

**Sessione di misure della Varianza di Allan
per la caratterizzazione della stabilità di fase
del modulo SBT, per il progetto Cassini**

R. Ambrosini , M. Roma
Istituto di Radioastronomia, CNR, Bologna

IRA 195/95

RAPPORTO INTERNO

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

ISTITUTO DI RADIOASTRONOMIA

Via P. Gobetti, 101 - 40129 BOLOGNA (Italy)

Introduzione

In varie occasioni, l'Agenzia Spaziale Italiana ha chiesto al nostro Istituto di collaborare con la ditta Alenia Spazio per ottimizzare il progetto e quindi misurare sperimentalmente la stabilità di fase a medio e lungo termine dei dispositivi microonde da loro realizzati per il progetto Cassini.

Nei giorni 20, 21 e 22 Marzo 1995, l'Ing. Roberto Giordani, l'Ing. Chiarelli ed alcuni colleghi Alenia, hanno portato presso il laboratorio Tempo & Frequenza della parabola VLBI di Medicina il modulo SBT (S-Band Transmitter) che poi dovrà essere qualificato per l'utilizzo nella missione spaziale Cassini.

Il modulo SBT è sostanzialmente un modulo moltiplicatore di frequenza per venti, da 115MHz a 2300MHz e con un'elevata potenza di uscita di più di 10Watt. Motivo della visita è stata la verifica della misura della sua stabilità di fase, nella forma di Varianza di Allan. I valori ottenuti presso i laboratori Alenia dell'Aquila erano risultati infatti notevolmente peggiori rispetto alle specifiche del progetto, tanto da ritenere che lo stesso banco di misura non fosse attendibile.

Gli autori di questo rapporto tecnico hanno sviluppato alcuni anni fa un metodo originale di misura della Varianza di Allan che ben si presta anche alla misura di questo dispositivo. Rimandiamo a quanto già pubblicato sull'argomento [1] [2] per le premesse teoriche e la sua implementazione pratica nel caso più generale delle misure fra due campioni atomici di frequenza del tipo Maser ad Idrogeno, per meglio comprendere la configurazione del sistema di misura utilizzato in questa circostanza, di cui qui di seguito riportiamo uno schizzo dello schema a blocchi.

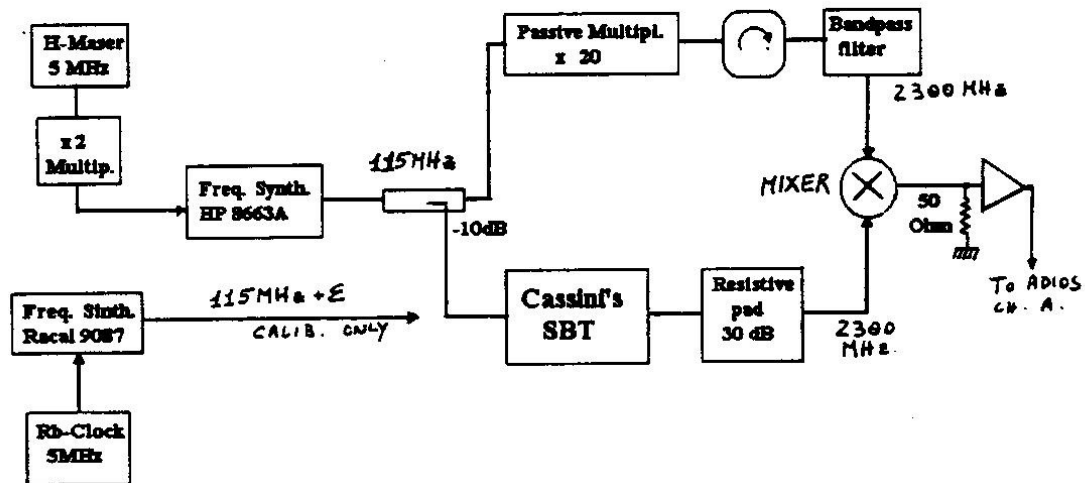


FIG. 1

La criticità in questo caso è legata ai valori estremamente alti della stabilità richiesta, pari ai seguenti valori della Varianza di Allan:

$\sigma(1)$	= 1.0 E-13
$\sigma(10)$	= 1.0 E-14
$\sigma(100)$	= 1.0 E-15
$\sigma(1000)$	= 1.0 E-16

val la pena qui ricordare che il primo valore corrisponde ad una variazione di soli 20 micrometri di uno qualsiasi dei cavi di collegamento nell'anello di misura (non in "common mode")! Rimane facile quindi comprendere come tutto il sistema di misura debba essere mantenuto a temperatura rigorosamente costante ed avere una rigidità meccanica elevata.

Per questi motivi la strumentazione è stata alloggiata all'interno della stanza doppiamente termostata del Maser-H della stazione VLBI di Medicina e si sono utilizzati cavi semirigidi di collegamento.

La grande versatilità di questo sistema di misura ha tuttavia una difficoltà iniziale legata alla calibrazione del Mixer usato come comparatore di fase. Il suo coefficiente di conversione fra fase (radianti) e tensione (millivolt), comunemente chiamato Kv (slope), richiede di poter aprire il loop di misura, alimentando uno dei due rami con un altro generatore in modo da ottenere un lento battimento in uscita dal mixer.

Per evitare errori di calibrazione, noi utilizziamo lo stesso convertitore A/D utilizzato durante le misure finali, anche in questa fase di calibrazione. Questo richiede di avere una nota di battimento minore di 0.1Hz. Nel nostro caso questa è stata ottenuta agganciando il secondo sintetizzatore al campione atomico di frequenza al Rubidio di stazione opportunamente spostato in frequenza.

