

표준주파수확보에 관한 연구

1 . 서 론

위성통신, 전 세계적인 시계 (Time System) 의 동기, 원자주파수 표준 (Atomic Frequency Standards) 의 국제적인 비교 천문학, 우주항행 표준연구등등, 모든 발전의 범위는 전 세계적이며 급속도로 발전한 전자공업은 고도의 정밀한 표준 주파수와 시 신호를 요구하고 있다. 이 처럼 정밀주파수 표준의 이용 범위는 연대 과학 발전의 척도로서 다양한 연구가 진행되고 있는 것이다.

1921년 국제통신회의에서 국제 주파수 표준설정이 논의된 이후 50여년간 연구를 거듭해 오며 따라 연재는 원자 주파수 표준원기의 연구 개발로 그의 확도 및 안정도는 10^{-13} 이라는 고확도를 바라보게 되었다.

1967년 10월 파리에서 개최된 제13차 국제도량형 총회에서 ^{133}Cs 133의 미세 전이 주파수 9192631770 Hz 를 시각의 단위로 정식채용 하므로써 인류는 역사상 처음으로 역표시법에서 원자 주파수에 의한 시각으로 시간을 확보하게 되었다.

국내에서도 표준 주파수 (시) 확보를 위한 연구를 본 연구소에서 진행 해오고 있는바 10여년전에 도입한 T-1100 A 주파수 원기 2대를 보유하고 있고 최근에는 107 BR 원기 및 5061 - A Cesium Beam 주파수 표준원기를 보유하여 그확도를 10^{-10} 까지 유지하기에 이르렀다.

금년에는 이미 작년까지 연구해온 결과를 밑받침하여 이의 확도를 개선하고 원기를 규정확도 이내로 계속 유지하기 위한 관리방

압을 모색하였고 분해능 (Resolution) 이 가장 양호한 T-1123-A Digital Synchronometer (시각 비교장치) 를 사용하여 일본국의 표준단파 (10^{-10}) JJY 와의 정밀시각 비교측정 및 X-tal 의 주파수 교정 방법 등을 연구 하였으며 난파를 이용할 경우 전리층층의 영향으로 많은 오차를 수반하게 되므로 금후 이러한 오차가 비교적 적은, 상태가 양호한 통신방법으로 저주파를 이용한 교정방법을 채택할 목적으로 저주파수신기를 조사 연구하였고 아울러 원자 주파수 표준 원기인 5061-A Cs Beam 주파수 표준원기에 대하여 장기 가동에 앞선 준비 작업으로 기기 성능 파악과 회로분석에 역점을 두어 연구 하였다.

본 연구소에서는 이러한 세계 추세에 보조해 나가기 위해 최선의 방법으로 주파수 및 시각 확보에 노력하고 있으며 금후로는 국내 시의 통일은 물론 각종 정밀 측정에 많은 기여가 될 것으로 믿는다.

2. T-1100 A 원기의 주파수 변화 및 관리 방안

T-1100 A 원기는 선년도 까지 연구하여 온 특성조사와 일본
국 JJY와 비교측정 해온 자료에 의하여 70년도에는 금후 관리
하기 위한 방안에 대하여 연구하였다.

그 동안 수차에 걸쳐 측정하여 온 자료에 의해서 원기의 안정
도를 $\pm 1 \times 10^{-7}$ 까지 유지해 나가고 있으며 원기의 제원상에
나타난 $\pm 1 \times 10^{-8}$ 의 확도 및 인정도를 유지시키기 위해서는
다음의 조건을 고려해야 한다.

A. 실내온도가 원기에 미치는 영향

일반적으로 2층 항온조에 설치 되어 있는 X-Ta1 원기
는 외부온도 1°C 변화당 100분의 1의 변화를 받는다.

T-1100 A 원기는 X-Ta1이 단일 항온조 내에 내장되어 있으
므로 온도에 따른 변화가 예민하며 그 변화량을 직접 실험에 의
해서 자료를 얻어 불려고 했으나 당 연구소의 시설이 허락하질
않아 원기의 제원상에 나타난 주파수대 온도계수로서 일 변화와
제절 변화에 따른 영향을 분석하여 보았다.

원기의 주파수대 온도계수 : $1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

실내온도의 일 변화 : 여름 $\sim 20^{\circ}\text{C}$

겨울 \sim 약 15°C

실내온도의 제절변화 : 약 30°C

(여름과 겨울의 차이)

상기 변화량에 대하여 안정도를 구하여 보면

$$\text{여름철} \quad 20 \times (1 \times 10^{-6}) = 2 \times 10^{-5}$$

$$\text{겨울철} \quad 15 \times (1 \times 10^{-6}) = 15 \times 10^{-6}$$

$$\text{계절변화} \quad 30 \times (1 \times 10^{-6}) = 3 \times 10^{-5}$$

이상과 같이 주위온도가 원기에 미치는 영향은 매우 크다. 따라서 원기를 설치한 실내에는 항온 시설을 갖추워야만 한다.

T-1100 A 원기의 안정도를 계속 유지하기 위해서는 무엇보다도 항온 시설은 불가피한 문제이다.

B. 전원 전압변동이 원기에 미치는 영향

전원 전압 변동에 따른 원기의 주파수 변화량은 2×10^{-8} (선 전압의 10% 변화당) 이므로 상용 교류 전압을 사용시 원기 실 전원에 자동전압 조절 장치가 설치되어 있으므로 이에 따른 주파수 변화는 무시할 수 있다. 왜냐하면 자동전압 조절장치의 교정치가 5% 이내이기 때문이다. 그러나 정전이 되었을 때에는 직류 전원을 사용하므로 축전기 1개당 5%의 전압 변동을 일으키나 충분한 충전 시설이 갖추어져 있다면 역시 무시할 수 있다.

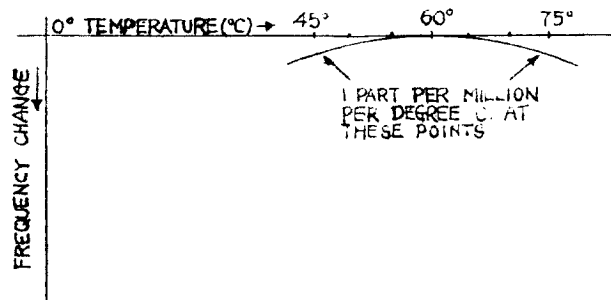


그림 1. TYPE 1190-A QUARTZ BAR
의 주파수 온도 특성

당 연구소에서는 70년 10월에 직류 전원시설을 216 AH, 32 V로 증설하였으며 원기의 소요량은 30 W, 32 V, 선전류 약 1.2 A 이므로 몇 시간의 정전으로서는 축전지 전압 강하는 무시할 수 있다.

이상의 조건에서 원기를 $\pm 1 \times 10^{-8}$ 의 안정도로 관리해 나가기 위해서는 원기실내에 자동온도 조절장치를 설치해야만 할 것이고 이 외에도 습도에 따른 변화가 있으나 습도 1%의 변화는 10^{-9} 의 변화를 받으므로 실내의 습도를 $\pm 10\%$ 범위 내에서 유지하면 원기에 미치는 영향은 무시할 수 있게 된다. 습도와 온도는 상호 밀접한 관계가 있으므로 향온 향습 시설을 겸하게 되면 본 원기의 관리는 어렵지 않다. 그리고 현재 고화도의 원기인 107 BR 원기와 세시움 빔 원기를 보유하고 있으므로 사실상 T-1100 A 원기는 주파수(시)의 재원으로서의 가치 남에 없는 것이다.

기간 70년 3월 ~ 70년 12월
 제 2변화에 따른 선리증의 변동폭 : $\pm 150 \mu s$
 일변화폭 (주야) : $\pm 100 \mu s$
 순간변화폭 (수신상태 가장 양호할 시) : $\pm 25 \mu s$
 이상은 종합적인 자료의 평균치 임.

B. 측정 Data < DATA 1 >

기간 70. 11. 7 ~ 70. 11. 13

비교선과 및 원기 : 일본국 J J Y 15 M HZ 와 107 BR
 주파수 표준원기

“ 주 ”

J J Y의 발사 선과 폭도 : $\pm 1 \times 10^{-10}$

107 BR 원기의 특성

단기안정도 (1 Sec) : 1.5×10^{-11}

안정도 : $\pm 1 \times 10^{-10}$ ($0^{\circ}C \sim 50^{\circ}C$)

