

**PHASE SHIFTER A STATO SOLIDO
REALIZZATI CON TECNICA STRIP-LINE
PER LA FORMAZIONE DEL TRACKING-BEAM E/W
NEL RADIOTELESCOPIO "CROCE DEL NORD"**

M. Roma, M. Tugnoli, C. Bortolotti, S. Montebugnoli

Rapporto interno I.R.A. 203/95

INDICE

— Introduzione	pag. 2
— Descrizione de schemi elettrici	pag. 4
— Realizzazione pratica	pag. 5
— Descrizione tecnica delle schede phase-shifter	pag. 6
— Taratura e caratteristiche	pag. 8
— Ringraziamenti e Bibliografia	pag. 9

Introduzione

In questa nota tecnica vengono descritti i nuovi sistemi di Phase-Shifter realizzati in tecnica strip-line con switch allo stato solido, naturale evoluzione tecnologica dei vecchi ed obsoleti rotatori di frangia, utilizzati in media frequenza per formare il fascio tracking E/W del radiotelescopio "Croce del Nord".

Prima della descrizione tecnica, brevemente ci soffermiamo per analizzare le problematiche che insorgono quando segnali provenienti da più antenne si sommano.

Con riferimento alla fig. 1 il fronte d'onda arriva prima sull'antenna 2 e dopo un intervallo di tempo Δt , funzione del puntamento e della distanza tra le antenne, sull'antenna 1.

Infatti il ritardo Δt è dato dalla relazione:

$$\Delta t = b \cdot \text{sen} (d) / c$$

dove:

b: è la distanza tra le antenne

d: è l'angolo formato tra il fronte d'onda e la direttrice che unisce le antenne

c: è la velocità della luce

Per ottenere la somma in fase dei 2 segnali nel punto Σ , occorrerebbe introdurre sul canale 2, e prima della conversione, un ritardo pari a Δt .

Correggendo accuratamente i percorsi elettrici, i segnali arriverebbero nel punto Σ perfettamente equalizzati anche in fase.

Per motivi realizzativi e di degrado della T_{sys} , non si effettua l'equalizzazione inserendo un ritardo Δt tra antenna e ricevitore, ma si interviene a valle della conversione.

Con l'allargamento della banda radio osservata, dai precedenti 2,4 MHz ai 6 MHz attuali, si è accentuato il problema dell'equalizzazione dei ritardi fra le antenne.

Infatti per contenere la perdita di coerenza CL data dalla relazione

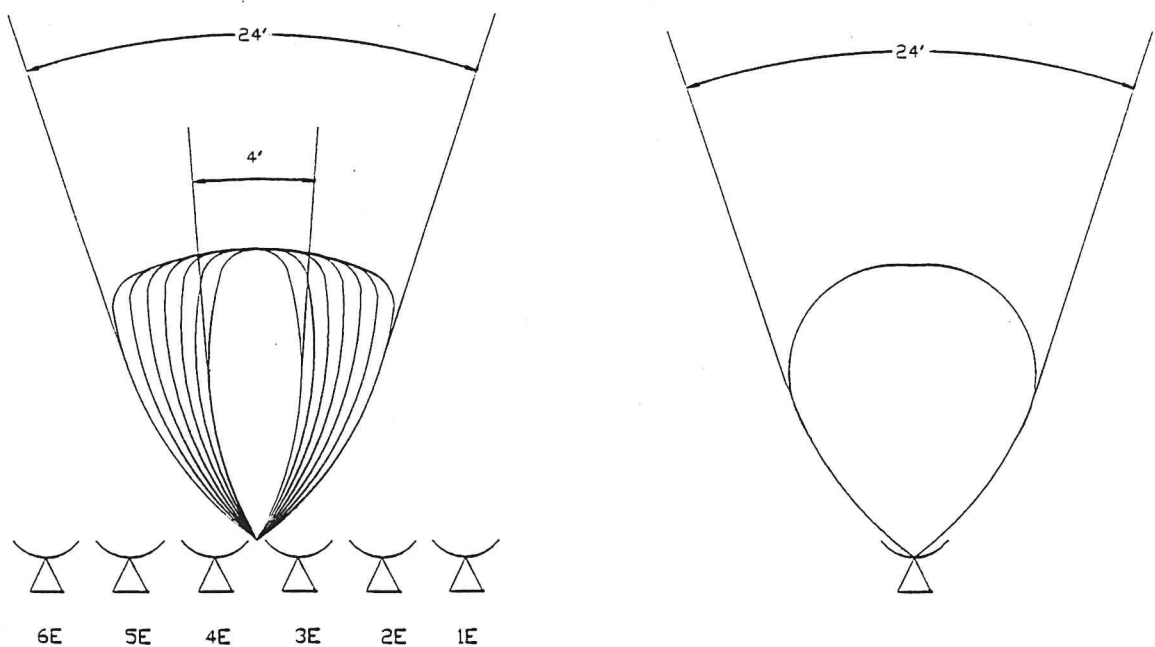
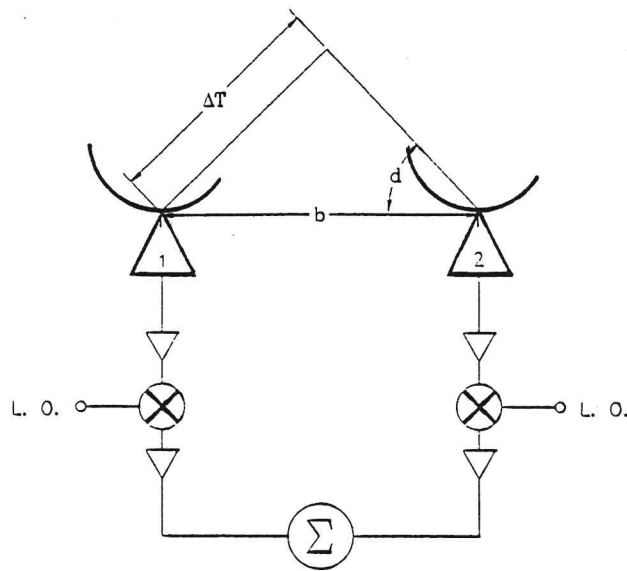
$$CL = 1 - [\text{sen}(\pi \cdot \Delta t \cdot B) / \pi \cdot \Delta t \cdot B]$$

bisognerebbe aver o la banda più stretta possibile (al limite monocromatica) o il ritardo Δt uguale a 0, ecco quindi la necessità di realizzare un banco di phase-shifter per ridurre al minimo il termine Δt , che costituisce l'oggetto di questa nota interna.

Nel nostro caso specifico il fascio totale E/W è largo 4' e permette di osservare una radiosorgente transigente a 0° per un intervallo di tempo pari a 16 secondi, ma correggendo continuamente la fase delle 6 antenne componenti il fascio, con il banco di phase-shifter, si realizza un "inseguimento elettrico" della radiosorgente, rendendola così osservabile per un tempo pari a 96 secondi,

equivalente ad un fascio largo 24'; fascio che corrisponde al beam di una singola antenna e limite oltre il quale non è possibile andare a meno di non suddividere le singole antenne ed aumentare conseguentemente il numero dei ricevitori con i relativi phase-shifter per l'inseguimento. L'ultima ipotesi descritta è già in fase di studio per realizzare il "raddoppio ricevitori" dell'antenna "Croce del Nord".

FIG. 1



Descrizione dei schemi elettrici.

Il banco di phase-shifter è corredato dalla relativa scheda d'interfacciamento al computer di gestione. La scheda raffigurata nello schema di fig. 2 con il nome "PHASE-SHIFTER CONTROL" ha il compito di elaborare i segnali che arrivano dal computer sul connettore J1 e presentarli elaborati sul connettore J2 per pilotare le singole schede di phase-shifter.

Sul connettore J1 dal pin 1a fino al pin 8a si presenta la parola di indirizzamento che viene memorizzata da U2, il quale provvede a trasferirla ad U3 ed U4 per la decodifica.

All'uscita di U3 ed U4 abbiamo 8+8 segnali di strobe che abilitano di volta in volta il relativo U per congelare la parola di settaggio delle schede phase-shifter, impostando così lo sfasamento desiderato, o di presentarla all'indietro sui pin da 17a ÷ 24a per verificare il settaggio eseguito precedentemente.

La parola di scrittura presentata sul J1 pin da 9a ÷ 16a viene prima congelata da U1 quindi resa disponibile parallelamente ai relativi U per poterla memorizzare all'arrivo dello strobe corretto e trasferirla in uscita sul connettore J2 pilotando lo sfasamento richiesto.

Una nota soltanto, sulla parola d'indirizzamento della quale si usano i primi 3 bit per le selezioni (una per volta) delle 8 schede phase-shifter e l'ultimo bit l'AD7 viene utilizzato come strobe per abilitare la decodifica di lettura o scrittura.

Sul pannello della scheda d'interfaccia sono presenti 3 led, che visualizzano l'indirizzo selezionato, mentre ulteriori 2 led visualizzano il tipo di funzione in corso (lettura-scrittura).

Tali led sono stati predisposti per agevolare la verifica del corretto funzionamento della scheda.

Le schede "30 MHz Phase-Shifter" provvedono affinché il segnale a R.F., in entrata dal connettore BNC posto sul pannello, venga sfasato come richiesto e reso così elaborato ai 2 connettori d'uscita di cui uno accoppiato 10 dB sotto.