Il valore di offset in continua, corrispondente al baricentro della sinusoide così ottenuta, è stato solo grossolanamente minimizzato, perché il programma di raccolta dati è in grado di tenerne conto facilmente. Esso corrisponde alla zona di lavoro del rivelatore di fase intorno a cui va effettuata la misura.

E' stato anche verificato con grande attenzione che i livelli di pilotaggio del Mixer fossero idonei ad un funzionamento veramente sinusoidale dello stesso. Il grafico di Fig.2 mostra appunto la nota di battimento all'uscita dell'operazionale che, dopo la terminazione del mixer su 50Ohm, preamplifica il segnale prima della successiva elaborazione. La misura è stata ottenuta con un analizzatore di bassa frequenza FFT Wavetek-Rocland. In essa appare che i prodotti spuri sono attenuati di almeno 50dB rispetto al battimento fondamentale.

Risultati delle misure

Tutta la prima giornata è stata dedicata a controlli preliminari, alla verifica del contributo di rumore di fase da parte dei singoli componenti della catena di misura ed alla calibrazione del mixer suddetta.

In nessuna condizione sembrava si potesse scendere sotto 1.7-1.9 E-13 @ 1 secondo.

Durante la notte tuttavia si sono ottenuti risultati decisamente migliori che, d'altra parte poi non si sono più riusciti ad ottenere nel giorno seguente. Dopo varie

prove abbiamo concluso che il mixer utilizzato fino a quel momento poteva essere il principale responsabile del rumore di fase misurato. Anche in questo caso val la pena ricordare che in questo tipo di misure non esiste un "riferimento" assoluto e che il livello di rumore in oggetto è estremamente basso e non altrimenti misurabile. In altri termini, il mixer in esame non è di per se guasto, ma solo in questa applicazione non risulta adeguato.

Una volta sostituito il mixer con il modello SMO della Miteq del nostro Istituto le misure sono migliorate di un fattore 3-4, con una Varianza di Allan $< 4 E-14$. Valori statisticamente uguali sono stati ottenuti nei dieci gruppi di misure di 5010 secondi ciascuno che si sono susseguiti durante tutta la notte fino al giorno seguente, senza soluzione di continuità. Nei dieci grafici che seguono si possono osservare tutte le misure raccolte insieme ai parametri di controllo del programma di acquisizione ed elaborazione dei dati.

Ogni pagina rappresenta un gruppo di misure di 5010 secondi, circa un'ora e venti minuti. Le prime righe contengono la stampa dell'ora di inizio e fine di quel gruppo, con i corrispondenti valori della fase e temperatura (ambiente) iniziali e finali, come pure i valori massimi e minimi raggiunti nello stesso periodo.

La tabella seguente mostra, per ogni valore dell'intervallo di tempo su cui viene calcolata la varianza, il numero di campioni sperimentali raccolti nell'ultimo gruppo di misure (last Batch) e dall'inizio della sessione di misure (Cumulative) su cui viene calcolato il corrispondente valore di SIGMA, inteso, come consuetudine, pari alla radice quadrata della Varianza di Allan (standard deviation).

Dopo la tabella, il primo grafico mostra, in funzione del tempo che passa, il valore di SIGMA @ 1s in scala logaritmica (quadratello aperto), mentre compaiono in scala lineare sia la temperatura ambiente (tratto continuo) che la fase (segno +). Quest'ultima rappresenta la stabilità del dispositivo in misura, nella scala di +/-50 picosecondi.

Il secondo grafico mostra invece l'usuale rappresentazione della Varianza di Allan, nella forma di deviazione standard (square root), in funzione del tempo a cui quella varianza si riferisce. In questo modo tutti le variabili dell'esperimento sono sotto controllo per controlli e verifiche anche a posteriori.

Il grande grafico finale mostra la statistica cumulativa finale sulle totali 50080 misure, in dimensione ingrandita. Qui di seguito invece vengono riportati i valori numerici corrispondenti a quel grafico.

$\sigma(1)$	= 4.3 E-14
$\sigma(10)$	= 3.6 E-15
$\sigma(100)$	= 0.8 E-15
$\sigma(1000)$	= 1.8 E-16

Conclusione

La presente sessione di misure di Varianza di Allan del dispositivo SBT, realizzato da Alenia Spazio per il progetto Cassini, appaiono soddisfare le specifiche di progetto eccetto che, marginalmente, per il punto a 1000 secondi. In questo caso si deve tuttavia ricordare che non è stata realizzata, volutamente, nessuna schermatura termica del banco di misura e quindi le misure possono essere considerate un "worst case" nell'ambiente di misura, attraverso tutto il tempo di durata della sessione di misure.

Infatti durante le ore centrali della notte alcuni gruppi di misure hanno fornito risultati anche migliori.

Il banco di misura da noi qui allestito e di cui abbiamo mostrato ai tecnici Alenia le caratteristiche di funzionamento, potrà in futuro essere riprodotto anche presso i laboratori Alenia Spazio per ulteriori verifiche ed ottimizzazioni. Abbiamo infatti potuto verificare la non indispensabilità dei campioni atomici, come riferimenti di frequenza, anche se risultano molto comodi nelle procedure di calibrazione.

Bibliografia

R. Ambrosini, M. Caporaloni, "A simple and versatile phase comparison method can accurately measure long term instability", IEEE-Transactions on Instrumentation and Measurements, IM-37, 127 (1988).

R. Ambrosini, M. Caporaloni, M. Roma, "Un metodo originale di misura delle instabilità di fase a lungo termine", Rapporto Interno IRA del CNR, n. 99, 1987.

