

Eccitatore in banda laterale unica transistorizzato a comparazione di fase

a cura di IZY, Gianfranco Scasciafratti

I metodi usati per ottenere la SSB sono generalmente due: quello cosiddetto a filtro e quello cosiddetto a sfasamento, o meglio a comparazione di fase. Esiste, per la verità, anche un terzo metodo che, in fondo, è la ripetizione dei due precedenti, ma viene usato raramente data la criticità di alcune sue parti. Capire il funzionamento del sistema a filtro è molto facile; si tratta di generare una certa portante, modularla per mezzo di un modulatore bilanciato, ottenendo così la DSB, cioè una doppia banda laterale ma con portante soppressa, indi far passare il tutto in un filtro talmente stretto da far uscire una sola banda (quella desiderata) e da sopprimere l'altra.

Il funzionamento del sistema a sfasamento è un po' meno immediato ed è forse per questo che molti dilettanti sono piuttosto restii a utilizzarlo; si tratta di generare separatamente due DSB, ma in modo tale che le bande laterali dei due canali siano nelle seguenti relazioni di fase: una in fase con la rispettiva dell'altro canale, e l'altra in opposizione (sempre con la rispettiva dell'altro canale).

In tal modo, sommando o sottraendo tra loro i due canali, le corrispondenti bande laterali si esalteranno se in fase, si cancelleranno se in opposizione; naturalmente la perfetta cancellazione si avrà quando le ampiezze dei due canali sono assolutamente uguali.

Da quanto detto sembrerebbe che il primo sistema sia enormemente più semplice da realizzare del secondo, in realtà è vero il contrario, cioè il sistema a sfasamento può essere realizzato con un numero inferiore di stadi e a un prezzo nettamente minore.

Naturalmente questi due sistemi dividono la schiera dei dilettanti in due opposte fazioni: quelli cosiddetti della « forza bruta », che trovano più sicuro ed efficace sbarazzarsi della banda indesiderata colpendola brutalmente (lèggi filtro), e l'altra dei patiti della fase, che ottengono lo stesso risultato forse meno energeticamente, ma con un metodo senza dubbio più elettronico.

Le due fazioni sono assolutamente inconciliabili e l'una schernisce l'altra senza pietà; in questo caso però la palma della brutalità è da assegnarsi senza dubbio ai patiti della fase, che si sentono... più tecnici. In realtà ognuno dei due sistemi presenta i suoi pregi e i suoi difetti, sicché si dovrà preferire ora l'uno ora l'altro in rapporto alla particolare utilizzazione. Certamente sarebbe cosa folle utilizzare il sistema a sfasamento in un multiplex telefonico dove le occupazioni di banda sono rigorose, mentre questo è senz'altro utilizzabile in un trasmettitore e, particolarmente, ad uso dilettantistico per la sua economicità, per la possibilità di avere un numero minore di stadi, per la possibilità di avere un gran numero di sistemi di trasmissione mediante una semplice commutazione.

Esaminiamo in breve i pregi e i difetti dei due sistemi.

Nel sistema filtro i pregi sono dovuti alle caratteristiche del filtro, cioè stabilità, relativa facilità di messa a punto, maggiore soppressione di banda indesiderata; naturalmente tutti questi pregi sono propri di filtri commerciali e non di filtri autocostruiti che sono assolutamente sconsigliabili in quanto difficilmente con essi si possono ottenere risultati paragonabili a quelli ottenuti con modelli commerciali, visto che per la loro costruzione occorre una gran dose di pazienza, una solida conoscenza teorica e dei magnifici strumenti per andare a vedere quello che si è fatto.

Ma anche con questi requisiti chi è quel tecnico che onestamente può affermare di avere ottenuto subito una curva di risposta paragonabile a quella delle specifiche di quel filtro tanto dolorosamente acquistato? Per contro, i difetti sono: una certa complessità dovuta al fatto che il segnale in SSB deve essere generato a una frequenza fissa (perché il filtro, ovviamente, non è accordabile) e quindi con uno o più stadi convertitori portarlo nelle bande di lavoro; in questo caso il sistema a sfasamento è più semplice, perché può essere realizzato direttamente a frequenza di lavoro. Ma il grande svantaggio del sistema a filtro è l'alto costo del filtro, che va dalle circa 22.000 lire per i tipi più modesti (come il prezzo di un ottimo eccitatore a sfasamento completo) fino a cifre inimmaginabili, con caratteristiche ovviamente proporzionali al prezzo.

