

IL TUBO EQ 80 PHILIPS RIVELATORE DI SEGNALI FM

di J. L. H. JONKER e J. W. M. van OVERBEEK

a cura di RAOUL BIANCHERI

Revue Technique Philips

Vol. XI, I, 1949.

Gli AA. iniziano l'articolo ricordando i vantaggi delle trasmissioni FM, passano velocemente in rassegna il circuito tipico del ricevitore di questi segnali ed a questo punto iniziano la discussione estesa sui sistemi di rivelazione da seguire, discussione che brevemente andremo esponendo.

L'anodo è collegato ad un potenziale positivo (+275 V) attraverso una elevata resistenza. Le griglie g_1 e g_2 sono costruite in modo tale che il potenziale della griglia 3 ed il potenziale degli altri elettrodi situati all'esterno di g_3 non influenzano la regione che circonda il catodo. Il tutto è simile ad un comune pentodo, la corrente elettronica che attraversa le maglie di g_2 non dipende

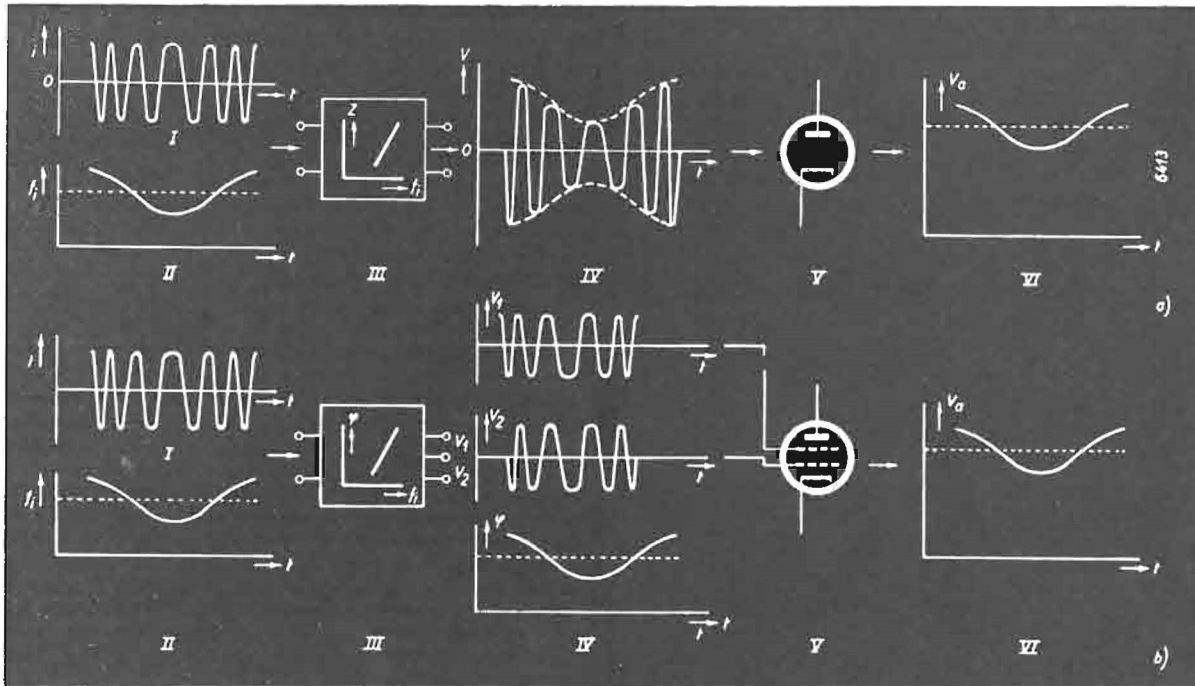


FIG. 1. — Due metodi di discriminazione di frequenza. In alto, a): I) Intensità di corrente modulata in frequenza; II) valore istantaneo della frequenza in funzione del tempo t . III) Tale corrente attraversa un quadrupolo la cui impedenza Z varia al variare della f ; IV) all'uscita di tale quadrupolo si ottiene allora una tensione V modulata in ampiezza; V) che uno o più diodi rivelano; VI) corrente rivelata. In basso, b): I) Intensità di corrente modulata in frequenza; II) valore istantaneo della frequenza in funzione del tempo t . III) Circuito che fornisce due tensioni V_1 e V_2 sfasate di un angolo φ che varia linearmente al variare di f . IV) V_1 e V_2 e φ rappresentati in funzione di t . V) Tubo mescolatore la cui tensione di uscita (V_o) varia in ampiezza con la stessa legge con cui l'onda in arrivo variava in frequenza.

Il primo metodo è quello di convertire le variazioni di frequenza in variazioni d'ampiezza e queste ultime rivelarle nel modo classico.

La conversione viene effettuata attraverso un circuito la cui impedenza dipende dalla frequenza, teoricamente questo circuito può essere costituito da un solo circuito L-C ma in pratica il problema trova una migliore soluzione usando due circuiti L-C.

Il secondo metodo consiste nel ricavare due tensioni (V_1 e V_2) la cui relazione di fase φ dipende dal valore istantaneo della frequenza, la rivelazione viene in seguito eseguita con un tubo mescolatore con due griglie di controllo alle quali verranno applicati le due tensioni sfasate (V_1 e V_2).

I disegni illustranti questi principi di discriminazione sono qui riprodotti in figura 1.

Viene appreso discusso il problema della limitazione ed in figura 2 e 4 sono riprodotti i disegni illustranti rispettivamente la modulazione in ampiezza dei segnali di media frequenza ad opera della banda passante del canale di media, e tre metodi seguiti per la limitazione d'ampiezza.

Il tubo EQ80, nuovo rivelatore di segnali MF, segue il secondo metodo di discriminazione e contemporaneamente lavora come limitatore d'ampiezza.

