

A. Gallerani, G. Minarelli, collaborazione R.F. di G. Tomassetti

Un interferometro didattico numerico complesso

IRA 349/2003

Indice

Ringraziamenti	
Premessa	pag. 2
Introduzione	pag. 3
La struttura delle antenne, i filtri, l'amplificazione rf	pag. 3
La conversione del segnale in banda-base	pag. 4
Il calcolo dello spettro di potenza	pag. 4
Le basi teoriche del correlatore	pag. 4
Schema generale dell'autocorrelatore	pag. 5
Acquisizione con una scheda nel PC	pag. 6
Il pilotaggio delle antenne	pag. 7
La funzione del personal computer ed il programma di gestione dello strumento	pag. 7
Le sorgenti osservabili	pag. 7
Fotografie dello strumento	pag. 8
Conclusioni e futuri sviluppi	pag. 11
Bibliografia	pag. 11
	pag. 12

Ringraziamenti

Si ringrazia il dott. Karl-Heinz Mack per le utili discussioni su alcuni esperimenti, sul lavoro in generale e per la lettura del seguente rapporto interno.

Premessa

Il correlatore descritto in questo lavoro, è stato sviluppato sulla base di una esperienza degli autori, che si può ormai definire decennale ed anche in qualche misura pionieristica per la realtà italiana, nel campo della acquisizione e della correlazione dei segnali radioastronomici.

Si tratta di uno strumento completo e tecnologicamente alla pari con tanti altri correlatori radioastronomici scientifici esistenti al mondo, dal momento che preleva segnali centrati su 1.3GHz e tratta bande di quattro MHz con campionamenti che impiegano un numero di bit superiore a quattro-cinque (è infatti ben noto che in genere vengono impiegati solo uno o due bit); l'unica limitazione è legata alle dimensioni.

Un'altra caratteristica importante è che, su un normalissimo hard-disk di un PC è possibile immagazzinare i coefficienti di correlazione relativi a decine e decine di esperimenti, consentendo pertanto, a posteriori, una analisi ed elaborazione dei dati pratica, veloce, flessibile e duratura.

Si suppone pertanto che lo strumento possa essere di interesse per tutti coloro che vogliano, in modo maneggevole e rapido, rendersi conto e toccare con mano i problemi e le tecnologie che formano un radiotelescopio (il suo uso, implica conoscenze di radioastronomia, di elettronica analogica, numerica e di potenza, di elaborazione del segnale, di software ecc.); in altre parole si suppone che lo strumento possa avere un ottimo impiego didattico; potrebbe infine essere adatto per fare parte delle attrezzature dimostrative del prossimo "visitor center" in allestimento presso la stazione radioastronomica di Medicina.

Introduzione

A partire dal primo radiotelescopio costruito da Karl Jansky nel 1929 (nato accidentalmente, come è ben noto, per studiare le interferenze di disturbo per le onde corte) c'è stata una evoluzione continua sia sotto il profilo teorico sia sotto quello tecnologico - strumentale.

Poiché la sensibilità e soprattutto la risoluzione di un radiotelescopio dipendono dalle dimensioni dell'antenna, agli inizi, ci si preoccupava soprattutto di costruire antenne di dimensioni le più grandi possibili, fra cui:

- Orientabili: Green Bank di 92 m di diametro, negli Stati Uniti del 1963 e Effelsberg, Germania, di 100m, del 1972
- Di transito: Medicina, Croce del Nord (1967, bibl. 1), costituito di due bracci, l'uno E/W (lungo 560m e largo 35) l'altro N/S (costituito di 64 antenne lunghe 23.5m e larghe 8)

Ma la sensibilità dipende pure dal rumore proprio del ricevitore e da quello captato dalle antenne per cui, le dimensioni, da sole, non bastano per ottenere un buon rapporto segnale/rumore.

Per queste ragioni, accanto ai sistemi "single dish" che pure presentano vantaggi per certi tipi di esperimenti, è stata sviluppata la tecnica dell'interferometria con cui si possono ottenere le massime prestazioni sia in termini di sensibilità (grazie alla correlazione dei segnali) sia in termini di risoluzione (dovuta alle grandi distanze a cui possono essere poste le singole antenne).

Con questi presupposti, sono svariati gli approcci tecnologici possibili con cui si può arrivare a dei buoni risultati. In questo rapporto interno viene illustrato l'interferometro numerico sviluppato all'Istituto di Radioastronomia del CNR, che, con tutti i limiti di un radiotelescopio didattico, contiene però le tecnologie più avanzate e complete da un punto di vista progettuale: sono infatti parti costituenti circuiti in alta e bassa frequenza, tecniche digitali avanzate ed anche originali, circuiti di interfaccia con il computer, programmi di gestione ed elaborazione dati, motorizzazione.

Le antenne, con i relativi feed e la motorizzazione per il puntamento, sono attualmente sistemati sul terrazzo dell'Istituto di Radioastronomia. Tutto il resto delle apparecchiature è alloggiato in un laboratorio del IV° piano; il collegamento tra le due posizioni avviene tramite cavi coassiali che scorrono dentro un cavedio esistente.

Sono propedeutiche a questo lavoro le interessanti considerazioni e questioni riportate in bibl. 2 di cui se ne suggerisce la lettura.

La struttura delle antenne, i filtri, l'amplificazione rf

L'impiego di antenne paraboliche, con relativi LNB (low noise block and down converter) avrebbe semplificato di molto il problema, dal momento che si tratta di componenti commerciali adatti per la ricezione satellitare; ma si pone il fondamentale problema dell'aggancio degli oscillatori locali non accessibili; proprio per tale motivo, quasi tutti i radiotelescopi amatoriali sono di tipo "single dish" ed operano in banda X a frequenze che vanno da 8 - 12 GHz. Va però detto che, dal punto di vista radioastronomico, tale banda non è certo la migliore (fig. 1), perché qui, anche le più importanti radiosorgenti presentano una densità di flusso < 1000 Jansky, per cui è impossibile rivelarle con antenne di dimensioni radioamatoriali.

Per conciliare le esigenze di un segnale accettabile con quelle di antenne direttive a basso costo, si è scelta la frequenza di riferimento di 1.3 GHz per la quale sono state trovate due antenne direttive di tipo Yagi a dipolo ripiegato, le cui caratteristiche sono quelle di fig. 2 e di cui ne riportiamo le principali:

- guadagno dell'antenna rispetto ad una isotropica: 18 dB
- larghezza di banda a -1dB: 1246÷1326 MHz
- angolo di apertura del lobo principale -3dB: circa $2 \times 10^\circ$ per entrambe le polarizzazioni, per cui si tratta di antenne abbastanza direttive.

Le due antenne, spaziate di 25λ , sono fissate alle estremità di un braccio, supportato nel punto di mezzo da un palo. Sulla uscita di ognuna delle due antenne, si trovano il filtro passa-banda interdigitale centrato a 1300 MHz con larghezza di banda di circa 100MHz e gli amplificatori a basso rumore (fig. 3) della ditta tedesca "Kuhne".

L'andamento della temperatura equivalente di rumore ed il guadagno di inserzione del sistema filtro - amplificatore è riportato, per i due canali in fig. 4 e 5.

Dal palo di antenna situato sul terrazzo si scende al laboratorio di elettronica mediante cavi coassiali, tipo RG 214/U, di lunghezza di circa 20m, a bassa perdita con 0.25 dB/m ad 1GHz, 50 Ohm, terminati ad entrambe le estremità con connettori tipo "N".

Lo schema di insieme che va dalle antenne fino alla conversione in banda base è riportato in fig. 6

La conversione del segnale in banda-base

Avviene in una scatola di alluminio situata nel laboratorio, contenente la rimanente parte dei circuiti di fig. 6

Subito a valle del cavo di discesa N si trova un filtro passa-alto attraverso il quale viene anche inviata la alimentazione di 12V tramite il cavo coassiale, agli amplificatori "Kuhne" prima descritti.

L'alimentatore, che serve anche gli altri circuiti della scatola e' di tipo commerciale, della Elind, di 12 V, 3.4 A .

Le due antenne sono connesse a due canali di amplificazione convertiti a media frequenza tramite un oscillatore locale unico (di tipo POS-1400 a 1220 MHz, regolabile in frequenza tramite un potenziometro alimentato con un alimentatore 20V, 100mA) che pilota, tramite un divisore di potenza, un primo mixer della Minicircuits tipo SRA -2400 per effettuare una prima conversione di frequenza a banda singola centrata su 80MHz.

80 MHz è infatti una frequenza sufficientemente elevata per ottenere una ottima reiezione della banda immagine da parte del filtro passa-banda elicoidale della "ELLE-ERRE Elettronica" tipo BPF5291 con banda passante di 4 MHz.

La seconda conversione in banda video avviene con un oscillatore locale da noi costruito che opera attorno ai 78 MHz. È previsto un terzo canale di frequenza intermedia sfasando di 90° l'oscillatore locale di seconda conversione, così da ottenere un canale di tipo seno, detto pure immaginario.

Segue un amplificatore della Minicircuits tipo MAN-1LN con 28 dB di guadagno.

Una nuova conversione di frequenza a banda singola, con gli elementi della Minicircuits (a parte il VFO di fig. 8), permette di ottenere un segnale nella banda 0-4MHz.

Il livello dell'oscillatore locale all'entrata del mixer UNCL-L1H è di 2dBm; il cavo coassiale (RG58) per ottenere lo sfasamento del segnale di 90° ha una lunghezza di 63 cm.

I due amplificatori all'uscita del mixer, il primo precedente (fig. 9, con $G=20$ dB) ed il secondo seguente (fig. 10, con $G=40$ dB) ed il filtro a 4MHz portano il livello del segnale a circa 3dBm corrispondente a 300 mV (su 50 Ohm).

Il filtro passa - basso 0-4MHz, (4 poli, alla Butterworth, con frequenza di taglio a 3 dB) necessario pure per eliminare la frequenza immagine, fissa, la banda del segnale in modo da soddisfare il teorema del campionamento.

La sistemazione dei circuiti nella scatola è riportata in fig. 11.

Il calcolo dello spettro di potenza

In modo tradizionale, lo spettro di potenza potrebbe essere calcolato con schede commerciali (da installare sul bus del PC), che sono in grado di effettuare la FFT per 1024 punti in circa 100-500 μ s; tali schede usano la tecnica del doppio banco di memorie, scaricando in un primo intervallo di tempo i primi 8 milioni di dati sul primo banco ed effettuando nel frattempo la FFT sul secondo banco; analogamente, ma all'opposto, nel secondo intervallo di tempo. Ma il costo di tali schede è di decine di milioni.

Inoltre il problema si appesantirebbe notevolmente se si volesse effettuare il calcolo su un numero di punti maggiore: infatti, la FFT richiede $N \log_2 N$ operazioni complesse; la relazioni è non lineare; cioè, all'aumentare di N le operazioni crescono molto di più della misura proporzionale.

Si ha la tabella:

Numero di punti	$N \log_2 N$
4	8
16	64
64	384
256	2048
1024	10240

Nessuna scheda esistente al mondo potrebbe effettuare la FFT di 8 milioni di punti entro il tipico intervallo di correlazione di 1s.

In questo strumento si e' pertanto seguita la strada di calcolare i coefficienti di autocorrelazione al di fuori del PC e di immagazzinarli su disco in modo indipendente, in vista della post-correlazione: infatti, lo spettro di potenza, si otterrà, per una nota proprietà della trasformata di Fourier, applicando a posteriori, la FFT ai coefficienti di correlazione.

La basi teoriche del correlatore

- Principio di funzionamento

I segnali ricevuti da ogni antenna sono bianchi (definiti cioè da una densità di potenza costante su tutta la banda di interesse, in genere fissata da un filtro) quindi statisticamente indipendenti (i campioni distanti $1/2B$ sono incorrelati) quindi la funzione di autorrelazione tende a 0 per tempi sufficientemente grandi.

Invece, per quanto riguarda le componenti del segnale ricevuto proveniente da una radiosorgente, esse si possono rappresentare mediante un processo gaussiano armonico del tipo:

$$y(t, \theta) = Y_M(t) \sin(\omega t + \theta) .$$

L'ampiezza della risposta, al contrario dei radiotelescopi che inseguono la radiosorgente, presenta una dipendenza dal tempo.

Poichè θ è una variabile aleatoria distribuita uniformemente tra $0 \rightarrow \pi$ il processo è ergodico, quindi media statistica e temporale coincidono e l'autocorrelazione vale, per ogni θ

$$R = \frac{A^2}{2} \text{sen}(\omega_0 t)$$

Ove $\omega_0 = 2\pi f_0$ è la pulsazione di campionamento.

Pertanto l'autocorrelazione è essa pure una funzione periodica (come si verificherà anche con i risultati ottenuti sperimentalmente)

Per quanto verrà descritto più avanti, l'interferometro realizzato è di transito, nel senso che la variabile θ varia col ruotare della Terra.

- Calcolo della frequenza di frangia

Il calcolo della frequenza di frangia si semplifica notevolmente nell'ipotesi in cui il piano contenente la "baseline" delle due antenne ed il moto della radiosorgente (dovuto alla rotazione terrestre) sia unico e si effettui il calcolo per una radiazione monocromatica.

In tal caso, la frequenza delle frange è data da:

$$f_f = \frac{2\pi}{86400 \arcsen \frac{\lambda}{B}}$$

Ove λ è la lunghezza d'onda delle radiazioni incidenti centrate nell'intorno di 1.3 GHz e risulta quindi di 0.23m; B la linea di base ed è di 6 m mentre 86400 è il numero di secondi in un giorno.

Risulta così:

$$f_f \approx 1.96 \text{mHz}.$$

Ovviamente il calcolo si complica per il Sole e per i pianeti, per i quali occorre mettere in conto spostamenti aggiuntivi, ma l'ordine di grandezza è soddisfacente, perchè in buon accordo con i risultati sperimentali.

