

CAPITOLO XII

TRASMETTITORI MODULATI

13. Trasmissione radiotelefonica.

a) È stato mostrato nei Capitoli precedenti che le onde continue di una radiofrequenza possono essere interrotte a mezzo di un tasto in modo che «treni» di oscillazioni a radiofrequenza, corti e lunghi (punti e trattini), possano convogliare «l'intelligenza» sotto forma di segnali convenzionali. Vi sono due altri metodi per convogliare l'intelligenza a mezzo delle onde continue, agendo sulle caratteristiche proprie della portante a radiofrequenza: l'ampiezza e la frequenza. Variando o l'ampiezza o la frequenza di un'onda continua si potrà, come per il codice, eseguire la trasmissione della voce e della musica. Questo procedimento è conosciuto con il nome di *modulazione*. La *modulazione di ampiezza* è usata in quasi tutti i trasmettitori radiotelefonici. La *modulazione di frequenza* è relativamente recente nel campo della radio e sarà discussa nel Capitolo XIII.

b) La modulazione di ampiezza può essere definita come la variazione dell'intensità a frequenza audio dell'uscita a radiofrequenza di un trasmettitore. In altre parole l'energia a radiofrequenza presenta aumenti e diminuzioni di potenza in accordo con le frequenze audio (suono). Se l'audiofrequenza è alta, la radiofrequenza deve variare in ampiezza più rapidamente che se l'audiofrequenza fosse bassa. Se la nota audio è di forte volume, l'energia a radiofrequenza deve aumentare e decrescere secondo una percentuale più grande che se la nota ad audiofrequenza fosse debole. Pertanto le variazioni della radiofrequenza debbono corrispondere sotto ogni riguardo alle variazioni ad audiofrequenza.

c) Il diagramma a blocchi di un tipico trasmettitore radiotelefonico è mostrato dalla figura 180. Sarà notato che lo stadio finale del trasmettitore è un amplificatore di potenza a radiofre-

quenza che per diversi aspetti è simile allo stadio finale di un trasmettitore in onde continue. Il trasmettitore ad onde continue è manipolato controllando con un tasto la tensione sulla placca o sulla griglia dell'amplificatore finale. Se si desidera variare l'uscita di un trasmettitore, invece di inserirla o di disinserirla semplicemente, ciò può essere fatto variando la tensione su uno degli elettrodi del tubo dell'amplificatore di potenza a radiofrequenza finale. Per esempio, se la tensione di placca dell'amplificatore

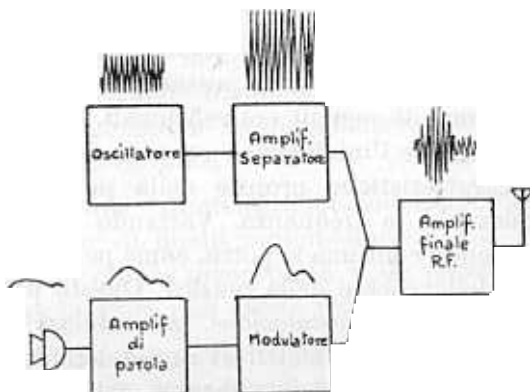


FIG. 180 - Diagramma a blocchi di un trasmettitore modulato in ampiezza mostrando la formazione dell'onda modulata.

finale fosse variata in accordo con una frequenza audio, l'uscita dell'amplificatore e quindi del trasmettitore varierebbe nel medesimo modo. Questo è il metodo usato nel tipo più popolare di modulazione di ampiezza.

d) Per poter variare la tensione di placca dell'amplificatore a radiofrequenza finale in accordo con un'audiofrequenza, è necessario, prima di tutto, produrre una tensione audio. Ciò è fatto con un microfono. Tuttavia l'uscita di un microfono è molto piccola (usualmente minore di 1 volt), mentre la tensione di placca dell'amplificatore a radiofrequenza è abbastanza alta. L'aggiunta di una piccola tensione audio ed un'alta tensione di placca, provocherebbe solo una piccola variazione della tensione di placca.

È pertanto necessario amplificare l'uscita del microfono prima di applicarla alla placca dell'amplificatore di potenza. Questa amplificazione è usualmente compiuta in almeno due stadi. L'uscita del microfono è applicata alla griglia di un amplificatore di tensione in classe *A* che serve semplicemente ad aumentare la tensione. Il primo amplificatore di tensione è chiamato l'amplificatore ad audiofrequenza. La tensione d'uscita dell'amplificatore della parola è usata per eccitare la griglia di un audio amplificatore di potenza. Il modulatore può essere qualunque tipo di amplificatore di potenza audio capace di fornire sufficiente potenza indistorta. Così, può essere un amplificatore di classe *A*, classe *AB* o classe *B*. Se esso è un amplificatore di classe *AB* o di classe *B*, deve essere uno stadio in « push-pull » e la potenza d'uscita del modulatore è allora applicata alla placca dell'amplificatore di potenza a radiofrequenza.

e) La maniera secondo cui il segnale ad audiofrequenza è amplificato e quindi applicato alla portante a radiofrequenza è mostrato graficamente dalle forme d'onda di figura 180. Le oscillazioni a radiofrequenza senza modulazione costituiscono la *portante a radiofrequenza*. Applicando l'uscita audio del modulatore alla placca dell'amplificatore di potenza a radiofrequenza, si provoca l'aumento e la diminuzione della tensione di placca a frequenza audio e pertanto aumenta e diminuisce l'uscita a radiofrequenza dell'amplificatore, in accordo con le onde sonore che colpiscono il microfono. Così la portante è modulata e, poichè modulando la portante in questo modo varia l'intensità o l'ampiezza del segnale, questo metodo si chiama modulazione di ampiezza.

114. Componenti audio.

a) Le parti di un trasmettitore radiotelefonico che si riferiscono soltanto alle frequenze audio sono: il *microfono*, cioè il generatore dei segnali audio; l'*amplificatore ad audiofrequenza* che è un normale amplificatore di tensione ad audiofrequenza e il *modulatore* che fornisce la potenza occorrente per variare l'ampiezza dell'onda a radiofrequenza in accordo con il segnale audio.

b) Il *microfono a carbone* è quello più largamente usato negli apparati militari. Il diagramma di un tipico microfono a carbone è mostrato nella figura 181. Esso è in effetti una resistenza variabile. Le connessioni sono fatte ad un piccolo contenitore riempito di granuli di carbone; un diaframma flessibile è attaccato a questo contenitore. Le onde sonore prodotte dalla voce colpiscono il diaframma provocandone la vibrazione. La vibrazione del diaframma comprime e rilascia i granuli di carbone, facendo così variare la resistenza del microfono. Poichè $I = E/R$, al variare della resi-

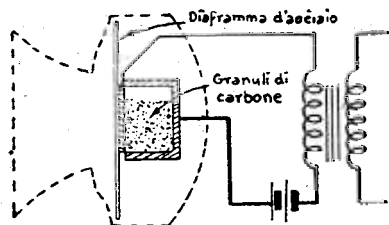


FIG. 181 - Microfono a carbone.