Il tubo EQ80 consta di sette griglie, le griglie g_2 , g_3 , g_4 sono delle griglie schermo che assicurano il blindaggio delle due griglie controllo (g_1 e g_5) fra loro e fra gli altri elettrodi. Queste griglie schermo vanno portate ad una tensione di +20 V, la griglia 1 va tenuta ad un potenziale costante quale ad esempio il potenziale del catodo. Infine la griglia 7 è una griglia di soppressione ed è già collegata internamente al catodo.

che dalle tensioni g_1 e g_2 . Nel tubo EQ80 queste tensioni sono costanti (0 e 20 V) di conseguenza la corrente erogata dal catodo sarà costante. La tensione di griglia 3 però influenzerà la distribuzione delle correnti esterne, se la tensione di g_3 è negativa gli

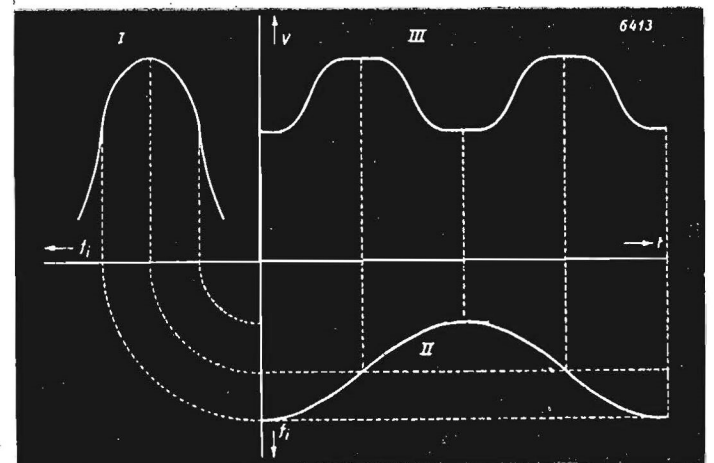
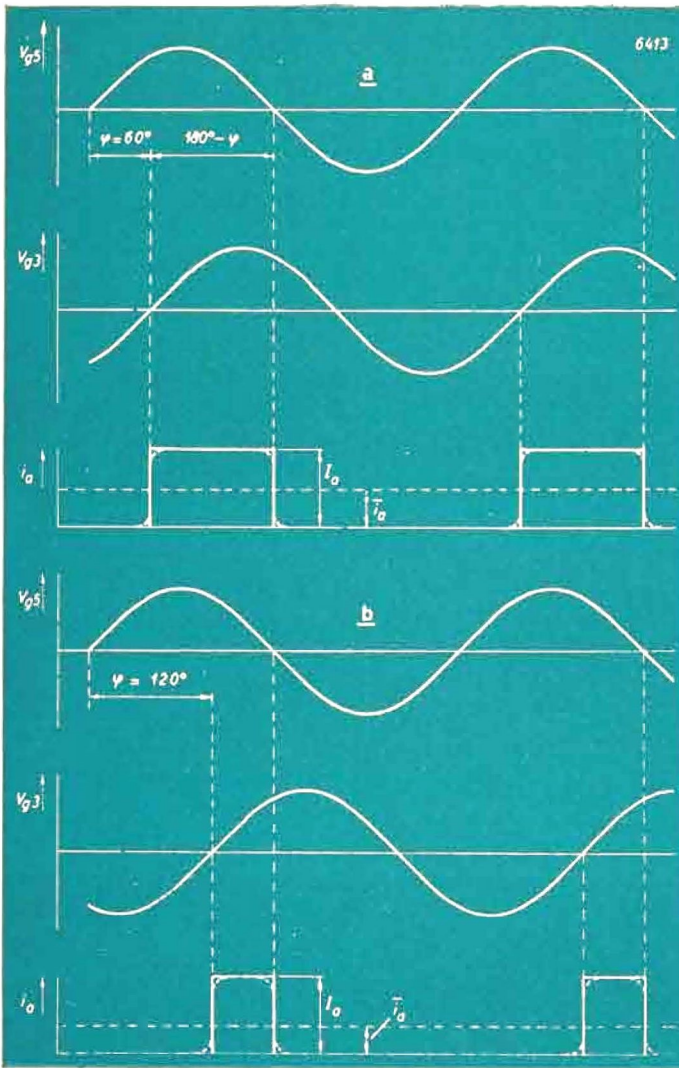


FIG. 2. — I) Curva di risonanza di un filtro passa banda a MF (tensione in funzione della f_1). Se f_1 varia sinusoidalmente nel tempo (curva II) si ha una modulazione d'ampiezza riprodotta dalla curva III.



Sopra:

FIG. 3. — Grafico rappresentante la legge di variazione della intensità di corrente anodica.

- Sfasamento $\varphi = 60^\circ$ fra le tensioni sinusoidali delle griglie g_2 e g_3 ; corrente anodica d'intensità i_a , di ampiezza di cresta I_0 e di valore medio \bar{i}_a .
- Idem per $\varphi = 120^\circ$; \bar{i}_a è qui uguale alla metà del suo valore visto nel caso a).

Di fianco, da sinistra a destra:

Fig. 4 - Tre metodi seguiti per la limitazione di ampiezza:

- Metodo classico per rettificazione di V_i e diminuzione di pendenza conseguente.
- La Z_1 è shuntata dal diodo D posto in serie alla tensione E di polarizzazione; la V_o di uscita non può sorpassare di molto E . La differenza fra V_i e V_o viene assorbita dall'impedenza Z_1 .
- L'intensità di corrente è indipendente dalla tensione di ingresso V_i di una griglia pilota (V_i non dev'essere troppo piccola) allorché le griglie precedenti si trovino ad un potenziale costante in maniera da costituire una schermatura per la griglia pilota. Se V_i è una tensione alternativa la cui ampiezza è variabile ma sempre sufficientemente grande, l'ampiezza di i_a rimane pressappoco costante.