Si fa notare che $\lambda \ll B$, per cui θ , che rappresenta la differenza di fase con cui il segnale arriva alle due antenne è incerto per multipli di 2π ; al margine di incertezza occorre aggiungere i contributi della ionosfera, dell'atmosfera e delle instabilità circuitali.

Schema generale dell'autocorrelatore

È riportato in fig. 12.

I segnali provenienti dalle due antenne, dopo essere stati convertiti in banda base in modo complesso (ottenendo un canale a 0° di riferimento ed altri due l'uno di tipo coseno e l'altro di tipo seno) nella banda 0-4MHz e ampiezza di circa 110mV, con escursioni sia positive sia negative, costituiscono gli ingressi del correlatore.

I convertitori A/D ad 8 bit (bibl. 3) scanditi dal clock (bibl. 4) provvedono a convertire i segnali in forma numerica; i dati così ottenuti costituiscono gli ingressi per l'HMA510 (16 X 16 bit CMOS parallel multiplier accumulator); la logica di operazione è in complemento a due, per potere gestire le escursioni del segnale sia positive sia negative. Il tempo impiegato per una operazione di moltiplicazione ed accumulo è di 45ns.

Il registro accumulatore è di 35 bit.

Nell'ipotesi peggiore (tutti i segnali al massimo valore con prodotti di correlazione tutti dello stesso segno) l'HMA510 raggiunge l'overflow in un tempo di poco superiore a 2 s; appare pertanto ragionevole l'impiego di intervalli di correlazione di 1s, che rappresenta, fra l'altro, uno valore standard nei correlatori radioastronomici.

Alla fine di ogni secondo, come appare dalla figura, il risultato finale dell'HMA510 viene trasferito nei buffer 1, 2 e da qui al computer, ove vengono memorizzati al suo interno sull'hard-disk.

Poichè una operazione (moltiplicazione ed accumulo) dell'HMA510 è scandita dal clock ad 8MHz, un coefficiente di correlazione normalizzato è costituito dalla media semplice della somma di otto milioni di prodotti: appaiono pertanto valide le approssimazioni fatte più sopra riguardanti i segnali incorrelati e correlati.

Nell'insieme, le caratteristiche tecniche del correlatore si possono così sintetizzare:

- Il correlatore è complesso, cioè con esso si può individuare modulo e fase, cioè ampiezza e direzione di arrivo della radiazione.
- Bande di 4 MHz
- Quantizzazione 8 bit, di cui il bit più significativo viene impiegato per il segno.
- Per trattare anche i segnali negativi si usa la tecnica del complemento a due
- Intervallo di correlazione: 1s; in tale intervallo, ognuno dei due correlatori effettua $(8 \cdot 10^6)$ moltiplicazioni e somme; l'ultimo clock serve per scaricare i dati su un buffer; i coefficienti di correlazione presenti sui buffer, vengono salvati su disco durante l'intervallo di correlazione, in modo indipendente.

Sulle schede per la conversione analogico/digitale occorre riportare alcune note:

- Regolando il trimmer presente all'ingresso degli A/D tali segnali verranno centrati rispetto al valore 1.6 V (perchè l'A/D viene fatto lavorare nel range $0.6V \div 2.6V$); pertanto, all'ingresso dell'A/D i segnali varieranno nel range $1.6V \pm 110mV$.
- La sensibilità dell'A/D è di $2V/256 = 8mV$
- Si è già detto che il livello del segnale all'ingresso di ogni A/D è di circa 3dBm; poiché l'uscita dell'A/D viene convertita in complemento a 2, oltre al segno entrano in gioco al massimo 4-5 bit, ma ciò non è un problema, perchè, per segnali gaussiani, campionando ad una frequenza che soddisfa appena il teorema di Shannon, il rapporto segnale - rumore che si ha usando pochi bit, rispetto ad infiniti bit, segue la ben nota tabella (bibl. 5):

Numero di bit impiegati per la quantizzazione	SNR rispetto al caso continuo
1 bit	0.64
2 "	0.88
∞ "	1

Si vede che, il rapporto segnale-rumore tra il caso digitale e quello analogico (continuo) con soli quattro livelli (per il quale servono 2 bit) arriva a quasi il 90%!

In fig. 13 è mostrata la scheda sviluppata per correlare quattro canali; in uscita sono presenti cinque buffer tipo 74S374 da cui il computer preleva i coefficienti di correlazione non normalizzati, ogni secondo.

In fig. 14 è mostrata la scheda realizzata per la generazione dei segnali occorrenti per la gestione della scheda di correlazione, partendo da quelli del distributore (bibl. 6).

Acquisizione con una scheda nel PC

Ogni secondo occorre acquisire 2 coefficienti di correlazione, ognuno di 35 bit.

I 35 bit si acquisiscono tramite porte con 5 letture da 8 bit l'una.

Anche con un semplice PC del tipo 486 si riesce agevolmente a gestire queste operazioni.

In fig. 14 è mostrata la scheda di interfaccia, realizzata in laboratorio, sistemata in uno "slot" ISA del PC per la gestione dell'intero correlatore.

Disponendo della funzione di autocorrelazione, conviene calcolare lo spettro di potenza applicando il teorema di Wiener: lo spettro della densità di potenza del segnale radioastronomico è uguale alla trasformata di Fourier della sua funzione di autocorrelazione x .

Il pilotaggio delle antenne

Si è già detto che le due antenne sono sistemate all'estremità di un braccio lungo 6 m poggiate, nel punto di mezzo, mediante uno snodo, su un palo fissato sul terrazzo dell'Istituto.

Lo snodo, pilotato da due motori, ha due gradi di libertà: uno in elevazione ed uno in azimuth.

Il sistema è gestibile manualmente dal laboratorio di elettronica dell'Istituto.

Ovviamente occorre conoscere l'azimut e l'elevazione delle radiosorgenti.

Il sistema di pilotaggio è della Yaesu e permette una rotazione da 0° a 180° in elevazione con una sensibilità per tacca di 7.5° e da 0° a 360° in azimuth con una sensibilità per tacca di 15° .

Per ottenere una migliore precisione si preferisce realizzare il puntamento misurando le tensioni sugli strumentini del driver.

Per agevolare la conversione si è scritto il semplice programma in Basic:

```
CLS
PRINT "dati azimut ed elevation in gradi trovare i corrispondenti valori in millivolt"
PRINT ""
INPUT "enter azimuth, in degree (between 0-359)"; az
INPUT "enter elevation, in degree (between 0-179)"; el
elmv = el * .6: 'mv sta per millivolt
IF az > 180 THEN azmv = (az - 180) * .29
IF az <= 180 THEN azmv = 53 + az * .29
PRINT ""
PRINT "azimut in mv"; azmv, "el in mv"; elmv
END
```

La funzione del personal computer

Attraverso una scheda di interfaccia con il correlatore, ed alcuni appropriati programmi, il personal computer permette di gestire praticamente l'intero strumento.

Nei punti essenziali:

- Punta l'interferometro verso la radiosorgente (non ancora operativo: attualmente il posizionamento è motorizzato sia in azimuth da 0° a 360° sia in elevazione da 0° a 180° , ma manuale)
- acquisisce i coefficienti di correlazione (uno al secondo) e li immagazzina in un file su disco
- effettua la post-correlazione (per ottenere immagini e parametri significativi)

La gestione del correlatore, attraverso la scheda di interfaccia, avviene per mezzo del seguente programma Basic:

```

COR_LAB.BAS
' Il programma si arresta automat. a fine schermo
' *****
PA1 = &H1B0: pb1 = &H1B1: pc1 = &H1B2: CTRL8255N1 = &H1B3
PA2 = &H1B4: PB2 = &H1B5: PC2 = &H1B6: CTRL8255N2 = &H1B7
OUT CTRL8255N2, &H9B: REM pa2,pb2,pc2 input
OUT CTRL8255N1, &H99: REM pa1,pc1 input, pb1 output
'-----
OPEN "sole.dat" FOR OUTPUT AS #1
'-----
cest(0) = 0: cest(1) = 16: cest(2) = 32: cest(3) = 48: cest(4) = 64: cest(5) = 82
DIM corr(16): FOR i = 0 TO 15: corr(i) = i: NEXT
'-----
CLS
k1 = 256: k2 = 256 ^ 2: k3 = 256 ^ 3: k4 = 256 ^ 4
max = 2 ^ 35
count = 8000000!
'-----
SCREEN 2
'-----
DIM ix(5000): ' indice asse x
vy = 100: REM valor medio coordinata y sullo schermo
'-----
offset = 0
INPUT "time compression (1,2,.....,50)"; tc
INPUT "gain (0.1-30)"; gain
INPUT "calcolo del fondo (s/n)"; sn$
IF sn$ = "n" OR sn$ = "N" THEN 5
IF sn$ = "s" OR sn$ = "S" THEN GOSUB 1000
PRINT "il fondo vale:"; fondo
5 INPUT "valore del fondo"; fondo
7 INPUT "antenne puntate sulla sorgente(s/n)"; sn$
IF sn$ = "n" OR sn$ = "N" THEN 9
'-----
9 INPUT "do you wish to enter a start time (y/n)"; yn$
IF yn$ = "n" OR yn$ = "N" THEN 16
12 start$ = ""
LOCATE 9, 1: PRINT "hit start time, in the form hh:mm:ss"
15 LOCATE 8, 1: PRINT TIMES$
v$ = INKEY$
start$ = start$ + v$
start$ = LEFT$(start$, 8)
LOCATE 10, 1: PRINT start$
v1$ = TIMES$
IF v1$ = start$ THEN 18
GOTO 15
'-----
16 start$ = TIMES$
18 CLS
GOSUB 600
20 IF TIMES$ = start$ THEN GOTO 30
GOSUB 800
GOTO 20
'-----
30
index = 0

```

```

ix = 0 ' indice asse orizzontale
DIM a(50)
'-----
40 var = INP(pc1): var = (var AND 8)
IF var = 8 THEN 40
45 var = INP(pc1): var = (var AND 8)
IF var = 0 THEN 45
'-----
OUT pb1, (cest(0) + corr(mux))
a = INP(PA2): b = INP(PB2): c = INP(PC2): d = INP(PA1): e = (INP(pc1) AND 7)
ch0 = e * k4 + d * k3 + c * k2 + b * k1 + a
segno = (e AND 4)
IF segno = 0 THEN PRINT #1, (ch0 / count)
IF segno = 0 THEN a(index) = (ch0 / count)
IF segno = 4 THEN PRINT #1, (-1) * ((max - ch0) / count)
IF segno = 4 THEN a(index) = (-1) * ((max - ch0) / count)
IF index = tc THEN GOSUB 500
index = index + 1
GOSUB 800
GOTO 40
630 CLOSE #1
650
stop$ = TIMES$
660 LOCATE 6, 50: PRINT "stop "; stop$
GOTO 660
700 END
'-----
500
v1 = 0
FOR i = 0 TO index: v1 = v1 + a(i): NEXT
v1 = (v1 / index) + offset
LOCATE 10, 1: PRINT v1, v
IF ABS(v1 - v) < .5 THEN GOTO 510
v = v1
IF segno = 0 THEN v = (ch0 / count): REM correlaz. positiva
IF segno = 4 THEN v = -((max - ch0) / count)
v = v + fondo
vabs = ABS(v) * gain
IF v >= 0 THEN PSET (ix, vy + vabs)
IF v < 0 THEN PSET (ix, vy - vabs)
IF v >= 0 THEN LINE -(ix, vy + vabs)
IF v < 0 THEN LINE -(ix, vy - vabs)

510
v = v1
ix = ix + 1
index = 0
IF ix = 600 THEN GOTO 630
RETURN
'-----
600
LOCATE 1, 50: PRINT "time compression "; tc
LOCATE 2, 50: PRINT "gain "; gain
LOCATE 3, 50: PRINT "sky background "; fondo
LOCATE 5, 50: PRINT "start "; start$
ix = 0
LOCATE 1, 1

```

```

PRINT " coeff. corr."
LINE (0, vy)-(600, vy): REM orizz. axes a meta' schermo
LINE (0, 0)-(0, 200): REM asse verticale
LOCATE 14, 70: PRINT "tempo (s)"
RETURN
' .....
800 LOCATE 4, 50: PRINT "current "; TIMES$
RETURN
' ..... calcolo del fondo .....
1000 INPUT "antenne fuori sorgente"; sn$
IF sn$ = "n" OR sn$ = "N" THEN 1000
' N.B. le antenne devono essere puntate fuori sorgente
1040 var = INP(pc1): var = (var AND 8)
IF var = 8 THEN 1040
1045 var = INP(pc1): var = (var AND 8)
IF var = 0 THEN 1045
OUT pb1, (cest(0) + corr(mux))
a = INP(PA2): b = INP(PB2): c = INP(PC2): d = INP(PA1): e = (INP(pc1) AND 7)
ch0 = e * k4 + d * k3 + c * k2 + b * k1 + a
segnò = (e AND 4)
IF segnò = 0 THEN fondo = (ch0 / count)
IF segnò = 4 THEN fondo = (-1) * ((max - ch0) / count)
fondo = -fondo: REM per riportare la quota nel verso giusto sullo schermo
RETURN
' .....

```

L'esecuzione di tale programma mostra la progressione delle frange di interferenza al transitare della radiosorgente (fig. 16 ÷19).

Il programma si arresta automaticamente quando il grafico ha raggiunto la fine dello schermo e prevede diverse opzioni:

- Il grafico puo' partire immediatamente o ad un orario prefissato
- È possibile assegnare un guadagno ed un offset
- È possibile assegnare un tempo di compressione per variare la durata del grafico.

Le frange di interferenza restano memorizzate sullo schermo insieme con i parametri assegnati e all'ora di inizio e fine esperimento.

Le sorgenti osservabili

In fig. 1 sono mostrate le densità di flusso in funzione della frequenza, delle più forti sorgenti radioastronomiche. Si vede che nell'intorno di 1.3GHz le più intense sono nell'ordine: il Sole, il fondo galattico, Cassiopeia, Cygnus A, la Luna e Taurus.

