

Ing. G. P. BARBIERI

**APPLICAZIONE
DELLA TEORIA
DEI CONTROLLI
AL MODULATORE DELTA**

**XIX Convegno
Internazionale
delle
Comunicazioni
Genova
12-16 ottobre 1971**

**pubblicazioni
dell'Istituto
Internazionale
delle
Comunicazioni
Genova**



Ing. G. P. BARBIERI

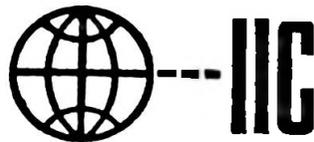
Istituto di Elettrotecnica della Università di Genova.

**APPLICAZIONE
DELLA TEORIA
DEI CONTROLLI
AL MODULATORE DELTA**

**XIX Convegno
Internazionale
delle
Comunicazioni
Genova
12-16 ottobre 1971**

Lavoro eseguito con il contributo del C.N.R.

pubblicazioni
dell'Istituto
Internazionale
delle
Comunicazioni - GENOVA



INTRODUZIONE

I modulatori delta possono essere costruiti con una catena di retroazione demodulante a doppia o a semplice integrazione. In genere viene però data la preferenza alla semplice integrazione.

Ciò per due motivi fondamentali: il primo dovuto a ragioni di stabilità dell'anello, stabilità che, con la semplice integrazione, non è mai infirmata; il secondo dovuto a ragioni di rapporto segnale disturbo che, fino ad ora, con la doppia integrazione, non ha raggiunto valori tali da giustificare la complicazione che il suo uso comporta.

In particolare, l'esperienza sulla doppia integrazione ha condotto a constatare che la stabilità può essere garantita solo con una integrazione doppia parziale o, come si dice anche, "con previsione".

Nella letteratura tecnica sono indicate regole empiriche in base alle quali proporzionare il circuito di integrazione, in modo da ottenere una ragionevole stabilità e un migliorato rapporto segnale disturbo.

Sarebbe opportuno, per altro, esaminare il problema dell'integrazione da un punto di vista più fondamentale, in modo da poter applicare ad esso, in tutta la loro completezza, i criteri della tecnica controllistica.

Questo è reso difficile dal fatto che nell'anello vengono eseguite delle operazioni di limitazione e campionatura nel tempo, che lo rendono essenzialmente non lineare, quindi di complessa trattazione.

Nel presente contributo si è affrontato il problema con il metodo della funzione descrittiva, ottenendo risultati particolarmente interessanti.

Si dimostra, in particolare, che è possibile determinare sperimentalmente, con una buona precisione, il diagramma di Nyquist dell'anello, e giovarsene per sagomare le caratteristiche dell'anello in modo da ottenere sufficienti margini di stabilità.

In base a tale esame si è introdotto un nuovo tipo di integratore, che assicura un sensibile miglioramento nel rapporto segnale disturbo anche per frequenze di campionatura basse.

L'APPLICAZIONE DELLA TEORIA DEI CONTROLLI AL MODULATORE

Le non linearità del modulatore sono di due specie ben distinte: una dovuta a saturazione, l'altra dipendente dal tempo.

Consideriamo la catena aperta in modo opportuno: se immaginiamo di tagliare il loop nel nodo dell'errore, ingresso e uscita sono della stessa natura, cioè entrambi analogici.

In un precedente contributo il problema è stato affrontato procedendo come indicato nella figura 1.

La pendenza K è stata scelta in modo che l'errore quadratico medio di $S(t)$ sia minimo. Si ricava $K_0 = \frac{\pi e}{82}$

Con ciò lo schema si presenta come in figura 2 ed è ancora non lineare.

Noi abbiamo invece considerato che l'uscita della catena è analogica dopo l'integratore. A loop aperto scompare l'effetto del campionamento. Esso è infatti a frequenza molto più elevata rispetto ai segnali che ci interessano ed è facilmente tagliato dal passa basso (integratore). La presenza di quest'ultimo fa anche sì che le saturazioni dovute ai limitatori vengano notevolmente addolcite. Non resta dunque che procedere alla verifica sperimentale. La catena aperta è stata supposta approssimativamente lineare. Tale approssimazione è confermata dai risultati sperimentali. Visto che ci siamo proposti uno studio controllistico, la strada da seguire è quella di ottenere i rilievi delle caratteristiche in ampiezza e fase del loop aperto. Da questi grafici, per semplice costruzione, abbiamo ricavato il diagramma di Nyquist e con esso studiata la stabilità del loop e la bontà del modulatore.

Ancora: per verificare l'esattezza della linearizzazione, abbiamo disegnato, per confronto, i diagrammi del loop supposto lineare e quelli dell'integratore da solo.

SEMPLICE INTEGRAZIONE

Lo schema a blocchi è come in figura 3a.

Abbiamo aperto il loop nel nodo dell'errore (fig. 3b).

Osserviamo che dal punto A al punto B, nonostante le non linearità, si conservano due informazioni su tre. E' perduta quella di ampiezza, infatti anche con un segnale molto piccolo il comparatore dà un'uscita 0 - +5V digitale.

