

CAPITOLO XIII

MODULAZIONE DI FREQUENZA

127. Generalità.

a) Il rumore nell'uscita di un complesso ricevente radio può essere definito come un disturbo che non era presente in origine nel microfono del trasmettitore radio e che interferisce con la comprensione del messaggio in arrivo.

Il rumore può provenire da molte sorgenti, come sistemi di accensione degli automezzi, macchine elettriche industriali, atmosferici, stazioni radio interferenti, ecc. Questi disturbi sono simili in carattere ai segnali radio, appaiono in tutta la gamma delle radiofrequenze e fanno variare l'ampiezza dei segnali radio distorcendone l'onda. Questo fatto costituisce uno dei più grandi svantaggi delle onde modulate in ampiezza, poichè sia i disturbi industriali che quelli di origine atmosferica (statici) si compongono nell'antenna ricevente con l'onda a radiofrequenza in arrivo. Questa composizione determina un'onda a radiofrequenza che varia in ampiezza in accordo con gli impulsi statici oltre che con il segnale modulante (audio) originale. Pertanto, il segnale modulante e gli impulsi statici saranno entrambi sentiti all'uscita dell'altoparlante del ricevitore.

Per eliminare questo inconveniente, occorre escogitare qualche metodo di modulazione in cui il carattere della modulazione desiderata sia differente dalle variazioni d'ampiezza prodotte dagli impulsi statici. Questo metodo di modulazione costituisce la *modulazione di frequenza*.

b) La frequenza di un'onda portante è uguale al numero di cicli per secondo. Questa frequenza chiamata la *frequenza portante*, può essere variata di un piccolo valore su ciascun lato del suo valore medio assegnato a mezzo di un segnale (ad audiofrequenza) modulante. Queste variazioni di frequenza possono essere rivelate a mezzo di speciali ricevitori radio progettati per rispondere alle

onde a radiofrequenza modulate di frequenza. Le variazioni di frequenza di un trasmettitore vengono prodotte, entro certi specificati limiti, in accordo con la parola da trasmettere. L'ampiezza della portante a radiofrequenza rimane costante, con o senza modulazione. Un ricevitore radio che è sensibile soltanto alle variazioni di frequenza della portante in arrivo e che non discrimina le variazioni d'ampiezza, è usato per ricevere questi segnali modulati di frequenza. Poichè le interferenze dovute agli statici ed agli altri disturbi provocano una variazione effettiva nell'ampiezza di una portante in arrivo che è molto più grande di quella prodotta nella sua frequenza, questo sistema di comunicazione fornisce una ricezione di altissima qualità, con assenza quasi totale di rumore.

c) La differenza essenziale fra modulazione di frequenza (f. m.) e modulazione d'ampiezza (a. m.) è mostrata dalla figura 197. In questa figura (1) rappresenta la portante a radiofrequenza

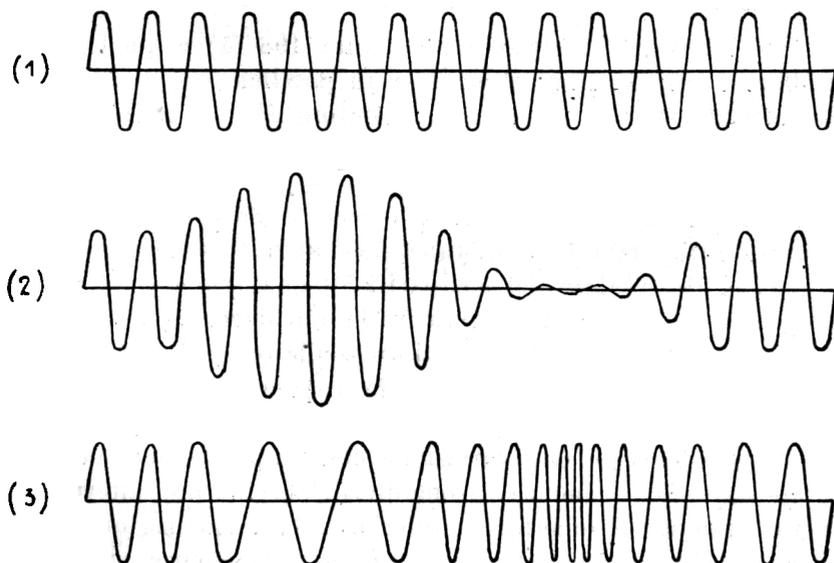


Fig. 197 - Confronto fra modulazioni d'ampiezza e di frequenza.

(1) Onda portante a radiofrequenza non modulata.

(2) Onda modulata d'ampiezza.

(3) Onda modulata di frequenza.

non modulata; (2) mostra l'onda risultante modulando in ampiezza la portante; (3) mostra l'onda risultante modulando in frequenza la portante. In (2), durante il periodo di modulazione, l'ampiezza aumenta e diminuisce in accordo con un segnale ad audiofrequenza impresso. In (3), durante il periodo di modulazione, la frequenza aumenta e diminuisce in accordo con il segnale audio, ma l'ampiezza rimane costante.

128. Principi di trasmissione F. M.

a) La forma più semplice di un modulatore di frequenza è data da un microfono a condensatore che è posto in parallelo ad un circuito oscillatore accordato [fig. 198 (1)]. Una discussione sul funzionamento di questo semplice circuito aiuta a spiegare i principi fondamentali di tutti i trasmettitori a modulazione di frequenza.

b) Il circuito mostrato dalla figura 198 (1) è quello di un oscillatore tipo Hartley alimentato in parallelo che è modificato connettendo un microfono a condensatore M in parallelo al condensatore C del circuito accordato. Elettricamente, questo microfono non è altro che due placche di un condensatore, una delle quali è la membrana. Le onde sonore colpendo il microfono comprimono e rilasciano la membrana, facendone così variare la capacità, giacchè il valore della capacità di qualunque condensatore dipende, in parte, dalla distanza fra le due placche. Sarà ricordato che la frequenza di oscillazione di un oscillatore può essere variata cambiando, sia l'induttanza, sia la capacità del suo circuito accordato.

In questo caso, una variazione nella capacità del microfono fa spostare la frequenza risonante dell'oscillatore alternativamente a frequenze superiori ed inferiori alla frequenza originale o *frequenza di riposo*. Questo spostamento di frequenza si verifica mentre si sposta il diaframma del microfono.

c) Quando il mezzo ciclo positivo A dell'onda sonora di figura 198 (2) colpisce il diaframma D del microfono (mostrato

in iscala ingrandita alla sinistra di figura 198 per poterlo meglio esaminare), esso fa spostare il diaframma verso l'interno, dalla sua posizione di riposo alla posizione *A*. Poichè la distanza fra *D* ed *E* è diminuita, la capacità delle placche è corrispondente-

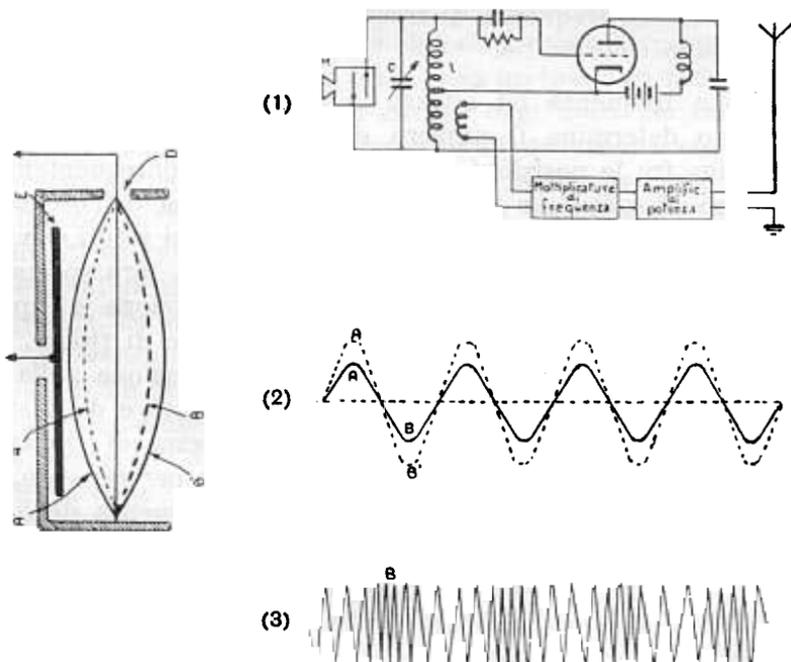


FIG. 198 - Circuito semplice di modulazione di frequenza.

mente aumentata e la frequenza dell'oscillatore è diminuita rispetto alla frequenza di riposo, come mostrato in *A* di figura 198 (3).

Alla fine del primo mezzo ciclo, il diaframma ritorna alla sua posizione di riposo e la frequenza dell'oscillatore è ancora la frequenza di riposo. Durante il mezzo ciclo negativo *B* dell'onda

audio [figura 198 (2)], il diaframma si sposta alla posizione *B*, aumentando la distanza fra le placche con una conseguente diminuzione di capacità ed aumento della frequenza dell'oscillatore, come mostrato in *B* di figura 198 (3). Alla fine dell'alternanza, il diaframma *D* ritorna alla sua posizione di riposo, e l'oscillatore riassume la sua frequenza di riposo, quindi l'azione si ripete per il successivo ciclo audio.

d) La frequenza od altezza del segnale audio applicato al microfono determina il numero di vibrazioni per secondo del diaframma fra le posizioni *A* e *B* (fig. 198) e, conseguentemente il numero di volte per secondo che la frequenza dell'oscillatore varia intorno alla sua frequenza di riposo fra i suoi valori superiori ed inferiori. Una nota di 1000 cicli per secondo, farà spostare il diaframma dalla posizione di riposo alla posizione *A*, quindi indietro alla posizione *B* ed ancora alla posizione di riposo, 1000 volte per secondo con una corrispondente variazione nella frequenza dell'oscillatore. Una nota audio di 100 cicli e dello stesso volume (ampiezza), provocherà la stessa ampiezza di vibrazione del diaframma con una frequenza di 100 volte per secondo, con un corrispondente ritmo di variazione nella frequenza dell'oscillatore. Un altro importante dettaglio da ricordare a questo punto è che se l'intensità (ampiezza) del segnale audio è aumentata, come mostrato dalla linea a tratti di figura 198 (2), il movimento del diaframma *D* coprirà una distanza più grande, ossia da *A'* a *B'*. Ciò comporterà una variazione più grande di capacità ed una variazione più grande di frequenza.

Pertanto, l'ampiezza del segnale modulante determina la variazione di frequenza da entrambe le parti (ossia in aumento e in diminuzione) della frequenza di riposo. Il valore della variazione di frequenza su ciascun lato della frequenza di riposo è chiamato *deviazione*.

e) Negli apparati militari, è pratica corrente che la massima deviazione consentita non superi i 40 chilocicli per qualunque canale. Questo significa che il più forte segnale audio che può essere usato per modulare un trasmettitore è limitato a quel valore che provocherà una deviazione massima di 40 chilocicli su ciascun

lato della frequenza di riposo. La frequenza della stazione può allora variare per un totale di 80 chilocicli, conosciuto con il nome di *escursione della portante*. È pure prevista una banda di 20 chilocicli a titolo di separazione fra i canali. Questa banda di 20 chilocicli è chiamata la *banda di guardia*.

