.

a) I filtri sono impiegati per selezionare energia a certe desiderate frequenze e per non far passare energia a frequenze indesiderate. I condensatori e gli induttori conferiscono delle proprietà ad un circuito che li rendono convenienti per essere impiegati sia singolarmente, sia in combinazione fra di loro nei filtri a larga gamma di frequenza. I filtri passa basso e quelli passa alto sono degli esempi di questo tipo.

b) I condensatori e gli induttori presentano individualmente una caratteristica di frequenza avente una certa gamma di discriminazione. ~~Li induttori tendono~~ <sup>Li induttori tendono</sup> a far passare le correnti alternate a frequenze alte e ad ostacolare le basse frequenze. Questo effetto di ritardo o di ostacolo è chiamato attenuazione. La figura 34 rappresenta graficamente il comportamento dei circuiti serie al passaggio delle correnti in corrispondenza a vari potenziali applicati.

La discriminazione caratteristica di frequenza di grandi e piccoli condensatori è mostrata per quattro differenti tipi di segnali d'ingresso: audiofrequenza, radiofrequenza, audiofrequenza e radiofrequenza, audiofrequenza e radiofrequenza con componente di corrente continua. Saranno notate le attenuazioni di alcune di queste frequenze di ingresso. La resistenza in se stessa non fornisce alcuna azione filtrante perchè essa impedisce nella stessa misura a tutte le correnti di farsi attraversare, indipendentemente dalla frequenza. Tuttavia, minore è la resistenza in un circuito filtro, più acuta sarà la linea di separazione fra le frequenze che passano a quelle che sono bloccate o attenuate.

c) Un filtro *passa basso* è progettato per far passare tutte le frequenze inferiori ad una prestabilita frequenza critica o frequenza di taglio e riduce od attenua sostanzialmente le correnti di tutte le frequenze superiori a questa frequenza di taglio. Tale filtro è mostrato in figura 35 con un grafico di una caratteristica di taglio tipica. Il filtro passa basso farà passare pure la corrente continua e le correnti alternative di frequenze bassissime senza opposizione ed è pertanto largamente usato per filtrare o spianare

l'uscita degli alimentatori di potenza radio. Questa azione di spianamento è spiegata in modo più completo nel paragrafo 35 c).

