

Preamplificatore per ripetitori TV, bande IV/V, realizzato con il BLX 98

Viene presentato un esempio d'impiego di questo transistor in un amplificatore lavorante nelle bande IV-V (UHF). In appendice riportiamo una breve illustrazione dei parametri caratteristici di questi tipi di amplificatori.

Il BLX98 è un transistor di potenza per impieghi UHF (bande IV-V). È un transistor N—P—N planare-epitassiale al silicio in contenitore plastico, terminali « stripline », tutti isolati dalla vite di fissaggio (stud) (fig. 1). La bassa dissipazione in c.c. di questo transistor è stata ottenuta grazie alla presenza di resistori « ballast » interni di emettitore e metallizzazione del chip in oro.

Esempio d'impiego del BLX98 in un preamplificatore per ripetitori e trasmettitori TV operanti nelle bande IV-V

In figura 2 è riportato un circuito di prova funzionante alla frequenza video di 860 MHz. Qui di seguito forniamo le prestazioni di questo circuito:

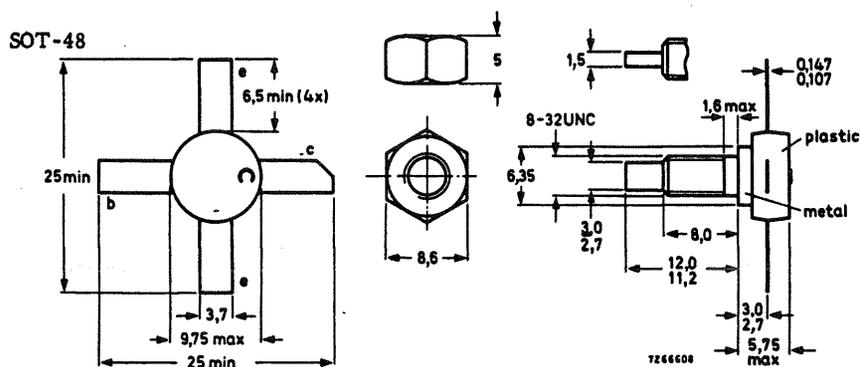


Fig. 1 - Dimensioni d'ingombro in mm, e collegamenti agli elettrodi del transistor U.H.F. BLX98. Il contenitore è un SOT-48. Se il transistor viene fissato mediante dado è preferibile impiegare una rondella « adesiva » al posto di una « grover ». Il foro nel dissipatore di calore dovrà avere un diametro massimo di 4,17 mm. Non dovrà presentare né sbavature su entrambe le facce del dissipatore né smussature all'interno del medesimo.

d_{im} (dB)*	f_{video} (MHz)	V_{CE} (V)	I_C (mA)	G_p (dB)	$P_o^* \text{ sinc}$ (W)	T_h (°C)
-60	860	25	850	> 5,0	> 3,5	70
-60	860	25	850	tip. 5,5	tip. 4,0	70

* E' la distorsione per intermodulazione misurata con il sistema delle tre frequenze (portante video - 8 dB, portante audio - 7 dB, segnale banda laterale - 16 dB); 0 dB corrisponde al picco del sincronismo.

In fig. 3 si può vedere l'andamento del fattore di amplificazione h_{FE} in funzione della corrente di collettore, mentre la fig. 4 dà l'andamento della capacità di collettore in funzione della tensione tra collettore e base. In fig. 9 è riportato l'andamento della frequenza di transizione in GHz in funzione della corrente di collettore. In fig. 6 si può vedere la potenza di uscita in watt in funzione della frequenza quando il BLX98 viene impiegato nella banda IV, mentre in fig 7 è dato lo stesso andamento della potenza quando il BLX98 viene impiegato nella banda V. La fig. 8 infine dà l'andamento tipico del guadagno in dB quando il transistor lavora entro le frequenze delle bande IV e V.

In fig. 5, in alto, è riportata la piastrina in fibra di vetro (teflon), vista dalla parte dei componenti mentre in basso si può vedere il rame della piastrina (sempre dalla parte dove si trovano i componenti),

dato che la parte opposta della piastra stampata è completamente metallizzata (rame) in quanto serve da massa: i collegamenti a questa massa vengono effettuati mediante rivetti che attraversano la piastrina stessa.