21/3/95

Mikar

HITTEK

Beat note $\approx 1\text{KHz}$

SBT versus Multiplier $\approx 2300\text{Hz}$ in H-Meter zoom

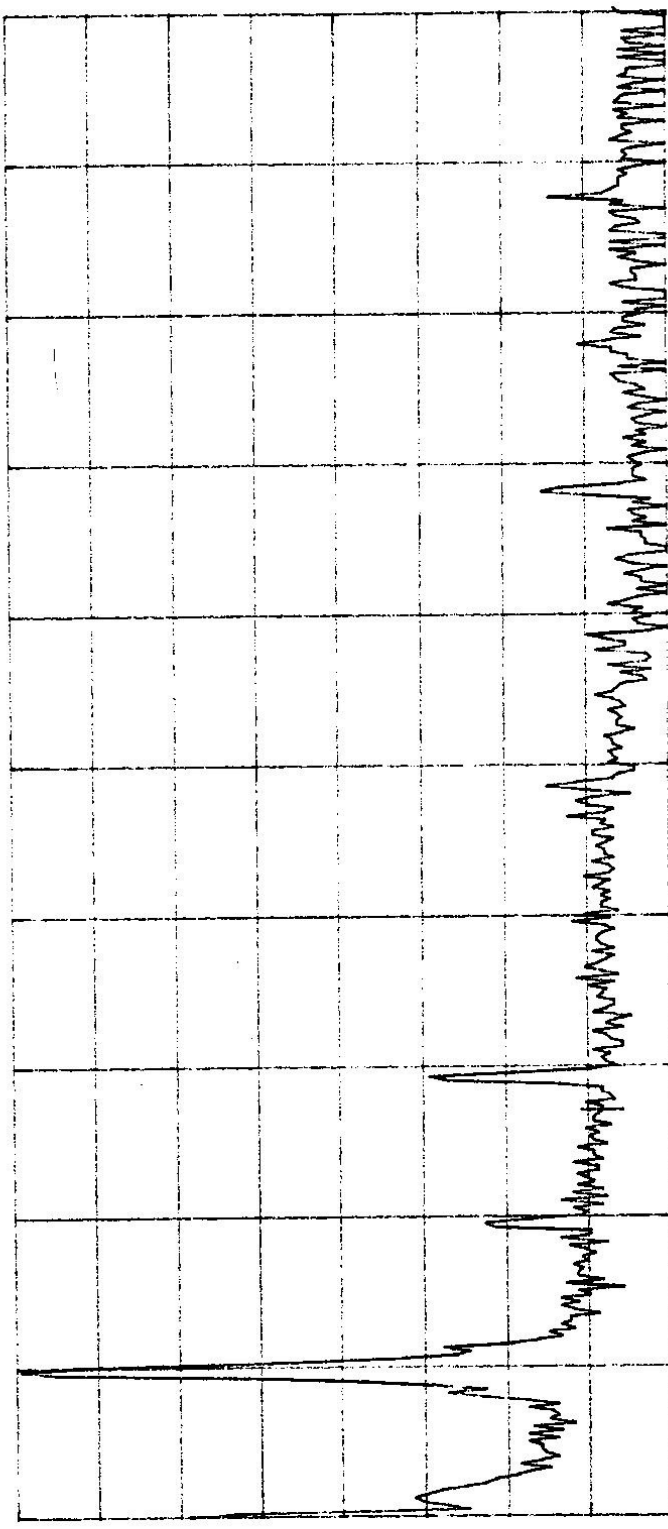
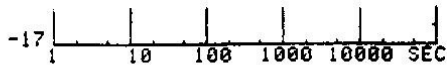


FIG. 2

PWR SPECT A : - 70.8 μ BV 2.700 KHZ N: 8 P: 25HZ
 SPAN: 0.000HZ -10.000KHZ SN: 10 μ BV FS: 1.00 μ BV 10 μ BV/



Cassini's SBT vs Mult. at 2300MHz

PNA1 program of 08/01/92
 Mixing Frequency=2300MHz
 Phase detector SLOPE=1174mV/Rad
 RUN START 16:29.3 21/03/95
 BATCH START 16:29.3 21/03/95
 BATCH END 17:52.8 21/03/95

Reference is assumed EQUAL
 PH-max=-25.1 PH-min=-26.6
 OFFSET=175mV
 TLOW=22.62C, THIGH=22.83C
 TEMP=22.74C PHASE=-26.5PS
 TEMP=22.71C PHASE=-25.8PS

TAU (Sec.)	LAST BATCH		CUMULATIVE		TIME ERROR (pSec.)
	DATA PTS	SIGMA (E-15 units)	DATA PTS	SIGMA (E-15 units)	
1	5008	45.0	5008	45.0	0.0
2	2503	12.7	2503	12.7	0.0
5	1000	9.9	1000	9.9	0.0
10	499	3.4	499	3.4	0.0
20	249	2.1	249	2.1	0.0
50	99	1.2	99	1.2	0.1
100	49	0.9	49	0.9	0.1
200	24	0.6	24	0.6	0.1
500	9	0.3	9	0.3	0.1
1000	4	0.1	4	0.1	0.1
2000	1	0.1	1	0.1	0.1
5000	0	0.0	0	0.0	0.0
10000	0	0.0	0	0.0	0.0
20000	0	0.0	0	0.0	0.0
50000	0	0.0	0	0.0	0.0
100000	0	0.0	0	0.0	0.0

