

주파수 표준확보에 관한 연구

[illegible]

목 차

1 . Cs 표준원기의 확도점점	149
2 . 원기의 기계적 특성조사	159
3 . 결 론	161

표준과장

통신기정

박명진

표준과 표준계

통신기좌

김신희

" "

전송기사보

심동윤

" "

전송지원

박승효

" "

"

조하길

CESIUM. BEAM 원자 주파수 표준원기

국제도량형 총회에서 정식으로 채택된 국제 표준시간 (주파수는 시간의 유도단위) 간격에 대응하는 외계 (外界) 의 영향을 받지 않는 CESIUM 133 의 초미세 천이주파수 (超微細遷移周波數) 인 $9,912,631,770 \text{ Hz}$ 를 $\pm 1 \times 10^{-11}$ 이상의 확도로서 재현할 수 있는 당 연구소에서 보유한 「5061A CESIUM BEAM FREQUENCY STANDARD」로 원자표준의 실현에 의하여 종래의 주파수 표준이 천문시 (天文時) 를 기초로 유도된것에 비해 원자표준 그 자체가 다른것에 의지함이 없이 1 차 원기라는 점에서 수정 칼진기와는 본질적으로 판이한 성격을 갖추고 있으며 아울러 주파수 및 시간 간격의 절대량 (絶對量) 을 확보한 것이라 보겠다.

따라서 외국 (外國) 의 표준단파 (JJY) 에 의한 비교측정 (比較測定) 에서 얻었던 X-TAL 원기의 확도를 직접 비교측정에 의해 외계의 영향을 받지 않으므로 단 시간에 정확히 확인 및 개선할 수 있고 단파의 전파전파 (電波傳播) 로 인한 탈피할 수 없는 오차의 폭 (幅) 도 확인할 수 있겠다.

1. Cs 표준원기의 확도점점

Cs. BEAM 원기는 정상 가동하고 SHORT TERM STABILITY 를 양호하게 하기 위하여 TIME CONSTANT SW 를 SHORT 에 놓는다. 외부 전계의 영향을 차폐 (遮蔽) 키 위해서 "C" FIELD 는 요구되는 미세천이 주파수에 맞도록 Cs. BEAM Tube 내부의 자계 (磁界) 를 최소로 조정해야 한다. 다음은 확도점점을 행하기 위해 측정방식의 교정 (校正) 이 선행되어야 할것으로 그림 (1-1)

과 같이 확
도 측정 시
협조적의 교
정을 위해
측정기를 연

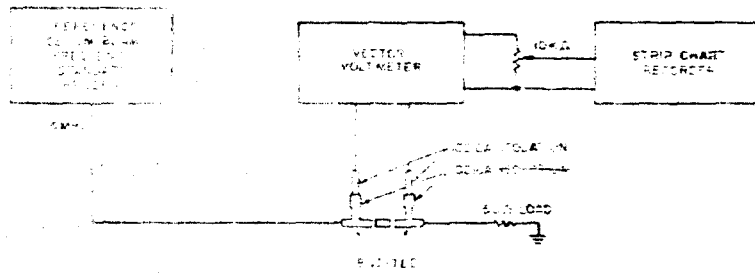


그림 1-1

결하고 다음과 같이 행한다.

즉 Vector-Voltmeter의 Freq Range는 원기로 부터의 입력 주파수 5MHz에 맞추고 phse Meter Zero를 사용하여 Meter의 최대 지시 눈금에 벗어나지 않게 하고 Recorder Zero 조장과 함께 Chart Scale 중앙에 펜을 놓았다. 다음 Recorder에 붙은 펜이 Chart paper 안에 들어 오도록 10 KΩ potentiometer로 조정했다.

이것으로서 Recorder는 360° Full Scale 혹은 0.2 μ Sec

(5×10⁶ HZ)

Full Scale

로 교정된

것이다.