Quindi, a loop aperto, all'ingresso della catena demodulante si presenta una onda quadra. Poichè la parte non lineare conserva le informazioni che le vengono date anche se modifica le forme, ne segue che il diagramma in fase e ampiezza è pilotato solo dalla catena di retroazione. Per vedere con quale

approssimazione ciò è vero, procediamo così: facciamo i rilievi di ampiezza e fase della catena di retroazione e poi quelli a loop aperto.

Da essi, possiamo tracciare i due diagrammi di Nyquist per avere una nozione più immediata delle differenze.

Presentiamo ora i risultati ottenuti:	Figura	4
	"	5
	"	6
	"	7
	"	8

Come si vede, i due diagrammi di Nyquist sono molto simili: è quindi provato che l'anello può essere studiato con questa via. In particolare, si può escludere a priori la possibilità di impiego di una cella del tipo presentato in fig. 9 poichè il margine di fase è troppo esiguo. Per avere un segnale ricostruito buono è necessaria una catena demodulante efficiente, ma che non infirmi la stabilità del loop. Poichè si è dimostrato che il diagramma a loop aperto è pilotato dall'integratore, bisogna farne uno che migliori il più possibile il rapporto segnale disturbo ma che non porti ad instabilità.

DOPPIA INTEGRAZIONE

La doppia integrazione deve essere necessariamente parziale per non infirmare la stabilità del loop. E' stata esclusa un cella del tipo presentato in fig. 10a perchè non si supera la pendenza di 9 db per ottava. Ciò perchè la seconda cella è un carico per la prima e la funzione di trasferimento non è il prodotto delle due $R(j\omega)$. Si può introdurre fra le due un separatore di impedenza che evita il carico sulla prima cella integratrice. Lo schema diventa come in figura 10b. Facendo i rilievi in ampiezza del doppio integratore, si vede che ora si raggiungono i 12 db per ottava e per limitare tale pendenza ad una certa banda è stata introdotta una resistenza onde avere un ritorno, per frequenze più alte, alla pendenza 6 db per ottava che garantisce la stabilità.

Procedendo come prima, si sono fatti tutti i rilievi a loop aperto. Presentiamo ora i risultati ottenuti:

Figura	11
"	12
"	13
"	14
"	15

Si constata subito il netto miglioramento che si è avuto nella doppia integrazione rispetto a quanto è stato fatto finora. I risultati della semplice integrazione coincidono con quelli ottenuti da F. De Yager mentre non si

riscontra la classica caduta di 15 db per ottava nella doppia integrazione passando da 50 a 25 Kbit né il rapporto segnale disturbo cresce con la potenza $5/2$ della frequenza.

Riducendo ancora il margine di fase, pur ottenendo una stabilità adeguata, si può migliorare il rapporto segnale disturbo (fig. 15) portandolo a valori migliori di quelli finora ottenuti. L'uso di aggiunte agli accorgimenti di cui sopra permette di ottenere un canale di modulazione delta di buona qualità per frequenze di campionamento di 50 Kbit.

BIBLIOGRAFIA

- F. De JAGER Delta modulation, a method of PCM transmission using
I-Unit Code.
- G. PICARDI Modulazione delta di segnali vocali
- E. VOLTA Controlli automatici
- J. C. GILLIE Theorie et technique des asservissement
- M. PELEGRIN
- P. DECAULNE