Dati tecnici principali

Tensione base-collettore (emettitore aperto; valore di picco)	V_{CBOM}	mass. 50 V
Tensione emettitore-collettore (base aperta)	V_{CEO}	mass. 27 V
Corrente di collettore (valore di picco)	I_{CM}	mass. 4 A
Temperatura alla giunzione	T_j	mass. 200 °C
Resistenza termica tra giunzione e base di montaggio	$R_{th j-mb}$	= 5,5 °C/W
Frequenza di transizione $I_C = 1 \text{ A}; V_{CE} = 25 \text{ V}$	f_T	tipica 2,5 GHz
Potenza di uscita alla frequenza video di 860 MHz $I_C = 850 \text{ mA}; V_{CE} = 25 \text{ V}; T_h = 70 \text{ °C}; d_{im} = -60 \text{ dB}$	$P_o \text{ sinc.}$	> 3,5 W
Guadagno in potenza alla frequenza video di 860 MHz $I_C = 850 \text{ mA}; V_{CE} = 25 \text{ V}; T_h = 70 \text{ °C}$	G_p	> 5,0 dB

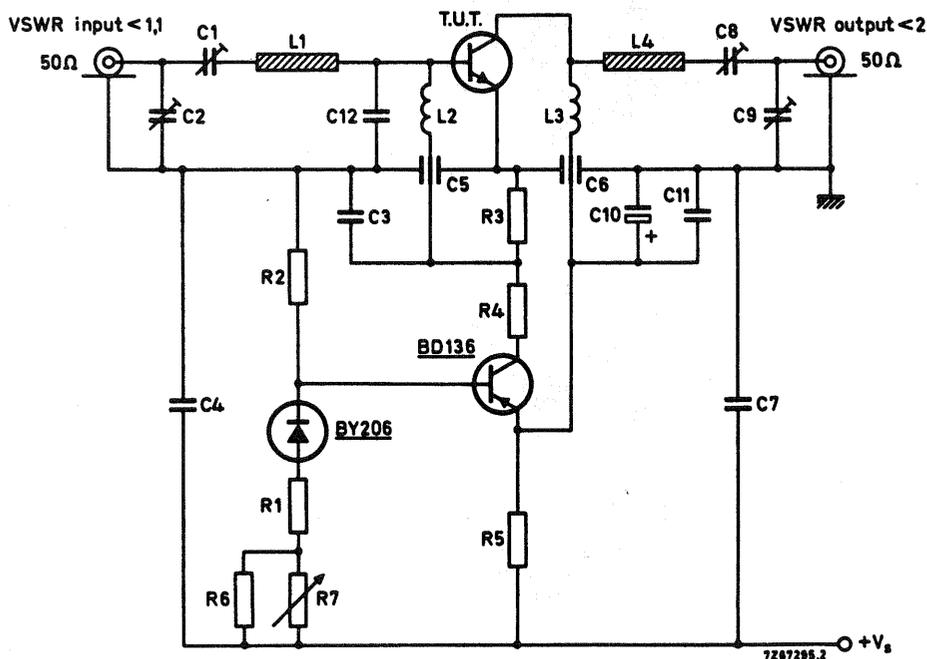


Fig. 2 - Schema elettrico del circuito di prova lavorante alla frequenza video di 860 MHz.

COMPONENTI

- C₁ - C₂ 1,4 ... 5,5 pF trimmer con dielettrico a film (codice 2222 809 09001)
- C₃ - C₄ 100 nF condensatori poliesteri
- C₅ - C₆ 1 nF condensatori passanti
- C₇ 5,6 pF condensatore ceramico
- C₈ 2 ... 18 pF trimmer con dielettrico a film (codice 2222 809 09003)
- C₉ 2 ... 9 pF trimmer con dielettrico a film (codice 2222 809 09002)
- C₁₀ 10 μF/40 V condensatore elettrolitico in alluminio solido
- C₁₁ 470 nF condensatore poliestere
- C₁₂ 2 × 3,3 pF condensatori « chip » (in parallelo)

- R₁ 150 Ω
 - R₂ 1,8 kΩ
 - R₃ 33 Ω
 - R₄ 220 Ω (1 W)
 - R₅ 4 × 12 Ω in parallelo (4 × 1 W)
 - R₆ 1 kΩ
 - R₇ 220 Ω (potenziometro)
 - L₁ « stripline » (13,6 mm × 6,9 mm)
 - L₂ microchoke 0,47 μH (codice 2422 535 00477)
 - L₃ 1 spira di filo di rame da 1 mm: diametro interno 5,5 mm; terminali 2 × 5 mm
 - L₄ « stripline » (40,8 × 6,9 mm).
- Le « stripline » L₁ e L₄ vengono ricavate dal rame della stessa piastra di circuito stampato in fibra di vetro (teflon); lo strato di rame si trova da entrambe le parti; lo spessore del teflon è 1,45 mm; la costante dielettrica ε_r (che funziona da dielettrico) è 2,74.