FIG. 6. — Sfasamento φ e distorsione D in funzione della deviazione di frequenza per un filtro passa banda di MF a due circuiti. La distorsione risulta dalla non linearità della curva φ . In ascisse si è posto $Q \times \Delta f / f$, espressione in cui Q è il fattore di bontà del secondo circuito di filtro di banda e Δf è lo scarto in rapporto alla media frequenza f .

FIG. 8. — Valore medio della corrente anodica \bar{i}_a del tubo EQ80 in funzione dello sfasamento φ fra le tensioni V_{g_2} e V_{g_3} ; per $V_{g_2} = V_{g_3}$, come ampiezza e per tensioni efficaci di 8, 16, 24 V.

elettroni saranno respinti su g_2 , se g_3 è positiva gli elettroni proseguiranno la loro strada, attraverseranno le maglie di g_4 e la quantità di questi elettroni che giungerà sulla placca dipenderà dalla tensione di g_5 . Se la griglia g_5 è positiva attraverseranno le maglie di g_6 e di g_7 , se la griglia 5 è negativa gli elettroni verranno ributtati invece sulla griglia 4. In breve, quanto è stato detto prova che non si ha corrente anodica che negli istanti in cui le griglie 3 e 5 sono contemporaneamente positive e che l'intensità di questa corrente è costante (1 mA circa) (le intensità di corrente di griglia durante la circolazione di corrente anodica sono deboli nei confronti di I_a).

Se viene applicato ad ogni griglia di controllo una tensione alternata sinusoidale e sia φ l'angolo di sfasamento fra queste due tensioni si avrà circolazione di corrente anodica solo quando questi due segnali saranno entrambi positivi, cioè ad ogni periodo l'angolo di circolazione anodica sarà: $180^\circ - \varphi$.

L'intensità di corrente anodica varia dunque secondo la legge legge rappresentata nel grafico riprodotto in figura 3.

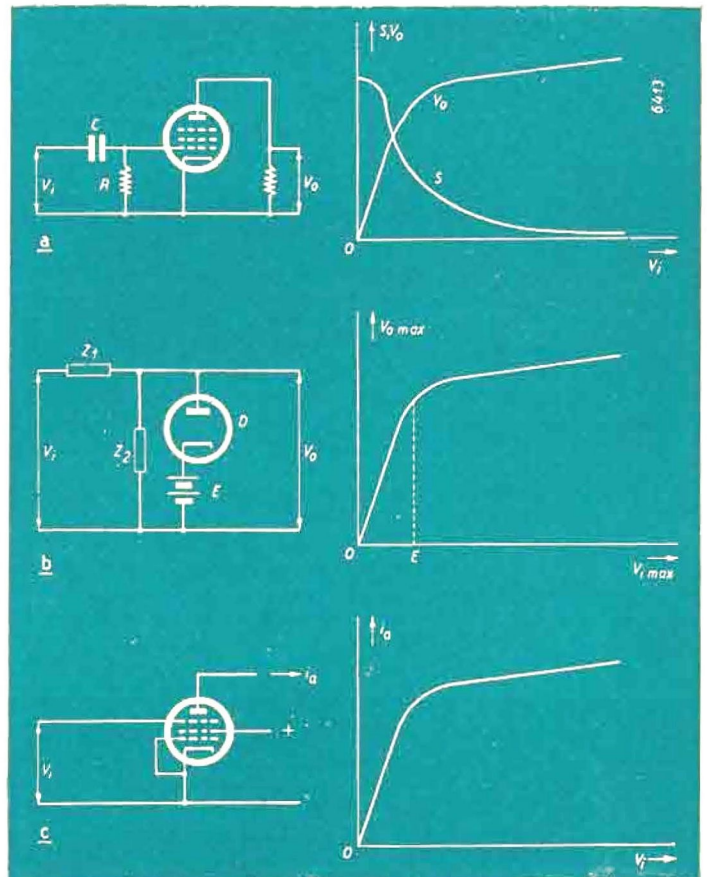
Il valore medio \bar{i}_a della corrente anodica è quindi:

$$\bar{i}_a = \frac{180^\circ - \varphi}{360^\circ} I_0 \quad [1]$$

e costituisce una misura di sfasamento.

Se in un ricevitore per segnali modulati FM si convertono i segnali in arrivo in segnali a media frequenza e si ottiene da quest'ultima due tensioni alternate sfasate fra di loro e il cui angolo di sfasamento φ vari proporzionalmente alla deviazione di frequenza e si applichi ognuna di queste tensioni rispettivamente alle griglie g_2 e g_3 da quanto detto nell'equazione [1] l'intensità media della corrente anodica varierà proporzionalmente a φ , quindi proporzionalmente alla deviazione di frequenza, vale a dire proporzionalmente all'intensità del segnale di BF modulante.

Gli impulsi reitangolari che formano la corrente anodica si succedono con una frequenza uguale al valore della media frequenza (circa 10 MHz). La corrente anodica è quindi costituita da una componente alternata a frequenza intermedia (e delle armoniche di questa) sovrapposta ad una continua ondulata secondo la legge della BF modulante. La resistenza anodica (0,5 Mohm) e la capacità anodica parassita C_a (circa 25 pF) assicurano una separazione quasi completa di queste componenti e precisamente: la corrente continua, sulla quale è sovrapposta la corrente a BF, attraverserà la resistenza, mentre la quasi totalità della corrente a frequenza intermedia sarà fugata attraverso la capacità C_a . La resistenza interna del tubo è di circa 3 Mohm.