Il funzionamento di queste schede è molto semplice; la parola di selezione (che arriva da J2 della scheda d'interfaccia) arriva sul connettore J1 dal pin 25c ÷ 27a (vedi fig. 3) e va direttamente ad agire sugli switch allo stato solido tipo YSW-2-50DR della ditta Mini Circuit denominati da KB' ÷ KF', attraverso porte invertenti si opera sull'altra serie di switch denominati da KB ÷ KF.

Quando gli stati dei singoli bit sono alti si introduce la linea di ritardo (sfasamento), mentre a stati bassi il segnale R.F. passa direttamente.

La configurazione così settata è controllabile attraverso 6 led posti sul pannello frontale.

Al fine di aumentare l'isolamento tra uno stadio e l'altro, si è scelto di alimentare ogni copia di switch relativi ad uno step, con regolatori di tensione tipo LM78L05 e LM79L05.

Realizzazione pratica

Il banco di phase-shifter è composta dalle seguenti sezioni:

- 1) Power-supply contenente tre alimentatori tipo Open-Frame, dei quali 2 da 8V, per alimentare la parte di circuito analogico, ed 1 da 5V per alimentare la parte digitale, questi alimentatori sono montati su un supporto metallico del formato di una scheda doppia europa lunga (220 X 233.2 mm.) ed attraverso connettore a faston, come modulo, si interfacciano al cestello alloggiatore.
- 2) Dalla scheda d'interfaccia descritta precedentemente, che è stata realizzata in tecnica Wire-Wrapp e su scheda doppio europa lunga.
- 3) Dalle 8 schede Phase-Shifter vere e proprie che sono state oggetto di un prolungato studio per poter realizzare su circuito stampato le linee di ritardo con la tecnica "Strip-line" e che effettuano lo sfasamento del segnale R.F.
Anche queste schede hanno le dimensioni doppia europa lunga ed il tutto si è riusciti ad alloggiarlo in un cestello rack 19" da 6 unità lunghe della ditta SCHROFF.

Descrizione tecnica delle schede phase-shifter

Partendo dall'ingresso il segnale applicato al BNC viene portato alla scheda attraverso un cavetto SMB lungo 25 cm.

Di seguito si incontra lo switch KB che commuta o sulla linea di ritardo da 90° o sulla linea by-pass, su quest'ultima è realizzato un attenuatore per equalizzare l'ampiezza rendendo così minima la variazione dipendente dalla scelta del percorso, il segnale quindi esce dallo switch complementare KB'.

Di seguito si ripetono altri 4 stadi come su descritti dimezzando di volta in volta la lunghezza della linea di ritardo, sulla relativa linea di by-pass al posto dell'attenuatore è inserita una resistenza variabile per ciascuno dei tre seguenti stadi, ciò per una semplificazione pratica, mentre la linea dell'ultimo stadio è passante.

Si giunge così, uscendo dallo switch KF', al modulo PSCJ-2-1 (un divisore per 2 con le uscite a 180° tra loro) che attraverso la selezione dovuta allo switch KA (modello adsorbed YSWA-2-50DR con i contatti aperti terminati internamente su 50Ω) effettua lo sfasamento $0 \div 180^\circ$.

A questo punto si rende necessario amplificare il segnale, poiché ogni switch perde 1 dB (da notare che ve ne sono 11), 3 dB si perdono per lo splitter ed $8 \div 9$ dB si perdono per adattare l'impedenza (misurata 60Ω) d'ingresso e di uscita di ogni switch con delle resistenze da 300Ω poste in parallelo, arrivando così a perdere complessivamente $22 \div 23$ dB.

La scelta dell'amplificatore è caduta sul dispositivo MAR-6 che guadagna 20 dB, riportando così in uscita circa lo stesso livello dell'ingresso, prima di uscire definitivamente dalla scheda il segnale attraversa un accoppiatore direzionale (modulo PDC-10-1) e si rende disponibile su due connettori SMB, uno diretto e l'altro accoppiato 10 dB sotto.

Per quanto concerne la realizzazione delle linee di ritardo con tecnica strip-line, si è usato un substrato della ditta M.A.S. di Pistoia modello FR4 spessore 1.2 mm. con un $K = 4.5 @ 1$ MHz (dati della casa) e un $\text{Tangent } \Delta = 0.0054$, dopo alcune prove si è arrivati a determinar le caratteristiche del substrato ed il K_r era risultato 5.7

Impostando tutti i dati così ottenuti nel programma d'analisi per la realizzazione delle strip-line si ottiene un rapporto $W/h = 1.5833$ con corrispondente $Z_0 = 50.1\Omega$

dove:

h: è lo spessore del substrato uguale ad 1.2 mm.

W: è la larghezza della strip-line che risulta così essere di 1.9 mm.

La lunghezza elettrica data da :

$$c/f_0 \cdot \sqrt{K} = \lambda$$

dove: c = velocità della luce

f_0 = frequenza centro banda

K = costante dielettrica del materiale

risulta diventare 4185 mm.

Nella pratica 1λ è risultato uguale a 5594 mm.

Questa differenza è dovuta al fatto che il K effettivo a 30 MHz risulta essere da calcolo uguale a 4 mentre un 10÷15 % di dispersione delle caratteristiche è da imputare al fatto d'aver assunto (perché non disponibili) valori medi per le altre variabili che entrano nell'analisi e di non aver considerato l'effetto di ripiegamento multiplo della strip-line stessa.

Taratura e caratteristiche

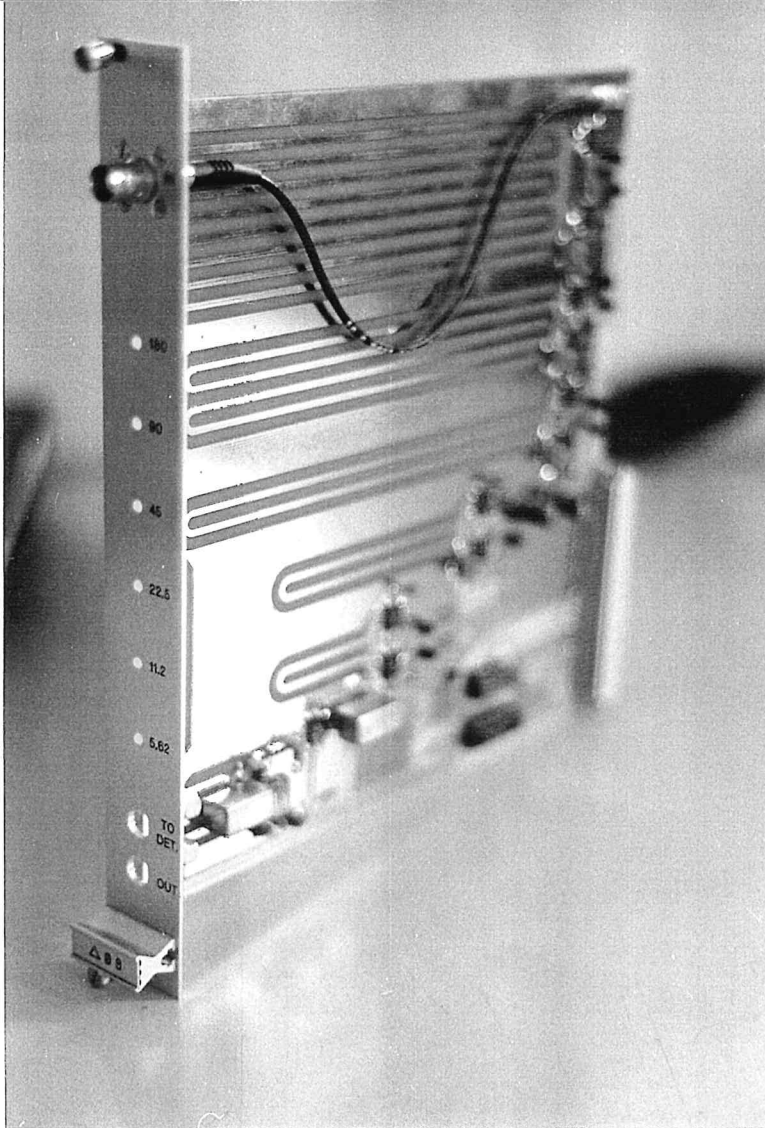
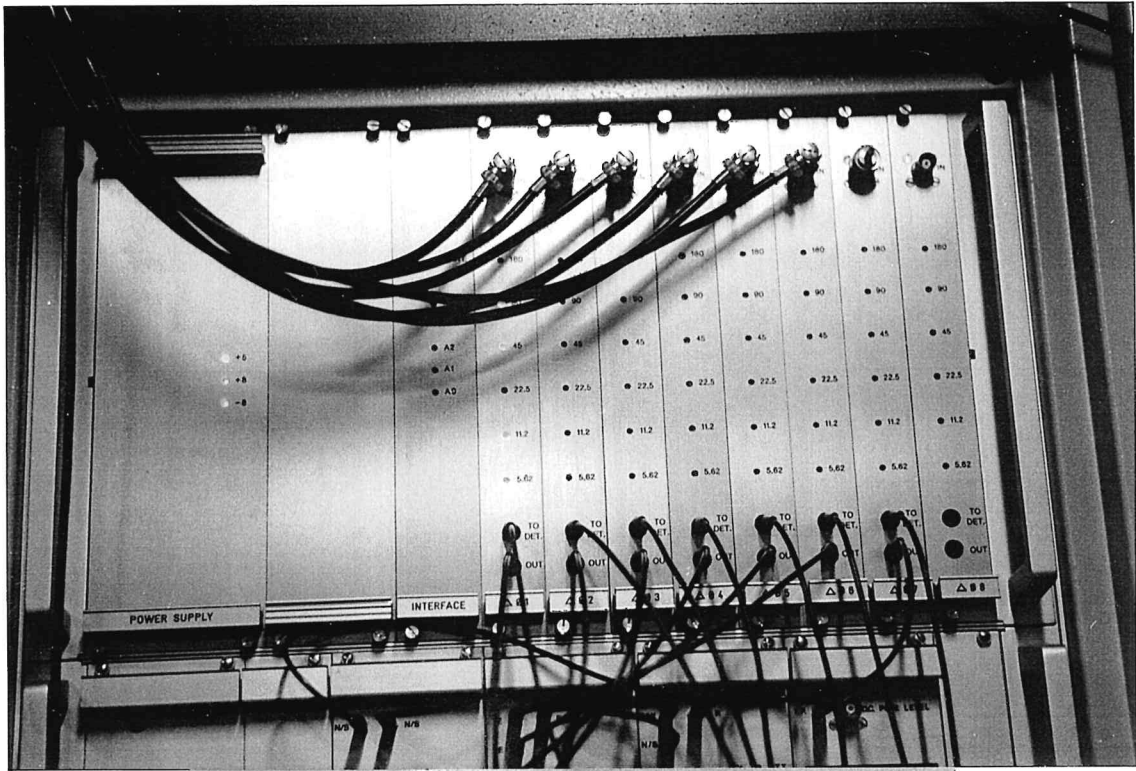
Per la taratura delle schede phase-shifter ci siamo avvalsi dell'analizzatore di reti HP 5741A che permette, senza grossi sforzi, di verificare l'adattamento d'ingresso, la banda passante ed anche la misura del ritardo di fase tra l'ingresso e l'uscita.