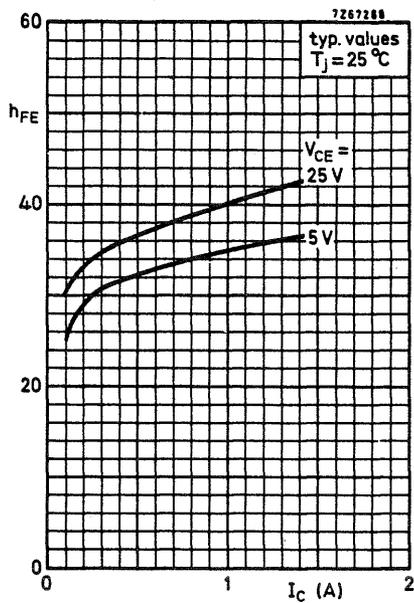


Fig. 3 - Fattore di amplificazione h_{FE} in funzione della corrente di collettore (A).

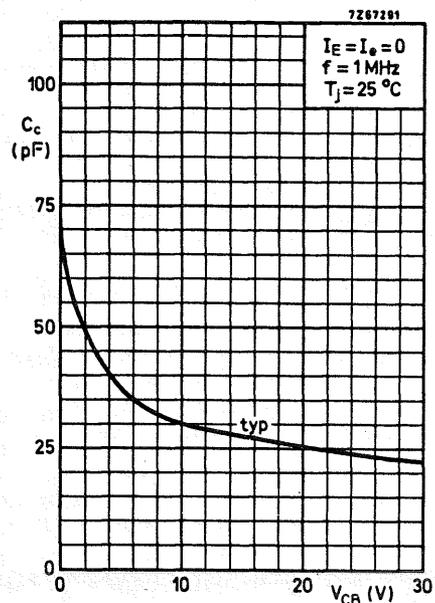


Fig. 4 - Capacità di collettore C_c (in pF) in funzione della tensione tra collettore e base (V).

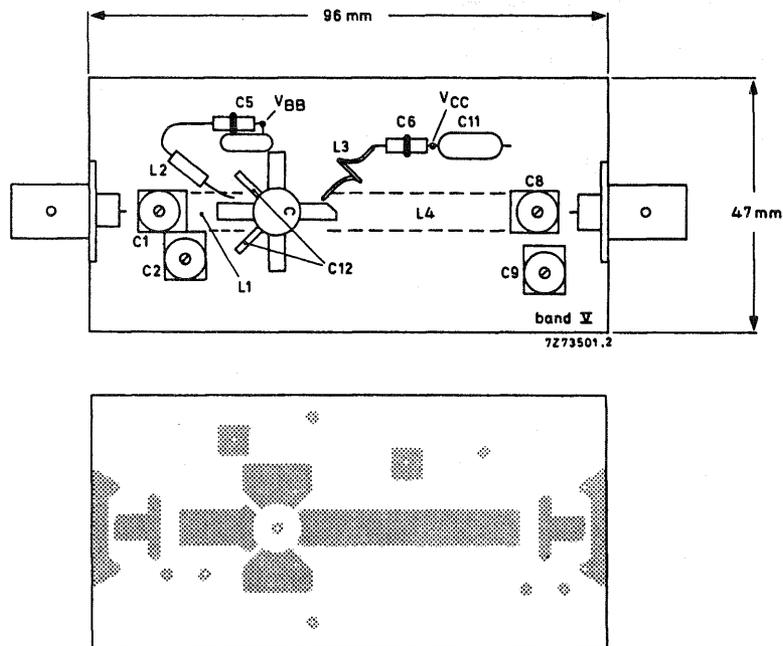


Fig. 5 - In alto: come si presenta la piastra in fibra di vetro (teflon) dalla parte dove sono montati i componenti; in basso: rame (stripline comprese) dalla parte dove si trovano i componenti; la parte opposta della piastrina è completamente ricoperta di rame che serve da massa comune a tutto il circuito. I collegamenti a questa massa vengono effettuati mediante fori attraversati da rivetti.

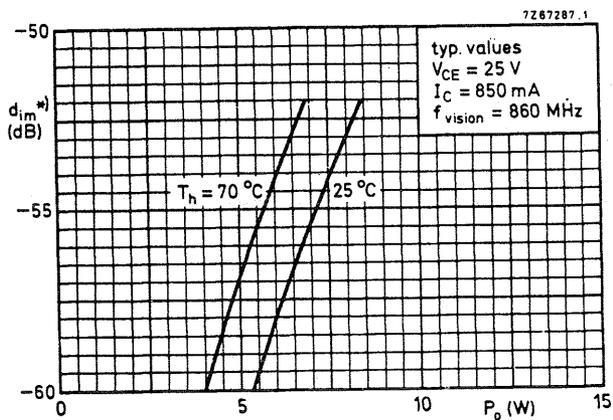


Fig. 5 a - Distorsione di intermodulazione d_{im} (dB) in funzione della potenza d'uscita P_o (W). (Per il significato dell'asterisco vedi la nota in calce alla tabellina).