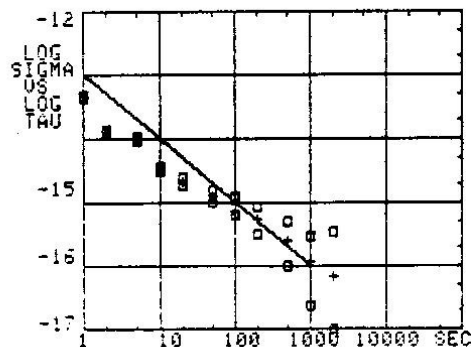
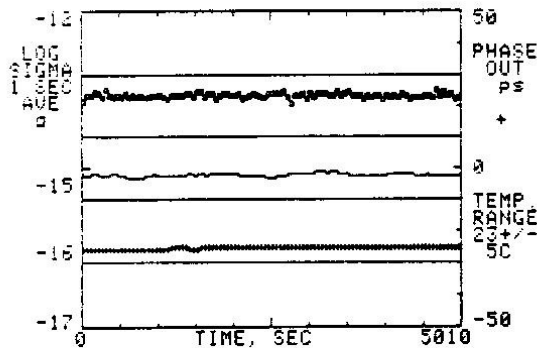
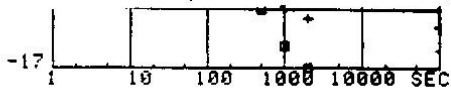


Fig. 3



Cassini's SBT vs Mult. at 2300MHz

PNA1 program of 08/01/92
 Mixing Frequency=2300MHz
 Phase detector SLOPE=1174mV/Rad
 RUN START 16:29.3 21/03/95
 BATCH START 17:53.2 21/03/95
 BATCH END 19:16.7 21/03/95

Reference is assumed EQUAL
 PH-max=-25.4 PH-min=-26
 OFFSET=175mV
 TLOW=22.62C, THIGH=22.8C
 TEMP=22.75C PHASE=-25.8PS
 TEMP=22.74C PHASE=-25.7PS

TAU (Sec.)	LAST BATCH		CUMULATIVE		TIME ERROR (pSec.)
	DATA PTS	SIGMA (E-15 units)	DATA PTS	SIGMA (E-15 units)	
1	5008	45.1	10016	45.1	0.0
2	2503	12.4	5006	12.6	0.0
5	1000	11.1	2000	10.5	0.1
10	499	3.0	998	3.2	0.0
20	249	2.1	498	2.1	0.0
50	99	1.1	198	1.2	0.1
100	49	0.7	98	0.8	0.1
200	24	0.4	48	0.5	0.1
500	9	0.2	18	0.2	0.1
1000	4	0.1	8	0.1	0.1
2000	3	0.1	4	0.1	0.2
5000	1	0.1	1	0.1	0.4
10000	0	0.0	0	0.0	0.0
20000	0	0.0	0	0.0	0.0
50000	0	0.0	0	0.0	0.0
100000	0	0.0	0	0.0	0.0

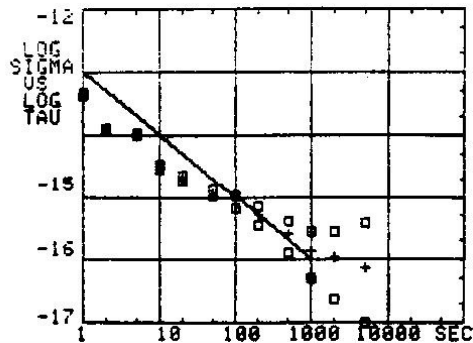
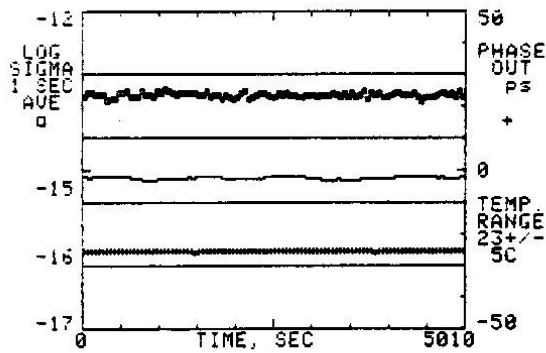


FIG. 4

Cassini's SBT vs Mult. at 2300MHz

PNA1 program of 08/01/92
 Mixing Frequency=2300MHz
 Phase detector SLOPE=1174mV/Rad
 RUN START 16:29.3 21/03/95
 BATCH START 19:17.1 21/03/95
 BATCH END 20:40.6 21/03/95

Reference is assumed EQUAL
 PH-max=-25.2 PH-min=-26.3
 OFFSET=175mV
 TLOW=22.64C, THIGH=22.79C
 TEMP=22.79C PHASE=-25.8PS
 TEMP=22.74C PHASE=-26.1PS

TAU (Sec.)	LAST BATCH		CUMULATIVE		TIME ERROR (pSec.)
	DATA PTS	SIGMA (E-15 units)	DATA PTS	SIGMA (E-15 units)	
1	5008	29.1	15024	40.4	0.0
2	2503	11.6	7509	12.2	0.0
5	1000	6.5	3000	9.4	0.0
10	499	3.3	1497	3.3	0.0
20	249	2.0	747	2.1	0.0
50	99	1.3	297	1.2	0.1
100	49	0.7	147	0.8	0.1
200	24	0.6	72	0.5	0.1
500	9	0.3	27	0.3	0.1
1000	4	0.2	12	0.2	0.2
2000	2	0.0	6	0.1	0.2
5000	1	0.0	2	0.1	0.3
10000	0	0.0	0	0.0	0.0
20000	0	0.0	0	0.0	0.0
50000	0	0.0	0	0.0	0.0
100000	0	0.0	0	0.0	0.0

