

각종 수정발전기의 표준화 연구

1. 서 론

각종 송신기나 무선기기에 있어 주파수의 발생원으로써 수정발진기가 널리 사용되어 오고 있다. 이들 발진기에 있어 주파수변동요인은

- (1) 수정발진자의 주파수특성
- (2) 사용한 발진회로의 특성

이들 두가지로 크게 분류할 수 있으며 본 연구는 주로 후자에 속한다고 하겠다.

발진기에 있어 주파수 변동요인은 회로소자변동에 의한 부하용의 변동, 입력전압 및 주위온도 변화에 의한 영향등 여러가지 요소에 달려있다. 그러므로 이런 모든 특정을 조사 연구하여 발진기를 시작(試作)하고 각 요소의 기술기환을 마련하는데 본 연구의 목적이 있다.

금년도에는 단파대의 발진기를 시작(試作)하여 제 특성을 분석하였으며 사용한 발진회로는 E Beam 관을 사용한 P-G 형과 G-K 형으로써 LC 동조형과 무조정발진기를 각각 택하였다. 수정발진자는 당연구소에서 제작한 HC/6U와 FT-243을 사용하였다.

2. 시작용(試作用) 발진기

금년도에는 수정발진기에 있어 주파수변동 요인중 가장 큰 비중을 차지하고 있는 부하용량 변동에 의한 제 특성을 조사하였으며 사용한 발진기 회로 및 수정진동자 형식은 아래와 같다.

- (1) 발진기형식
 - a. P-G 형 (LC 동조형 및 무조정형)
 - b. G-K 형 (LC 동조형)

(2) 발전자 형식

a. HC/6u형

부하용량: 32 PF

주파수: 3000 , 304 KHZ

4603 , 988 KHZ

7029 , 480 KHZ

b. FT - 243 형

부하용량: 32 PF

주파수: 2680 , 050 KHZ

4350 , 000 KHZ

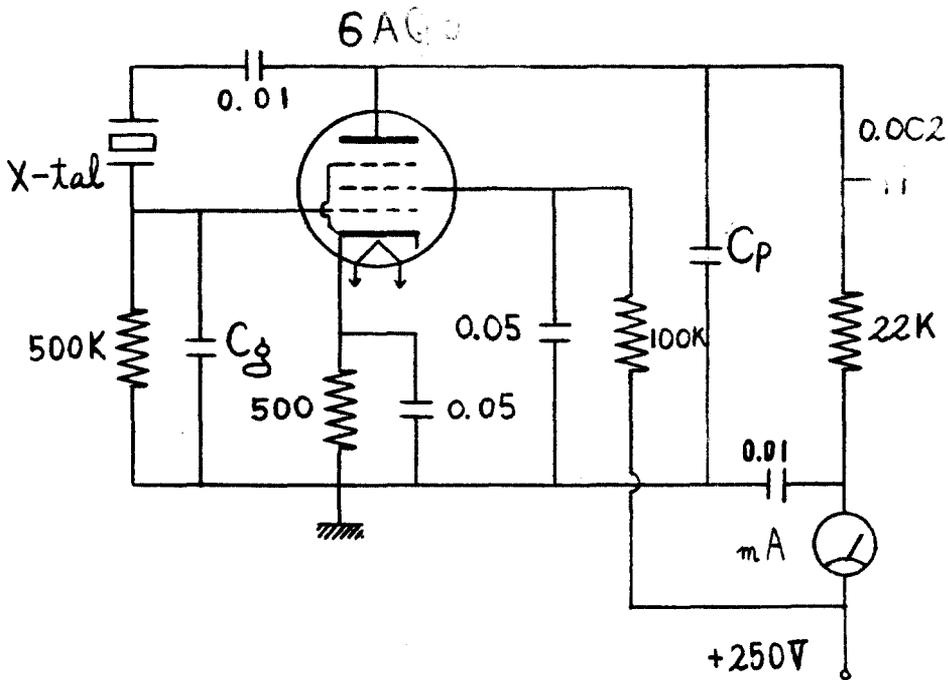
8050 , 543 KHZ

2.1 시작품 1호 (무조정형 P-G 발전기)

회로도는 (제1도)와 같이 Beam 관인 6AQ5를 사용한 무조정 발전회로로서 양극과 격자간에 X-tal를 삽입한 P-G형이므로 양극과 음극간, 격자와 음극간을 각각 용량성으로 하면 쉽게 발전을 이룰 수 있다.