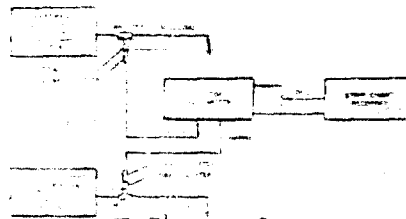


그림 1-2

이상과 같이 확도 시험 조직의 교정을 한후 다음 그림 (1-2)와 같이 확도 점검을 위해 원기및 측정기를 연결한다.

여기서 Cs.Beam 표준원기는 피 측정 원기와 측정원기로 사용될 2대가 필요하나 당 연구소에서는 1973년도에 1대를 더 구입할 계획으로 현재는 1대 뿐인고로 직접 점검 할 수는 없는 것으로 대신 확도를 알고 있는 2차 실용원기 (107 BR X - TAL 원기)와의 확도점검으로 상대적으로 간접적인 방법을 택할 수 밖

에 없다. 물론 본 원기는 모든 부분이 정상 가동하고 있으며
 확도만을 점검키 위한 과정이다. 여기서는 확도 점검에 관한 방
 법만 논하고 다음장에서 107 BR X - TAL 원기와의 비교 측정은
 이와같은 방법에 의하겠다.

원기 및 측정기 결선 완료후 Vector-Voltmeter의 phase
 Range를 180° 에 놓고 phase Meter Zero와 Off Set로
 Recorder의 중앙 영도(零度)에 맞추고 1 in/hr로 Strip
 Chart를 운전하여 측정 시간동안 위상변화 기록을 하였다면 주파
 수 손실은 $\frac{\Delta t}{t} = \frac{\Delta f}{f}$ 관계를 사용하며 $\frac{\Delta t}{t} = -\frac{\Delta f}{f}$ 와 Chart
 Calibration은 $0.2 \mu \text{Sec full scale}$ 이므로 비례적으로 손
 실은 찾게 될 것이며 따라서 확도는 원기 계원상에 주어진
 $\pm 1 \times 10^{-11}$ 에 접근 할 것이다.

예를 들면, 10 시간 측정한 것이 $0.1 \mu \text{sec}$ 로 시험중의 위상변화
 가 있는 원기를 생각할때

$$\frac{\Delta t}{t} = \frac{1 \times 10^{-7} \text{ sec}}{3.6 \times 10^4 \text{ sec}} = 2.8 \times 10^{-12}$$

단 $\Delta t = \mu \text{sec}$ 내에서의 ϕ 변화

$t =$ 측정 시간총계

가 되며 여기서 피 측정 원기 주파수 확도는 알고 있어야 한다.