Finora si è riusciti agevolmente ad osservare le prime quattro, ma l'interferometro richiede ancora alcuni affinamenti (dislocazione dei circuiti, calibrazioni ecc..) che dovrebbero portare all'osservazione di altre sorgenti più deboli.

In fig. 16 è mostrata l'osservazione del Sole del 17 Settembre del 2003.

La compressione del tempo di un fattore 20 serve per fare cadere tutto il transito del Sole in una sola schermata.

Il guadagno fittizio di 0.2 (un fattore di scala fissato nel programma) serve per attenuare le escursioni, dal momento che si tratta di una radiosorgente fortissima.

Il valore del fondo assegnato serve per fare cadere il valore medio all'incirca a metà dello schermo.

L'esperimento è cominciato alle 12:00:01 ed è terminato alle 14:51:28.

In 72 minuti circa si contano circa 14 periodi, per cui la frequenza di frangia è 3.2 mHz

In fig. 17 è mostrata l'osservazione di Cassiopeia del 25 Settembre 2003; si notano parecchi disturbi di notevole intensità dovuti probabilmente ad emissioni radar.

IL guadagno è 25 volte superiore al precedente assegnato per l'osservazione del Sole.

In 100 minuti di osservazione si contano circa 5 periodi, per cui la frequenza di frangia è di circa 0.8 mHz

In fig. 18 è mostrato lo stesso esperimento, ma con i dati filtrati mediante un filtro IIR (infinite impulse response) passa-basso del 4° ordine: i disturbi sono così completamente eliminati; il salto verso l'alto delle onde è dovuto alla componente di offset.

In fig. 19 è riportato l'esperimento relativo all'osservazione di Cygnus del 30 Settembre 2003.

Effettuando la FFT dei coefficienti di correlazione ed applicando un filtro passa-basso IIR del secondo ordine, si ottiene il diagramma a barre di fig. 20, che mostra la presenza della radiosorgente in terza armonica.

Fotografie dello strumento

Nelle fig. 21 e fig. 22 si mostrano le fotografie delle due antenne sistemate sul terrazzo dell'Istituto di Radioastronomia; al centro del braccio è visibile il blocco contenente i rotori-motori per il puntamento delle antenne in elevazione ed azimut;

all'estremità del braccio sono visibili le scatole contenenti il filtro interdigitale e l'amplificatore a radio-frequenza della Kuhne.

In fig. 23 a sinistra è mostrata la scatola di comando per il puntamento e a destra la scatola che prelevando i segnali da cavi coassiali di discesa lungo il cavedio dell'edificio, li converte in banda base.

In fig. 24 è mostrato il sistema di elaborazione numerica del segnale controllato da un semplice PC 486.

In fondo nel rack è alloggiata la scatola contenente il distributore dei segnali, le schede A/D, le schede di correlazione.

Più avanti appare il PC con all'interno la scheda di interfaccia; in primo piano appare uno stampato di un passaggio del Sole.

Conclusioni e futuri sviluppi

Per quanto riguarda le conclusioni non si potrebbe che ripetere quanto detto nella premessa, oltre naturalmente ad auspicare, che lo strumento possa suscitare l'interesse di alcuni radioastronomi o tecnologi.

Ma, preme sottolineare che le applicazioni sconfinano facilmente in molti altri campi ed in genere in tutte le scienze applicate; si tratta solo di intravedere il problema.

Per i futuri sviluppi, si è già accennato ai possibili interventi da effettuare per migliorare la sensibilità di ricezione dell'interferometro; si conta così di riuscire ad osservare alcune radiosorgenti come Taurus e la Luna che sono per ora presenti nei dati, ma indistinguibili.

Sarebbe pure interessante, data la frequenza di operazione dell'interferometro, verificare l'invariabilità dei risultati in presenza di condizioni atmosferiche perturbate da nebbia, pioggia ecc.

Si potrebbe poi attivare un pilotaggio automatico dei motori mediante linea seriale RS232 già prevista; ciò permetterebbe di inseguire la radiosorgente per poterla osservare lungamente per sperare di risolverla.

Occorre invece attivare anche programmi di riduzione dei dati che coinvolgano la correlazione complessa sia per migliorare la sensibilità di ricezione sia per la determinazione, in qualche caso, della fase.

Bibliografia

- 1) A.Ficarra, E. Gandolfi, F. Perugini
Il radiotelescopio "Croce del Nord"
- 2) Goliardo Tomassetti
Radioastronomia didattica ed amatoriale
IRA 270/98
- 3) A. Gallerani, G. Minarelli, M. Tugnoli
Convertitori A/D ad 8 bit per correlatori digitali per radioastronomia
IRA 246/97
- 4) A. Gallerani, G. Minarelli, M. Tugnoli
Oscillatore ad 8 MHz e sistema di distribuzione del clock
IRA 231/96
- 5) Synthesis mapping, edited by A.R. Thompson and L.R. D'Addario
Workshop held at Socorro, New Mexico, 1982
- 6) A. Gallerani, G. Minarelli
Il distributore di segnali per il correlatore numerico a 96 canali
IRA 264/98

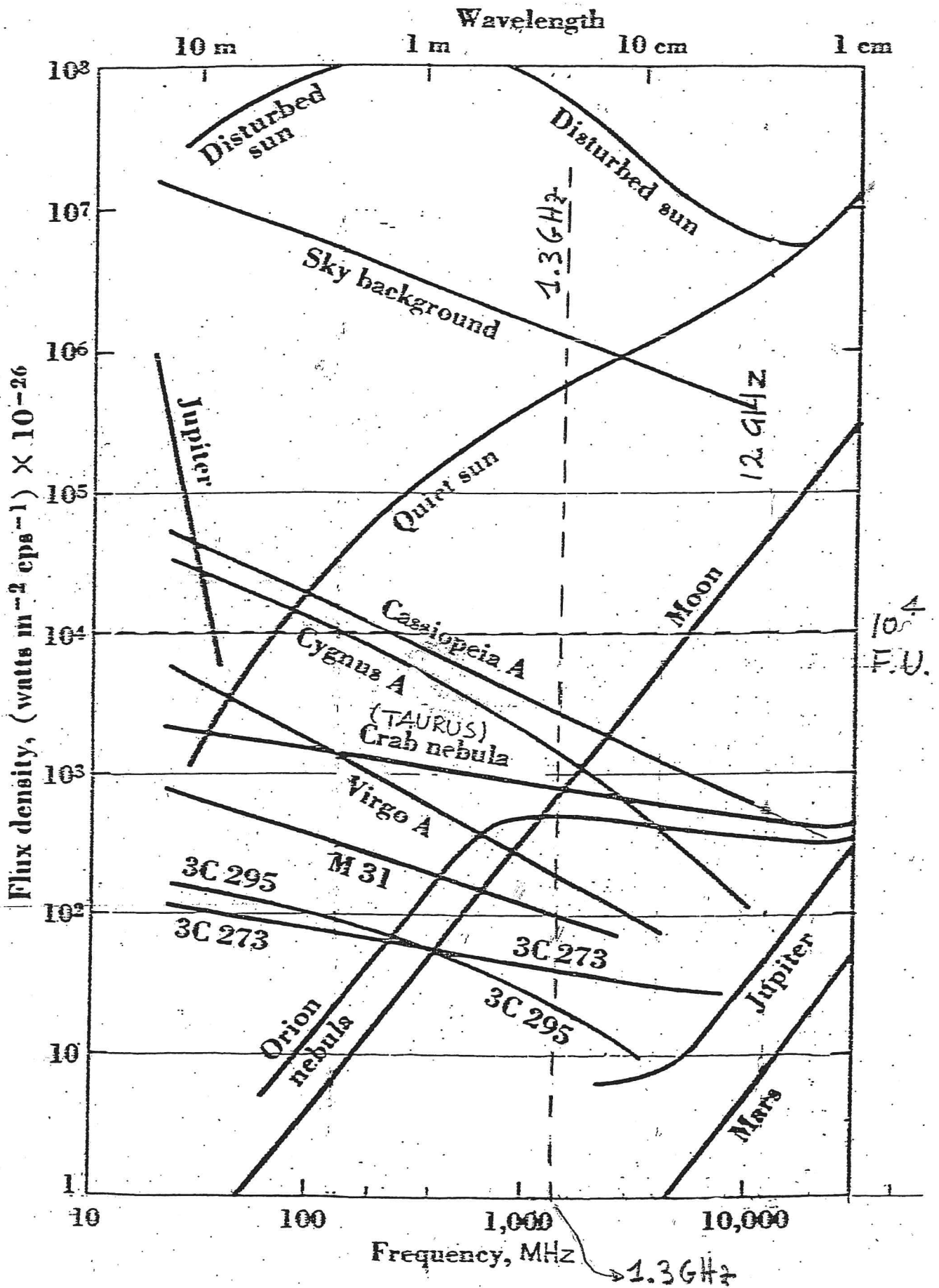
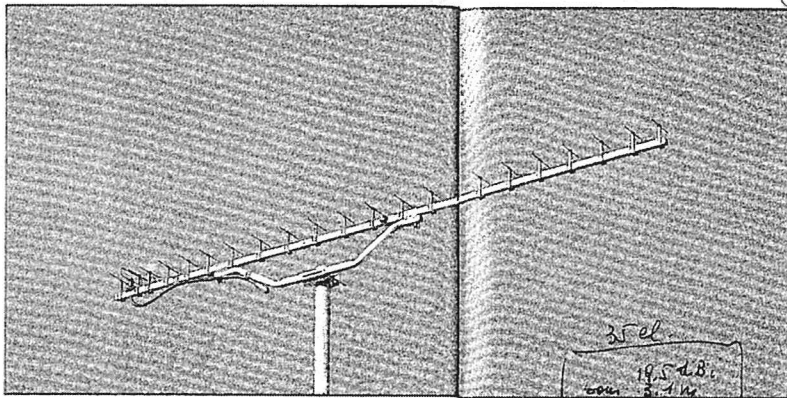


Fig. 1



1290 - 1300
23
20623

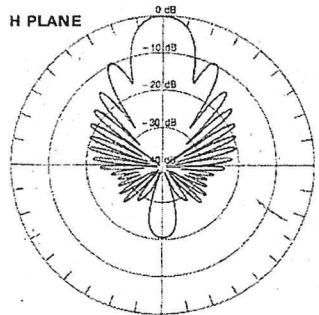
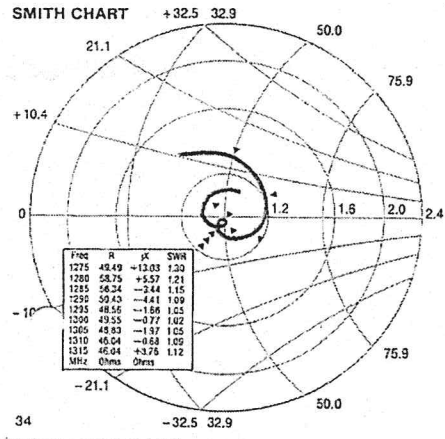
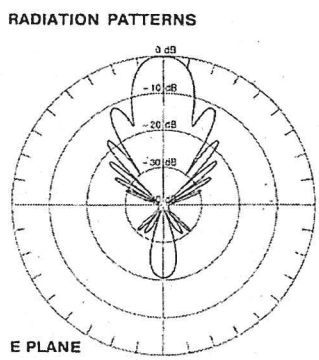
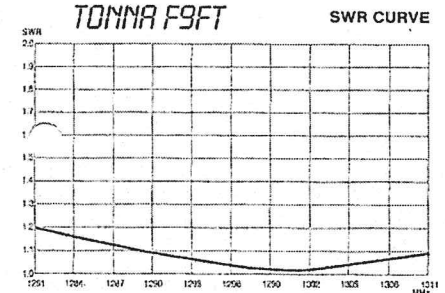
Frequency range (MHz)
Number of elements
Order #

OPEN THE BACK COVER FLAP TO READ DATA

ELECTRICAL DATA

7.43
18.0
2 x 10.1°
2 x 10.3°
-10.6 at 27°
-9.3 at 27°
-21.1
-37
-28
1296.0
1246.4 - 1326.2
50
1280 - 1310
1.25/1
300

Effective elect. length (wavelengths)
Isotropic gain (dB)
Aperture angle at -3 dB
E plane
H plane
First lobe set
E plane
H plane
Back to front ratio (dB)
Average diffuse radiation
E plane
H plane
All above data given
For frequency of - MHz
Bandwidth at -1 dB (+ thru - MHz)
Impedance (Ω)
Swr (- thru - MHz)
Better than
Maximum acceptable RF power (watts)



1296.0
3.19
(0.74 m, 29")
2.84
(0.66 m, 25" 3/4)
(-0.16)
2.84
(0.66 m, 25" 3/4)
2.84 (0.66m 25"3/4)

Stacking:
Spacings for two antennas
(el. center to el. center at -MHz)
Best gain increase (+2.8 to 3.0 dB)
E plane (wavelengths)
H plane (wavelengths)
Best side lobe compromise
(- dB from optimum in E plane)
(- dB from optimum in H plane)
E plane (wavelengths)
H plane (wavelengths)

1.75
(5'8" 7/8)
4
9
2.3
2.0
7.6
6.3

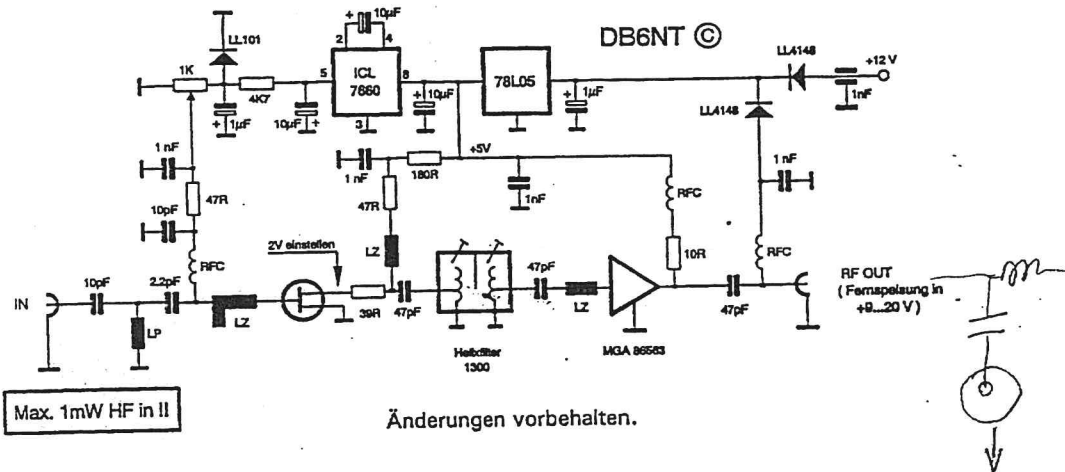
MECHANICAL DATA
Length (meters)
Weight (kg)
(lbs)
APPROXIMATIVE WIND LOAD:
Horizontal polarization (daN) } 25 m/s
Vertical polarization (daN) } 90 km/h
Horizontal polarization (daN) } 45 m/s
Vertical polarization (daN) } 150 km/h

Note:
1 daN (decanewton) = 1.02 kgf = 2.25 pound-lb

Fig. 2

HEMT PRE-AMPLIFIER FOR THE 23 CM BAND MKU 132 A

Produktinformation



Soll die Baugruppe direkt an der Antenne betrieben werden, ist ein Schutz gegen Feuchtigkeit erforderlich. Der Einbau des Verstärkers in ein wasserdichtes Gehäuse ist deswegen unbedingt notwendig!