이것은 현재 무선 송신기에서 많이 사용되고 있는 무조정 발전기의 표준회로로서 공진회로(동조회로)가 없기 때문에 발전출력은 작으나 조정개소가 없고 수정진동자에 흐르는 전류가 적기 때문에 발전주파수의 안정도가 양호하다.

측정방법은 CP를 30 PF로 고정하여 두고 CG를 30 PF, 32 PF, 35 PF로 변화시키면서 각 주파수대에 따른 확도 및 안정도를 구하여 보았다.



(도표 1) 시작품 1 호 (무조정형 P-Q 발진기)

각 측정치는 발진기를 동작시킨후 1시간후 부터 30분 간격으로 10회 측정하여 평균치를 구한 값이며 측정자료는 도표 1, 2, 3 과 같다.

이상의 측정자료에서 볼 수 있듯이 요구되는 확도 및 안정도에 따라서 CP 및 CG의 값을 선택할 수 있다. 즉 3000 KHZ 대 (帯)에서 확도를 10^{-6} , 안정도를 10^{-7} 으로 얻기 위해서는 $CP = 30 PF$, $CG = 35 PF$ 인 때가 가장 좋으며 4603 KHZ 에서 는 확도는 CG가 30 PF 인 경우 8.25×10^{-6} 으로 가장 안정

하다. 그러므로 4603 KHZ 대에서 확도를 10^{-5} , 안정도를 -10^{-6} 으로 유지하기 위해서는 $C_g = 32$ PF인 때가 제일 좋다.

앞에서도 언급했듯이 발전자측에서 회로측으로 본 부하용량의 값이 발전주파수에 가장 큰 영향을 미친다.

당연구소에서 수정편을 제작할 때 단파대에 있어서 부하용량값을 32 PF로 하여 제작하고 있으므로 발전기의 부하용량값이 32 PF인 때에 가장 주파수 편차가 적고 안정한 발전을 일으킬 수 있게 된다.

발전기에서 부하용량을 결정할 수 있는 요소는 C_g 및 C_p 의 값과 진공관의 극간용량 및 회로배선방식에 따른 표류 용량값이다. 여기서 C_g 및 C_p 의 값이 부하용량에 가장 큰 영향을 미치며 또한 표류용량값도 주파수가 높아지면 무시할 수 없는 값이 된다. 이와 같이 발전기 회로측의 총 부하용량값을 32 PF로 맞추기 위해서는 부하용량제로 측정하여 가면서 C_g 및 C_p 의 값을 선택하여야 한다.

현재 부하용량제가 없으므로 C_g 및 C_p 값에 따른 발전 주파수를 측정하여 주파수편차가 가장 적고 안정한 구간을 정할 수 밖에 없었다.

(도표 1) 3,000 KHZ 배 (HG/6U Type)

| C_p | C_g | 확도 | 단기안정도 | Plate 전류 |
|-------|-------|---------------------|----------------------|----------|
| 30 PF | 30 PF | 23×10^{-6} | 3.3×10^{-7} | 11.5 mA |
| 30 " | 32 " | 13×10^{-6} | 7×10^{-7} | 11.5 mA |
| 30 " | 35 " | 4×10^{-6} | 6.7×10^{-7} | 11.5 mA |