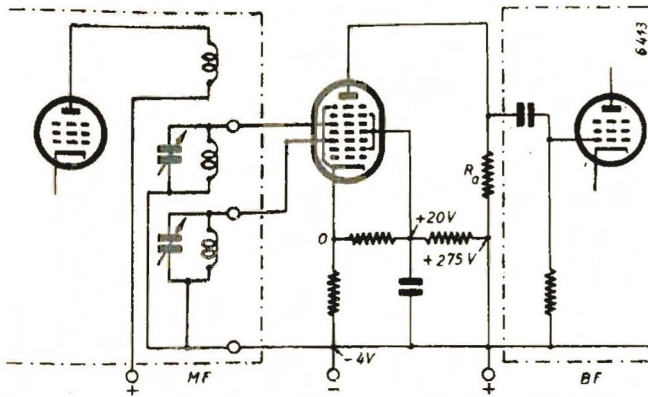


Fig. 5. — Schema di montaggio per la rivelazione di segnali modulati in FM con il tubo EQ80.

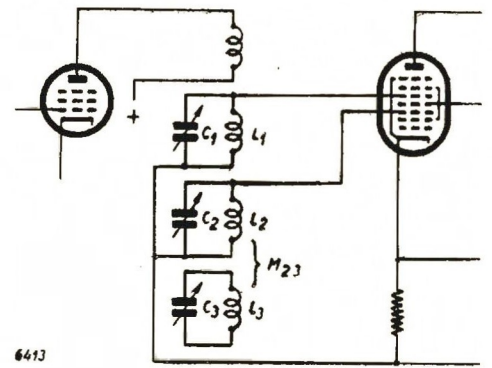


Fig. 7. — Filtro passa banda a tre circuiti accordati che permette di ridurre la distorsione ad un valore più piccolo di quanto possa permettere un filtro passa banda a due circuiti.

L'equazione [1] indica di già che il tubo EQ80 compie fra l'altro anche il compito di limitatore, essendo I_a costante e quindi \bar{i}_a è indipendente dal valore delle tensioni alternative applicate a g_2 e a g_3 .

La fig. 5 indica il montaggio di un tubo EQ80. Il filtro passa banda dell'amplificatore a frequenza intermedia è composto da due circuiti accoppiati ed accordati. Ognuno di questi circuiti sono collegati rispettivamente alle griglie g_2 e g_3 del tubo EQ80.

Il valore dello sfasamento φ fra le due tensioni dipende dal valore della frequenza istantanea (f_i) della media frequenza.

Se la deviazione Δf_i è zero (onda non modulata), $\varphi = 90^\circ$. Se il trasmettitore è modulato f_i varia e φ oscilla allora intorno a 90° . Nel caso di un filtro passa banda a due circuiti accordati la relazione fra φ e Δf_i è una funzione *arc-cotg* che praticamente non è lineare che in prossimità del punto dove $\Delta f_i = 0$. Se la massima deviazione Δf_i produce uno sfasamento φ compreso fra 60° e 120° la distorsione è contenuta nel 2,5% (curva D fig. 6) valore questo che va considerato il massimo ammissibile. Per una data deviazione di frequenza si mantiene φ fra i limiti su menzionati dando un appropriato valore allo smorzamento del secon-

do circuito passa banda, si ottiene così una soddisfacente linearità fra Δf_i e φ .

La distorsione può essere ulteriormente contenuta utilizzando un filtro più complesso e contemporaneamente più costoso.

Un filtro a tre circuiti accordati (fig. 7) permette, in certe condizioni di limitare la distorsione al 0,2% per $\varphi = 60^\circ + 120^\circ$ e a 1,2% per $\varphi = 50^\circ + 130^\circ$.

Queste condizioni si verificano per:

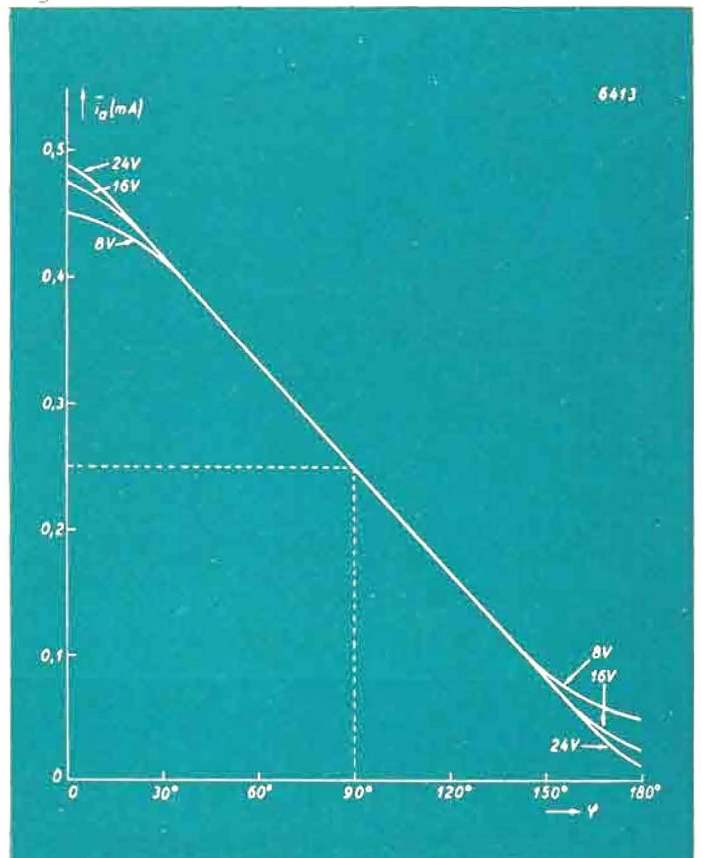
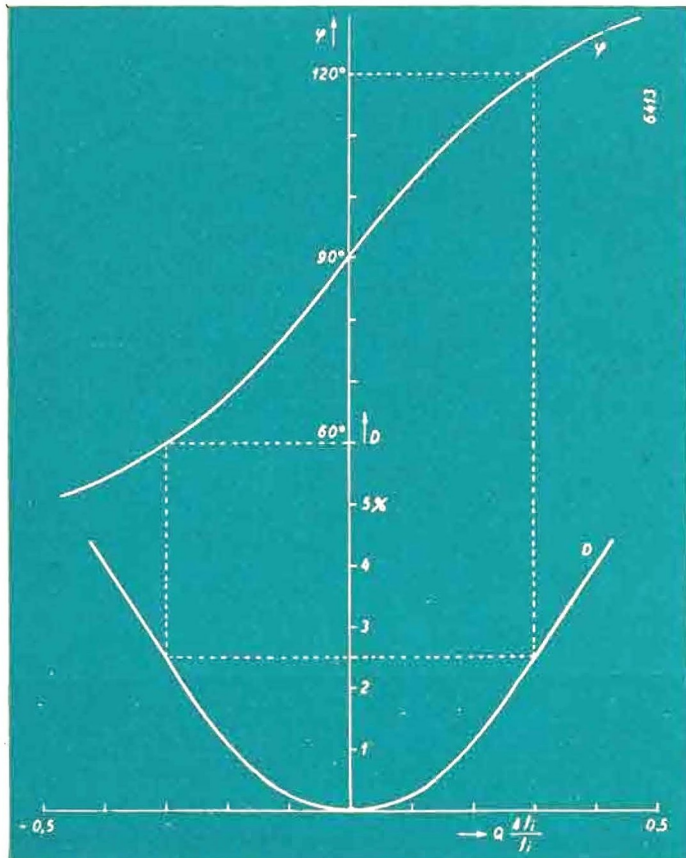
$$Q_1 = 0,45 Q_2$$