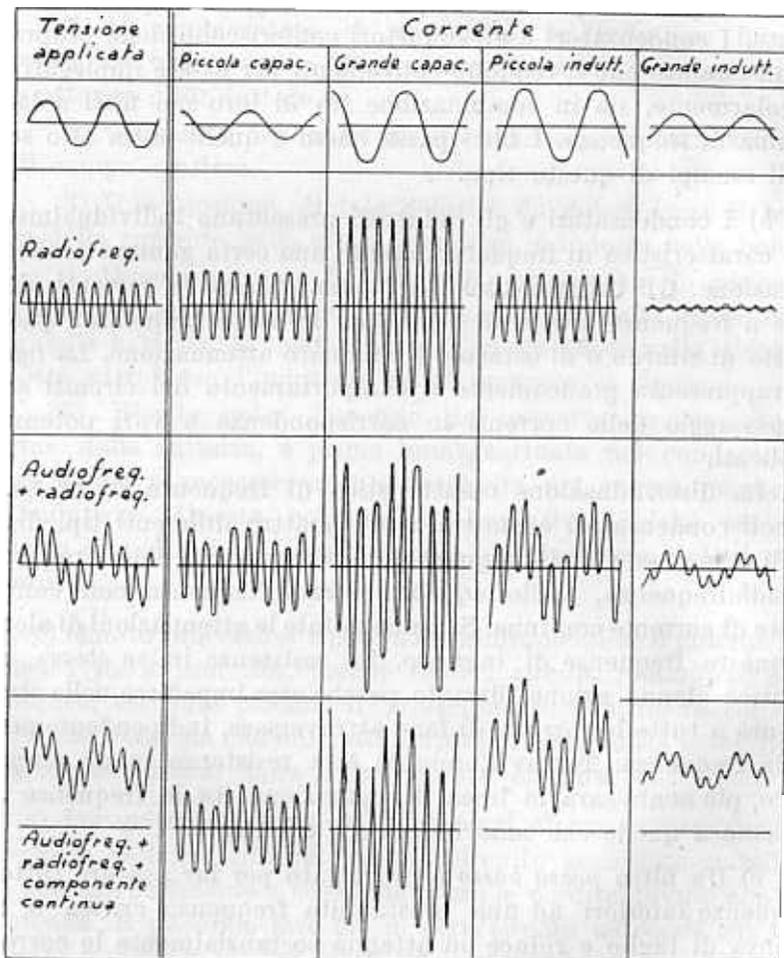


FIG. 34 - Azione filtro di singoli condensatori in serie e di singoli induttori in serie.

d), Un *filtro passa alto* è progettato per far passare correnti di tutte le frequenze superiori alla prestabilita frequenza di taglio

e per ritardare od attenuare considerevolmente le correnti di tutte le frequenze inferiori a questa frequenza di taglio. L'induttore ed il condensatore del filtro passa basso sono stati semplicemente scambiati per formare il filtro passa alto (fig. 36). Poichè tutte le frequenze sotto quella d'interdizione sono grandemente attenuate, un filtro di questo tipo bloccherà la corrente continua.

e) I circuiti risonanti (accordati) presentano certe caratteristiche che li rendono ideali per un certo tipo di filtro, quando è desiderata una alta selettività. Un circuito risonante serie offre

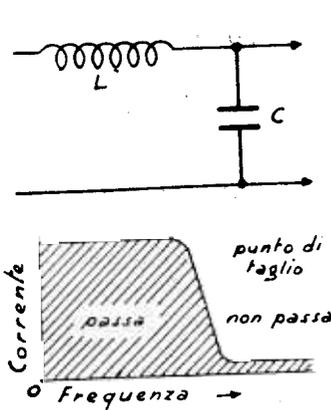


FIG. 35 - Filtro passa basso e caratteristica corrente-frequenza

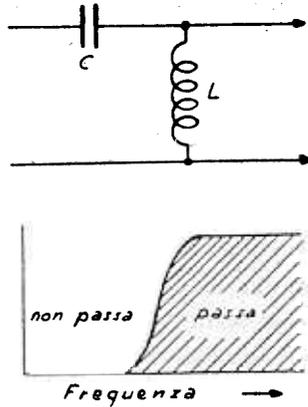


FIG. 36 - Filtro passa alto e caratteristica corrente-frequenza

una bassa impedenza alle correnti della particolare frequenza per la quale esso è accordato, ad una impedenza relativamente alta alle correnti di tutte le altre frequenze. Un circuito risonante parallelo, per contro, offre un'impedenza molto alta alle correnti della sua frequenza naturale o risonante ed una impedenza relativamente bassa a tutte le altre.

f) Un filtro passa banda è progettato per far passare correnti di frequenze comprese entro una banda continua, limitata da una frequenza di taglio inferiore e da una frequenza di taglio superiore e per attenuare o ridurre sostanzialmente tutte le frequenze sopra

e sotto la banda passante. Un filtro passa banda tipico è mostrato dalla figura 37, con un grafico illustrante la banda di frequenza che esso fa passare. I circuiti risonante serie e parallelo sono tutti accordati alla banda di frequenza desiderata. I circuiti accordati parallelo offrono un'alta impedenza alle frequenze comprese entro questa banda, mentre i circuiti accordati serie offrono piccolissima impedenza. Pertanto, queste frequenze desiderate comprese nella banda viaggeranno nel resto del circuito senza essere osta-

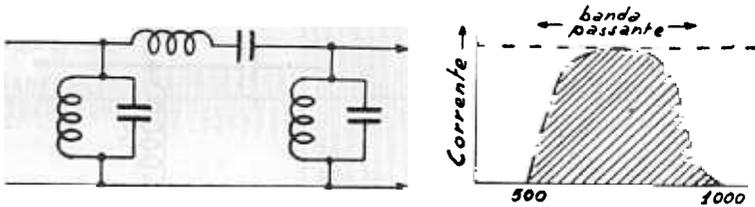


FIG. 37 - Filtro passa banda e sua caratteristica corrente.