Additional protection against moisture is essential in case the subassembly is being operated close to or at the antenna. Installation in a waterproof casing is suggested!

Messprotokoll / Test certificate	
Frequency:	1275.41 MHz
Noise figure at 18°C:	0,65 dB
Gain:	36 dB
Operating voltage 9...20V DC.	I typ. 30 mA

73
DB6NT

www.db6nt.com

Für den Betrieb der Hochfrequenzmodule sind die entsprechenden gesetzlichen Vorschriften zu beachten.
Diese Erzeugnisse dürfen nur an lizenzierte Funkamateure oder andere EMV-fachkundige Betriebe verkauft werden.

The products are only to be sold to radio amateurs with a licence or to competent firms. For operating the high frequency modules the legal instructions have to be considered.

Fig. 3

System B

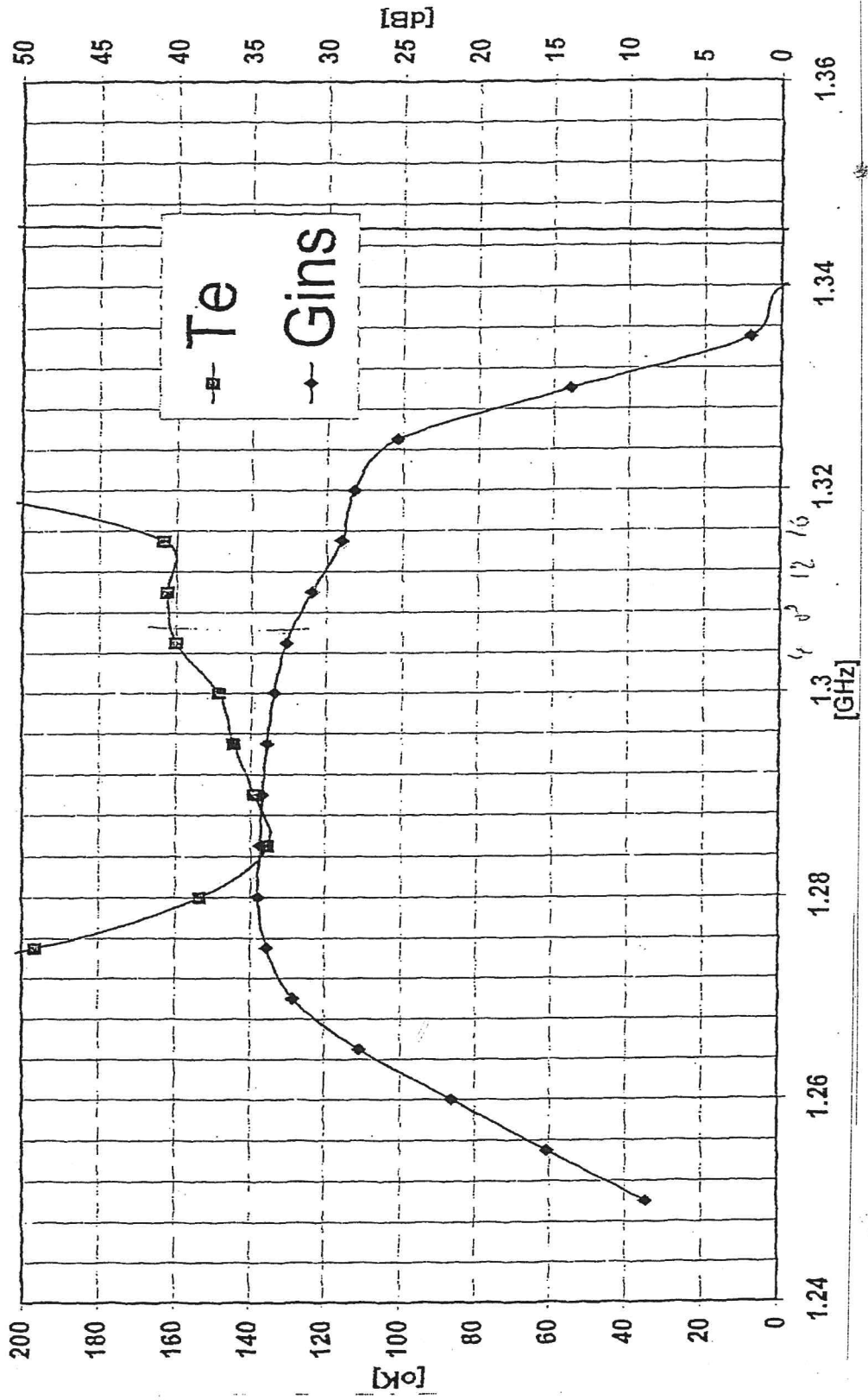


Fig. 4

System A

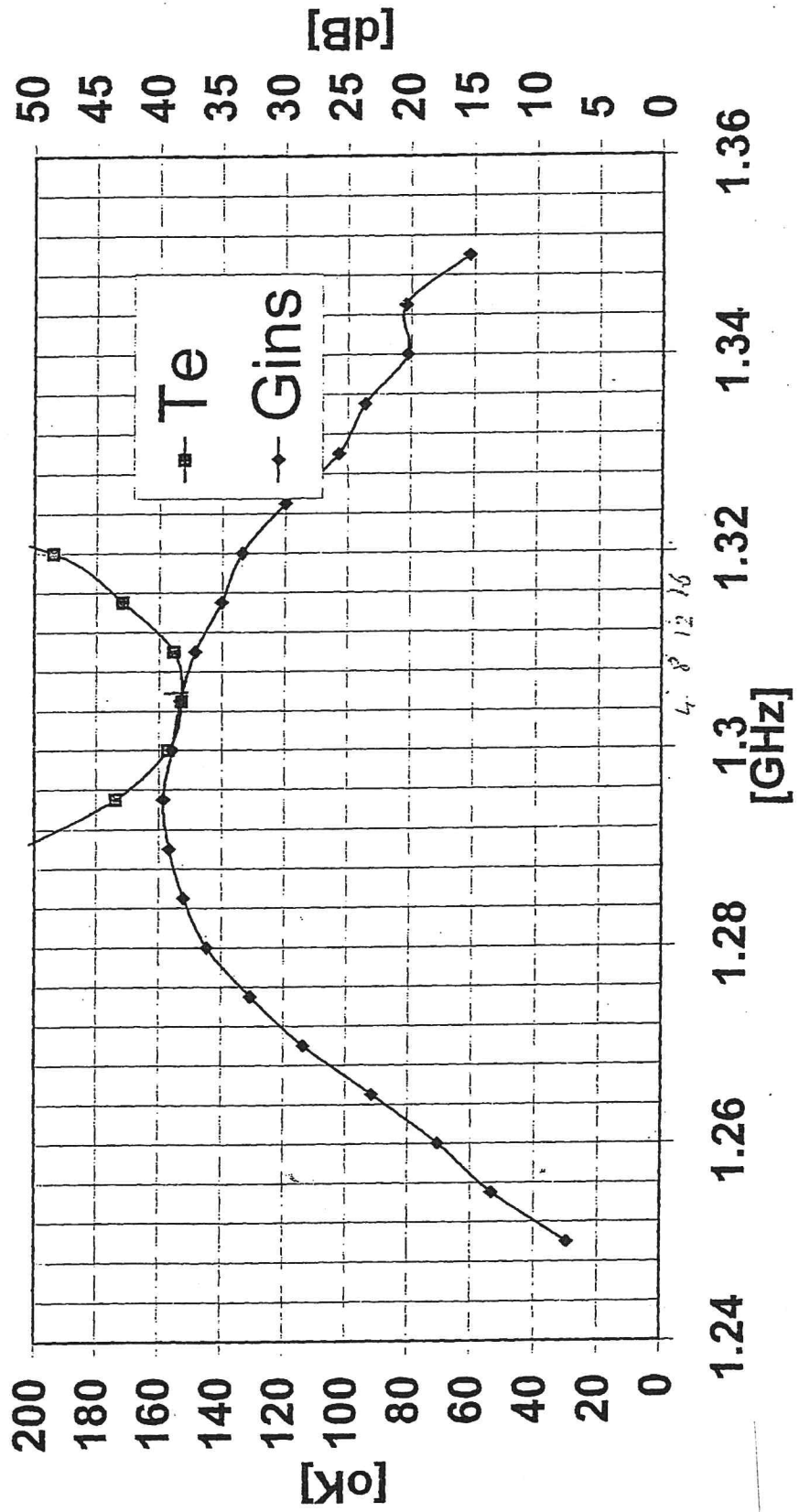


Fig. 5

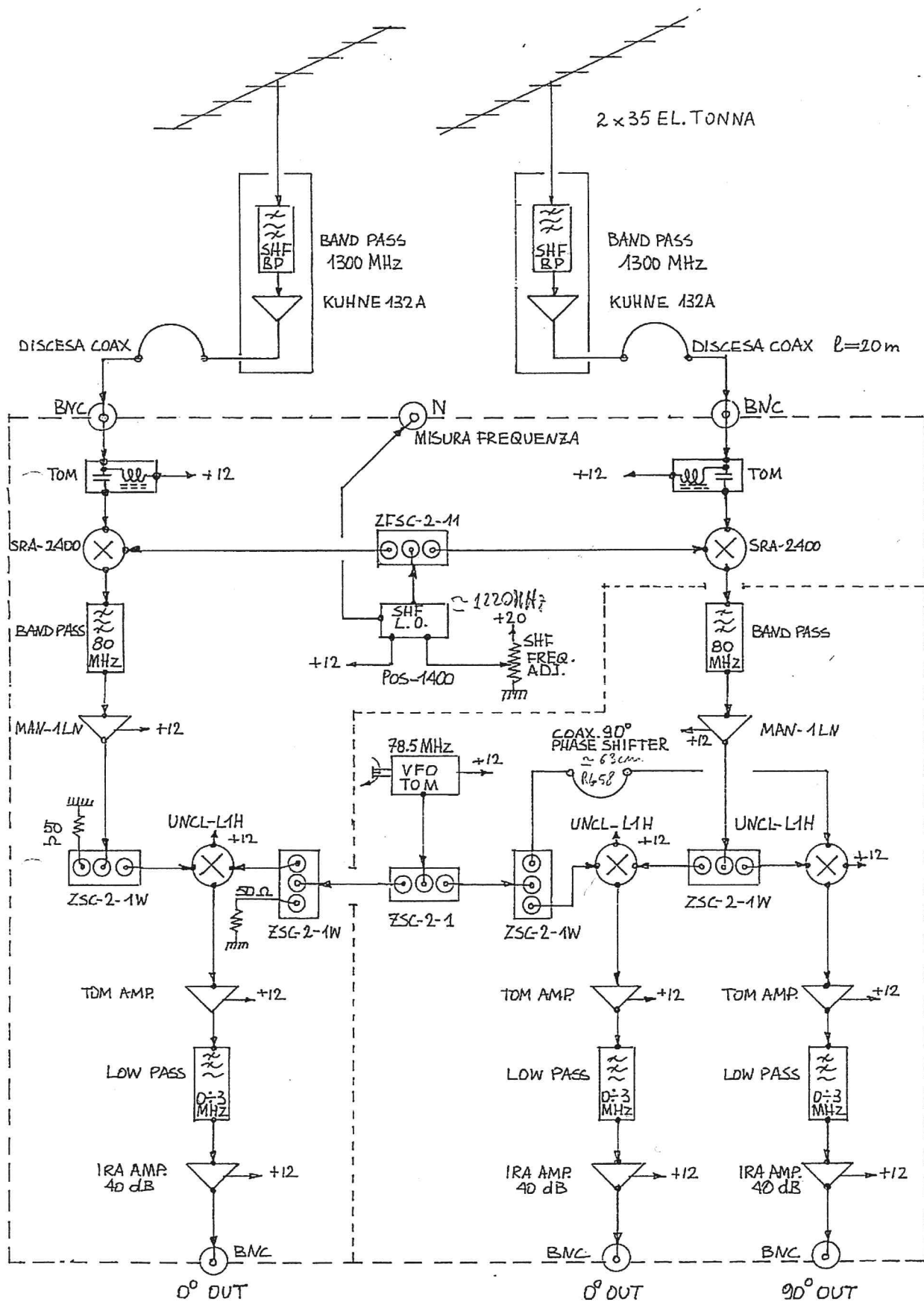
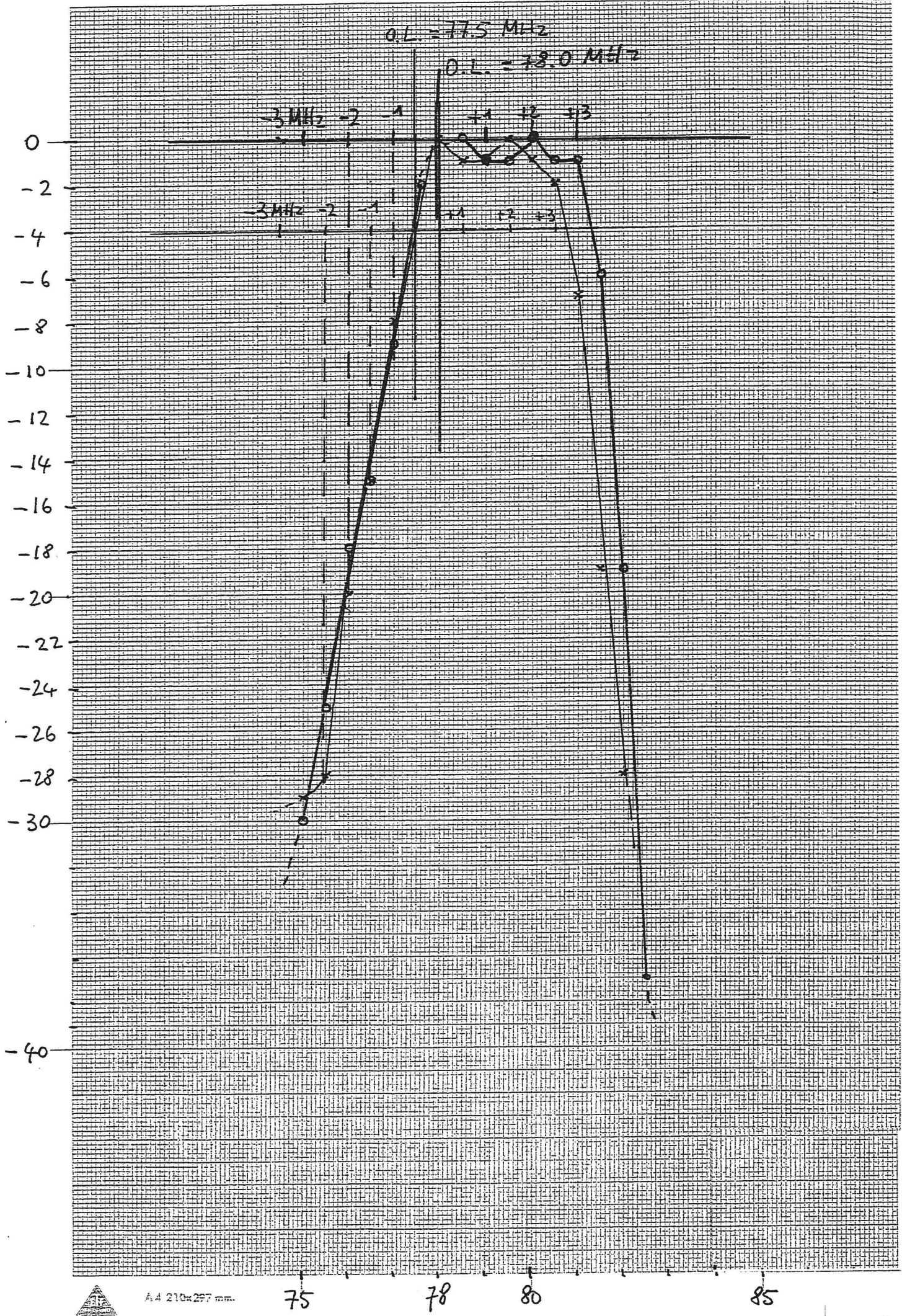