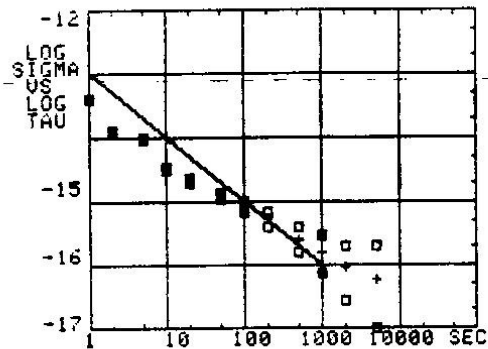
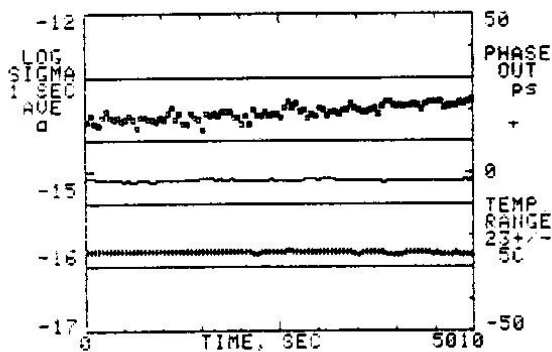
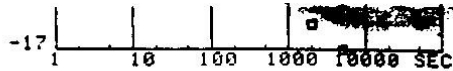


FIG. 5



Cassini's SBT vs Mult. at 2300MHz

PNA1 program of 08/01/92
 Mixing Frequency=2300MHz
 Phase detector SLOPE=1174mV/Rad
 RUN START 16:29.3 21/03/95
 BATCH START 20:41.0 21/03/95
 BATCH END 22:04.5 21/03/95

Reference is assumed EQUAL
 PH-max=-25.5 PH-min=-26.2
 OFFSET=175mV
 TLOW=22.63C, THIGH=22.84C
 TEMP=22.78C PHASE=-26.1PS
 TEMP=22.77C PHASE=-25.9PS

TAU (Sec.)	LAST BATCH		CUMULATIVE		TIME ERROR (pSec.)
	DATA PTS	SIGMA (E-15 units)	DATA PTS	SIGMA (E-15 units)	
1	5008	45.7	20032	41.8	0.0
2	2503	12.0	10012	12.2	0.0
5	1000	10.7	4000	9.7	0.0
10	499	3.1	1996	3.2	0.0
20	249	1.7	996	2.0	0.0
50	99	1.0	396	1.2	0.1
100	49	0.7	196	0.8	0.1
200	24	0.5	96	0.5	0.1
500	9	0.4	36	0.3	0.1
1000	4	0.1	16	0.1	0.1
2000	3	0.1	9	0.1	0.2
5000	1	0.0	3	0.1	0.3
10000	1	0.0	1	0.0	0.4
20000	0	0.0	0	0.0	0.0
50000	0	0.0	0	0.0	0.0
100000	0	0.0	0	0.0	0.0

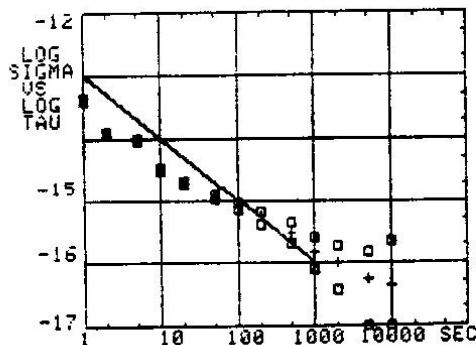
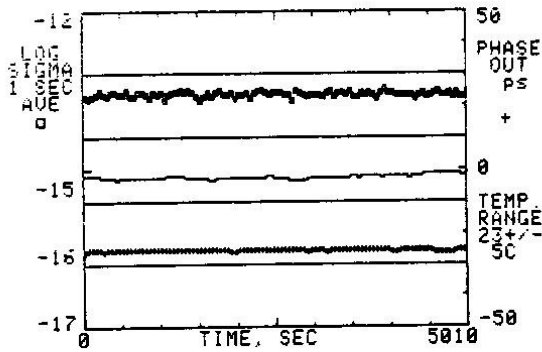


Fig. 6



Cassini's SBT vs Mult. at 2300MHz

PNA1 program of 08/01/92
 Mixing Frequency=2300MHz
 Phase detector SLOPE=1174mV/Rad
 RUN START 16:29.3 21/03/95
 BATCH START 22:04.8 21/03/95
 BATCH END 23:28.3 21/03/95

Reference is assumed EQUAL
 PH-max=-25.9 PH-min=-26.5
 OFFSET=175mV
 TLOW=22.57C, THIGH=22.79C
 TEMP=22.81C PHASE=-25.9PS
 TEMP=22.66C PHASE=-26PS

TAU (Sec.)	LAST BATCH		CUMULATIVE		TIME ERROR (pSec.)
	DATA PTS	SIGMA (E-15 unIts)	DATA PTS	SIGMA (E-15 unIts)	
1	5008	42.8	25040	42.0	0.0
2	2503	13.3	12515	12.4	0.0
5	1000	9.1	5000	9.6	0.0
10	499	3.5	2495	3.3	0.0
20	249	2.3	1245	2.1	0.0
50	99	1.2	495	1.2	0.1
100	49	1.1	245	0.9	0.1
200	24	0.6	120	0.5	0.1
500	9	0.2	45	0.3	0.1
1000	4	0.1	20	0.1	0.1
2000	2	0.0	11	0.1	0.2
5000	1	0.0	4	0.0	0.2
10000	0	0.0	1	0.0	0.4
20000	0	0.0	0	0.0	0.0
50000	0	0.0	0	0.0	0.0
100000	0	0.0	0	0.0	0.0