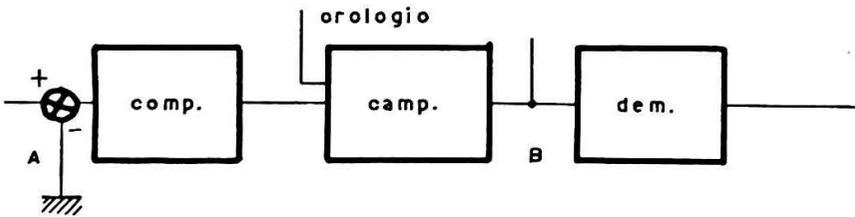
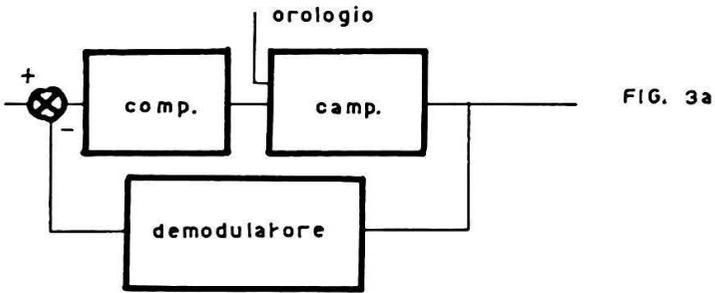
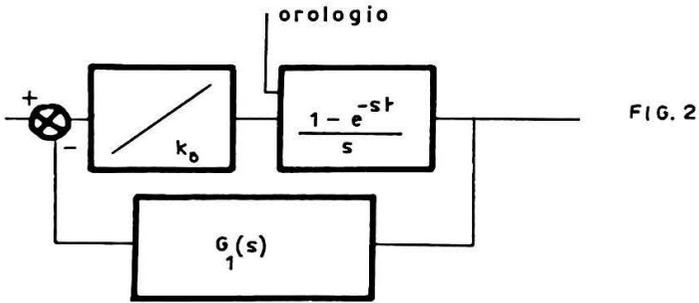
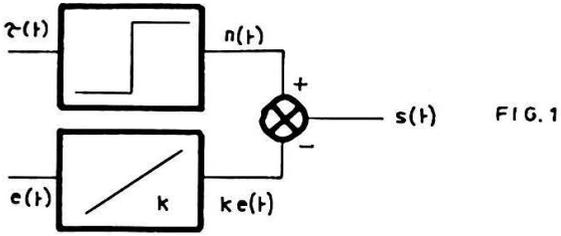
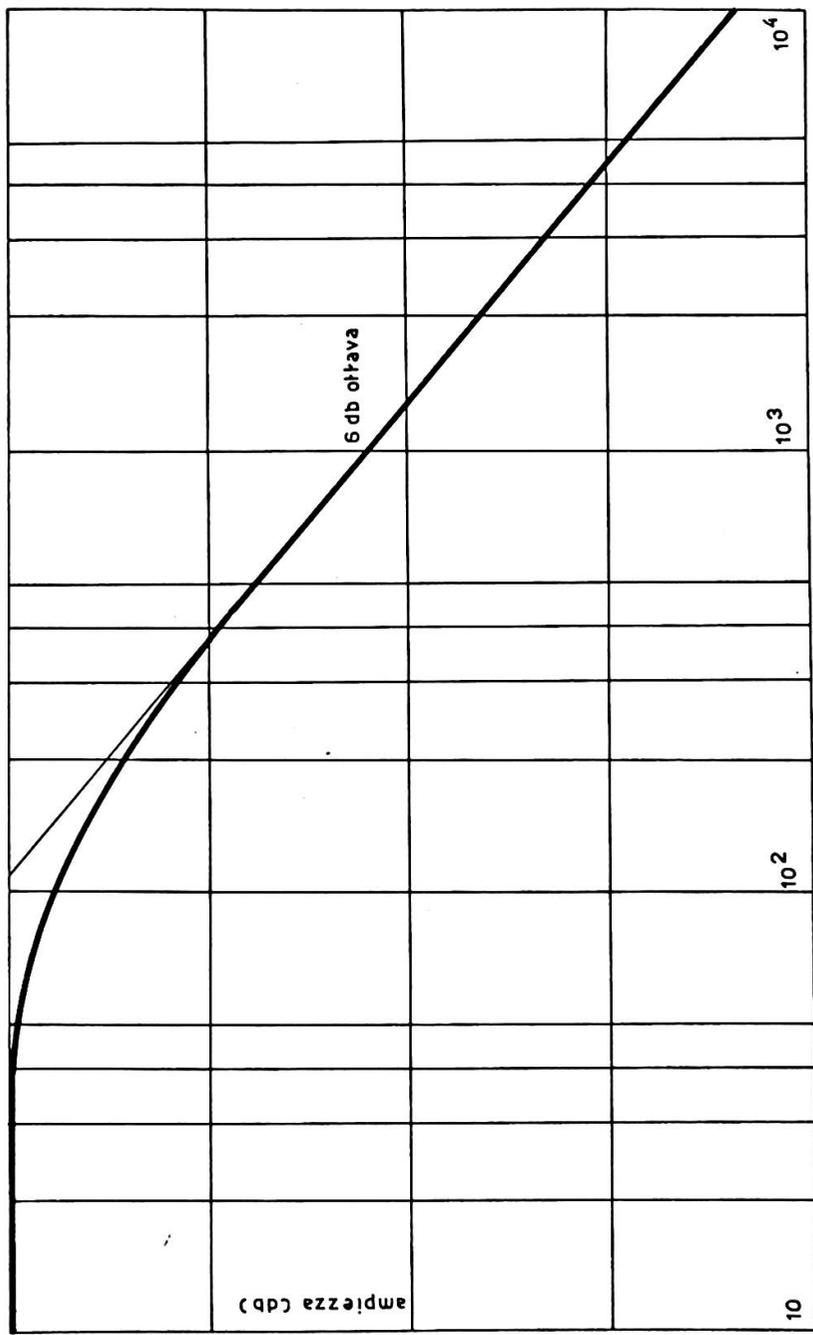