stenza, varia la corrente nel circuito. Pertanto, la voce produce una corrente unidirezionale fluttuante nel circuito del microfono. Il microfono di figura 181 è conosciuto come un microfono a carbone a singola capsula. Il termine capsula si riferisce al piccolo contenitore che racchiude i granuli di carbone. I microfoni a car-

bone a doppia capsula, che impiegano una seconda capsula sull'altro lato del diaframma, sono raramente usati negli apparati militari.

c) Il *microfono dinamico* (fig. 182) è un tipo di microfono più moderno. La bobina mobile che è agganciata al diaframma si muove in dentro e in fuori in accordo con gli impulsi della voce, ed i fili della bobina tagliano le linee di forza magnetica create dal magnete permanente. La tensione indotta nella bobina mobile varia esattamente come la parola ed il suono impresso nel diaframma. Il microfono dinamico è forse il tipo di microfono campale più robusto, ma ha lo svantaggio di fornire una bassa uscita. Ciò è compensato dal vantaggio che, a differenza del microfono a carbone, il microfono dinamico non richiede una batteria nel circuito.

d) L'amplificatore ad audiofrequenza è usato per elevare l'uscita audio del microfono ad un conveniente livello per essere

impiegata nello stadio modulatore. Le correnti d'uscita del microfono sono debolissime e per poter essere impiegate nella modulazione, debbono essere amplificate. Riferendosi alle figure 181, 182, si vede che l'uscita di ciascun microfono può essere applicata, a mezzo di trasformatore, alla griglia di un audio amplificatore. L'amplificatore impiegato è un amplificatore in classe *A* ad elevata sensibilità. I trasformatori mostrati nelle figure 181 e 182 hanno usualmente un altissimo rapporto nel numero di spire per poter elevare la tensione.

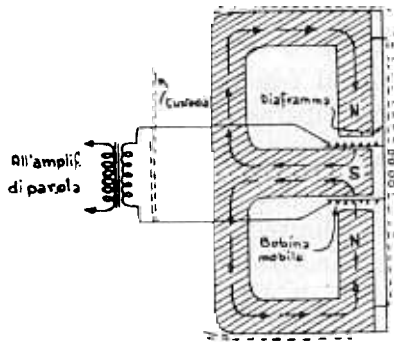


FIG. 182 - Microfono dinamico.

Così, qualunque piccola variazione di corrente microfonica nel primario di tale trasformatore svilupperà una tensione attraverso il secondario che è applicata alla griglia dell'amplificatore di parola. Il trasformatore serve pure ad adattare la bassa impedenza del microfono all'alta impedenza del circuito di griglia dell'amplificatore. Quando è usato un microfono dinamico, sono richiesti due e, qualche volta, tre stadi amplificatori ad audiofrequenza per elevare la debole tensione audio ad un livello conveniente per lo stadio modulatore.

e) Il *modulatore* fornisce la potenza necessaria per far variare l'ampiezza dell'onda a radiofrequenza in accordo con gli impulsi sonori. Il modulatore è sempre un amplificatore di potenza ad audiofrequenza e può essere usato sia del tipo a tubo singolo che

del tipo in « push-pull ». Lo stadio amplificatore di potenza in « push-pull » è capace di fornire molta più potenza con maggiore efficienza dell'amplificatore di potenza in « push-pull ». Lo stadio amplificatore di potenza in « push-pull » è capace di fornire molta più potenza con maggiore rendimento dell'amplificatore a tubo singolo.

115. Percentuale di modulazione.

a) Il grado di modulazione è espresso a mezzo della percentuale della deviazione massima di ampiezza rispetto al valore normale della portante a radiofrequenza. L'effetto di un'onda modulata, misurato dal responso del ricevitore, è proporzionale al grado o percentuale di modulazione.

b) La percentuale di variazione della tensione totale dello stadio amplificatore finale a radiofrequenza dipenderà dal rapporto della tensione ad audiofrequenza alla tensione continua. Per esempio, se la tensione continua di placca dell'amplificatore a radiofrequenza è 100 volt e la tensione ad audiofrequenza è 50 volt, le due tensioni si sommeranno (quando esse agiscono nella stessa direzione) per dare 150 volt. Esse si sottrarranno (quando agiscono in direzioni opposte) per dare 50 volt. La tensione di placca dell'amplificatore a radiofrequenza varierà fra 50 e 150 volt [fig. 183 (1)]. Poichè la variazione (50 volt su ciascun lato della tensione continua) è una metà della tensione continua di 100 volt, si dice che il trasmettitore è modulato al 50 per cento.

Questo stesso risultato può essere mostrato in termini dell'uscita a radiofrequenza del trasmettitore [figura 183 (2)]. L'ampiezza della portante (l'onda a radiofrequenza prodotta quando è applicata soltanto la tensione continua sulla placca dell'amplificatore a radiofrequenza) è mostrata in *A* della figura 183 (2). Da notare che questa portante è di ampiezza costante. Non appena è applicata una tensione alternativa in serie con la tensione continua (quando il modulatore è in funzionamento), la tensione di placca e quindi l'uscita a radiofrequenza, incomincia a variare. In *B* [figura 183 (2)] l'onda a radiofrequenza ha raggiunto una

ampiezza del 50 per cento più grande di quella durante il periodo *A*. Quando la tensione di placca decresce, l'uscita a radiofrequenza diminuisce. In *C* l'onda radiofrequenza ha raggiunto una ampiezza del 50 per cento più piccola di quella dell'onda non modulata in *A*. Pertanto, la percentuale o il grado di modulazione può essere definito come la percentuale di variazione dell'onda modulata rispetto all'onda non modulata.

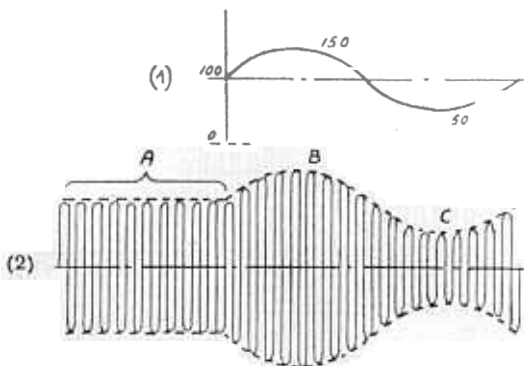


FIG. 183 - Modulazione 50 %.

- (1) Valori istantanei tensione di placca.
 (2) Onda a radiofrequenza modulata.

e) Se la tensione continua fosse 100 volt e la tensione audio fosse pure 100 volt, la tensione istantanea di placca varierebbe fra zero e 200 volt [fig. 184 (1)].