(도표 2) 4,603 KHZ 대 (HC/6U Type)

| Cp | Cg | 확 도 | 단기안정도 | Plate 전류 |
|------|------|---------------------------|----------------------|----------|
| 30PF | 30PF | (-) 8.25×10^{-6} | 10×10^{-6} | 12 mA |
| 30 " | 32 " | (-) 31×10^{-6} | 2.2×10^{-6} | 12 mA |
| 30 " | 35 " | (-) 50×10^{-6} | 0.9×10^{-6} | 12 mA |

(도표 3) 7,029 KHZ 대 (HC/6U Type)

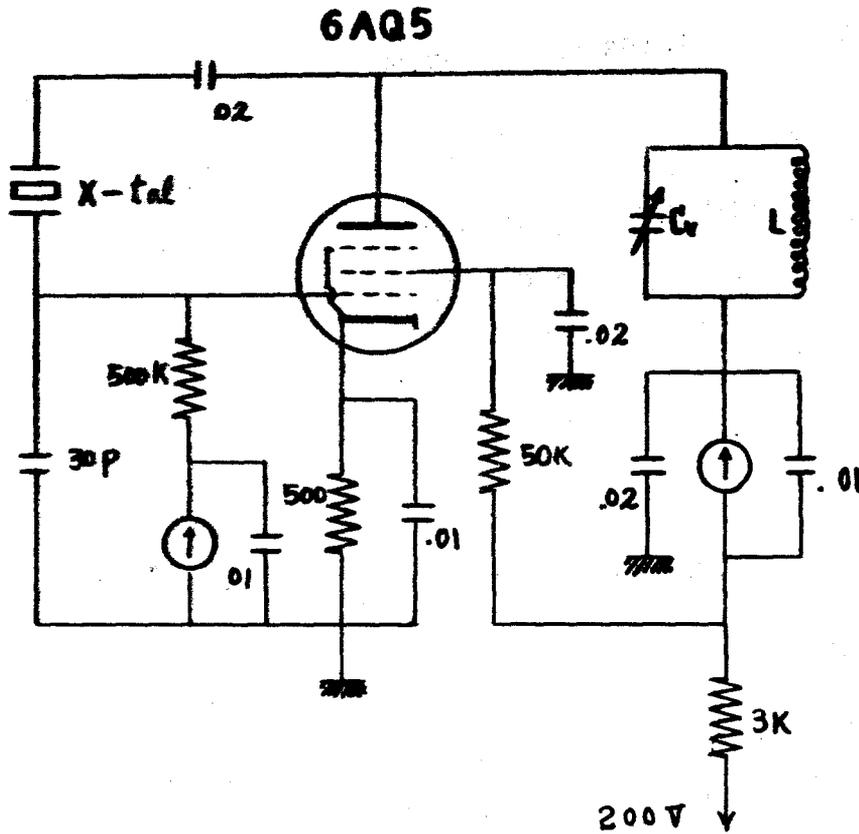
| Cp | Cg | 확 도 | 단기안정도 | Plate 전류 |
|------|------|---------------------|----------------------|----------|
| 30PF | 30PF | 80×10^{-6} | 1.4×10^{-6} | 12 mA |
| 30 " | 32 " | 73×10^{-6} | 2.4×10^{-6} | 12 mA |
| 30 " | 35 " | 57×10^{-6} | 1.4×10^{-6} | 12 mA |

2.2 시작품 2 호 (LC 동조형 P-G 발진기)

회로도는 (제 2 도) 와 같이 현재 보편적으로 사용되고 있는 LC 동조형 피어스 P-G 발진회로이다.

동조회로를 사용하였기 때문에 출력전압은 높으나 조정재소가 많기 때문에 주파수가안정하지 못한 것이 단점이다.

탱크 코일은 이론식에 의해 설계 제작하였으며 사용한 수정발진



(재 2 도) 시작품 2 호 (LC 동조형 P - Q 발진기)

자는 FT-243 Type 으로써 8050 , 543 KHZ 를 택하였다.