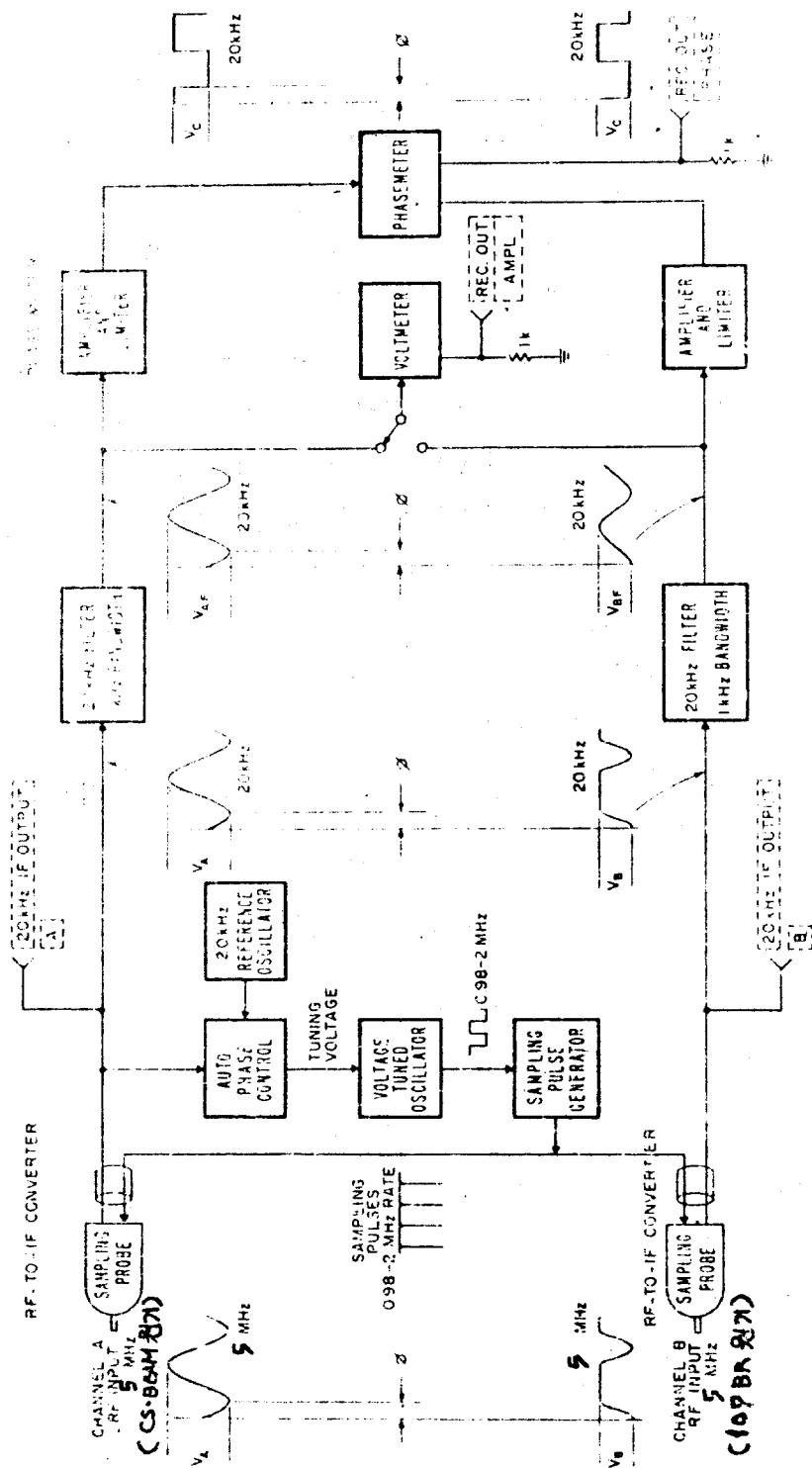
1-2 Vector-Voltmeter와 Strip Chart Recorder에 의한

X-TAL 실용 원기의 비교측정

1-2-1 측정원리와 측정장치의 구성

Vector-Voltmeter는 동일한 입력 주파수의 2-CH을 비교 측
 정하기 위하여 20 KHz IF 신호로 똑 같이 변환한다. 이 IF

(1-2-1A)



신호는 같은 증폭도, 파형, 위상관계등 2-CH 입력신호의 입력 기본 요소와 동일하게 유지하고 있다.

그림 제 (1 - 2 - 1A) 는 측정원리에 관한 설명도로서 Reference Frequency (Cs 원기의 5MHz) 와 비교 측정할 Frequency (107 BR 원기의 5MHz) 의 입력에 대해서 IF 콘버터, AC 볼트 메타, 위상 메타로 구성 되어진다.

20 KHz IF 신호로 변환된 2-CH 은 증폭되고 다듬어져 위상차 ϕ 가 남게되고, 위상차 사이에 비례적으로 구형파 (Vc) 가 발생되어 이 구형파 전류가 위상 메타의 동작을 제어하는 고로 메타 지침이 곧 위상차 ϕ 이고 따라서 Reference 주파수에 대해 비교 측정할 주파수의 drift (Δf) 를 일정 시간에 계속 측정 기록 하므로써 주파수 안정도가 산출 (算出) 된다.

측정 장치의 구성은 전절 (前節) 의 그림 (1 - 2) 와 같으며 다만 unit under Test Cs Beam 원기 위치에 107 BR 원기로 교체 했다.