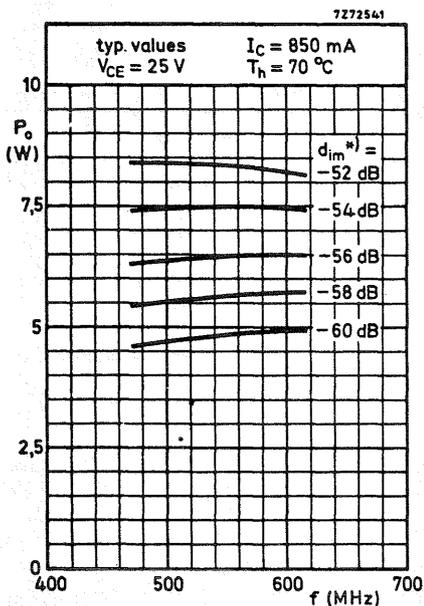


Fig. 6 - Potenza di uscita P_o (in W) in funzione delle frequenze della banda IV U.H.F.

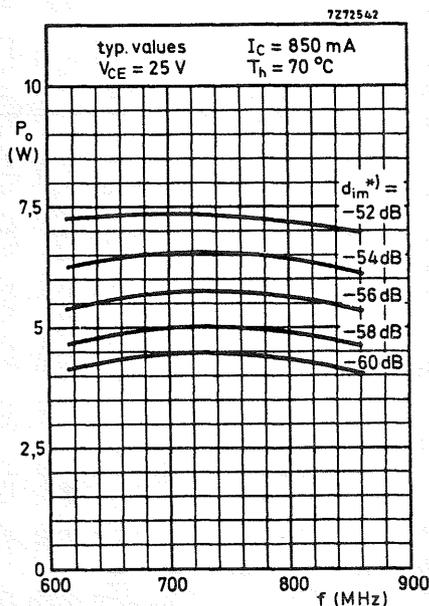


Fig. 7 - Potenza di uscita P_o (in W) in funzione delle frequenze della banda V U.H.F.

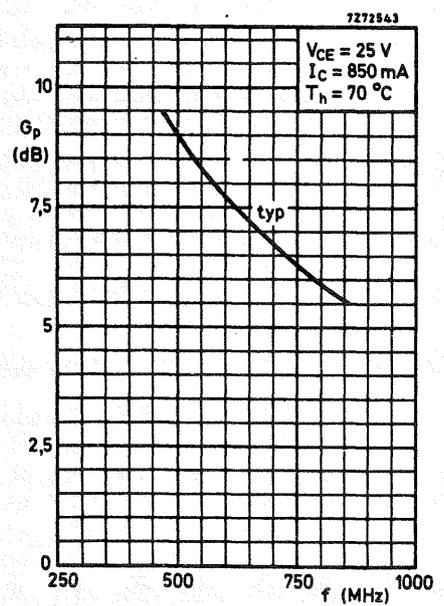


Fig. 8 - Guadagno G_p (in dB) in funzione delle frequenze delle bande IV e V U.H.F.

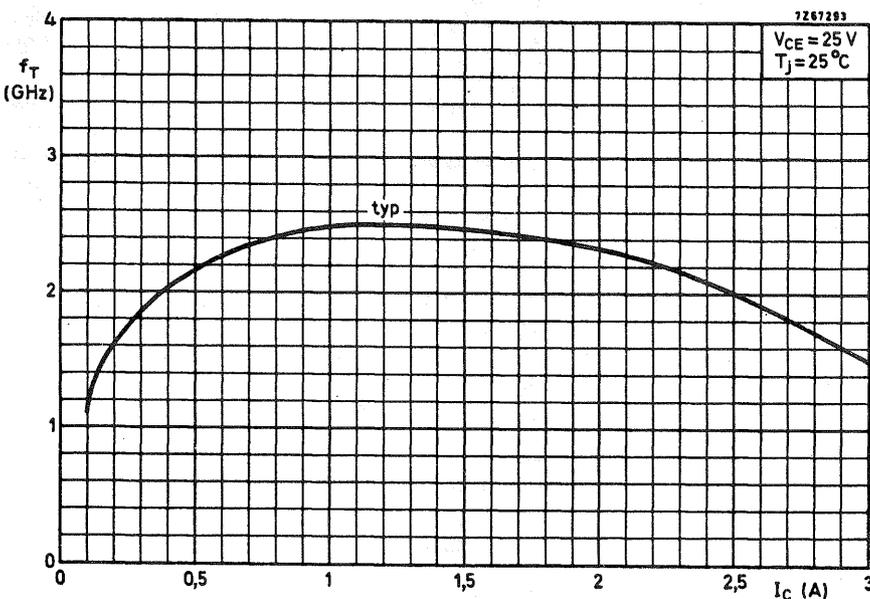


Fig. 9 - Andamento della frequenza di transizione (f_T) in GHz in funzione della corrente di collettore (A).