colate; ma le correnti delle frequenze indesiderate, cioè le frequenze esterne alla banda, incontreranno un'alta impedenza e saranno bloccate.

g) Un *filtro ad eliminazione di banda* è progettato per sopprimere le correnti di tutte le frequenze comprese entro una banda continua, limitata da una frequenza di taglio superiore e da una frequenza di taglio inferiore e per far passare tutte le frequenze sopra e sotto questa banda. Tale filtro ad eliminazione di banda è mostrato dalla figura 38, con un grafico relativo alla sua caratteristica di frequenza. Questo tipo di filtro è giusto l'opposto del filtro passa banda; le correnti di frequenza comprese entro la banda sono bloccate. I due circuiti accordati serie ed il circuito risonante parallelo sono tutti accordati alla banda di frequenza desiderata. Il circuito accordato parallelo offre un'alta impedenza a questa banda di frequenza soltanto, ed i circuiti accordati serie offrono piccolissima impedenza; pertanto, i segnali compresi entro la banda di frequenza sono bloccati. Tutte le altre frequenze,

e cioè tutte le frequenze esterne alla banda, passano attraverso il circuito parallelo che offre piccola impedenza.

h) Una *trappola d'onda*, qualche volta impiegata nei circuiti di antenna dei ricevitori radio, è una forma di filtro ad elimina-

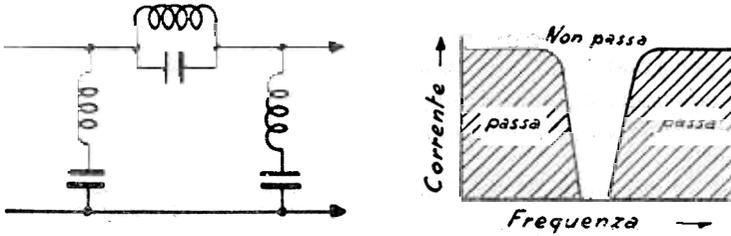


FIG. 38 - Filtro ad eliminazione di banda e sua caratteristica corrente-frequenza.

zione di banda. Vi sono due tipi di queste trappole d'onda: il filtro accordato parallelo ed il filtro accordato serie. Un circuito risonante parallelo, connesso come indicato nella figura 39, è accordato alla risonanza alla frequenza del segnale indesiderato, la trappola d'onda presenta allora un'alta impedenza alle correnti di questa frequenza indesiderata e consente alle correnti di tutte le altre frequenze di entrare nel ricevitore. Un circuito risonante serie, connesso come indicato nella figura 40, può essere accor-

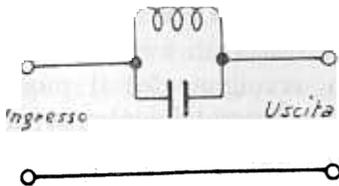


FIG. 39 - Trappola d'onda con circuito accordato parallelo.

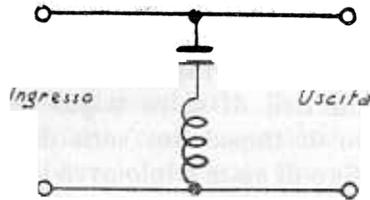


FIG. 40 - Trappola d'onda con circuito accordato serie.

dato alla risonanza alla frequenza del segnale indesiderato, e queste correnti indesiderate saranno effettivamente fatte passare generalmente a massa senza ostacolare le correnti di tutte le altre frequenze.