Pertanto il canale assegnato a ciascuna stazione consiste in due gamme di deviazione di 40 chilocicli ciascuna, più metà della banda di guardia su ciascun lato, ossia un totale di 100 chilocicli. Tuttavia, con qualunque dei sistemi oggi usati per ottenere la modulazione di frequenza, l'importo di deviazione ottenuta nel punto in cui si esegue la modulazione è piccola in confronto a quella richiesta per una soddisfacente trasmissione di segnali modulati in frequenza. Per accrescere l'importo di deviazione iniziale al valore conveniente, è usato un sistema di moltiplicazione di frequenza. Se due frequenze, tali come 6 e 6,025 megacicli, aventi una differenza di frequenza di 25 chilocicli, sono applicate all'ingresso di un triplicatore di frequenza accordato con curva piatta, le frequenze d'uscita saranno 18 e 18,075 megacicli rispettivamente. Vi è adesso una differenza di 75 chilocicli fra queste due frequenze, ossia tre volte la differenza di frequenza iniziale. Le varie frequenze prodotte nel punto di modulazione sono, pertanto, applicate ad una serie di moltiplicatori, e l'importo della variazione iniziale di frequenza, o deviazione, ottenuta, è moltiplicata sino ad un valore conveniente, prima che il segnale sia applicato all'amplificatore di potenza e quindi all'antenna trasmittente. I circuiti del moltiplicatore e dell'amplificatore di potenza sono del tipo normale e pertanto non necessitano di ulteriore spiegazione.

f) Nella modulazione d'ampiezza, l'ampiezza della portante varia da zero al doppio del suo valore normale per il 100 per cento di modulazione. Vi è pure una corrispondente variazione di potenza; conseguentemente, la potenza aggiuntiva deve essere fornita dalla portante durante le punte di modulazione. Quindi i tubi non possono operare con il massimo rendimento in tutti gli istanti del periodo di modulazione. Per contro, nella modulazione di frequenza, il così chiamato 100 per cento di modulazione ha un significato differente. Come mostrato nella figura 198 (3), l'ampiezza del segnale rimane costante, indipendentemente dalla modulazione,

poichè il segnale modulante varia soltanto la frequenza dell'oscillatore. Pertanto i tubi possono essere fatti funzionare in tutti gli istanti con l'efficienza massima. Ciò rappresenta uno dei vantaggi più importanti della modulazione di frequenza. La modulazione al 100 per cento, nella modulazione di frequenza indica una variazione della portante per l'importo spettante all'intera deviazione consentita: dalla linea *RO* ad *A''* oppure a *B''* nel diagramma di figura 199. La linea *RO* rappresenta la frequenza di riposo, che è

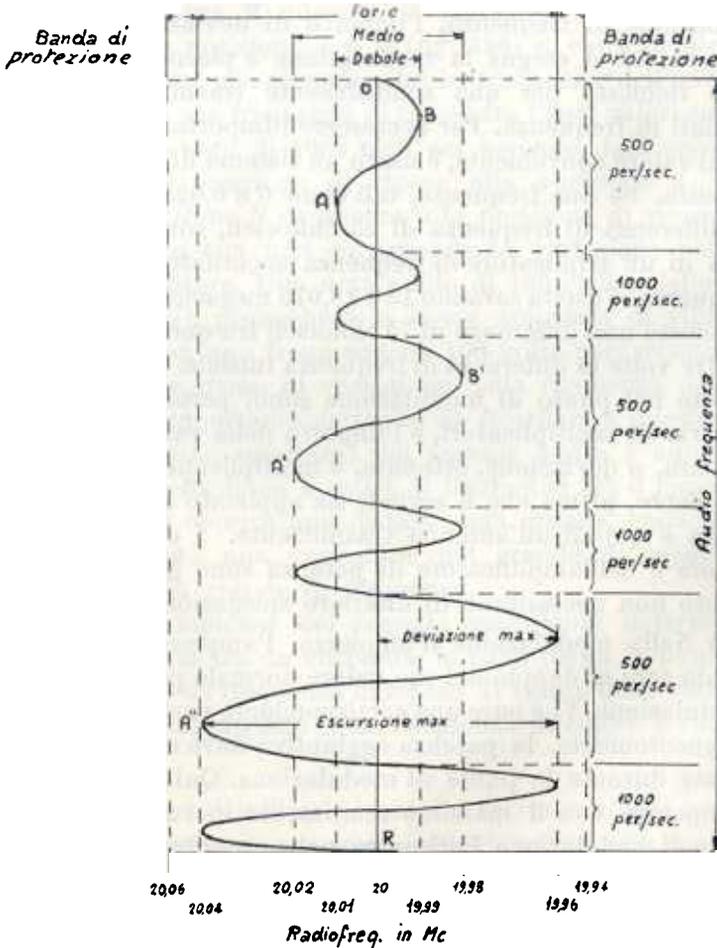


Fig. 199 - Dimostrazione grafica dei principi della modulazione di frequenza

stata assunta uguale a 20 megacicli. Se l'oscillatore che produce questa frequenza è modulato con un debole segnale audio di 500 cicli, la frequenza dell'oscillatore varierà dalla frequenza di riposo, fino, ad esempio, 19,99 megacicli, quindi, passando per la frequenza di riposo, va a 20,01 megacicli e, successivamente, ritorna alla frequenza di riposo e ciò con un ritmo di 500 volte per secondo. Se la frequenza e l'altezza del segnale modulante è cambiata a 1000 cicli per secondo (l'ampiezza rimanendo la stessa), la escursione fra A e B avverrà con un ritmo di 1000 volte per secondo. Accrescendo l'ampiezza del segnale audio modulante per ciascuna di queste due frequenze (500 e 1000 cicli), aumenterà la deviazione ad A'' su un lato della RO e a B'' sull'altro lato. Il ritmo della variazione di frequenza sarà ancora rispettivamente di 500 e 1000 volte per secondo. Aumentando l'ampiezza del segnale modulante fino a portare l'escursione massima della portante fra i punti A'' e B'' si ha la massima deviazione ammissibile, ossia si raggiungono le frequenze di 19,96 e 20,04 megacicli. Il ritmo della variazione dipenderà ancora dalla frequenza del segnale modulante. Le frequenze fra 19,96 e 19,94 megacicli e fra 20,04 e 20,06 sono le bande di guardia previste per la separazione fra i canali delle stazioni adiacenti.

129. Metodi di modulazione di frequenza.

a) Un soddisfacente trasmettitore a f. m. deve soddisfare a due importanti requisiti. La deviazione di frequenza deve essere simmetrica attorno ad una frequenza fissa e la deviazione deve essere direttamente proporzionale all'ampiezza della modulazione ed indipendente dalla frequenza di modulazione. Vi sono parecchi metodi di modulazione di frequenza che soddisfano a questi requisiti. La disposizione discussa nel paragrafo 128, conosciuta come un modulatore meccanico, è il sistema più semplice di modulazione di frequenza, ma è raramente usata. I due tipi importanti di modulazione di frequenza impiegati negli equipaggiamenti radio f.m. militari sono il *sistema modulante a tubo di reattanza* ed il *sistema modulante di fase Armstrong*. La principale differenza fra questi due sistemi è data dal fatto che nel metodo di modulazione con

tubo di reattanza, l'onda a radiofrequenza è modulata alla sua sorgente (l'oscillatore), mentre nella modulazione di fase l'onda a radiofrequenza è modulata in qualche stadio seguente all'oscillatore. I risultati per ciascuno di questi sistemi sono gli stessi; cioè l'onda modulata di frequenza creata da ciascun sistema può essere ricevuta dallo stesso ricevitore. Ciascuno di questi due sistemi di modulazione di frequenza, descritti sotto in *b*) e in *c*), sarà trattato con maggiori dettagli nei paragrafi 133 e 134.

b) Il sistema di modulazione di frequenza a tubo di reattanza è mostrato nel diagramma a blocchi di figura 200. In questo

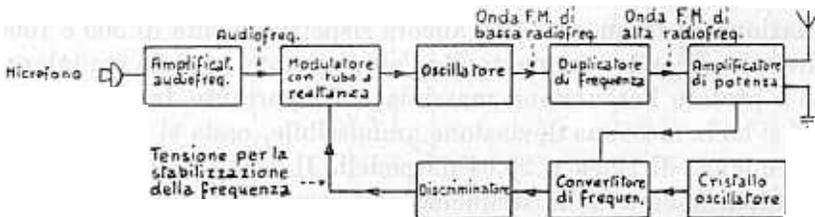


FIG 200 - Diagramma a blocchi di un trasmettitore F. M. a tubo di reattanza.

sistema l'oscillatore è autoeccitato, usualmente operante secondo un circuito Hartley. Un altro tubo, chiamato il *tubo di reattanza*, è connesso in parallelo con il circuito accordato dello stadio oscillatore. A mezzo di un conveniente circuito, questo tubo di reattanza si può fare agire sia come una reattanza induttiva che come una reattanza capacitiva e questa reattanza è fatta variare in accordo con la frequenza audio (modulante). La frequenza dell'oscillatore viene variata per effetto della reattanza variabile connessa ai capi del suo circuito oscillante, e così un segnale modulato in frequenza appare all'uscita dello stadio oscillatore. Questa portante (con la modulazione di frequenza) è fatta passare attraverso un duplicatore di frequenza, o stadio moltiplicatore, per accrescere la frequenza portante ed il rapporto di deviazione. Un amplificatore di potenza fornisce il segnale finale ad una conveniente antenna. Per mantenere il funzionamento del trasmettitore sulla sua frequenza assegnata, è realizzato un metodo di stabilità di

frequenza confrontando l'uscita del trasmettitore con un oscillatore campione controllato a cristallo ed inviando all'indietro una conveniente *tensione correttiva* proveniente da un convertitore di frequenza e da uno stadio discriminatore (par. 130).

c) Il sistema a modulazione di fase Armstrong è mostrato nel diagramma a blocchi di figura 201. Questo trasmettitore ha un oscillatore di cui la frequenza è mantenuta ad un valore costante a mezzo di un cristallo a quarzo. Questa onda a frequenza costante è fatta passare attraverso ad un amplificatore a radiofrequenza che eleva l'ampiezza dell'onda. La frequenza audio (modulante)

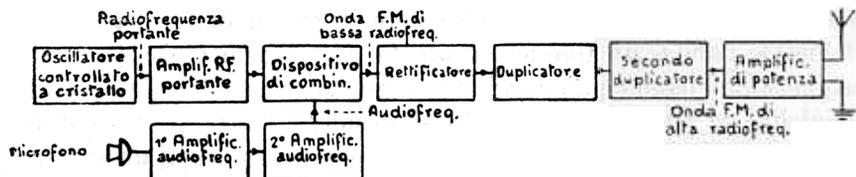


FIG. 201 - Diagramma a blocchi di un trasmettitore a modulazione di frequenza sistema Armstrong.

è applicata alla portante a radiofrequenza a mezzo di un circuito di composizione. L'uscita del circuito di composizione (costituita dalla portante alla radiofrequenza di riposo e dalle frequenze di deviazione) è applicata ad una serie di stadi amplificatori a radiofrequenza in classe C, in ciascuno dei quali il circuito di placca è accordato ad una frequenza doppia di quella a cui è accordato il circuito di griglia (duplicatori di frequenza). L'onda d'uscita, che ha raggiunto un'elevata frequenza portante ed un'alta deviazione, è applicata all'antenna. L'audiofrequenza applicata allo stadio modulatore deve essere fatta passare attraverso un circuito che rende l'ampiezza audio inversamente proporzionale alla frequenza audio. Il funzionamento completo dei vari stadi del sistema di modulazione di fase Armstrong è discusso nel paragrafo 134.