APPENDICE I - Segnali e sistemi di misura per trasmettitori e ripetitori TV

Indichiamo qui di seguito i parametri essenziali da tener sott'occhio quando si vogliono valutare quantitativamente le prestazioni di un trasmettitore o ripetitore di segnali televisivi. Essi sono:

- la frequenza di lavoro
- la banda passante
- il guadagno differenziale
- la fase differenziale
- la compressione dei sincronismi
- il guadagno di-potenza al livello del sincronismo.

La banda passante

La banda passante di qualsiasi sistema di trasmissione di segnali TV viene definita con riferimento alla curva di risposta ideale ampiezza/frequenza, considerata da tutti come *curva standard del sistema* (fig. 10). Per essere sicuri che la banda passante dell'amplificatore da collaudare corrisponda a quella della curva di risposta standard è pratica generale effettuare tale controllo impiegando *tre* differenti segnali di prova. Le curve di risposta ricavate in questa maniera dovranno trovarsi entro la *zona di tolleranza* della curva di risposta standard (fig. 10).

Le tre suddette misure vengono effettuate aggiungendo in corrispondenza di tre differenti livelli di lu-

minanza del segnale video (e precisamente al 40%, 65% e 15%), un'onda sinusoidale vobbulata da 0 a 5 MHz (fig. 11). A loro volta, le rispettive ampiezze dell'onda sinusoidale saranno 60%, 10% e 10% (da picco a picco), per cui le ampiezze complessive dei segnali video risultanti saranno 10/70, 60/70 e 10/20, come appunto indicato in fig. 11.

In fig. 10 si può vedere come più o meno dovrebbero trovarsi, entro la fascia di tolleranza della curva di risposta standard, le curve di risposta ottenute impiegando i tre segnali di prova suddetti.

Guadagno differenziale e fase differenziale

La fig. 12 indica come debbono essere misurati il guadagno e la fase differenziale di un sistema di amplificazione TV. Come indicato in fig. 12, il segnale video di prova ha la forma di un dente di sega che inizia con un'ampiezza del 17% e arriva fino al 75%; su questo dente di sega viene sovrapposta un'onda sinusoidale con ampiezza del 10% (da picco a picco) e con frequenza di 4,43 MHz (CCIR). Quest'ultimo segnale simula la portante del colore. Viene inoltre impiegato, per la misura dei suddetti parametri, un secondo segnale di prova costituito anch'esso da un segnale video a dente di sega che, in questo caso, inizia dal 25% e termina al 75%. In questo caso, il segnale sinusoidale a 4,43 MHz ha un'ampiezza da picco a picco del 30%.

Mediante un'unità di correzione presente nel modulatore del segnale video si fa in modo che il suddetto segnale di prova risulti, in corrispondenza dell'ingresso dell'amplificatore da misurare, più corretto possibile, presenti cioè un guadagno differenziale del 100% ed una fase differenziale di 0°.

Assicuratisi di ciò, si procede alla misura, all'uscita dell'amplificatore, del guadagno e della fase differenziale come indicato in fig. 12.

Compressione dei sincronismi

E' noto che a causa della non-linearità della caratteristica di trasferimento dei transistori impiegati, qualsiasi amplificatore tende ad introdurre una certa distorsione nel segnale applicato al suo ingresso.

Nei sistemi di trasmissione TV a modulazione negativa del segnale video, il segnale con livello più basso corrisponde al massimo bianco della scena, ed ha un'ampiezza massima pari al 10% del segnale video; ne consegue che qualsiasi non linearità al di sotto di questo livello verrà a cadere al di là della parte visibile della scena; in altre parole, essa non produrrà nessuna alterazione sui veri « bianchi » della scena tresmessa.

All'altro estremo del segnale video si fa in maniera che il livello corrispondente al massimo nero non superi il 75% della massima ampiezza del segnale.

Un notevole inconveniente prodotto da fenomeni di non-linearità al di sopra del massimo livello del nero è, com'è noto, la compressione degli impulsi di sincronismo. Questo inconveniente viene però compensato allungando detti segnali prima della loro amplificazione. Questa operazione è conosciuta come *stiramento del sincronismo* (sync stretching).