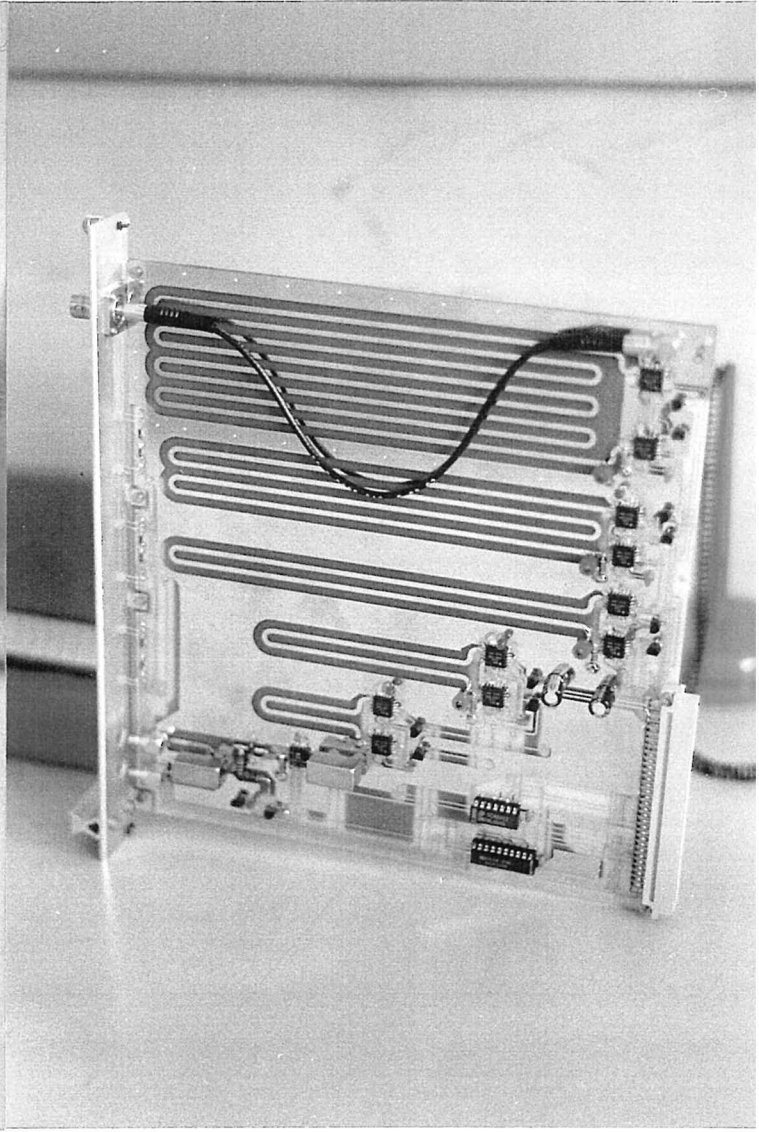
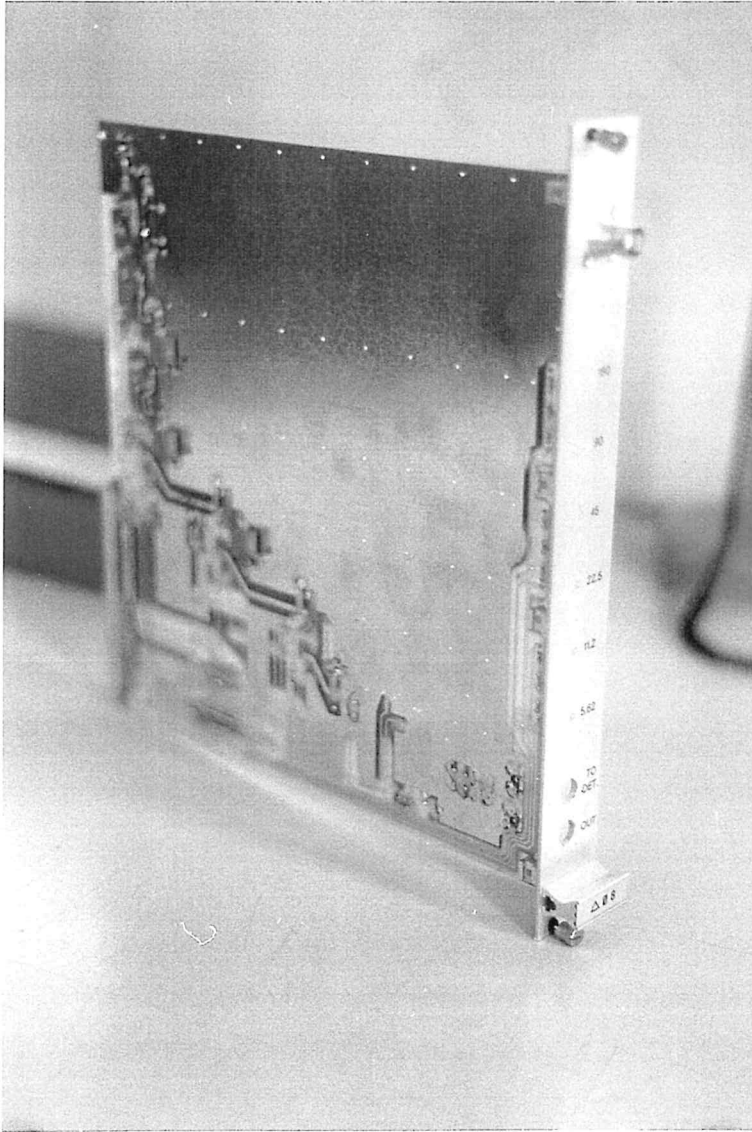
La procedura seguita per tarare le schede viene qui descritta succintamente:

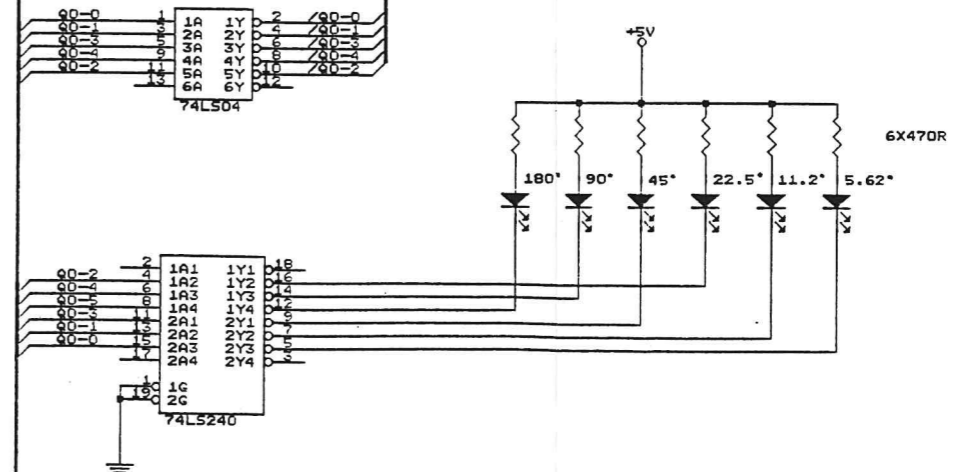
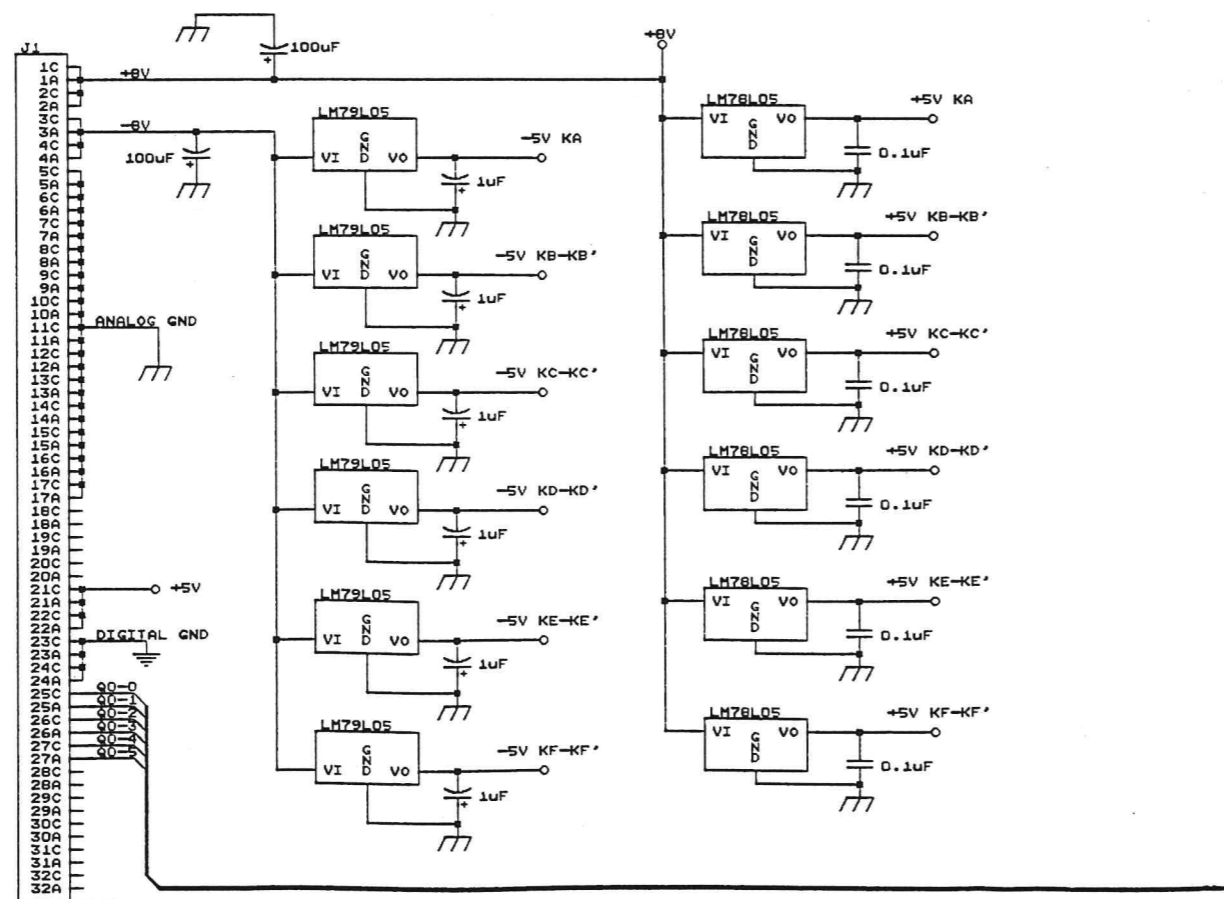
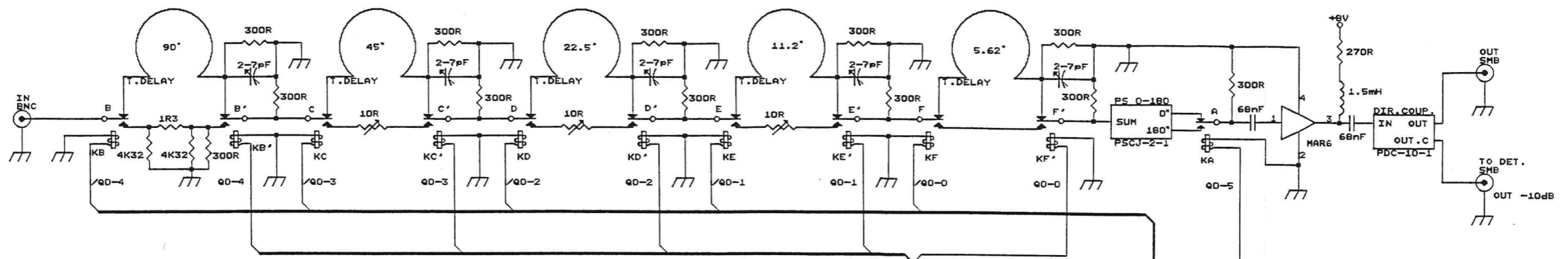
- 1) Si è reso necessario un piccolo aggiustamento dei ritardi di fase e si è quindi aggiunto sui step 90° , 45° , 22.5° , 11.2° , piccole capacità variabili del valore $2 \div 7$ pF (blu) o $4 \div 20$ pF (rosse) ci si è così permessi di correggere le fasi dei singoli step entro 0.1° .
- 2) Si è proceduto all'equalizzazione tra linea di ritardo e la relativa linea passante, modificando e l'attenuatore relativo allo step 90° e l'attenuazione dovuta alle resistenze da 10Ω relative agli steps 45° , 22.5° , 11.2° , in alcune schede si è dovuto apportare piccole correzioni pure sulle uscite $0 \div 180^\circ$ del modulo PSCJ-2-1, arrivando così ad ottenere un'uscita con un ripple in centro banda e per tutte le 64 combinazioni ≤ 0.05 dB.
- 3) L'adattamento già dell'ordine di $22 \div 24$ dB di return loss ottenuto, dopo la correzione con le resistenze da 300Ω poste in parallelo all'impedenza d'ingresso e d'uscita dei switch, lo si è ulteriormente migliorato andando ad equalizzare i livelli d'uscita tra le schede.

Le caratteristiche vengono di seguito riassunte in una tabella e raffigurate nei plottati allegati.

Frequenza di lavoro:	30 ± 3 MHz
Perdita d'inserzione:	2.75 dB
Variazioni d'ampiezza in centro banda per tutte le 64 combinazioni:	≤ 0.05 dB
Flatness:	≤ 0.3 dB
Massima fase inseribile:	354.4°
Step minimo:	5.62°
Precisione di fase del singolo step:	$\leq \pm 0.1^\circ$
Precisione sulla massima fase:	$\leq \pm 0.4^\circ$
Ritardo d'inserzione:	125°
Return loss:	≥ 24 dB
Max power out at 1 dB compr.:	+ 2 dBm (dovuta all'amplificatore MAR-6)
Comando:	TTL
Velocità di commutazione:	≈ 50 nS