## 27. Circuiti accoppiati. Trasformatori

a) Poichè ogni ricevitore o trasmettitore radio è composto da un certo numero di circuiti, o stadi, debbono essere escogitati dei metodi per connettere o accoppiare l'uscita di ciascuno stadio all'ingresso del circuito successivo. Uno dei metodi più largamente usati per trasferire la potenza da uno stadio ad un altro è dato dal *trasformatore*. Due proprietà importanti del trasformatore sono i *rapporti di spire e tensione* ed i *rapporti di spire ed impedenze*.

b) Il *rapporto di tensione di un trasformatore è proporzionale al suo rapporto di spire*. In altre parole, se in un trasformatore il numero delle spire del secondario è doppio di quello del primario, la tensione del secondario sarà doppia di quella del primario. Al contrario, se un trasformatore ha sul secondario metà spire di quelle del primario, la tensione secondaria sarà metà di quella primaria. Pertanto impiegando un trasformatore, è possibile innalzare o abbassare la tensione alternativa che appare in un circuito. Questa proprietà è largamente usata nei circuiti radio dove è necessario elevare la tensione del segnale passando da uno stadio al successivo. Usando un trasformatore elevatore è possibile ottenere un guadagno di tensione, ossia un'amplificazione di tensione.

c) *Il rapporto di impedenza di un trasformatore è uguale al quadrato del rapporto del numero delle spire*. Così, se un trasformatore ha un rapporto di spire 3 a 1 (ossia un avvolgimento ha un numero di spire triplo dell'altro avvolgimento) il suo rapporto di impedenza sarà da 9 a 1, e l'avvolgimento avente il numero di spire triplo avrà l'impedenza nove volte più grande dell'altro avvolgimento. Scegliendo un trasformatore con il rapporto appropriato di spire è pertanto possibile adattare le impedenze dei due circuiti. Fra i requisiti che deve avere un sistema qualunque per trasferire potenza da un circuito all'altro, l'adattamento di impedenza è il più importante giacchè un teorema dei circuiti elettrici dice che *per trasferire la massima potenza da un circuito ad un altro, le impedenze dei due circuiti debbono essere uguali*.

d) Quale esempio pratico di adattamento di impedenze con un trasformatore, consideriamo il caso di disporre di un altoparlante con impedenza d'ingresso di 500 ohm che deve essere connesso ad uno stadio amplificatore ad audiofrequenza avente una impedenza di uscita di 8.000 ohm. Per trasferire il massimo di potenza ad audiofrequenza dell'amplificatore ad audiofrequenza dell'altoparlante, l'impedenza di uscita dell'amplificatore deve adattarsi all'impedenza d'ingresso dell'altoparlante. Applicando la regola dei rapporti spire-impedenza, il rapporto di impedenza dell'amplificatore all'altoparlante deve essere:

$$\frac{8000}{500} = 16$$

e) Poichè il rapporto di impedenza di un trasformatore è uguale al quadrato del rapporto delle spire, il rapporto delle spire sarà uguale alla radice quadrata del rapporto di impedenza. Nel problema di cui sopra, il rapporto di impedenza è di 16 a 1 e, poichè la radice quadrata di 16 è 4, il trasformatore deve avere un rapporto di spire di 4 a 1 affinchè possa adattare l'amplificatore all'altoparlante.

### 28. Circuiti accoppiati: Trasformatori a radiofrequenza.

a) Le proprietà dei trasformatori ora discussi si mantengono valide per tutti i tipi, comprendenti i trasformatori a radiofrequenza, perchè tutte le linee di forza magnetiche che tagliano la bobina primaria, tagliano pure la bobina secondaria. Tuttavia, i trasformatori a radiofrequenza soddisfano contemporaneamente a due scopi: essi sono usati per accoppiare le uscite di uno stadio all'ingresso di un altro stadio e, insieme con condensatori variabili, essi formano dei circuiti accordati di complessi radio. Se un trasformatore a radiofrequenza ha uno dei suoi avvolgimenti accordato da un condensatore variabile in un circuito, esso è chiamato un trasformatore ad accordo singolo; se entrambi gli avvolgimenti sono accordati da condensatori, esso è conosciuto come un condensatore ad accordo doppio.