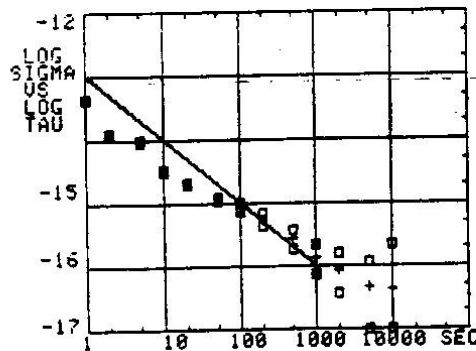
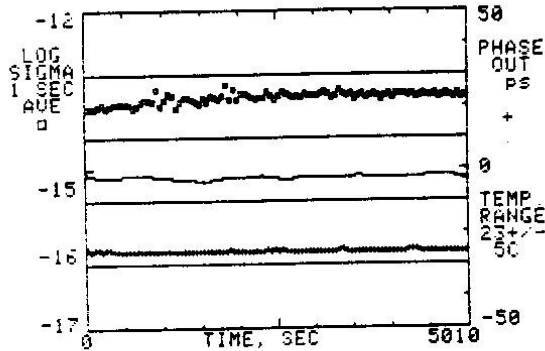


FIG. 7

Cassini's SBT vs Mult. at 2300MHz

PNA1 program of 08/01/92
 Mixing Frequency=2300MHz
 Phase detector SLOPE=1174mV/Rad
 RUN START 16:29.3 21/03/95
 BATCH START 23:28.7 21/03/95
 BATCH END 00:52.2 22/03/95

Reference is assumed EQUAL
 PH-max=-25.2 PH-min=-26.2
 OFFSET=175mV
 TLOW=22.61C, THIGH=22.76C
 TEMP=22.71C PHASE=-26PS
 TEMP=22.63C PHASE=-25.5PS

TAU (Sec.)	LAST BATCH		CUMULATIVE		TIME ERROR (pSec.)
	DATA PTS	SIGMA (E-15 units)	DATA PTS	SIGMA (E-15 units)	
1	5008	45.9	30048	42.7	0.0
2	2503	12.3	15018	12.4	0.0
5	1000	10.4	6000	9.7	0.0
10	499	3.7	2994	3.4	0.0
20	249	2.2	1494	2.1	0.0
50	99	1.1	594	1.2	0.1
100	49	0.9	294	0.9	0.1
200	24	0.5	144	0.5	0.1
500	9	0.2	54	0.3	0.1
1000	4	0.2	24	0.1	0.1
2000	3	0.1	14	0.1	0.2
5000	1	0.0	5	0.0	0.2
10000	1	0.0	2	0.0	0.4
20000	0	0.0	0	0.0	0.0
50000	0	0.0	0	0.0	0.0
100000	0	0.0	0	0.0	0.0

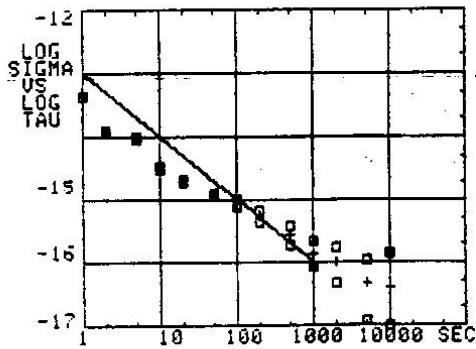
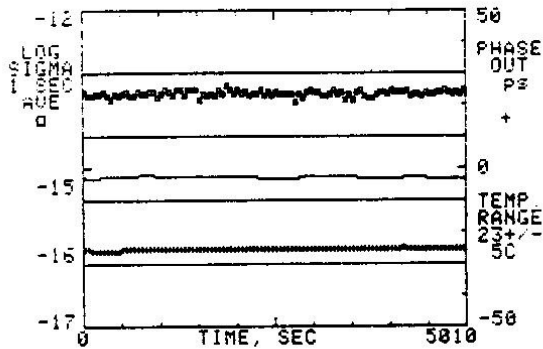


FIG. 8

Cassini's SBT vs Mult. at 2300MHz

PNA1 program of 08/01/92
 Mixing Frequency=2300MHz
 Phase detector SLOPE=1174mV/Rad
 RUN START 16:29.3 21/03/95
 BATCH START 00:52.6 22/03/95
 BATCH END 02:16.1 22/03/95

Reference is assumed EQUAL
 PH-max=-25.1 PH-min=-26
 OFFSET=175mV
 TLOW=22.61C, THIGH=22.79C
 TEMP=22.67C PHASE=-25.5PS
 TEMP=22.7C PHASE=-26PS

TAU (Sec.)	LAST BATCH		CUMULATIVE		TIME ERROR (pSec.)
	DATA PTS	SIGMA (E-15 units)	DATA PTS	SIGMA (E-15 units)	
1	5008	45.6	35056	43.1	0.0
2	2503	11.1	17521	12.2	0.0
5	1000	9.1	7000	9.6	0.0
10	499	3.1	3493	3.3	0.0
20	249	1.9	1743	2.1	0.0
50	99	0.9	693	1.1	0.1
100	49	0.7	343	0.8	0.1
200	24	0.5	168	0.5	0.1
500	9	0.2	63	0.3	0.1
1000	4	0.3	28	0.2	0.2
2000	2	0.1	16	0.1	0.2
5000	1	0.1	6	0.1	0.3
10000	0	0.0	2	0.0	0.4
20000	0	0.0	0	0.0	0.0
50000	0	0.0	0	0.0	0.0
100000	0	0.0	0	0.0	0.0