DIAGRAMMA AMPIEZZA SEMPLICE INTEGRAZIONE



10

10²

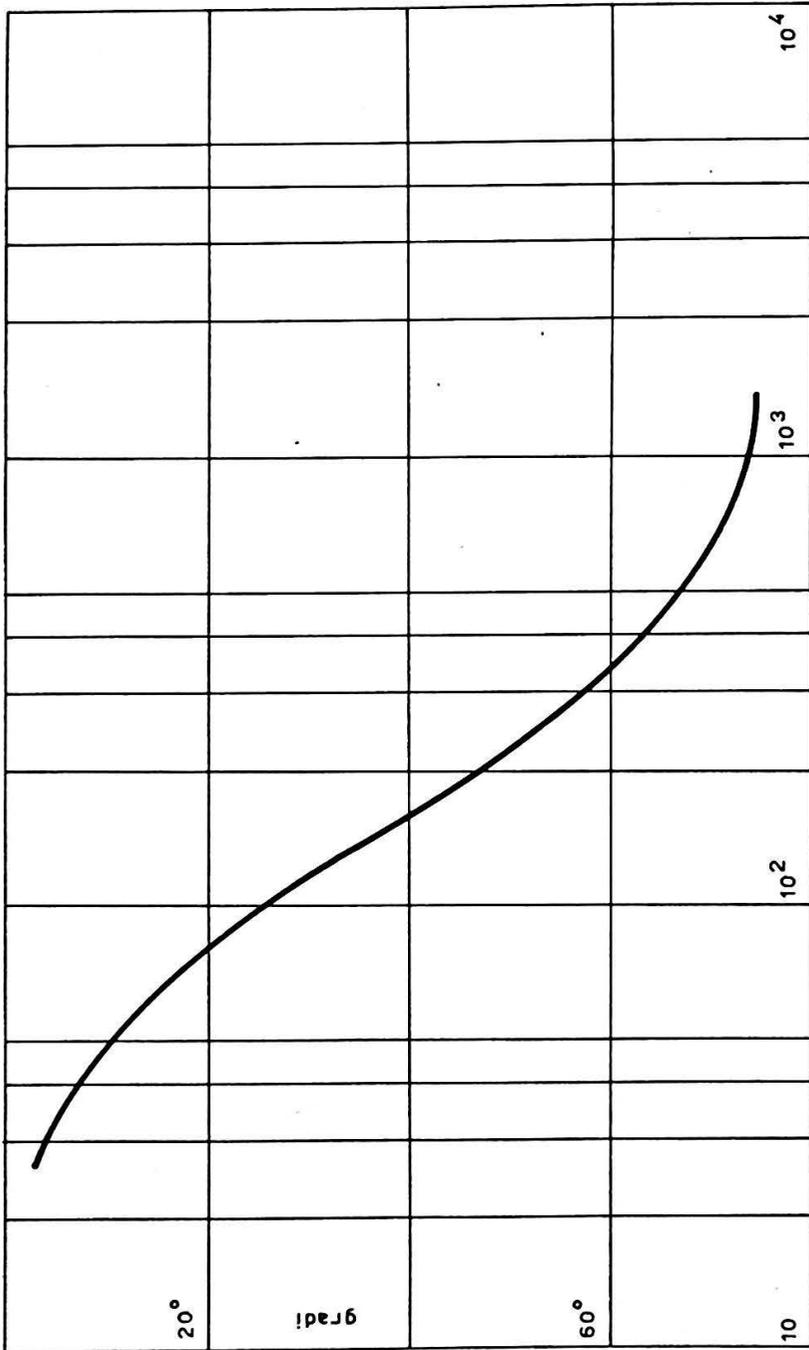
10³

10⁴

6 db ottava

FIG. 4

DIAGRAMMA FASE SEMPLICE INTEGRAZIONE



frequenza

FIG. 5

DIAGRAMMA di NYQUIST