b) *I trasformatori ad accordo singolo* sono usati nella maggioranza dei circuiti degli amplificatori a radiofrequenza dei ricevitori radio. Tali trasformatori hanno usualmente le bobine primarie non accordate e le bobine secondarie accordate. Il numero di spire del secondario dipenderà dalla gamma di frequenza che deve essere coperta dal circuito accordato; ma il numero di spire del primario dipenderà dal desiderato innalzamento di tensione del trasformatore e dall'impedenza d'uscita del circuito al quale deve essere connesso. Il trasferimento di energia dal primario al secondario di un trasformatore è dovuto al campo di una bobina passante attraverso gli avvolgimenti dell'altro. Nel trasformatore disaccordato, la potenza trasferita da un avvolgimento all'altro dipenderà dalla vicinanza di una bobina rispetto all'altra e conseguentemente da quante linee di forza del campo di una bobina passano attraverso l'avvolgimento dell'altra (*vedere* fig. 41). Se due bobine sono poste molto vicine si dice che sono strettamente accoppiate. Da questa discussione sembrerebbe desiderabile accoppiare gli avvolgimenti di un trasformatore a radiofrequenza nel modo più stretto possibile, affinché si possa ottenere il massimo trasferimento di potenza possibile. Tuttavia, nel caso del trasformatore accordato occorre prendere nella massima considerazione la selettività del circuito accordato (formato dall'avvolgimento secondario accordato del trasformatore) che si verifica nell'intorno del punto di massimo trasferimento di potenza. In altre parole, è desiderato un ragionevole trasferimento di potenza alla frequenza di risonanza ed il minimo trasferimento di potenza a tutte le altre frequenze. Se le bobine del trasformatore a radiofrequenza a singolo accordo sono accoppiate troppo strettamente, il trasferimento di potenza per tutte le frequenze può essere un massimo, ma il rapporto fra la potenza trasferita alla frequenza desiderata alla potenza trasferita alle frequenze indesiderate sarà basso e, conseguentemente, la selettività sarà povera.

Per contro, se le bobine sono accoppiate molto lascamente, il trasferimento di potenza, anche alla frequenza di risonanza, sarà insoddisfacente; benchè la selettività risultante possa essere eccellente. Fra questi due estremi vi è un certo grado di accoppiamento

che darà, sia selettività soddisfacente, sia un buon trasferimento di potenza alla frequenza di risonanza. Questo grado di accoppiamento è chiamato *accoppiamento ottimo*. La figura 42 mostra le curve di selettività di un tipico trasformatore a singolo accordo per tre differenti gradi di accoppiamento fra la sua bobina primaria e quella secondaria.

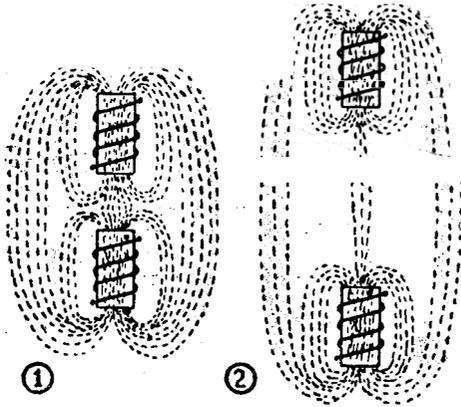


FIG. 41 - Bobine accoppiate.

e) I *trasformatori a doppio accordo* hanno entrambi gli avvolgimenti primario e secondario accordati a mezzo di condensatori e sono largamente usati negli stadi amplificatori a frequenza intermedia dei ricevitori a supereterodina. I trasformatori ad accordo doppio usati in tali circuiti sono chiamati *trasformatori a frequenza intermedia* [fig. 15 (4)] e debbono essere accuratamente accordati per consentire il passaggio di una strettissima banda di radiofrequenza, conosciuta come la frequenza intermedia del ricevitore a supereterodina. L'effetto del grado di accoppiamento sulla selettività dei trasformatori a doppio accordo è più pronunciato rispetto al caso del trasformatore ad accordo singolo, poichè due circuiti, entrambi accordati alla stessa frequenza, sono accoppiati insieme. Il trasformatore ad accordo doppio ha una selettività più grande del trasformatore a radiofrequenza ad accordo singolo. La curva di selettività sarà più appuntita ed avrà i lati più ripidi,

indicando ciò una più grande attenuazione dei segnali su ciascun lato della frequenza di risonanza. La figura 43 mostra le curve d