교화율 : $\pm 5 \times 10^{-10}/day$ 이하

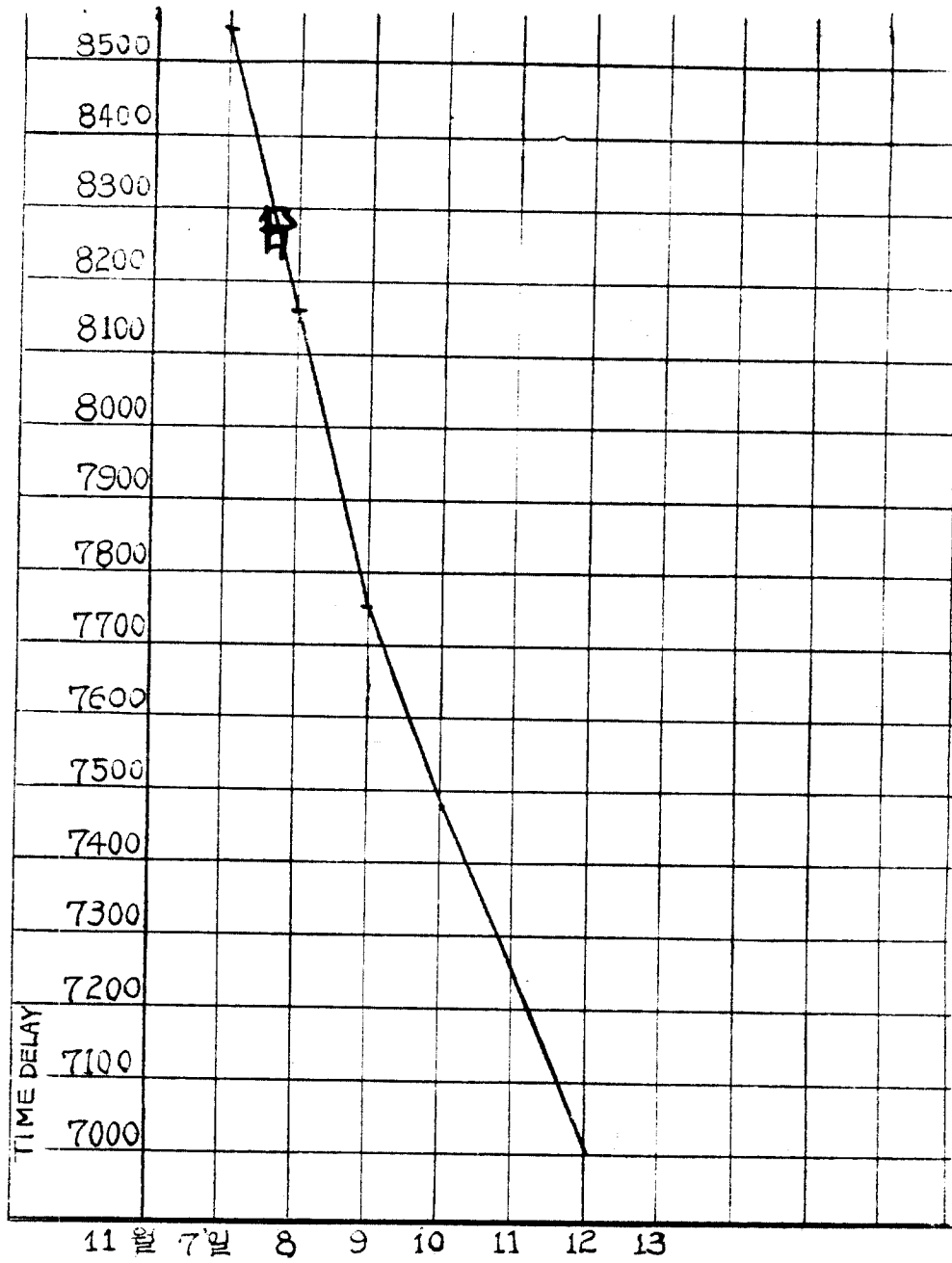
선선압에 대한 안정도 (115 V AC) : $\pm 1 \times 10^{-11}$

부하에 대한 안정도 : $\pm 2 \times 10^{-11}$

출 력 : 5 M HZ, 1 M HZ, 100 M HZ 와 시계 동작용 100
 K HZ .

X-Tal 주파수 : 5 M HZ (그중 항온조와 Ac 회로부)

지난 10 월까지의 측정자료는 수신상태 불량으로 변동폭이 $100 \mu s$ 내외가
 되어 자료로서의 가치가 없기에 11 월 이후의 측정자료만 분석하였
 다.



도 표 1

© 2017 Pearson Education, Inc. or its affiliate(s). All rights reserved. This publication is protected by copyright. Permission is granted to reproduce copies of this publication for personal or internal reference use only. No other reproduction, distribution, or sale is permitted without written permission from Pearson Education, Inc.

REFERENCE

1970. 11. 7. 토요일 날씨 TEMP °C MAX MIN

[illegible]

상기 자료에서 Time Delay 치는 약 $250 \mu s$ 정도의 값으로 동기되고 있으므로 원기의 발진 주파수는 ^{5-6 see}

$$\frac{\Delta t}{T} = \frac{-250}{8.64 \times 10^{10}} \div -3 \times 10^{-9}$$

$$\frac{\Delta f}{f} = -3 \times 10^{-9}$$

$$F_r = 5 \text{ M H}_z \text{ (107 BR 원기의 X-Tal 주파수)}$$

$$\Delta f = 5 \times 10^6 \times (-3 \times 10^{-9}) = -15 \times 10^{-3}$$

$$\therefore F_t = F_r + (-15 \times 10^{-3}) = 5 \text{ M H}_z - 0.013 \text{ H}_z$$

이상과 같이 X-Tal 발진 주파수 (F_t)는 5 M H_z 보다 약 0.013 H_z 낮은 상태에서 계속 머물러 있다고 보며 이 발진원기의 Ageing Rate는 측정오차가 크고 확도가 낮으므로 구할 수가 없었으나 도표 1에서 보는 바와 같이 Time Delay 값은 안측으로 완만한 곡선을 그리고 있음을 알 수 있으며 이것은 원기가 지닌 Ageing Rate이나 좀더 계속적인 자료에 의해서 만이 그 값을 계산할 수가 있을 것이다.

" 주 " 상기 그래프 1은 수신신호와 동기시켰을때 Time Delay 값을 그린 것이므로 표준시 (J J Y)와 갖은 Error값으로 그래프를 그리다면 반대로 된다.

< DATA 2 >

기간 70. 11. 14 ~ 70. 11. 26

비교전파 및 원기: 일본국 J J Y 15 M H_z 와 107 BR

주파수 표준원기

원 기의 주위 온도 : $16.5^{\circ}\text{C} \sim 17.5^{\circ}\text{C}$

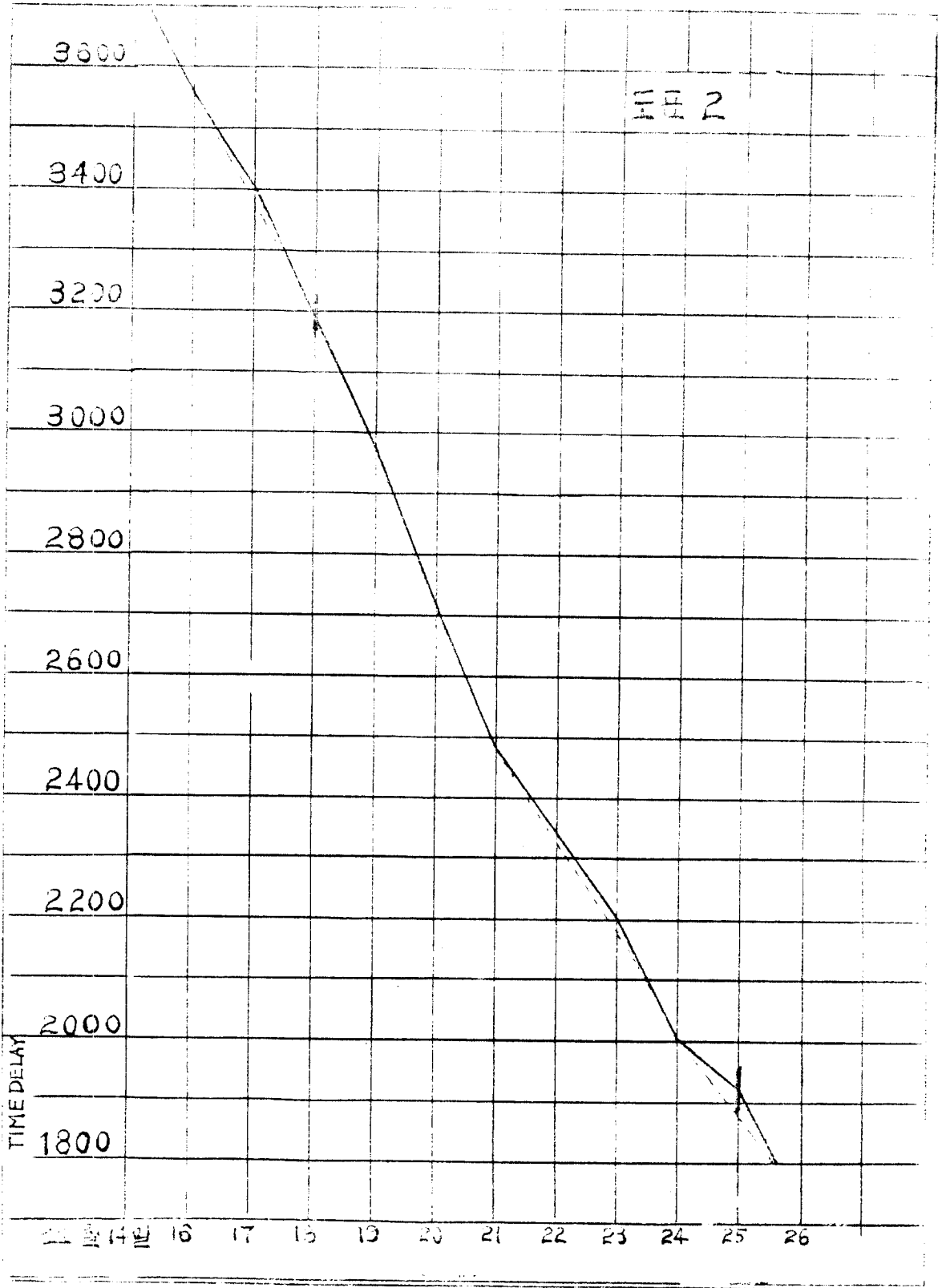
측정시간 : 매일 오전 9시 45분

11월의 측정은 15일과 23일 두 차례의 실내 온도 변화가 있었고 수신 상태는 비교적 양호하여 비교 확도를 10^{-9} 까지 올릴 수가 있었다.