SEMPLICE INTEGRAZIONE

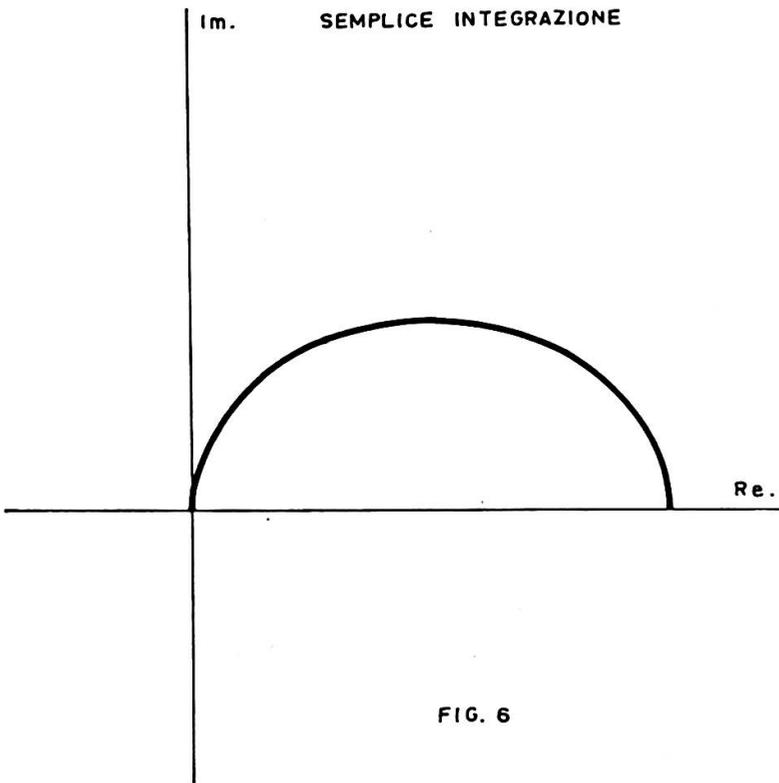


FIG. 6

DIAGRAMMA di NYQUIST

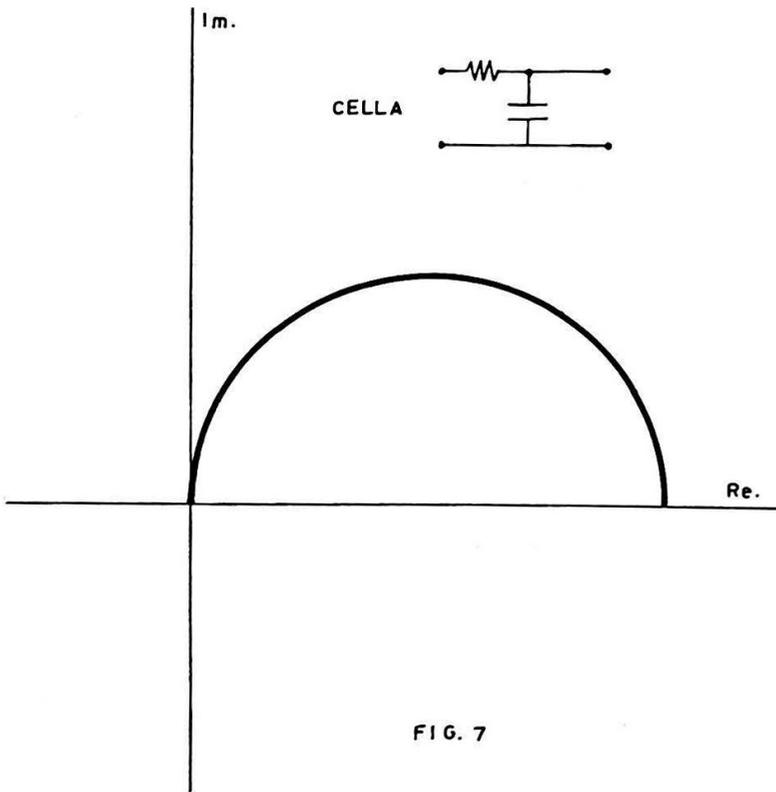


FIG. 7

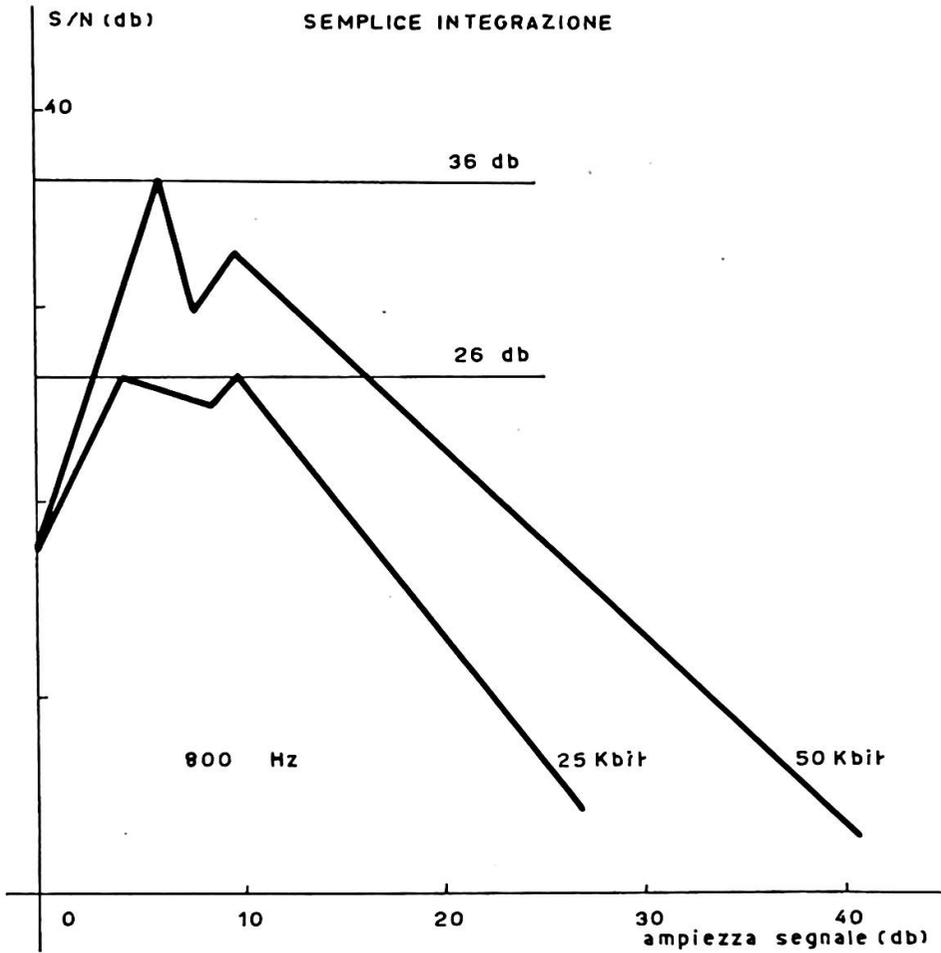