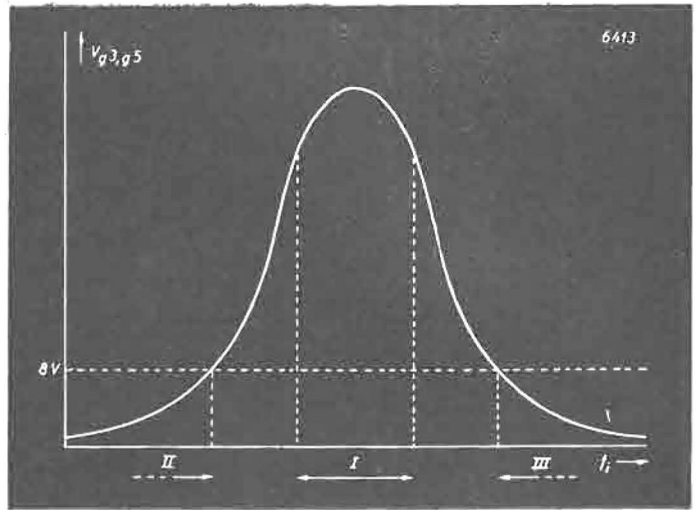
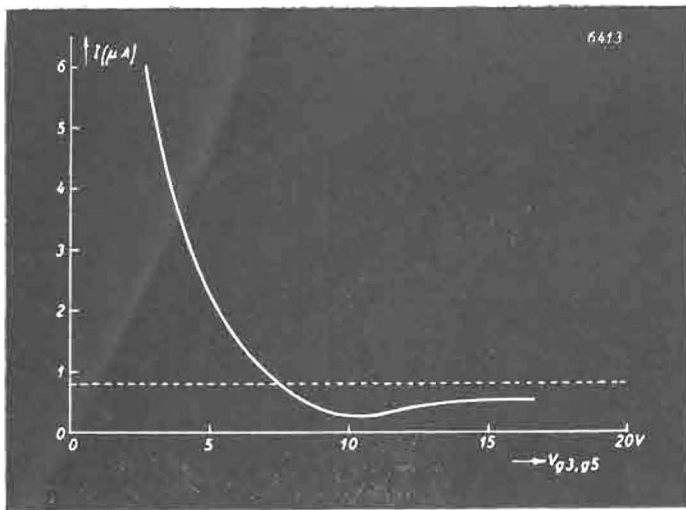
$$M_{23} = L_2/Q_2$$

(vedi fig. 7).

La seconda fase del funzionamento cioè trasformare le variazioni di fase in variazioni proporzionali di corrente anodica sarà compito del tubo EQ80 il quale funziona nel modo già visto. Il modo in cui questa funzione viene svolta può essere seguita con l'aiuto delle curve tracciate in fig. 8.

Queste curve danno il valore della \bar{i}_a in funzione di φ per valori di tensioni alternate $V_{g_2} = V_{g_3}$ delle griglie controllo della EQ80. Si vede che fra $\varphi = 50^\circ$ e $\varphi = 130^\circ$ la relazione fra \bar{i}_a





e φ si mantiene lineare. In questa zona la pendenza è di $2,8 \mu\text{A}$ per grado di sfasamento φ ; allorché φ oscilla fra 60° e 120° (limiti in cui φ varia linearmente a Δf) la variazione di i_a è quindi data, in valore massimo, da:

$$i_{a \max} = [(120^\circ - 60^\circ)/2] \cdot 2,8 \mu\text{A}/\text{grado} = 30^\circ \cdot 2,8 \mu\text{A}/\text{grado} = 84 \mu\text{A},$$

e in valore efficace da:

$$i_{a \text{ eff}} = 84/\sqrt{2} = 60 \mu\text{A}.$$

Questa corrente attraversa il carico anodico della EQ80 (che ha in parallelo la R_g della preamplificatrice di BF, 1 Mohm) di 0,5 Mohm.