Riguardo ai difetti dei trasmettitori a comparazione di fase, bisogna distinguere, bisogna cioè considerare quelli veri e quelli che non lo sono affatto, vedi per esempio la instabilità della soppressione della banda laterale, difetto inesistente se si adoperano, come si dovrebbe fare in qualsiasi realizzazione, componenti professionali che ormai abbondano sul nostro mercato. Mentre in realtà si ottiene effettivamente una minore soppressione di banda rispetto al sistema a filtro (con filtri, naturalmente, idonei) cosa, questa, però poco importante, in quanto se si tiene conto della non linearità dello stadio finale (si tenga presente che in un ottimo stadio finale per uso dilettantistico le distorsioni di terza armonica sono dell'ordine di 30 dB) la differenza di soppressione fra i due sistemi si riduce a pochi dB, che non giustificano affatto la maggiore spesa sostenuta per un filtro, quindi in SSB **non è tanto importante la soppressione della banda laterale quanto è importante la linearità di tutti gli stadi.**

I pregi di questo sistema sono ormai evidenti e vanno dal bassissimo costo alla possibilità di poter avere con un unico trasmettitore molti sistemi di trasmissione, che più precisamente potranno essere:

AM, CW, SSB (banda superiore o inferiore a scelta), DSB nonché AM con una sola banda laterale a scelta e addirittura modulazione di fase; tutti questi modi potranno essere scelti con semplici commutazioni. Infine altro vantaggio, ma questo puramente morale, quello cioè di realizzare un qualcosa di veramente elettronico, fattore questo non trascurabile, soprattutto per un appassionato.

È per tutte queste ragioni che ho voluto presentare questo eccitatore completamente transistorizzato e funzionante col sistema a comparazione di fase, progettato e costruito in modo da presentare grande versatilità sia in modi di trasmissione, sia in possibilità di impiego: trasmettitori fissi o, dato il suo bassissimo consumo (10 mA circa con 12 V) trasmettitori portatili e addirittura radiotelefoni con caratteristiche di avanguardia.

Mi risulta che dalla Ditta S.G.R., l'apparecchiatura è fornibile anche sotto forma di scatola di montaggio in modo che al costruttore non rimanga che il piacere di una facile realizzazione e messa a punto, essendo state tutte le difficoltà realizzative già affrontate e risolte.

Le caratteristiche tecniche e d'impiego sono le seguenti:

- soppressione di banda laterale maggiore di 40 dB a 1225 Hz;
- soppressione portante maggiore di 50 dB rispetto alla banda laterale desiderata;
- uscita 9 MHz;
- vox, anti-trip (attacco);

comandi:

- metodi di trasmissione: AM, SSB (LSB, USB), CW;
- funzioni: off, ptt, calibrazione, vox;
- reinserimento portante per CW e AM;
- regolazione portante per calibrazione;
- guadagno audio;
- regolazione tempo per il vox.

Lo schema a blocchi di figura 1 mostra i circuiti essenziali dell'apparecchio che, d'altronde, sono quelli convenzionali; si è cercato cioè di non apportare nessun radicale mutamento facendo solo quelle modifiche che si imponevano con il passaggio allo stato solido, questo a tutta garanzia della sicurezza di funzionamento essendosi lasciato inalterato lo schema base collaudato ormai da lunghissimi anni.

