

# 주파수표준치 확도 연구



## I . 원자주파수 표준원기 ( 1 차표준원기 ) 의 확도연구



## 목 차

I. 원자 주파수 표준원기 ( 1 차 표준 원기 )	129
1. 서 언	131
2. 주파수 표준기 안정도의 정의	132
2-1 개 요	132
2-2 주파수 안정도의 척도	133
2-3 발진기의 잡음과 안정도와의 관계	137
a. 내부 부가잡음	137
b. 외부 부가잡음	138
c. 주파수의 역수에 의한 잡음	139
3. Cesium Beam 주파파수 표준원기	140
3-1 Cesium 원자의 동작	142
3-2 Cesium Beam 관의 내부구조와 동작	143
3-3 Cesium Beam 관 운용시간 경과에 따른 동작	146
3-4 원자 주파수 표준 원기에 의한 실용 원기의 교정	151
a. 방 법	151
3-5 1 차 원기에 의한 2 차 실용원기의 비교측정	158
a. 비교측정 I	164
b. 비교측정 II	165
4. V L F 표준전파	166
4-1 V L F 전파의 특징	166

4 - 2	V L F 표준전파 수신장치의 구성	166
4 - 3	N P G / N L K 표준전파 ( 18.6 KHz ) 수신에 의한 비교측정	170
4 - 4	N D T 표준전파 ( 17.40 K Hz ) 수신에 의한 비교 측정	171
4 - 5	N W C 표준전파 ( 22.3 K Hz ) 수신에 의한 비교측정	172
5.	결 론	174
II.	2 차 실용원기 확대연구	177
1.	서 론	179
2.	단파무선 초신호의 측정시의 고찰	181
3.	전파시간과 실효전송 속도	185
4.	단파무선 보시신호의 전파특성	188
5.	새로운 표준시에 의한 표준전파에 관해서	191
6.	국제표준전파 수신에 의한 비교측정 및 자료분석	193
7.	결 론	206

통 신 기 정

박 명 진

통 신 기 좌

김 신 호

전 송 기 사 보

박 승 호

전 송 기 사 보

김 인 하





## 1. 서 언

주파수 ( frequency ) 의 단위는 시간간격으로 주어진 초 ( 秒 ) 를 기본단위로한 유도단위로서 급격히 발달한 제 과학문명의 추세와 같이하여 국제적으로는 원자표준의 정도 ( 精度 ) 향상과 주파수 ( Frequency ) , 시간, 시각 ( 時刻 ) 의 이용면에서 요구정도도 높아진 정세를 고려하여 1964년 제 12회 국제도량형총회에서 물리적 시간척도로서 다음과 같이 원자표준의 채용이 결정되었다.

물리적인 시간척도로서 외계의 영향을 받지않는 Cesium  $133^{2}S^{1/2}$  의 초미세준의  $F=4 \quad M=0$  및  $F=3 \quad M=0$  사이의 천이를 사용하여 이 천이 주파수  $9,192,631,770 \text{ Hz}$  가 얻어진다. 이를 사용하여 일반물리 및 공학에서의 주파수 시간간격의 표준으로서 국제적으로 원자표준을 사용하기로 한다.

여기서 특히 Cesium 원자가 명기된 것은 그 연구가 오래동안 계속했음과 연구기관이 많음에 따른 Data 가 많아서 따로 실용상의 문제로된 이제까지의 역표시 ( 歴表時 ) 에 의해서 얻어지는 초 ( 秒 ) 와 원자표준으로 얻은 초 ( 秒 ) 와의 비교 Data 가 길며 원자표준으로 표시한 초 ( 秒 ) 는 역표식과 대략 같겠끔 그 채용주파수를 바꿀 수도 있다는 이유에서이다.

이와같이 양자력학을 기초로한 원자표준을 전적으로 실용함에는 원자표준이 받은 상대론 효과라든가 태양계의 천체인력 Potential 에 의하여 지표부근 고도  $1\text{km}$  당 약  $1 \times 10^{-13}$  의 주파수 Shift 를

주는 질량면에서 받는 태양의 영향을 생각 안할 수 없으나 상대성 효과에 의하여 실용상의 혼란은 일어나지 않으므로 원자표준에 의하여 초(秒)의 정의를 내리고 종래의 천체력학에 의한 초(秒)는 시각과 관계가 있으므로 역표초라고 칭한다.

시간과 시각의 분제 등 실용상의 제문제는 천문, 지구물리, 국제보시, 전파통신, 등 여러기관 사이에 변경하기로 합의되어 CCIR (국제통신자문의위원회)의 1970년 2월 총회에서 시간과 시각의 기준이 되고있는 표준 전파의 발사법을 (그리니치) 표준시로 해서 1972년 1월 1일 상오 0시 (우리나라 표준시간 (상오 9시)를 기하여 일제히 개정하기로 결정했다.

## 2. 주파수 표준기 안정도의 정의

### 2-1 개 요

주파수 표준기에 있어서 안정도라 함은 주파수 표준기를 연속 동작시키는 경우에 동일정도의 주파수치를 나타낼 수 있는 한계를 말하는 용어이며 여기에는 정확성과 재현성이 있고 이는 표준기의 성능평가에 쓰이는 중요한 용어이다.

안정도를 표시하는 방법 또는 척도 (Measure)를 크게 나누면 시간영역과 주파수 영역이 있는데 표준기의 이용목적에 따라서 사용함에 구별짓는것이 통상의 방법이다.

이하 주파수 표준기에 있어서 안정도에 중요한 척도 (Measure)

와 이들의 상호관계와 표준기의 잡음과 안정도의 관계에 대하여 국제 무선통신자문위원회 ( C C I R ) 및 I E E E 와 N A S A ( 미국 항공우주국 ) 에서 발표한 단기안정도의 정의와 측정법에 관한 심포지움 및 주파수 안정도 특집을 참작하여 고찰한다.

## 2-2 주파수 안정도의 척도

주파수 편이의 평균시간과 그 분산

표준기의 출력신호는

$$V(t) = A(t) \cos [\omega_0 t + \phi(t)] \dots\dots\dots(1)$$

이다.

여기서  $V(t)$  는 전압 또는 전류이고  $A(t)$  및  $\phi(t)$  는 서서히 변화한 시간관계를 표시한다.

순시각주파수 ( 瞬時角周波數 )

1

$$\omega(t) = \frac{d}{dt} [\omega_0 t + \phi(t)] = \omega_0 + \dot{\phi}(t) \dots\dots\dots(2)$$

이고  $\dot{\phi}(t)$  는 평균각 ( 平均角 ) 주파수  $\omega_0$  로 부터의 편이 이다.

$\dot{\phi}(t)$  의 시작  $t$  를 중심으로한 유한시간 평균치 (  $\tau$  초 평균치 ) 는

$$\langle \dot{\phi} \rangle_{t, \tau} = \frac{1}{\tau} \int_{t-\frac{\tau}{2}}^{t+\frac{\tau}{2}} \dot{\phi}(t) dt = \frac{\phi(t+\frac{\tau}{2}) - \phi(t-\frac{\tau}{2})}{\tau} \dots\dots(3)$$

$\dot{\phi}(t)$ ,  $\phi(t)$ ,  $\langle \dot{\phi} \rangle_{t, \tau}$  및  $\langle \phi \rangle_{t, \tau}$  의 drift 는 분산 또는 표준편차로 나타낸다.

가령  $\langle \dot{\phi} \rangle_{t, \tau}$  의 경우는 통계적평균이므로 (위선으로 표시) 분산은 하기와 같다.

$$\overline{\langle \dot{\phi} \rangle_{t, \tau}} = \frac{1}{\tau} \int_{t-\frac{\tau}{2}}^{t+\frac{\tau}{2}} \dot{\phi}(t) dt = 0 \quad (\because \overline{\dot{\phi}(t)} = 0)$$

$$\sigma^2[\langle \dot{\phi} \rangle_{t, \tau}] = \overline{\langle \dot{\phi}^2 \rangle_{t, \tau}} \dots\dots\dots (4)$$

여기서 ——— 은 통계평균을 나타내는데 통계평균과 시간평균이 일치할 경우를 가정한다.

기타 주파수 안정도를 표시할때 자기상관계수와 Spectrum 밀도가 있다. (1) 식에서 나타내는  $V(t)$  의 Spectrum 밀도는 (1)  $V(t)$  의 전 Spectrum 밀도 (R. F Spectrum) (2)  $A(t)$  의 Spectrum (3)  $S\dot{\phi}(\omega)$ , 즉  $\dot{\phi}(t)$  의 Spectrum (4)  $S\dot{\phi}(\omega)$  즉  $\dot{\phi}(t)$  의 Spectrum 등이 있다. 그러나  $V(t)$  의 Spectrum 은 고안정한 표준기의 경우 측대파는 반송파성분 부근을 빼고 대단히 적기 때문에 직접 측정하기는 곤란하다. 따라서 보통  $S\dot{\phi}(\omega)$  또는  $S\dot{\phi}(\omega)$  를 사용하게 된다. A M 성분이 무시되고 위상의 변조지수가 대단히 적을때 반송파성분 및 그 가장 가까운 인접부분을 제외한 R F Spectrum 은

$$S_{AF} = \frac{P}{2} (S\phi(\omega + \omega_0) + S\phi(\omega - \omega_0))$$

로서 나타낼 수 있다. 이때 P 는 반송파전력이다. 이보다  $V(t)$

의 Spectrum 밀도는 반송파성분과 반송파성분에 인접부분을 제하면 위상과 같은 모양을 갖는다. Random 신호의 Spectrum 밀도는 자기상관계수의 푸리에 변환으로 정의된다.

$\phi(t)$ 의 자기상관계수  $R\phi(\tau)$ 는

$$R\phi(\tau) = \overline{\phi(t-\tau/2) \phi(t+\tau/2)}$$

$$= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\tau/2}^{\tau/2} \phi(t+\tau/2) \phi(t-\tau/2) dt \dots\dots\dots (5)$$

$$S\phi(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R\phi(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau = 2 \int_0^{\infty} R\phi(\tau) \cos\omega\tau d\tau \dots\dots\dots (6)$$

위식의 푸리에 변환은

$$R\phi(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S\phi(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} S\phi(\omega) \cos\omega\tau d\omega \dots\dots\dots (7)$$

$R\phi(\tau)$   $S\phi(\omega)$ 에 대하여서도 같이 나타내어 진다.

$\phi(t)$ 는  $S\phi(\omega)$ 의 미분이고 주파수로 생각한  $j\omega$ 와는 다르다.

그러므로  $S\dot{\phi}(\omega)$ 와  $S\phi(\omega)$ 와의 사이에는

$$S\dot{\phi}(\omega) = \omega 2 S\phi(\omega) \dots\dots\dots (8)$$

의 관계가 있다.

$\langle \dot{\phi} \rangle_{t, \tau}$ 의 분산은 3, 4, 5, 식을 써서

$$\sigma^2[\langle \dot{\phi} \rangle_{t, \tau}] = \frac{2}{\tau^2} [R\phi(0) - R\phi(\tau)] \dots\dots\dots (9 a)$$

$$= \frac{2}{\tau} \int_0^{\tau} R\phi(\tau') (1 - \frac{\tau'}{\tau}) d\tau' \dots\dots\dots (9 b)$$



이고 다시  $\leftarrow \dots \rightarrow$ 로 표시한 것과 같이 이들 사이에 후리에 변환으로 상호간에 도중결합될 수가 있다.