여기서

t.: Strip Chart Recorder 에 기록된 측정시간

Δt : 측정 시간 동안의 Time delay 차

Δf : 기록된 총시간에 변화한 측정 주파수의 증분

f_r: 측정 기준 주파수

라면 $\frac{\Delta f}{f_r} = \frac{\Delta t}{t}$ 식에 의해서 피측정 원기 (107 X -TAL 실용원기) 의 화도가 산출된다.

1-2-2 비교 측정

측정기간: 1971 년 11 월 2 일 ~ 11 월 12 일

<표준원기>

원기명: 5061A Cesium Beam Frequency Standard.

확 도: $\pm 1 \times 10^{-11}$

고화율: 없음.

<피 측정 원기>

원기명: 107 BR X-TAL

확 도: $\pm 1 \times 10^{-10}$

고화율: 장기간에 걸쳐 조사연구중.

측정 방법은 Vector-Voltmeter의 CH-A에 Cs Beam 표준원기로 부터의 기준 주파수 5MHz와 CH-B에 107 BR 피측정 원기의 출력 5MHz를 연결 하였다. Vector-Voltmeter의 영점을 교정한후 측정 하였으며. 측정기 제원상 CH-A와 CH-B의 전압의 크기가 동일하지 않으므로 인한 편차 $\pm 1.5^\circ$ 와 Hp 20216A Isolator 사용시 $\pm 6^\circ$ 로서 $\pm 7.5^\circ$ 의 종합 편차를 단기 측정시는 고려해야 할 것이다. 그러나 장기 측정시는 1주기당 (Hz 당) $7.5^\circ/360^\circ$ 로서 ± 0.02 Hz 내외 이므로 무시 할 수 있겠다.

측정 간격은 JJY 표준전파와의 비교 측정 시간인 매일 09:45분을 택하며 10일간 하였으며 JJY 15MHz와 107 BR 원기와의 비교 측정치도 함께 기록한 측정 data는 다음과 같다.

측정일	Vector-Voltmeter		JJY Time Delay	화 도
	phase 변화	화 도		
11월 3	182	$\approx 4.3 \times 10^{-10} / \text{day}$	868.400 μs	$1.16 \times 10^{-9} / \text{day}$
4	181	"	400 μs	∞
5	181	"	300 μs	$1.16 \times 10^{-9} / \text{day}$
6	181	"	260 μs	$4.65 \times 10^{-10} / \text{day}$
7	364	"	210 μs	$5.81 \times 10^{-10} / \text{day}$
8	181	"	180 μs	$3.5 \times 10^{-10} / \text{day}$
9	181	"	170 μs	"
10	180	"	상태불량 μs	
11	182	"	재 조정 μs	
12	181	"	" μs	

1-2-3 측정자료 분석 및 107 BR X-TAL 원기의 교정

상기의 측정 data를 Graph로 옮겨 Cs.Beam 원기를 기준으로 Vector-Voltmeter와 Strip Chart Recorder에 의한 직접비교 방법과 전파전파(電波傳播)를 매개로 한 JJY 15MHz 표준 단파와의 Oscilloscope에 의한 간접비교 방법을 비교해 해자.