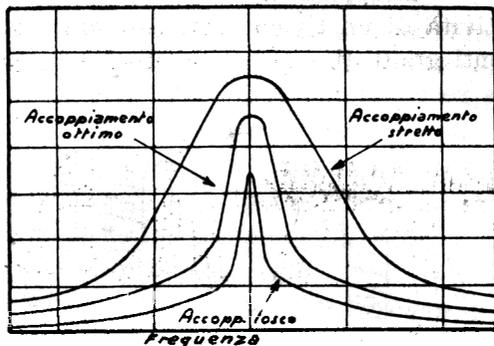


FIG. 42 - Curve di selettività di un tipico trasformatore a radiofrequenza ad accordo singolo, mostrante le variazioni del trasferimento di potenza con il variare della frequenza.

selettività di un trasformatore a doppio accordo per tre differenti gradi di accoppiamento. Confrontando queste curve con quelle

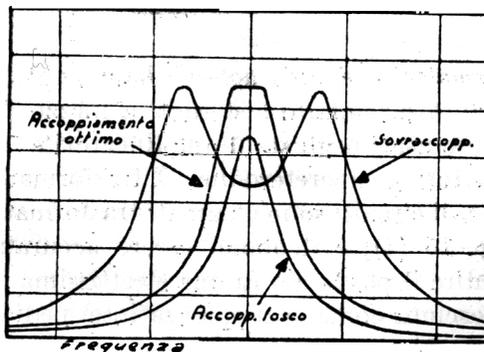


FIG. 43 - Curve di selettività di un tipico trasformatore a radiofrequenza ad accordo doppio mostrante le variazioni del trasferimento di potenza col variare della frequenza.

del trasformatore ad accordo singolo di figura 42 si nota la sommità piatta della curva per accoppiamento ottimo, indicando ciò

che una banda di frequenza su ciascun lato della frequenza risonante potrà passare a mezzo di un trasformatore a doppio accordo con l'appropriato grado di accoppiamento.

Questo effetto passa banda è molto importante nella ricezione dei segnali radio telefonici, come si vedrà in seguito. Poichè i trasformatori ad accordo doppio fanno passare una stretta banda di frequenza, mentre ostacolano tutte le altre frequenze, essi sono qualche volta chiamati filtri passa banda. Da notare la doppia gobba per la condizione di sovraccoppiamento, la quale indica che un trasformatore avrà due frequenze risonanti equidistanti dalla propria frequenza risonante se l'accoppiamento è accresciuto oltre il punto di accoppiamento ottimo.

d) L'importanza di mantenere l'accoppiamento appropriato fra le bobine di un trasformatore a radiofrequenza non deve essere sottovalutata. Il sovraccoppiamento ridurrà la selettività di un complesso; l'accoppiamento lasco ridurrà la sensibilità del complesso.

## 29. Circuiti accoppiati: accoppiamento a resistenza.

a) I resistori sono spesso usati per accoppiare l'uscita del circuito all'ingresso di un altro, particolarmente negli amplificatori ad audiofrequenza. L'accoppiamento a resistenza può essere usato per abbassare la tensione da uno stadio all'altro (vedere fig. 44).

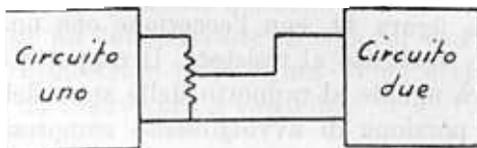


FIG. 44 Accoppiamento a resistenza usato per abbassare la tensione.

In questa disposizione, se la presa sul resistore è posta a metà via fra l'estremità del resistore, la tensione applicata al circuito 2 sarà metà della tensione di uscita del circuito 1. Altri rapporti di

riduzione di tensione possono essere ottenuti spostando la presa su e giù lungo il resistore.

b) Nell'accoppiamento a resistenza fra due stadi, che devg far passare dall'uno all'altro soltanto correnti alternative, come nel caso del maggior numero di radiocircuiti, è usato un condensatore di blocco (fig. 45).