130. Ricezione delle onde modulate di frequenza.

a) Mentre l'uso della modulazione di frequenza semplifica grandemente nel trasmettitore il problema della modulazione, la

modulazione di frequenza ha necessità, nei ricevitori, di un circuito alquanto più complicato di quello necessario per il ricevitore a modulazione d'ampiezza. Il ricevitore f.m. impiega due tipi di stadi che non si trovano nel ricevitore a.m. e cioè: un *limitatore* ed un *discriminatore* o rivelatore di frequenza. Il ricevitore a supereterodina è usato esclusivamente per la modulazione di frequenza giacchè in molti casi occorre un'elevata amplificazione per portare l'ampiezza dei segnali deboli sino a quel valore che è necessario per far funzionare correttamente il limitatore.

b) Uno dei requisiti fondamentali a cui deve soddisfare un ricevitore f.m. è che esso deve essere in grado di far passare la richiesta banda di frequenza creata dal trasmettitore; questa larghezza di banda può raggiungere gli 80 chilocicli. Un secondo requisito da soddisfare, quando si desidera trarre profitto dalle complete possibilità relative alla riduzione di rumore di un sistema f.m., è attuato a mezzo di un dispositivo limitatore che toglie tutte le variazioni di ampiezza del segnale ricevuto, cosicchè il segnale vari *soltanto* in frequenza all'ingresso del rivelatore. Un terzo requisito da raggiungere è che il rivelatore (discriminatore) sia capace di convertire le variazioni di frequenza in variazioni d'ampiezza.

c) Un confronto fra un ricevitore a supereterodina progettato per la ricezione di segnali modulati in ampiezza e quello progettato per la ricezione di segnali modulati in frequenza è mostrato dalla figura 202.

In entrambi i tipi vi sono, uno stadio accordato di amplificazione a radiofrequenza, un oscillatore ad alta frequenza ed un mescolatore seguiti da uno o più stadi di amplificazione a frequenza intermedia.

Gli stadi rispettivi di entrambi i ricevitori sono sino a questo punto simili per quanto riguarda lo scopo; vi è la sola differenza che nel ricevitore f.m. i circuiti accordati sono progettati per far passare una banda di frequenze molto più larga. Nei due stadi successivi si trovano le due differenze sostanziali fra i ricevitori.

Il limitatore del complesso a f.m. può essere considerato come uno speciale tipo di amplificatore a frequenza intermedia, mentre il discriminatore è uno speciale tipo di rivelatore. I segnali audio d'uscita del rivelatore del ricevitore a a.m. e quelli d'uscita del discriminatore del ricevitore f.m. sono applicati, in ambo i casi, all'amplificatore audio e successivamente all'altoparlante.

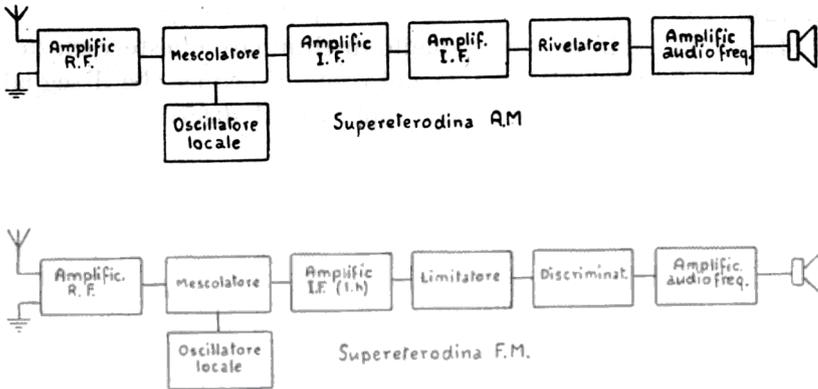


FIG. 202 - Diagramma a blocchi di confronto fra un ricevitore a supereterodina A.M. e F.M.

131. Il limitatore.

a) Il limitatore in un ricevitore a modulazione di frequenza serve a togliere la modulazione d'ampiezza ed a far così passare al discriminatore un segnale modulato di frequenza di ampiezza costante. Il circuito del limitatore è mostrato dalla figura 203; il resto del ricevitore è mostrato sotto forma di diagramma a blocchi.

b) Il segnale f.m. in uscita dall'antenna trasmittente è variabile in frequenza in accordo con il segnale modulante audio, ma è di ampiezza costante. Tuttavia, mentre il segnale viaggia fra l'antenna trasmittente e quella ricevente esso si combina con i disturbi naturali ed industriali che provocano variazioni di ampiezza nel segnale modulato. Inoltre vi sono variazioni causate

dal «fading» del segnale, tali come quelle che possono essere incontrate nei mezzi in moto. Tutte queste indesiderabili variazioni di ampiezza esistenti nel segnale f.m. sono amplificate mentre esso passa nei diversi stadi del ricevitore fino all'ingresso T del limitatore (fig. 203). Questa condizione del segnale in cui sono presenti modulazione di frequenza (desiderata) e modulazione d'ampiezza (indesiderata), è mostrata nella forma d'onda di figura 204 (2).

Lo scopo del limitatore è quello di eliminare queste variazioni d'ampiezza, dovute agli impulsi del rumore, prima che il segnale a modulazione di frequenza sia applicato al discriminatore.

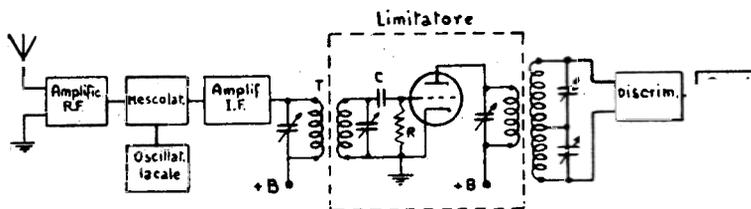


FIG. 203 - Schema semplificato del limitatore

Il carattere del segnale dopo aver lasciato il limitatore dovrebbe essere come indicato nella figura 204 (3), in cui sono state rimosse tutte le variazioni d'ampiezza, lasciando un segnale che varia solo in frequenza.

c) Il circuito limitatore di figura 203 è simile ai circuiti polarizzati con resistore di griglia, precedentemente studiati. Il tubo limitatore è del tipo a pendenza costante ed è fatto funzionare con bassissime tensioni di placca e con polarizzazione per dispersione di griglia, cosicchè esso si sovraccarica facilmente.

Con una tensione di placca più bassa, fluirà una corrente di griglia più elevata quando è applicato il segnale. Questo fatto aiuta l'azione di *taglio*. Ispezionando il circuito, si vede che non esiste polarizzazione iniziale nel circuito. Quando la prima alternanza del segnale, indipendentemente dall'intensità, è applicata fra griglia e catodo, essa incomincia a far diventare la griglia positiva,

provocando un flusso di corrente di griglia. Questo flusso di corrente, durante le punte positive del segnale, carica il circuito accordato T . Per effetto di questa azione di carica del circuito accordato, vi è una caduta, ossia una azione di taglio, della tensione ai capi di esso durante le punte positive. Questa azione può essere confrontata a quella di un generatore, in cui un aumento di corrente erogata provoca una diminuzione nella tensione d'uscita

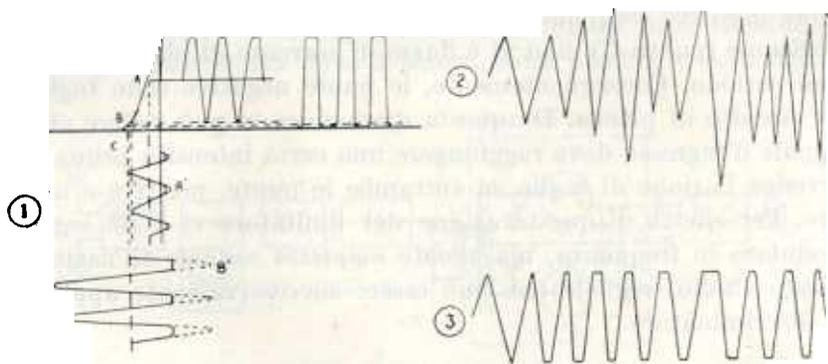


FIG. 204 - Azione del limitatore nei ricevitori a modulazione di frequenza

per effetto della perdita attraverso l'impedenza interna del generatore. Pertanto, le punte positive sono tagliate dall'azione del circuito di griglia.

Come in tutti i circuiti polarizzati con resistori di griglia, la corrente che fluisce nel circuito di griglia durante le punte positive, sviluppa, con l'aiuto del condensatore di griglia C , una caduta di tensione continua ai capi del resistore di griglia R . Il valore di questa caduta dipende dall'importo di corrente di griglia che, a sua volta, dipende dall'intensità del segnale.

Per esempio, ammettiamo che un debole segnale d'ingresso A' sia applicato al circuito, come in figura 204 (1). Le punte positive di quest'onda saranno tagliate nel circuito di griglia per effetto del flusso di corrente di griglia. Questa corrente produrrà una polarizzazione che cambierà il punto di funzionamento da quello corrispondente al punto di polarizzazione zero ad un altro punto,

per esempio, *A*. In questo caso la punta negativa non andrà oltre l'interdizione e non vi sarà azione di taglio sulla punta negativa. Da notare che vi è stata qualche amplificazione, senza altro taglio, oltre quello compiuto nel circuito di griglia. Quando è accresciuta l'ampiezza del segnale d'ingresso, come a *B'* in figura 204 (1), aumenta il flusso della corrente di griglia. Ciò produce una caduta più grande attraverso il resistore di griglia, ponendo sul tubo una polarizzazione più grande, come indicato in *B*. Poichè adesso le punte negative eseguono un'escursione che va oltre il punto d'interdizione (punto *C*), non vi è flusso di corrente di placca durante quel periodo. Conseguentemente, le punte negative sono tagliate nel circuito di placca. Da questa discussione si può vedere che il segnale d'ingresso deve raggiungere una certa intensità prima che avvenga l'azione di taglio su entrambe le punte, positive e negative. Per effetto di questa azione del limitatore vi è un segnale modulato in frequenza, ma avente *ampiezza costante* all'uscita di questo stadio, segnale che può essere successivamente applicato al discriminatore.

132. Il discriminatore.

a) La seconda maggiore differenza fra i ricevitori modulati di ampiezza e quelli modulati di frequenza, è rappresentata dal rivelatore o discriminatore. Il rivelatore in un ricevitore a modulazione d'ampiezza interpreta le *variazioni d'ampiezza* dell'energia a radiofrequenza modulata in ampiezza e le traduce in termini di audio segnale. Nel ricevitore f.m. il discriminatore interpreta le variazioni di frequenza dell'energia a radiofrequenza modulata in frequenza e le traduce in termini di audiosegnale.

b) Il discriminatore di un tipico ricevitore a f.m. è mostrato dalla figura 205. In questo circuito il trasformatore impiegato ha un primario accordato L_1 e due secondari accordati L_2 ed L_3 . Il primario di questo trasformatore è accordato alla frequenza centrale della banda passante a frequenza intermedia.

Questa frequenza corrisponde alla frequenza di riposo del segnale a modulazione di frequenza come esso è ricevuto dal-

l'antenna. Il secondario L_2 è accordato ad una frequenza più elevata di quella di riposo per un importo più grande di quello della deviazione del segnale, e L_3 è accordato ad una frequenza più bassa di quella di riposo secondo lo stesso importo. L_2 è connessa in serie con R_2 attraverso il diodo D_1 , L_3 è connessa in serie con R_3 attraverso il diodo D_2 . Poichè la direzione del flusso di elettroni in ciascun circuito del diodo è come indicato dalle frecce, la polarità della caduta di tensione attraverso ciascun resistore di carico, R_2 e R_3 , è positiva alle estremità verso il catodo e negativa alle estremità verso la placca, come è indicato nella figura.