Quando la tensione istantanea di placca varia fra zero ed il doppio del valore dell'onda non modulata, vi è il 100 per cento di modulazione. La forma d'onda a radiofrequenza risultante è mostrata dalla figura 184 (2).

d) È importante che l'ampiezza sia fatta variare quanto più è possibile, perchè l'uscita di un rivelatore in un radiorecettore varia con le variazioni di ampiezza del segnale ricevuto. Per questo fatto, una stazione di comparativamente bassa potenza, ben modulata, produrrà spesso in un dato punto un segnale più forte di quello prodotto da una stazione più potente, ma poco modulata e situata alla stessa distanza dal ricevitore. Tuttavia vi è un limite nella

percentuale di modulazione consentita e questo limite è il 100 per cento.

e) Per comprendere più chiaramente questa limitazione del 100% di modulazione, ammettiamo che un dato trasmettitore sia

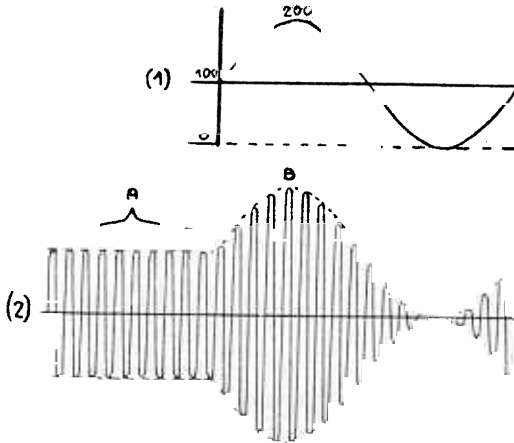


FIG. 184 - Modulazione al 100 %
 (1) Valori istantanei tensione di placca
 (2) Onda a radiofrequenza modulata.

effettivamente modulato al 150 per cento. Con una tensione continua di 100 volt, questa modulazione richiederebbe una tensione audio di 150 volt. La tensione di placca, allora, nell'escursione positiva raggiunge il valore massimo di 250, mentre nell'escursione negativa, va a zero, scende a meno 50 volt e quindi ritorna nuovamente a zero [fig. 185 (1)]. Durante l'escursione da zero a 250 volt e quindi a zero, fluisce la corrente di placca. Ma durante l'escursione da zero a meno 50 volt e quindi ancora a zero, non fluirà corrente di placca o ne passerà pochissima.

Durante questo periodo la trasmissione sarebbe effettivamente interrotta. Questa condizione produce un'onda a radiofrequenza sovramodulata [figura 185 (2)]. L'onda portante non modulata è mostrata in A nella figura 185 (2). Con il modulatore

in funzionamento, l'onda a radiofrequenza crescerebbe al valore mostrato in *B*; essa allora decresce a zero. Ma nella regione *C* la tensione di placca sarebbe negativa e non vi sarebbe uscita dal tubo. Questa sovrarmodulazione produce pertanto distorsione nel segnale ricevuto. Essa si verifica quando la tensione audio superà la tensione continua applicata alla placca dell'amplificatore a radiofrequenza.

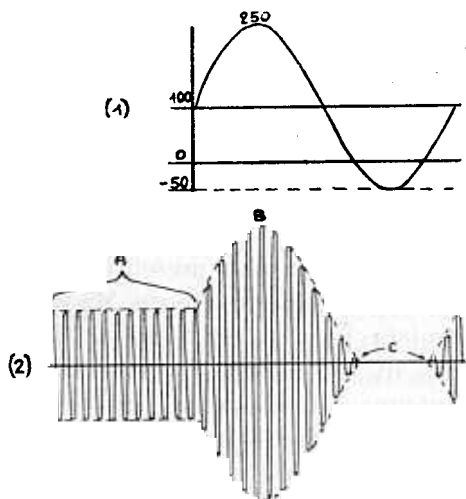


FIG. 185 - Sovrarmodulazione.
 (1) Valori istantanei tensione placca.
 (2) Onda a radiofrequenza modulata.

16. Bande laterali.

a) Le figure 183 e 184 rappresentano graficamente delle onde a radiofrequenza modulate a differenti percentuali. Una tale onda modulata è effettivamente una combinazione di parecchie frequenze. Non è possibile dire, guardando semplicemente un'onda, quali sono le frequenze che combinate riproducono la sua forma. Tuttavia, queste frequenze possono essere determinate a mezzo di procedimenti matematici.

Come esempio pratico, se la portante a radiofrequenza è di 100 chilocicli e l'audiofrequenza è 1000 cicli ossia di 1 chilociclo, l'onda conterrà le seguenti frequenze:

Frequenze fondamentali	Seconda armonica	Frequenza somma	Frequenza differenza
100 kc	200 kc	100 kc	99 kc
kc	2 kc		

Oltre alla seconda, sono prodotte altre armoniche, ma esse sono molto deboli e facilmente eliminabile come sarà descritto più oltre.

Tutte queste frequenze sono presenti nel circuito di placca dell'amplificatore finale a radiofrequenza. Ma il circuito di placca è accordato in maniera poco selettiva a 100 chilocicli, per cui soltanto la frequenza di 100 chilocicli, 101 chilocicli e 99 chilocicli andranno nell'antenna attraverso il circuito d'accoppiamento d'antenna. Il resto delle frequenze sviluppate non saranno trasmesse. Così, invece di trasmettere soltanto una frequenza, l'antenna trasmette tre frequenze molto vicine fra di loro. Queste tre frequenze possono essere rappresentate con le forme d'onda disegnate nella figura 186.

b) Queste frequenze aggiuntive sono chiamate *frequenze delle bande laterali* o semplicemente *bande laterali*. Come indicato dalla figura 186, queste bande laterali sono separate dalla portante (100 chilocicli) dal valore dell'audiofrequenza (1 chilociclo). Così, se l'audiofrequenza fosse di 2 chilocicli, le bande laterali sarebbero rispettivamente di 98 chilocicli e di 102 chilocicli. Più alta è la frequenza audio di modulazione e più distanziate saranno le bande laterali dell'onda principale portante.

c) Generalmente, sono usate molte audiofrequenze per modulare l'onda portante. Vi sarà pertanto una coppia di frequenze

(una superiore ed una inferiore) per ciascuna audiofrequenza e quindi una intera banda o gruppo di frequenze risultanti dalla modulazione in bassa frequenza. La rappresentazione grafica di una tale portante modulata è data dalla figura 187, e la natura

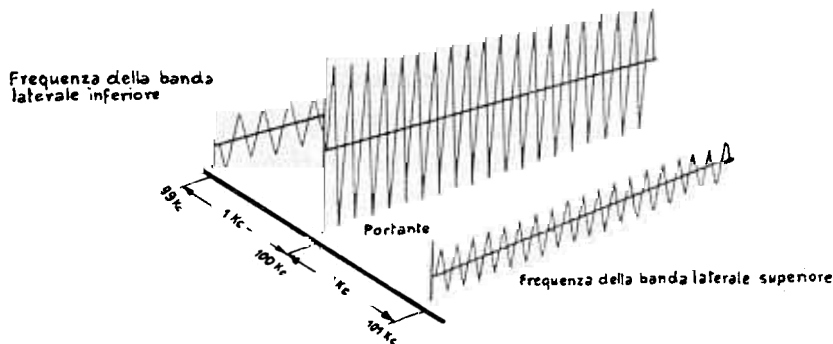


FIG. 186 - Frequenze dell'onda portante e delle sue bande laterali.

complessa degli impulsi della parola può essere desunta da questa onda. Il grafico della figura 187 è la forma d'onda risultante dall'aggiunta delle bande laterali all'onda portante.