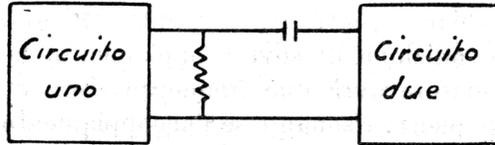


FIG. 45 - Accoppiamento a resistenza con condensatore di blocco.

Questa forma di accoppiamento a resistenza, qualche volta chiamato accoppiamento a resistenza e capacità, ha un largo impiego negli amplificatori ad audiofrequenza dei ricevitori radio.

### 30. Circuiti accoppiati: accoppiamento ad induttanza.

a) L'accoppiamento ad induttanza è usato principalmente per accoppiare i circuiti degli amplificatori a radiofrequenza dei trasmettitori radio, benchè esso trovi qualche applicazione nei circuiti ad audiofrequenza dei ricevitori. L'accoppiamento ad induttanza può essere usato per abbassare la tensione di un circuito ad un altro, esattamente nello stesso modo dell'accoppiamento a resistenza della figura 44, con l'eccezione che un induttore con diverse prese è sostituito al resistore. Il rapporto della riduzione di tensione sarà uguale al rapporto delle spire dell'avvolgimento completo alla porzione di avvolgimento compresa fra le prese. Cioè, se la sezione di avvolgimento facente parte del circuito due ha soltanto un terzo di spire dell'avvolgimento completo, la tensione che appare attraverso questa porzione di avvolgimento sarà un terzo della tensione applicata alla bobina intera.

b) In modo simile, l'accoppiamento ad induttanza può essere usato ad innalzare la tensione da un circuito all'altro (fig. 46).

Il rapporto di elevazione della tensione sarà pure uguale al rapporto delle spire dell'avvolgimento completo a quelle della porzione compresa fra le prese. Così, se il circuito uno è connesso ai capi di un terzo delle spire della bobina, la tensione che appare nel circuito due sarà tre volte più grande della tensione di uscita del circuito uno. Poichè l'induttore con prese opera nello stesso modo del trasformatore, l'induttore a prese è spesso chiamato autotrasformatore.

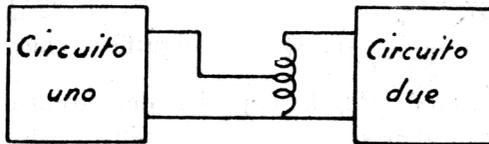


FIG. 46 - Accoppiamento ad induttanza usato per innalzare la tensione.

c) L'adattamento di impedenza può essere compiuto con gli induttori a prese nello stesso modo dei trasformatori. Vale la seguente regola: il rapporto dell'impedenza della bobina intera a quella della sezione compresa fra le prese è uguale al quadrato del rapporto delle spire della bobina intera a quella della sezione compresa fra le prese.

d) Nell'accoppiamento ad induttanza, come nell'accoppiamento a resistenza, per impedire il passaggio di corrente continua da un circuito all'altro, mentre debbono passare i segnali alternativi, è impiegato un condensatore di blocco. Questo metodo di accoppiamento è mostrato nella figura 47 ed è spesso chiamato accoppiamento ad induttanza e capacità.

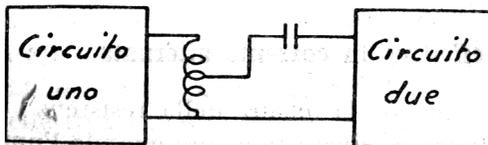


FIG. 47 - Accoppiamento ad impedenza e capacità usato per abbassare la tensione.