Fig. 6



AA 210x297 mm.

Fig. 7

O.L. 2^a Conversione

$$f_0 = 77.5 \text{ MHz}$$

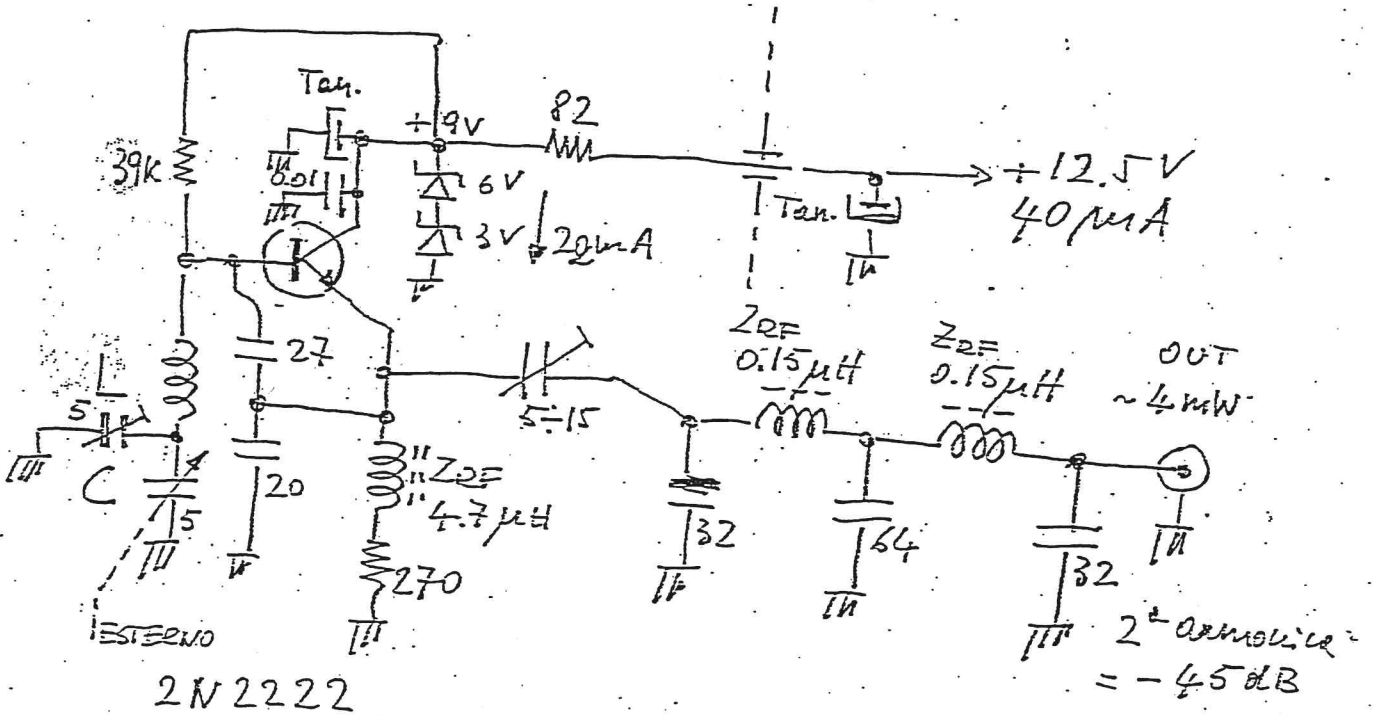


Fig. 8

Amplif. LOW FREQ. TOM
Tra mixer UNCL-LIH e filtro 0 ÷ 4 MHz

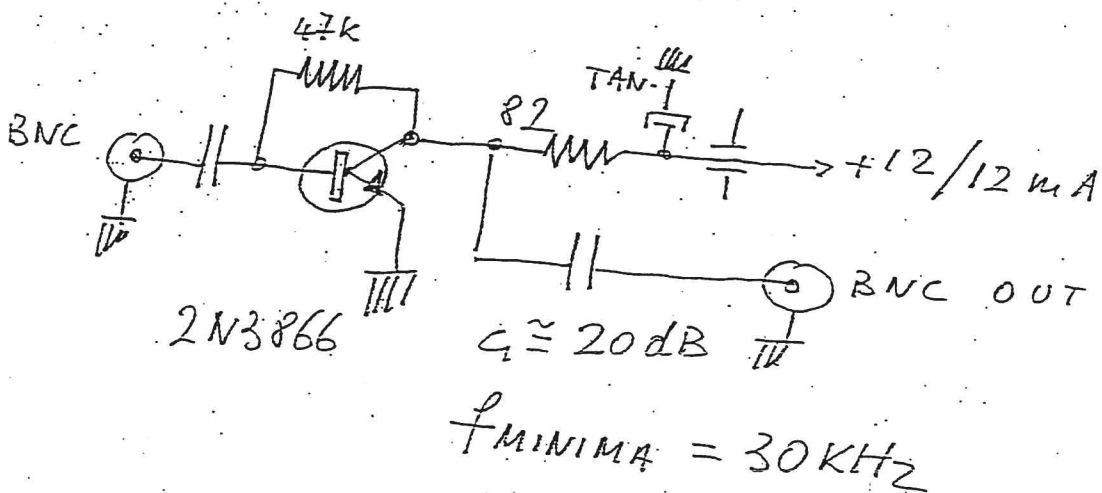


Fig. 9

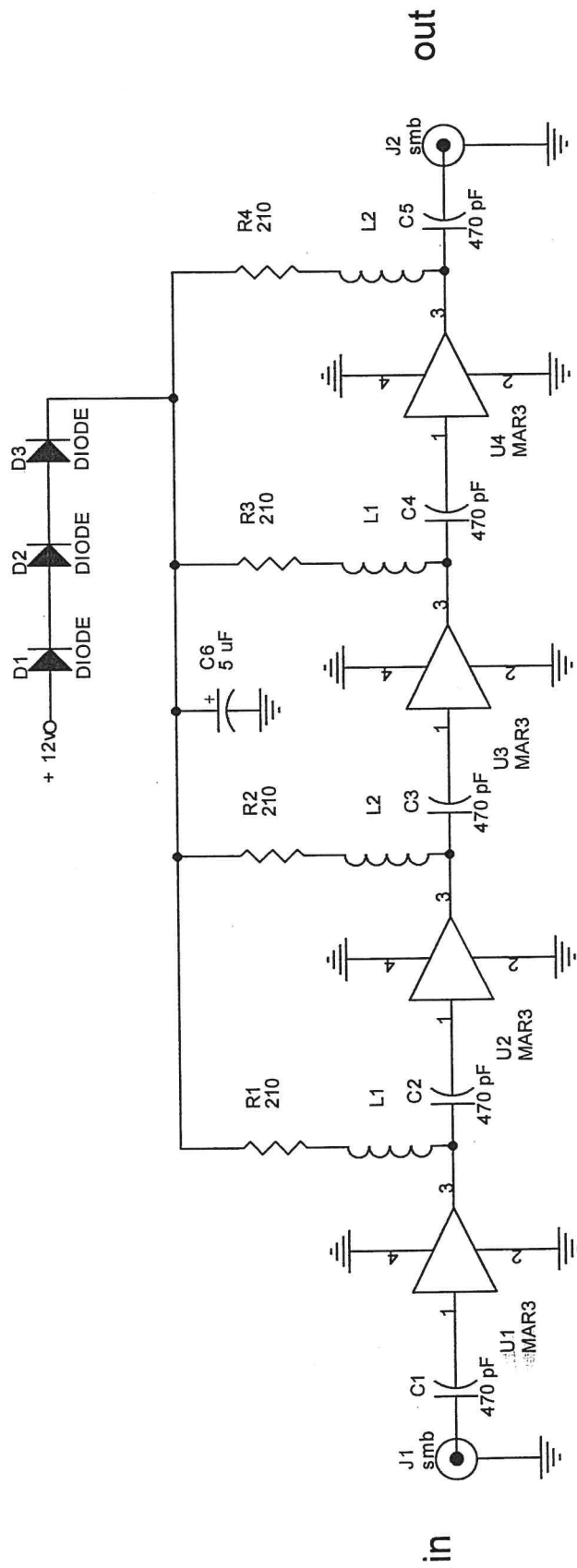
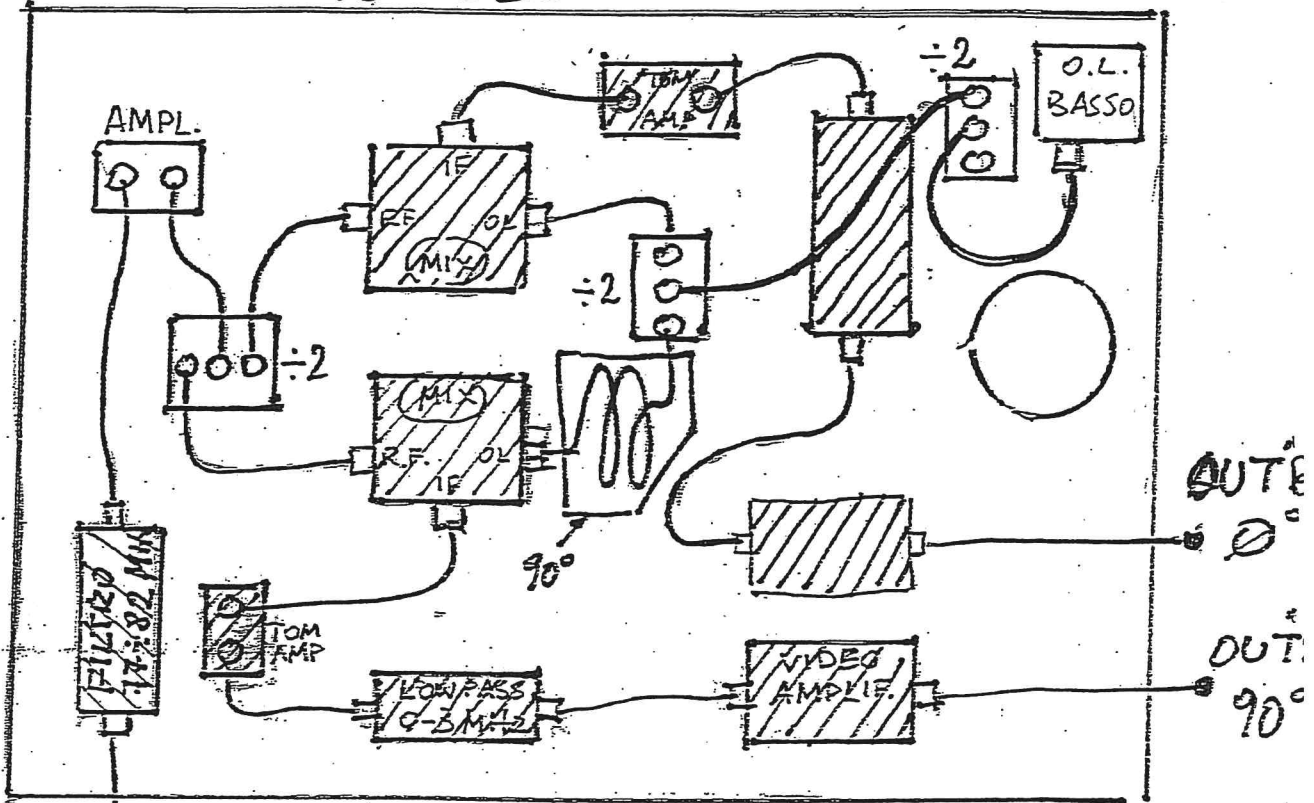