### 2-3 발진기의 잡음과 안정도와의 관계

발진기의 주파수 변동에 영향을 주는 중요한 잡음에는

a. 내부부가잡음 b. 외부잡음 c.  $f^{-1}$  잡음이 있는데 이를 수식적으로 구하면

#### a. 내부 부가잡음

발진 Loop 내에서 잡음에 의하여 생기는 위상편이는 발진 주파수를 편이하고 이에 의하여 공진기의 위상편이가 없도록 움직인다. 그러므로 이 잡음은 주파수 변동을 이르기며 여기서 소멸되어도 위상은 본대로 돌아오지 않고 누적되어 위상 편이는 시간의 평방근에 비례하여 증대 ( Random Walk ) 한다.

주파수 편이율의 표준편차는

$$\frac{\sigma \{ \langle f \rangle_{t, \tau} \}}{\omega_0} = \left( \frac{KT}{2PQ^2\tau} \right)^{1/2} \dots \dots \dots (11)$$

으로 된다. 여기서  $K$  = 볼수만 상수  $T$  = 실효잡음온도  $P$  = 전 전력  $Q$  = 공진기

$$R\phi(\tau) = \frac{1}{A^2} Nq(t)nq(t+\tau) \equiv \frac{1}{A^2} Rnq(\tau) \dots \dots \dots (12)$$

으로 된다.

$N(t)$  Spectro 밀도를  $S_0$  라고 하면  $Snq = Snc = S_0$  가 되므로

$$S\phi(\omega) = \frac{1}{A^2} Snq(\omega) = \frac{1}{A^2} \cdot S_0 \dots \dots \dots (13)$$

의 부하 Q이다. 이 식을 보면  $\sigma^2$ 은  $\tau^{-1}$ 에 비례하여  $S^2(\omega) = h$ 와 같이 되어서 백색잡음에 의한 FM의 한 종류임을 알 수 있다.

#### b. 외부 부가잡음

완전히 안정한 신호  $\phi_{osc}(t) = A \cos \omega_0 t$ 에 백색잡음  $n(t) = n_c(t) \cos \omega_0 t + n_q(t) \sin \omega_0 t$ 이 부가될 때 합성파의 위상변동은  $S/N$ 이 클 때는

$$\phi'(t) = n_q(t)/A \dots\dots\dots (14)$$

$$R_\phi(\tau) = \frac{1}{A^2} \frac{n_q(t) n_q(t+\tau)}{\dots\dots\dots} (15)$$

으로 된다. 고안정한 발진기에서는 발진기의 안정을 위하여 충분히 주위를 하고 또 극히 낮은 전력 ( $10^{-7} \sim 10^{-6}$  W)로 발진시키므로 발진부에 연결된 증폭기의 잡음이 약 0.1초 이하의 극히 짧은 시간에 영향을 받는다. 여기에 협대역여파기 ( $H(\omega) = \frac{1}{1+j\frac{\omega-\omega_0}{\omega_1}}$ )

을 설치하여 부가잡음을  $S_0$ 로 놓으면 여파기의 출력은  $\frac{S_0}{1+(\frac{\omega-\omega_0}{\omega_1})^2}$ 로 된다.

그러므로 전 잡음전력은

$$P_n = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{S_0}{1+(\frac{\omega-\omega_0}{\omega_1})^2} d\omega = \frac{\omega_1 S_0}{2} \dots\dots\dots (16)$$

이 되며 이때  $P_n/P_s \ll 1$  ( $P_s$ 는 전신호전력)이면

$$S_c(\omega) = \frac{1}{\omega_1} \frac{P_n}{P_s} \frac{\omega_1^2}{\omega^2 + \omega_1^2} \dots\dots\dots (17)$$



$$R\psi(z) = \frac{P_n}{P_s} \frac{e^{-\alpha_1 |z|}}{2} \dots\dots\dots (18)$$

$$\frac{\sigma[\langle \phi \rangle t \cdot r]}{\omega_0} = \frac{1}{\omega_0^2} \left[ \frac{P_n}{P_s} (1 - e^{-\omega_0 t}) \right]^{1/2} \dots\dots\dots (19)$$

으로 되어  $\frac{\sigma}{\omega_0}$  는  $t^{-1}$  에 비례하여 협대역 Filter 는 단기 안정도를 좋게 한다.

c. 주파수의 역수 (  $1/f$  ) 에 의한 잡음

이 잡음 Spectro 밀도는 상수를 K라 할 때  $S\phi(\omega) = K/|\omega|$  또는  $S\phi(\omega) = K/|\omega|^3$  으로 계산한다.

주파수편이 시간평균의 분산과 Spectro 밀도와의 관계공식은

$$\sigma^2[\langle \phi \rangle t \cdot r] = \frac{K}{\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1 - \cos \omega t}{\omega^3} d\omega \dots\dots\dots (20)$$

과 같이 상기식으로 반드시 되지만은 않는다. 그러므로 유한시간 (T) 에 관측 Data 의 최소자승법을 적용해서 직선적인 변동을 없이 하면 고역통과 Filter 을 쓸 때와 같이 증가로 됨으로

$$\begin{aligned} \sigma^2[\langle \phi \rangle t \cdot r] &\simeq \frac{2K}{\pi^2} \int_{2/T}^{\infty} \frac{1 - \cos \omega t}{\omega^3} d\omega \\ &= \frac{K}{2\pi} \int_{2r/T}^{\infty} \frac{1 - \cos \chi}{\chi^3} d\chi \end{aligned}$$

$$\therefore \left[ \frac{\sigma^2[\langle \phi \rangle t \cdot r]}{\omega_0^2} \right] \simeq \frac{2K}{\pi \omega_0^2} \left[ 1.04 + \frac{1}{2} \log \left( \frac{T}{2r} \right) + O \left( \left( \frac{2r}{T} \right)^2 \right) \right] \dots\dots\dots (21)$$

으로 되며  $T/4$  (data) 수가 일정하면  $\sigma/\omega_0$  은 일정하게 되고  
 $T/2\tau \gg 1$  의 경우  $\sigma^2/\omega_0^2$  은  $\log(T/2\tau)$  에 비례한다.

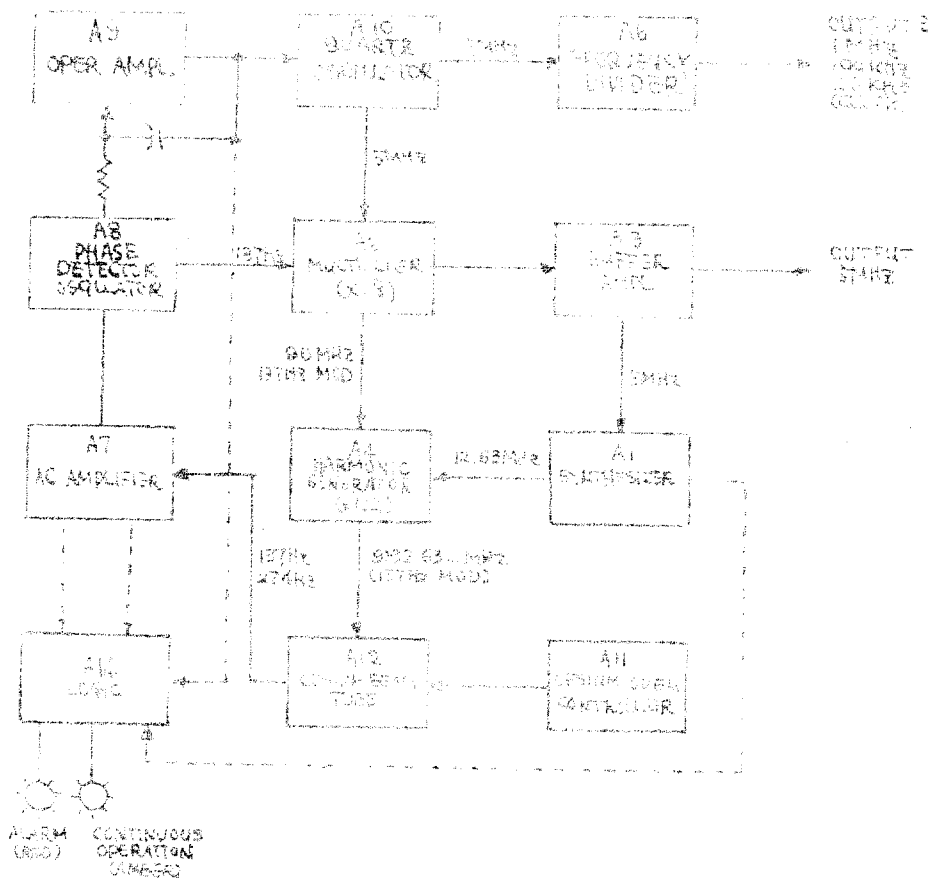
### 3. Cesium Beam 주파수 표준원기

당연구소에서 소유하고 있는 HP 5061A Cesium beam 주파수 표준원기는 수정발진기의 출력을 안정화 하기 위하여 Cesium beam 공진기를 사용한 주파수 표준원기이다. 구성은 2圖와 같으며 고정화된 요소와 폐회로, 자기 점검을 할 수 있는 Control 회로등으로  $\pm 1 \times 10^{-11}$  의 확도를 얻을 수 있다.

Beam 관 내에서 에너지 상태가 선택된 Cesium 133 원자의 빔은 마이크로파 공동기를 통과한다. 수정발진기의 주파수를 체배하여서 만든 마이크로파 자계의 주파수가 Cesium 133 의 미세천이주파수에 가까우면 마이크로파 신호는 한 미세 에너지 상태에서 다른 에너지 상태로 천이를 시킨다. 이와같이 천이된 원자군은 이온화전극 ( Hot wire ionizer ) 과 전자 증배관 ( Electron multiplier ) 에 의해서 검출된다.

마이크로파 자계는 137 Hz 의 낮은 주파수로 위상변조되어 있다. 마이크로파의 주파수가 원자공진주파수의 중심부분에서 편차가 생기면 전자증배관으로부터 흐르는 전류는 변조된 주파수와 똑같은 주파수 성분을 포함하게 된다. 이 성분의 크기는 주파수 편차에 비례하고 그 위상은 낮은지 혹은 높은지를 나타낸다. 이 성분은

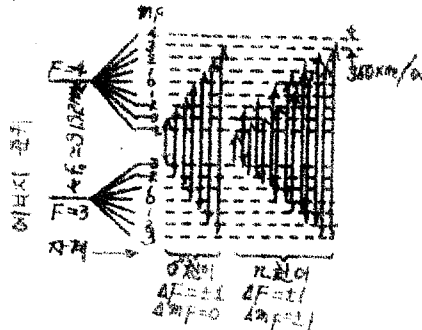
여과, 증폭되고 동시에 주파수 편차에 비례하는 DC 전압을 공급하기 위하여 점출된다. 이 DC 전압의 화(+)는 수정발진기의 주파수를 자동제어하는데 사용됨으로  $\pm 1 \times 10^{-11}$ 이라는 높은 확도를 유지할 수 있다.



2 ☒ Cesium beam 원자주파수 표준원기의 Block Diagram

### 3-1 Cesium 원자의 동작

Cesium 원자와 9 GHz 의 Micro 파와의 관계는 에너지 준위도로서 이해할 수 있다.



3-1 Cesium 원자의 에너지 준위도

Cesium 원자의 전자 Spin 은  $J = 1/2$ , 핵 Spin 은  $I = 7/2$  이므로 이 원자는 기저상태 (基低狀態) 로서  $F = I + J$ , 즉  $F = 4$ ,  $F = 3$  2개의 준위로서 분리되고 있다.

여기에 자계를 가하면 Zeeman 분리를 일으켜 이들은 자기양자수 (磁氣量子數)  $m_F$  로 표시되는 9 및 7개의 준위로서 분리된다.

여기에서 준위간에 천이 (遷移) 가 허락될 수 있는 것은  $\sigma$  천이와  $\pi$  천이인데 우리가 주파수 표준을 위하여 이용하는 것은  $\sigma$  천이 중의  $(F, m_F)$  가  $(4, 0) \leftrightarrow (3, 0)$  의 경우이다.