(a) 탱크코일의 설계

발진기의 프레임트 저항 R_p 는 아래식에 의해서 구할 수 있다.

$$R_p \cong \frac{1}{2} \frac{E_b}{I_p} = \frac{250}{2 \times 22 \times 10^{-3}} \cong 5,680 \Omega$$

여기서

$$\begin{cases} I_p = \text{직류 프레이트전류 (22 mA)} \\ E_b = \text{직류 입력전압 (250 V)} \\ R_p = \text{탱크회로 공진 임피던스} \end{cases}$$

부하저항

$$R_L = \omega_0 L Q_L = \omega_0^2 L^2 Q_L \text{ 이 된다.}$$

상호가 Matching 되었다고 하면 $R_p = R_L$ 이 되므로 탱크코일의 LC에서 일어나는 공진은 어떤 주파수에 공진되었다고 볼 수 있으므로 L과 C의 값을 구할 수 있다.

$$\therefore L = \frac{R_p}{\omega_0 Q_L} = \frac{5.7 \times 10^3}{6.28 \times 5 \times 10^6 \times 15} = 12 \text{ uH}$$

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 L^2} = \frac{1}{4 \times 3.14^2 \times 5^2 \times 10^{12} \times 12^2 \times 10^{-6}}$$
$$= 84.5 \text{ PF}$$

동조회로에서 Q_L 의 값은 보통 10 ~ 20 범위에서 취하므로 탱크코일을 설계할 때 Q_L 의 값은 15로 하여 설계하였다. 여기서 Q_L 의 값이 너무크면 무선전화 송신기에서 측파대의 감쇄가 크며 고조파를 많이 포함하게 되므로 스프리아스 복사가 증가하게 된다. 공진 주파수 f_p 는 5 MHz로 하여 설계하였으며 이때 이론적으

로 구한 인덕탄스의 값은 위 계산식에서 볼 수 있듯이 13 nH
가 나오므로 이에 준하여 탱크코일을 시작하였다. 그리고 용량
C는 80 ~ 200 pF의 가변 콘덴서를 사용하였다.

(b) 측정자료 및 분석

측정방법은 가변 콘덴서 Cv의 용량을 최대에서 서서히 감
소시켜 가면서 이때의 발진주파수와 양극전류 I_p 및 격자전류
 I_g 를 각각 측정하였다.

측정자료는 도표 4, 5, 6, 7과 같다. 즉 발진 가능범위에서
A, B, C, D 4구간으로 나누어 이때의 주파수 편차 및 안정도
를 구했다.

(도표 8) 및 (제 3도)에서 볼 수 있듯이 A점 및 D점에서
 I_p 및 I_g 는 발진속을 이루며 급격히 변화한다. 즉 이 A,
D점을 조금만 밖으로 벗어나도 발진을 정지하게 되므로 불안정한
상태이다.

A점에서 부터 용량 Cv를 감소시켜감에 따라 I_p 는 서서히
감소하는 반면 I_g 는 증가하게 되며 D점에서는 I_p 가 최소가
되고 I_g 는 최대가 된다.

D점에서는 격자전류가 최대이므로 발진강도는 가장 강하며 A점
이 가장 약하다.

이상을 종합하여 보면 (도표 8 참조) A점은 발진강도도 가장
약하고 불안정한 상태이며 D점은 발진강도는 강하나 불안정 하다.

C점을 발진강도는 D점보다 약하나 확도 및 안정도는 가장
양호하다. 그러므로 발진기를 C점에 놓고 동작시킬 때 확도는
(H) 2.4×10^{-6} , 안정도는 () 12×10^{-6} 로 가장 양호함을 알
수 있다.