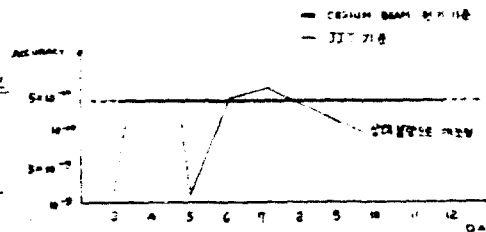
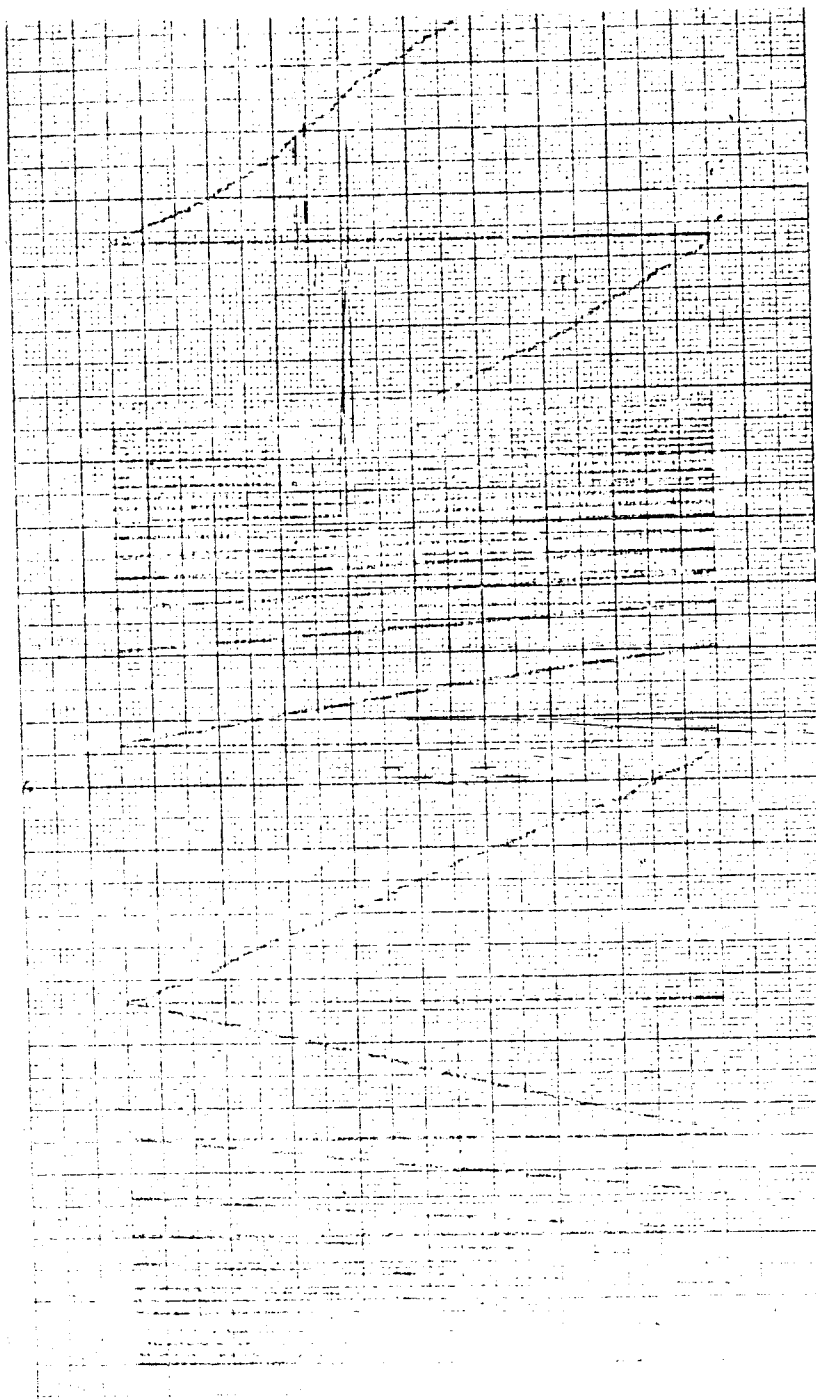


그림 1-2-3 A

우선 JJY 15MHz 표준단파에 의한 비교는 그림(1-2-3 A) Graph 상에서 볼수 있듯이 화도의 변화를 크게 나타내 준다. 이것은 1) 전리층 상태의 변화, 2) Oscilloscope의 독취 정도(精度)에 의한 편차 등의 원인을 들 수 있겠다. 그러나



1-2-3B

Vector-Voltmeter와 Strip Chart Recorder에 의한 직접 비교 방법은 Vector-Voltmeter의 Full Scale 교정을 하였으므로 그외의 편차는 전절(前節)에서도 서술했듯이 거의 없는것으로 보아도 좋겠다.. 따라서 Vector-Voltmeter에 의한 방법으로 연속적인 10일간의 일정한 4.3×10^{-10} 의 확도 (그림(1-2-3 B) Graph)는 107 BR X-TAD 원기의 실제 확도로 보아도 되겠다.. 그런데 제원상에는 $\pm 1 \times 10^{-10}$ 으로 되어 있으며 이것을 참고하여 정밀 조정으로 개선할 여지도 있겠다.