FIG. 8

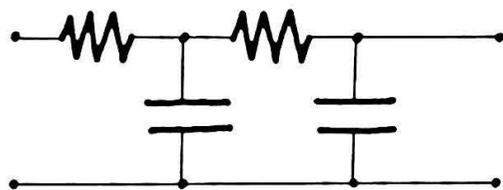


FIG. 9

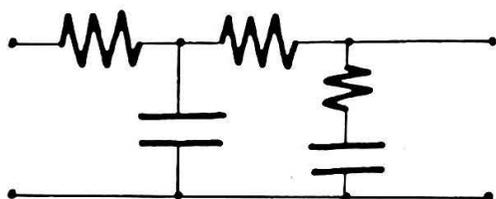


FIG. 10 a

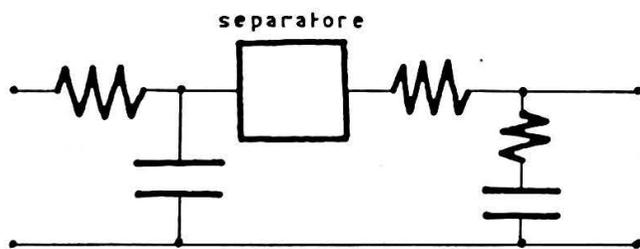
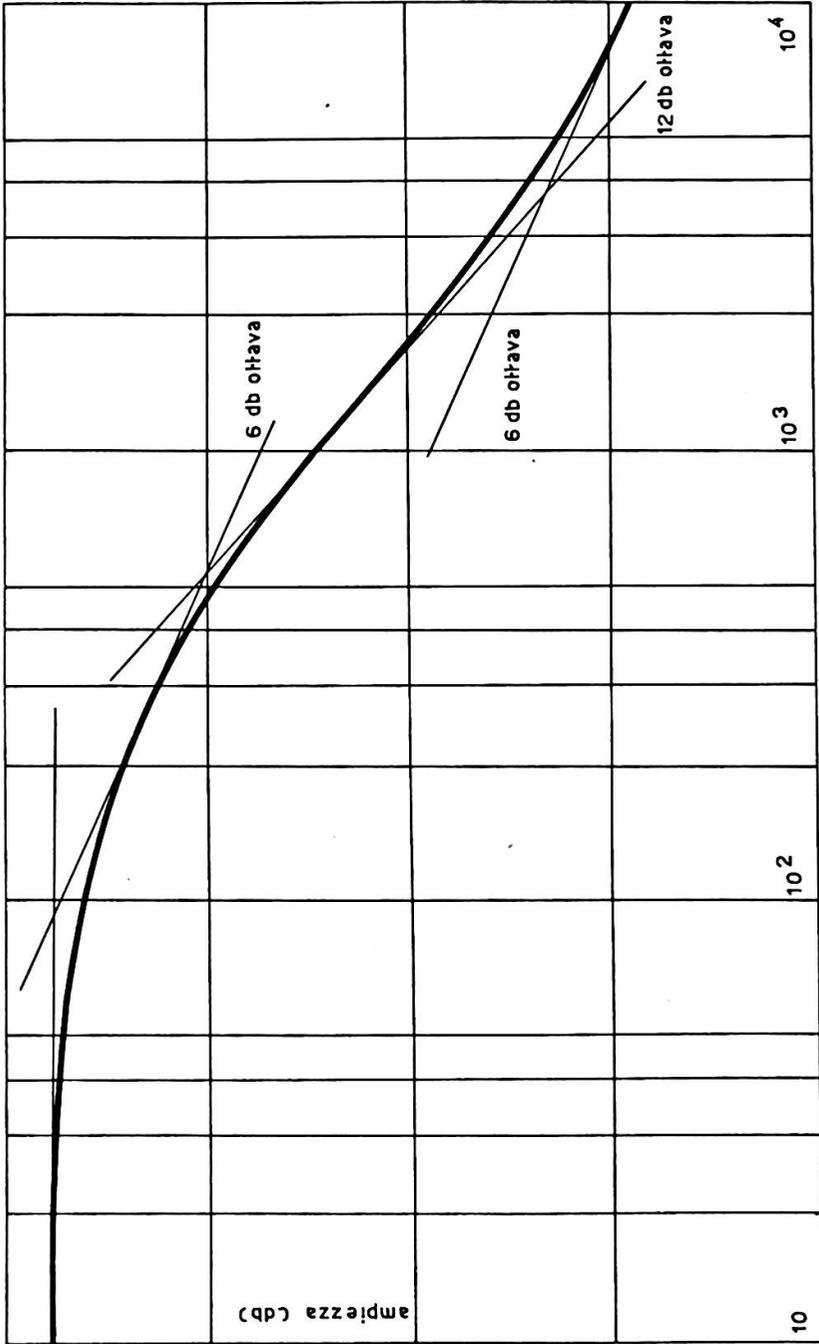