매일 오전 9시 45분에 계속 측정을 하여 Time Delay 값을 그래프상에 나타내고 이 곡선을 어느정도 완만하게 수정한 다음 아래 자료를 얻었다.

11월 14일부터 11월 21일까지는 Δt 값이 약 $200\ \mu\text{s}$ 를 전후하여 벌어지나 22일부터는 Δt 의 값이 약 $160\ \mu\text{s}$ 를 전후로 벌어지는 것을 알 수가 있다.

EE 2



비 교 측 정

REFERENCE

1970. 11. 14. 토요일 날씨 TEMP °C MAX MIN							
시 간	온 도	습 도	TIME DELAY (μ s)	Δ T (μ s)	T	$\Delta T/T$ 10^{-9}	비 고
70.11.14			723905		(AM) 9.45		
15			3710	195		- 2,257	
16			3530	180	48 h 30 M	- 2,083	
17			3370	160	24 h	- 1,853	
18			3180	190	24 h	- 2.2	
19			2955	225	24 h	- 2,604	
20			2710	245		- 2,835	
21			2485	225	48 h	- 2,604	
22			2330	155		- 1.8	
23			2190	140	48 h	- 1.62	
24			2010	180	24 h	- 2,083	
25			1880	130	24 h	- 1.5	
26			1720	150	24 h	- 1,737	
기록사항							

이상의 자료로서 발진원기의 주파수를 구하면

원기의 발진 주파수 5 MHz 에 대하여

$$\frac{\Delta t}{T} = \frac{-200}{8.64 \times 10^{10}} \doteq -2.3 \times 10^{-9}$$

$$\frac{\Delta t}{T} = \frac{-160}{8.64 \times 10^{10}} \doteq -1.85 \times 10^{-9}$$

$$\frac{\Delta t}{T} = \frac{\Delta f}{f} \text{ 에서}$$

$$\Delta f = (5 \times 10^6) \times (-2.3 \times 10^{-9}) = -0.0115 \text{ Hz}$$

$$\Delta f = (5 \times 10^6) \times (-1.85 \times 10^{-9}) = -0.009 \text{ Hz}$$

발진 주파수 F_t 는

$$\Delta t = 200 \text{ } \mu\text{s} \text{ 때}$$

$$F_r + (-0.0115 \text{ Hz}) = 4,999,999,985 \text{ Hz}$$

$$\Delta t = 160 \text{ } \mu \text{ 때}$$

$$F_r + (-0.009 \text{ Hz}) = 4,999,999,991 \text{ Hz}$$

원기의 발진 주파수는 공칭 주파수 (F) 보다 약 0.0115 Hz
 내지 0.009 Hz 낮은 곳에서 유지하고 있으므로 이것을 어느정도
 F_r 값에 일치 시키기 위하여 주파수 교정을 하여 보상해 줄 수도
 있었으나 계속적인 자료를 얻을 목적으로 초기 상태를 그대로 두었
 다.

상기의 도표에서도 11월 7일부터 13일 도표와 마찬가지로
 Time Delay 값이 18일 부터는 안쪽으로 굽는 완만한 곡선을 그리
 며 벌어지는 것을 알 수 있다.

< DATA 3 >

기간 : 70. 11. 26 ~ 70. 12. 16

비교전파 및 원기 : 일본 J J Y (15 M H z) 과 107 BR 표준

주파수 원기

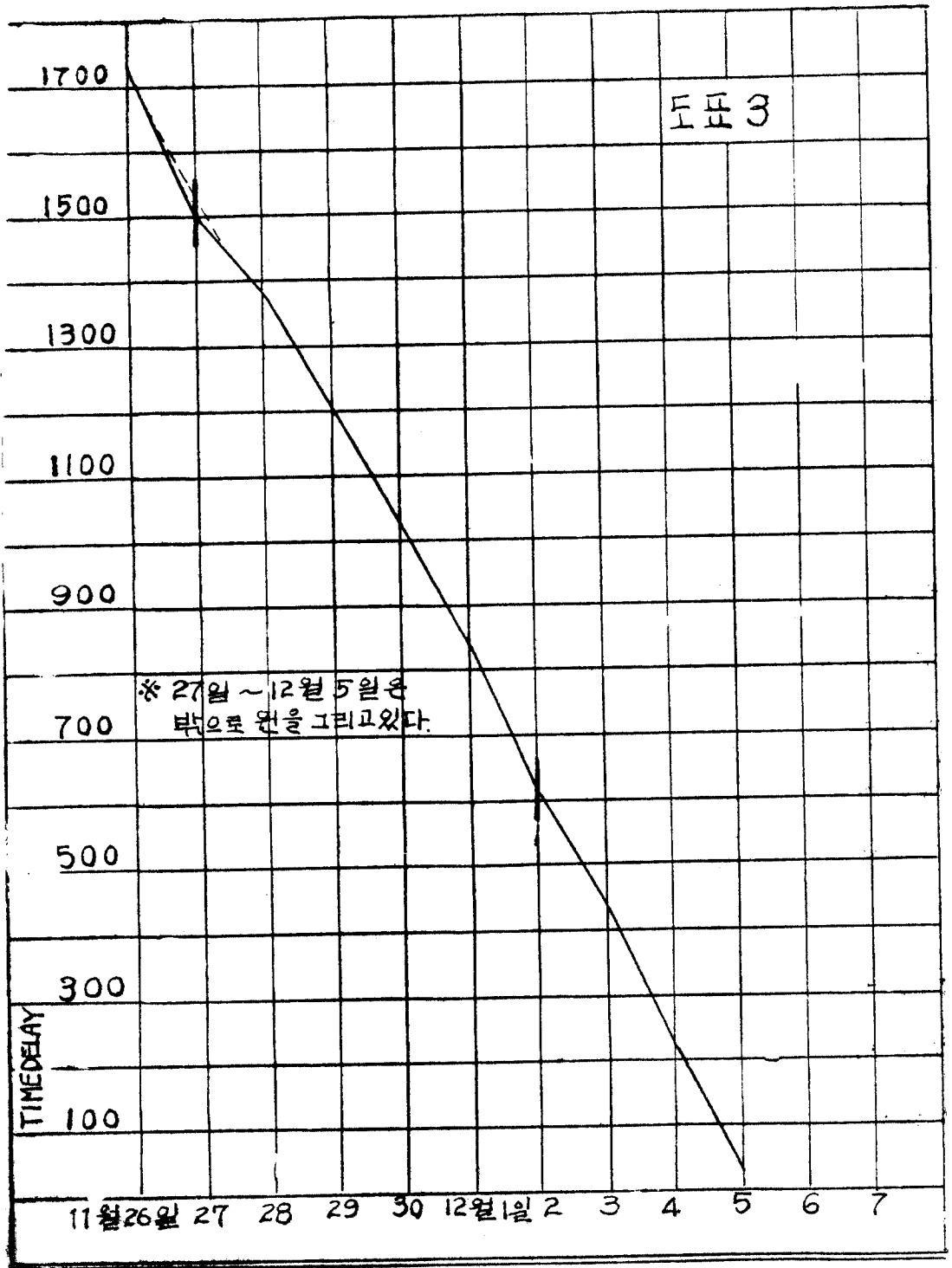
원기주위온도 : 주간 약 22 ° C (평균치)

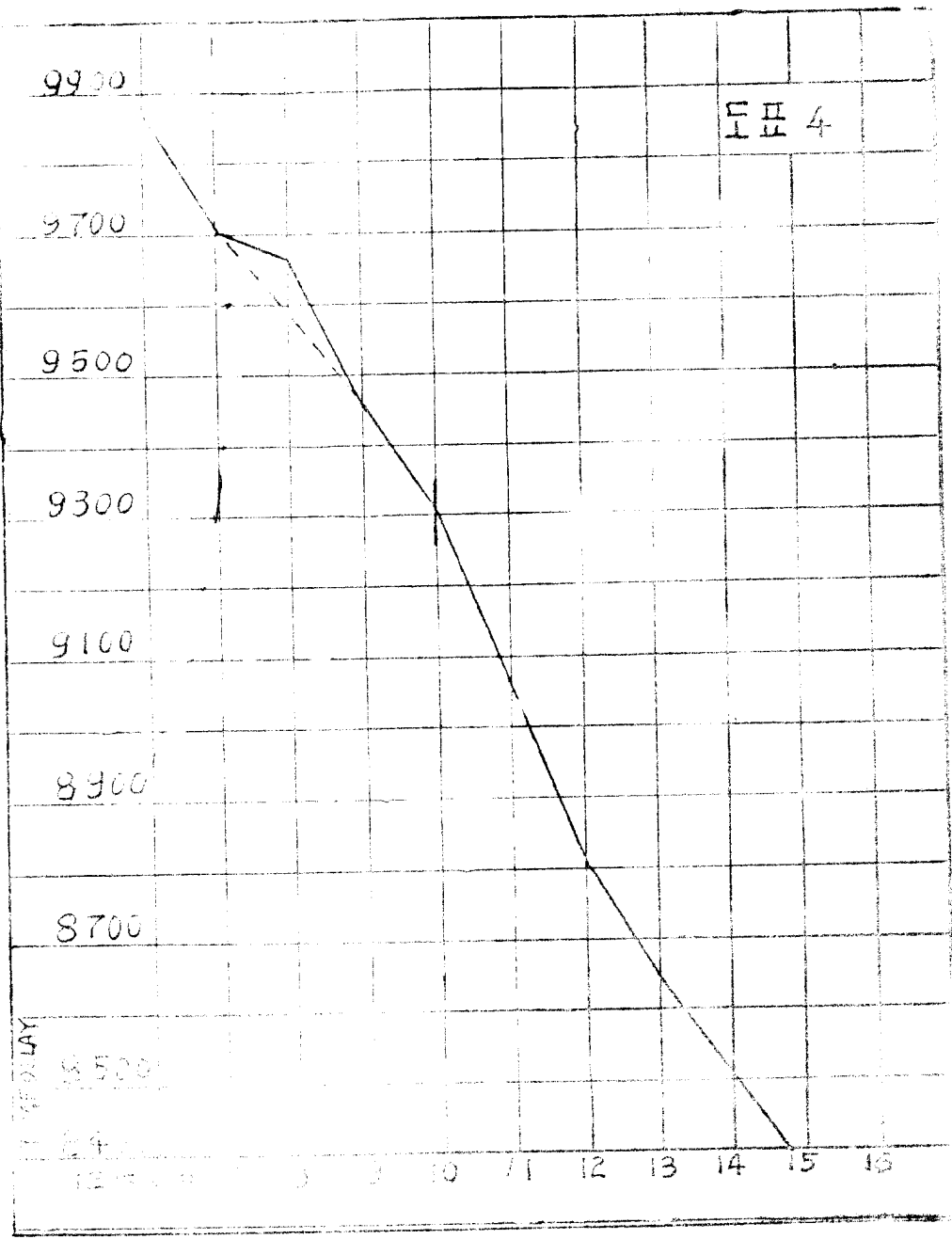
야간 약 16 ° C (평균치)