La fig. 13 a riporta un segnale di sincronismo all'uscita avente un rapporto immagine/sincronismo pari a 75/25. Indicando con x l'ampiezza che l'impulso di sincronismo presenta all'ingresso avremo che il

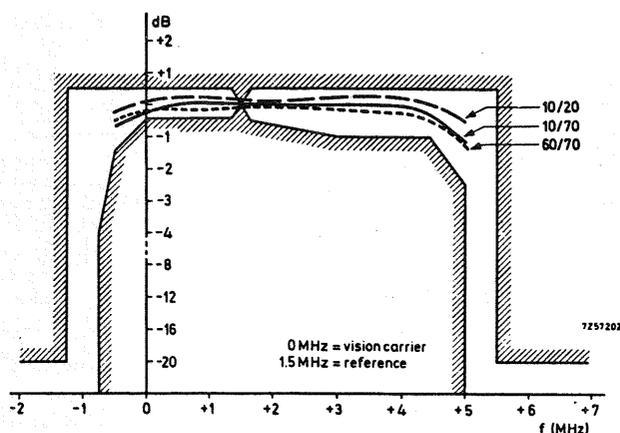


Fig. 10 - Curva di risposta standard ampiezza/frequenza di un canale TV CCIR. Le curve di risposta ricavate con tre segnali di misura di fig. 18 si trovano entro la fascia di tolleranza ammessa.

segnale applicato all'ingresso dovrà avere un rapporto immagine/sincronismo pari a $(100 - x/x)$.

Ciò è indicato in fig. 13 b per un rapporto immagine/sincronismo pari a 70/30.

Evidentemente, il maggiore o minore *stiramento* (stretching) da dare all'impulso del segnale di sincronismo dipenderà dall'entità della compressione che tale segnale potrà subire a causa della non-linearità dell'amplificatore. La compressione del sincronismo potrà pertanto essere misurata dal rapporto sincronismo all'ingresso/sincronismo all'uscita, e sarà x 25.

In fig. 14 possiamo vedere l'andamento del rapporto potenza di pilotaggio al livello del sincronismo/potenza di pilotaggio al livello del nero in funzione del rapporto *sincr. ingresso/sincr. uscita*. Questo grafico si riferisce solo agli impulsi di sincronismo di riga.

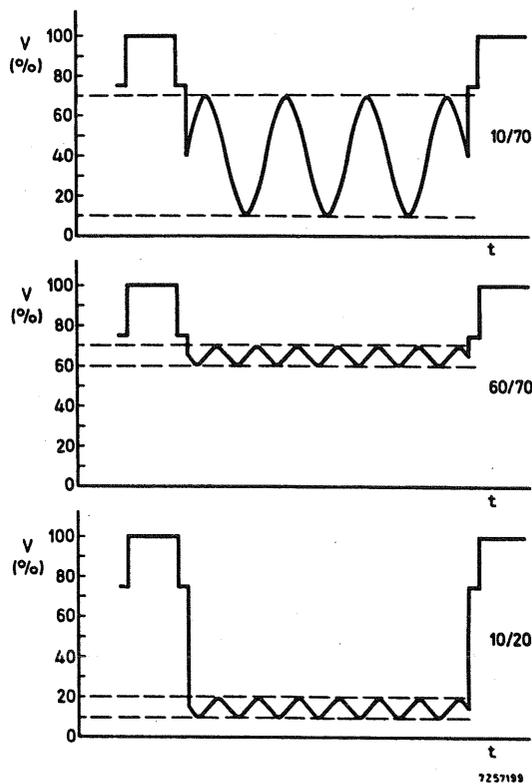


Fig. 11 - Dall'alto verso il basso. Segnale video di una riga con sovrapposti tre differenti livelli di un segnale sinusoidale (vedi testo).

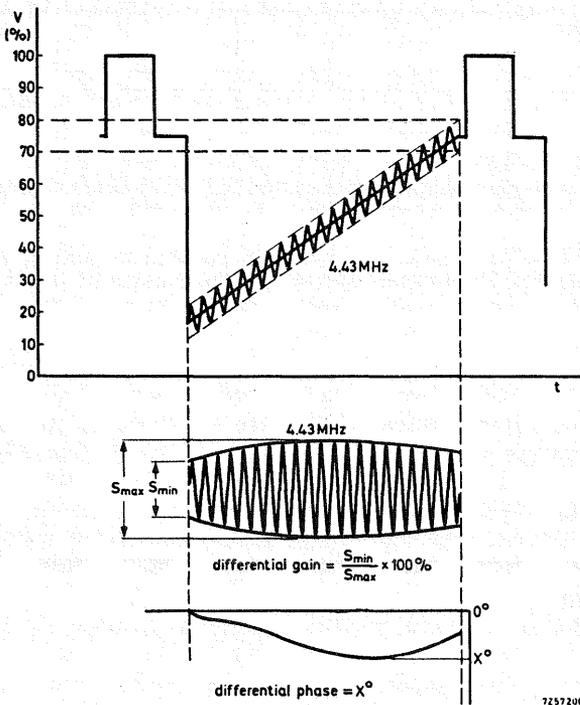


Fig. 12 - In alto. Segnale video a dente di sega di una riga con sovrapposto un segnale sinusoidale a 4,43 MHz. In basso. Sistema di misura del guadagno e della fase differenziale in un sistema C.C.I.R.