FIG. 10 b

DIA GRAMMA AMPIEZZA DOPPIA INTEGRAZIONE



10

10²

10³

10⁴

10

FIG. 11

DIAGRAMMA FASE DOPPIA INTEGRAZIONE

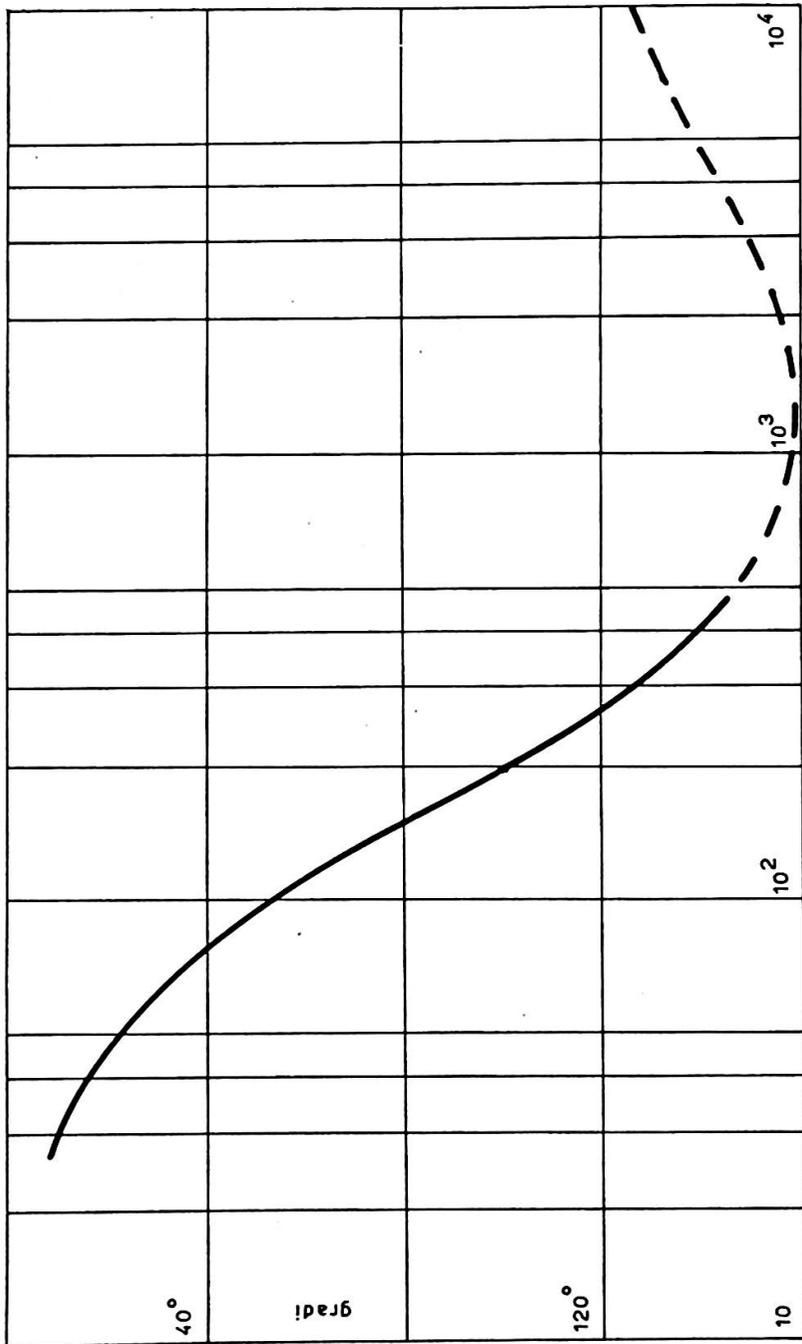


FIG.12

DIAGRAMMA di NYQUIST