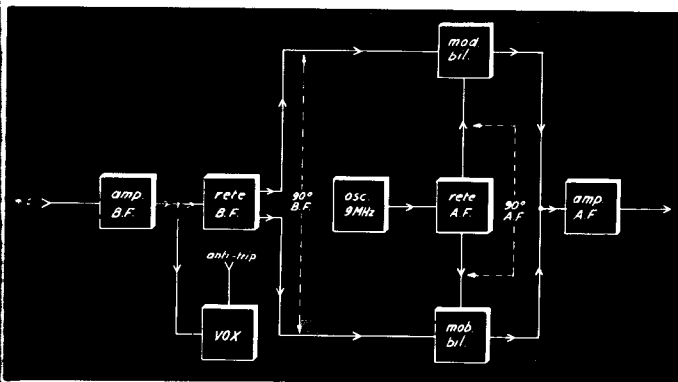
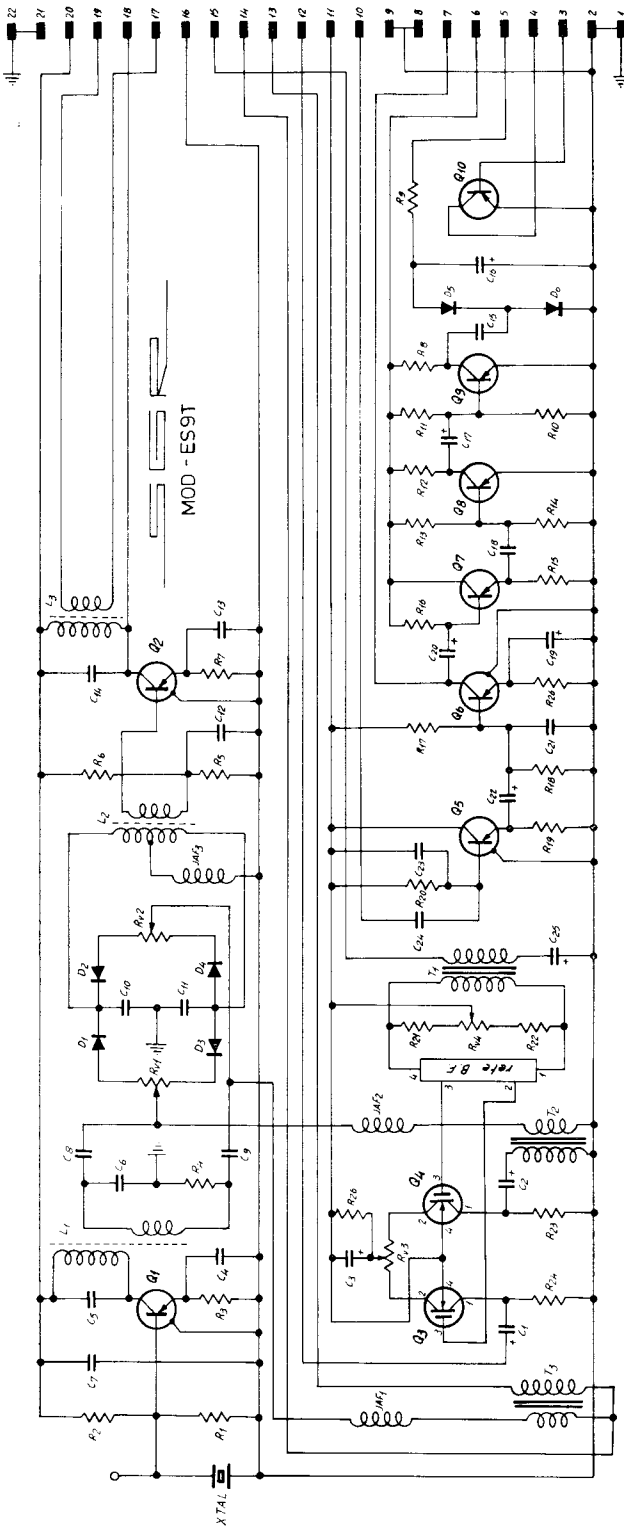


figura 1

Schema a blocchi dell'eccitatore in SSB a sfasamento.

C e Q₄ formano l'amplificatore BF che ha un elevato guadagno e un'alta impedenza d'ingresso in modo da avere un buon adattamento con un microfono a cristallo. Il controllo di guadagno è posto su collettore di Q₄; in questo modo tale controllo non agisce sulla sensibilità del vox; il segnale passa poi attraverso T₁ ed entra nella rete di sfasamento BF; questa, insieme con lo stadio successivo, sono praticamente i circuiti più importanti dell'eccitatore, poiché tale rete — che è composta di componenti passivi di alta qualità e di strettissima tolleranza — permette lo sfasamento di 90° del segnale BF con una assoluta uguaglianza delle ampiezze dei due canali al variare della frequenza. Tale rete è stata progettata per una banda compresa tra 300 e 2700 Hz con una variazione di fase massima di ± 1,2° che permetterebbe teoricamente un'attenuazione della banda laterale non desiderata sempre maggiore di 39 dB. Date le stringenti caratteristiche a cui deve soddisfare la rete, essa non deve essere disturbata in nessun modo dal circuito che la segue; per questa ragione sono stati utilizzati dei MOSFET al silicio, che presentano delle impedenze d'ingresso anche 1.000.000 di volte superiori a quelle già molto grandi dei comuni FET e, dato che la impedenza immagine della rete è intorno ai 50 kΩ, le condizioni teoriche vengono ampiamente soddisfatte.

Il segnale di BF sfasato è amplificato da Q₃ e Q₄ e inviato ai modulatori bilanciati per mezzo di T₂ e T₃ che fungono da adattatori di impedenza. Si noterà che in tali trasformatori è presente il solo segnale, mentre la corrente media che scorre nei MOSFET è bloccata dai condensatori C₁ e C₂; questo artificio si è reso necessario data la esiguità dei nuclei (non se ne sono potuti utilizzare di più grandi per evidenti ragioni di spazio). La presenza di tale corrente avrebbe potuto provocare delle saturazioni con conseguente distorsione del segnale, quindi generazione di armoniche ovviamente non più nella relazione di fase desiderata. Invertendo il primario di T₃ si ha una rotazione di fase di 180° di un canale che permette il cambiamento della banda laterale desiderata.