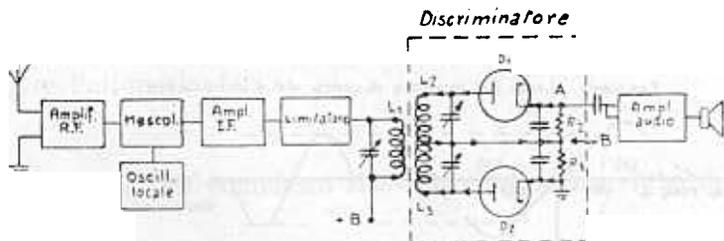


FIG. 205 - Schema semplificato del discriminatore

Entrambi i resistori sono congiunti nel punto B che è l'estremità a polarità negativa delle tensioni attraverso ciascun resistore. Pertanto, le due tensioni sono opposte fra di loro e la tensione risultante fra il punto A e la massa sarà la differenza fra le due. La polarità risultante sarà la polarità spettante alla più grande delle due singole tensioni. La figura 206 (1) mostra possibili curve di risonanza, A e B , per ciascun secondario accordato, L_2 e L_3 rispettivamente. Le loro frequenze risonanti sono indicate essere eguali a 5,95 e 6,05 megacicli. Le curve indicano le tensioni-segnale sviluppate ai capi di ciascun circuito accordato quando la frequenza applicata al trasformatore varia attraverso i valori indicati. Il solo punto in cui entrambe le tensioni sono uguali è il punto X che rappresenta la frequenza di riposo di 6 megacicli. Poichè le curve A e B rappresentano rispettivamente le tensioni applicate a D_1 e a D_2 ed i resistori di carico sono connessi in opposizione serie, la tensione risultante fra il punto A e la massa

può essere quella mostrata dalla figura 206 (2). Da questa curva S si può vedere che se, in $1/500$ di secondo, l'onda modulata in frequenza varia dalla frequenza di riposo di 6 megacicli a 5,96 megacicli, intorno alla frequenza di riposo va a 6,04 megacicli e ritorna ancora alla frequenza di riposo, la tensione sviluppata fra il punto A e la massa (fig. 205) sarà un ciclo dell'onda audio (avente la fre-

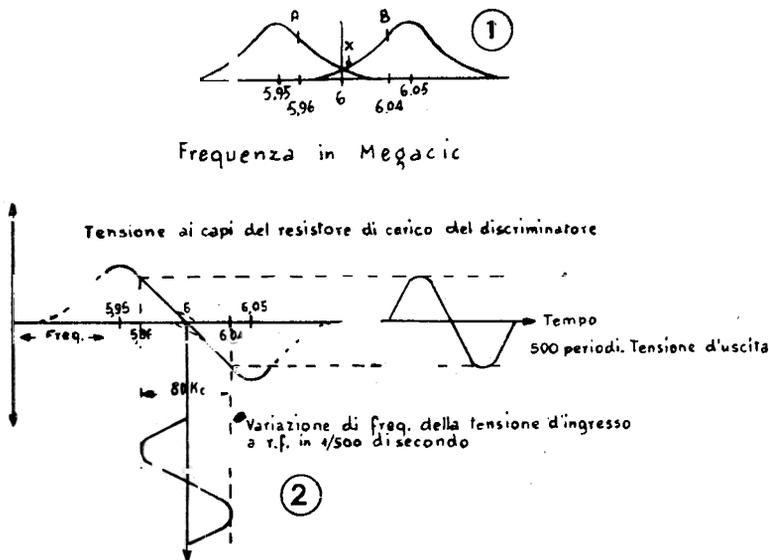


FIG. 206 - Onda di tensione ai capi della resistenza di carico del discriminatore.

quenza di 500 cicli) indicato alla destra della figura 206 (2). Le variazioni di frequenza di un'onda modulata di frequenza sono così cambiate nella forma di variazioni d'ampiezza ossia in audio segnale.

c) Un altro metodo di rivelazione dei segnali a m.f. consiste nell'applicare il segnale in arrivo ad un circuito accordato ad una frequenza *leggermente differente* da quella del segnale. Una frequenza più alta produrrà un aumento nella corrente nel circuito accordato, ed una frequenza più bassa provocherà una corrispondente diminuzione di corrente. Questo circuito converte quindi le

variazioni di frequenza in variazioni di ampiezza di corrente, che può allora essere inviata ad un comune rivelatore per modulazione d'ampiezza. Ciò spiega perchè in certe condizioni i segnali f.m. possono essere ricevuti con i ricevitori a modulazione d'ampiezza. Tuttavia, la qualità risultante da tale azione rivelatrice è molto scadente, data l'azione non lineare del circuito interessato.

d) La forma di discriminatore più largamente usata è quella conosciuta con il nome da circuito Foster-Seeley. L'azione del discriminatore Foster-Seeley in un circuito funzionante è descritta nel paragrafo 133 *j*).

e) L'uscita audio dello stadio discriminatore è quasi sempre applicata ad uno o più stadi di amplificazione audio prima di raggiungere l'altoparlante.

133. Circuito di un complesso rice-trasmittente con tubo di reattanza.

a) Il circuito di un complesso militare tipico a f.m. è quello del rice-trasmittente mostrato dalla figura 207. Questo apparato, conosciuto con il nome di SCR-509, è un complesso portatile f.m. in cui il trasmettitore ed il ricevitore sono costruiti sulla stessa intelaiatura. Il circuito è stato semplificato, mettendo sotto forma di diagramma a blocchi alcuni ben conosciuti stadi normali.

b) Sarà prima considerato il funzionamento del circuito del trasmettitore. Gli stadi di questo circuito trasmettitore comprendono un modulatore a tubo di reattanza, un oscillatore-duplicatore ad accoppiamento elettronico, un duplicatore in « push-pull » ed un amplificatore di potenza in « push-pull » che fornisce un segnale a radiofrequenza all'antenna.

c) La sezione oscillatore di un semplice oscillatore-duplicatore ad accoppiamento elettronico consiste in un convenzionale circuito Hartley in cui L_1 è la sezione di griglia della bobina e L_2 è la sezione di placca (fig. 207). La griglia schermo del tubo agisce come la placca della sezione oscillatrice del circuito. Il circuito di

placca del tubo raddoppia tutte le frequenze create dall'oscillatore e pure provvede all'accoppiamento con lo stadio separatore.

d) La modificazione di frequenza in questo trasmettitore è compiuta a mezzo dello stadio modulatore a tubo di reattanza. Il tubo T_2 è connesso in parallelo al circuito accordato dell'oscillatore attraverso C_6 ed il circuito del filamento, ed è fatto funzio-

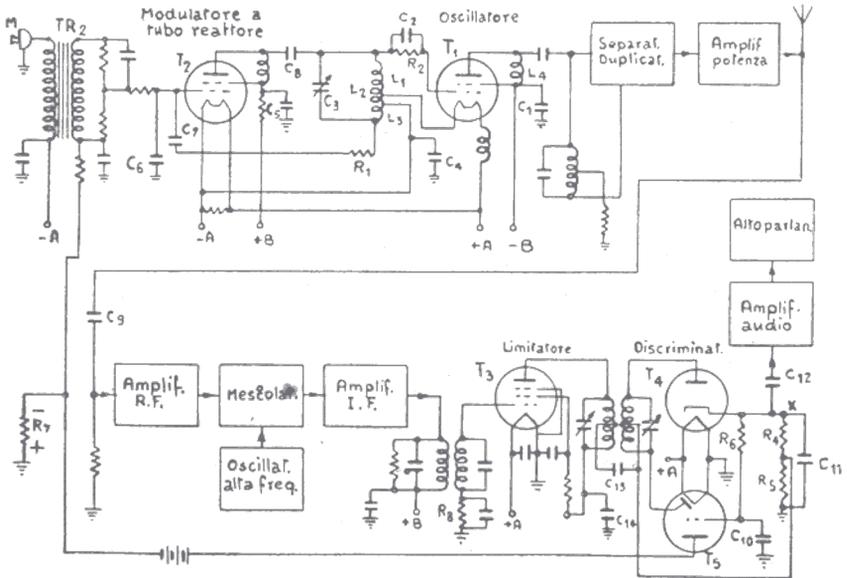


FIG. 207 - Diagramma semplificato della stazione radio SCR-509.

nare come un condensatore. Variando il valore della corrente che fluisce attraverso questo tubo, può pure essere variato il suo effetto capacitivo ai capi del circuito oscillante.

e) L'audiofrequenza creata dal microfono M (fig. 207) è applicata attraverso il trasformatore alla griglia del tubo reattore del modulatore T_2 . La corrente che attraversa il tubo varierà così in accordo con il segnale ad audiofrequenza, variando pertanto l'effetto capacitivo del tubo sul circuito oscillante e finalmente variando la frequenza con un ritmo audio. Questo segnale modu-

lato di frequenza è raddoppiato in frequenza nel circuito di placca dell'oscillatore e portato alle griglie del duplicatore in « push-pull », quindi all'amplificatore di potenza e finalmente all'antenna.

f) L'importo di deviazione lineare di frequenza ottenibile a mezzo di un sistema f.m. è limitato. Per questa ragione l'oscillatore è fatto funzionare ad una frequenza bassa, dopo di che la frequenza modulata è duplicata e l'uscita portata ad uno stadio duplicatore-separatore. Se due frequenze differenti sono portate ad un duplicatore, per esempio, 10 megacicli e 10,015 megacicli, le frequenze risultanti di 20 e 20,030 megacicli differiscono di 0,030 megacicli, ossia di un valore doppio del valore della differenza originale. In questo trasmettitore l'oscillatore è fatto funzionare ad una frequenza compresa fra 5 e 6,97 megacicli. Sotto modulazione, la frequenza è fatta deviare di quantità che va sino a 9 chilocicli. Questo segnale f.m. è raddoppiato in frequenza nella placca del circuito oscillatore ad accoppiamento elettronico ed alimentato alle griglie del duplicatore in « push-pull ».

Nel circuito di placca del duplicatore, che è accordato ad una frequenza doppia di quella per cui è accordato il suo circuito di griglia, sono ottenute una frequenza di riposo, quattro volte la frequenza originale dell'oscillatore, ed una deviazione di 36 chilocicli, che è quadrupla della deviazione originale. Questa tensione segnale è accoppiata a trasformatore all'amplificatore di potenza.

g) Nel sistema modulatore a tubo di reattanza, la modulazione di frequenza è eseguita alla sua sorgente, ossia nell'oscillatore. Sotto queste condizioni il controllo a quarzo delle oscillazioni è impossibile. L'oscillatore può non ritornare alla sua *frequenza di riposo* alla fine di ciascun ciclo dell'audiosegnale, ma può scorrere e cominciare a variare attorno a qualche altra frequenza diversa da quella di riposo. Per eliminare ciò è necessario qualche metodo di stabilizzazione della frequenza, quando si usa il metodo di modulazione a tubo di reattanza. Il sistema di stabilizzazione usato con questo trasmettitore è descritto sotto al capoverso *k*).

h) La sezione ricevitore del complesso radio SCR-509 è mostrata nella parte inferiore della figura 207. I circuiti conven-

zionali sono mostrati per semplicità sotto forma di diagramma a blocchi. Sia per il trasmettitore che per il ricevitore è usata la stessa antenna. Il segnale m. f. ricevuto è applicato attraverso il condensatore C_9 , il resistore R_3 e la massa, fra la griglia ed il filamento dell'amplificatore a radiofrequenza. Lo stadio a radiofrequenza è accordato ed accoppiato ad impedenza alla griglia dello stadio mescolatore. Il segnale dell'oscillatore è applicato ad un'altra griglia del mescolatore. Il segnale a frequenza intermedia prodotto nel circuito di placca del mescolatore è accoppiato a mezzo di trasformatore al circuito griglia-catodo del primo amplificatore a frequenza intermedia. Il segnale prodotto nel circuito di placca di questo stadio è accoppiato a mezzo di trasformatore al circuito di griglia del secondo amplificatore a frequenza intermedia. Il segnale amplificato nel circuito di placca di questo stadio è accoppiato a trasformatore al circuito di griglia del limitatore. Sino a questo punto, i circuiti di ciascuno stadio sono simili a quelli impiegati nei corrispondenti stadi di un ricevitore progettato per la ricezione dei segnali modulati in ampiezza. Tuttavia, vi è una differenza nella effettiva costruzione dei circuiti accordati. Qualche accorgimento, quale l'appropriato grado di accoppiamento e l'applicazione di resistori in parallelo con i circuiti accordati, è usato per realizzare l'appropriata caratteristica della banda passante.

i) Il circuito limitatore di questo ricevitore è del tipo convenzionale descritto nel paragrafo 131. Il taglio delle punte positive è compiuto nel circuito di griglia per effetto del flusso della corrente di griglia; il taglio delle punte negative è compiuto nel circuito di placca per effetto dell'interdizione della corrente di placca su queste punte. È sottinteso che il grande numero di stadi amplificatori impiegati nella prima parte del ricevitore porta l'ampiezza di qualunque segnale inizialmente debole ad un valore tale da subire l'azione di taglio del tubo.