Fig. 10

TOP DECK



BOTTOM DECK

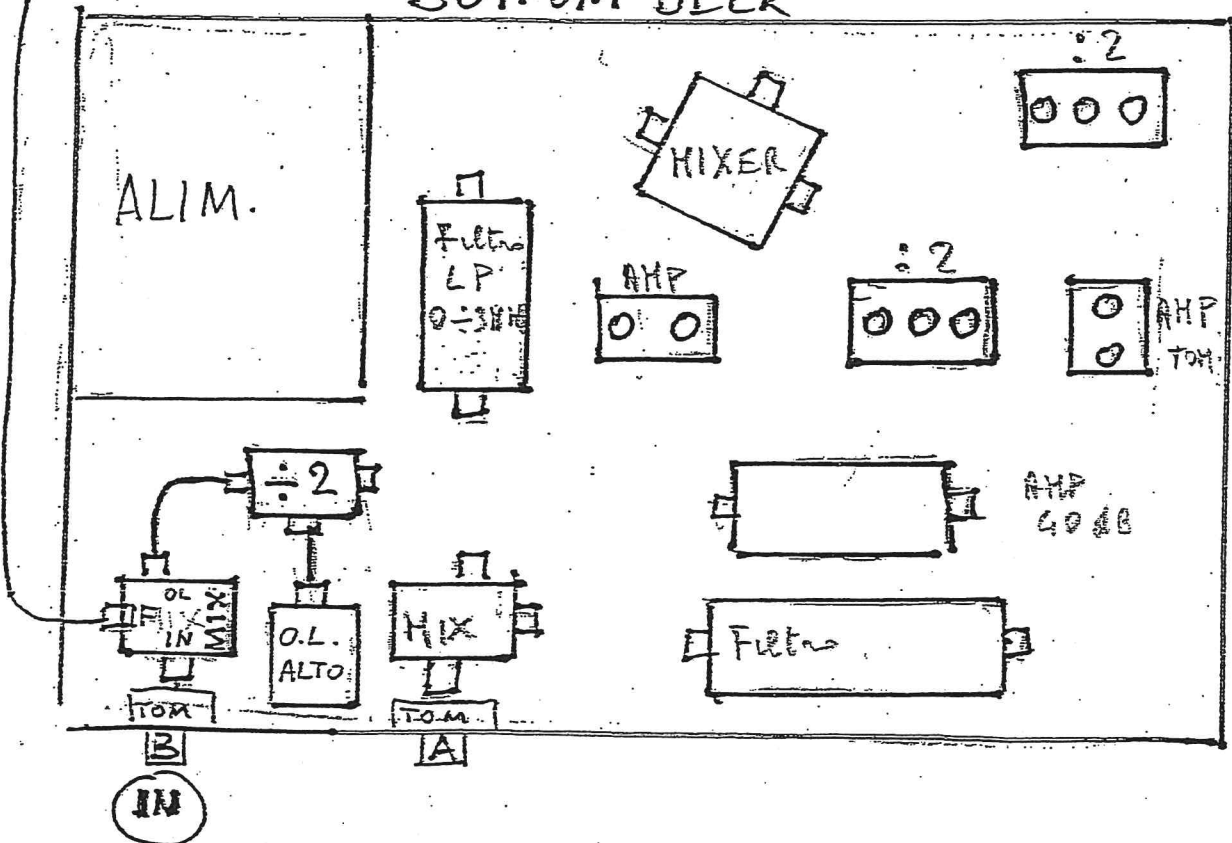


Fig. 11

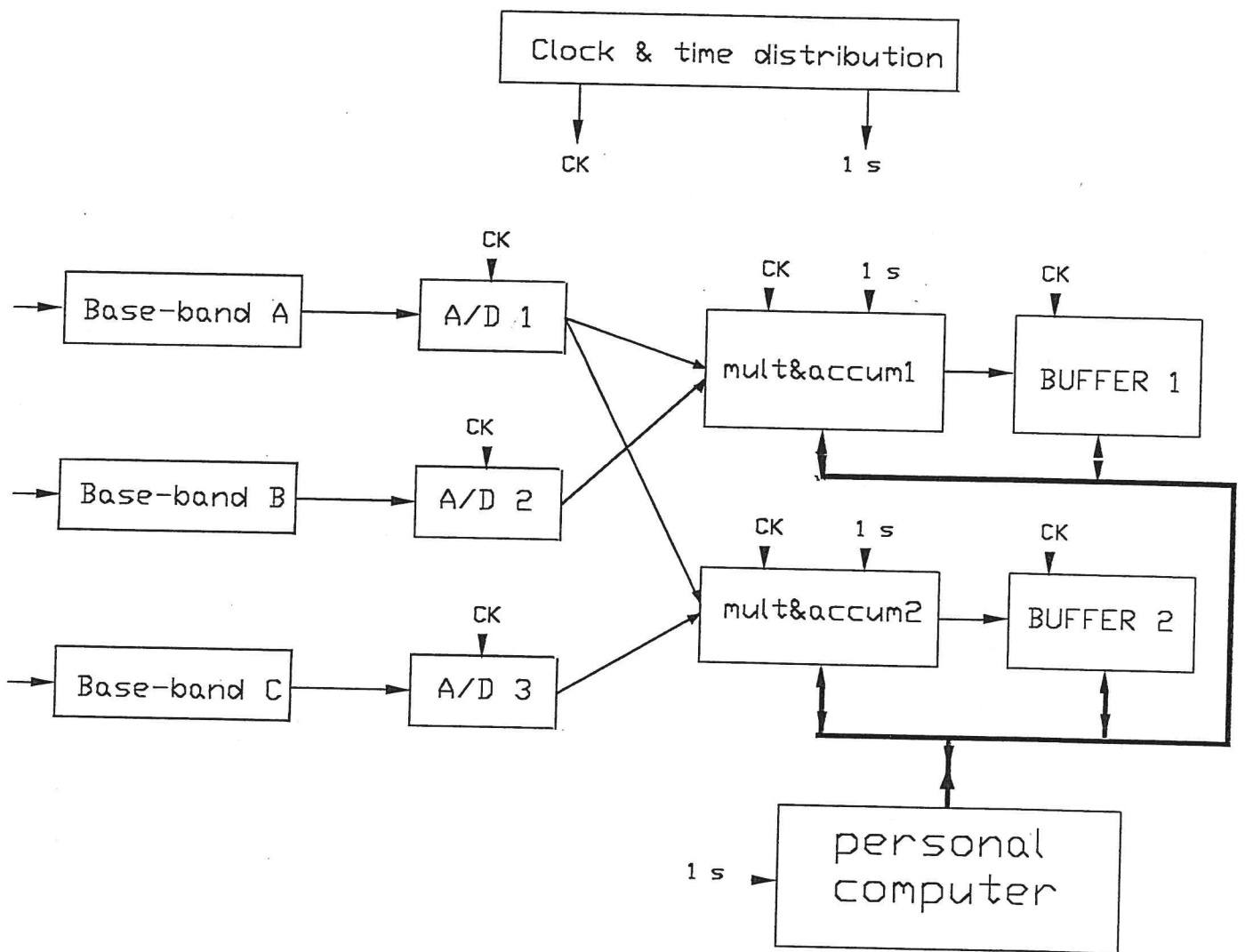


Fig.12 Il correlatore numerico, complesso

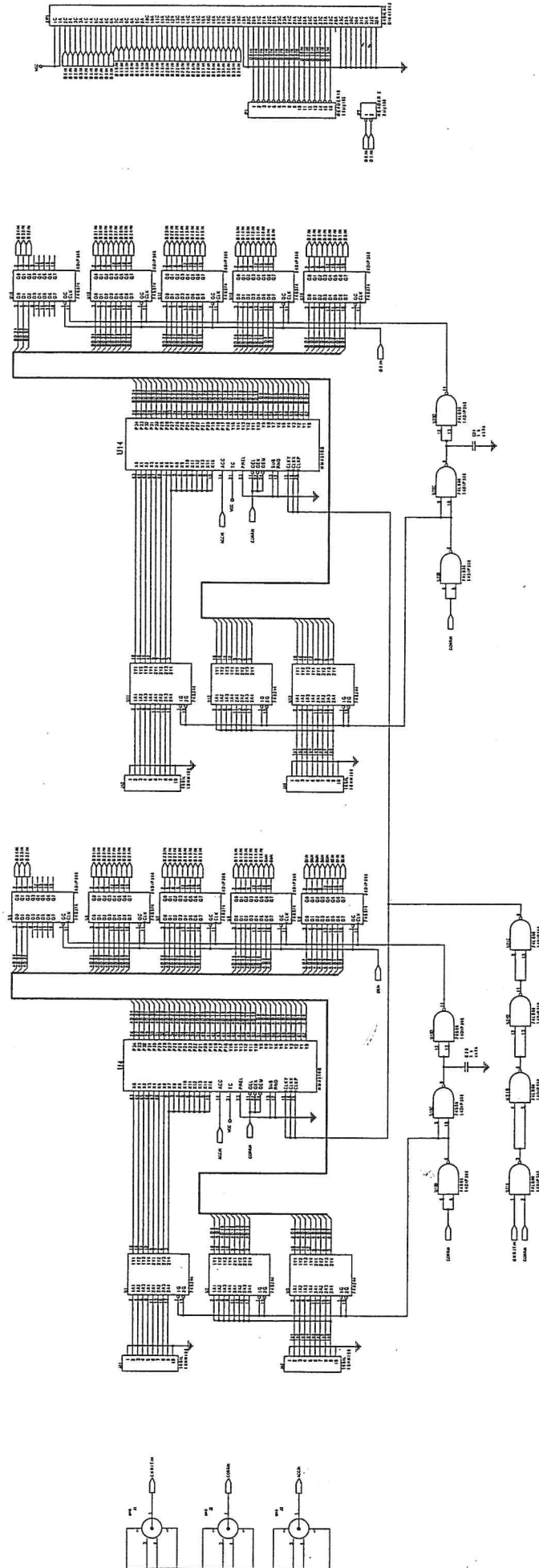
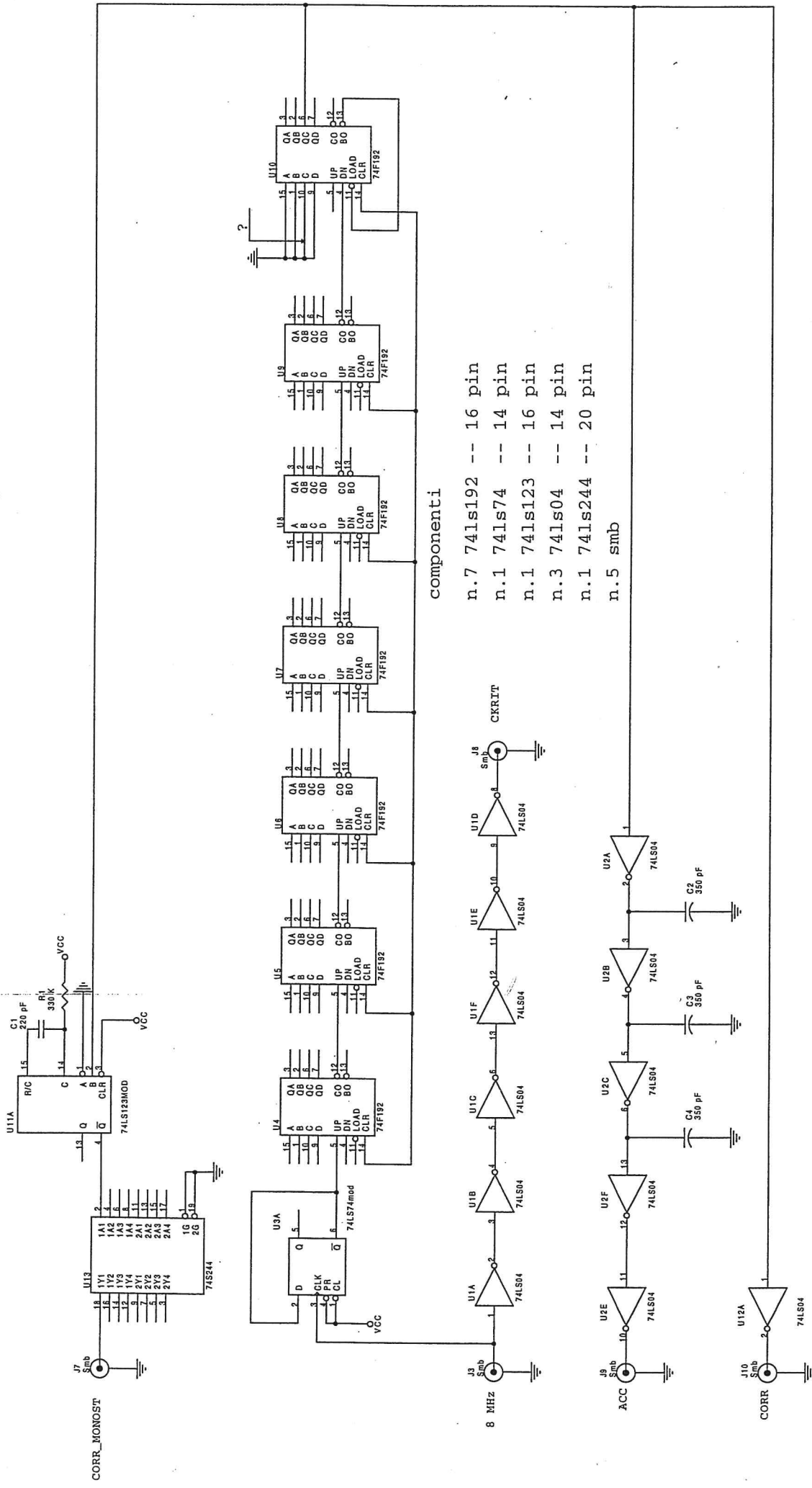