Con pieno segnale si avrà quindi una tensione efficace di BF di 20 V.

Utilizzando un filtro passa banda a tre circuiti accordati i limiti entro cui φ varia possono essere allontanati e la tensione efficace di BF raggiunge allora i 25 V, tensione questa largamente sufficiente per pilotare uno stadio finale di potenza sia pure considerevole.

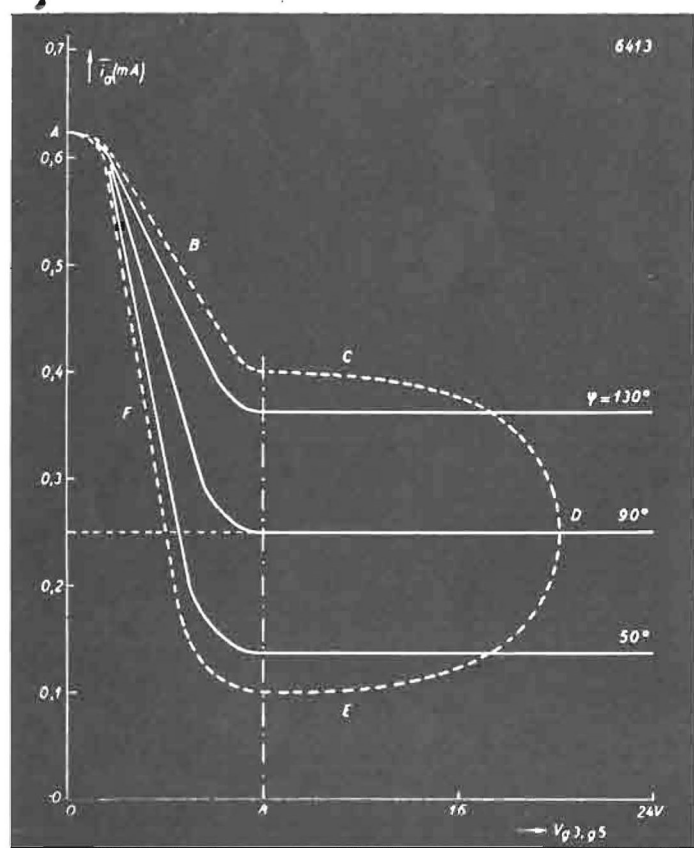
La figura 9 indica ugualmente come l'EQ80 funzioni come limitatrice entro i limiti di φ summenzionati, difatti le curve di

$i_a = f(\varphi)$ coincidono praticamente per diversi valori della tensione alternata $V_{g_3} = V_{g_5}$ applicata alle griglie controllo e quindi in prima approssimazione la modulazione in ampiezza non verrà rivelata.

Per determinare in maniera più rigorosa il grado di insensibilità del tubo EQ80 alla modulazione di ampiezza è stato seguito il seguente procedimento.

Alle due griglie controllo si applicarono due tensioni alternate ad alta frequenza, modulate non già in frequenza ma in ampiezza con un tasso di modulazione del 30% con un segnale di BF; queste tensioni erano sfasate costantemente di 90° . Venne ricavato il valore efficace della corrente anodica I di BF in funzione delle tensioni delle griglie controllo. Come indicato in figura 9 l'EQ80 non è assolutamente insensibile alla modulazione in ampiezza ma dato che con tensioni V_{g_3} e V_{g_5} di otto o più volt la componente anodica di BF è di $1 \mu\text{A}$ contro i $60 \mu\text{A}$ del pieno segnale FM rivelato, la demodulazione dei segnali modulati in ampiezza è trascurabile.

Quindi oltre a comportarsi in modo analogo ad un limitatore il tubo EQ80 ha il vantaggio di non presentare inerzia alcuna nella limitazione di qualsiasi modulazione in ampiezza prodotta



In alto, da sinistra a destra:

FIG. 9. — Valore efficace della corrente anodica di BF di un tubo EQ80 in funzione di V_{g_3} , g_5 (valore efficace) per V_{g_3} , g_5 sfasato di 90° rispetto a V_{g_3} , e con un tasso comune di modulazione di ampiezza del 30%. Per V_{g_3} , $g_5 > 8 \text{ V}$ la modulazione di ampiezza non è praticamente rivelata.

FIG. 10. — Curva di risonanza di un filtro passa banda a MF. Allorché l'accordo è preciso la media frequenza f_0 oscilla nella zona I e la tensione limite sorpassa gli 8 V. Nel caso di un accordo nelle zone II e III V_{g_3} , g_5 è troppo piccolo.

FIG. 11. — Curve a tratto pieno: valore medio i_a del tubo EQ80 in funzione di V_{g_3} , g_5 per vari valori di φ . Il punto A corrisponde ad un ricevitore che si trova nella zona d'accordo, D ad un ricevitore rigorosamente accordato. Passando attraverso la posizione di accordo si ottiene la curva tratteggiata.

Di fianco, a sinistra:

FIG. 12. — Il tutto è come indicato in figura 11 ma per un rivelatore di segnali FM di cattiva costruzione oppure mal regolato. Allorché l'accordo è preciso (D) il rivelatore funziona bene, ma fuori accordo nella zona F e B della curva punteggiata, zona in cui V_{g_3} , $g_5 > 8 \text{ V}$ la forte pendenza provoca una notevole distorsione ed un notevole rumore di fondo nella ricezione.

Di fianco, a destra:

FIG. 13. — Caratteristiche statiche di un rivelatore di segnali FM: Intensità I_a di corrente anodica in funzione della tensione continua E_3 applicata alla terza griglia, oppure la tensione E_5 applicata alla quinta griglia. Le tensioni E_3 ed E_5 sono maggiori di zero.