Riferendoci alla figura 207, se è applicato un segnale troppo forte al limitatore, il flusso della corrente di griglia provocherà una forte caduta di tensione attraverso il resistore di griglia R_3 , bloccando così il limitatore. Per impedire ciò, lo stadio a radiofre-

quenza è così realizzato che i più forti segnali provocheranno un flusso di corrente di griglia attraverso R_3 , con conseguente taglio iniziale di questi segnali, riducendo così l'intensità del segnale ad un valore che permetterà il corretto funzionamento del limitatore. Il segnale che lascia il limitatore avrà allora un'ampiezza quasi costante e l'uscita del discriminatore avrà sentito soltanto gli effetti delle variazioni di frequenza del segnale.

j) Data la difficoltà di regolazione, il tipo di discriminatore f.m. a doppio circuito accordato [par. 132 b)] non è usato negli apparati f.m. di recente costruzione. Come nel ricevitore del complesso SCR-509, i più moderni ricevitori f.m. richiedono un circuito discriminatore della forma Foster-Seeley (fig. 207). Questo tipo di discriminatore opera partendo da una frequenza di riposo centrale a cui corrisponde una tensione d'uscita di valore zero. Su ciascun lato di questa frequenza, il discriminatore dà una tensione (attraverso i resistori di carico R_4 e R_5) di una polarità ed ampiezza che dipende dalla direzione e dall'importo di spostamento di frequenza. Il circuito Foster-Seeley richiede soltanto due circuiti accordati ed il funzionamento del circuito dipende dalle relazioni di fase esistenti in un trasformatore a secondario accordato. Queste relazioni di fase determinano l'applicazione di tensioni non uguali ai due diodi; tensioni che sono variabili e che fanno apparire attraverso la resistenza serie di due resistori di carico una tensione continua proporzionale alla differenza fra le tensioni a radiofrequenza applicate ai due diodi. Con il variare della frequenza del segnale in più e in meno rispetto alla frequenza risonante del discriminatore si sviluppa una tensione alternativa della stessa frequenza del segnale modulante originale che è trasferita all'amplificatore audio attraverso il condensatore C_{12} (fig. 207).

k) Nel trasmettitore mostrato nella figura 207, la frequenza dell'oscillatore è variata nel punto dove essa nasce. È pertanto impossibile il controllo a cristallo diretto dell'oscillatore, poiché la frequenza di un cristallo non può essere variata istantaneamente per un valore abbastanza grande. L'oscillatore è soggetto a scor-

rimenti di frequenza per effetto delle vibrazioni meccaniche e delle variazioni di tensione e temperatura. Poichè un oscillatore progettato per funzionare intorno ad una frequenza di riposo di 5 megacicli può portarsi a funzionare a qualche frequenza superiore o inferiore a 5 megacicli, deve essere usato qualche metodo di stabilizzazione per impedire ciò. Nell'SCR-509, il ricevitore agisce come uno stabilizzatore di frequenza quando è in funzione il trasmettitore. Una parte del segnale è prelevata dall'uscita del trasmettitore ed applicata attraverso C_9 (fig. 207) al circuito di griglia dello stadio a radiofrequenza del ricevitore. Questo segnale proveniente dal trasmettitore è molto forte. Per eliminare il bloccaggio del limitatore, lo stadio a radiofrequenza è progettato per esercitare un'azione di taglio sui segnali forti come conseguenza del flusso di corrente di griglia. Il segnale è trasferito al mescolatore, dove esso viene eterodinato con il segnale creato dall'oscillatore ad alta frequenza, controllato a cristallo, del ricevitore. Questa frequenza stabile dell'oscillatore a cristallo è chiamata la *frequenza di riferimento* del sistema di stabilizzazione, poichè essa è usata come campione di confronto per la stabilizzazione del trasmettitore. La frequenza intermedia prodotta è passata in avanti attraverso gli stadi successivi fino al discriminatore. Quando la modulazione dell'oscillatore del trasmettitore avviene attorno alla sua prestabilita frequenza di riposo, il segnale applicato al discriminatore varierà per valori uguali su ciascun lato della frequenza a cui è accordato il trasformatore del discriminatore. Il segnale audio prodotto fra il punto X e la massa (fig. 207) eseguirà escursioni uguali in direzione positiva e in direzione negativa partendo dalla tensione zero (tratto $A-B$ della fig. 208). Questo segnale è applicato attraverso il filtro audio (fig. 207) e costituito da R_6 e C_{10} , alla griglia della sezione triodo di T_5 . Il filtro toglie le componenti audio, non facendo quindi arrivare alcuna tensione di controllo audio sulla griglia. Il triodo eroga la sua normale corrente di placca e provoca una caduta normale di tensione attraverso R_7 , che così provvede alla polarizzazione normale del tubo di reattanza T_2 (fig. 207). Se, per effetto dello scorrimento, la modulazione dell'oscillatore avviene attorno ad una frequenza più bassa

della prestabilita frequenza di riposo, la frequenza intermedia del ricevitore varierà attorno a qualche frequenza più bassa della frequenza di risonanza del discriminatore. La tensione audio di uscita del discriminatore varierà allora in misura uguale intorno ad un certo valore di tensione positiva, che sarà assunto di 3 volt, come indicato dal tratto *B-C* di figura 208. La componente audio è eliminata a mezzo di R_6 e C_{10} , ottenendosi una tensione media positiva di controllo di 3 volt applicata alla griglia della sezione

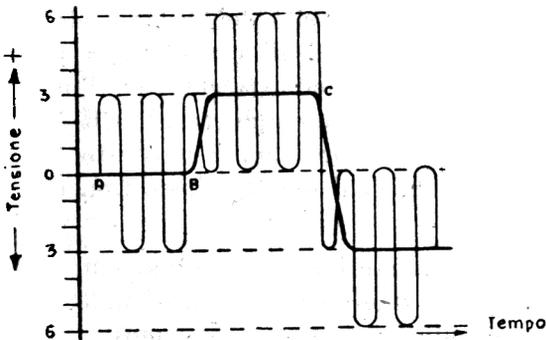


FIG. 208 - Segnale audio risultante dalla variazione della frequenza di riposo.

triodo di T_5 . Ciò provoca un aumento di corrente attraverso R_7 nel circuito di placca del tubo. L'accresciuta caduta prodotta da questa corrente aumenta la polarizzazione del tubo di reattanza, facendo diminuire così la trasconduttanza del tubo e pertanto facendo decrescere l'effetto capacitivo del tubo sul circuito oscillante. Questo provoca il ritorno ad un valore di frequenza approssimativamente uguale alla propria frequenza di riposo. Questa azione correttiva o stabilizzante è estremamente rapida. Uno scorrimento della frequenza dell'oscillatore verso un valore più alto della frequenza di riposo determina una tensione media negativa. Ciò fa decrescere la corrente attraverso R_7 (fig. 207), con conseguente aumento dell'effetto capacitivo di T_2 sul circuito oscillante e quindi la frequenza dell'oscillatore ritorna ad un

valore approssimativamente uguale a quello dell'appropriata frequenza di riposo. Questo metodo di stabilizzazione è molto importante nei circuiti a f.m. impieganti oscillatori autoeccitati.

134. Circuito del complesso rice-trasmittente modulato di fase.

a) I vantaggi relativi alla riduzione di rumore della modulazione di frequenza sono stati messi in pratica nei trasmettitori e ricevitori militari a f.m. progettati per le comunicazioni fra mezzi corazzati. Malgrado l'alto livello dei disturbi elettrici generatori di rumori incontrato nei veicoli corazzati, si possono eseguire delle comunicazioni molto soddisfacenti con l'impiego di questi equipaggiamenti, come per esempio con l'SCR-508. Un circuito semplificato del trasmettitore f.m. è mostrato dalla figura 209 ed un diagramma a blocchi del ricevitore f.m. è mostrato dalla figura 213.

b) Sarà considerato prima il funzionamento del circuito del trasmettitore. Poichè molti stadi mostrati dalla figura 209 sono stati precedentemente studiati, essi sono mostrati, per semplicità, sotto forma di diagramma a blocchi. Le sole parti del trasmettitore che sono differenti dai circuiti precedentemente discussi sono mostrate in forma circuitale. I circuiti radio, per quanto riguarda la modulazione di frequenza, sono molto semplici, come si vede dalla figura.

c) Il primo stadio del trasmettitore è un oscillatore controllato a cristallo che impiega un circuito oscillatore tipo Pierce di grande stabilità.

L'oscillatore Pierce è un oscillatore Colpitts in cui l'induttanza del circuito oscillante è sostituita da un cristallo. Questo oscillatore opera con uno qualunque degli 80 cristalli disponibili, le frequenze dei quali coprono una gamma che si estende da 370,37 a 516,667 chilocicli. Un gruppo di 10 di questi cristalli prescelti è installato in uno speciale compartimento che è provvisto di un termostato per mantenere la stabilità di frequenza dei cristalli. Uno qualunque dei canali corrispondente ad uno dei 10 cristalli,

può essere scelto in qualunque istante a mezzo di un meccanismo comandato a pulsante.

d) L'uscita dell'oscillatore a cristallo è applicata al primo amplificatore a radiofrequenza ossia allo stadio separatore. Fatta eccezione del circuito accordato di placca, questo stadio è un comune amplificatore a radiofrequenza, a pentodo con resistore di polarizzazione di griglia. Gli scopi dello stadio sono quelli di fornire una certa amplificazione e di isolare l'oscillatore dagli altri

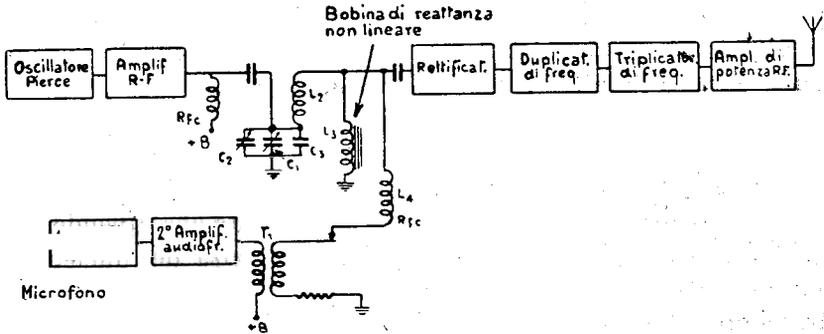


FIG. 209 - Circuito semplificato del trasmettitore F.M. della stazione SCR-508.

stadi. Il circuito di placca del separatore non è di tipo corrente, e questo è la sola parte del trasmettitore che richiede una spiegazione dettagliata.

e) Lo stadio separatore è provvisto di alimentazione parallelo a mezzo della bobina L_1 . Il circuito accordato di placca comprende le bobine L_2 e L_3 in serie. Queste bobine sono accordate alla frequenza dell'oscillatore a mezzo del condensatore variabile C_1 ed il « trimmer » C_2 . Il condensatore C_3 è una capacità di compensazione di temperatura. Si può vedere che una parte della tensione a radiofrequenza del circuito di placca del separatore sarà sviluppata attraverso L_2 ed una parte attraverso L_3 . In aggiunta alla corrente a radiofrequenza che fluisce attraverso L_3 , su questa bobina fluirà anche una corrente ad audiofrequenza giacchè l'uscita della sezione audio (consistente nel microfono, primo e secondo

audio amplificatore e trasformatore d'uscita T_3) è applicata attraverso la bobina di arresto per la radiofrequenza L_4 ed attraverso L_3 che ha un'estremità a massa. Questa bobina, chiamata *bobina di reattanza non lineare del modulatore*, provvede alla modulazione del trasmettitore. Il funzionamento di questa bobina è basato sulla sua caratteristica secondo la quale si satura quando è attraversata da un piccolo valore di corrente.