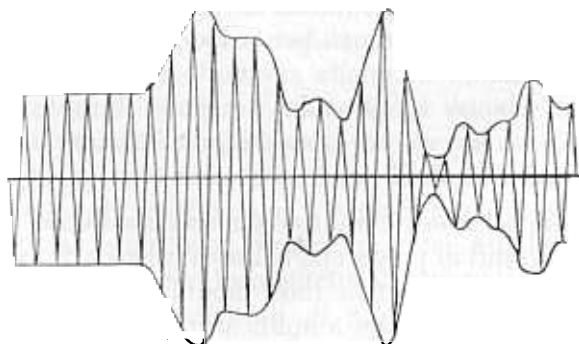


FIG. 187 - Onda radio modulata con la voce.

d) Se il modulatore di un trasmettitore radiotelefonico fosse disinserito, continuerebbe ad essere trasmessa la portante prodotta dall'amplificatore di potenza a radiofrequenza. Tuttavia, non appena è inserito il modulatore e la portante a radiofrequenza

è variata dalla modulazione, vengono originate le frequenze delle bande laterali. Da ciò si vede che l'onda modulata richiede dall'alimentazione più potenza di quella della sola onda portante. La potenza aggiuntiva è fornita dallo stadio modulatore ed appare sotto la forma di bande laterali.

117. Relazioni di potenza nel trasmettitore modulato.

a) L'importo di potenza richiesta per modulare un trasmettitore dipende dal grado e tipo di modulazione. Per modulare una portante al 100 per cento con una singola onda sinusoidale ad audiofrequenza, occorre un'audiopotenza uguale a metà della potenza della portante a radiofrequenza. Ciò perchè con il 100 per cento di modulazione, l'ampiezza di ciascuna banda laterale è la metà dell'ampiezza della portante. La potenza è proporzionale al quadrato della corrente; pertanto, ciascuna banda laterale, che trasporta una metà della corrente di quella della portante, richiede un quarto di potenza. Ne segue che la potenza richiesta con la modulazione è una volta più la metà della potenza normale non modulata. Usando modulazione vocale, il maggior numero delle componenti ad audiofrequenza non modulerà la portante al 100 per cento, cosicchè l'aumento di potenza per la modulazione vocale è considerevolmente minore di quella spettante ad un singolo tono di modulazione. Poichè la potenza aumenta durante la modulazione, l'indicazione di un amperometro d'antenna aumenta quando il trasmettitore è modulato.

b) Un amplificatore a radiofrequenza modulato deve manipolare delle correnti di punta che hanno ampiezza di valore doppio di quella dell'onda normale (non modulata). Ciò significa che durante la modulazione, un amplificatore deve essere capace di manipolare una potenza sino a quattro volte maggiore di quella che esso dissipa durante gli intervalli di regime della portante non modulata. Per questa ragione, in un trasmettitore che è progettato per servizio sia in onde continue che radiotelefonico, gli stadi amplificatori modulati lavorano sempre con potenza d'uscita della portante ridotta quando funzionano in fonia.

118. Metodi di modulazione.

a) Vi sono vari metodi di modulazione. Il tipo più comune è il metodo per cui la tensione modulante ad audiofrequenza può essere applicata alla *placca* di uno degli amplificatori a radiofrequenza del trasmettitore per fare variare l'uscita della portante in accordo con l'audiofrequenza. Questo metodo popolare è conosciuto con il nome di *modulazione di placca*.

L'applicazione della tensione ad audiofrequenza alla griglia controllo dell'amplificatore a radiofrequenza, prende il nome di *modulazione di griglia* o di *modulazione per polarizzazione di griglia*. Un amplificatore di potenza a pentodo può essere modulato applicando l'audiofrequenza alla sua griglia soppressore; ciò si chiama *modulazione di soppressore*. La *modulazione di griglia schermo* può essere compiuta impiegando un tetrodo. La *modulazione di catodo*, in cui la tensione audio è applicata nel circuito del catodo, è una combinazione della modulazione di placca e di griglia.

b) Modulando lo stadio finale a radiofrequenza di un trasmettitore radiotelefonico si ha la *modulazione su alto livello*, giacchè la modulazione viene effettuata nel più alto livello di potenza del sistema.

Se il processo di modulazione ha luogo in uno stadio intermedio con uno o parecchi amplificatori di potenza più elevata che lo seguono, si ha la *modulazione su basso livello*. Nella modulazione su basso livello, gli amplificatori a radiofrequenza, che seguono lo stadio modulato, sono fatti funzionare come amplificatori lineari e cioè in maniera tale che i loro potenziali alternativi d'uscita riproducano fedelmente i potenziali di griglia applicati, ossia senza distorsioni. Nella modulazione su alto livello, l'amplificatore di potenza finale a radiofrequenza è sempre fatto funzionare come un amplificatore in classe C.

c) Il metodo di modulazione viene riferito all'elettrodo del tubo amplificatore di potenza a radiofrequenza a cui è applicata la tensione modulante ad audiofrequenza.

119. Modulazione di placca.

a) L'applicazione della potenza ad audiofrequenza al circuito di placca di un amplificatore di potenza a radiofrequenza costituisce la modulazione di placca.

Un amplificatore che impiega modulazione di placca è molto più efficiente di quello che impiega modulazione di griglia o qualsiasi altra forma di modulazione. Un altro vantaggio della modulazione di placca è la facilità con cui possono essere eseguite le opportune regolazioni nel trasmettitore. Inoltre nell'amplificatore di potenza a radiofrequenza vi sono, per un dato valore di potenza della portante, perdite di placca minori di quelle che si verificano con le altre forme di modulazione, poichè il rendimento di placca è più alto. La potenza aggiuntiva, irradiata sotto forma di bande laterali, è fornita dal modulatore. Questo tipo di modulazione è maggiormente usato di qualunque altro tipo.

b) Il metodo più semplice per modulare di placca un amplificatore a radiofrequenza è realizzato a mezzo di trasformatore d'accoppiamento.

Nel circuito di figura 188, l'uscita ad audiofrequenza dello stadio modulatore è applicata, attraverso il trasformatore T , al circuito di placca dell'amplificatore di potenza. La tensione che appare ai capi del secondario S del trasformatore è una tensione audio; come tale, essa è una tensione alternativa che agisce prima in una direzione e successivamente nell'altra. Questa tensione è in serie con la tensione continua di alimentazione che agisce in una sola direzione. Pertanto, in un dato istante, la tensione alternativa e la tensione continua agiranno nella stessa direzione e la tensione totale aumenterà. Ma, in un istante successivo, la tensione alternativa si sarà invertita e le due tensioni saranno in opposizione fra di loro. Quindi la tensione totale decrescerà. Vi sarà pertanto un aumento e abbassamento alternativo della tensione totale con frequenza audio. Poichè questa tensione totale è la tensione di placca ed è inserita fra la placca ed il catodo dell'amplificatore di potenza a radiofrequenza, l'importo di variazione in ampiezza

dell'onda a radiofrequenza dipende dai valori relativi della tensione continua e di quella audio.