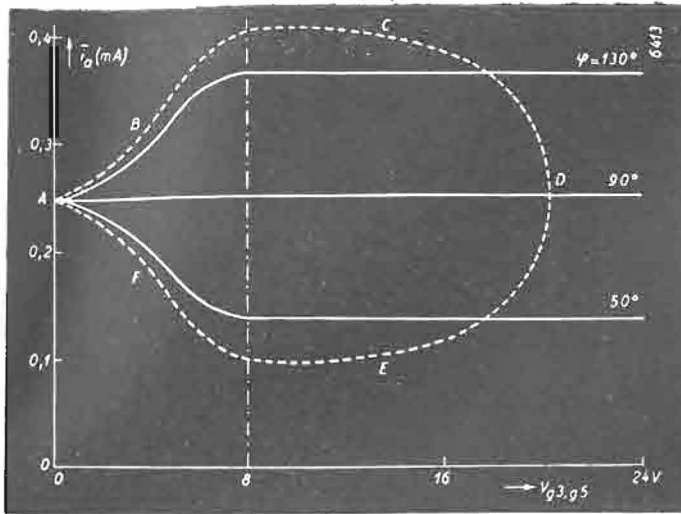
a) caratteristica discontinua (considerata per semplicità);

b) caratteristica simmetrica continua

P' punto di lavoro non corretto;

P punto di lavoro corretto.

c) Caratteristica asimmetrica.



Si ottengono allora delle curve come indicate in fig. 11 (curve a tratto continuo). Questa figura mostra essa pure che se si vuol evitare la rivelazione della modulazione d'ampiezza, V_{g_3} e V_{g_5} devono essere superiori ad un certo valore limite (8 V).

La curva in tratteggio sempre nella figura 11 indica le variazioni di i_a e di V_{g_3} , g_5 risultanti da una variazione progressiva della frequenza f_0 dell'oscillatore locale nel caso che l'onda in arrivo non sia modulata. Allorchè la differenza fra f_0 e la frequenza f_t del segnale in arrivo è ancora molto grande, V_{g_3} e V_{g_5} sono praticamente nulli e sulla figura 11 la situazione è dunque rappresentata nel punto A. Se si fa in maniera che f_0 (segnale locale) si avvicini a f_t (segnale in arrivo), in modo tale che $|f_t - f_0|$ si trovi in prossimità della banda di frequenze che sono amplificate dal canale di media frequenza, V_{g_3} e V_{g_5} aumentano e il punto indica valori di coniugate di i_a e di queste tensioni si sposta da A verso B o verso F (seguendo il segno di $f_t - f_0$); supponiamo che questo punto si sposti verso B. Una maggiore variazione di f_0 porta questo punto da C in D corrispondente a l'accordo preciso ($\varphi = 90^\circ$). Se si spingesse ulteriormente la variazione di f_0 sempre nello stesso senso il punto attraverserebbe le zone E e F per giungere al punto A fuori dell'accordo.

dal trasmettitore o dai rumori locali o ancora dal rumore di fondo delle valvole del ricevitore stesso.

La ricezione di trasmissioni modulate in frequenza sono sovente accompagnate da rumore fastidioso che si produce quando il ricevitore non è rigorosamente accordato cioè quando l'oscillatore locale non fornisce il segnale di valore tale che con l'onda in arrivo abbia a determinare il valore esatto della media frequenza sulla quale è accordato il canale di amplificazione della media frequenza. Difatti se l'oscillatore è accordato in modo tale che la media frequenza modulata spazzola nella zona II o nella zona III (fig. 10) invece che nella zona I si viene a produrre una forte modulazione in ampiezza e l'amplificazione di tensione resta bassa e quindi non si perviene al valore di tensione per ottenere la limitazione in ampiezza, ne risulta quindi un segnale di BF deformato da forte rumore di fondo. Nella progettazione del tubo EQ80 sono stati presi accorgimenti tali da evitare questo inconveniente, inoltre da quanto segue potrà essere dimostrato che questo rumore potrà essere totalmente eliminato in modo assai semplice. La fig. 8 indica i_a in funzione di φ per qualche valore di $V_{g_3} = V_{g_5}$. Per determinare quanto accade in un ricevitore di saccordo è preferibile scegliere altre coordinate: si può quindi esprimere i_a in funzione di V_{g_3} , g_5 , assumendo φ come parametro.