### 31. Induttanza e capacità distribuita.

a) In aggiunta all'induttanza e alla capacità incluse negli induttori e nei condensatori, vi sono gli effetti di quelle distribuite (o disperse) presenti nei vari componenti radio, come fili di connessione, commutatori, zoccoletti, ecc. Queste assumono considerevole importanza alle radiofrequenze.

b) La reattanza capacitiva è inversamente proporzionale alla frequenza  $\left(X_c = \frac{1}{2\pi f C}\right)$ . Questo significa che con l'elevarsi della frequenza applicata, la capacità del circuito offre sempre meno opposizione al passaggio della corrente. Alle alte frequenze possono apparire delle indesiderabili forti correnti là dove si avrebbero correnti trascurabili alle basse frequenze. La capacità esistente fra gli elementi di un tubo a vuoto e fra le spire adiacenti di una bobina presenta una grande reattanza capacitiva alle frequenze più basse. Per contro, a radiofrequenze, la reattanza può ridursi fino ad un punto per cui l'accresciuta intensità delle correnti determina il limite superiore di frequenza utilizzabile.

c) La reattanza induttiva aumenta in proporzione diretta alla frequenza ( $X_L = 2\pi f L$ ), ossia aumentando la frequenza della tensione applicata, l'induttanza del circuito offre un'opposizione sempre maggiore al passaggio della corrente. Un semplice filo di connessione, di cui la reattanza induttiva può essere insignificante alle frequenze basse, può presentare alle più alte frequenze una reattanza induttiva sufficientemente grande da rendere inattivo un dato strumento.

### 32. Resistenza effettiva in corrente alternata.

Fondamentalmente, la misura della resistenza di un circuito è data dalla potenza dissipata in calore quando l'unità di corrente fluisce nel circuito. Nel senso più largo, il termine resistenza comprende tutti gli effetti relativi alla dissipazione di energia che non è recuperabile per qualunque scopo utile entro l'immediato si-

stema. Così si dice, che una antenna radiotrasmittente ha una resistenza di radiazione associata con le perdite radiative, cioè con l'energia che è radiata nello spazio; inoltre per un particolare circuito trasmettitore od un circuito ricevitore si può dire che esibisce una certa resistenza riflessa per effetto della potenza consumata da altri circuiti che esso alimenta direttamente o indirettamente. Con correnti alternate, per una data ampiezza di corrente, può essere consumata una potenza considerevolmente superiore a quella che è richiesta dallo stesso circuito con corrente continua.

La resistenza che è indicata da un dissipatore di potenza in corrente alternata è chiamata la resistenza effettiva in corrente alternata. Parte di questa potenza aggiuntiva è richiesta per mantenere le perdite di calore che accompagnano le correnti circolanti parassite che sono indotte nei conduttori del circuito (in particolare nei nuclei dei trasformatori) dal campo magnetico variabile. Un'altra sorgente di dissipazione di potenza elettrica in corrente alternata è rappresentata dalle perdite dielettriche. Un altro fattore che contribuisce ad una maggiore richiesta di potenza, per una data ampiezza di corrente alternata, è l'effetto pelle: la tendenza, cioè, delle correnti alternate di viaggiare con la loro densità più grande vicino alla superficie del conduttore, più che nella parte centrale. Il campo magnetico attorno ad un conduttore trasportante corrente è al centro del conduttore più intenso di quanto non lo sia alla sua superficie. Pertanto la forza controelettromotrice creata dal campo magnetico in aumento ed in diminuzione, è più grande al centro che vicino alla superficie, per cui praticamente tutta la corrente alle alte frequenze che attraversa un conduttore è confinata sulla superficie esterna di esso. Il risultato è una aumentata produzione di calore a parità di corrente, cioè una resistenza più alta. La distribuzione non uniforme di corrente attraverso la sezione trasversale di un conduttore alle alte frequenze è più pronunciata se il conduttore è avvolto in forma di bobina rispetto a quando è usato in forma rettilinea. A radiofrequenze, la resistenza effettiva in corrente alternativa di una bobina può essere 10 o 100 volte più grande della resistenza che esso presenta in corrente continua. Quando sono studiate correnti alternate è generalmente sottinteso, se non è specificato altrimenti, che la resistenza si riferisce a quella effettiva in corrente alternata.