c) La placca del tubo amplificatore a radiofrequenza può essere modulata secondo un altro metodo che impiega un induttore ossia una bobina di arresto (*vedere* fig. 189). Entrambe le placche del tubo modulatore e dell'amplificatore di potenza a radiofrequenza ottengono la loro tensione continua di placca attraverso la bobina d'arresto a nucleo di ferro L , chiamata *induttore di modulazione*. Con l'aumentare ed il diminuire della corrente di placca del modulatore (ad audiofrequenza) sarà sviluppata una

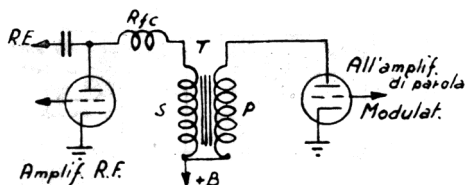


FIG. 188 - Circuito modulatore con accoppiamento a trasformatore.

tensione attraverso L proporzionale alla corrente che l'attraversa. Questa tensione è sviluppata nella bobina d'arresto nel seguente modo. Quando aumenta la corrente di placca proveniente dal modulatore, l'aumento del campo magnetico della bobina induce una tensione che tenderà ad opporsi alla variazione di corrente. Questa tensione ridurrà la tensione totale applicata alla placca dell'amplificatore a radiofrequenza, riducendo pertanto la sua corrente di placca. Quando diminuisce la corrente di placca del modulatore, questo stesso campo magnetico decrescerà e indurrà ancora una tensione. Questa tensione concorda con la tensione continua di placca dello stadio modulato e quindi farà aumentare la sua corrente di placca. Pertanto, vi saranno una tensione ed una corrente alternata nel circuito di placca dello stadio modulato, che ne fanno variare l'uscita in accordo con il segnale audio. È da notare che quando la corrente del modulatore è in aumento, la corrente dello stadio modulato è in diminuzione e viceversa. Per

effetto di questa azione, la corrente dell'amperometro M_A rimarrà praticamente costante. Questo sistema è quindi chiamato *sistema a corrente costante*.

d) Poichè il circuito ad accoppiamento con bobina di arresto di figura 189 richiede che il tubo modulatore operi come amplificatore di classe A, è impossibile di sviluppare abbastanza tensione ai capi dell'induttore di modulazione per far variare la tensione sulla placca dell'amplificatore a radiofrequenza modulato fra lo

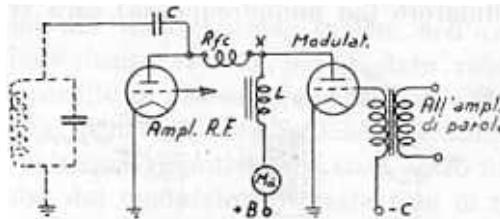


FIG. 189 - Circuito di modulazione con accoppiamento ad impedenza (corrente costante).

zero ed il doppio della sua tensione continua normale. È pertanto impossibile poter ottenere il 100 per cento di modulazione con il circuito mostrato nella figura 189. Tuttavia, con un resistore connesso nel circuito come è indicato dalla figura 190, può essere ottenuto il 100 per cento di modulazione. Lo scopo del resistore R_1 è di determinare una caduta di tensione nel circuito di placca dell'amplificatore a radiofrequenza. Il modulatore opera allora ad una tensione più alta di quella dello stadio sotto modulazione. Con questa tensione più bassa sulla placca dell'amplificatore a radiofrequenza, non è necessario sviluppare molta tensione ai capi della bobina d'arresto per ottenere il 100 per cento di modulazione. Il condensatore è connesso ai capi del resistore per dar passaggio alla tensione ad audiofrequenza attorno al resistore, in modo da non abbassare il segnale ad audiofrequenza per effetto del resistore. Lo scopo della bobina d'arresto per la radiofrequenza, RFC , è di non fare andare nel modulatore le correnti a radiofrequenza.

e) Un altro metodo per ottenere il 100 per cento di modulazione con il sistema a corrente costante consiste nell'impiegare un autotrasformatore, come mostrato nella figura 191. In questo circuito, una piccola tensione sviluppata nella sezione modulatore della bobina dell'autotrasformatore produrrà una variazione di tensione più grande applicata alla placca dello stadio modulato.

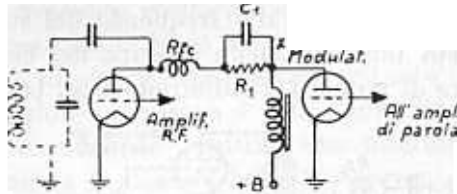


FIG. 190 - Circuito con accoppiamento ad impedenza modificato per il 100 % di modulazione.

Questo sistema di modulazione ha pure il vantaggio di utilizzare l'intera tensione dell'alimentatore per l'alimentazione di placca dello stadio modulato.

f) Un confronto dei circuiti delle figure 188 e 191 mostra che la sola differenza fra i due è che nella figura 188 sono usati due

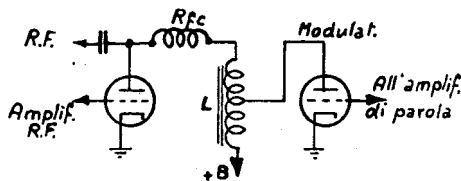


FIG. 191 - Circuito modulatore di placca con autotrasformatore.

avvolgimenti invece di uno. L'impiego di un trasformatore ad audiofrequenza a due avvolgimenti rende possibile l'uso di un amplificatore in « push-pull » in classe *B* che dà una potenza d'uscita molto più grande e con minore distorsione di quella di un amplificatore in classe *A*. L'impiego di tale circuito consentirà un risparmio di potenza, poichè non fluisce corrente di placca fino a che gli

impulsi della voce non raggiungono le griglie dei tubi. Un circuito modulatore tipico in « push-pull » di classe *B* è mostrato in figura 192.

g) La teoria della modulazione di placca è importante per una completa comprensione dell'azione della tensione modulante nello stadio amplificatore di potenza a radiofrequenza. Si genera pertanto una tensione audio che corrisponde sotto ogni riguardo, ad eccezione che in intensità, alle frequenze del suono esistenti al microfono; questa tensione viene inserita nel circuito di placca dell'amplificatore di potenza a radiofrequenza. La variazione della

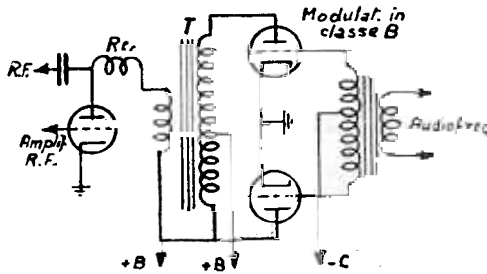


FIG. 192 - Circuito modulatore con « push-pull » in classe *B*.

tensione anodica dell'amplificatore a radiofrequenza determinerà una variazione corrispondente della potenza d'uscita del trasmettitore. Una tensione audio indistorta è utile soltanto se la potenza di uscita a radiofrequenza può essere fatta variare in passo con la tensione di placca.