### 3-2 CESIUM BEAM 관의 내부구조와 동작

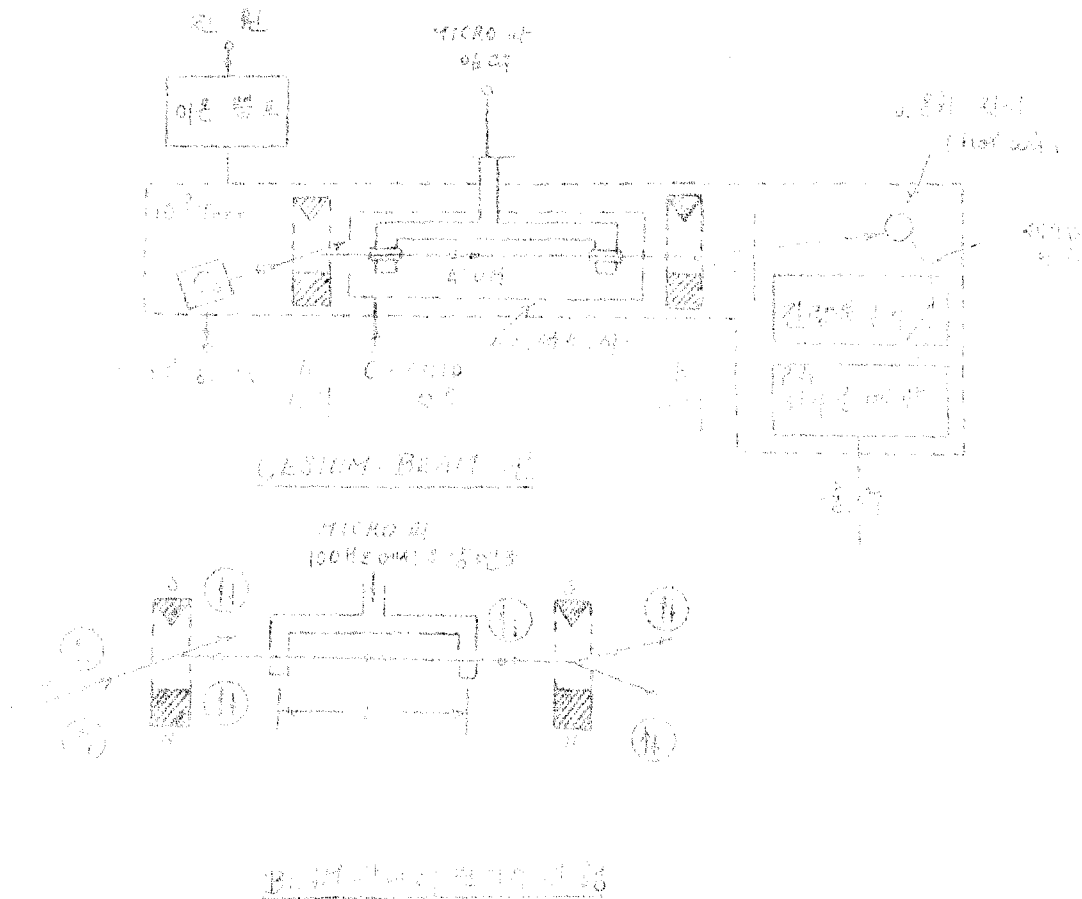
4 도에 Cesium 관의 구조와 Beam 관 내에서 원자의 진동 및 2차전자 증배관의 출력 ( 라무제 공진파형 ) 을 보였다.

Cs는 상온에서는 고체이지만 진공 ( $10^{-8}$  Torr)에서 약  $80^{\circ}\text{C}$ 로 가열하면 기체가 된다. 이와같이 해서 만든 Cs원자군을 가느다란 Collimator (시준기)를 통과하면서 리본같은 Beam을 형성한다. 이 상태는 열평형하고 있으므로 Micro 파의 천이는 대단히 약하다. Micro 파로서의 천이를 강하게 하기 위하여 Beam을 다음의 자석 A를 통과하게 한다. 여기서 원자 Beam은 대단히 강한 불균일성을 가진 자계에 의하여 선별작용을 받는다. 원자 Beam은 자계의 선별작용으로 인하여 열평형이 무너진 상태로 되고 미소한 자극 (Micro 파 전력  $14\ \mu\text{W}$ )에 의해서 강한 천이를 이룬다.

자석 A를 통해서 열평형온도가 무너진 상태로된 원자 Beam은 일정한 거리 떠러진 2개의 공동공진기 자계성분의 영향을 받고 강한 천이를 이룬다.

정전상태이고 낮은 Level 자계  $\sigma$  - Field는 Cesium 원자에너지 Level에 존재하는 필요한 분리를 나타나게 하는 작용을 한다.

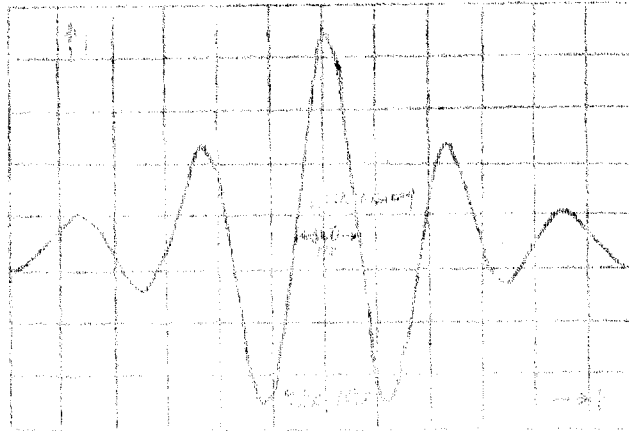
천이한 원자는 다음에 장치한 자석 A와 같은 자석 B에 의해서 두번 선별되어 천이된 원자만이 선발된다. 중성의 원자는 검출증폭이 곤란하므로 자석 B에 의한 원자 Beam의 평형방향에



4 圖 Cesium beam 관의 구조 설명도

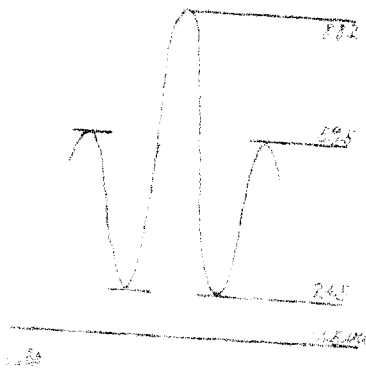
일차된 선상에 검출기 ( Hot wire ionizer ) 를 두어서 거의 100 % 효율로 Cesium 빔 원자를 이온화 한다. 이온화한 Cesium 는 다시 질량분석기로 속도분포를 제한 ( Filter 작용 ) 된 후 2 차전자 증배관에서 전류증폭되어 출력으로 나온다.

이 기기에서 Micro 파 공진주파수는 공진의 중심을 통과하여 Sweep 할 때 Beam 전류는 그림과 같이 최대출력을 얻으며 이를

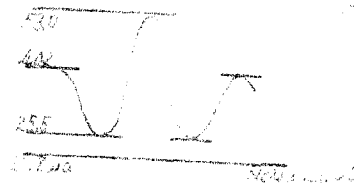


5 圖 B E A M 관의 출력전류

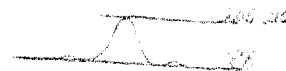
Ramey 공진 패턴이라 부르고 Beam 관의 량·부를 결정하는 중요한 요소가 된다.



Beam 관 정상적인때



Noise level 에 따른 S/N 열화의 시초



Beam 전류가 급격히 증가 S/N가 제일 나쁜때

6 圖 Cesium beam 관 불량시 Cesium 공진파형의 변화

### 3 - 3 Cesium beam 관 운용시간 경과에 따른 동작

7 도는 5061A Cesium beam 원자주파수 표준원기를 8000 시간 사용후의 Beam current 의 변화를 그래프로 나타내었다. 이 圖를 보아서 알 수 있듯이  $\cdot C \cdot$  Field 를 조정 한 최초의 Beam current 는 230 시간 경과후 현저히 저하함을 보이며 이에 따른 2nd Harmonic 도 같이 저하하였음은 옆의 도표 1 을 보아서 알 수 있다.

8 圖에는 주위 온도변화를 Graph 로 뽑았다. 이 Graph 에서 온도변화곡선은  $27^{\circ}C$  에서  $34^{\circ}C$  까지 원기주위온도가 변화하였고 또 일일중 오전 8 시에서부터 오후 6 시 까지는 온도가 하강의 기세를 유지하나 오후 6 시를 지나 주위온도가 다시 상승하고 있다. 이 Graph 에 온도 저하부분은 온도 조절기를 동작시킨 때 이다. 온도 조절기를 동작 시키지 않을 경우 일일중 가장 더운 오후 1 시경에는  $40^{\circ}C$  를 상회하리라 보며 주위 온도 상승에 따른 원기의 영향은 매우 크리라 본다.

7 圖와 8 圖와를 비교하여 보면 원기의 Beam current 는 점차 내려갔음에 비하여 주위 온도는 반대로 상승하고 있음을 알 수 있다. 이 관계를 수학적으로 구할만 하지만 Beam tube 를 장시간 사용하였음과 또 S/N 의 열화와 안정도의 관계등을 참작할 때 간단히 수학적인 규명까지는 도달하지 못하였다.