(도표 4)

< A 점 > CV = 143 PF

| 회 수 | 측정주파수 (KHZ) | I _p (mA) | I _g (uA) | 온도 (°C) | 습도 (%) | 비 고 |
|-----|---------------|---------------------|---------------------|---------|--------|--|
| 1 | 8050. 971 KHZ | 13.2 mA | 15 uA | 31 °C | 85 (%) | 주파수측정기 : KCM 608 FREQUENCY COUNTER 화 도 : (±) 54 × 10 ⁻⁶ 안 정 도 : (±) 1.4 × 10 ⁻⁶ |
| 2 | " 981 " | 13.2 " | 16 " | " | " | |
| 3 | " 965 " | 13.8 " | 18 " | " | " | |
| 4 | " 979 " | 13.1 " | 15 " | " | " | |
| 5 | " 977 " | 14.0 " | 15 " | " | " | |
| 6 | " 975 " | 14.3 " | 15 " | " | " | |
| 7 | " 983 " | 14.2 " | 14 " | " | " | |
| 8 | " 977 " | 14.4 " | 13 " | " | " | |
| 평균치 | 8050. 976 KHZ | 13.7 mA | 15.5 uA | 31 °C | 85 (%) | |

(도표 5)

< B 점 >

CV = 103 PF

| 회 수 | 측정주파수(KHZ) | I _p (mA) | I _g (μ A) | 온도(°C) | 습도(%) | 비 고 |
|-----|---------------|---------------------|---------------------------|--------|--------|---------------------------|
| 1 | 8050. 787 KHZ | 12.9 mA | 35 mA | 31°C | 85 (%) | 주파수측정기 : |
| 2 | " 788 " | 12.9 | 35 | " | " | KOM 608 |
| 3 | " 794 " | 13.0 | 36 | " | " | |
| 4 | " 793 " | 13.0 | 36 | " | " | 화 도 : |
| 5 | " 796 " | 13.0 | 37 | " | " | (+) 31×10^{-6} |
| 6 | " 794 " | 13.1 | 37 | " | " | 안 정 도 : |
| 7 | " 794 " | 13.0 | 37 | " | " | (±) 0.75×10^{-6} |
| 8 | " 794 " | 13.0 | 37 | " | " | |
| 평균치 | 8050. 793 KHZ | 13 mA | 36.2 μ A | 31°C | 85 (%) | |

(도표 6)

< C 점 > CV = 9.1 PF

| 회 수 | 측정주파수 (KHZ) | I _p (mA) | I _g (uA) | 온도 (°C) | 습도 (%) | 비 고 |
|-----|----------------|---------------------|---------------------|---------|--------|---------------------------------------|
| 1 | 8050 . 568 KHZ | 12 mA | 50uA | 31 °C | 85 (%) | 주파수측정기 : KCM 608 |
| 2 | " 568 " | " | " | " | " | |
| 3 | " 570 " | " | " | " | " | |
| 4 | " 564 " | " | " | " | " | 확 도 : (+) 2.4 × 10 ⁻⁶ |
| 5 | " 560 " | " | " | " | " | |
| 6 | " 559 " | " | " | " | " | 안 정 도 : (±) 1.2 × 10 ⁻⁶ |
| 7 | " 552 " | " | " | " | " | |
| 8 | " 558 " | " | " | " | " | |
| 평균치 | 8050 . 562 KHZ | 12 mA | 50uA | 31 °C | 85 (%) | |