Il solo modo per effettuare ciò è di far funzionare lo stadio come un amplificatore in classe *C* e di porre un intenso segnale di eccitazione sulla griglia del tubo. La ragione di fare ciò, risulta dal seguente ragionamento. L'uscita del trasmettitore è applicata, dal circuito accordato di placca dell'amplificatore di potenza a radiofrequenza, all'antenna. L'uscita del circuito accordato dipende dall'importo di corrente oscillante (radiofrequenza) che fluisce in esso. Poichè il circuito accordato è eccitato da impulsi di corrente, la corrente oscillante, e quindi l'uscita in ciascun istante, dipenderà dalla grandezza di ciascun impulso di corrente di placca. Per

poter far variare l'uscita a frequenza audio, gli impulsi di corrente di placca debbono variare in grandezza ad un ritmo audio. Poichè la tensione di placca dell'amplificatore di potenza a radiofrequenza è variabile a frequenza audio, deve essere assicurato che con il variare della tensione di placca vari proporzionalmente la corrente di placca. In un tubo a vuoto, la corrente di placca è controllata dalla tensione di griglia come pure dalla tensione di placca. Se la griglia è fortemente eccitata, per cui raggiunge elevati valori positivi, essa consentirà il flusso della massima corrente di placca e questa corrente di placca sarà limitata soltanto dalla tensione di placca. Se la tensione di placca è alta, fluirà una forte corrente. La griglia sufficientemente positiva non interferisce con questa azione. Se la tensione di placca è bassa, la corrente di placca sarà pure bassa. Così, la tensione di griglia controllerà la frequenza degli impulsi di corrente di placca, poichè la corrente di placca fluirà soltanto nelle punte positive di ciascun ciclo di griglia. La grandezza di ciascun impulso, o l'importo di corrente che fluirà ciascuna volta che la tensione di griglia supera l'interdizione, dipenderà dalla tensione di placca in quell'istante. Quando la tensione di placca è in aumento ciascun impulso sarà più intenso di quello che lo precede. Quando la tensione di placca è in diminuzione, ciascun impulso sarà più piccolo di quello che lo precede. Questi impulsi di corrente di placca sono applicati al circuito accordato e determinano in esso una corrente oscillante. Se gli impulsi di corrente di placca sono grandi, la corrente nel circuito serbatoio sarà grande. Se gli impulsi di corrente di placca sono piccoli, essi determinano soltanto una piccola corrente nel circuito serbatoio. Pertanto, l'uscita a radiofrequenza varierà con gli impulsi di corrente di placca e quindi con le variazioni audio della tensione di placca.

120. Modulazione di griglia.

a) In un trasmettitore che impiega modulazione di griglia, le tensioni ad audiofrequenza fanno variare la polarizzazione di griglia all'amplificatore di potenza a radiofrequenza. Questa variazione nella polarizzazione di griglia fa variare a sua volta la potenza

di uscita dell'amplificatore a radiofrequenza determinando la generazione di un'onda modulata. Questo metodo è pure conosciuto con il nome di modulazione per polarizzazione di griglia.

b) Un circuito che impiega modulazione di griglia è mostrato dalla figura 193. Un trasformatore di modulazione è posto in serie nel conduttore di ritorno di griglia dell'amplificatore di potenza a radiofrequenza. La tensione ad audiofrequenza (proveniente da un amplificatore modulante) si somma o si sottrae alla tensione

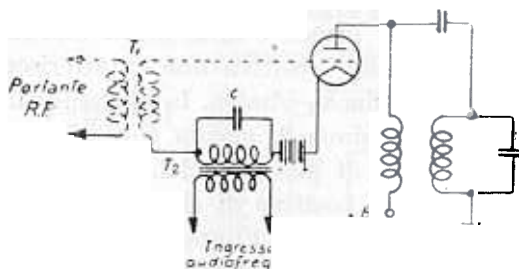


FIG. 193 - Circuito per modulazione di griglia

fissa di polarizzazione di griglia, e così controlla la potenza d'uscita dell'amplificatore a radiofrequenza. La polarizzazione di griglia ha usualmente un valore fisso ed è ottenuta a mezzo di una batteria o di un'alimentazione separata. Il condensatore C , serve per dar passaggio alle correnti a radiofrequenza attorno al secondario del trasformatore di modulazione (vedere fig. 193).

c) Il tubo modulatore deve essere fatto operare come un amplificatore ad audiofrequenza in classe A ed è sufficiente per la modulazione della griglia. Tuttavia, la potenza d'uscita della portante a radiofrequenza del trasmettitore che è modulato di griglia è circa un quarto di quella del trasmettitore che è modulato di placca. Dato questo basso rendimento e la difficoltà di conseguire con la modulazione di griglia elevati gradi di modulazione, essa è raramente impiegata nei complessi trasmettenti militari.

21. Modulazione di griglia schermo.

Nello studio del tetrodo (par. 43) è stato visto che una piccola variazione di tensione sullo schermo produce una forte variazione nella corrente di placca. È evidente, pertanto, che può essere effettuata la modulazione ponendo il trasformatore di modulazione in serie nel conduttore di griglia schermo. Tuttavia, questo metodo limita la percentuale di modulazione ad un valore basso, poichè la relazione della variazione di tensione di schermo alla variazione di corrente di placca è lineare soltanto per un piccolo tratto. Se entrambe le tensioni di placca e di schermo sono contemporaneamente modulate, è possibile avvicinarsi al 90 per cento di modulazione senza la produzione di indesiderate distorsioni. Un circuito di questa natura è mostrato dalla figura 194. Da

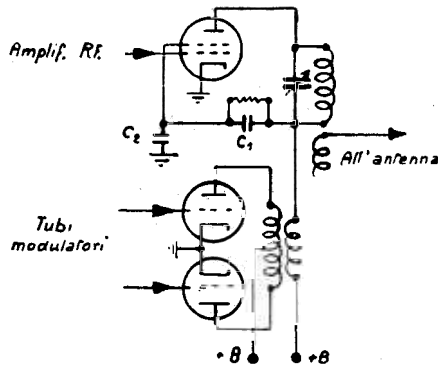
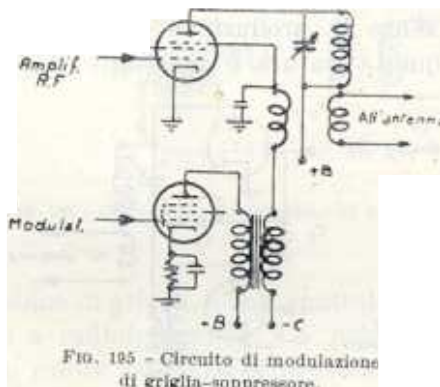


FIG. 194 - Circuito per modulazione di griglia-schermo.

notare che il resistore di caduta di schermo è connesso al lato placca dell'avvolgimento secondario del trasformatore di modulazione, cosicchè lo schermo e la placca conservano lo stesso rapporto fra le loro tensioni per tutte le variazioni della tensione di placca. Il condensatore C_1 cortocircuita la tensione audio ai capi del resistore di caduta di schermo, mentre C_2 è l'usuale condensatore di fuga dello schermo.