측정시간 : 매일 오전 9 시 45 분

12월 8일에 Time Delay 값이 이상 변화를 하였으나 이는 원기의 이상 변화 현상이라기 보다는 송신측에서 Offset가 있었거나 측정 불량에서 오는 현상이라고 보며 아직까지는 정확한 원인은 알 수가 없다.

비교측정시 수신상태가 매우 양호 할 때는 9 시 40분에서 9 시 45분의 5분 동안인데 이 사이에 전리층이 약 10 μ s 높아지는 것을 알 수 있었다.





비 교 측 정

REFERENCE

1970. 11. 26

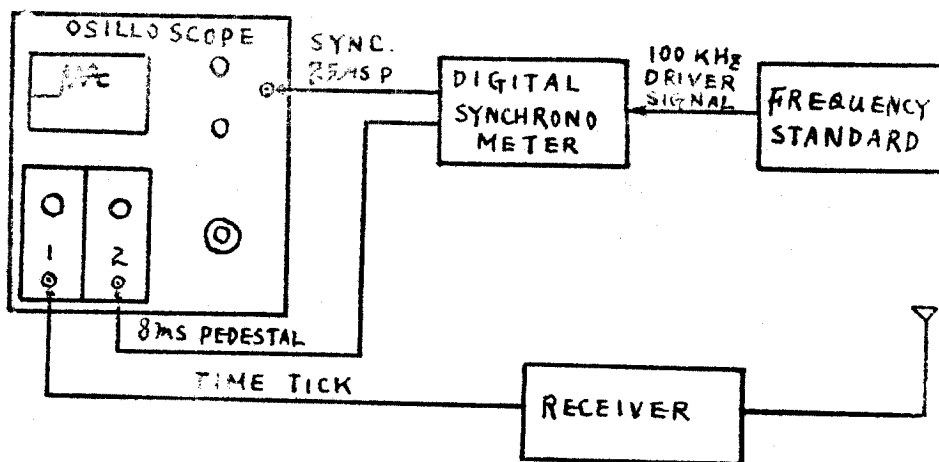
요일 날씨

TEMP °C MAX MIN

시 간	온 도	습 도	TIMEDELAY (μs)	ΔT (μs)	T	$\Delta T/T$	비 고
70.11. 26			721720		(AM) 9.45		
27			1520	200	24 h	- 2.31	
28			1375	145	24 h	- 1.68	
29			1205	170		- 1.97	
30			1025	180	48 h	- 2.083	
12. 1			850	175	24 h	- 2.14	
2			630	220	"	- 2.55	
3			455	175	"	- 2.025	9.40 ~ 9.45 분 사이 에 10 μs 변 동
4			240	215	"	- 2.49	
5			650	190	24 h	- 2.2	
6			9370	180		- 2.083	
7			9710	160	48 h	- 1.853	
8			9570	140	24 h	- 1.62	비 정 상
9			9450	120	"	- 1.39	
10			9300	150	"	- 1.737	
기록사항							

[illegible]

비교 측정 기기 결선도



사용 측정기 명

1. TYPE 544 OSCILLOSCOPE (H.P)
2. T-1123-A DIGITAL SYNCHRONO METER (G.E)
3. 102 BR FREQUENCY STANDARD
4. 5114 HF RECEIVER (COLLINS.)

이상의 수정된 자료에서 보는 바와 같이 Time Delay 값이 1 일 약 $170 \mu s$ 정도 벌어지고 있으며 $\Delta t / T$ 의 값은 1.97×10^{-9} 이므로 발진주파수 F_t 는 ($F_r = 5 \text{ MHz}$ 일때) $5000000 - 0.00985 \text{ Hz}$ 이다.

도표 3-1 및 3-2에서도 11월 26일부터 12월 2일까지는 밖일 쪽으로 곡선을 그렸으나 12월 10일부터 12월 15일에는 안쪽으로 완만한 곡선을 그리고 있다.

이것은 그동안 측정분석한 자료에 의하면 발진원기의 Ageing Rate라기 보다는 외부 온도변화와 X-Tal 자체의 안정도라고 생각되며 변화주기는 약 5일로 나타났다. 이때의 평균 변화치를 구하여 보면 $\Delta t' (\text{/day})$ 값이 약 $20 \mu s$ 이므로

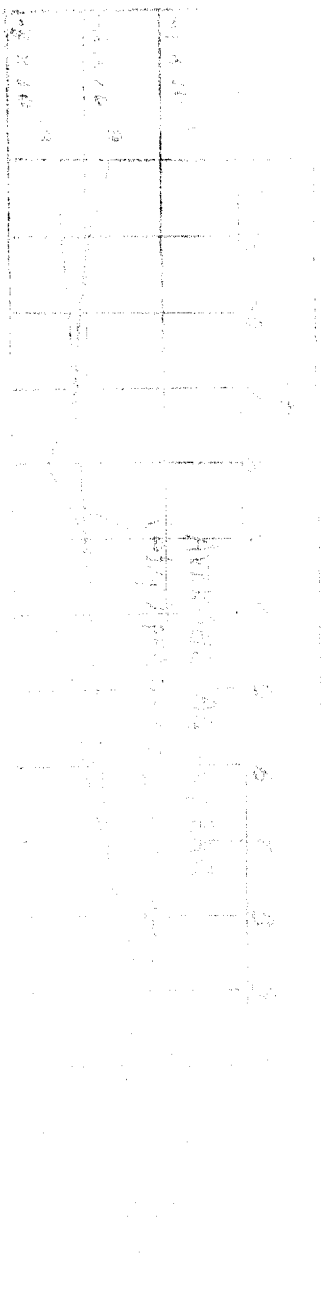
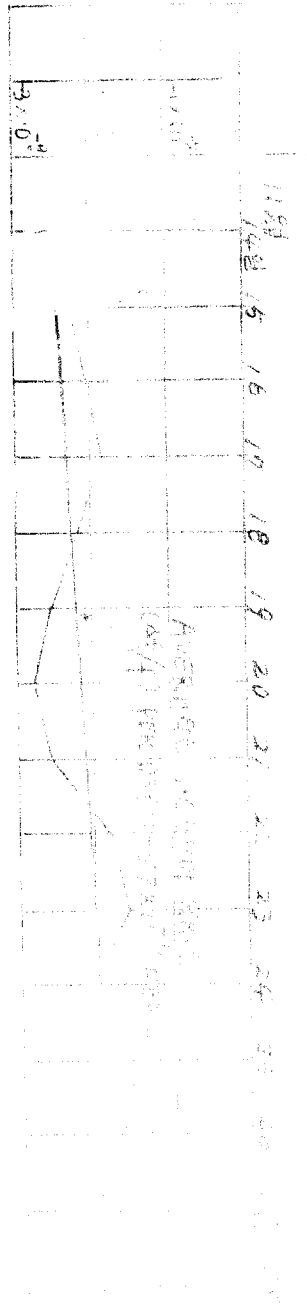
$$\frac{\Delta t'}{T} = \frac{20}{8.64 \times 10^{10}} = 2.3 \times 10^{-10}$$

고로 안정도는 $\pm 2.3 \times 10^{-10}$ 이다. (X-Tal 원기의 주위 온도변화 $25^\circ \text{C} \sim 15^\circ \text{C}$ 일때)

도표 3-3은 원기의 Ageing Rate를 알기 위하여 $\Delta f / f$ 의 값을 도표에 나타 낸 것이며 이 곡선의 평균치를 구하여 보면 30일 동안에 약 $5.5 \times 10^{-11} / \text{day}$ 정도로 발진주파수 (F_t)가 상승하고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 이것은 30일 동안만의 자료 분석이며 원기의 가동이 가동이 이제 1년 정도이고 보면 몇년의 경과 후에는 좀 다른 동작을 할줄로 안다.