f) Riassumendo brevemente qualche nozione relativa alla saturazione di una bobina, sarà ricordato che quando fluisce una corrente attraverso una bobina si crea attorno alla bobina una forza magnetomotrice, l'intensità della quale dipende dal valore della corrente che attraversa la bobina. Questa forza in un circuito magnetico, può essere paragonata alla tensione di un ordinario circuito elettrico. Questa forza magnetomotrice origina un flusso che si concatena con la bobina ed è paragonabile alla corrente di un circuito ordinario, ed ha una densità che dipende dalla riluttanza del nucleo della bobina. La riluttanza del nucleo, che può essere confrontata alla resistenza di un circuito elettrico, ha un valore che dipende dal materiale di cui è costituito il nucleo. La riluttanza di un nucleo ad aria rimane costante, indipendentemente dalla corrente. Questo vuol dire che la densità di flusso è proporzionale sia alla corrente che alla forza magnetomotrice. Tuttavia, quando il nucleo è costituito da una sostanza magnetica, la riluttanza non è più costante al variare della corrente. Più precisamente quando la corrente inizia a fluire la riluttanza è molto bassa ed il flusso è molto alto in confronto a quello esistente in una bobina con nucleo d'aria sotto condizioni simili. Aumentando la corrente, la riluttanza aumenta gradualmente e diminuisce la variazione di accrescimento del flusso. Dopo che la corrente ha raggiunto un certo valore, che dipende dal nucleo del materiale usato, la riluttanza aumenta molto rapidamente sino a che il suo valore diventa molto vicino a quella dell'aria. In corrispondenza di questo valore, un ulteriore aumento di corrente non produrrà un aumento apprezzabile del flusso. Questa condizione è chiamata *saturazione*. Due curve $B-H$, in ciascuna delle quali è rilevata la *forza magnetizzante* rispetto al *flusso*, sono mostrate nella figura 210:

una è relativa al « permalloy » e l'altra al « ferro armco ». Da notare come il permalloy raggiunga prontamente la saturazione in confronto al ferro armco. Il modulatore a bobina non lineare usato in questo trasmettitore a m.f. è una spirale di filo avvolta su un nucleo cilindrico di nastro di permalloy. Per effetto di questo permalloy, il nucleo raggiunge la saturazione con valori relativamente piccoli di corrente a radiofrequenza. Come indicato dalla curva $B-H$ di figura 210, la variazione di flusso nel tratto che precede la saturazione è molto ripida. Applicando una tensione sinoidale alla bobina, quando la corrente che l'attraversa aumenta

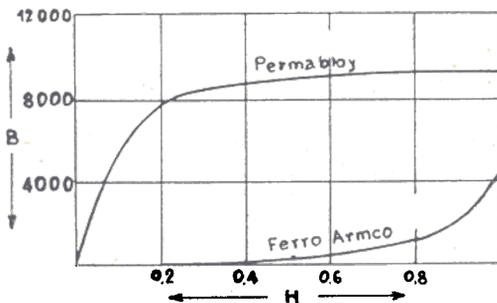


FIG. 210 - Curve $B-H$ per la bobina di reattanza non lineare del modulatore.

da zero a qualche valore tale come A (fig. 211), vi è un rapido aumento del flusso fino a raggiungere la saturazione del nucleo. Quando la corrente aumenta dal valore indicato con A , arriva al suo valore massimo e quindi decresce sino al valore indicato con B , e non vi è variazione di flusso, poichè il nucleo rimane saturo durante questo periodo di variazione di corrente. Quando la corrente diminuisce oltre il punto di saturazione B (fig. 211) fino a raggiungere il valore zero, vi è una rapida variazione di flusso nella direzione opposta. Quando la corrente aumenta nella direzione opposta da zero sino a C il flusso continua a variare rapidamente e raggiunge ancora la saturazione. Continuando la corrente a crescere da C al suo valore massimo e quindi decrescendo al valore indicato con D , non vi è ancora variazione di

flusso, poichè il nucleo è saturo durante questo periodo di variazione di corrente. Quando la corrente decresce dal valore di saturazione e quindi raggiunge il valore E , vi è ancora una rapida variazione di flusso. Questa variazione di flusso si ripete per ogni ciclo. Sarà ora ricordato che è indotta una forza elettromotrice soltanto per effetto di una variazione di flusso e che inoltre il valore di questa forza elettromotrice dipende dalla rapidità di variazione di quel flusso. Conseguentemente, non vi è forza elettromotrice

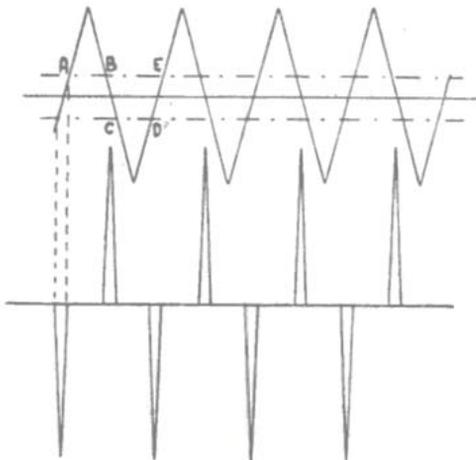


FIG. 211 - Impulsi di tensione sviluppati ai capi della bobina di reattanza non lineare del modulatore.

indotta durante quei periodi del ciclo fra A e B , C e D , ecc., poichè non vi è variazione di flusso durante questi periodi. Per contro durante gli intervalli fra B e C , D e E , ecc., vi è una rapidissima variazione di flusso che determina l'induzione di un impulso di tensione di forte ampiezza, come mostrato dalla parte inferiore di figura 211. Da notare che ciascuno di questi impulsi di tensione avviene esattamente 90° dopo le punte di corrente. Poichè questa differenza di fase è costante per ciascun ciclo quando è applicata una tensione pura a radiofrequenza, non vi è variazione nella frequenza. Tuttavia, come è stato accennato

quando si faceva riferimento alla figura 209, in aggiunta alle correnti a radiofrequenza fluenti attraverso L_3 , vi sono pure le correnti di uscita ad audiofrequenza che l'attraversano. Le correnti audio e le correnti a radiofrequenza sono mostrate rispettivamente nelle figure 212 (1) e 212 (2), ed esse formano una corrente risultante come indicato dalla figura 212 (3). Come si può vedere da questo diagramma, le correnti a radiofrequenza non attraversano più i punti di valore zero dopo gli stessi intervalli di tempo, come si verifica per la corrente a radiofrequenza originale. Si trova, invece, che gli intervalli sono differenti per ciascun ciclo.

g) Riferendoci alle figure 212 (2) e (3) e con l'aiuto delle linee verticali a tratti di riferimento, si vede che la corrente risultante (3) taglia i valori zero negli stessi istanti della corrente portante originale (2) solo quando il ciclo audio passa anche esso per i suoi valori zero. Ciò avviene in corrispondenza dei punti A , B e C . Durante l'alternanza positiva del ciclo audio, i valori zero della corrente risultante (3) si hanno dopo (per un numero variabile di gradi) dei corrispondenti valori zero della corrente portante originale. Durante l'alternazione negativa del ciclo audio, i valori zero della corrente risultante (3) si hanno prima (per un numero variabile di gradi) dei corrispondenti valori zero della corrente portante originale (2).

Come indicato dalla figura 212 (4), i risultanti impulsi di tensione induttiva appariranno quando questa corrente risultante passa attraverso i propri valori di zero. La larghezza di questi impulsi è delimitata dalle linee D ed E di (3). Questi impulsi di tensione si verificano sia nella direzione positiva che nella direzione negativa. Il risultato complessivo è che l'intervallo di tempo fra gli impulsi di tensione positiva di (4) è massimo quando il ciclo audio passa dalla sua alternanza negativa alla sua alternanza positiva, mentre è minimo quando il ciclo audio passa dalla sua alternanza positiva alla sua alternanza negativa. Durante le punte di entrambe le alternazioni, positiva e negativa, il periodo fra gli impulsi raggiunge un valore intermedio. In questo modo sono prodotte le frequenze basse, alte e di riposo.

Dall'esame di (4), si vede che le alte frequenze nella direzione positiva si verificano nello stesso punto delle basse frequenze nella direzione negativa, e le basse frequenze nella direzione positiva avvengono nello stesso punto delle alte frequenze nella direzione negativa. Le frequenze di riposo di entrambe si verificano negli stessi punti. La differenza di ampiezza degli impulsi di tensione è dovuta alla differenza nella rapidità di variazione di corrente in questi punti, quando essa passa attraverso l'area fra i limiti di saturazione, punti *D* ed *E* in (3). La rapidità di variazione di corrente nel punto *X* in (3) è minore di quella del punto *Y*. Tuttavia, queste variazioni di ampiezza, sono soppresse dall'azione del limitatore.

h) Per effetto di questa relazione di tempo fra gli impulsi positivi e negativi, gli uni o gli altri debbono essere eliminati a mezzo di rettificazione, per evitare serie distorsioni di frequenza. Dopo la rettificazione, il segnale apparirà come indicato in (5), con l'intervallo di tempo fra ciascun impulso gradualmente crescente fino ad un massimo e successivamente decrescente ad un minimo secondo una variazione a frequenza audio. Quando questi impulsi di tensione sono applicati ad un circuito accordato, per azione dell'effetto volano, è creata un'onda regolare avente sia alternanze positive che negative. Questa onda avrà lo stesso intervallo variabile di tempo fra le punte positive degli impulsi di tensione applicati. Questa onda è mostrata in (6). I trattini verticali lungo l'asse dell'onda indicano i punti in cui l'onda originale (2) passa attraverso lo zero, aiutando così a visualizzare la variazione di fase fra le onde di (2) e di (6).

Per maggior chiarezza di disegno la variazione di fase è stata esagerata.

i) Agendo con qualche mezzo su una corrente e su una tensione in modo che siano variati gli intervalli di tempo dopo i quali essa assume i suoi diversi valori istantanei, si opera un cambiamento di fase. Durante il ciclo in cui avviene questo cambiamento, il periodo del ciclo è stato aumentato o diminuito e durante quel particolare ciclo, la frequenza diventa più bassa o più alta.

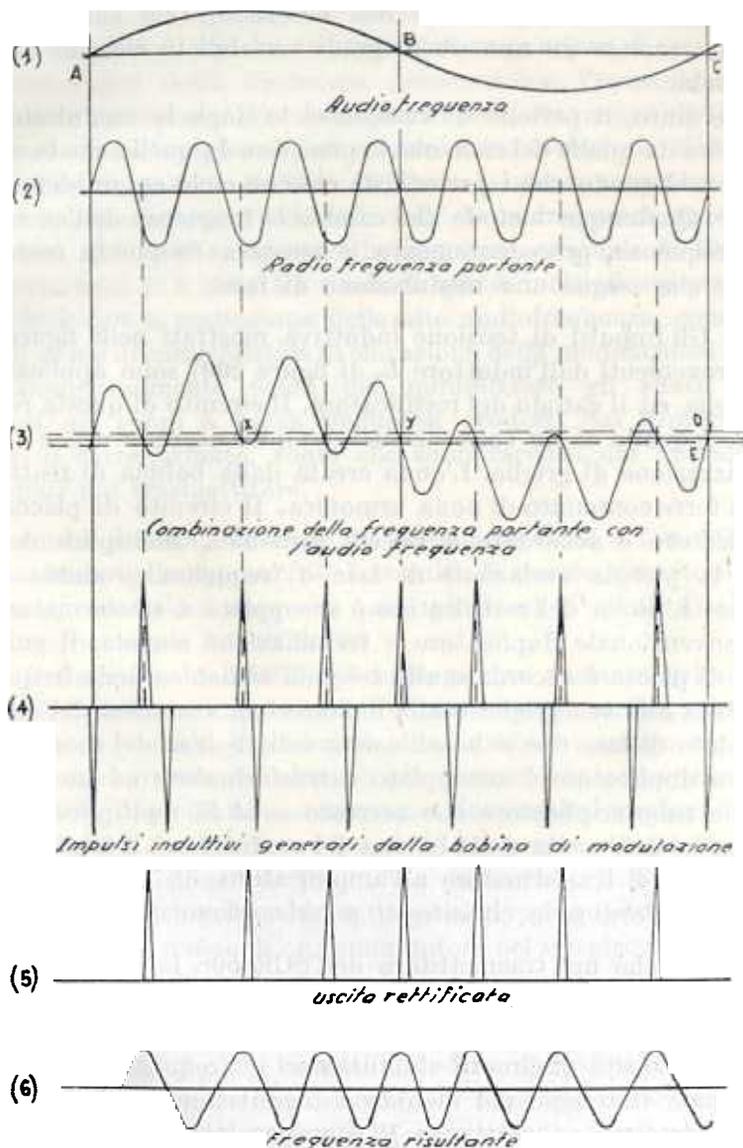


Fig. 212 - Sviluppo di una frequenza modulata di fase a mezzo di una induttanza a nucleo saturo.