그러므로 4자리 숫자로 되어있는 Fine Freq ADJ가 0275였던것을 증감해 가면서 Strip Chart Recorder에 기록 했다. 하기 그림(1-2-3C) Graph는 Strip Chart Recorder에 기록된 것이며 하기의 숫치는 Fine Freq ADJ에 의한 각각의 숫치에 대한 확도 산출이다.

시 간 (T)	시간차 (ΔT)	107 BR 원기의 FINE, FREQ, ADJ, DIGT	확 도
13시 42분 33초			
46" 12"	03 분 39초	0270	1×10^{-9}
50" 17"	04 " 05 "	0271	8.3×10^{-10}
54" 55"	04 " 38 "	0272	7.1×10^{-10}
14시 00" 13"	05 " 18 "	0273	6.2×10^{-10}
06" 24"	06 " 11 "	0274	5.5×10^{-10}
13" 58"	07 " 34 "	0275	4.3×10^{-10}

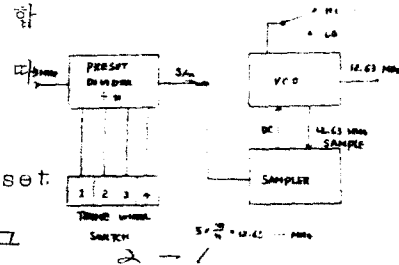
시 간 (T)	시간차 (ΔT)	107 BR 원기의	확 도
		FINE, FREQ., ADJ, DIGT	
23분 30초	09 분 32초	0276	3.4×10^{-10}
36 " 30초	13 " "	0277	2.5×10^{-10}
58 " 24초	21 " "	0278	1.5×10^{-10}
15시 48 " 34초	50 " "	0279	6.6×10^{-11}
17시 19 " 03초	1시간 30 " "	0280	3.7×10^{-11}
47 " 54초	28 " "	0281	1.1×10^{-10}
18시 03 " 06초	15 " "	0282	2.1×10^{-10}
13 " 47초	10 " "	0283	3.1×10^{-10}
19 " 56초	06 " "	0284	5.5×10^{-10}
28 " 43초	08 " "	0285	3.3×10^{-10}
34 " 20초	05 " "	0286	5.8×10^{-10}
39 " 10초	04 " "	0287	6.6×10^{-10}
43 " 13초	04 " "	0288	8.3×10^{-10}
47 " 04초	03 " "	0289	8.3×10^{-10}
50 " 30초	03 " "	0290	1×10^{-9}

위 표에서 (또는 그림 (1-2-3C)) 보면 Digit 0280을 중심으로 확도는 상하가 거의 대칭적으로 나타나 있으며 Digit 0280에 있어서의 단기 안정도가 3.7×10^{-11} 으로 장기 측정시는 변화가 있을것으로 사려되 결국 재원상의 $\pm 1 \times 10^{-10}$ 에 접근하리라 보고 앞으로 장기 측정에 의한 안정도는 계속 조사 연구 할 것이며 여기서는 상기 측정 data를 근거로 단기 안정도에 의한 실용원기 107 BR를 교정 하였다.