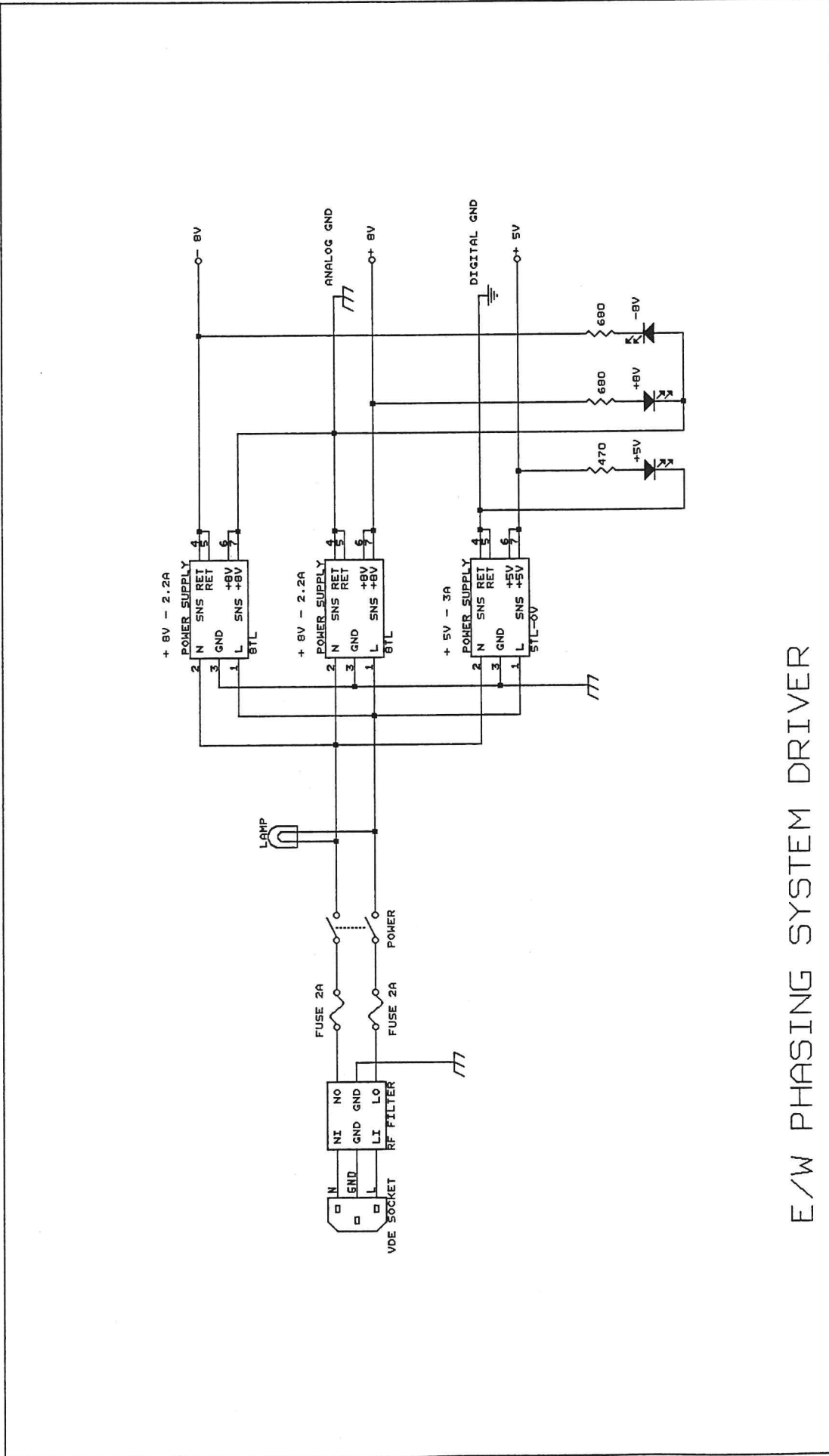




NOTE: From KB-KB' to KF-KF' MINI-CIRCUIT switch model YSH-2-50DR are used
 KA is a MINI-CIRCUIT switch model YSHA-2-50DR

DIN 61412

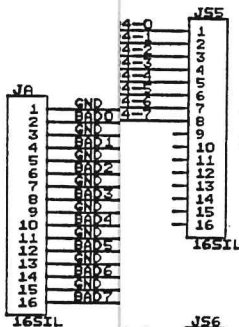
C.N.R. Ist. RADIOASTRONOMIA		
Title	30 MHz PHASE SHIFTER	
Size Document Number	C	
Orcad file:	SF30.SCH	
Date:	September 30, 1994	Sheet 1 of 1



E/W PHASING SYSTEM DRIVER
POWER SUPPLY CIRCUIT

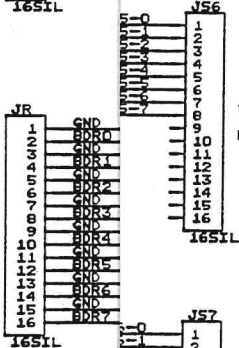
C.N.R. Ist. di Radioastronomia	
Title	FILE: POWERPH.SCH
Size	Document Number
B	REV
Date:	April 10, 1995 Sheet 1 of

ADDRESS
FROM
C.I.O.



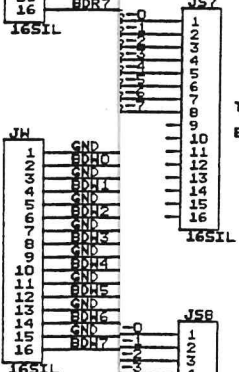
TO PHASE SHIFTER
BOARD 5

DATA READ
TO
C.I.O.



TO PHASE SHIFTER
BOARD 6

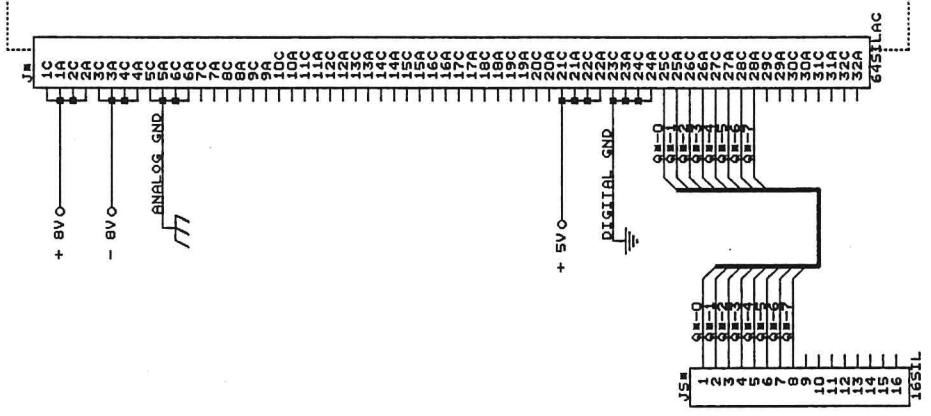
DATA WRITE
FROM
C.I.O.



TO PHASE SHIFTER
BOARD 7

TO PHASE SHIFTER
BOARD 8

PHASE SHIFTER BOARD



Note: * is from Ø to 7

EACH PHASE SHIFTER BOARD

Title	C.N.R. Ist. di Radioastronomia
File	PHMLI.SCH
Size Document Number	REV
Date	April 11, 1995 Sheet 1 of 1