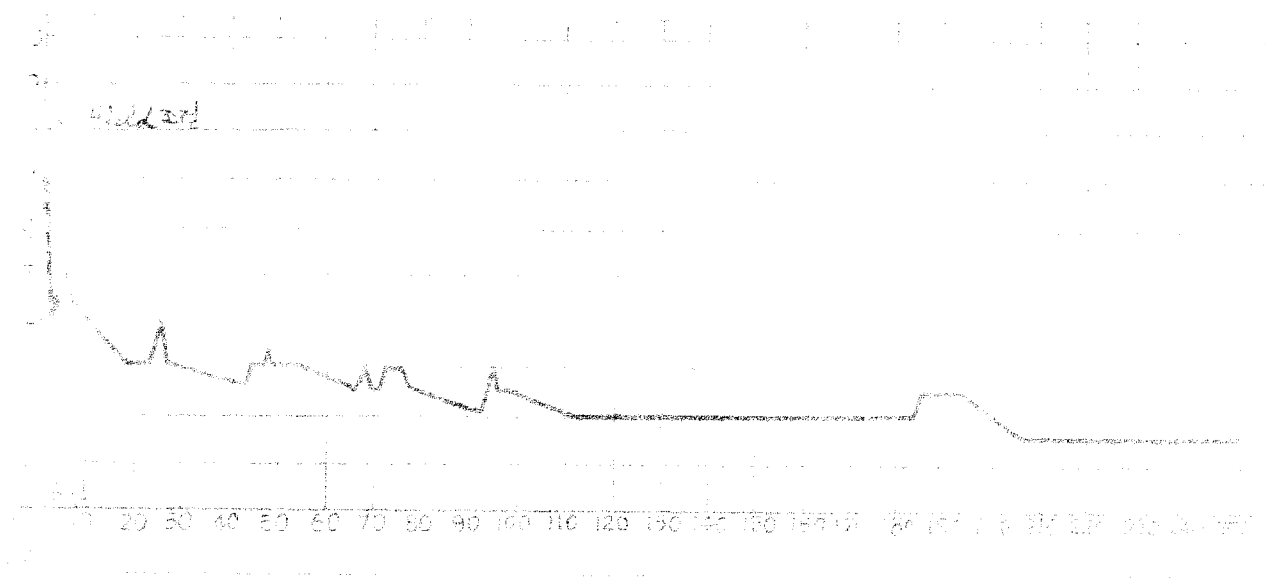


도표 1 원자주파수 표준원기의 동작점 검

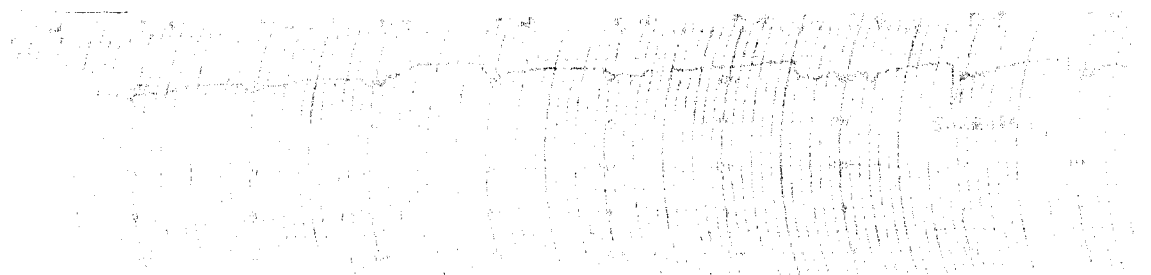
점 검 번호	C Field 조정 후 경과 시간	각 단 의 지 시 치				5MHz
		BEAM I	2nd HARMONIC	CS OVEN	OSC OVEN	
1	0	17	26 -28	27	38	27
2	1.5	14	26 -28	24	36	25
3	3	15	22 -24	24	36	25
4	4	14.5	26 -28	24	36	25
5	19	13	18 -20	22	33	23
6	20	13	18 -20	22	34	23
7	21	13	18 -20	22	34	24
8	22	13	18 -20	22	34	24
9	23	13	18 -20	22	34	24
10	24	13	18 -20	22	34	24
11	25	14	18 -20	22.5	34.5	24
12	26	13	18 -20	22	34	24
13	27	13	18 -20	22	34	24
14	28	13	18 -20	22	34	24
15	43	12.5	18 -20	22	32	23
16	44	13	18 -20	22	36	24
17	45	13	18 -20	22.1	35	24
18	46	13	19 -21	22	34.1	24
19	47.5	13.1	20 -22	20	36	24
20	48.5	13	20 -22	22	35.5	24.5

점 번호	*C Field 조정후경과시간	각 단 의 지 시 치				
		BEAM I	2nd HARMONIC	CS OVEN	OSC OVEN	5MHz
21	49	13	20 -22	22.1	36.1	24
22	49.5	13	20 -22	22.5	35	24
23	51	13	20 -22	22.5	34.1	24
24	52	13	20 -22	23	34	24
25	67	12.5	18 -20	22	32	23
26	68	12.5	19 -20	22	32	23
27	69	13	20 -22	22	34	23.5
28	70	12.5	19 -21	22.2	34	24
29	71	12.5	20 -22	22.	34.1	24
30	72	13	20 -22	22	34	24
31	73	13	20 -22	23	34	24
32	74	13	19 -21	22	34	24
33	75	13	20 -21	22	34	24
34	76	12.5	20 -22	22	34	24
35	91	12	17 -29	21	30	21
36	92	12	19 -21	21	32	22
37	93	12	20 -21	22	33	23
38	94	13	20 -21	22	34	23
39	95.5	12.5	19 -21	22	33	23
40	97	12.5	19 -21	23	34	23

점 검 번호	•C. Field 조정후경과시간	각 단 의 지 시 치				
		BEAM I	2nd MARMONIC	CS OVEN	OSC OVEN	5MHz
41	112	12	16 -18	21	28	21
42	114	12	17 -19	21	31	22
43	116	12	18 -20	21	31	22
44	184	12	16 -18	21.5	30	21
45	186	12.5	18 -20	21	33	22.5
46	188	12.5	18 -19	21	34	23
47	190	12.5	18 -19	22	34.5	22.5
48	193	12.5	18 -19	22	34	24
49	208	11.5	15 -17	20	28	24
50	210	11.5	17 -19	20	34	22
51	212	11.5	19 -20	20	33	22
52	214	11.5	19 -21	21	34	23
53	216	11.5	18 -20	20	34	22
54	232	11.4	15 -17	20	28	22
55	234	12				
56	236	11.5	15 -16	20	28	22
57	238	12				
58	240	11.5	15 -16	20	28	22



7 圖 장기간 사용후 Beam Current 변화



8 圖 원자추파수 표준원위 주위 온도변화

### 3-4 원자주파수 표준원기에 의한 실용원기의 교정

#### a. 방법

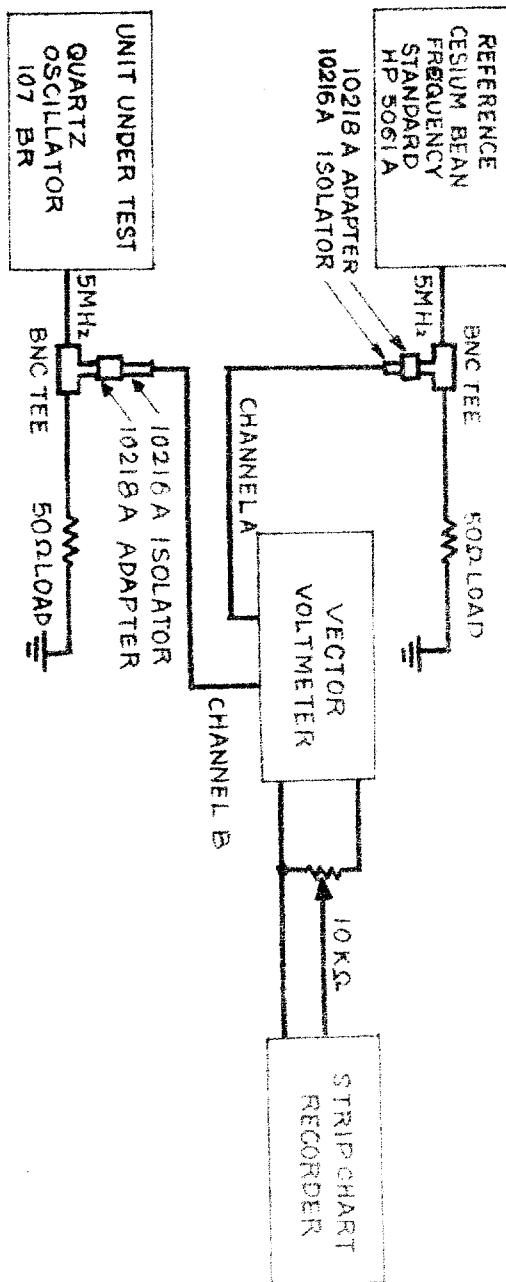
Cesium 원기가 정상 가동상태에서 Short term stability 를 양호하게 하기 위하여 time constant  $s \cdot w$ 를 Short 에 놓는다.

외부자계의 영향을 차폐하기 위하여 "C" Field 를 AT 미세천이 주파수에 맞도록 Cesium beam관 내부의 자계를 최소로 조정한다.

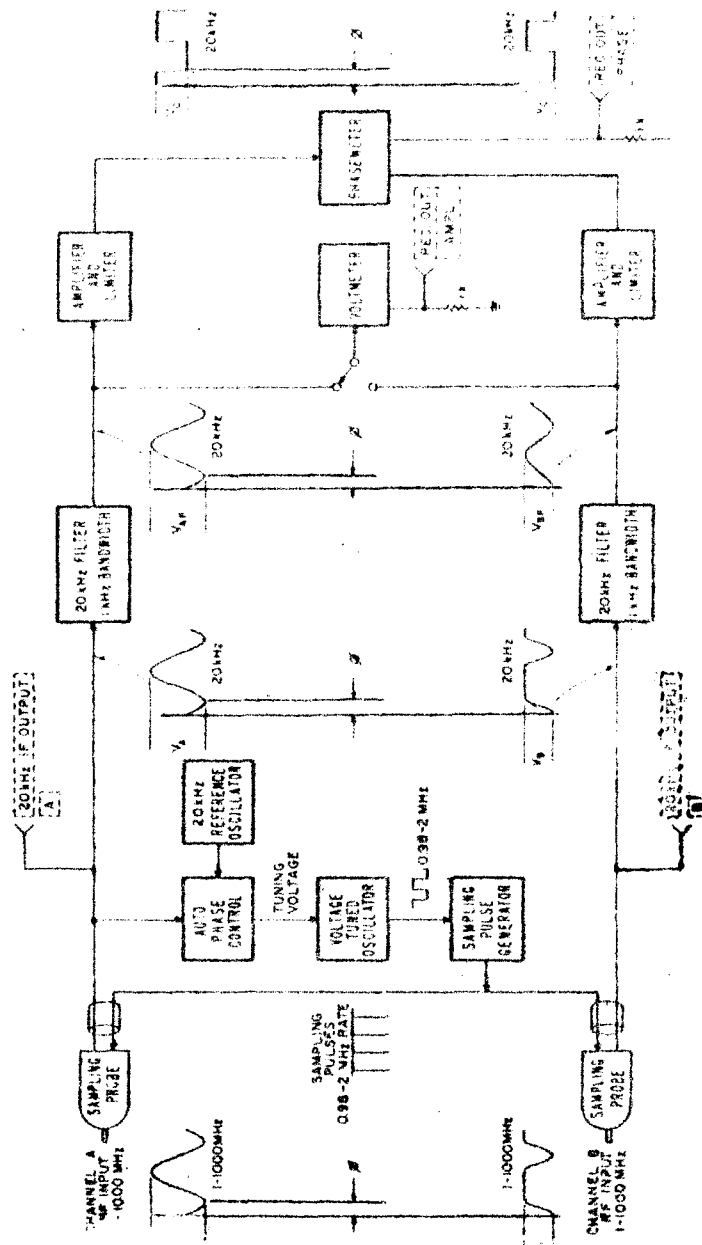
측정기기 및 피측정기를 9圖와 같이 연결한 후 Vector-Voltmeter 의 CH-A 에 Cesium 원기로부터의 기준주파수 5 MHz 와 CH-B 에 피측정실용원기의 출력 5MHz 를 연결한다. Vector-Voltmeter 의 Frequency Rang 를 입력주파수에 맞추고 Phase meter Zero 를 사용하여 Meter 최대 눈금에 벗어나지 않게 하고 Recorder Zero 조정과 함께 Chart Scale 중앙에 Pen 을 놓는다. Recorder 에 붙은 Pen 이 Chart Paper 안에 오도록 10k $\Omega$  Potentiometer 로서 조정을 행한다.

측정기 세원상 CH-A 와 CH-B 의 전압의 크기가 같지 않을 때 편차 1.5° 와 HP 20216A Isolator 사용시 6°로서 7.5° 의 종합편차를 고려하여야 하나 RF attantor 로서 입력을 같게 하였다.