Nel sistema di modulazione ora descritto, tale cambiamento avviene secondo un numero di gradi variabili in ciascun successivo ciclo.

Pertanto, il periodo di ciascun ciclo dopo la modulazione è differente da quello del ciclo che lo precede e da quello che lo segue, pur considerando che i periodi di ciascun ciclo erano identici in origine. Qualunque metodo che cambia la frequenza dell'energia a radiofrequenza, precedentemente generata a frequenza costante, si dice che esegue una modulazione di fase.

j) Gli impulsi di tensione induttiva mostrati nella figura 212 (4) (provenienti dall'induttore L_3 di figura 209) sono applicati fra la griglia ed il catodo del rettificatore. Il circuito di questo rettificatore è quello di un convenzionale amplificatore in classe *C* con polarizzazione di griglia. L'onda creata dalla bobina di reattanza ha un forte contenuto di nona armonica. Il circuito di placca del rettificatore è accordato a questa armonica, moltiplicando per nove la piccola variazione di fase o frequenza prodotta dalla bobina. L'uscita del rettificatore è accoppiata a trasformatore ad un convenzionale duplicatore a terminazione singola, il cui circuito di placca è accordato alla seconda armonica della frequenza applicata alla sua griglia o alla diciottesima armonica del segnale modulato di fase che si ha all'uscita della bobina del modulatore. Questo duplicatore è accoppiato a trasformatore ad un convenzionale tubo triplicatore che accresce a 54 la moltiplicazione di frequenza dell'uscita della bobina del modulatore. Il triplicatore è accoppiato a trasformatore all'amplificatore di potenza che è dotato dell'ordinario circuito di polarizzazione di griglia.

k) Poichè nel trasmettitore dell'SCR-508 la modulazione è effettuata dopo lo stadio amplificatore a radiofrequenza o separatore, l'oscillatore può essere controllato a cristallo, eliminando così la necessità di circuiti stabilizzatori di frequenza. Questo è il principale vantaggio del metodo a modulazione di fase rispetto al metodo a tubo di reattanza. Vi è una caratteristica della modulazione di fase che deve essere corretta prima del punto in cui diventano simili le uscite finali di entrambi i sistemi a tubo di reattanza

e a modulazione di fase. Nel variare la frequenza di una tensione a radiofrequenza *costante*, il ritmo della *variazione di fase*, e conseguentemente della frequenza, aumenta con l'aumentare della frequenza modulante. Per esempio, un'audiofrequenza di 100 cicli e di una certa ampiezza può causare una deviazione di 2 chilocicli. Una frequenza di 1000 cicli con la stessa ampiezza provocherà una deviazione di 20 chilocicli. Se la frequenza modulante aumenta di 20 volte rispetto alla frequenza originale di 100 cicli, la deviazione di 2 chilocicli risulterà quindi moltiplicata per venti. Nell'SCR-508 la esaltazione delle alte audiofrequenze, conosciuta con il nome di caratteristica di elevazione della modulazione di fase, è vantaggiosamente usata per minimizzare gli effetti interferenti dei suoni a bassa frequenza prodotti dai rumori locali entro il carro armato, suoni che sono raccolti dal microfono e irradiati dal trasmettitore.

l) La sezione ricevitore del complesso radio a f.m. SCR 508 è mostrata nella figura 213. I circuiti di questo ricevitore sono, salvo due eccezioni notevoli, quasi gli stessi di quelli usati nella sezione ricevitore dell'SCR-509.

Il ricevitore dell'SCR-508 impiega una variante del circuito base del limitatore per renderlo interamente nuovo, chiamato circuito « squelch ». Il discriminatore usato in questo ricevitore f.m. è una variante del circuito già descritto in connessione con l'SCR-508. L'oscillatore a frequenza intermedia impiega un circuito Hartley che fornisce un segnale per generare le 10 frequenze selezionabili a mezzo di pulsante e permettere l'allineamento di emergenza del ricevitore. In tutti gli altri casi questo oscillatore è reso inattivo a mezzo di un commutatore nel suo circuito di placca.

m) Il circuito limitatore per questo ricevitore f.m. è mostrato dalla figura 214. La variante è data dalla presenza della bobina d'arresto audio L_1 , nel circuito catodico, che è usata per esercitare un'azione limitatrice a mezzo di controreazione sui segnali troppo deboli e di valori tali da non risentire l'azione di taglio delle punte negative dovuta al ginocchio inferiore della curva caratteristica del tubo. I segnali deboli hanno le loro punte posi-

tive tagliate per effetto del flusso di corrente di griglia quando la griglia è portata a valori positivi. Giacchè un segnale può essere troppo debole per cui la sua punta negativa non è in grado di portare il tubo all'interdizione, il taglio delle punte negative potrà non essere compiuto per effetto della normale azione limitatrice del tubo. Una componente audio provocata da variazioni di ampiezza apparirà allora nel circuito di placca. La bobina di arresto L_1 ed un condensatore C_1 nel circuito catodico offrono un'alta impedenza a questa componente audio, producendo una corrispondente caduta di tensione. Questa tensione appare nel circuito

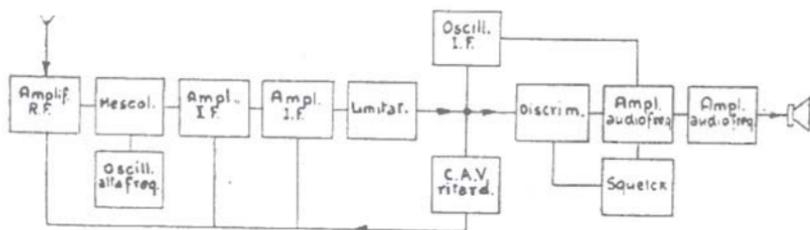


FIG. 213 - Schema semplificato del ricevitore a M.F. della S.C.R.-508.

griglia-catodo e rende positivo il catodo rispetto alla massa. Essa, pertanto, tenderà a rendere la griglia più negativa quando la componente audio agisce sulla griglia con polarità tale da renderla più positiva. Ciò fornisce un effetto di controreazione o di cancellazione della modulazione in ampiezza passiva dei segnali deboli. Con questa disposizione, anche i segnali deboli saranno di ampiezza all'incirca costante quando applicati al rivelatore.

n) In questo circuito f.m. è previsto un circuito « squelch » per eliminare la ricezione dei rumori negli intervalli fra i messaggi o quando il segnale non è forte abbastanza da permettere una ricezione utile. Questo tipo di circuito appartiene al gruppo dei circuiti di controllo, che comprende il controllo automatico di volume ritardato, ecc. Il circuito squelch non è fondamentalemente un dispositivo per modulazione di frequenza, giacchè esso è pure usato in qualche ricevitore a modulazione di ampiezza.

o) Per comprendere il circuito squelch occorre possedere qualche cognizione circa il modo di togliere i rumori, disturbi od interferenze dagli stadi a radiofrequenza del ricevitore a modulazione di frequenza. Se un segnale modulato di frequenza è di intensità sufficiente, gli impulsi statici sporadici si sovrapporranno all'onda della frequenza portante nella forma di variazione di ampiezza e saranno eliminate dalla normale azione del limitatore. Tuttavia, se il segnale modulato in frequenza è di intensità minore del doppio dell'intensità degli impulsi del rumore, la

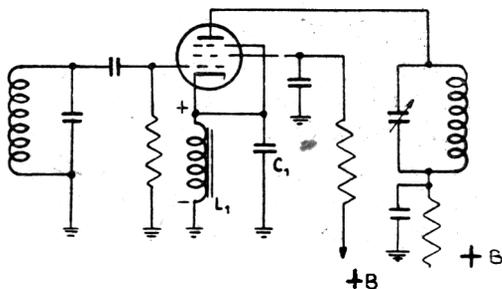


FIG. 214 - Circuito semplificato di un duplicatore nel ricevitore dell' SCR-508.

risultante di questa combinazione sarà un'onda complessa che può avere molte frequenze caratteristiche degli impulsi di rumore. L'azione di taglio del limitatore non toglierà la componente rumore di questo segnale. Il solo limitatore è pure inefficace quando non si sta ricevendo nessuna onda a radiofrequenza e l'antenna è esposta agli impulsi di rumore, poichè il taglio delle punte non eliminerà completamente gli impulsi di rumore.

p) Durante la spiegazione di questo circuito, sarà fatto riferimento alla figura 215, che mostra un diagramma semplificato del tubo squelch T_1 e dei suoi circuiti associati. Il retto del ricevitore f.m. è mostrato per semplicità in forma di diagramma a blocchi. Il resistore R_4 del divisore di tensione è connesso fra la griglia ed il catodo del tubo squelch T_1 attraverso un complesso di resistori serie-parallelo. Questo complesso consiste nelle bran-

che serie di R_{11} e R_9 in parallelo con le branche R_{10} e R_{12} e R_{13} e R_{14} . Il complesso serie-parallelo costituito da R_9 , R_{10} , R_{11} e R_{12} , forma pure il carico del discriminatore. Quando non vi è segnale applicato al discriminatore come, per esempio, nel periodo fra due messaggi, non vi è tensione sviluppata ai capi di R_9 e R_{10} . Il solo voltaggio nel circuito di griglia è quello sviluppato attraverso il resistore R_4 del divisore di tensione, provocando così un'elevata corrente nel circuito di placca del tubo T_1 . La tensione di placca per questo circuito è ottenuta da quella esistente ai capi di R_4 ed R_5 del divisore di tensione ed attraverso R_{16} , che è pure nel circuito di griglia del primo stadio audio. La tensione sviluppata attraverso questo resistore è grande abbastanza in ampiezza e della polarità corretta (indicata in figura) da bloccare il primo stadio audio. In questo modo, gli impulsi di rumore ed il fruscio, non possono raggiungere l'altoparlante in assenza di segnale in arrivo. Quando un segnale a radiofrequenza in arrivo è captato dall'antenna, vi sarà una caduta di tensione ai capi di R_9 e R_{10} , con la polarità indicata, per effetto del funzionamento normale del discriminatore. Queste tensioni fra loro in parallelo ed in serie con la tensione ai capi di R_4 , sono applicate attraverso R_{11} e R_{12} , ed i resistori filtro R_{13} e R_{10} , fra la griglia ed il catodo del tubo T_1 . La polarità delle tensioni R_9 e R_{10} tende a rendere negativa la griglia del tubo squelech rispetto al catodo. Quando la tensione ai capi di R_9 e R_{10} è abbastanza grande, come risultato di un segnale d'intensità sufficiente, da superare la tensione di R_4 e portare il tubo T_1 all'interdizione, non vi sarà corrente nel circuito di placca di T_1 . Allora non vi sarà tensione sviluppata ai capi di R_{16} e l'alta tensione negativa di polarizzazione è rimossa dalla griglia del primo stadio audio permettendogli di ritornare al suo funzionamento normale. Lo scopo del complesso resistori-condensatori costituito da R_{13} , R_{14} , C_1 e C_2 è di filtrare via tutte le variazioni audio della tensione sviluppata ai capi di R_9 e R_{10} prima che essa sia applicata alla griglia del tubo squelech.