- R₁ 6,8 kΩ
- R₂ 47 kΩ
- R₃ 470 Ω
- R₄ 82 Ω 5%
- R₅ 4,7 kΩ
- R₆ 68 kΩ
- R₇ 1,5 kΩ
- R₈ 2,7 kΩ
- R₉ 4,7 kΩ
- R₁₀ 1,2 kΩ
- R₁₁ 68 kΩ
- R₁₂ 6,8 kΩ
- R₁₃ 68 kΩ
- R₁₄ 1,2 kΩ
- R₁₅ 6,8 kΩ
- R₁₆ 470 kΩ
- R₁₇ 82 kΩ
- R₁₈ 4,7 kΩ
- R₁₉ 6,8 kΩ
- R₂₀ 820 kΩ
- R₂₁ 390 Ω
- R₂₂ 1,5 kΩ
- R₂₃ 6,8 kΩ
- R₂₄ 6,8 kΩ
- R₂₅ 1,2 kΩ
- R₂₆ 470 Ω

- C₁ 10 μF
- C₂ 10 μF
- C₃ 10 μF
- C₄ 150 pF
- C₅ 33 pF
- C₆ 220 pF 5%
- C₇ 0,01 μF
- C₈ 100 pF
- C₉ 100 pF
- C₁₀ 0,001 μF 5%
- C₁₁ 0,001 μF 5%
- C₁₂ 0,01 μF
- C₁₃ 500 pF
- C₁₄ 33 pF
- C₁₅ 0,15 μF
- C₁₆ 10 μF
- C₁₇ 10 μF
- C₁₈ 10 μF
- C₁₉ 10 μF
- C₂₀ 10 μF
- C₂₁ 0,1 μF
- C₂₂ 10 μF
- C₂₃ 0,001 μF
- C₂₄ 0,047 μF
- C₂₅ 10 μF

- Q₁, Q₂ AF168
- Q₃, Q₄ 3N142 o simili
- Q₅, Q₆ AF171
- Q₇, Q₈, Q₉, Q₁₀ AC134

D₁, D₂, D₃, D₄, D₅, D₆ AA119

IAF1, IAF2, IAF3 300 μH

R₁, R₂ 1000 Ω lineari
 R₃ 470 Ω lineare
 R₄ 100 Ω lineare
 Rete BF. PN-1 SGR

L₁, L₃ 9 μH, link 1/4 spire totali
 L₂ 0,6 μH bifilare, link 1/3 spire totali

Quarzo 9 MHz

T₁, T₂, T₃ trasformatori pilota per p.p.,
 posti in discesa.

La parte RF è assolutamente convenzionale per quanto riguarda lo stadio di generazione di portante; il transistor Q_1 oscilla alla frequenza imposta dal quarzo, il segnale a 9 Mc, poi, attraverso L_1 passa alla rete sfasatrice in AF che è composta da R_4 e C_5 . La semplicità di tale rete è dovuta al fatto che, in questo caso, si deve sfasare una sola frequenza e non una banda di frequenze percentualmente molto grande quale quella di BF.

La frequenza di portante a 9 Mc è stata scelta perché particolarmente vantaggiosa ai fini radiantistici in quanto, facendo battimento con un oscillatore variabile da 5 a 5,5 Mc, si ottiene per somma la banda dei 20 m e per differenza la banda degli 80 m. Il segnale sfasato è inviato ai due modulatori bilanciati all'uscita dei quali si avranno le DSB precedentemente dette; la loro somma algebrica avverrà in L_2 cosicché il segnale finalmente in SSB sarà presente sul secondario di detta bobina.

I modulatori bilanciati adottati sono ormai classici; si tratta di modulatori largamente sperimentati soprattutto da costruttori di oltre oceano; è da rimarcare la loro grande stabilità soprattutto nei confronti della temperatura.

La SSB prelevata da L_2 viene amplificata da Q_2 in uno stadio del tutto convenzionale all'uscita del quale il segnale ormai adatto ai più vari impieghi è presente su due diverse impedenze, una bassa (terminali 17 e 19) e una relativamente alta (terminali 18 e massa).

Il vox (controllo automatico di voce) è presente come circuito ausiliario; esso permette, come è ben noto, il passaggio automatico da ricezione a trasmissione quando l'operatore parla al microfono e quando al ricevitore non è presente il segnale del corrispondente. Con questo circuito si può realizzare, se ben utilizzato, una conversazione praticamente naturale, ed è per questo che oltre che per usi dilettantistici esso è consigliabile anche per radiotelefoni di una certa classe.