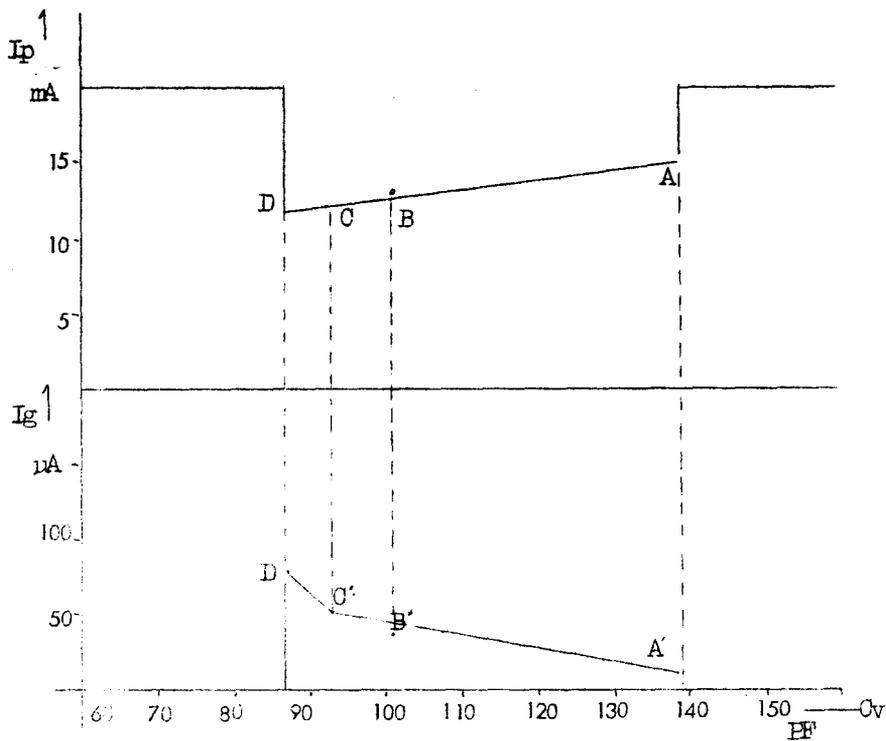
(도표 7)

< D 점 > CV = 87 PF

| 회 수 | 측정주파수 (KHZ) | I_E (mA) | I_g (μ A) | 온도 ($^{\circ}$ C) | 습 도 (%) | 비 고 |
|-----|--------------|------------|------------------|--------------------|---------|--|
| 1 | 8050.373 KHZ | 11.6 mA | 81 μ A | 29 $^{\circ}$ C | 90 (%) | 주파수측정기 : KOM 608 |
| 2 | " 366 " | 11.7 | 82 " | " | " | |
| 3 | " 373 " | 11.6 | 83 " | " | " | |
| 4 | " 370 " | 11.5 | 83 " | " | " | 확 도 : (-) 21×10^{-6} |
| 5 | " 376 " | 11.5 | 83 " | " | " | |
| 6 | " 370 " | 11.5 | 83 " | " | " | 안 정 도 : (\pm) 0.86×10^{-6} |
| 7 | " 380 " | 11.5 | 83 " | " | " | |
| 8 | " 378 " | 11.6 | 83 " | " | " | |
| 평균치 | 8050.373 KHZ | 11.6 mA | 82 μ A | 29 $^{\circ}$ C | 90 (%) | |

(도표 8) CV변동에 의한 발진기의 화도 및 안정도

| 구분 | 주파수평균치 | CV | I_p | I_g | 화도 | 안정도 |
|-----|-------------------|------------|---------|---------|--------------------------|---------------------------|
| A 접 | 8050.976 KHZ 3 | 143PF 1 | 13.7 mA | 15.5 mA | (+) 54×10^{-6} | (±) 1.4×10^{-6} |
| B " | 8050.793 " | 103 " | 13.0 " | 36.2 " | (+) 31×10^{-6} | (±) 0.74×10^{-6} |
| C " | 8050.562 " | 94 " | 12.0 " | 50.0 " | (+) 2.4×10^{-6} | (±) 1.2×10^{-6} |
| D " | 8050.373 " | 87 " | 11.6 " | 82.0 " | (-) 21×10^{-6} | (±) 0.86×10^{-6} |