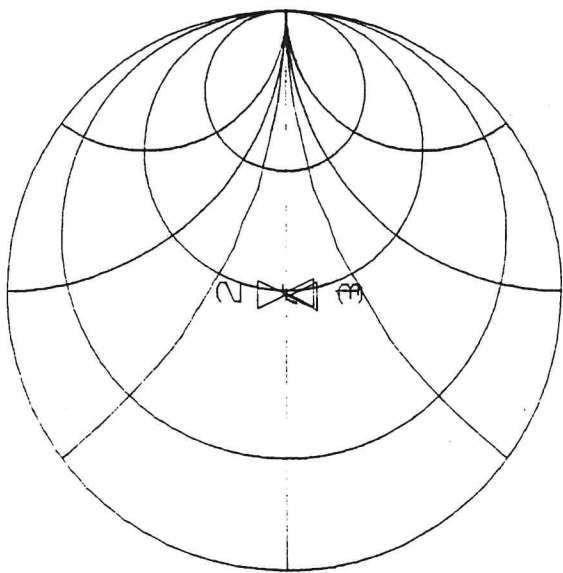
START 10 MHz

STOP 50 MHz

N STIMULUS val

- 1 27 MHz -35.068 dB
- 2 30 MHz -32.877 dB
- 3 33 MHz -31.162 dB

CH1 A/R 1 U FS 2: 47.927 Ω 546.18 m Ω 2.8976 nH
 30 MHz

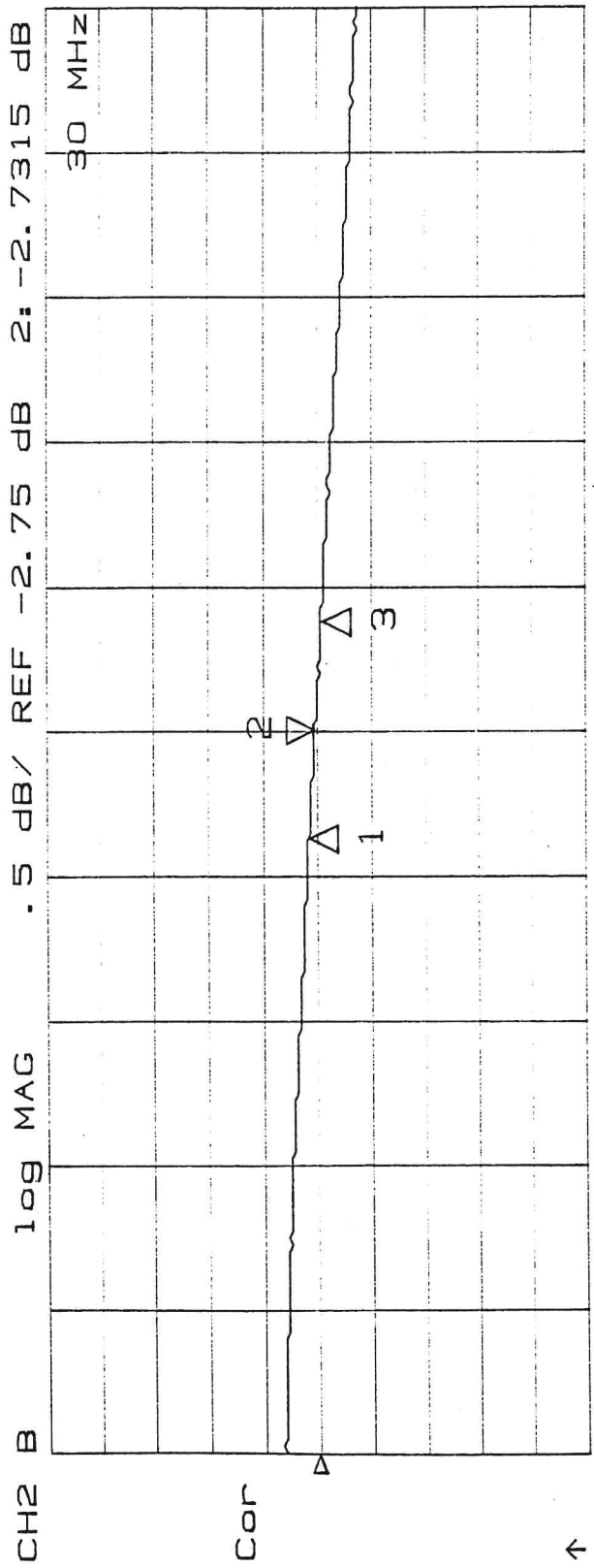


Cor

↑

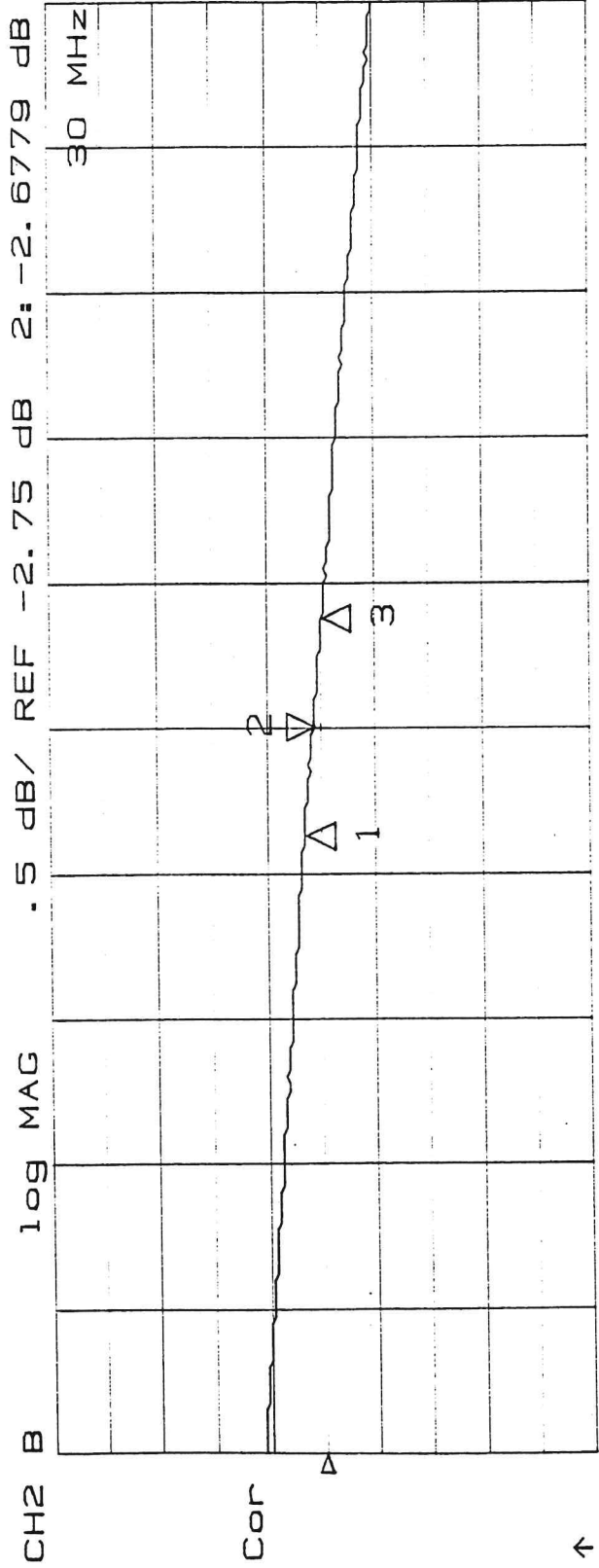
N	STIMULUS	val	aux	STOP
1	27 MHz	48.508 Ω	899.41 m Ω	50 MHz
2	30 MHz	47.927 Ω	546.18 m Ω	extra
3	33 MHz	47.406 Ω	164.57 m Ω	

5.3017 nH
 2.8976 nH
 793.69 pH



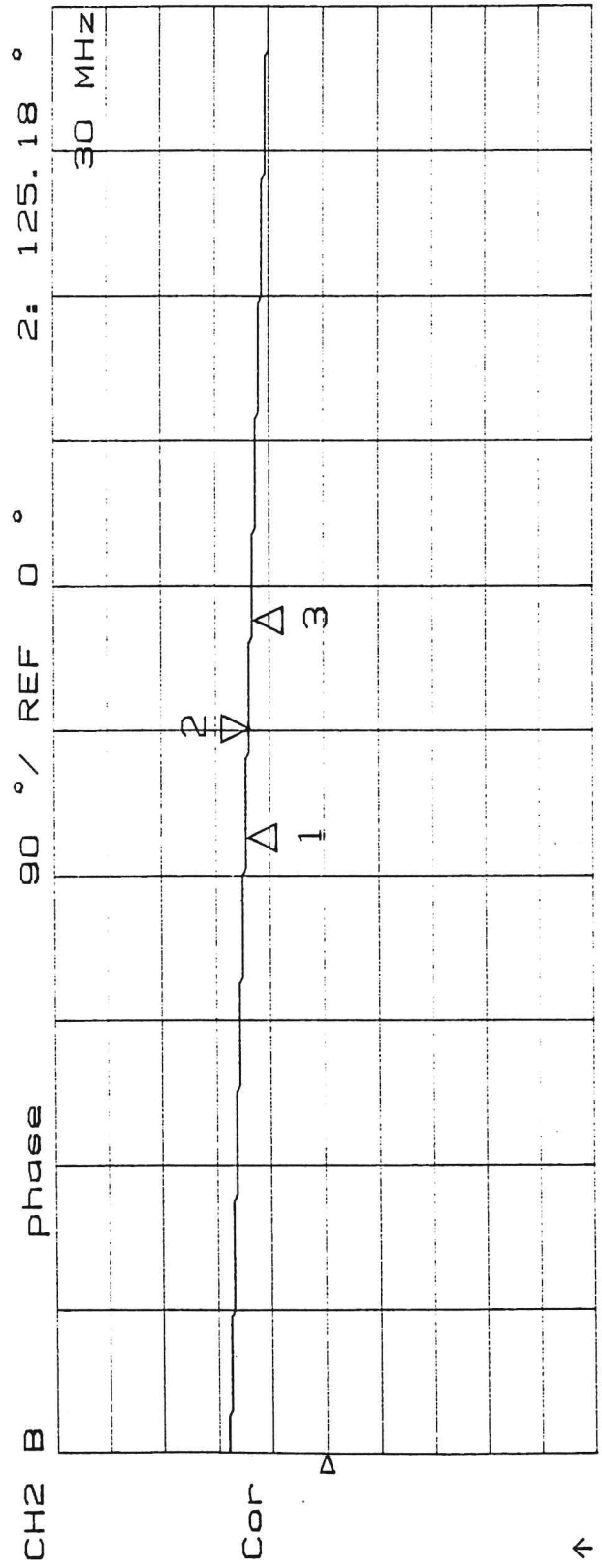
START 10 MHz STOP 50 MHz

N	STIMULUS	val
1	27 MHz	-2.6709 dB
2	30 MHz	-2.7315 dB
3	33 MHz	-2.7859 dB



START 10 MHz STOP 50 MHz

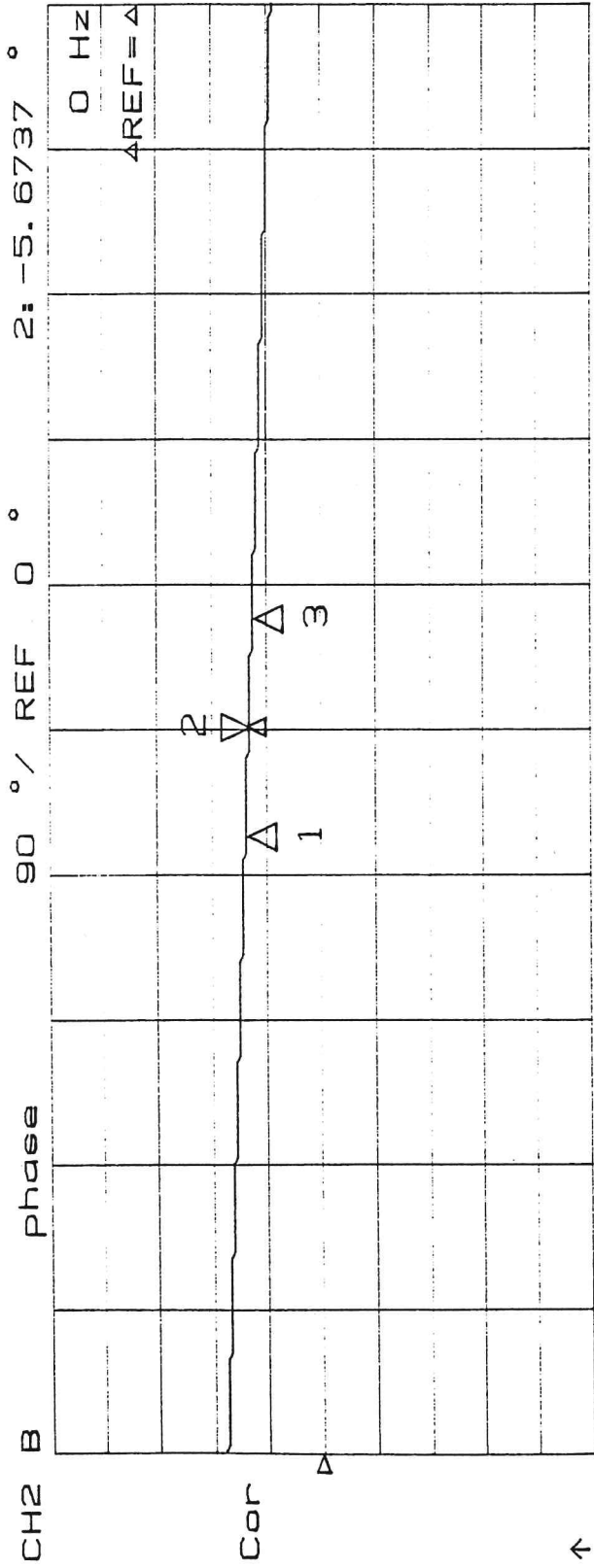
N	STIMULUS	val
1	27 MHz	-2.5859 dB
2	30 MHz	-2.6779 dB
3	33 MHz	-2.7644 dB