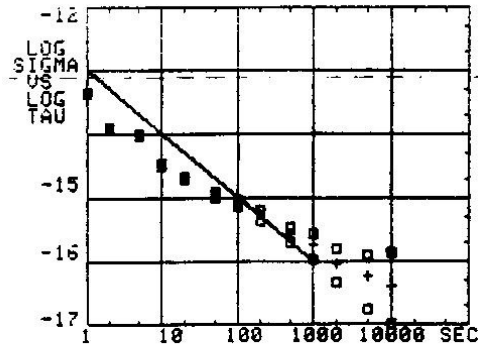
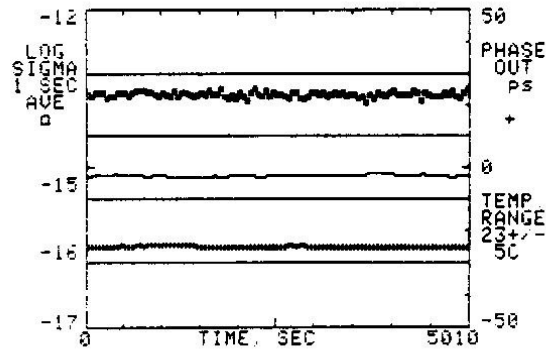
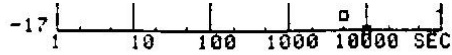


FIG. 9



Cassini's SBT vs Mult. at 2300MHz

PNA1 program of 08/01/92
 Mixing Frequency=2300MHz
 Phase detector SLOPE=1174mV/Rad
 RUN START 16:29.3 21/03/95
 BATCH START 02:16.5 22/03/95
 BATCH END 03:40.0 22/03/95

Reference is assumed EQUAL
 PH-max=-25 PH-min=-26
 OFFSET=175mV
 TLOW=22.6C, THIGH=22.76C
 TEMP=22.74C PHASE=-25.9PS
 TEMP=22.69C PHASE=-25.4PS

TAU (Sec.)	LAST BATCH		CUMULATIVE		TIME ERROR (pSec.)
	DATA PTS	SIGMA (E-15 units)	DATA PTS	SIGMA (E-15 units)	
1	5008	35.0	40064	42.2	0.0
2	2503	12.2	20024	12.2	0.0
5	1000	9.0	8000	9.6	0.0
10	499	3.3	3992	3.3	0.0
20	249	2.2	1992	2.1	0.0
50	99	1.2	792	1.1	0.1
100	49	0.7	392	0.8	0.1
200	24	0.6	192	0.5	0.1
500	9	0.2	72	0.3	0.1
1000	4	0.2	32	0.2	0.2
2000	3	0.1	19	0.1	0.2
5000	1	0.1	7	0.1	0.3
10000	1	0.0	3	0.0	0.3
20000	1	0.0	1	0.0	0.0
50000	0	0.0	0	0.0	0.0
100000	0	0.0	0	0.0	0.0

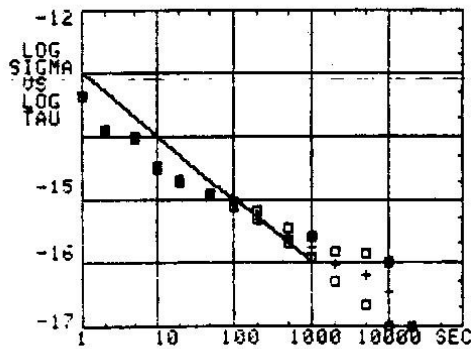
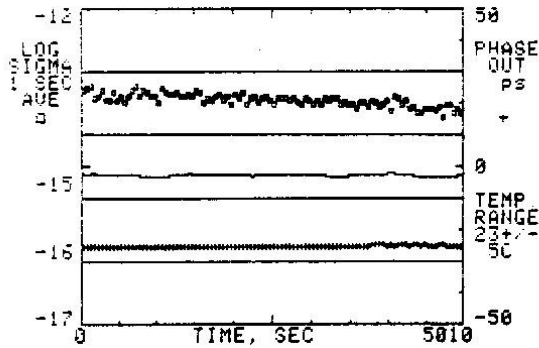


FIG. 10

Cassini's SBT vs Mult. at 2300MHz

PNA1 program of 08/01/92
 Mixing Frequency=2300MHz
 Phase detector SLOPE=1174mV/Rad
 RUN START 16:29.3 21/03/95
 BATCH START 03:40.3 22/03/95
 BATCH END 05:03.8 22/03/95

Reference is assumed EQUAL
 PH-max=-25.1 PH-min=-25.9
 OFFSET=175mV
 TLOW=22.58C, THIGH=22.79C
 TEMP=22.73C PHASE=-25.3PS
 TEMP=22.74C PHASE=-25.5PS

TAU (Sec.)	LAST BATCH		CUMULATIVE		TIME ERROR (pSec.)
	DATA PTS	SIGMA (E-15 units)	DATA PTS	SIGMA (E-15 units)	
1	5008	47.4	45072	42.8	0.0
2	2503	13.0	22527	12.3	0.0
5	1000	10.6	9000	9.7	0.0
10	499	3.5	4491	3.4	0.0
20	249	2.3	2241	2.1	0.0
50	99	1.2	891	1.1	0.1
100	49	0.9	441	0.8	0.1
200	24	0.4	216	0.5	0.1
500	9	0.3	81	0.3	0.1
1000	4	0.3	36	0.2	0.2
2000	2	0.1	21	0.1	0.2
5000	1	0.1	8	0.1	0.3
10000	0	0.0	3	0.0	0.3
20000	0	0.0	1	0.0	0.0
50000	0	0.0	0	0.0	0.0
100000	0	0.0	0	0.0	0.0

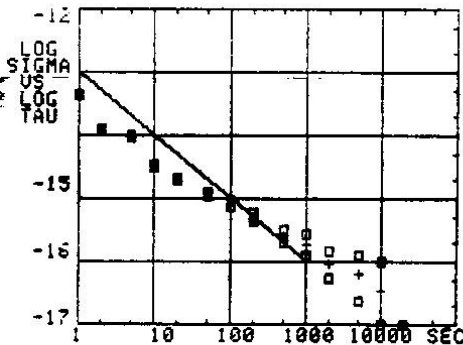
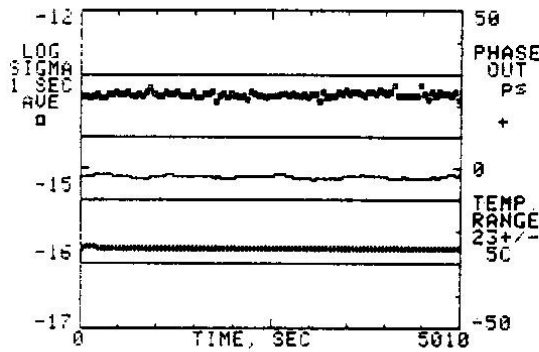