122. Modulazione di griglia soppressore

La modulazione può essere ottenuta applicando una tensione ad audiofrequenza alla griglia soppressore di un pentodo che è fatto funzionare in classe *C*. Una variazione nella tensione di polarizzazione sulla griglia soppressore, varierà l'uscita a radiofrequenza del pentodo e, così, l'applicazione della tensione audio fornisce un semplice metodo per ottenere la modulazione. È difficile ottenere il 100 per cento di modulazione benchè si possa arrivare a circa il 90 per cento con buona linearità. Un circuito tipico di modulazione di griglia soppressore è mostrato dalla figura 195.



123. Modulazione effettuata con un solo tono.

a) Quando si stanno ricevendo i segnali radiotelegrafici ad onde continue, l'altezza del suono nella cuffia dipende dalla differenza fra la frequenza del segnale in arrivo e la frequenza dell'oscillatore eterodina od, in altre parole, dalla frequenza di battimento. Se varia la frequenza del trasmettitore ad onde continue, varierà l'altezza della nota ricevuta. Se lo scorrimento della frequenza del trasmettitore è molto grande, il segnale ricevuto può divenire non udibile. Sotto queste condizioni, la ricezione del segnale ad onde continue, diviene molto difficile. Un rimedio

evidente consiste nello stabilizzare la frequenza del trasmettitore, ma ciò non è sempre praticabile o possibile. In tal caso, la comunicazione telegrafica può essere mantenuta impiegando un'onda modulata da un tono. Questa trasmissione a tono modulante è largamente impiegata negli apparecchi militari.

In questa trasmissione, la portante a radiofrequenza è modulata con una frequenza audio fissa di circa 1000 cicli per secondo. L'uscita del trasmettitore è manipolata nello stesso modo come per la trasmissione ad onde continue. Poichè è generalmente usato un audio oscillatore come sorgente di tono, l'ampiezza dell'onda d'uscita a radiofrequenza è praticamente costante e la modulazione può essere del 100 per cento. La modulazione telegrafica effettuata a mezzo di un tono raggiunge una portata leggermente più grande di quella spettante alla modulazione vocale effettuata sul medesimo trasmettitore. Tuttavia la portata di una trasmissione modulata con tono è sempre inferiore a quella conseguita con il medesimo trasmettitore in onde continue.

b) Quando si riceve la trasmissione modulata con tono, l'accordo del ricevitore deve essere più piatto di quando si esegue la ricezione in onde continue. Il rivelatore deve essere mantenuto nello stato di non oscillazione.

124. Trasmettitori ad alta frequenza.

a) Sono considerate frequenze radio molto alte (v.h.f.) quelle superiori a 30 mc/s ed inferiori a 300 mc/s. Tutti i principi di modulazione e di trasmissione già discussi si applicano ai trasmettitori progettati per queste frequenze molto alte. Tuttavia, vi sono altre cognizioni da tener presente quando si lavora su questa gamma di frequenze. Un tratto rettilineo di filo ordinario, ha la proprietà di possedere sia induttanza che capacità. Queste due proprietà non portano complicazioni alle radiofrequenze più basse, giacchè le induttanze e le capacità concentrate usate da queste frequenze sono grandi in confronto a quelle introdotte dai conduttori del circuito. Tuttavia, quando si lavora con le alte frequenze, l'induttanza e la capacità di sia pure corte lunghezze di filo possono

rappresentare una grande parte della induttanza e della capacità totale dei singoli circuiti. Pertanto la filatura deve essere eseguita con tratti di conduttori della minore lunghezza possibile. Questo fatto importante deve essere tenuto in mente quando si sostituiscono delle parti. Inoltre deve essere posta speciale cura nell'esecuzione di buone connessioni. Una connessione mal saldata introduce un'alta resistenza che può bloccare il funzionamento del circuito. Le comunicazioni con frequenze molto alte sono discusse nel Capitolo XV.

b) Un'altra considerazione importante è quella relativa all'effetto pelle, che è la tendenza degli elettroni a viaggiare lungo la superficie dei conduttori. Ciò ha pure l'effetto di introdurre resistenza in un circuito. Per minimizzare questo effetto, che aumenta con l'aumentare della frequenza, sono usati come conduttori fili di grandi dimensioni e tubi di rame.

c) Il funzionamento dei trasmettitori alle oltre alte frequenze (u.h.f.), ossia quelle superiori a 300 megacicli, diviene ancorá più instabile e critico.

125. Regolazione degli amplificatori modulati

a) La messa a punto o la regolazione appropriata di uno stadio a radiofrequenza modulato, determina la sua efficacia per le comunicazioni da effettuare a mezzo di trasmissione radiotelefonica, per una data portata. È importante realizzare il più alto grado di modulazione, senza arrivare alla sovr modulazione. Una regola generale che può essere usata in molti casi consiste nell'osservare la corrente di placca nello stadio a radiofrequenza che si sta modulando. L'audio potenza allo stadio modulato può essere aumentata sino al punto in cui la corrente di placca incomincia a fluttuare. Quando lo stadio a radiofrequenza modulato è regolato appropriatamente, vi sarà piccola variazione nello spostamento dell'indice nello strumento che misura la corrente di placca. Questo spostamento non deve essere superiore a circa il 5 per cento.

b) Un altro controllo per l'appropriato funzionamento dello stadio modulato si può avere osservando lo strumento che misura la corrente d'antenna. La potenza che è aggiunta alla potenza della portante dal modulatore appare come potenza nelle bande laterali e non nella stessa portante. Per questa ragione, quando un trasmettitore radiotelefonico è prima accordato senza essere modulato, la corrente d'antenna sarà quella relativa alla sola potenza portante. Se il trasmettitore è successivamente modulato a mezzo di un'onda pure sinusoidale (per esempio ottenuta da un audio oscillatore), la corrente d'antenna aumenterà approssimativamente del 22 per cento per il 100 per cento di modulazione. Quando non è disponibile un oscillatore audio, gli aggiustamenti possono essere fatti con la voce emettendo una nota continua davanti al microfono.

126. Circuito di un trasmettitore radiotelefonico.

a) Il circuito semplificato di un trasmettitore militare, è mostrato dalla figura 196. Questo è un trasmettitore di potenza media progettato per essere impiegato su aerei, su automezzi e per equipaggiamenti terrestri. Esso è capace di trasmettere onde continue, onde continue modulate con tono e segnali modulati dalla voce. Lo scambio da un tipo di modulazione all'altro è effettuato a mezzo di un dispositivo di commutazione con il controllo montato sul pannello frontale del complesso. Nel circuito di figura 196, il commutatore è posto nella posizione relativa alla modulazione vocale. La sezione a radiofrequenza di questo trasmettitore impiega due tubi in un circuito oscillatore pilota ed in un amplificatore di potenza. Un microfono alimentante un singolo tubo amplificatore audio che, a sua volta, eccita una coppia di tubi modulatori, fa parte della sezione audiofrequenza. La maggior parte degli avvolgimenti relativi all'alimentazione di potenza sono stati omessi, per semplicità, dal diagramma di figura 196.

b) Il tubo V_1 è il tubo oscillatore che impiega un semplice circuito oscillatore del tipo Hartley. La induttanza L_1 ed il condensatore C_1 formano il circuito serbatoio dell'oscillatore.