(제 3 도) C_v 변화에 대한 I_p 및 I_g 의 변화

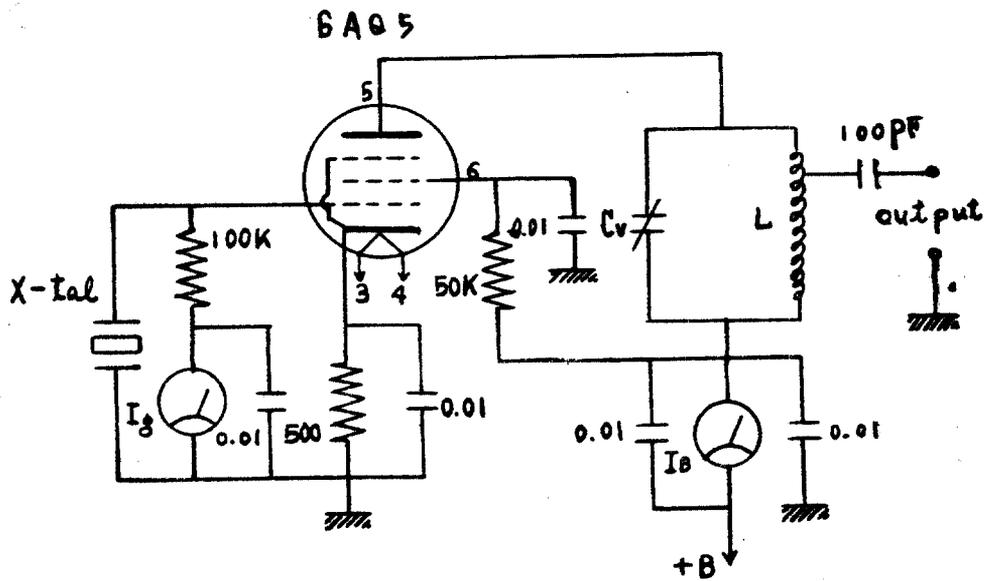
2.3 시작품 3호 (LC 동조형 G - K 발진기)

시작품 3호는 (제 4 도) 와 같이 6AQ5 를 사용한 LC 동조형 G - K 발진기를 택하였다. 수정 발진자는 FT-243 type , 4350 KHZ 를 사용하였다.

측정 방법을 가변 콘덴서 C_v 의 용량을 변동시켜 가면서 발진 주파수와 I_p 및 I_g 를 각각 측정하였다. 이 G - K 발진기는 P - g 형보다 발진특성이 매우 예민하여 미소한 C_v 의 변동에 대하

여도 발진 주파수는 크게 변하였으며 안정한 발진구간을 택하기가 힘들었다.

즉 발진가능 구역은 C_v 용량 29.9 ~ 30.5 PF 로써 매우 좁기 때문에 실용적으로 사용하기는 매우 어렵다고 생각한다.



(제 4 도) 시작품 3 호 (LC 동조형 Q-K 발진기)

(도 표 9)

< A 점 > CV = 29.9 PF

| 회 수 | 측정주파수 | I_p (mA) | I_g (μ A) | 온도($^{\circ}$ C) | 습도(%) | 비 고 |
|-----|-------------|------------|------------------|-------------------|-------|-------------|
| 1 | 4350.100KHZ | 18.8 mA | 2 μ A | 26 $^{\circ}$ C | 77 % | 매우 불안정하며 측정 |
| 2 | 4350.096 " | 19.0 " | 2 " | " | " | 도중 발진정지 |
| 3 | 4350.095 " | 19.2 " | 1.5 " | " | " | |
| 4 | 4350.093 " | 19.5 " | 1.0 " | " | " | |
| 5 | 4350.085 " | 20.0 " | 1.0 " | " | " | |
| 6 | 발진정지 | | | | | |
| 7 | | | | | | |
| 8 | | | | | | |

(도표 10)