원기의 X-Tal 주파수는 (공칭 5 MHz) 약 0.013 Hz (11월 초순경) 낮은 곳에서 시작하여 $\pm 2.3 \times 10^{-10}$ 이라는 안정도를

값고 서서히 Fr 값에 가까워 지고 있다. 이 Ageing Rate 값은 안정도가 훨씬 낮기 낮기 때문에 30일 동안의 측정치를 부분 미분하여 그 값에서 일일 값을 구한 것이며 이런 상태로 나아간다면 앞으로 (12월 16일부터) 약 75일이 경과하면 $X - Tal$ 발진주파수 Ft 는 공칭 주파수 Fr 와 일치할 것이다.



II AVERAGE AGEING RATE

4. VLF 수신기의 특성과 약 및 비교 측정

비교 측정을 할 경우 단파대 불 이용하게 되면 필연적으로 전리층의 변동에 따른 오차가 수반되는데 이 점을 개선하기 위해서 현재는 VLF (초장파)를 이용한 비교 측정 방식을 채택하기에 이르렀다.

VLF와는 D층과 지구 표면을 송파로 해서 전파하기 때문에 전리층의 영향이 극히 적으며 전파 전파 도중 전파가 변조되어 있을 경우에도 일반적으로 반송파만을 이용하므로 수신기의 종합 주파수 대폭을 좁게 하여 SN비를 개선할 수가 있는 것이다. 그러나 일반 수신기와 달라서 회로의 위상 안정도가 중요하므로 고주파, 중간 주파수대 폭을 너무 좁게 하는 것은 좋지 않다. 왜냐하면 대역폭이 좁은 필타의 위상특성은 급준하여지며 따라서 온도 변화에 의한 영향이 크기 때문이다. 그러므로 이러한 수신 장치에는 고주파, 중간 주파수 대폭을 가능한 한 넓게 하고 위상검파 후에 충분히 Cut OFF 하는 Low Pass Filter를 이용하여 혼신 잡음을 제거하도록 하는 것이 요망된다.

그러나 미약한 신호를 수신할 경우 신호는 잡음에 억제되고 또 강력한 혼신 방해도 있어서 목적하는 신호를 충분한 Level까지 증폭하려고 하면 이와같은 방해 신호를 증폭기가 포화되어 목적한 신호의 증폭이 되지 않고 증폭기의 위상특성의 변하여 측정이 부정확하게 될 우려가 있다. 그러므로 이전에 수신기의 주파수 대역폭을 제한하고 잡음 감도를 증폭기 포화 Level 이하로 해야 하

는데 그러기 위해서는 입력 동조부의 특성이 양호해야 만 한다.
 종래에 사용하던 LC 공진 회로로서는 부적당하므로 VLF 수신 장치에
 는 입력 동조부에 수정 필타를 사용하는데 수정 필타는 LC 공진기에
 비하여 1,000 배 정도의 안정도가 좋으므로 대역폭도 대단히 좁게
 할 수 있어 잡음 영향 등을 최소한도로 줄일 수가 있는 것이다.

본 연구소에 비치된 수신기 (599 - H TRACOR) 는 이러한 모든
 여건이 갖추어진 기기이므로 잡음 영향을 최소한으로 줄일 수 있도
 록 설계되어 있으며 비교측정 방식은 위상추미식으로 되어 있다.

" Note "

599 - H VLF 수신기의 성능 및 특성

주파수 범위 10 K Hz - 29.9 K Hz
 RF 여파기 광대역 혹은 협대역 여파기의 선택을 5
 단 SW로 할 수 있으며 광대역 필타는
 일반적으로 모든 Channel 의 수신에
 사용되며 협대역 필타는 특별한 주파수에
 있어 영상효과 제거와 부파대 선택에
 사용된다.

주파수 합성기 주파수 합성기는 10 K Hz - 29.9 K Hz
 사이에서 100 CPS씩 증가시켜 가면서
 국부발진 신호를 만든다.

시각차 기록장치 전자 Phase Servo 의 출력 Pulse로
 동작하는 앞면 Panel 의 계수식 카운타
 는 국부표준파 VLF 반송파와의 상대적

인 시각차를 나타낸다.

기록장치

Ink를 사용하지 않도록 된 Chart Recorder
는 국부표준파 V L F 반송파와의 상대적인
위상차를 기록한다.

기록속도는 시간당 1 Inch 이다. (뒷
Panel의 S W로 기록장치의 위상감도를
 $10 \mu s$ 또는 $100 \mu s$ 로 임의로 선택할
수 있다.)

Meter 표시

a. 상대적인 반송파 Level 을 나타냄. (전
체 눈금범위는 40 db)

b. 위상검파기의 오차전압을 표시한다.

보조출력

a. R F 반송파에 1 K H_z의 중간 주파수
및 위상이 합성된 V L F 국의 신호

b. 100 K H_z의 구형파 출력

c. 1 K H_z의 구형파 출력

d. 100 C P S의 구형파 출력

e. V L F 반송파로 부터 1 K H_z에 Off
Set된 Reference 주파수

※ 이들 출력은 뒷 Panel에서 BNC콘택트로
연결할 수 있게 되어 있다.

Audio 출력

1 K H_z의 중간주파수로 V L F 국을 감청하
기 위한 스피커 및 음량조절 장치가 있다.

대역폭

R F대역폭 — 협대역 필터 공정 500 C P S

I F대역폭 — 공칭 50 C P S

Servo대역폭 — 0.002 C P S ~ 0.06 C P S

Blanking 회로 충격잡음, 인공잡음 및 대기잡음을 소거

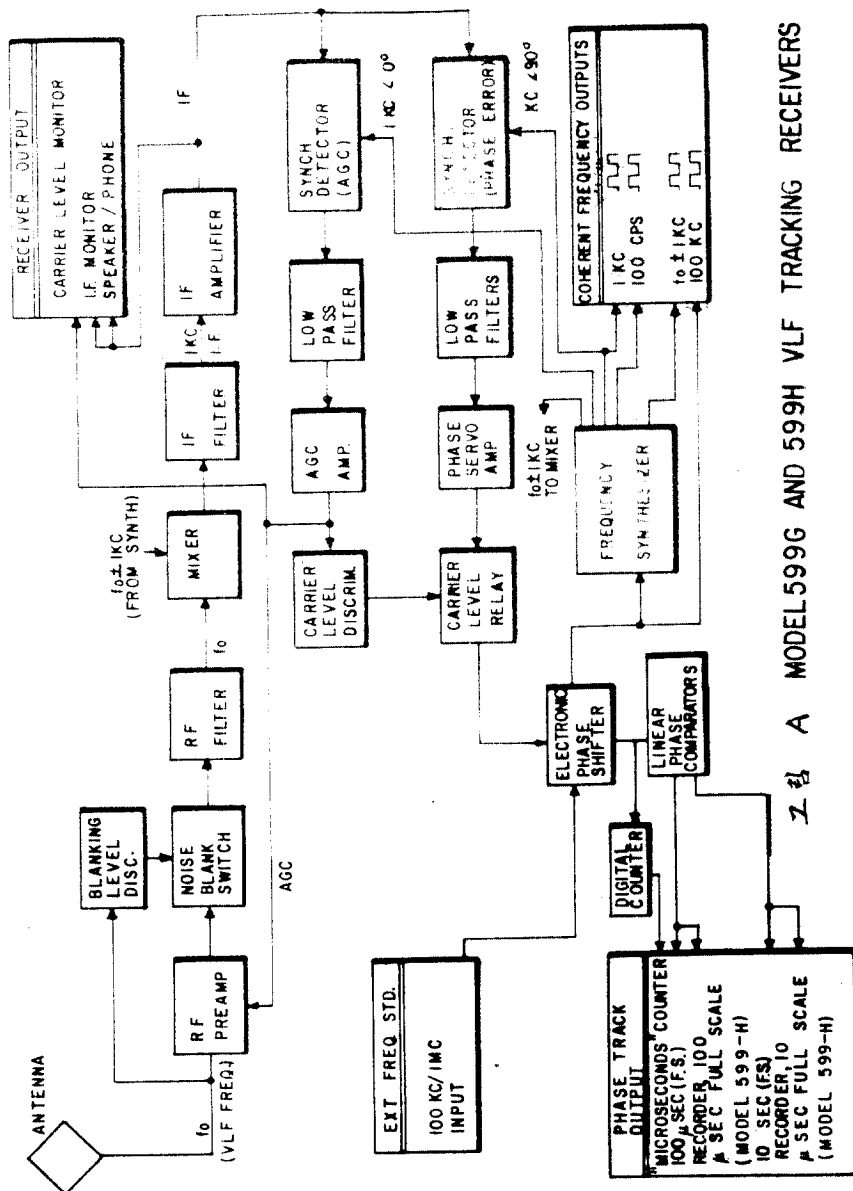
Servo 차단 회로 V L F 반송파 Level이 최소치 이하로 떨어질때 전자 SW에 의해서 Phase Sevo 회로가 차단된다.

수신감도 (599 — 600 Loop Ant 로 수신할 때
(20 K H₂) 0.3 μ V/m의 전계강도와 일치하는 값) 적은 입력신호로 반송파 Level SW를 동작 시킬 수 있으며 정상적인 위상비교를 할 수 있다. 또 신호대 잡음비가 - 50 db의 입력에서 동작이 지속된다.

A G C 회로 $\pm 0.25 \mu$ s 이하의 위상변위로 반송파 Level의 40 db범위 내에서 매우 신뢰성 있게 써-보를 동작시킨다.

입력전원 A C 95 V ~ 125 V. 48 ~ 62 C P S,
공칭 40 W
D C + 12 V 와 - 12 V, (D C 동작시 기록 장치의 Motor만 정지한다)

599-H V L F수신기는 전원부 Audio부 및 주파수 분주회로부와 위상비교부로 되어 있으며 그 계통도는 그림 A 와 같다.