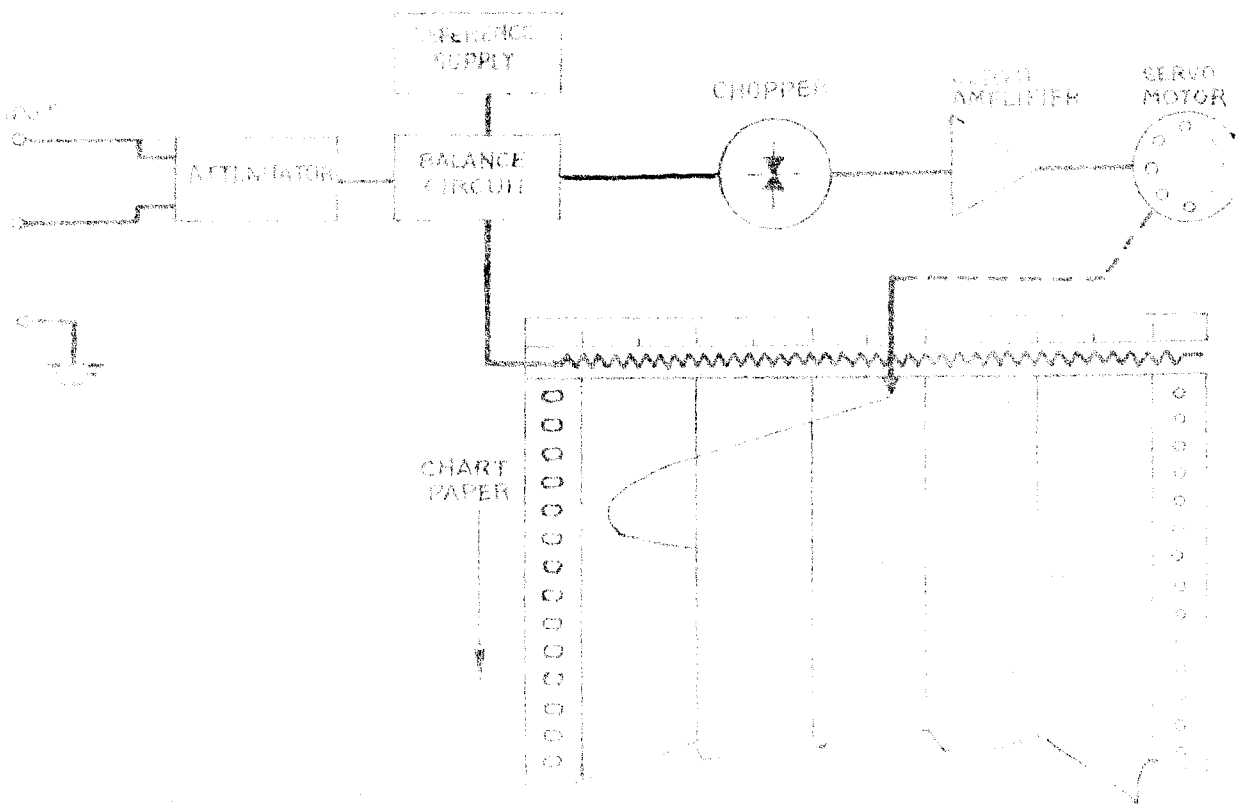
Vector Voltmeter 의 Phase Range 를 180°에 놓고 Phase meter Zero 와 Offset 로 Recorder 의 중앙 Zero 에 맞추고



9 2 차원기 교정을 위한 구성



10 圖 Vector - Voltmeter 계통도



11 圖 Strip chart recorder 계통도



1 in/hr 로 Strip chart 를 가동하여 측정시간 동안 위상변화를 기록하였다.

$$\frac{\Delta t}{t} = \frac{\Delta f}{f}$$

이므로 피측정원기의 확도를 원자주파수 표준원기의 확도  $1 \times 10^{-11}$  으로 Graph 를 보아가며 조정하여 접근시킬 수 있다. 그러므로 실용표준원기의 4자리 숫자로 되어있는 Fine Freq Adj 을 0295 에서 0265 까지 30 눈금의 범위내에서 변화시켜가며 Strip Chart Recorder 로 기록을 하였다.

13 도와 도표 2 는 Strip Chart 기록에 의한 107BR QUALTZ 실용원기의 교정을 행한 기록이며 수치는 Fine Freq Adj 에 의한 각각의 수치에 대한 확도산출이다.

13 圖와 表 2 를 보아서 알 수 있드시 107BR Quartz 실용원기의 Fine freq adj 은 0280 위치 때가 가장 양호하여 3 시간 55 분 34 초만에 1 Hz 의 오차를 이르게 원자주파수 표준원기를 기준으로 하여 안정도  $1.41 \times 10^{-11}$  으로 동작함을 알 수 있다. 이렇게 QUALTZ 실용원기를 원자주파수 표준원기에 맞추고 Quartz 실용원기의 동작상태를 조사하였다. 또 Frequency counter 등 피교정용 기기를 12 圖에서 107BR QUALTZ 를 빼어내고 피교정기기만을 12 圖에 연결하여 상기와 같은 교정을 행하면 원자주파수 표준원기에 의한 교정이 됨을 알 수 있다.

A

도표 2. 107BR QUALTZ OSCILLATOR의 FINE FREF ADJ 에 따른 확도점검

107BR fine freq adj	시 간 (T)			시 간 차 (AT)			확      도
	시	분	초	시	분	초	
0295	09	27	05		2	28	$1.35 \times 10^{-9}$
0294		29	33		3	46	$1.20 \times 10^{-9}$
0293		32	19		2	52	$1.16 \times 10^{-9}$
0292		35	11		3	13	$1.03 \times 10^{-9}$
0291		38	24		3	35	$9.30 \times 10^{-10}$
0290		41	59		4	00	$8.33 \times 10^{-10}$
0289		45	59		4	00	$8.33 \times 10^{-10}$
0288		49	59		5	59	$5.71 \times 10^{-10}$
0287		55	49		5	35	$5.97 \times 10^{-10}$
0286	10	01	24		6	51	$4.86 \times 10^{-10}$
0285		08	15		2	44	$1.21 \times 10^{-10}$
0284		10	59		18	11	$1.83 \times 10^{-10}$
0283		29	10		17	52	$1.86 \times 10^{-10}$
0282		47	02		35	48	$9.31 \times 10^{-11}$
0281	11	22	50	3	55	34	$1.41 \times 10^{-11}$
0280	15	15	24		37	13	$1.03 \times 10^{-10}$
0279		55	37		18	28	$1.80 \times 10^{-10}$
0278	16	14	05		11	44	$2.84 \times 10^{-10}$
0277		25	49		9	03	$3.68 \times 10^{-10}$
0276		34	52		7	29	$4.45 \times 10^{-10}$
0275		42	21		5	55	$5.79 \times 10^{-10}$
0274		48	16		5	09	$6.49 \times 10^{-10}$
0273		53	25		4	33	$6.47 \times 10^{-10}$
0272		57	58		5	00	$6.66 \times 10^{-10}$
0271	17	02	58		2	19	$1.43 \times 10^{-9}$
0270		05	29		3	14	$1.03 \times 10^{-9}$
0269		08	43		2	57	$1.16 \times 10^{-9}$
0268		11	40		2	44	$1.21 \times 10^{-9}$
0267		14	24		2	31	$1.31 \times 10^{-9}$
0266		16	55		2	30	$1.33 \times 10^{-9}$
0265		19	25		2	03	$1.62 \times 10^{-9}$

[REDACTED]

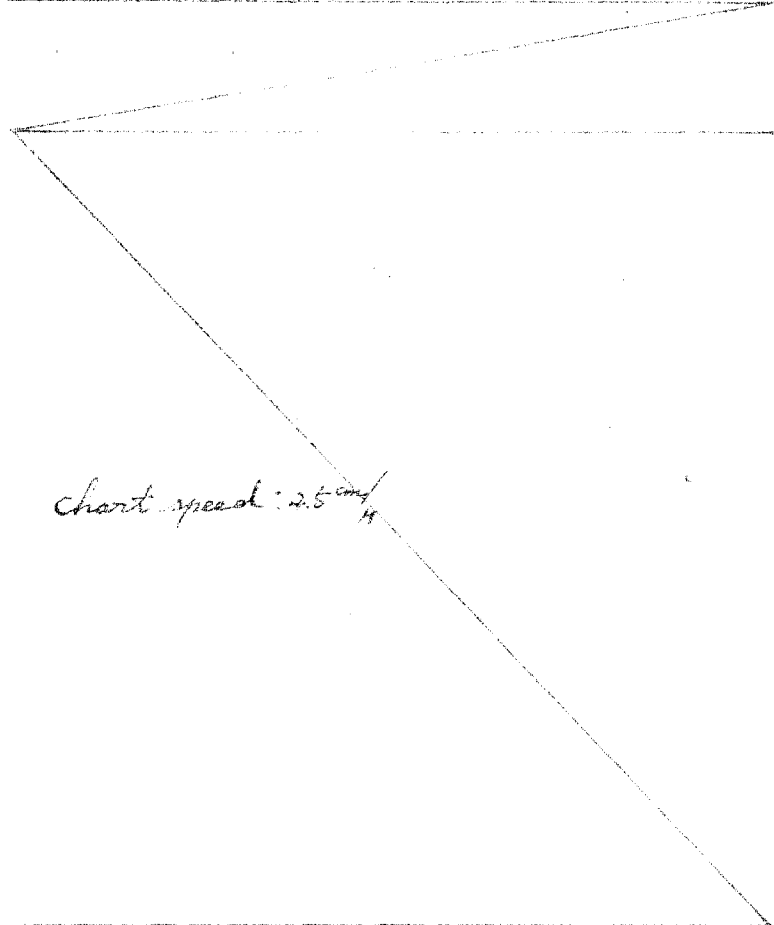


chart speed: 2.5 cm/sec

[REDACTED]

13-1 107 BR QUARTZ OSCILLATOR <sup>A</sup>의 고정 곡선

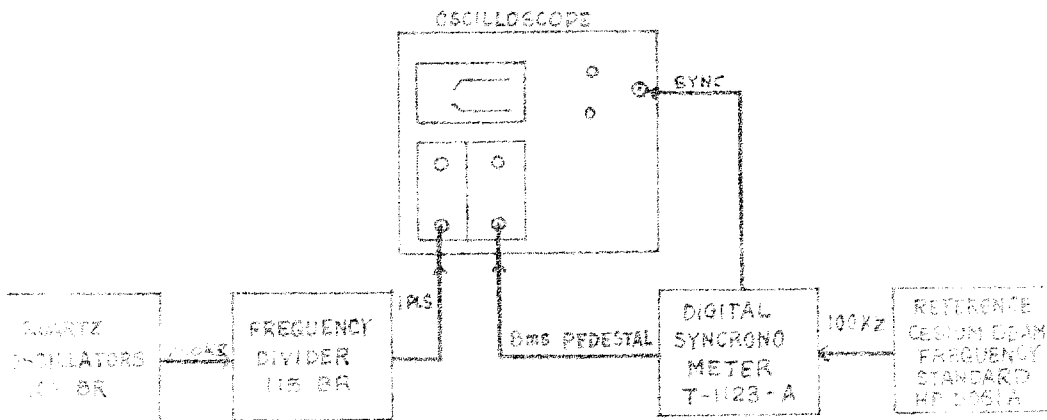
### 3-5 1차원기에 의한 2차실용원기의 비교측정

비교대상 : CS #1 1차표준원기와 X-tal #1 2차실용원기

기간 : 72.5.11 ~ 72.6.22

장 소 : 정밀주파수측정실

측정 방법은 14도와 같이 측정기의 결선을 하였다.



14 도 비교측정 장치의 구성도

Oscilloscope 조정 및 입력은 DUAL TRACE PLUGIN UNIT 에 CHANNEL 1에 원자주파수 표준원기의 100 kc signal 을 받고서 동작하는 DIGITAL SYNCHRONOMETER 의 8ms PEDESTAL 을 넣어주고 CHANNEL 2에 피측정 X-tal #1 2차실용원기의 100kc SIGNAL 로서 동작하는 FREQUENCY DIVIDER 의 1PPS 신호를 연결하였다.

MODE SLOPE COUPLING SOURCE는 TRIG로하고 LINE EXT 위치로 하여 TRIGGER INPUT 단에 DIGITAL SYNCHRONOMETER에서 나오는 SYNCRO SIGNAL을 넣었다.