La sezione di placca A della bobina è connessa fra placca e filamento attraverso C_2 , la massa, e la presa centrale sul secondario del trasformatore del filamento. La bobina d'arresto L_2 è una bobina di arresto per la radiofrequenza per effettuare il disaccoppiamento della placca. La sezione di griglia B della bobina L_1 è connessa fra griglia e filamento attraverso C_3 e C_2 , la massa e la presa centrale sul secondario del trasformatore del filamento

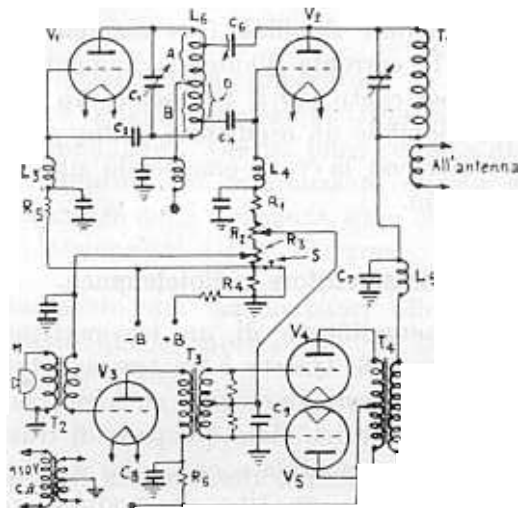


FIG. 196 - Trasmettitore radiotelefonico militare tipico.

mostrata nell'angolo sinistro di base della figura. Il resistore R_5 è il resistore per la polarizzazione di griglia dell'oscillatore. La bobina L_3 d'arresto per la radiofrequenza offre un'alta impedenza alle correnti a radiofrequenza nel circuito di griglia dell'oscillatore che alimenta la tensione continua.

e) Quella parte della tensione sviluppata ai capi della sezione D della bobina del circuito accordato dell'oscillatore, è applicata fra la griglia ed il filamento del tubo amplificatore di potenza V_2 attraverso i condensatori C_4 , C_2 , la massa e la presa centrale sul secondario del trasformatore del filamento. Il condensatore C_4

è connesso a poche spire dall'estremità della bobina L_1 , onde sia ridotto l'effetto di carico sull'oscillatore, contribuendo pertanto alla sua stabilità.

Il tipo di accoppiamento usato fra l'oscillatore e l'amplificatore di potenza di questo trasmettitore, prende il nome di accoppiamento ad impedenza. La tensione di polarizzazione di normale funzionamento per il circuito di griglia dell'amplificatore di potenza è prodotta dal flusso della corrente continua di griglia attraverso i resistori R_1 , R_2 ed R_3 . La bobina L_4 è una bobina d'arresto per la radiofrequenza che introduce un'alta impedenza alle correnti a radiofrequenza nel circuito di griglia per l'alimentazione continua dell'amplificatore di potenza. Il condensatore C_5 è un condensatore di fuga per la radiofrequenza.

d) Gli impulsi audio creati dal microfono M sono applicati, a mezzo del trasformatore T_2 , al circuito griglia-filamento del tubo amplificatore audio V_3 . La polarizzazione per questo stadio è ottenuta prelevando, a mezzo presa, una parte della tensione sviluppata ai capi di R_3 . Il segnale audio è sviluppato ai capi del primario dell'audio trasformatore T_3 . Il condensatore C_8 dà passaggio alle audiofrequenze, ossia è un condensatore di disaccoppiamento di placca. Il resistore R_6 è un resistore di caduta di tensione e di disaccoppiamento di placca. Il segnale audio dell'amplificatore di parola è accoppiato, a mezzo di un trasformatore, al circuito griglia-filamento dei tubi modulatori in « push-pull » V_4 e V_5 , operanti in classe B . Il circuito audio-griglia-filamento è completato attraverso C_9 , la massa e la presa centrale sul secondario del trasformatore del filamento.

La polarizzazione di griglia per i tubi del modulatore è derivata dalla caduta di tensione ai capi di R_3 e di quella parte ai capi di R_2 , determinata dalla posizione dello scorrevole su questo resistore. La corrente audio di placca del modulatore, attraversando il primario di T_4 induce una tensione audio nel secondario. Questa tensione audio è in serie con la tensione continua di placca fornita all'amplificatore di potenza a radiofrequenza V_2 . La tensione audio attraverso il secondario di T_4 si sommerà e si sottrarrà alternativamente alla tensione continua di placca nell'am-

plificatore di potenza V_2 , facendo così variare questa tensione in accordo con il segnale modulante. Con una tensione a radiofrequenza applicata fra griglia e filamento di V_2 , la tensione sviluppata attraverso il trasformatore T_1 , sarà una tensione a radiofrequenza variabile in ampiezza, in accordo con il segnale modulante. Il condensatore C_7 è un condensatore di fuga a radiofrequenza usato per fornire un cammino di bassa impedenza alla radiofrequenza, onde farla ritornare al filamento.

La bobina L_5 è una bobina di arresto per la radiofrequenza usata per impedire alla corrente a radiofrequenza di attraversare i circuiti del modulatore. L'accoppiamento fra il primario ed il secondario di T_1 è variabile, permettendo così un corretto adattamento di impedenza fra il circuito di placca dell'amplificatore di potenza e l'antenna. Il segnale a radiofrequenza modulato del secondario è quindi applicato all'antenna.

e) Il condensatore C_8 è un condensatore di neutralizzazione per l'amplificatore di potenza. Poichè V_2 è un triodo, esso oscillerebbe spontaneamente per effetto della reazione attraverso la capacità infraelettrodica del tubo.

Per impedire le oscillazioni dell'amplificatore di potenza, una parte della corrente di placca a radiofrequenza di V_2 è applicata attraverso C_8 alla sezione A di L_1 , inducendo pertanto una tensione nella sezione D della bobina, che è opposta in fase alla tensione applicata al circuito di griglia attraverso la capacità infraelettrodica del tubo. Regolando appropriatamente C_8 , queste tensioni saranno di eguale intensità ma di fase opposte e pertanto si cancelleranno fra di loro, impedendo al circuito di oscillare.

f) Il commutatore S rappresenta un relè che è azionato da un commutatore a pulsante, montato sull'impugnatura del microfono.

Quando l'operatore del trasmettitore ha completato la trasmissione di un messaggio, egli rilascia il pulsante del microfono ed allora il commutatore S si apre per l'azione di una molla. Il resistore R_4 diviene allora parte di un divisore di tensione connesso ai capi dell'alimentazione di tensione B e quindi un'alta

tensione apparirà attraverso ad esso. Poichè questo resistore si trova nei circuiti di griglia di tutti gli stadi, la caduta di tensione attraverso di esso è aggiunta alla polarizzazione di griglia di ciascun stadio. Questa tensione è abbastanza grande da bloccare tutti gli stadi. In questo modo il trasmettitore è reso inattivo. Quando si deve trasmettere un messaggio, l'operatore preme il bottone del microfono chiudendo così il commutatore S e cortocircuitando il resistore R_4 . Ciò toglie la tensione bloccante i circuiti di griglia di tutti gli stadi e consente al trasmettitore di entrare nel suo normale funzionamento.