Fig. 13



componenti

- n.7 74ls192 -- 16 pin
- n.1 74ls74 -- 14 pin
- n.1 74ls123 -- 16 pin
- n.3 74ls04 -- 14 pin
- n.1 74ls244 -- 20 pin
- n.5 smb

Fig. 14

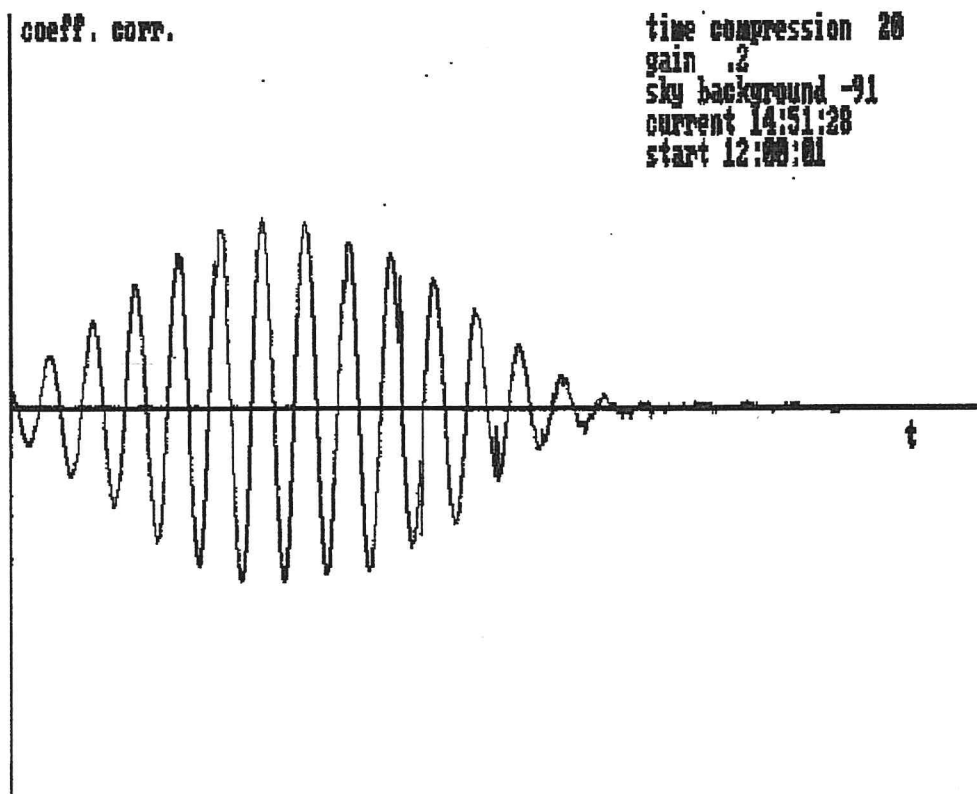


Fig. 16: osservazione del Sole del 17 Settembre 2003

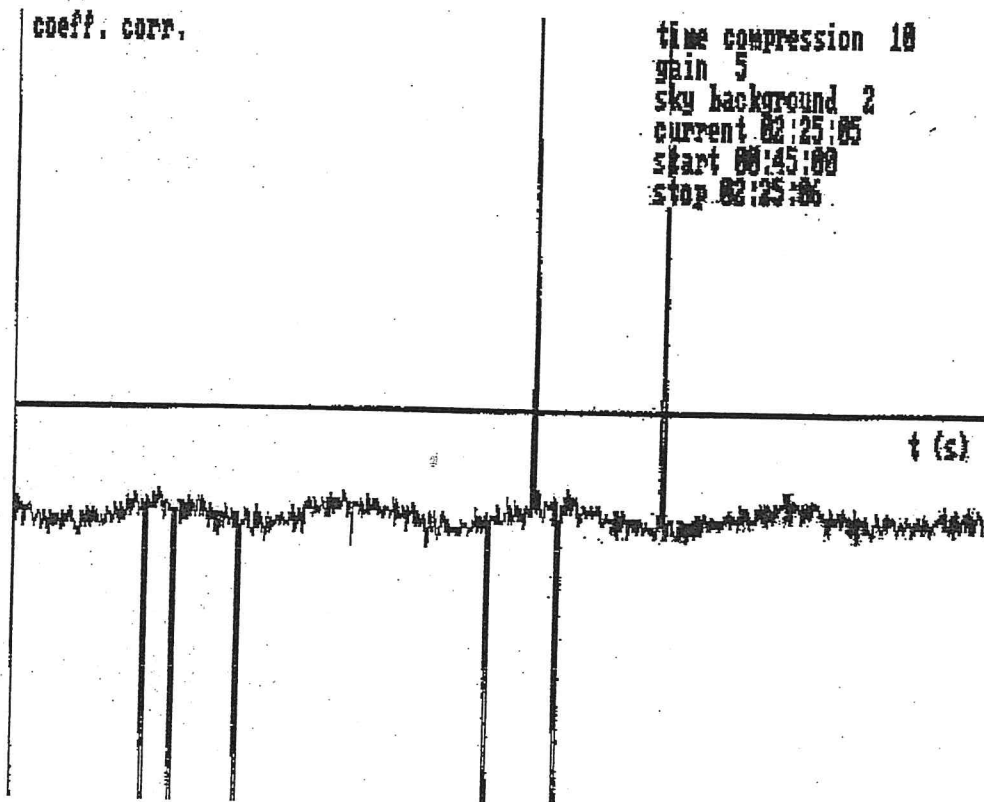


Fig. 17: Cassiopea del 25 Settembre 2003

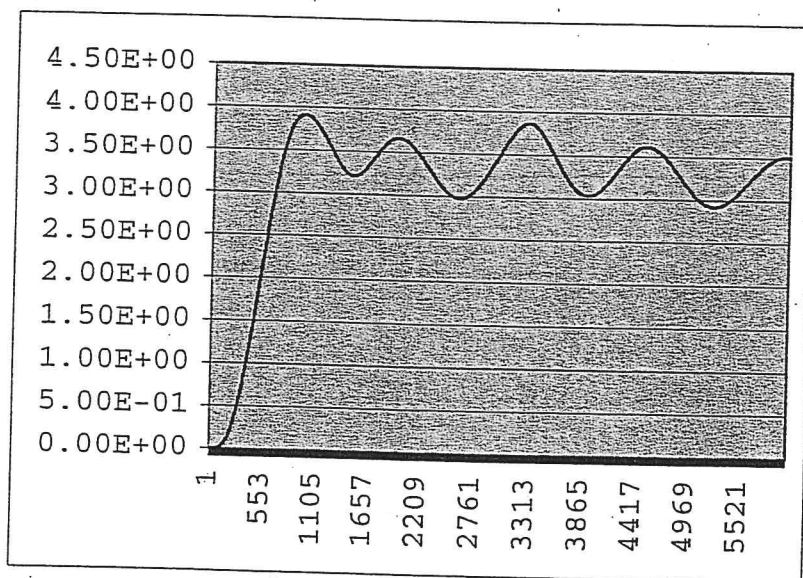


Fig. 18: Cassiopea con filtro IIR del 4° ordine

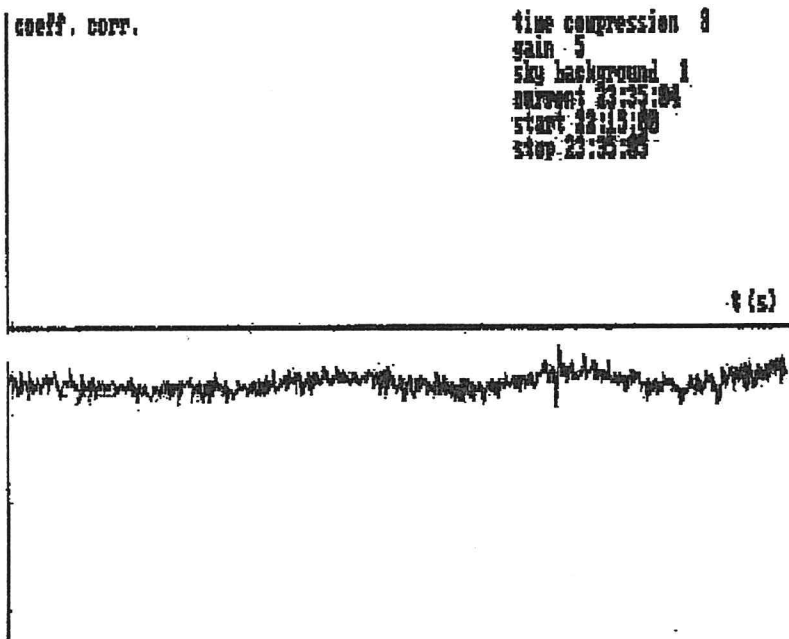


Fig. 19: Cygnus del 30 Settembre 2003

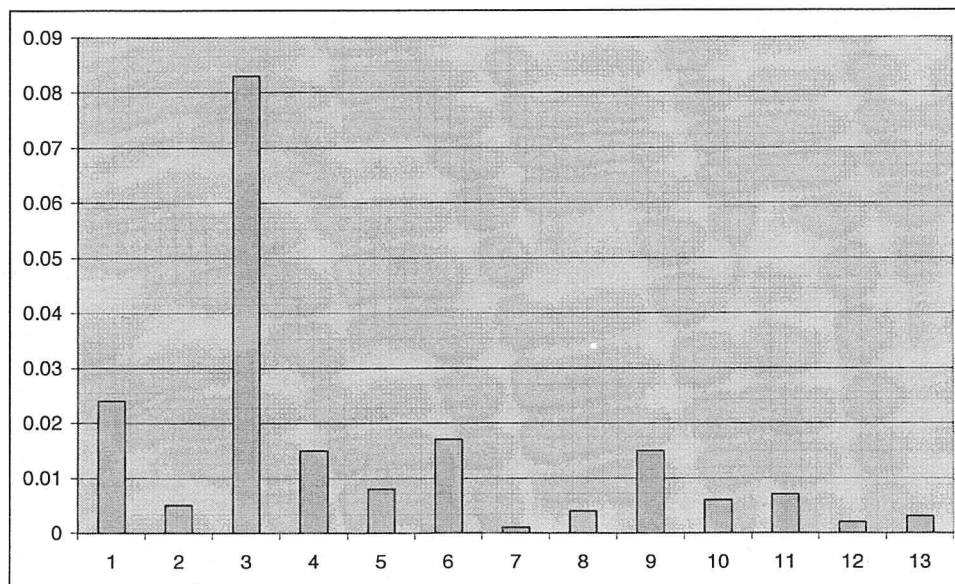


Fig. 20: Evidenza di Cygnus A in 3° armonica

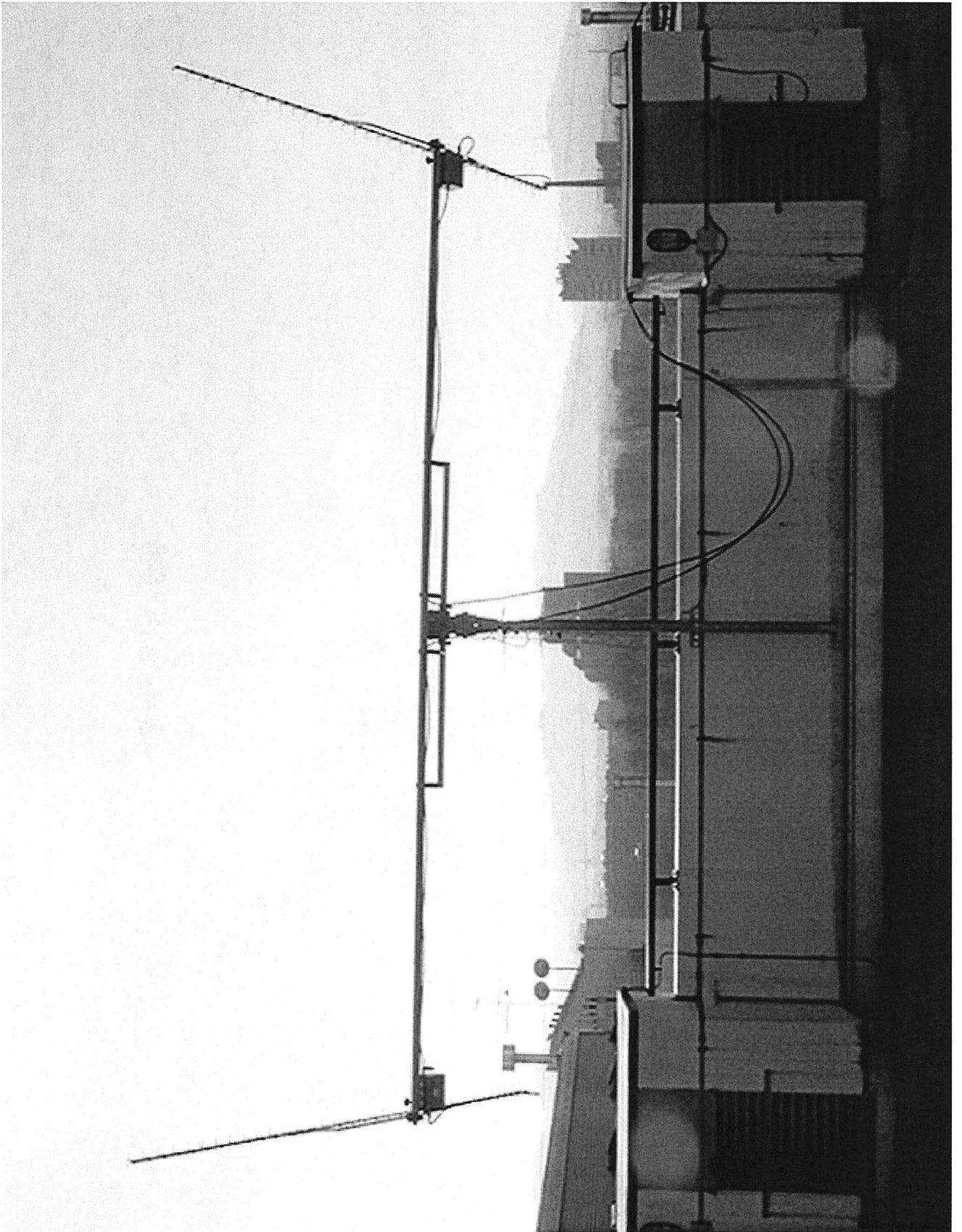


Fig. 21

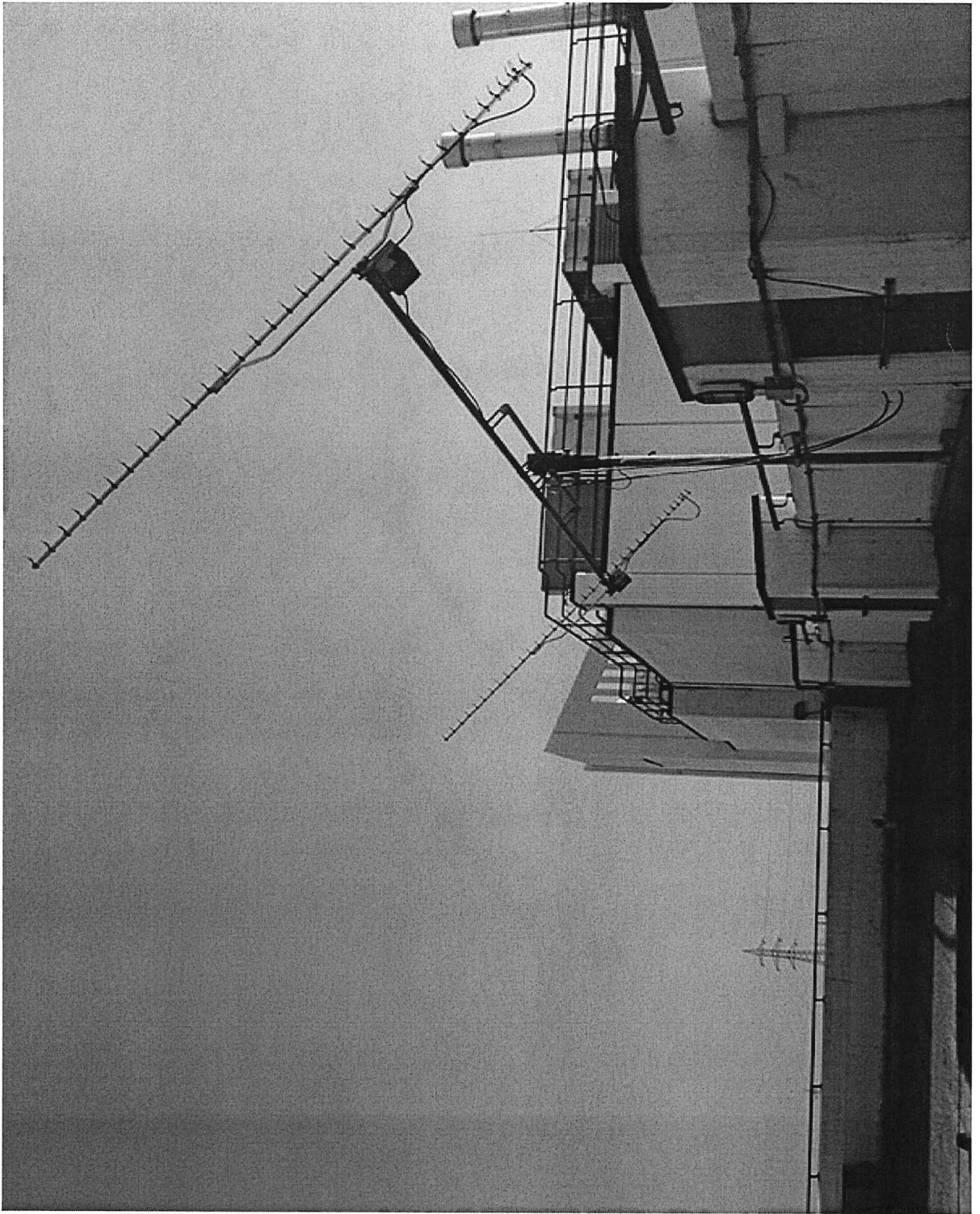


Fig. 22

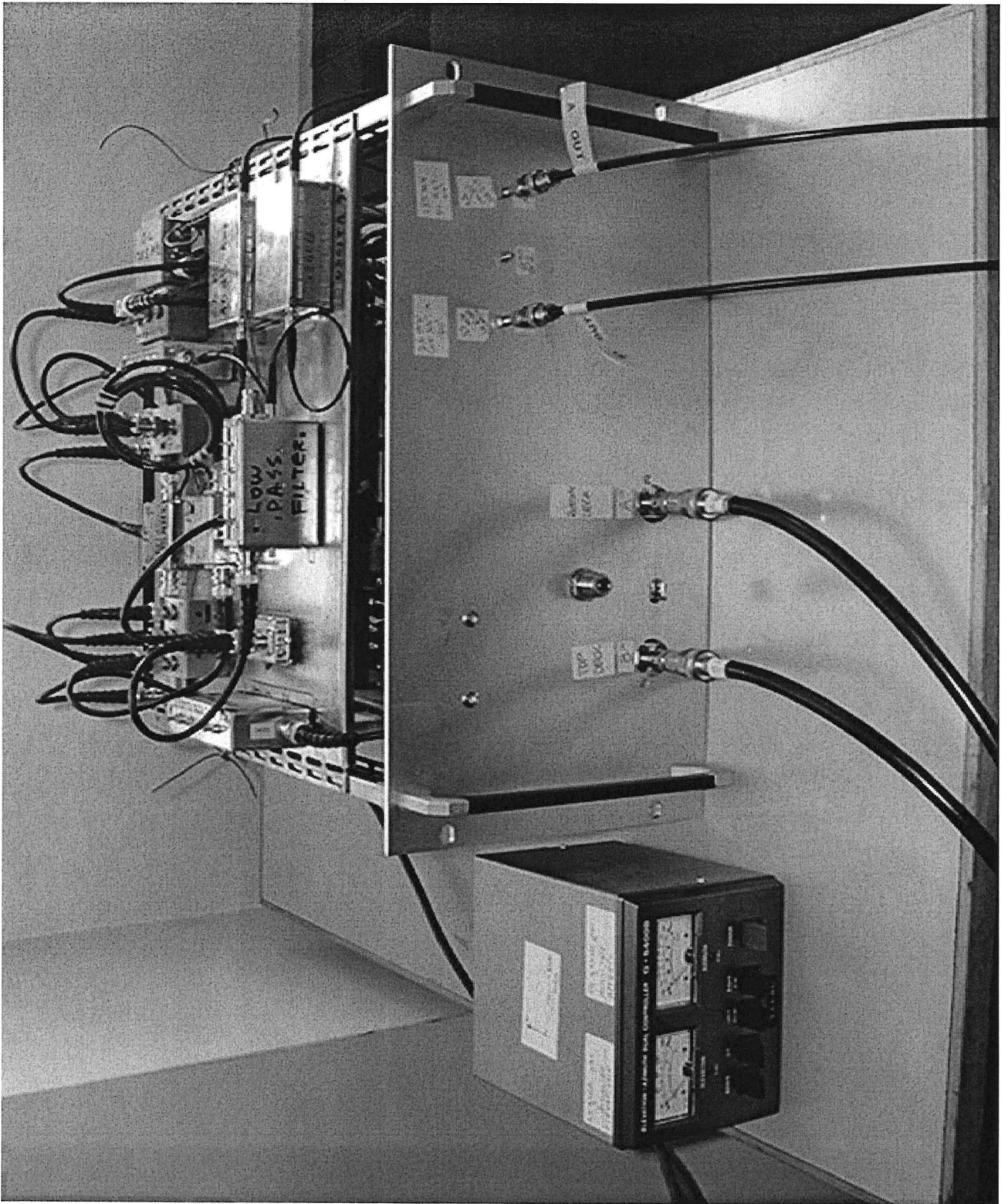


Fig.23

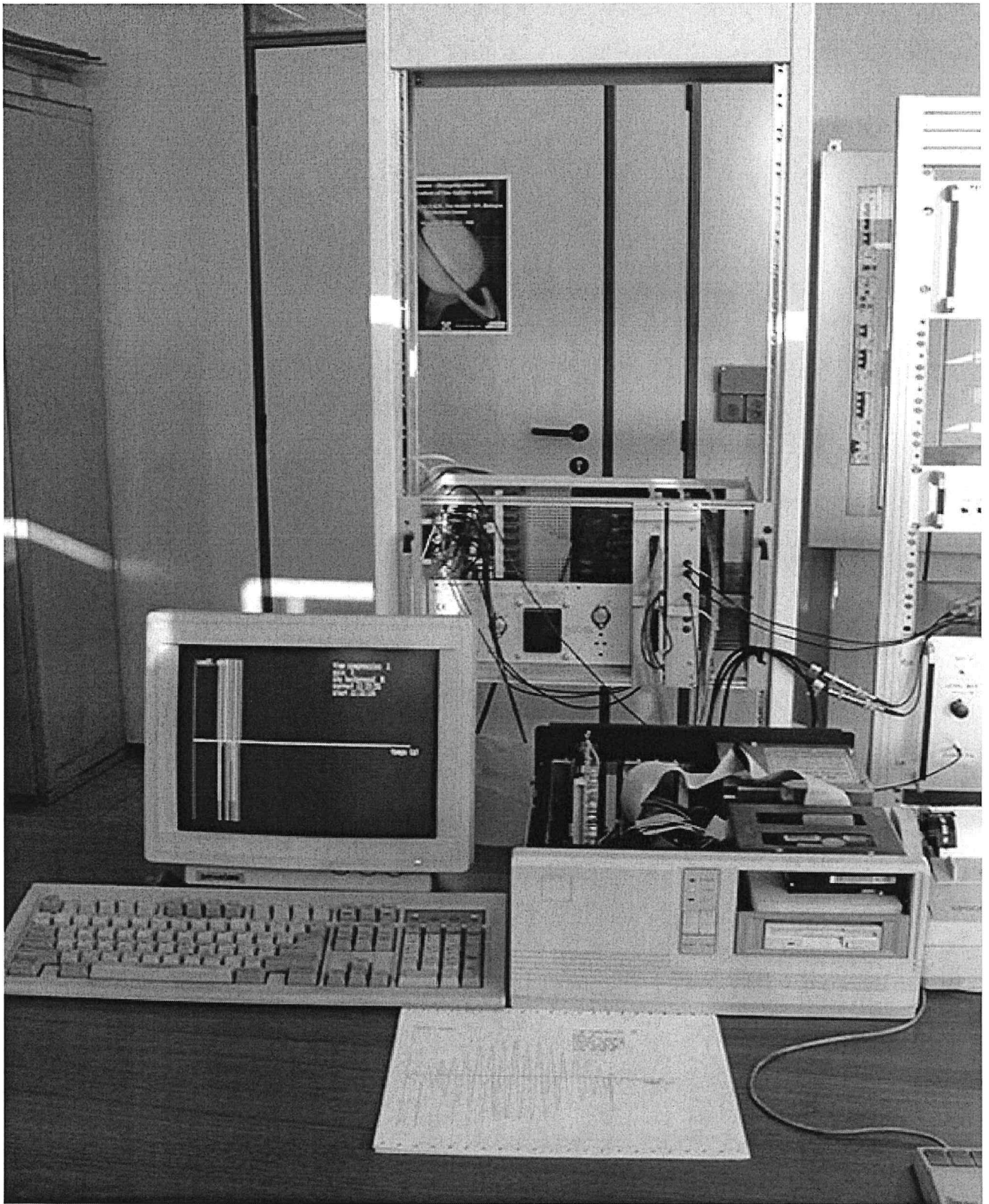


Fig. 24

Fotografie dello strumento

Nelle fig. 21 e fig. 22 si mostrano le fotografie delle due antenne sistemate sul terrazzo dell'Istituto di Radioastronomia; al centro del braccio è visibile il blocco contenente i rotori-motori per il puntamento delle antenne in elevazione ed azimut;

all'estremità del braccio sono visibili le scatole contenenti il filtro interdigitale e l'amplificatore a radio-frequenza della Kuhne.

In fig. 23 a sinistra è mostrata la scatola di comando per il puntamento e a destra la scatola che prelevando i segnali da cavi coassiali di discesa lungo il cavedio dell'edificio, li converte in banda base.

In fig. 24 è mostrato il sistema di elaborazione numerica del segnale controllato da un semplice PC 486.

In fondo nel rack è alloggiata la scatola contenente il distributore dei segnali, le schede A/D, le schede di correlazione.

Più avanti appare il PC con all'interno la scheda di interfaccia; in primo piano appare uno stampato di un passaggio del Sole.