DOPPIA INTEGRAZIONE

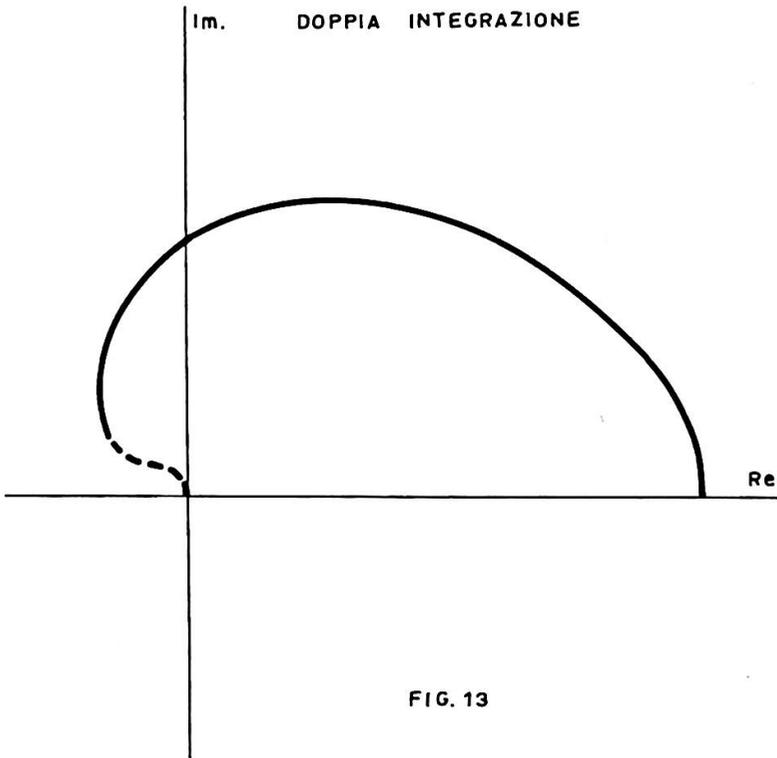


FIG. 13

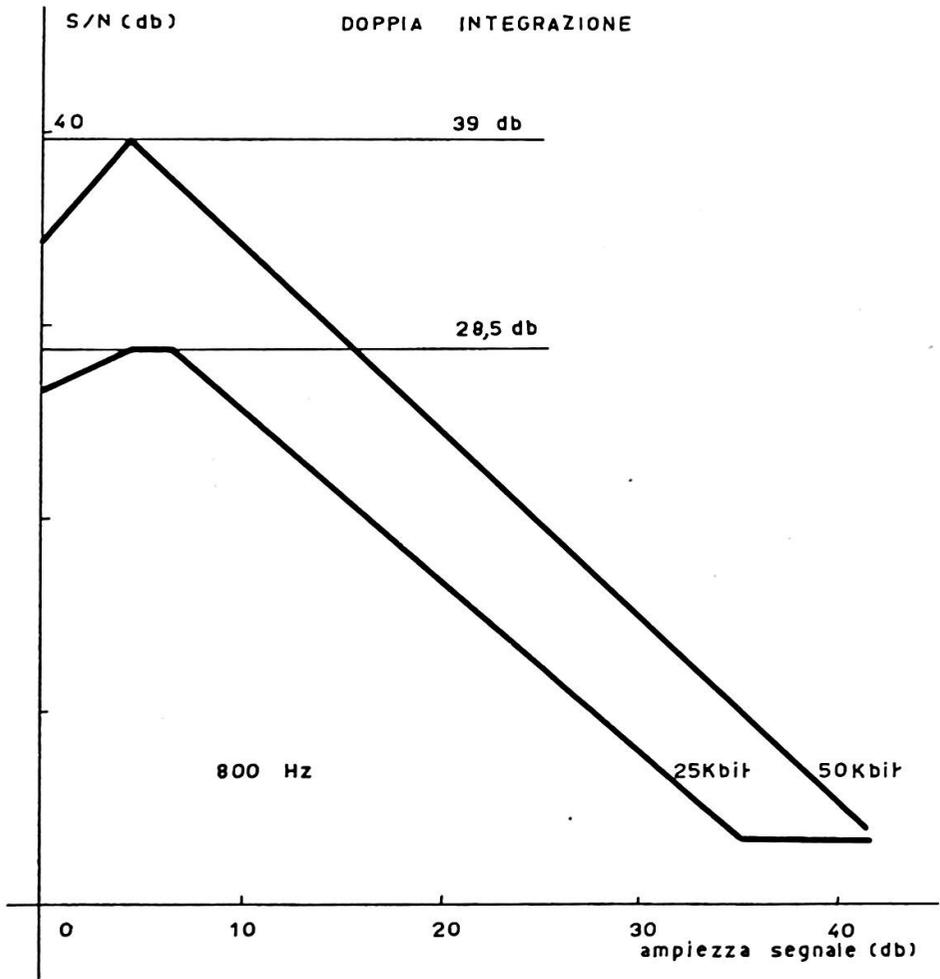


FIG.14

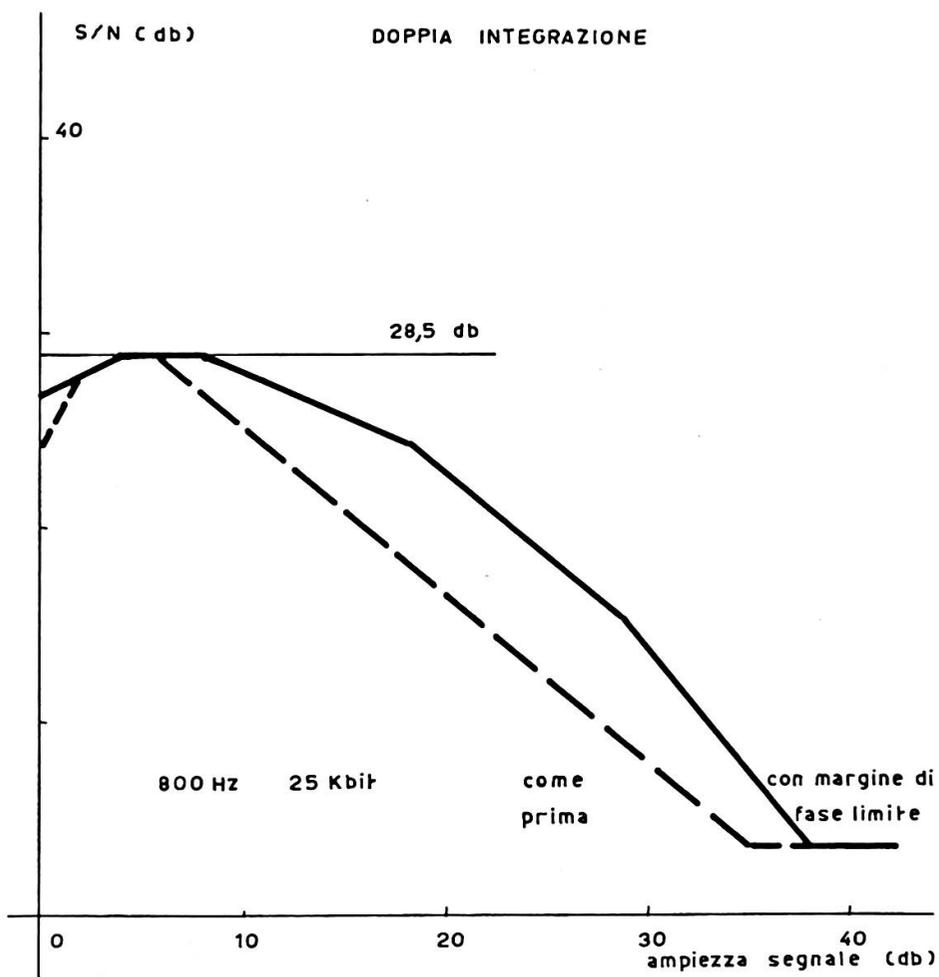


FIG. 15