START 10 MHz

STOP 50 MHz

N	STIMULUS	val
1	27 MHz	130.7 °
2	30 MHz	125.18 °
3	33 MHz	119.76 °

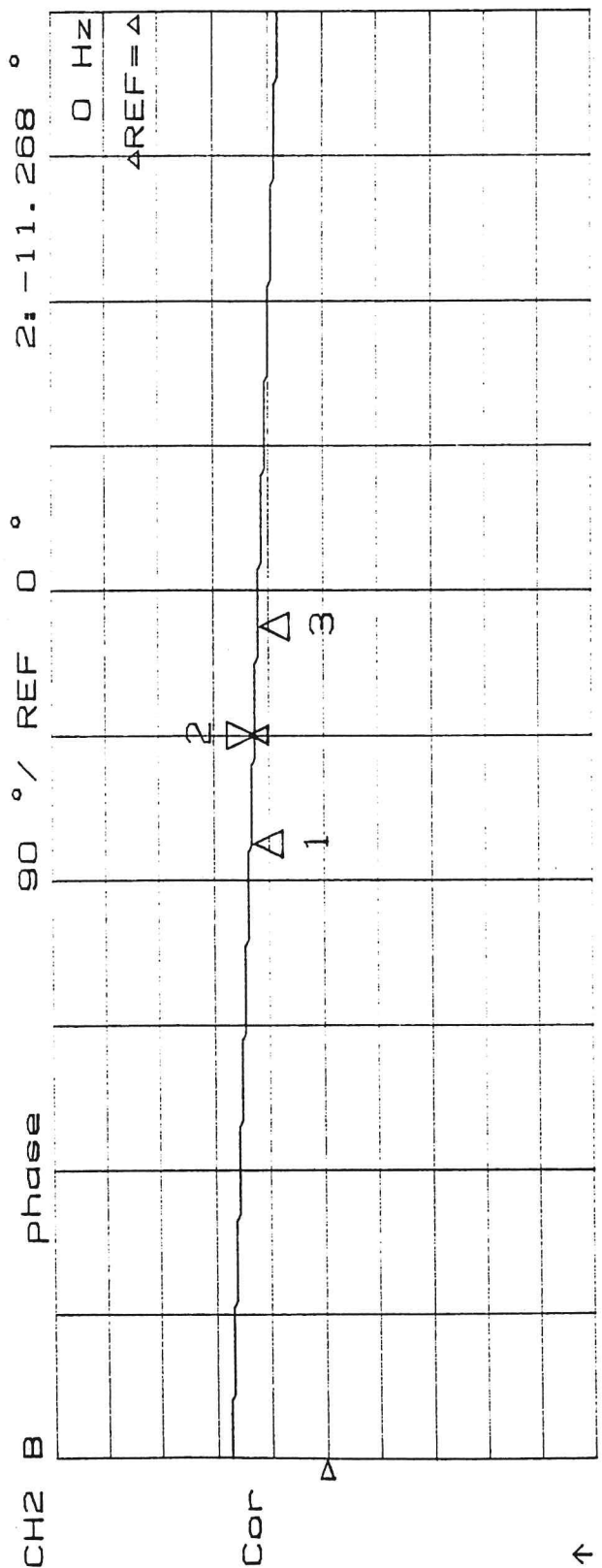


START 10 MHz

STOP 50 MHz

N STIMULUS val

1	-3 MHz	418.23 m°
2	0 Hz	-5.7086 °
3	3 MHz	-11.652 °
Ref		
Δ	30 MHz	125.18 °

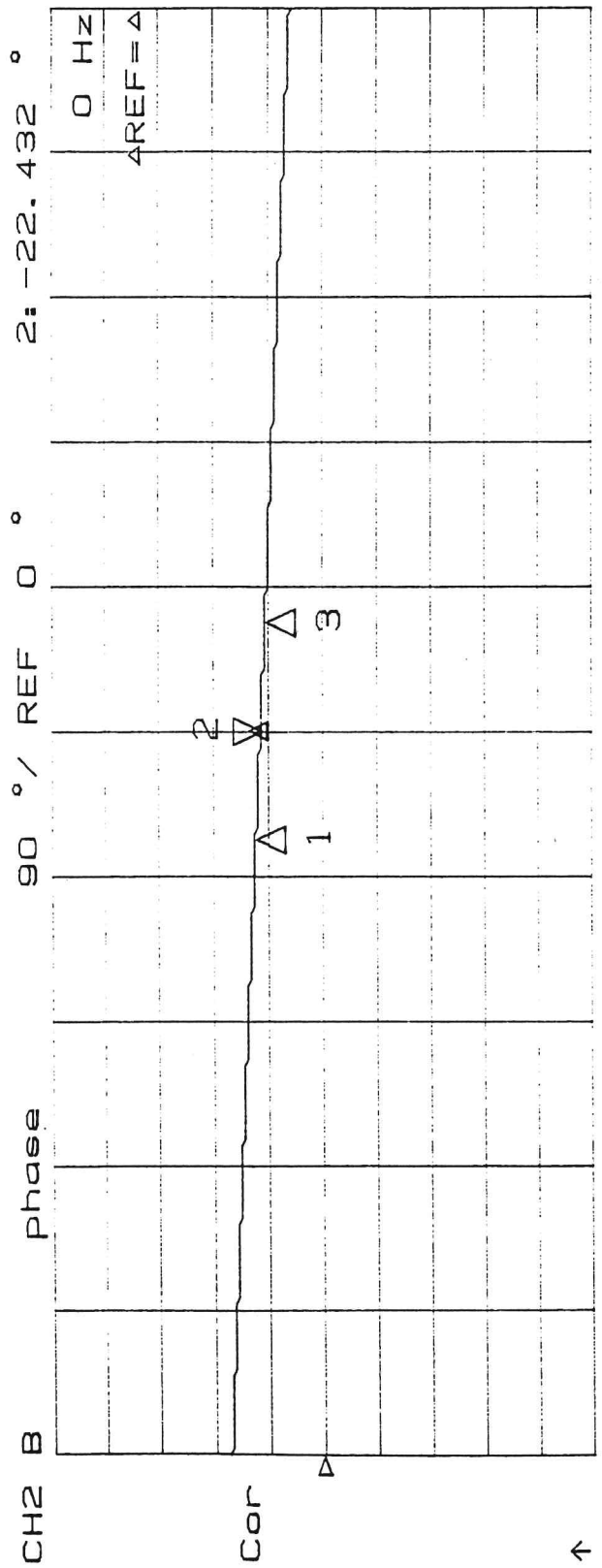


START 10 MHz

STOP 50 MHz

val

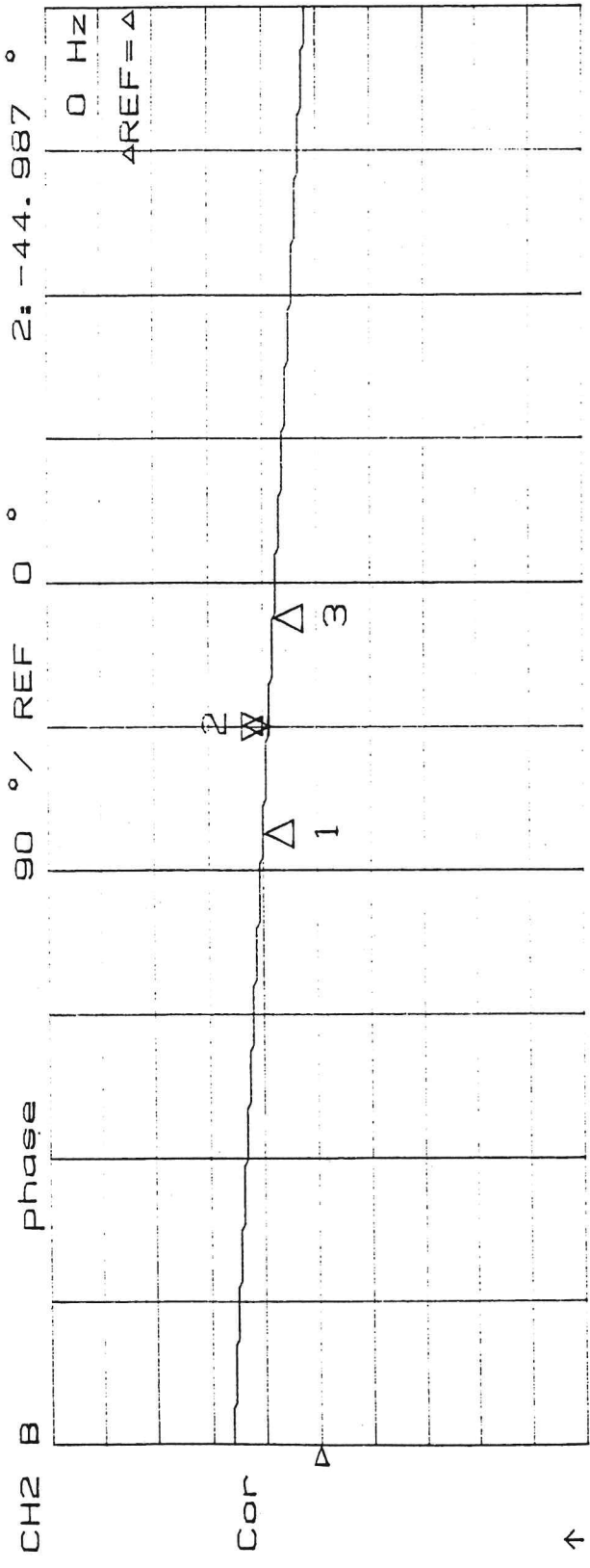
N	STIMULUS	val
1	-3 MHz	-4.6824 °
2	0 Hz	-11.268 °
3	3 MHz	-17.734 °
Ref		
Δ	30 MHz	125.32 °