TIME/cm 스위치는 처음 50 ms로하고 CHAMMEL 1,2 POSITION N 스위치와 HORIZONTAL POSITION 스위치를 조정하여 SCOPE 화면중앙에 두 비교파형이 위치하도록한후 TIME/cm 스위치의 위치를 50ms에서 0.2ms로하고 SWEEP MAGNIFIER를 X100으로 하면서 피측정 X-tal#1의 SIGNAL을 받고 동작하는 FREQUENCY의 DELAY MICROSECOND 스위치를 조정하여 각 측 정일의 DELAY MICROSECOND치를 기록하였다.

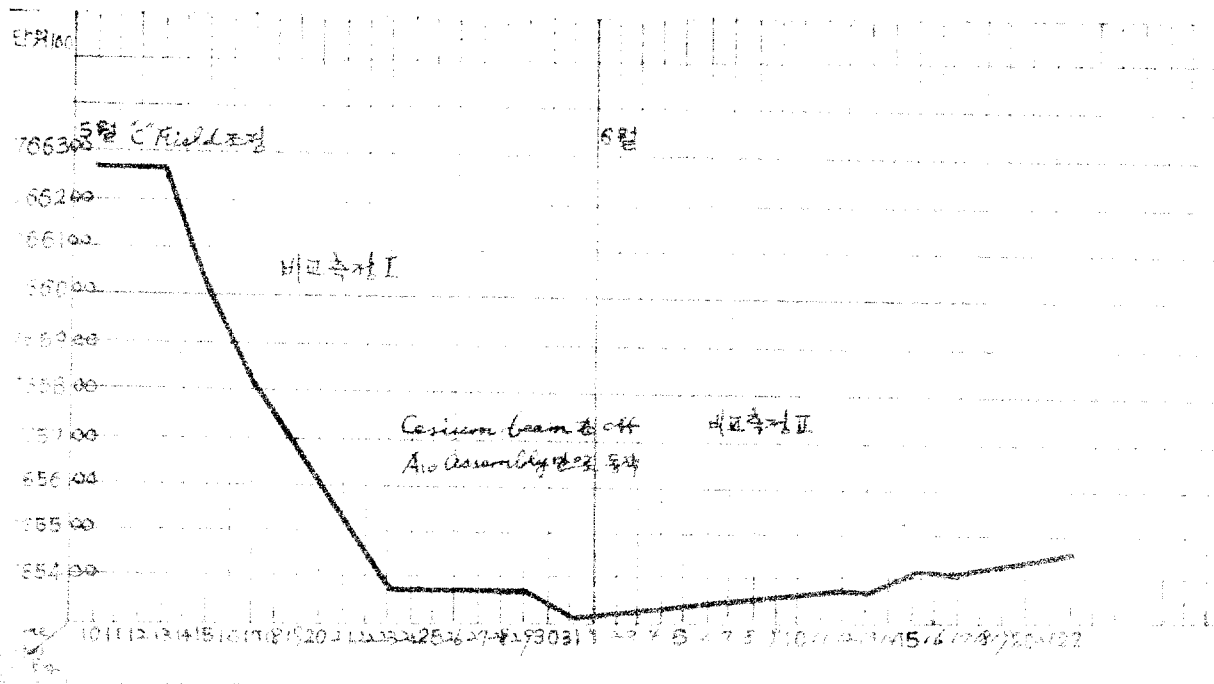
도표 3 1, 2 차원기의 비교측정자료

1972, 5~6

시 간	TIMEDEAY $\mu$ S	$\Delta$ T $\mu$ S	T $\times 10^{10} \mu$ S	$\times 10^{-10}$	비 고
10 09.30					
11 "	766270	○	8.64	○	cs#1 "C" Fild조정
12 "	766270	○	"	○	
13 "	766270	○	"	○	
14 "	일	요		일	
15 "	766008.5	-261.5	8.64×2	15.133	
16 "	765928	-80.5	8.64	9.317	
17 "	765834.6	-93.4	"	10.810	
18 "	765753	-81.6	"	9.44	

시	간	TIMEDELAY $\mu S$	$\Delta T$ $\mu S$	$T$ $\times 10^{10} \mu S$	$\times 10^{-10}$	비	고
19	09.30	765686.4	-67.6	8.64	7.824		
20	"	765608.5	-77.9	"	9.016		
21	"	일	요	"	일		
22	"	765470	-138.5	8.64 $\times 2$	8.015		
23	"	765382	-88	8.64	10.185		
24	"	765389	+7	"	0.810		
25	"	765388	-1	"	0.115		
26	"	765388.2	+0.2	"	0.023		
27	"	765390	+1.8	"	2.083	CS를 22고 A10 번을 동작	
28	"	일	요		일		
29	"	765360	-30	8.64 $\times 2$	1.736		
30	"	765332.5	-27.5	8.64	3.182		
31	"	765313.6	-18.9	"	2.187		
1	"	765306.1	-7.5	"	0.868		
2	"	765283.7	-22.4	"	2.592		
3	"	765300.7	+17	"	1.967		
4	"	일	요		일		
5	"	765308	7.3	8.64 $\times 2$	0.422		
6	"	일	중		일		
7	"	765329	+21	"	1.215		
8	"	765322	7	8.64	0.810		

시	작	TIMEDELAY $\mu S$	$\Delta T$ $\mu S$	$T$ $\times 10^{10} \mu S$	$\times 10^{-10}$	비 고
9	09.30	765337	+ 15	8.64	1.736	
10	"	765336	- 1	"	0.115	
11	"	일	요	일		
12	"	765370	+ 34	8.64X2	1.967	
13	"	765361.7	- 8.3	8.64	0.960	
14	"	765379	+ 17.3	"	2.002	
15	"	765378	- 1	"	0.115	
16	"	765389	+ 11	"	1.273	
17	"	765400	+ 11	"	1.273	
18	"	일	요	일		
19	"	765416.6	+ 16.6	8.64X2	0.960	
20	"	765423	+ 6.4	8.64	0.740	
21	"	765436.6	+ 3.6	"	0.416	
22	"	765448.5	+ 11.9	"	1.377	



15 圖 원자주파수 표준원기에 대한 QUARTZ OSCILLATOR의 변화

CESIUM BEAM 표준원기

확	도	$+ 1 \times 10^{-11}$	Cesium beam 관의 수명동안 정격출력시 2 가우스대의 대표적인 안정도 0 ~ 50°C의 주위온도에서 동작시 0 ~ 90%에서 정상동작
재	현	$\pm 5 \times 10^{-12}$	
장	기	$\pm 1 \times 10^{-11}$	
고	조	40dB 이상	
자	계	$5 \times 10^{-12}$	
온	도	$\pm 5 \times 10^{-12}$	
습	도		



# CESIUM BEAM 관

수 명	10000 시간	구입일로부터 2 년동안
반 치 폭	$550\text{Hz} \pm 20 \%$	
신호대 잡음비	1000	$\frac{1}{4}\text{Hz}$ 의 잡음대역폭
R F 전 력	$30\mu\text{W}$	$9192 \pm \text{MHz}$
입 력	$6.5 \text{ W}$	$25^\circ\text{C}$ 때
길 이	$42.3 \text{ cm}$	

## CESIUM BEAM 표준원기 내부 QUALTZ OSCILLATOR

고 화 률	$5 \times 10^{-10}/\text{day}$	
신호대 잡음비	87 dB	30KHz 잡음대역폭때
주 파 수 조 정	FINE	$5 \times 10^{-8}$ 까지
	COARSE	$1 \times 10^{-6}$ 까지
주 위 온도 특성	$2.5 \times 10^{-10}$	$0 \sim 50^\circ\text{C}$ 때
부 하 에 영 향	$\pm 2 \times 10^{-10}$	
입력전압의 영향	$\pm 5 \times 10^{-11}$	$115/230\text{V} \pm 10\%$ 변동시

## 107 BR QUALTZ OSCILLATOR

확 도	$\pm 1 \times 10^{-10}$	
Aging Rate	$\pm 1 \times 10^{-10}/\text{day}$	
확 의 영 향	$\pm 1 \times 10^{-10}$	

S/N 비	87 dB
고조파의 불	40 dB
동작 온도	0°C ~ 50°C      115/230±10 % 변동시
전원전압의 영향	± 1×10 <sup>-11</sup>
	FINE 5×10 <sup>-8</sup>
주파수 조정	COARSE 1×10 <sup>-6</sup>

#### a. 비교 측정 I.

이 기간 동안 원자주파수표준원기의 Cesium beam tube를 정상동작시킨 후 1.2차 원기의 비교측정을 행하였다 Cesium 원자의 초미세 전이주파수는 지구의 자장이나 주위자계에 예민하므로 Cesium beam tube 내의 "C" Field는 이러한 주위자계의 변동을 보상하여 정밀주파수 교정을 위한 Cesium beam tube내의 자계를 일정히 하여 주춧꿈 설계되어있으므로 5월 11일 "C" Field를 조정 한 후 본 측정에 임하였다.

15도의 Graph를 보아서 알 수 있드시 5월 11일에서 5월 27일까지는 18일을 기준으로하여 대략 대칭된 모양으로 변화하였으며 또 18일을 축으로한 전후 6일간은 급격히 변화하였고 그보다 더 전, 후에는 변화하지 않았다.

도표 4로서도 알수있지만 aging Rate가 전혀없는 원자주파수표준원기에 의한 X-tal<sup>#1</sup> 2차실용원기의 변화특성을 알기위한 측정

이였으므로 비교측정 I에서 변화부분을 최소자승법으로 분석하여  
 본 결과  $y = 73.121 \times 10^{10} + 483.6 \times 10^{10}$  으로 변화하였음을 알았  
 다.

#### b. 비교측정 II

2도에서 원자주파수표준원기의 Cesium beam assembly (A 12  
 와 A 11)을 끄고 Cesium beam 표준원기의 내부 Quartz osci  
 llator로 본 측정에 임하였다. 도표 4 및 15도로서 알수있드시  
 원자주파수 표준원기의 내부 Quartz oscillator 도 피측정 X-  
 tal #1 2차실용원기와 같이 Aging Rate를 갖고있으며 확도  
 $\pm 1 \times 10^{10}$ 으로 동작하여 두 비교 원기가 똑같은 확도로 동작하  
 여 상호변화의 속성이 같으므로 분석의 의의가 없다.

다만, 상기 식의변수는 점차  $\rightarrow$ 의 값으로 변화하고 있으며 X  
 -tal 발진자만을 사용하는 주파수 표준원기는 사용시간 경과와  
 함께 주기적인 교정을 할 필요가 있다.

#### 4. V · L · F 표준전파

단파표준전파 발사주파수는 원자주파수 표준규정에 따라 항상  
 $\pm 10^{-10}$  편차내에 보존하여야하나 전파전파로 \*상에서 일어나는  
 전리층의 여러가지 변화와 또 이에 의한 Doupler 효과 등으  
 로 해서  $10^8$  및 그 이하의 큰 주파수변동을 받음을 변치못한다.

최근 과학기술의 급진적인 진보는 정도높은 표준주파수의 신호

를 요구하여 새로운 방식에 의한 전파의 표준전파를 이용하기에 이르렀다. LF 및 VLF 대 전파는 원거리 전파에 특히 우수하고 지표면과 전리층사이에 Wave guide 이론에 의한 전파를 하므로 전파전파상태도 극히 안정하고 주파수변동도 극히 적어서 표준전파의 전송으로 가장 적당한 방식으로 국제간의 주파수정밀비교에 이용된다.

#### 4 - 1 VLF 전파의 특징

단파와 같이 지상파 전파와 전리층전파로 생각할수 있으나 지상파는 지표면에서 손실이 적어 통달거리가 크며 공간파는 감쇠가 비교적 적다.

주로 D층 하부에서 반사됨으로 시간적으로 대단히 안정하고 전리층의 영향도 적으며 위상안정도도 대단히 좋은것이 특징이다. 그러나 결점으로는 장파대에 있어 잡음이 대단히 높음으로 큰 송신출력을 필요로하여 송신시설에 많은 경비가 든다.