Il circuito squelech risponderà allora all'intensità media del segnale, anziché alle variazioni istantanee di esso. Quando è stata completata la ricezione del messaggio e non vi è nuovo segnale

presente all'antenna, non vi sarà caduta di tensione ai capi di R_9 e R_{10} e la griglia del tubo squelch diventerà ancora positiva rispetto al catodo per un importo dato dalla caduta di tensione attraverso R_4 . La corrente risultante nel circuito di placca di T_1 provocherà ancora una caduta abbastanza forte attraverso R_{16} da bloccare il primo stadio audio.

q) Il commutatore S è usato per inserire e disinserire in funzionamento il sistema squelch. Nella posizione di escluso viene

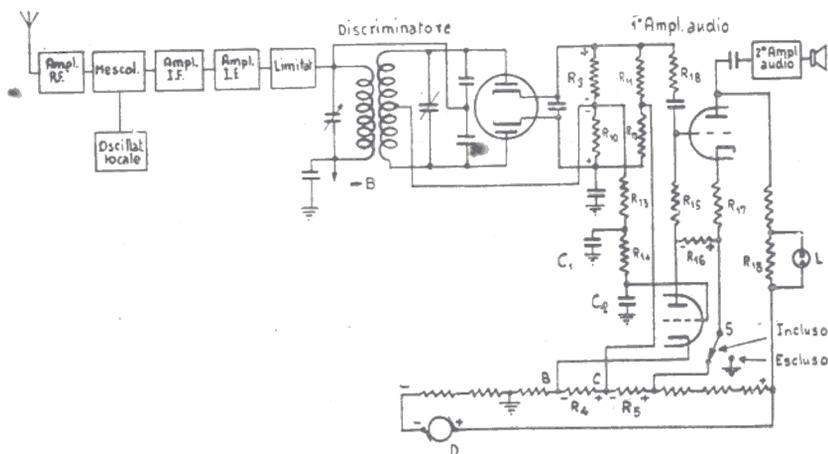


Fig. 215 - Diagramma semplificato del circuito a sistema «Squelch» usato in F.M. del ricevitore SCR-508.

messò a massa il circuito catodico del primo stadio audio sotto il resistore catodico, consentendo così il funzionamento di quello stadio. Con questa stessa operazione si mette a massa la placca del tubo squelch, portandola ad un potenziale più basso di quello del catodo dello stesso squelch, e così si viene a bloccare il tubo squelch. Ciò risente la ricezione dei segnali non abbastanza forti da essere in grado di azionare il circuito squelch.

r) Una rifinitura interessante di questo sistema squelch è data dal resistore R_{18} di 2 megahom sciuntato dalla lampada al neon L nel circuito di placca del primo stadio audio. Quando non

si sta ricevendo il segnale, l'azione dello squeleh polarizza il primo stadio audio all'interdizione. Allora non vi è corrente nel circuito di placca del primo stadio audio, non vi è tensione ai capi di R_{18} e la lampada al neon L non si accende. Quando appare un segnale all'antenna ricevente, l'azione del circuito squeleh determina un flusso di corrente nel circuito di placca del primo stadio audio e quindi una caduta di tensione ai capi di R sufficiente ad ionizzare la lampada al neon L_{18} facendola illuminare. Questa lampada è montata sul pannello frontale del ricevitore e può servire come un'efficiente avvisatore di chiamata per avvisare l'operatore all'inizio di un messaggio.

135. Prestazioni dei sistemi a modulazione di frequenza.

a) I trasmettitori a modulazione di frequenza sono in generale relativamente semplici ed è richiesta una piccola potenza per compiere la modulazione. Per contro, i complessi ricevitori a f.m. sono alquanto più complicati dei sistemi ricevitori a modulazione di ampiezza. I ricevitori per f.m. sono essenzialmente delle supereterodine nelle quali è data particolare importanza agli stadi del limitatore e del discriminatore.

b) La modulazione di frequenza presenta due importanti vantaggi rispetto alla modulazione di ampiezza.

1) Il rumore può essere facilmente ridotto ad un valore trascurabile nella maggior parte dei casi.

2) Nella trasmissione a modulazione di frequenza data l'ampiezza costante del segnale d'uscita, la potenza non varia quando è modulata la portante del segnale. Come conseguenza, i tubi possono essere fatti funzionare continuamente alla massima uscita, e non è necessaria una riserva di potenza dell'alimentatore per essere aggiunta sulle punte di modulazione, come è invece necessario nella modulazione d'ampiezza.

c) La modulazione di frequenza presenta due importanti svantaggi rispetto alla modulazione di ampiezza.

1) Uno svantaggio, da un punto di vista tattico, è dato dal fatto che di due stazioni operanti su frequenze molto vicine, un

ricevitore sente normalmente soltanto il trasmettitore più forte, i segnali provenienti dalla stazione più debole sono completamente inavvertiti nel rumore di fondo del segnale più forte. Ciò è dovuto, in parte, alla larga banda di frequenze che è necessaria per ogni canale. Poichè gli impulsi di rumore hanno qualche piccolo effetto sulla frequenza della portante, la deviazione usata deve essere grande in confronto con le variazioni di frequenza provocate dagli impulsi di rumore. In queste condizioni, qualunque variazione dovuta al rumore sarà trascurabile rispetto al segnale desiderato.

2) Per effetto di ciò, l'impiego della modulazione di frequenza è confinato alle alte frequenze, dove è disponibile la larghezza di banda richiesta. Questo è per sè stesso un altro svantaggio, poichè a queste alte frequenze le onde radio si comportano quasi come le onde luminose e l'area di servizio di un trasmettitore è confinata approssimativamente alla linea d'orizzonte della sua antenna. Tuttavia, in compenso, i disturbi statici sono generalmente a queste frequenze d'intensità minori di quelli che si verificano alle più basse frequenze delle comunicazioni.

d) Un confronto fra la modulazione di frequenza e la modulazione di ampiezza è dato nella Tabella VII.

136. Fac-simile.

a) Il fac-simile è un sistema di trasmissione e di ricezione di qualunque «intelligenza» che può essere registrata sulla carta, tale come disegni, fotografie, schizzi e mappe. Il fac-simile differisce dalla televisione in quanto il primo trasmette soltanto soggetti fissi, come fotografie e pagine stampate mentre la seconda tratta anche scene mobili. I problemi del fac-simile sono molto più semplici di quelli della televisione. Il principale problema di qualsiasi schema di fac-simile è quello di ottenere un mezzo trasmittente, capace di alta fedeltà di riproduzione, delle correnti ad audiofrequenza. Tale mezzo è per l'appunto fornito da un sistema radio a modulazione di frequenza.

TABELLA VII
**CONFRONTO FRA MODULAZIONE DI AMPIEZZA
 E MODULAZIONE DI FREQUENZA**

	Modulazione d'ampiezza	Modulazione di frequenza
Livello del segnale del trasmettitore	Varia con il livello della modulazione	Rimane costante durante la modulazione
Ampiezza della tensione modulante	La tensione modulante determina la variazione istantanea nel livello del segnale. Più forte è il segnale audio e più grande è la variazione istantanea nel livello della portante	La tensione modulante determina la deviazione istantanea nella frequenza della portante. Più forte è la deviazione di frequenza
Frequenza della tensione modulante	La frequenza della tensione modulante determina il ritmo di variazione dell'ampiezza dell'onda a radiofrequenza	La frequenza della tensione modulante determina il ritmo con cui varia la frequenza portante fra i suoi valori di alto e basso
Bande laterali trasmesse	La larghezza delle bande laterali trasmesse è determinata dalla frequenza dell'onda modulante. Attualmente il limite generale è di più e meno 5 chilocicli da ciascun lato della portante	La larghezza delle bande laterali trasmesse è determinata dall'ampiezza della tensione modulante. Il limite attuale negli apparati militari è di 40 chilocicli in più ed in meno della frequenza di riposo. In aggiunta vi è una banda di guardia di 20 chilocicli per la separazione dei canali adiacenti
Potenza modulante	La potenza del modulatore per la modulazione di ampiezza di placca è una metà della potenza d'ingresso di placca allo stadio modulato	La potenza del modulatore per la modulazione di frequenza è trascurabile - deve solo compensare la perdita di placca nel tubo modulatore

Segue: TABELLA VII

	Modulazione d'ampiezza	Modulazione di frequenza
Potenza portante	L'amplificatore finale deve essere capace di fornire una potenza quattro volte superiore alla prestabilita potenza portante nelle punte del 110 % di mobilitazione	L'amplificatore finale deve essere in grado di fornire soltanto la prestabilita potenza portante
Limitazione di frequenza	Con modulazione di ampiezza si può praticamente lavorare su qualunque frequenza radio	La modulazione di frequenza è normalmente impiegata a frequenze superiori ai 20 megacicli, benchè sia praticabile l'impiego della modulazione di frequenza a stretta banda di frequenze più basse sino al limite inferiore di 2 megacicli

b) Il trasmettitore in fac-simile impiega un sistema di lenti così progettato da illuminare una piccola superficie circolare (di circa 25/100 di millimetro di diametro) della copia che deve essere trasmessa. La luce riflessa dalla superficie della carta trasportante la copia è messa a fuoco su una cellula fotoelettrica, che risponde con una corrente che è proporzionale all'illuminazione. L'ampiezza di questa corrente controlla l'ampiezza del segnale generato da un oscillatore audio che a sua volta modula un trasmettitore radio. Un dispositivo meccanico sposta la macchia luminosa sulla carta da lato a lato; l'intensità della luce riflessa varia allora con il grado di luminosità della copia e modula conseguentemente il trasmettitore. Al termine della esplorazione di ciascuna linea della carta, la macchia è spostata in basso di un diametro, e così è

esplorata una nuova linea sino a completare l'esplorazione di tutto il foglio.

c) Il sistema ricevente in fac-simile contiene un rettificatore che opera partendo dall'uscita di un ricevitore ordinario. L'uscita del rettificatore presenta un potenziale unidirezionale variabile, una polarità del quale è connessa ad uno stilo di acciaio avente il diametro di 25/100 di millimetro. L'altra polarità di questo potenziale è connessa ad un tamburo metallico su cui è avvolta una carta registrante trattata in modo speciale. Lo stilo fa contatto con la carta, ed il passaggio della corrente attraverso la carta provoca la rimozione di un rivestimento chimico che si manifesta con una macchia scura, la densità della quale è in relazione alla ampiezza della corrente fluita. A mezzo di un piccolo motore rotante ad una velocità prestabilita (la velocità è regolabile) in accordo con il ritmo di esplorazione del trasmettitore, lo stilo registrante si sposta sulla carta esattamente in sincronismo con la luce esplorante del trasmettitore.

d) Negli istanti in cui il dispositivo esplorante sposta la macchia luminosa sulla linea successiva, un impulso di bassa tonalità estremamente corto è emesso dal trasmettitore. Nel ricevitore, quando è raggiunta la fine di una linea, lo stilo si è spostato sulla linea successiva ed ivi mantenuto da un fermo, mentre l'uscita del rettificatore è trasferita dallo stilo ad un elettromagnete. L'impulso successivo aziona l'elettromagnete, che rilascia il fermo e permette allo stilo di continuare la registrazione sulla nuova linea in sincronismo con l'esplorazione del soggetto trasmesso.