Il segnale BF prelevato, come abbiamo visto, dal collettore di Q_6 viene ulteriormente amplificato da Q_7 , Q_8 e Q_9 , indi rettificato mediante D_5 e D_6 ; la c.c. caricherà il condensatore C_{16} che si scaricherà su un carico costituito da R_9 , una resistenza variabile esterna e Q_{10} . La resistenza variabile esterna serve a regolare la costante di tempo e quindi il tempo di attrazione del relay comandato da Q_{10} ; sulla base di Q_{10} viene inviata anche un'altra c.c. di segno contrario alla precedente ricavata dal segnale BF del ricevitore (anti-trip); questa servirà a neutralizzare il vox quando si ascolterà il corrispondente.

Nella realizzazione pratica bisogna porre grande attenzione nella scelta dei componenti; tutti debbono essere di ottima qualità (sono state usate, ad esempio, tutte resistenze Beyschlag al 5%) e nella loro disposizione, perché, date le piccole dimensioni dell'apparecchio, è molto facile avere degli accoppiamenti non desiderati. Per coloro che si serviranno della scatola di montaggio, invece, tali difficoltà non avranno ragione di essere in quanto il circuito stampato in vetronite è stato studiato in ogni minimo particolare secondo un criterio di ottimizzazione che ha richiesto sei mesi di lavoro. Si consiglia di montare prima i componenti più grandi, quali bobine e trasformatori, avendo cura, una volta piegate le linguette di fissaggio, di saldarle bene alle apposite masse; indi si monterà la rete di sfasamento BF e via via tutti i componenti minori.

Si consiglia di utilizzare possibilmente un saldatore adatto a simile montaggio e, preferibilmente, non istantaneo; comunque la sua punta dovrà essere sempre ben calda e ben pulita in modo da fare delle saldature magre e lucide, evitando di sporcare troppo con residui di pasta salda; tutto questo è facilitato dalla stagnatura chimica con cui è stato trattato il circuito stampato, per coloro che lo adotteranno.

La messa a punto dell'eccitatore è un'operazione per nulla difficile, infatti tutto si riduce alla regolazione di quattro potenziometri, di cui due controllano la portante e altri due la soppressione della banda laterale. Prima di iniziare l'operazione di messa a punto è consigliabile, una volta constatato che non esiste nessun errore di costruzione, far funzionare l'apparecchio per il tempo più lungo possibile in modo da fare la cosiddetta «bruciatura». Questa operazione è sempre consigliabile in quanto si è constatato che la maggior probabilità di guasti in un'apparecchiatura si riscontra nelle sue prime ore di vita e quindi se si tara l'apparecchio dopo queste ore la stabilità di funzionamento sarà molto maggiore.