2. 원기의 기계적 특성조사

2-1 시계 (時係) 점검

Cs. Beam tube 에 공급할 9,192,631,770 Hz 의 마이크로파를 얻기 위해서 고조파 발생기군에서 9180 MHz 와 혼합될 12.63..... MHz 는 Synthesizer Assembly (합성기 군) 로 부터 만들어 진다. 합성기의 출력주파수는 Slide SW 와 Digital thumbwheel SW 에 의해서 조정되며 SW 의 위치는 원기의 시계 (時係) 선택에 따라 결정되는 것으로 원자시계 (AT time scale) 로 동작 시키고자 할때의 합성 주파수는 12,631,771.6 Hz 이며 -300×10^{-10} 으로 offset 된 최근의 UTC 로 동작시키고자 할때의 합성기의 출력 주파수는 12,632,047.5 Hz 이다. 합성기군으로서 시계 (時係) 선택에 따라 원자시 (AT Scale) 로 부터 -700×10^{-10} 까지의 주파수 offset 치를 얻을 수 있는 것으로 하기 그림 (2-1) 은 간단한 계통도로서 5MHz 의 입력신호는 우선 완충 증폭기 군에서 분리되어 preset divider 회로에 공급되고 이 합성기의 동작에 의해서 m/n 의 유리분수로 제배 (遞倍) 된다. 정수 n 은 preset divider 출력 주파수를 제어하는 즉 preset divider 의 출력 주파수는 $5\text{MHz}/n$ 가 되는 것으로 thumbwheel SW A, S, A, B, C, D 에 의해서 결정되어 원기의 (時係) 점검이란 원기 확도와 직접관계가 되는 것으로 Counter 의 Ext Standard Frequency 단자에 원기의 출력 1MHz 를 넣고 Time Scal Selector thumbwheel SW 와 HI-LO Slide SW 의 접점을 변화시켜 가며, 즉 시계 (時係) 를 바꿔가며 합성기 출력 주파수를 측정한다.



값은 하기와 같다.

Synthesized Frequency 기 준 치	측 정 치	Number ON Thumbwheel	Slide Switch
12,631,771.5Hz	12,631,772Hz	2095	LO
12,631,818.1 "	12,631,818 "	0076	"
12,631,863.6 "	12,631,864 "	3036	"
12,631,909.5 "	12,631,910 "	6186	"
12,631,955.8 "	12,631,956 "	2115	"
12,632,001.6 "	12,632,002 "	9105	"
12,632,047.4 "	12,632,048 "	0366	"
12,632,093.9 "	12,632,094 "	4396	HI
12,632,139.8 "	12,632,140 "	4567	"
12,632,186.5 "	12,632,187 "	9665	"
12,632,231.4 "	12,632,232 "	0736	"
12,632,277.0 "	12,632,278 "	3845	"
12,632,323.2 "	12,632,323 "	5257	"
12,632,369.5 "	12,632,370 "	7337	"
12,632,415.2 "	12,632,416 "	8617	"

상기 Data 는 Cs.Beam 원기의 제원에 나타난 기준치와 측정치는 1 Hz 이내에서 일치하는것으로 원기가 정상 가동하고 있음을 뜻하겠다.

2-2 출력전압의 점검

원기를 정상 동작 시키고 50Ω 케이블을 통하여 Hp 의 4100 Voltmeter를 연결하여 1 KHz, 10KHz 및 100KHz 의 출력 전압을 점검한 값은 아래와 같다.

115 BR		원 기			
		전 면		후 면	
출 력	측정전압	출 력	측정전압	출 력	측정전압
100 KHz	1.95V	1 MHz	1.22V	1 MHz	1.22V
10 "	1.65"	5 "	1.35"	5 "	1.35"
1 "	1.2 "	100 "	1.38"	100 "	1.38"

상기 값은 원기의 제원에 표시된 정격치 $1 \sim 1.5 V_{rms}$ 에 합당하는 값으로 정상임을 알수 있겠다.

3. 결 론

- (1) Cs.Beam 표준원기의 확도점검방법을 조사 연구하였음.
- (2) Cs.Beam 표준원기를 기준하여 Vector-Voltmeter와 Strip Chart Recorder에 의한 실용원기 107 BR X-TAL 원기와의 직접비교 측정방법과 전파전파(電波傳播)를 매개로 JJY 15MHz 표준단파를 기준으로 Oscilloscope에 의한 실용원기 107 BR X-TAL 원기와의 간접비교 측정방법의 비교로 실용원기 107 BR을 교정한 Fine Freq ADJ의 Digit는 0280으로 단기 확도는 3.7×10^{-11} 이었음.
- (3) 시계점검 (Time Scale Check) 및 출력 (1KHz, 1MHz,

10KHz, 100KHz, 5MHz)의 점점으로 원기가 정상가동하고
있음을 확인함.