23 A MODEL 599G AND 599H VLF TRACKING RECEIVERS

그림에서 수신된 VLF 신호는 초단 증폭과 RF여파기 광대역
폭은 선택도를 증가시키기 위한 협대역 여파기를 거친 후 두개의
동기검파기에서 동시에 위상검파되며 이 동기검파기 출력은 Phase
Servo의 위상차 신호이다.

또한 90° 의 위상차를 갖은 검파기 출력은 AGC를 동작시키는
데 사용된다.

AGC회로는 비록 수신된 VLF 신호의 진폭이 전파특성이나 혹은
운전 조도에 따라 심하게 변화한다 하더라도 위상추미 Servo 회로
에 일정한 출력과 균일한 이득을 유지하게끔 한다. 또한 VLF
반송파 신호가 최소치 이하로 떨어질 경우 반송파 Level 계전기가
동작하지 못하게 한다.

강한 잡음하에서 수신 감도가 약한 VLF 신호를 수신하기 위한 위
상 제어식 VLF 수신기의 성능은 주파수 선택도와 사용되는 특별한
잡음감소 장치에 달려 있다. 본 599-H 수신기는 공전이나
다른 형태의 충격잡음 등을 감소시키기 위해서 규정된 시정수범위
내에서 Blanking에 의해서 이루어지는 주파수 영역에서의 여파 방
법을 이용하고 있다.

이 Blanking 회로는 잡음이 심할 때는 실제로 수신기와 Ant사
이를 차단시킨다.

1. Frequency Divider 회로 (그림 B)

이 부분은 599-H 수신기의 표준부에 해당하므로 Filter
/ Limiter를 포함하고 있다.

Unit 599-402로부터 위상천이 된 100 KHz 신호는 Q₄와

Q₅로 구성되어 있는 100 K H_z Pulse Forming 증폭기에 접속된다. 그러므로 100 K H_z 입력은 100 K H_z 구형파로 변환되며 Common - Emitter 증폭기 Q₆에 의해서 Pulse 형 분주기에 공급된다.

100 Kc P P S 펄스 Forming 증폭기로 부터의 100 Kc P P S Pulse는 R₁₅를 통하여 첫번째 분주기에 들어간다. 극성을 가지고 있는 트랜지스터 Q₇와 Q₈은 첫번째 분주단의 능동소자이다. 이 분주기는 100 Kc P P S Pulse군을 받아서 그 주파수를 5배로 분주하여 20 Kc P P S를 출력펄스로 낸다.

이와 유사한 방법으로 다음분주기 Q₃와 Q₁₀은 첫번째 분주기의 1 μ s 출력 Pulse를 받아서 다시 5로 분주하여 4 K P P S의 출력 Pulse를 만든다. 3번째 분주기 Q₁₂와 Q₁₃은 이 4 K P P S를 2로 분주시키며 Q₁₅와 Q₁₆은 이 2 K P P S 펄스를 5로 분주시킨다. 5번째 분주기는 4번째 분주기의 400 P P S를 2로 분주하여 200 P P S 출력을 만든다.

2번째 분주기의 4 K P P S 출력은 완충증폭기 Q₁₁에 의해서 동기검파기 중의 하나의 구동신호를 얻기 위해서 사용하는 Pulse Steering 회로에 공급된다. 3번째 분주기의 2 K P P S 출력은 완충증폭기 Q₁₄를 통하여 Q₂₃, Q₂₄의 Flip - Flop 회로와 Assy 599 - 591에 공급된다. 그리고 이 Flip - Flop은 두개의 트랜지스터의 콘택타에서 위상이 180°다른 2개의 1 K H_z의 구형파를 만든다. 이 구형파 중의 하나는 완충증폭기를 거쳐 1 K H_z의 Coherent 출력과 위상차 동기검파기를 동작시키는

1 K H z , 90 °의 신호로서 사용된다. 또 하나의 1 K H z , 0 °의 구형파는 A G C 동기검파기를 구동시키는 Unit 599 - 300에 공급된다.

2. Audio부 (그림 C)

수신기로 들어오는 R F반송파 에너지는 T_1 에 의해서 입력단자 50 옴 임피던스에서 500 옴 임피던스로 변환된다. Q_1 , Q_2 , Q_3 로 구성된 입력증폭기 (R F, Amp)는 반송파의 이득을 높이고 적당한 임피던스로 부터 다음의 R F필타를 동작시킨다.

A G C 제어는 반도체 Diode를 이용해서 하고 있다. 회복이 빠른 Computer diode인 $C R_1$ 은 A G C 위상유닛에 의해서 공급되는 직류 Bias에 비례하는 A C 전도특성을 나타낸다. 따라서 $C R_1$ 은 증폭기 Q_1 을 Ground에 접속한 가변저항이라 할 수 있다.

Blanking S W N P N형 대칭 Switching 트랜지스터 Q_4 는 평상시 포화되어 있으며 충격성 잡음이 시작되면 포화되어 있는 Q_4 의 Bias를 변화시키게 되며 Impulse가 나타나는 동안 R F필타 입력을 차단시킨다.

MIXER 회로 R F필타를 거친 반송파는 Atten S W를 거친 후 Emitter Follower Q_3 을 거쳐 Q_{14} 에 전달된다.

Digital 합성기로 부터 국부발진기에 인가된 전압 (+ 0 \pm 1 K H z)은 Q_{14} 의 Base에



공급되며 교대로 Q_{14} 를 포화, 개방시킨다.

Mixer 회로에서 나온 IF 주파수는 Monitor 출력이 되며 또한 위상검파 회로에도 공급된다.

3. 위상검파부 (그림 D)

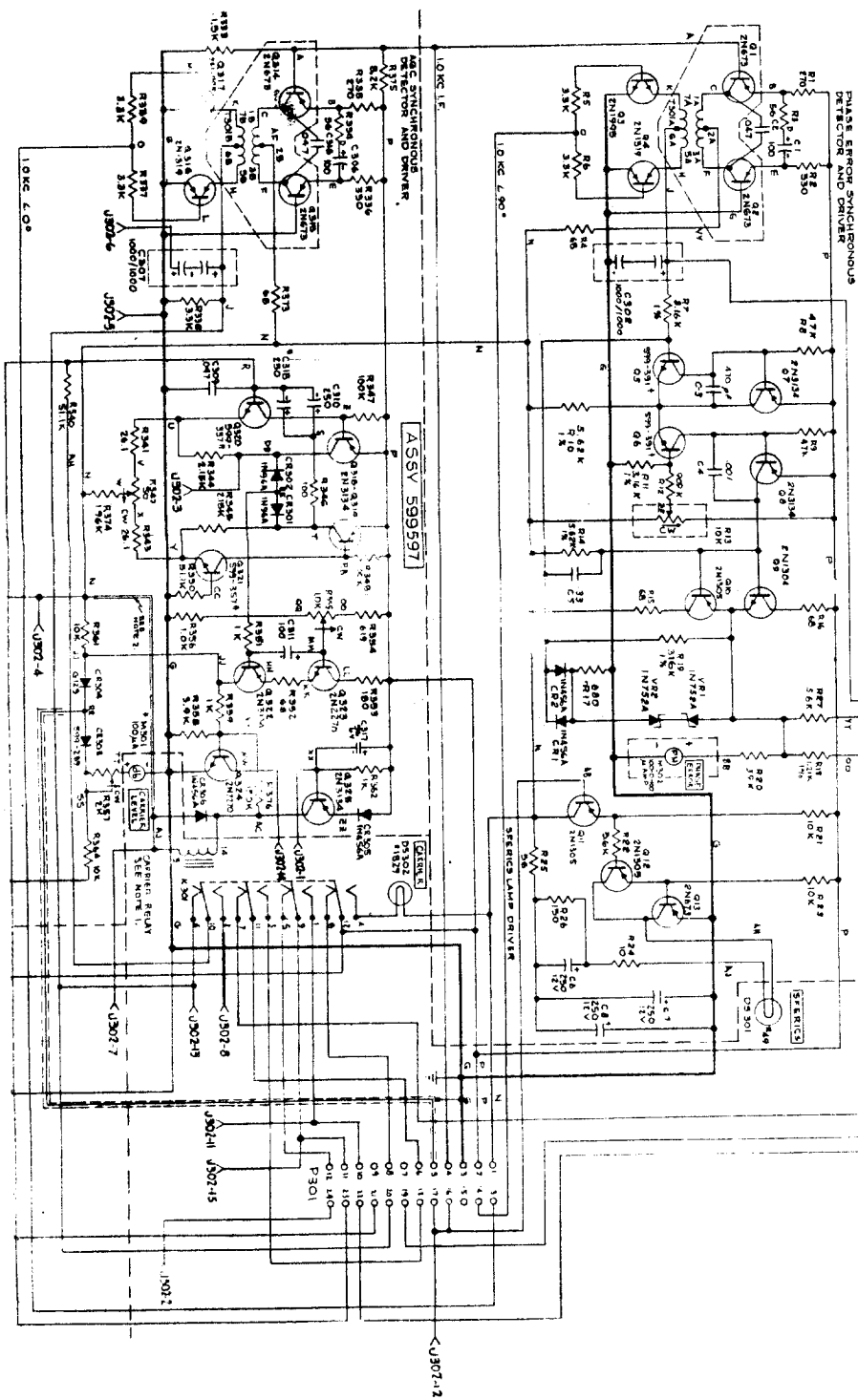
중간 주파수 1 KHz 반송파출력은 공통부하 T 301 A를 Push - Pull로 연결하고 있는 Emitter Amp, Q_1, Q_2 에 공급된다. 각단의 Gain Control을 위하여 필요한 반송파 검파출력은 T 301 A의 1차출력에 Q_3 와 Q_4 에 의해서 1 KHz Rate (Unit 599 - 202의 100 KHz Standard출력에서 분주됨)로 검파된다.