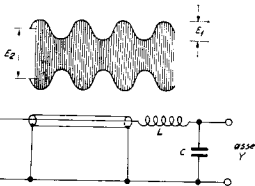


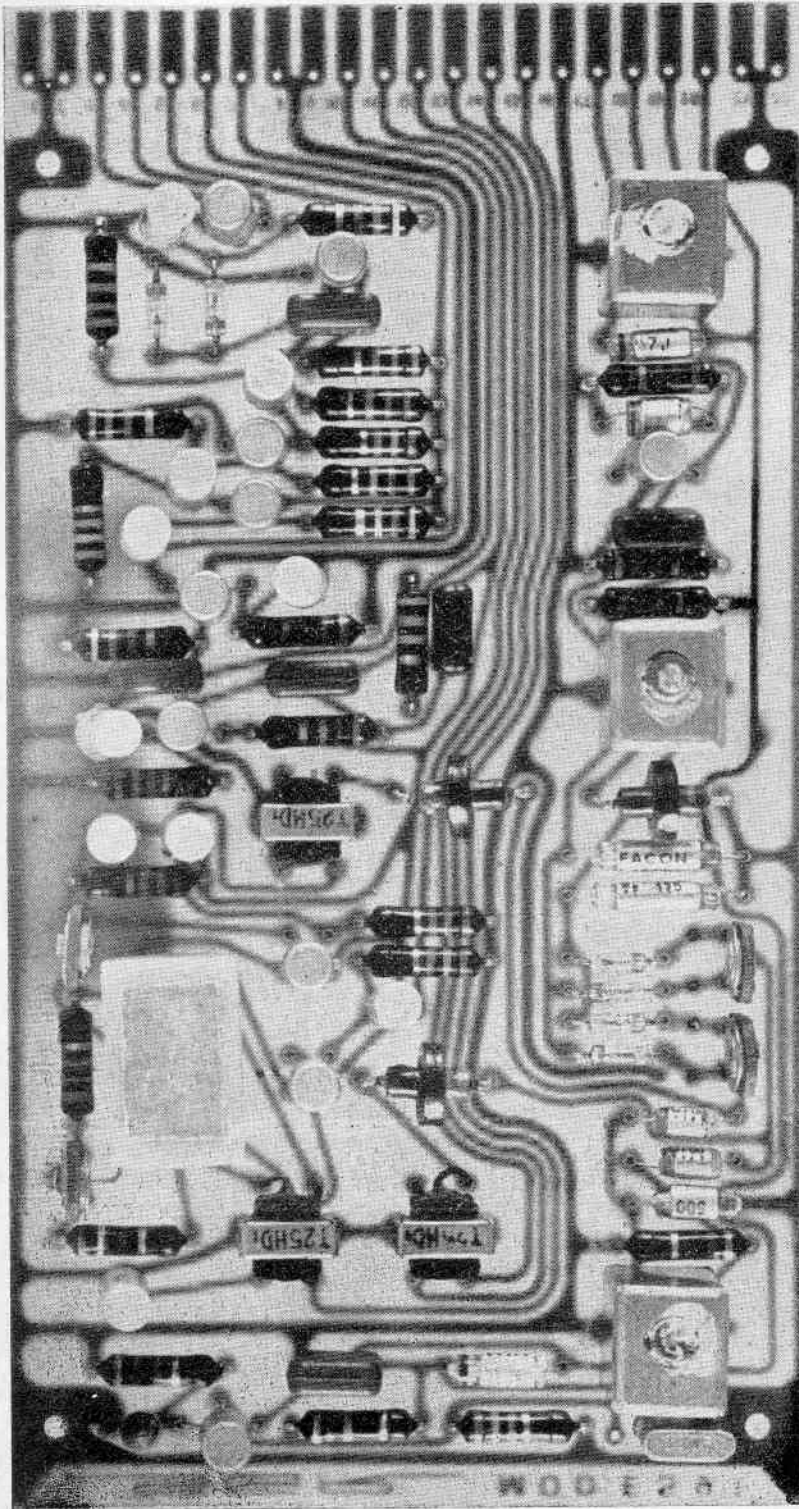
figura 2

Schema da seguire per la taratura e per l'interpretazione dell'oscillogramma; da notare che L e C devono risuonare sulla frequenza di lavoro.

E_1/E_2	soppressione (dB)
1 : 10	20
1 : 15	24
1 : 20	26
1 : 30	30
1 : 50	34
1 : 100	40

Per la messa a punto si possono seguire due vie: la prima consiste nell'accoppiare l'eccitatore, nel modo schematizzato in figura 2, a un oscilloscopio; con la regolazione del volume a zero sullo schermo comparirà una fascia chiara (la portante); regolare i nuclei di L_1 , L_2 , L_3 per la sua massima ampiezza, indi agire su R_1 e R_2 fino a fare sparire completamente detta fascia; in questo modo si è ottenuta la soppressione della portante.

Per ottenere la soppressione della banda laterale si ponga il controllo di volume al massimo e si immetta nella presa microfonica una nota sinusoidale prossima a 1225 Hz (regolando l'attenuatore dell'oscillatore in modo da non avere distorsioni); ricomparirà la fascia sullo schermo con in più delle frastagliature sui bordi (ripple); si tratterà di agire ripetutamente su R_3 e R_4 per eliminare al massimo le frastagliature; il rapporto E_1, E_2 (vedi figura 2) ci darà la soppressione di banda.



Il secondo metodo consiste nell'accoppiare l'eccitatore a un ricevitore dalla buona selettività; anche in questo caso si regoleranno L_1 , L_2 e L_3 per la massima deflessione dello S-meter, indi si opererà su R_{v1} e R_{v2} per la eliminazione della portante. Per la banda laterale si potrà utilizzare una nota come nel caso precedente, indi con l'eccitatore nella posizione USB e il ricevitore nella posizione LSB si agirà su R_{v3} e R_{v4} per la minore ricezione; per la taratura della LSB l'eccitatore dovrà essere in LSB e il ricevitore in USB.

I due sistemi di messa a punto sono entrambi buoni e quindi ciascuno potrà scegliere o l'uno o l'altro solo secondo le proprie esigenze, senza nessun'altra preoccupazione. Si può addirittura, utilizzando il secondo metodo, fare a meno dell'oscillatore e sostituire questo con il microfono; in questo caso si ascolterà la propria voce (in cuffia, naturalmente, per evitare inneschi), quindi si opererà ancora su R_{v3} e R_{v4} commutando ripetutamente il ricevitore da USB a LSB e viceversa per poter valutare a ogni regolazione la differenza tra le due bande. Il sistema non si può certamente dire rigoroso, ma con un po' di pazienza si otterranno degli ottimi risultati. In fase di messa a punto si noterà che non si avranno le stesse soppressioni per le bande laterali, perciò se si vorrà utilizzare l'eccitatore in un TX multigamma si dovrà operare per una soluzione di compromesso; nel caso si voglia utilizzare, invece, l'eccitatore in un TX mono o multigamma, dove però si usa trasmettere o sempre in LSB o sempre in USB (es. LSB in 80 e 40 m, mentre USB in 20, 15 e 10 m), si tarerà per la massima soppressione.