FIG. 11

Cassini's SBT vs Mult. at 2300MHz

PNA1 program of 08/01/92
 Mixing Frequency=2300MHz
 Phase detector SLOPE=1174mV/Rad
 RUN START 16:29.3 21/03/95
 BATCH START 05:04.2 22/03/95
 BATCH END 06:27.7 22/03/95

Reference is assumed EQUAL
 PH-max=-25.1 PH-min=-25.9
 OFFSET=175mV
 TLOW=22.61C, THIGH=22.77C
 TEMP=22.79C PHASE=-25.6PS
 TEMP=22.71C PHASE=-25.7PS

TAU (Sec.)	LAST BATCH		CUMULATIVE		TIME ERROR (pSec.)
	DATA PTS	SIGMA (E-15 units)	DATA PTS	SIGMA (E-15 units)	
1	5008	47.9	50080	43.3 *	0.0
2	2503	16.4	25030	12.8	0.0
5	1000	10.2	10000	9.7	0.0
10	499	5.1	4990	3.6 *	0.0
20	249	2.9	2490	2.2	0.0
50	99	1.5	990	1.2	0.1
100	49	0.9	490	0.8 *	0.1
200	24	0.6	240	0.5	0.1
500	9	0.2	90	0.3	0.1
1000	4	0.1	40	0.2 1.8 E-16 *	0.2
2000	3	0.1	24	0.1 0.33 E-16	0.2
5000	1	0.0	9	0.1 0.61 E-16	0.3
10000	1	0.0	4	0.0 0.32 E-16	0.3
20000	0	0.0	1	0.0	0.0
50000	0	0.0	0	0.0	0.0
100000	0	0.0	0	0.0	0.0

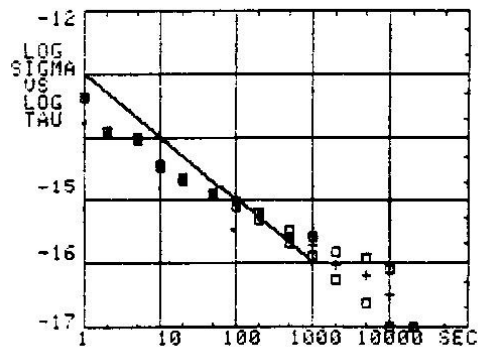
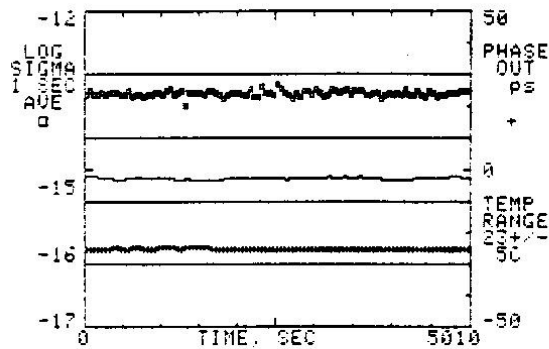


Fig. 12

Cassini's SBT vs Mult. at 2300MHz

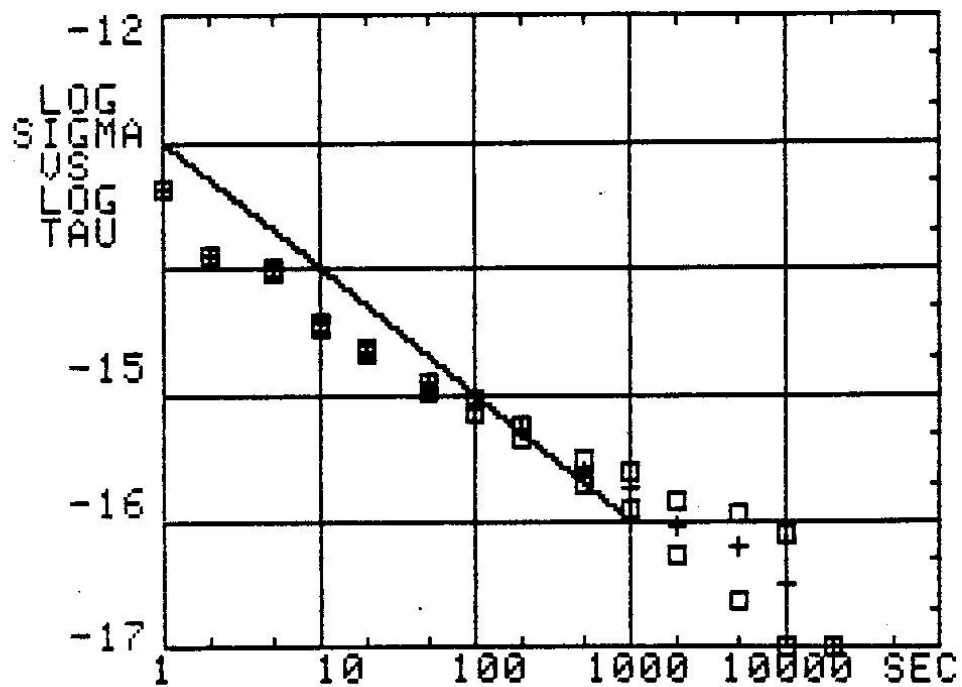


Fig. 13