이 전압의 0전위에 대한 차 전압은 Q_4, Q_5, Q_6, Q_9 와 Q_{10} 으로 구성되어 있는 직류증폭기에 의해 증폭되며 증폭출력은 Feed Back Zener Diode VR_1 과 VR_2 에 의해 일정하게 제한된다. 이 증폭기 출력은 Servo와 Phase Error Meter 및 기록기 구동용 출력으로 된다.

이상은 599 - H VLF수신기의 중요 회로에 대한 설명이다. 그동안 기기의 정상적인 가동을 위해서 미국의 수신기 제작회사 및 일본국 전파연구소와 의견교환 및 자료수집을 하였으며 수집된 자료에 의하면 무엇보다도 VLF전파는 국내에서 전제가 미약하니 만큼 Ant 부분에 대한 고찰이 필요했다.

1970년 12월 현재 일본국내 전제강도는 아래표와 같으며 일본국에서 사용하고 있는 수신기는 그들이 자작한 진공관식 수신기와 599 - J VLF수신기를 사용하고 있다. 이 표에서 알 수 있

ASSV 599596



현재 일본에서 수신하고있는 외국의 VLF 표준전파

1970. 12 현재

국명	주파수	전계강도	공중선
NPG	18.6 KHz	약 40~50 ^{dB}	LOOP ANT (TRACOR 599-600B)
WWVL	20.0 KHz 20.0 " 20.0 "	약 15~25 ^{dB}	INVERTED L ANT (약 전계이므로 LOOP로는 수신불능)

는 바와같이 수신전파는 주로 미국의 NPG (18.6 KHz) 와 WWVL에 한하며 일본국내에서는 실험전파로서 20 KHz 와 40 KHz를 발사하고 있으나 그 출력이 3 KW 와 10 KW 이고 발사시간은 매주 월요일 (20 KHz) 14 : 30 부터 16 : 30 분 (일본시) 에 한하며 송신출력이 미약하고 실험적으로 시행하고 있기에문에 그 확도에 대한 확신을 받을 수가 없고 국내에서는 수신이 불가능하다.

NPG를 수신한 일본국의 경우 Loop Ant를 사용하여 40 ~ 50 db를 얻었는데 비하여 한국 안양 전파연구소의 경우는 이보다 약 20 db 정도 감쇠가 될 것으로 보면 우리로서는 Loop Ant로서는 수신을 기대할 수 없고 역 L형 안테나로서 NPG를 수신할 수 있는 것으로 본다. 따라서 WWVL국은 수신이 불가능하고 NPG (18.6 KHz) 전파만이 가능한 것이다. 또한

아직까지 우리는 역 L형 Ant를 갖고 있지 못하고, V L F 수신기의 R F필터 부분에도 협대역 필터를 갖고 있지 못하기 때문에 수신기 동작시 잡음에 대한 영향을 얼마나 받게 될지는 의문이다.

5. Cs Beam 주파수 표준원기의 특성 조 사 및 기기 성능과 약

“주파수” 또는 “시”의 새로운 단위로서 1967년 10월 불란서 파리에서 개최된 제13차 국제도량형총회에서 켈시움 원자의 양자역학적 진동을 사용하는 것이 정식으로 채택이 되어 1차표준원기로써는 결성히 켈시움주파수 표준기로서 정하여 있으며 우리가 다루는 시계(時系)로 켈는 원자시 이외에 세계시와 세계동기시가 있고 이외장의 및 상호관계를 논하면 하기와 같다.

a. 원자시(原子時) …… 켈시움 133의 초미세공진(超微細度振)을 기본으로 한 시계(時系)

b. 세계시(UT2) …… 지구의 각위치(各位置)와 계절적인 변동을 보정한 지구의 자전을 기본으로 한 시계(時系)

c. 동기세계시(同期世界時=UTc) …… 국제적으로 동일한 시각을 유지하기 위해서 현재 실용화되고 있는 UT2에 100ms이더의 시각차로 유지되겠끔한 균일한 시계(時系) 각시계(各時系) 상호간의 관계는 UT2는 지구의 자전과관계되며 원자시(AT)보다 약간느리게 진행되고 있다. UT2의 1초간격은 AT보다 약간 짧다.

UT2에 매우가까운 UTc Time Scale은 이들의 차계 리레하는 양만큼 원자주파수를 Offset하여 만들어 낼 수 있다.

국제협약에 의해서 이 주파수 Offset량은 파리에 있는 B I H (국제보시국)에서 매년 발표한다.

1965년의 Offset 값은 -150×10^{-10} 이었으며 1966년부터

1970년 까지의 Offset 값은 -300×10^{-10} 이다.

A T와 U T 2 U T c와의 관계를 논하였거니와 당 연구소 원기실에
시의 1차표준 원기로 원자시계 Cs 5061 A 1대를 보유하고 있다.

세시움·빔 표준원기는 앞에서 말했듯이 주파수를 정의할 수 있는
1차표준 원기임으로 교정이 필요없다.

이 원기는 $9,192,631,770 \text{ Hz}$ 의 주파수를 만들기 위하여 필요한
초미세 천이 (Hypertine Transitions)를 일으킬 수 있는 세시
움 133 흡수형 원자공진기 (Passive Atomic Resonator)를 사용
하여 제 13차 국제도량형 총회 (13 th General Conference of Wei-
ghts and Measures)에서 정식으로 채택된 국제 표준시간 간격에
대응하는 주파수 <외계의 영향을 받지않는 $9,192,631,770 \text{ Hz}$ >를
세시움, 빔관의 수명동안 1×10^{-11} 의 안정도로서 재현할 수 있다.

Cesium Beam Tube는 흡수형공진기로서 동작하여 계관조성회로로서
수정발진기를 안정화 함으로써 원자주파수표준원기로서 사용되고 수정발
진기는 안정화 되었을때 주파수와 시간측정의 여러가지 분야에 이용
된다.

시의 1차표준원기로 사용하고 있는 원기의 재특성 및 동작의
내용에 대하여 기술하겠다.

일반특성

주위조건에 의한 영향

온도특성 : $\pm 5 \times 10^{-12}$ 이상 $C \sim 5^{\circ}C$ 의 주위온도에서 동작시

길때

습 도 : $0 \sim 95\%$ 에서 정상동작

자계의 영향 : 5×10^{-12} 2 가우스의 자계내에서 대표적 안정도

입력전압 : A C 115 V 또는 230 V ± 10 V D C 22 ~ 30 V

기계적인 특성

확 도 : $\pm 1 \times 10^{-11}$ (Cesium Beam Tube 의 수명동안)

단기안정도 : 앞면 PANEL 의 Switch 로 Loop Time Constant
를 1 초 혹은 60 초로 선택할 수 있다.

가열시간 : 25 ° C 의 주위온도에서 정상동작을 하기까지는 3 ~
4 시간이 소요된다.

고조파의 율 : 5 M H_Z, 1 M H_Z 100 K H_Z 의 정격출력에 대하여
40 db 이상

비고조파 정격출력 : 정격출력에 대하여 80 db 이하

출력 주파수 : 5 M H_Z, 1 M H_Z, 100 K H_Z 의 정현파와 시계를
동작시키기 위한 100 K H_Z 의 출력

출력전압 : 50 Ω 의 부하에 1 V rms 115 BR (Frequency
Divider and Clock) 에 적합하다.

시계 (時系) : 4 개의 Thumbwheel Switch 와 Slide Switch 로
0 로 부터 -700×10^{-10} 사이에 Offset 값을
임의로 선택할 수 있다.

췌시용·빔 Tube 의 특성

수명 : 동작시간 1 만시간을 보증

< Beam Tube 를 구입한 2 년이내 >

길이 : $16 \pm 1 / 16$ 인치 (42.3 Cm)

직 경 : 14.3 Cm

무 제 : 8.9 Kg

반 치 폭 (半值幅) : 550 Hz ($\pm 20\%$)

S / N 비 (전압) : 대표적으로 1,000 (1/4 Hz의 잡음대역폭)

R F 전력 (9192 + M Hz) : 30 μ W

입 력 : 25 ° C 에서 대표적으로 6.5 W

수정 발전기

교 화 륜 : 5×10^{-10} / day 이상

S / N 비 : 1 M Hz 와 5 M Hz 에서 정격출력에 대하여 87 db
이 상

주파수조정 :

정밀조정 : 10^{-10} 의 Dial 눈금으로 되어있는 조정관자로
 5×10^{-8} 의 범위로 조정할 수 있다.