수신장치는 수신 잡음전력을 적게 하기 위하여 수신 주파수대폭의 제한 및 사용 주파수대폭을 제한하여 사용하고 있어 장파의 특징을 최대한으로 이용한 주파수대폭을 극단으로 좁힌 안정성있는 전파를 이용하여 안정된 주파수에 위상의 고안정성을 최대한으로 이용할 수 있다.

#### 4 - 2 V L F 표준전파 수신 장치의 구성

17 도에서 수신된 VLF 반송파 신호는 초단 증폭과 RF 여파 광

대역 또는 선택도를 증가 시키기 위한 협대역 여파기를 거쳐  $1\text{KHz}$  의 중간 주파수로 변환된다.

IF 신호는 차단증폭 및 여파된후 두개의 동기검파기에서 동시에 위상검파된다. 이 동기검파기의 출력은 Phase Servo의 위상차 신호이다.  $90^\circ$  위상차를 가진 다른 또 하나의 검파기의 출력은 AGC를 동작시키는데 사용한다.

AGC 회로는 비록 수신된 VLF 신호의 진폭이 전파특성이나 혹은 변조도에 따라 심하게 변화하여도 위상추미 써보 회로에 일정한 출력과 균일한 이득을 유지하도록 한다.

또한 VLF 반송파 신호가 최소치 이하로 떨어질 경우 반송파 레벨 계전기가 즉시 복구되지 않으며 이는 Servo 회로를 차단시켜 위상편이기가 동작하지 못하도록 한다.

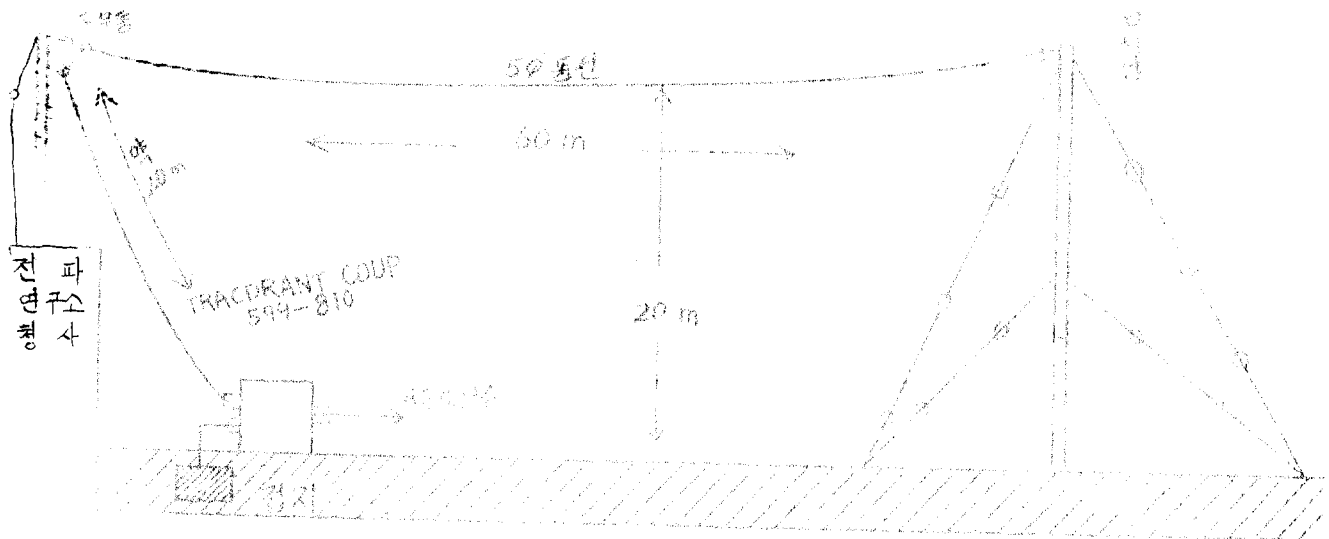
Servo 회로는 VLF 반송파 신호가 다시 들어오면 자동적으로 회복되어 동작을 계속한다.

전자 위상편이기는  $10\text{MHz}$  로 동작함으로 수신중인 어느 특정의 VLF 국에 관계없이 1 Cycle의 위상변화는  $0.1\mu\text{s}$ 의 시간 변화와 같다.

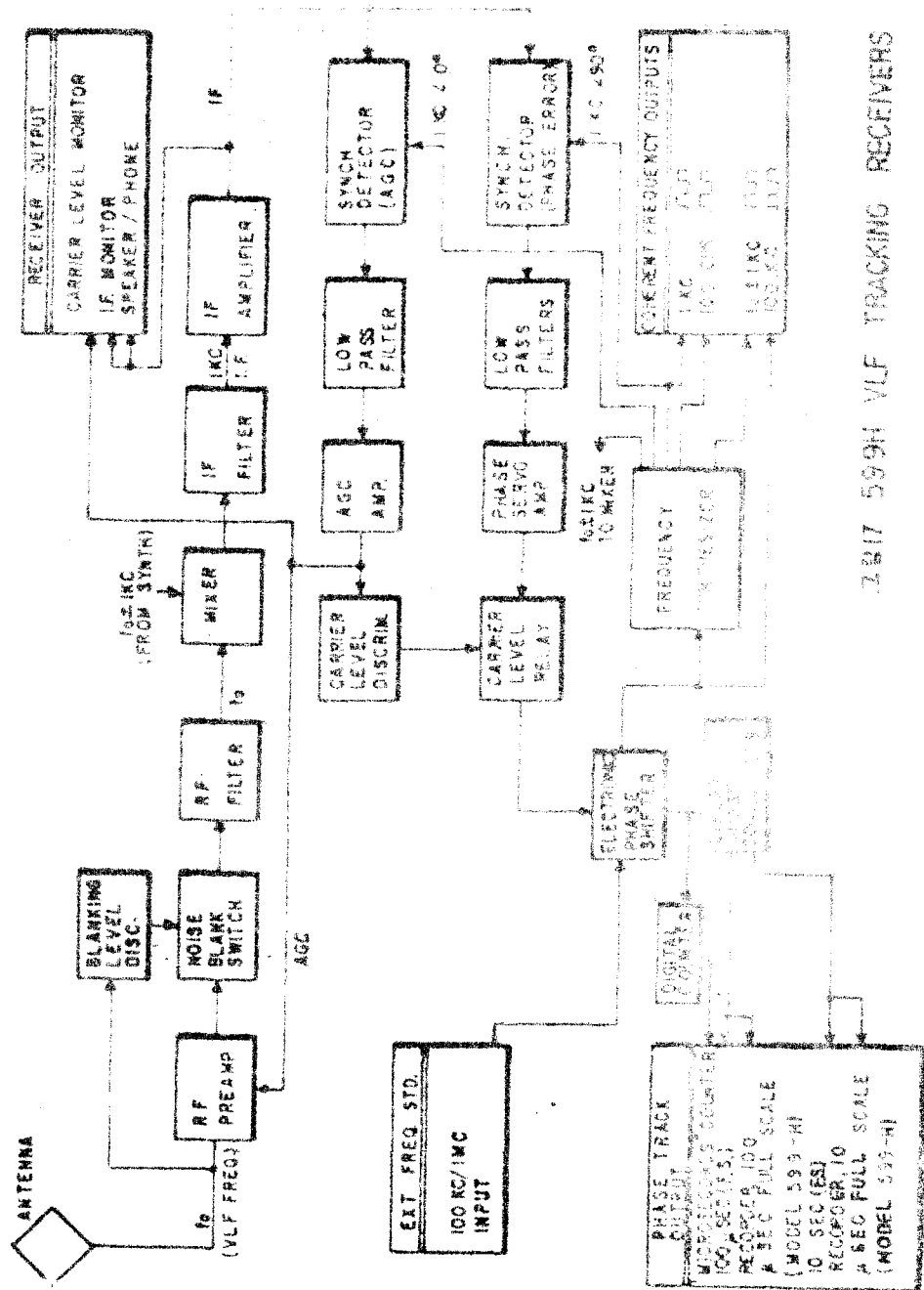
수신감도가 약한 VLF 신호와 동시에 나타나는 강한 잡음중에서 VLF 신호를 수신하기 위한 본 위상제어식 VLF 수신기의 특기할만한 성능으로서 주파수 선택 회로에 잡음감소장치가 있어서 공전형상과 충격잡음의 영향을 감소시키고 있다.

수신 Antenna는 VLF 전파 발사국과 당 연구소와의 대원

거리가 최소 1,000 km를 넘음으로 16 도에 보이는 바와같은 역 L  
형 Antenna를 설치하여 수신에 임하였다.



16 도 VLF 수신용 Antenna







Station		Antenna (e)		Number of simultaneous transmissions	Period of operation		Standard frequencies used		Duration of emission		Accuracy of frequency and time intervals (parts in 10 <sup>10</sup> )	Method of adjustment of time signal
Call sign	Approximate location	Type	Carrier power (K W)		Days/week	Hours/day	Carrier (KHz)	Modulation (Hz)	Time signal (min)	Audio-modulation (min)		
NFG/MLK (1)(32)	Jim Creek Washington U. S. A.	Omi-directional	1.00 250(2)	1	7	24	18.6	nil	nil	nil	0.5	nil
NWC (22)(32) <sup>(1)</sup>	North West Cape, Australia	Omi-directional	100.(2)	1	7	24	15.5 22.3	nil	nil	nil	0.5	nil
NDT	JAPAN AICHI KARIYA	30° E 137° E	200	6	24	24	17.40 17.45	F.S.K.	nil	nil	0.1	nil

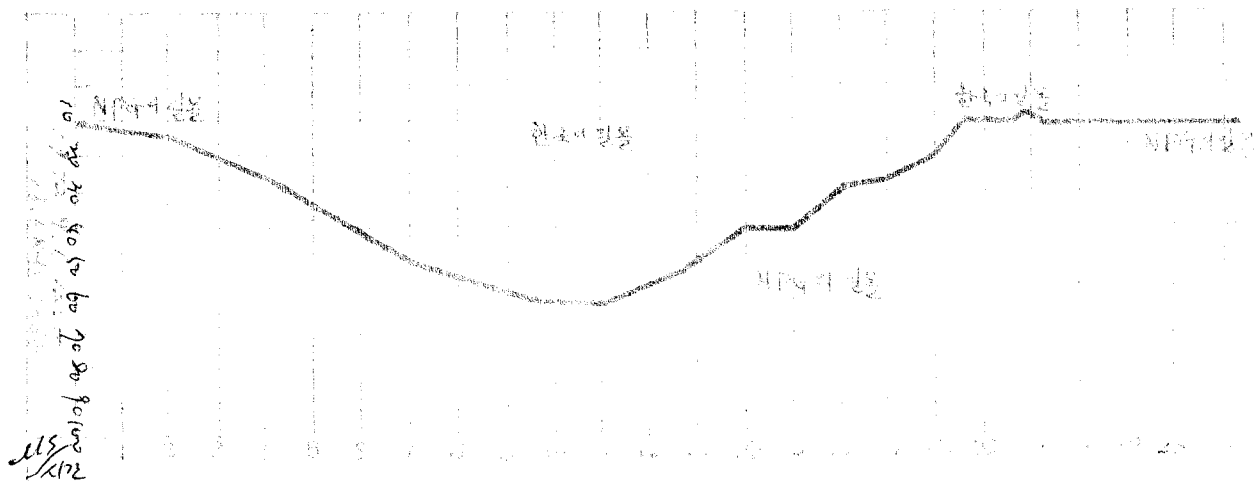
도표 6. 방연구소에 수신가능 VLF 표준전파 발사국

#### 4-3. NPG/NLK 표준전파 (18.6K Hz 18도 참조) 수신에 의한 비교측정

NPG/NLK 표준전파 발사지점인 미국 WASHINGTON JIM GREEK 와  
본 전파연구소 간의 대원거리 8,840 km라는 원거리 전파전파로에  
설쳐 송수신계통에 포함된 잡음과 우주잡음 대기잡음 인공잡음에 있  
어 특히 장파대에서 문제가 되는 기상잡음으로서의 공전잡음의 영향  
이 문제이며 원방에서 발생하는 공전에 의해 요란되어진 전자계는  
전리층 전파전파를 반복 함에 충격성불 잃고 연속적인 잡음과 같은  
양상을 갖어 통상 장파대 신호의 전파특성과 유사한 경향을 보임에  
의한 수신기에 미치는 영향이 크므로 수신기의 Microsecond Se-  
rvo Time constand를 15의 위치에 놓고 비교측정에 임하였다.