La taratura si potrà fare sia a partire dal solo eccitatore, e in questo caso però si dovrà disporre di un oscilloscopio a banda larga in quanto il segnale, essendo molto piccolo, dovrà essere immesso nell'asse Y; oppure di un ricevitore che riceva i 9 MHz; sia a costruzione del TX avvenuta (cioè già con uno stadio finale): in questo caso, essendo il segnale molto ampio, si potrà utilizzare qualsiasi oscilloscopio immettendolo direttamente sulle placchette Y, oppure utilizzare qualunque ricevitore per gamme radiantistiche. E' da tener presente che, se si sarà fatta la taratura del solo eccitatore, una volta costruito il TX, sarà generalmente necessario un ulteriore piccolo ritocco di R_{v1} , R_{v2} e L_1 , L_2 e L_3 per bilanciare eventuali residui di portante.

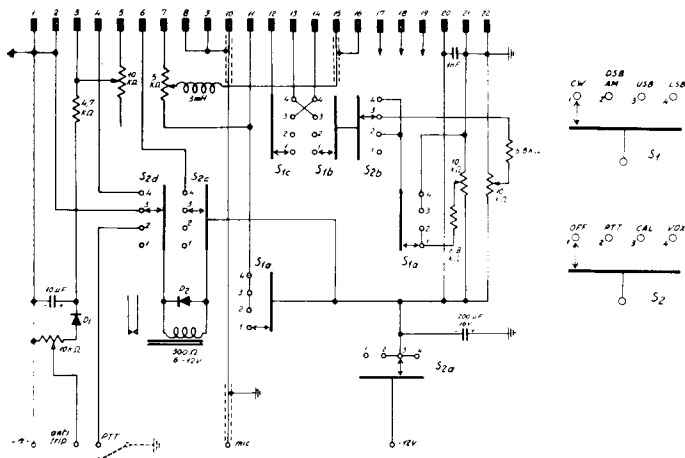
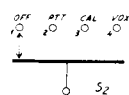


figura 3

Schema completo dei collegamenti per sfruttare tutte le caratteristiche dell'eccitatore; S1 e S2 commutatori a 4 vie 4 posizioni.



Per i collegamenti esterni dell'eccitatore si seguirà lo schema di figura 3 tenendo presente che detto schema potrà essere di molto semplificato; ad esempio, se si desidererà trasmettere o solo in LSB o solo in USB, si potrà eliminare S_1 , mentre tutti i vari potenziometri (escluso, beninteso, quello di volume) potranno all'occorrenza essere sostituiti con resistori fissi; nel caso inoltre si preferisca trasmettere sempre in vox o in ptt. si potrà, con opportune modifiche, eliminare anche S_2 . Nelle figure 4 e 5 si vedono alcuni esempi di semplificazione, tenendo presente che questi schemi potranno essere modificati a piacere secondo le esigenze.

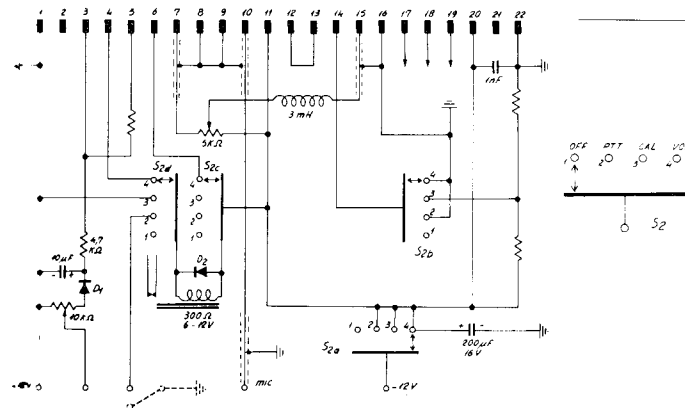
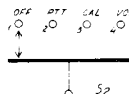


figura 4

Caso semplificato in cui si lavora solo in USB (TX monogamma o multigamma - v. testo); per la LSB si scambiano i terminali 13 e 14. I valori delle resistenze non riportati vanno trovati sperimentalmente.



Le applicazioni di tale eccitatore sono numerose e vanno dalla possibilità di costruzioni di trasmettitori multigamma, alla possibilità di costruzione di trasmettitori monogamma (molti esempi sono già apparsi su questa rivista); si potranno ottenere, in questo caso, dei TX dalle dimensioni veramente ridotte, con piccole difficoltà meccaniche, senza limitazione di potenza.