Coarse 조정 : 1×10^{-6} 까지 조정가능

안 정 도 :

수위 온도에 대한 함수 : 0 ° C ~ 50 ° C 에서 총 2.5×10^{-10}

부하에 대한 함수 : $\pm 2 \times 10^{-11}$ 이

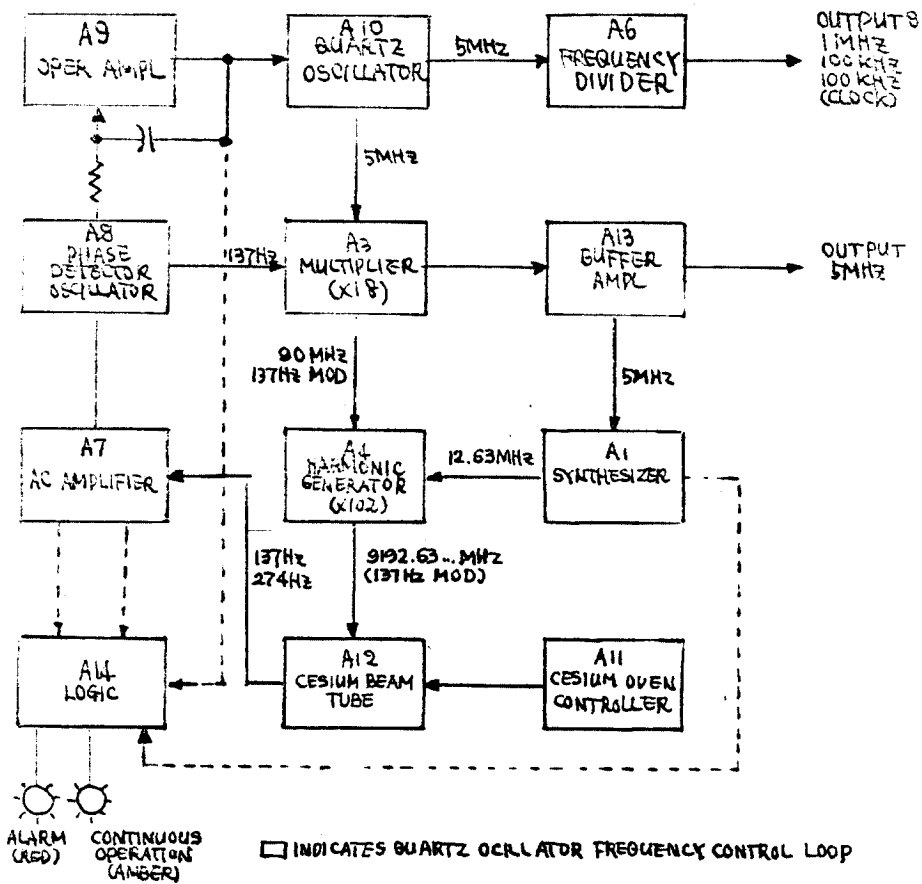
상 <개회로, 폐회로, RLC의 부하

변동에 대하여>

입력전압에 대한 함수 : $\pm 5 \times 10^{-11}$ 이상

<DC 22 ~ 50 V 또는 AC 115/

230 V의 $\pm 10\%$ 의 변화에 대하여>



표준원기의 각 부분의 역할에 대하여 대별한 계통도는 그림과 같다.

이 계통도에 의하여 원기의 동작에 대한 개요를 논하겠다.

수정발진기군 A10 (Quartz Oscillator Assembly) 의 5 MHz 출력은 위상검파군 A8 (Phase Detector Assembly) 의 137 Hz 신호에 의해서 위상변조된다.

이때 변조의 율을 낮게 하기 위해서 변조도는 적게한다.

변조된 5 MHz 신호는 체배기군 A3 (Multilier Assembly) 에 의하여 18 체배된 후 다시 고조파 발생기군 A4 (Harmonic Generator Assembly) 에 의해서 102 체배된다.

역시 수정발진기의 5 MHz 를 받아서 동작하는 합성기군 A1 (Synthesizer Assembly) 의 출력은 고조파 발생기군 A4 에서 체배된 신호와 함께 혼합된다.

체배, 혼합에 의해서 주파수는 세시움 133 의 전이주파수인 9,192,6 Hz 에 매우 가깝게 된다.

이 최후의 마이크로파는 세시움·빔관에 공급된다.

5 MHz 의 수정 발진주파수는 체배기군 A3 에서 137 Hz 로 위상이 변조되었으므로 9,192,63 Hz 의 마이크로파는 이 변조성분을 포함하고 있다.

위상변조된 마이크로파 Field 가 정확히 세시움 공진의 첨두치에 있을 때 세시움·빔관의 출력은 변조된 주파수의 제 2 고조파 (274 Hz) 가 되며 공진첨두치에서 벗어났을 때에는 출력은 기본 주파수인 137 Hz 가 된다.

이 두 신호는 A C 증폭기군 A 7에서 분리된다.

137 Hz는 위상검파군 A 8과 Logic Assembly A 14에 보내지며
274 Hz 신호도 역시 Logic Assembly A 14에 보내진다.

위상검파군 A 8의 출력은 세슘 공진주파수와 인가한 마이크로
파와의 차에 비례 하는 직류전압성분이다. 이 직류신호는 Opera-
tional Amplifier와 Integrator A 9에 공급된다.

Operational Amplifier A9의 출력은 세슘·범관의 공진주파수와
마이크로파와의 어느 주파수 편차도 제거하기 위해서 5 M Hz
수정발진기를 전기적으로 동조시키는데 사용하는 전압성분이다.

완충증폭기군 A13 (Buffer Amplifier Assembly)은 외부의 부
하에 대한 영향을 피하기 위해서 5 M Hz 수정발진기의 신호를
분리하여 앞면과 뒷면의 섹에 5 M Hz 신호를 공급한다.

분주기군 A6은 5 M Hz 신호를 1 M Hz와 100 K Hz로 분주하
고 이들 신호를 전후면 섹을 통하여 공급하고 있다.

A6은 역시 Digital Divider Assembly A5 (Option O₁)에
1 M Hz를 공급한다.

Logic Assembly A14는 A1, A7, A8, A9으로부터 신호를 받
아 앞면 Panel에 있는 Continuous Operation과 Alarm램프를
제어한다.

세슘 항온조 제어군 (Cesium Oven Controller Assembly)
A11은 세슘·범 항온조와 Operational Amplifier Assembly)
A9에 전원을 공급한다.

불리량의 삼요소중의 하나인 시 (時)의 정의 및 시 (주파수)의

1 차원 기의 제 특성 및 구성과 동작의 개요에 대하여 기술하였다.

앞으로 제시되어진 문제는 비교측정에 의한 시의 확보 및 원기의 관리방안 모색과 동업발전 응용에 대한 제연구등 실로 해야 할 일이 많다 하겠다.

T-1100 A 주파수 표준원기의 확도 유지를 위한 관리 방안을 연구한 결과 본 원기는 난일 항온조 내에 X-Tal이 내장되어 있으므로 외부의 온도변화에 대한 영향이 크며 10^{-8} 의 확도 및 안정도를 유지하기 위하여는 원기실내에 항온 시설을 필히 갖추어야만 한다. 이와 같이 온도에 대한 영향은 모든 원기가 받는 가장 큰 영향중에 하나라 하겠다.

같은 여건하에서 10^7 BR 주파수 표준원기와 일본국 J J Y (15 MHz)를 비교 측정한 결과 비교확도를 10^{-9} 까지 얻었으며 본 원기의 고퇴율 (Ageing Rate) $5.5 \times 10^{-11} / \text{day}$ 로 산출되었다. 본 원기의 안정도를 개선하기 위하여는 T-1100 A 원기와 마찬가지로 원기실내의 항온 시설을 갖추어야 할 것이다.

저주파 (VLF) 수신에 의한 비교측정을 목적으로 599 H VLF Tracking Receiver를 도입하여 본 수신기에 대한 기기 특성과 회로 분석을 하였으며 이는 위상 수비 비교 방법에 의한 것으로 세계 각국 공히 개발도상에 있기 때문에 송수신 방법에 많은 문제점을 가지고 있다. 특히 국내에서와 같은 약전계 지역에서는 미국의 WWVL 혹은 NPG (18.6 KHz)를 수신하기 위하여 본 수신기에 부수된 599 - 600 Loop Antenna 와 Whip Antenna로서는 원거리 수신에 불가능하므로 Antenna Gain이 좋은 역 L형 Antenna만이 가능하나 이 역시 송신출력이 양호한 소수의 송신국에 국한될 것 같다. 특히 VLF 수신기는 거잠음 지역에서 가

동이 되어야 하는 조건이 있고 고로 RF 필타(필터)를 사용해야만 국내와 같은 약전계 지역에 수신이 가능할 것으로 보며 본 VLF 수신방법은 금후 많은 연구가 있어야 할 것으로 본다.

그리고 $\pm 1 \times 10^{-11}$ 의 공정 확도를 갖인 Cs Beam 주파수 표준원기에 대하여 장기 가동에 앞선 모든 준비를 진행중에 있으므로 본 기기가 갖은 공정 확도 유지는 시간 문제라 하겠다.

본 기기는 1차 표준원기로서 가장 정밀한 원기이고 위급상의 문제점을 고려하여 본 기기의 각 부분과 내용을 충분히 파악한다는 것은 그리 쉬운 문제가 아니므로 장시간에 걸쳐 특성과 운용에 대한 연구를 해온 것이다.

본 주파수 표준 확보에 관한 연구는 많은 불비한 조건하에서 최선을 다 하였으나 특히 책임 연구관 및 담당 연구원의 잦은 전출 및 퇴직으로 인하여 많은 연구자료를 얻지 못하였음을 아쉽게 생각하며 점차 본 연구에 대한 시설이 보완됨에 따라 체계적인 연구를 할 수 있게 될 것이며 앞으로는 더욱 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 본다.

참 고 문 헌

1. Cesium Beam Frequency Standard 5061 A.
2. Type 1100 A Frequency Standard
3. 107 BR Quartz Oscillator
4. Model 599 — H V L F Receiver
5. 新版 無線工学 (オーム社)
6. 時の 科学 (日本時研究会編)
7. 日本電波研究所報 (1968 ~ 1970)