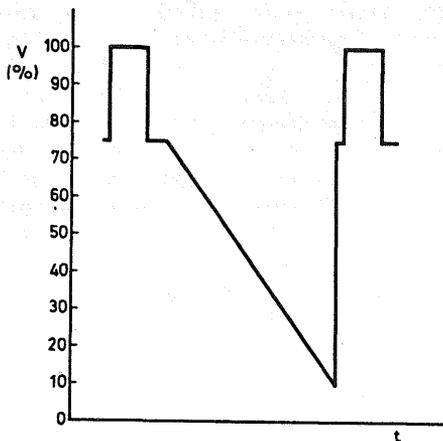


Fig. 13 a - Segnale d'uscita standard C.C.I.R. con rapporto di 75/25 di immagine/sincronismo.

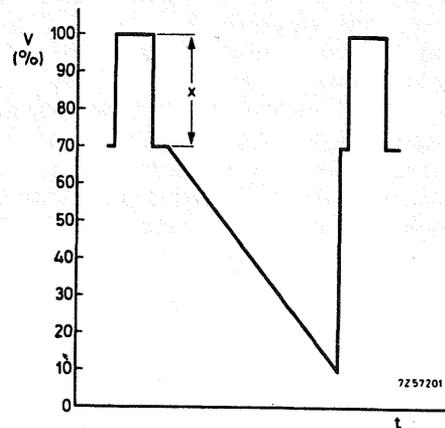


Fig. 13 b - Segnale d'ingresso con i segnali di sincronismo « allungati » (rapporto immagine/sincronismo = 70/30). In questo caso xV (%) = ampiezza dell'impulso di sincronismo d'ingresso.

APPENDICE II - Generalità sugli amplificatori lineari a larga banda

Gli amplificatori lineari a larga banda debbono possedere le seguenti caratteristiche:

- impedenza di 50 Ω all'ingresso e all'uscita,
- possibilità di accordo sulle frequenze comprese entro la banda.

La distorsione che il segnale TV subisce nell'ultimo stadio di potenza di un trasmettitore deve essere mantenuta più bassa possibile compatibilmente con il massimo rendimento che è necessario realizzare in questo stadio.

Siccome le eventuali non-linearità di cui può essere affetto lo stadio finale, di solito, non possono essere corrette né nel preamplificatore né nello stadio finale stesso ma piuttosto negli stadi a frequenza intermedia che precedono, è evidente la necessità che lo stadio pilota presenti un funzionamento più lineare possibile.

Tra le cause che producono non-linearità, e di conseguenza, degradazione del segnale video, le più importanti sono:

- a) l'andamento non lineare della giunzione base-emettitore che può essere migliorato aumentando la corrente di polarizzazione di detta giunzione. In proposito si raccomanda di impiegare transistori le cui curve SOAR in continua (Safe Operating ARa) consentano di poter lavorare con corrente di collettore con valore elevato;
- b) calo della frequenza di transizione all'aumentare della corrente di collettore. Al riguardo possiamo dire che è possibile ottenere una buona linearità facendo lavorare il transistor con una corrente di emettitore in corrispondenza della quale la frequenza transizione assuma il massimo valore;
- c) non-linearità dovuta alla tensione di ginocchio del collettore. Converterà pertanto ridurre l'escursione della tensione di collettore se si vuole ridurre l'effetto-ginocchio sulla non-linearità;

d) *moltiplicazione per effetto valanga*. Facendo lavorare il transistoro molto al di sotto della tensione di rottura del collettore è possibile limitare l'influenza di questo fenomeno sulla non linearità;

e) la *capacità base-collettore* che aumenta secondo la radice cubica della tensione applicata. Pertanto, per ridurre la capacità sarà sufficiente aumentare la tensione al collettore.

I transistori impiegati per trasmettere segnali TV possono essere fatti lavorare in *classe A* oppure in *classe AB*. Nei *ripetitori*, nei quali, come è noto, un unico amplificatore finale è chiamato ad amplificare *tutto il canale TV* (e cioè sia la portante audio che la portante video), l'amplificazione lineare è la « *conditio sine qua non* » per il buon funzionamento dell'impianto. In particolare, si dovrà evitare sia la distorsione di fase che di ampiezza; solo così si potranno evitare i fastidiosi fenomeni di intermodulazione. Per ottenere ciò, i transistori finali dovranno essere fatti funzionare in classe A (corrente di collettore costante).