수신 전계강도치는 주간 평상 30dB 야간 28dB 로 수신되어졌으며 주  
야간의 차는 2dB 를 읽을수 있었다.

전술한바와같이 송수신 지점이 원거리이므로 한국이 주간인동안 NPG  
/NLK 표준전파 발사지점은 야간으로 되는등 주야간 혼재로되어 주야  
간 구별하여 비교측정치를 넣기에 곤란하였는데 한국과 NDT/NLK 표  
준전파 발사지점이 동시에 낮동안인 3.5 시간 ( 9 월 7 일 ) 07 시 30분  
~ 11 시 00 분 ) 동안에  $1\mu S$ 의 위상변동기록을 읽어 비교정도  $\Delta f/f =$   
 $+ 7.936 \times 10^{-11}$ 을 얻었고 24 시간 ( 9 월 6 일 정오 ~ 9 월 7 일 정오 )  
비교측정에 있어서는  $+ 4\mu S$ 의 위상변화기록을 읽어 비교정도  $\Delta f/f =$   
 $+ 4.629 \times 10^{-11}$ 을 얻었다.



18 도 NPG/NLK VLF 표준전파 수신기록

#### 4-4. NDT 표준전파 (17.40KHz) 수신에 의한 비교측정

일본 Aichi Kariya에서 발사 전파 17.40K Hz 를 수신한 결과 (19 도참조)로서 주간에 전파전파에 의한 위상변동을 측정정도  $0.1\mu S$  이하로 얻을수 있었으며 야간 및 일출몰시에는  $0.2\mu S$  로 수신기의 Micro Secound Counter로 기록할 수 있었다.

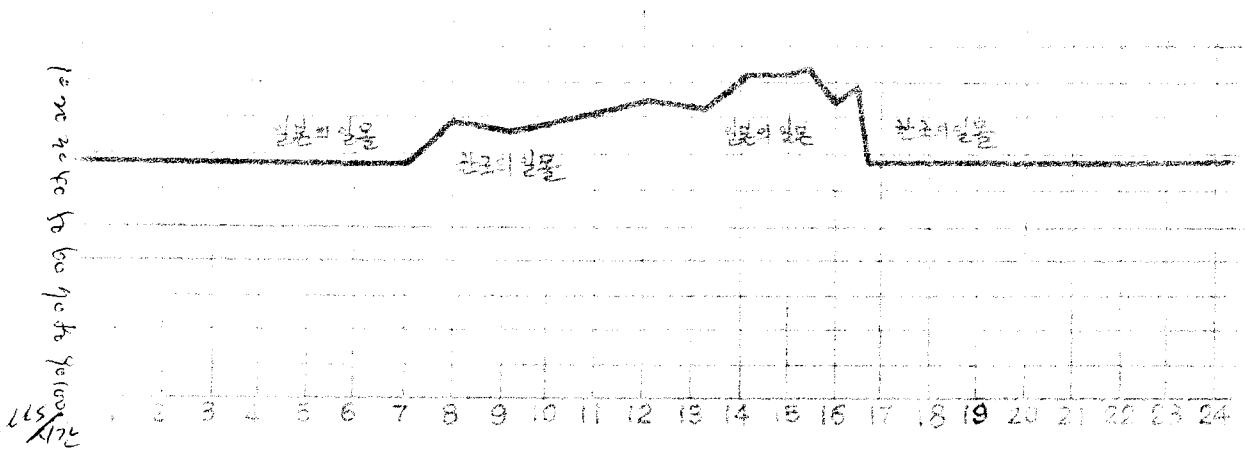
수신주파수정도는  $\Delta f/f$  를 24 시간 (7 월 24 일 12 시 ~ 7 월 25 일 12 시) 측정동안에  $-1\mu S$  로 극히 적은 값으로 변화하여  $-1, 175 \times 10^{11}$  으로 올릴수 있었고 야간의 비교정도는 11 시간 비교측정 (7 월 ~ 24 일 19 시 30 분 ~ 25 일 6 시 30 분) 측정동안  $-30\mu S$  로 변화하여  $-7.5757 \times 10^{11}$  의 비교정도를 얻었다.

전계강도는 평균 57dB이며 주야간의 차이는 3 ~ 4 dB를 넘었다.

야간 및 일출몰시에 일어나는 위상변동은 주간에 비하여 커서

공간과의 영향이 있음을 알수있고 수신공중선의 수신편과의 다름에 의한 변동량의 차이는 수직면 지향특성의 차에 기인한것으로 본다.

또 주간에 있어 위상변동량이 적은것은 하루 전리층반사면의 안정함에 의한것으로 추측한다.



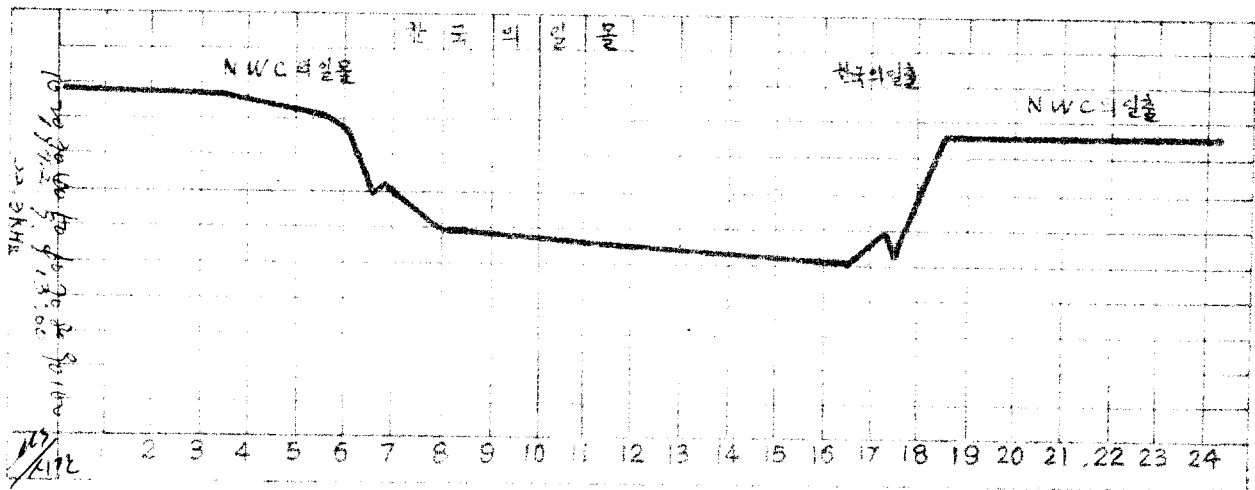
4-5. NWC 표준전파 (22.3KHz 도표6참조) 수신에 의한 비교측정  
20도에 NWC 표준전파 수신위상 기록의 예를 보이었다. 전계강도는 주간 평균 56dB 이고 야간은 주간보다 낮은 48dB로서 주야간의 차이는 컸다.

일출몰시에는 예외없이 전계강도가 저하하며 일출 30분후와 일몰 30전후동안은 특히 심한변화를 하는데 이는 주야간 반사층형성 과정에 따른 영향으로 보인다.

수신위상은 주간은 대단히 안정하여 3시간비교(10일 10시~10일 13시)에서  $0.5\mu S$  변화하여  $\Delta f/f = 4.628 \times 10^{-11}$  의 비교정도

를 얻었다.

한국과 NWC 표준전파 발사지점인 Australia 의 North West Cape  
이 완전한 야간중인 5 시간 ( 9 일 10 시 ~ 10 일 03 시 ) 비교측정  
에서  $0.5\mu S$ 의 변화를 읽어  $\Delta f/f = \pm 2.777 \times 10^{-11}$ 의 비교정도  
를 얻었고 24 시간 비교 ( 9 월 9 일 정오 ~ 9 월 10 일 정오 )에서  
 $\pm 6\mu S$  변화를 읽어 비교정도  $\Delta f/f = + 6.944 \times 10^{-11}$ 를 얻었다.



20 도 NWC(22.3KHz) VLF 표준전파수신기록

## 결 론

1. 원자주파수원기의 이용에 있어 측정기술도 각종 정밀과학분야와 병행하여야 할것이므로 주파수 안정도의 상호관계와 표준기의 잡음과 안정도의 관계에 대하여 고찰하였다.
2. 세계각국 공통 일차주파수 표준원기인 Cesium beam 원자주파수 표준원기에 있어서 그 심장부인 Cesium beam 관의 동작상태에 대하여 고찰 파악하였다.
3. 국가의 주파수를 규정지을 표준원기이므로 철저한 항온 항습 시설 및 지자기변화의 영향을 없이 하여 원기주위 외부조건 of 일일변화, 계절변화 및 연간변화가 없도록 하여야함은 물론 원자주파수 표준원기도 규정확도 이내에서는 변화하고 있으므로 똑 같은 확도의 원기가 1대더 있어야 한다.
4. Cesium beam 원자표준원기를 이용하여 실용원기인 Quartz oscillator의 교정 및 동작상태를 파악하였는데 107BR Quartz oscillator의 fine freq adj은 0280의 위치이며 규정확도 유지를 위하여 주기적인 교정을 하여줄 필요가 있다.
5. VLF외국 표준전파 수신기록은 일일분의 평균주파수차는  $\pm 1 \times 10^{11}$  이내 에 유지된다. 주간의 수신위상은 대단히 안정하고 송신측의 변동을 포함해도 1일 간에  $\pm 1 \times 10^{11}$  이상의 주파수 비교가 가능하다. 지자기의 각종변화(영년변화, 일일변화, 자기란 등) 및 VLF대에서 각종잡음의 자료가있어 더욱 정밀한 분석을 못하였음을 아쉬웁게 생각하며 원거리 전파의 이용에 있어 일할물시간 전후의 이용은 피하여야 할것이다.

## 참 고 문 헌

1. Frequency and time standard (Hp co)
2. 時の科学
3. Cesium Beam Frequency Standard(HP)
4. 107-BR Quartz Oscillator.
5. 周波数標準資料 第1集
6. 周波数標準資料 第2集
7. 기술참고자료집 - 3
8. 原子周波数標準と 秒の 再定義  
(応用物理 第36巻第10号)
9. 周波数の 研究と 標準電波
10. 周波数 標準器の 安定度について(電子通信学会)
11. 日本 電波研究所報 (VOL 11 No. 56)
12. 日本 電波研究所報 (VOL 13 No. 65)
13. 通信工学 ハンドブック(丸善)
14. 無線工学 ハンドブック(オーム社)
15. うるう秒 延生(電子通信学会雑誌 第50巻12号)
16. 천측력(1972, 교통부 수로국)
17. Digital Synchronometer Time Comparator(QR)
18. VLF RECEIVER(tracor-599H)
19. C.C.I.R. XII th PLENARY ASSEMBLY(1970).
20. ELECTRICAL ENGINEERS' HANDBOOK