Le applicazioni di tale eccitatore sono numerose e vanno dalla possibilità di costruzioni di trasmettitori monogamma (molti esempi sono già apparsi su questa rivista); si potranno ottenere, in questo caso, dei TX dalle dimensioni veramente ridotte, con piccole difficoltà meccaniche, senza limitazione di potenza.

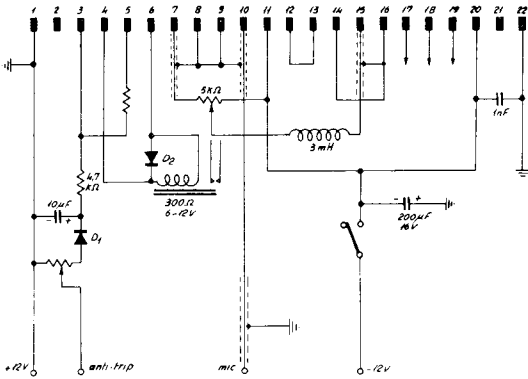


figura 5

Caso molto semplificato particolarmente utile impiegando l'eccitatore in TX sui 2 metri o per radiotelefoni; si ha il vox sempre inserito e si trasmette in USB. Come nel caso di figura 4, per ottenere la LSB si devono scambiare tra loro i terminali 13 e 14, mentre i valori delle resistenze non riportati vanno trovati sperimentalmente.

Utilizzando inoltre la falsariga di questi ultimi, cioè:

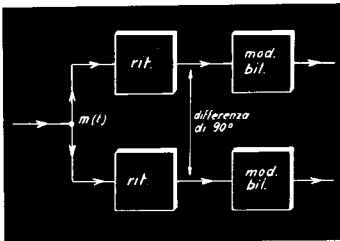
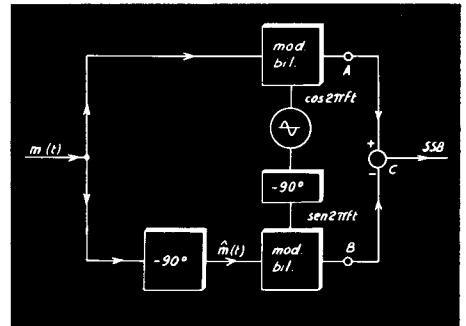
eccitatore, oscillatore, convertitore, finale di potenza... si potranno avere delle grandi soddisfazioni nella gamma dei 2 m ottenendo delle apparecchiature con rapporto rendimento-peso veramente ineguagliabile; la stessa cosa potrà dirsi per la costruzione di radiotelefoni dove la presenza del vox apporta un miglioramento non trascurabile.

Appendice

Per gli amanti degli sviluppi in serie e delle trasformate di Hilbert vediamo come si può spiegare il sistema a comparazione di fase.

Se $m(t)$ è il segnale BF, si invierà tale segnale a un circuito che possa sfasare tutte le componenti di $m(t)$ di -90° (vedi nota); all'uscita di questo avremo la $m(t)$, cioè la trasformata di Hilbert. Mandando ora la $m(t)$ e la $m(t)$ in due distinti modulatori bilanciati in cui si siano inviate delle portanti di frequenza f sfasate tra loro di 90° (come in figura), all'uscita dei modulatori avremo i segnali $m(t)\cos 2\pi ft$ e $m(t)\sin 2\pi ft$.

Ora, siccome $m(t) = m^+(t) + m^-(t)$ e $m(t) = -jm^+(t) + jm^-(t)$ dove $m^+(t)$ e $m^-(t)$ sono rispettivamente il contributo per le frequenze negative del segnale $m(t)$.



NOTA E' da rilevare che un circuito del genere è impossibile da costruirsi; si ricorre all'uso di due circuiti ritardatori (le comuni reti di sfasamento) posti sui due canali in modo che, per bande non molto larghe, le fasi non siano una di 0° e l'altra di 90° , ma differiscono tra loro semplicemente di 90° .

nel punto A avremo $[m^+(t) + m^-(t)] \cos 2\pi ft$
 nel punto B avremo $[-jm^+(t) + jm^-(t)] \sin 2\pi ft$
 indi, sottraendo in C si avrà
 $m^+(t) [\cos 2\pi ft + j \sin 2\pi ft] + m^-(t) [\cos 2\pi ft - j \sin 2\pi ft]$

formula che potrà essere scritta $m^+(t)e^{j2\pi ft} + m^-(t)e^{-j2\pi ft}$ che rappresenta, come si vede, il segnale in SSB con banda inferiore soppressa; si sarebbe potuto avere la soppressione della banda superiore sfasando semplicemente di $+90^\circ$ la $m(t)$ o, il che è uguale, ruotando di 180° la $m(t)$.