START 10 MHz

STOP 50 MHz

N	STIMULUS	val
1	-3 MHz	-14.721 °
2	0 Hz	-22.432 °
3	3 MHz	-30.036 °
Ref		
Δ	30 MHz	125.32 °

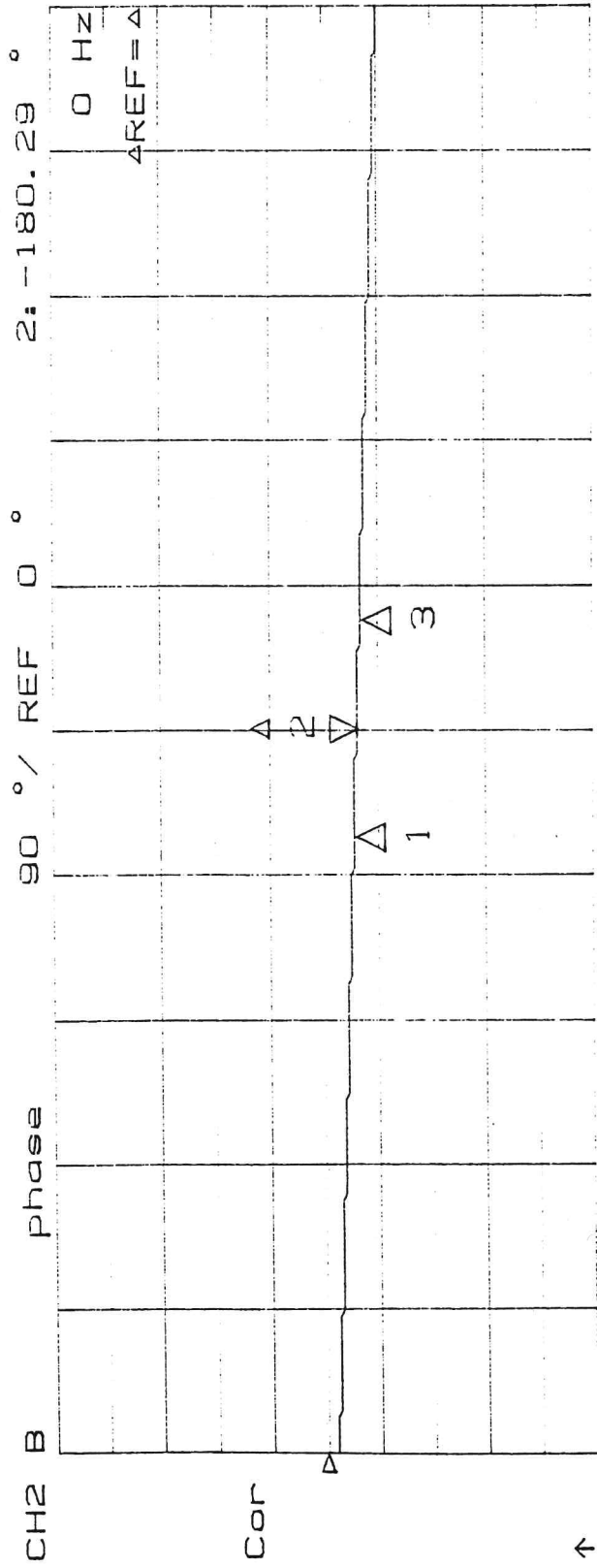


STOP 50 MHz

START 10 MHz

N STIMULUS val

- 1 -3 MHz -34.941 °
- 2 0 Hz -44.987 °
- 3 3 MHz -54.748 °
- Ref
- Δ 30 MHz 125.32 °

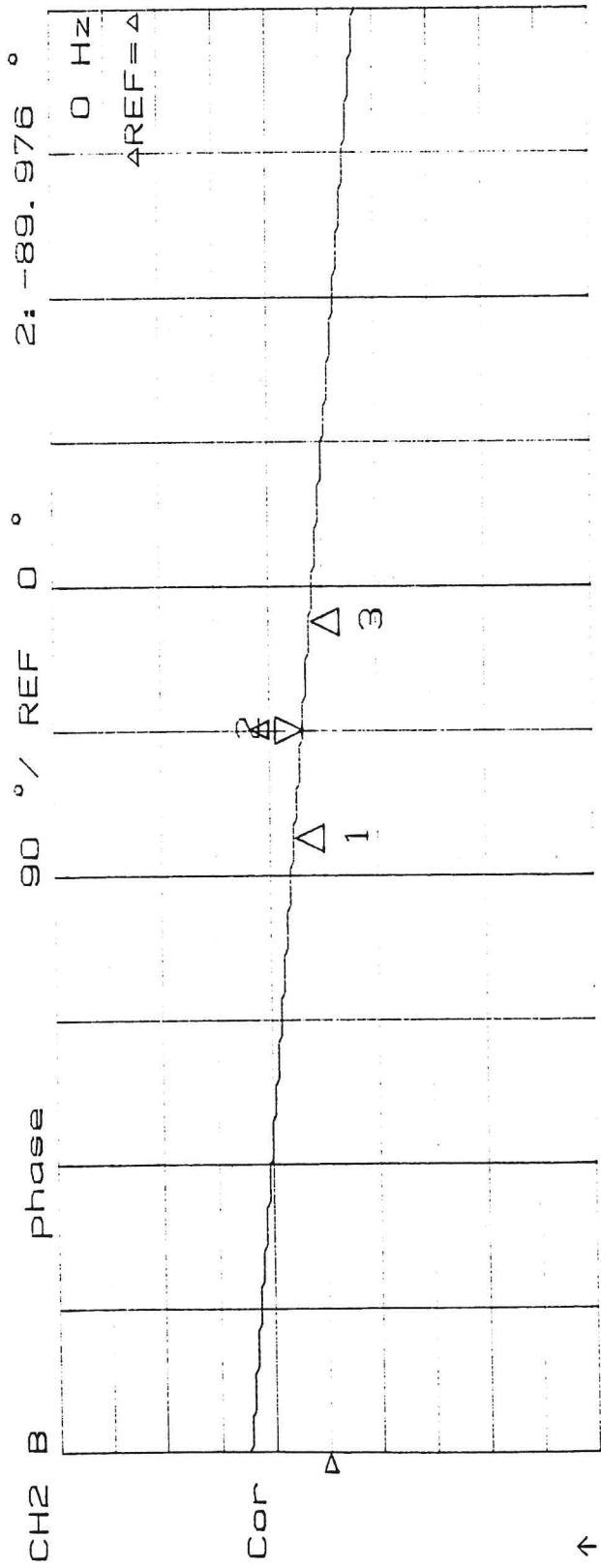


START 10 MHz STOP 50 MHz

val

N STIMULUS

1	-3 MHz	-174.78°
2	0 Hz	-180.29°
3	3 MHz	-185.67°
Ref		
Δ	30 MHz	125.4°



START 10 MHz

STOP 50 MHz

val

N STIMULUS

1	-3 MHz	-75.581 °
2	0 Hz	-89.976 °
3	3 MHz	-104.17 °
Ref		
Δ	30 MHz	125.32 °

Ringraziamenti

Si ringrazia il Proff. Grueff per il suo aiuto rivelatosi determinante, il Dott. Tomassetti per la disponibilità dimostrata, ed un particolare ringraziamento al Sig. Mariotti Sergio per la collaborazione in fase di studio per la realizzazione delle strip-line.

Bibliografia

- Sistema computerizzato di sfasamento dei canali N/S per la formazione del fascio.
M. Roma, A. Cattani, S. Montebugnoli.
Rapporto interno IRA 177/93.

- Interfaccia di I/O del sistema Pulsar di Medicina.
Maccaferri A. e Cattani A.
Rapporto interno IRA 153/91

- Sistema di multiplexing dei fasci E/W della Croce del Nord
Bortolotti C., Montebugnoli S., D'Amico N.
Rapp. Int. IRA 188/94