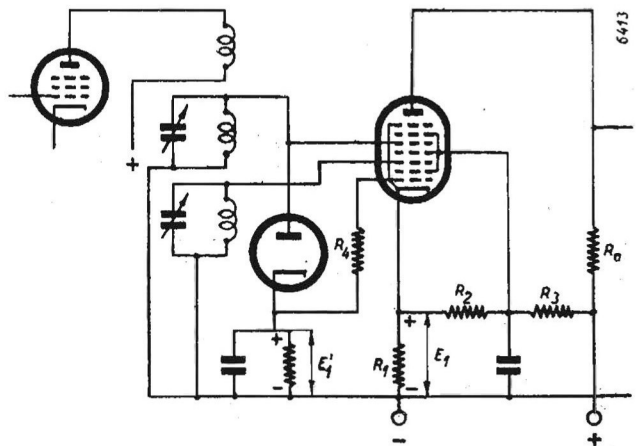
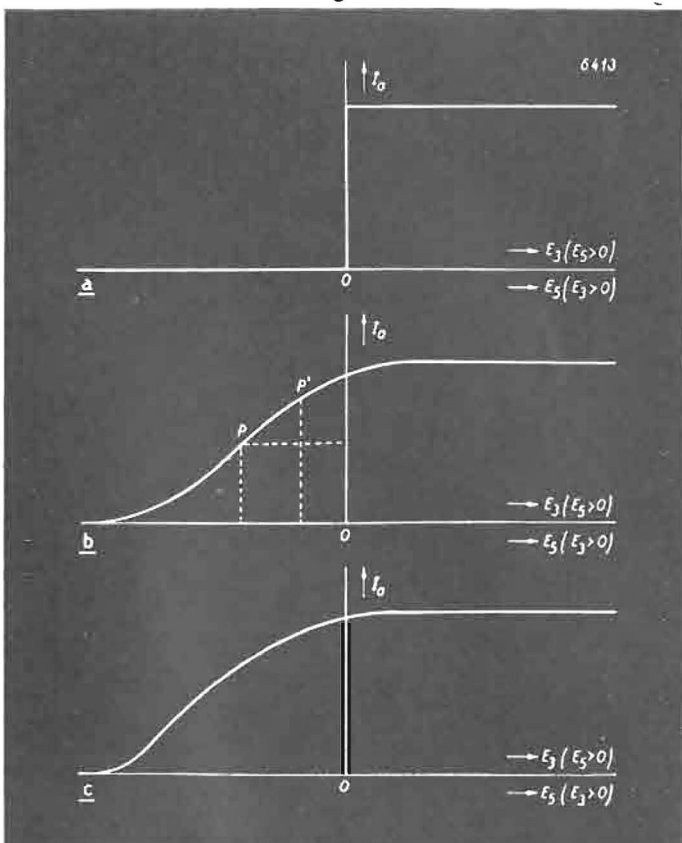


Fig. 14. — La tensione della prima griglia del tubo EQ80 è E_1 , E_1 risulta dalla rettificazione della tensione V_{g_3} agli estremi di un circuito di filtro passa banda. La tensione E_1 è scelta di modo che la corrente catodica del tubo EQ80 sia bloccata allorchè $V_g < 8$ V eff.



Nelle zone B e F i_a dipende dalla grandezza di V_{g_3} e V_{g_5} in maniera tale che la modulazione di ampiezza viene rivelata e la riproduzione di BF distorta. Questo effetto diminuisce man mano che la pendenza di B in F diminuisce. Difatti la forma delle curve rappresentate in figura 11 è molto più vantaggiosa che quelle riprodotte in figura 12 che è stata riprodotta appunto per poter verificare la maggiore attitudine del tubo EQ80 ad attenuare gli inconvenienti precitati quando il ricevitore non sia perfettamente sulla frequenza del segnale in arrivo.

Orbene, si è sinora pensato a scopo di rendere più piano il fenomeno di rivelazione della EQ80 che questo tubo fosse conduttivo per qualsiasi segnale positivo di griglia e la sua conduttività fosse zero per segnali negativi. Le caratteristiche rilevate con l'ausilio della tensione continua E , $I_a = f(E_3)$ (nel caso che la griglia 5 sia positiva) e $I_a = f(E_5)$ (nel caso che la griglia 3 sia positiva) danno il grafico di figura 13-a, in pratica però questo non si verifica e si hanno le curve 13-b e 13-c. Ad evitare quindi un effetto rettificatore dovuto ad esempio ad un punto di lavoro scelto in P' (13-b); il punto esatto di polarizzazione P (13-b) dovrà essere scelto con molta cura, diversamente il punto A verrà ad avere l'asimmetria indicata nella fig. 12 (od opposta).

La simmetria quindi delle due caratteristiche è stato oggetto di particolari cure da parte dei realizzatori della EQ80 che sono risultate del tipo 13-b e la pendenza è stata mantenuta bassa a minimizzare una eventuale leggera disimmetria. La tensione di polarizzazione corretta è risultata di -4 V ed è consigliato di ricavarla nel modo indicato in figura 5.

Le qualità precitate del tubo EQ80 possono essere migliorate e sopprimere del tutto il rumore prima accennato relativo al disaccordo del ricevitore. Questo può essere ottenuto con il montaggio indicato in figura 14 dove la griglia g_1 bloccherà l'EQ80 sintanto che le griglie g_3 e g_5 avranno un potenziale inferiore ad 8 V. Alla griglia g_1 , sono applicate due tensioni di polarizzazione, una determinata dalla resistenza catodica appartenente al partitore, l'altra determinata dalla rettificazione della tensione del terzo filtro passa banda con l'ausilio di un diodo sul cui catodo

oltre alla resistenza di polarizzazione è posto pure un condensatore di livellamento.

Solamente quando la tensione rettificata avrà raggiunto un valore sufficientemente elevato il tubo EQ80 potrà funzionare.

La resistenza R_1 di fig. 14 ha funzione limitatrice della tensione positiva della griglia 1. Questo diodo contemporaneamente può servire quale rettificatore di R.A.S. e quindi può oltre al comune compito di regolazione automatica di sensibilità pilotare un indicatore di sintonia di qualsiasi tipo.

Per l'amplificazione di BF è consigliato l'uso di un tubo Philips EL41 (pentodo a 10.000 μ S di pendenza, 9 W di dissipazione anodica, esecuzione Rimlock) il quale essendo pilotato in

pieno da una tensione di solo 4 V ammette una forte controreazione a tutto vantaggio della qualità di riproduzione (l'uscita della EQ80 è di 20÷25 V).

Riassumendo quindi l'EQ80 oltre ad offrire i vantaggi che qui abbiamo riassunto permette di risparmiare un pentodo quale limitatore, un doppio diodo quale rivelatore e quello che maggiormente conta un circuito discriminatore i cui due accordi sono così critici per una bassa distorsione della BF ed infine un preamplificatore di BF, all'incontro però richiede una tensione di pilotaggio a media frequenza sensibilmente superiore a quella richiesta per la piena limitazione da un comune circuito limitatore.

(RB)