Per i *trasmettitori TV* veri e propri (nei quali le due portanti vengono amplificate separatamente), il discorso è diverso in quanto, essendo come abbiamo visto, applicata una certa *precorrezione* del segnale video al livello della frequenza intermedia, una *perfetta* linearità non è assolutamente richiesta (specialmente per ciò che riguarda la fase ed il guadagno differenziale). Da ciò consegue che i transistori possono essere fatti lavorare in classe AB, e di conseguenza si potrà ricavare da essi una potenza maggiore.

Nella maggior parte degli amplificatori di potenza a transistori, la resistenza di carico del circuito non sempre risulta *adattata* all'impedenza d'uscita del transistoro. Succede infatti che la resistenza di carico risulti determinata dai seguenti parametri:

$$R_L = \frac{(V_{cc} - V_{sat})^2}{2 P_o}$$

nella quale

R_L = resistenza di carico,
 V_{cc} = tensione al collettore,
 V_{sat} = tensione di saturazione,
 P_o = potenza d'uscita.

Pertanto, affinché il transistoro d'uscita possa lavorare bene occorrerà progettare molto accuratamente la *rete di adattamento all'uscita*.

Il sistema di far lavorare *in parallelo* più transistori allo scopo di ottenere una potenza di uscita maggiore non è sempre di facile realizzazione. Un sistema meno critico è quello di impiegare *circuiti integrati ibridi*, i quali offrono il vantaggio di un maggiore isolamento tra i circuiti.

Alcune osservazioni sui ripetitori

Negli attuali ripetitori TV, le frequenze delle portanti audio e video del canale TV ricevuto vengono cambiate in quanto viene utilizzato per la loro ritrasmissione un canale diverso. Abbiamo visto, inoltre,

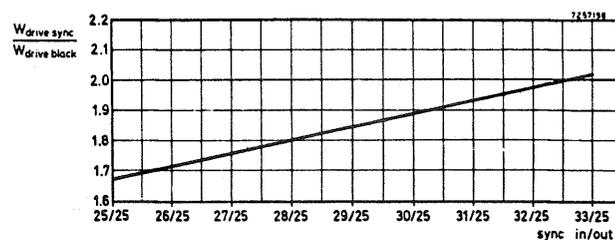


Fig. 14 - Variazione del rapporto potenza di pilotaggio al livello del sincronismo/potenza di pilotaggio al livello del nero, in funzione della compressione del sincronismo.

che l'amplificatore finale di questi ripetitori deve trattare contemporaneamente tutta la larghezza di banda del canale (e cioè, portante audio e video). Succede allora che se il transistoro finale non lavora nel tratto lineare della caratteristica, la presenza simultanea di più segnali sinusoidali produrrà fenomeni di intermodulazione (meglio noti come prodotti d'intermodulazione).

Evidentemente, l'entità di questi prodotti di intermodulazione dipenderà sia dal livello dei segnali di ingresso dell'amplificatore sia dall'entità della non-linearità (di fase e d'ampiezza) con cui lavora il transistoro finale.

Questi inconvenienti si verificano in maniera molto spiccata quando il segnale TV trattato è un segnale per immagini a colori. In questo caso bisognerà calcolare bene il *livello* del segnale d'ingresso per fare in maniera che il transistoro possa lavorare in quella porzione della sua *caratteristica di trasferimento* che presenta un andamento più lineare possibile in modo da ottenere livelli di distorsione per intermodulazione compatibili e accettabili da un sistema di trasmissioni TVC.

Prove e misure hanno dimostrato che è possibile ottenere un'immagine TVC accettabile quando i parametri in questione assumono i seguenti valori:

- prodotti di intermodulazione (misurati col sistema delle tre frequenze) ≤ -52 dB
- linearità alle basse frequenze > 95 %
- guadagno differenziale > 95 %
- fase differenziale < 3 %
- variazione rapporto immagine/sincronismo < 3 %

Le ultime quattro di queste caratteristiche debbono essere assolutamente soddisfatte nel caso in cui le portanti video e audio vengono trattate *contemporaneamente* in uno stesso amplificatore lineare (ripetitore), in quanto in questo caso, l'amplificatore lavora con un picco di potenza dell'involuppo molto più elevato di quando viene ad esso applicata la sola portante video.

L'amplificatore finale di un ripetitore U.H.F. potrà lavorare con triodi metallo-ceramica a guadagno elevato, klystron, tubi ad onde progressive o transistori. Attualmente sono però disponibili transistori capaci di dare 10 W nelle bande IV e V (U.H.F.).