< B 점 > CV = 30 PF

| 회 수 | 측정주파수 | I_p (mA) | I_g (μ A) | 온도($^{\circ}$ C) | 습도 (%) | 비 고 |
|-----|--------------|------------|------------------|-------------------|--------|--------------------------------|
| 1 | 4350.154 KHZ | 14.2 mA | 5 μ A | 24 $^{\circ}$ C | 77 % | |
| 2 | 4350.163 " | 13.7 " | 7 " | " | " | 화 도 : |
| 3 | 4350.164 " | 13.5 " | 8 " | " | " | (+) 37×10^{-6} |
| 4 | 4350.174 " | 13.5 " | 8 " | " | " | 안정도 : |
| 5 | 4350.164 " | 13.7 " | 7 " | " | " | (\pm) 3.5×10^{-6} |
| 6 | 4350.159 " | 14 " | 5 " | " | " | |
| 7 | 4350.145 " | 15 " | 2 " | " | " | |
| 8 | 4350.141 " | 15 " | 2 " | " | " | |
| 평균치 | 4350.159 KHZ | 14.1 mA | 5.5 μ A | 24 $^{\circ}$ C | 77 % | |

(도표 11)

<O 점> CV = 30.3 PF

| 회 수 | 측정주파수 | I _g (mA) | I _g (uA) | 온도(°C) | 습도(%) | 비 고 |
|-----|-------------|---------------------|---------------------|--------|-------|----------------------------|
| 1 | 4350.363KHZ | 7.5 mA | 45 uA | 25 °C | 75 % | |
| 2 | 4350.369 " | 7.5 " | 45 " | " | " | 확 도: |
| 3 | 4350.373 " | 7.2 " | 40 " | " | " | (+) 84 × 10 ⁻⁶ |
| 4 | 4350.382 " | 7.5 " | 45 " | " | " | 안정도: |
| 5 | 4350.362 " | 7.5 " | 45 " | " | " | (±) 3.9 × 10 ⁻⁶ |
| 6 | 4350.362 " | 7.8 " | 48 " | " | " | |
| 7 | 4350.358 " | 7.8 " | 48 " | " | " | |
| 8 | 4350.348 " | 8.0 " | 49 " | " | " | |
| 평균치 | 4350.365KHZ | 7.6 mA | 46.8uA | 25 °C | 75 % | |

(도표 12)

< D 점 > $C_V = 30.5 \text{ PF}$

| 회 수 | 측정주파수 | $I_p(\text{mA})$ | $I_g(\text{uA})$ | 온도($^{\circ}\text{C}$) | 습도(%) | 비 고 |
|-----|--------------|------------------|------------------|--------------------------|-------|---------------------------|
| 1 | 4350.468 KHZ | 6.5 mA | 87 uA | 26 $^{\circ}\text{C}$ | 75 % | |
| 2 | 4350.467 " | 6.5 " | 87 " | " | " | |
| 3 | 4350.466 " | 6.8 " | 87 " | " | " | 확 도: |
| 4 | 4350.467 " | 6.7 " | 88 " | " | " | (+) 107×10^{-6} |
| 5 | 4350.470 " | 6.5 " | 90 " | " | " | 안정도: |
| 6 | 4350.465 " | 6.7 " | 88 " | " | " | (±) 0.69×10^{-6} |
| 7 | 4350.469 " | 6.7 " | 88 " | " | " | |
| 8 | 4350.466 " | 6.7 " | 86 " | " | " | |
| 평균치 | 4350.467 KHZ | 6.6 mA | 87.8 uA | 26 $^{\circ}\text{C}$ | 75 % | |

도표 9, 10, 11, 12 는 C_v 의 각 구간에서 측정할 값이다.
 이것을 도표로 그리면 (제 5도)와 같다.

여기서 볼 수 있듯이 A점 및 D점은 P-O형 배와 같이 I_p 및 I_g 의 값이 발열속을 이루며 불안정한 발진을 이루키는 상태이며 B점은 화도 및 안정도는 양호하나 발진강도는 매우 약하다. C점은 화도가 8.4×10^{-5} , 안정도가 3.9×10^{-6} 으로 대체적으로 양호하며 발진강도도 높다.

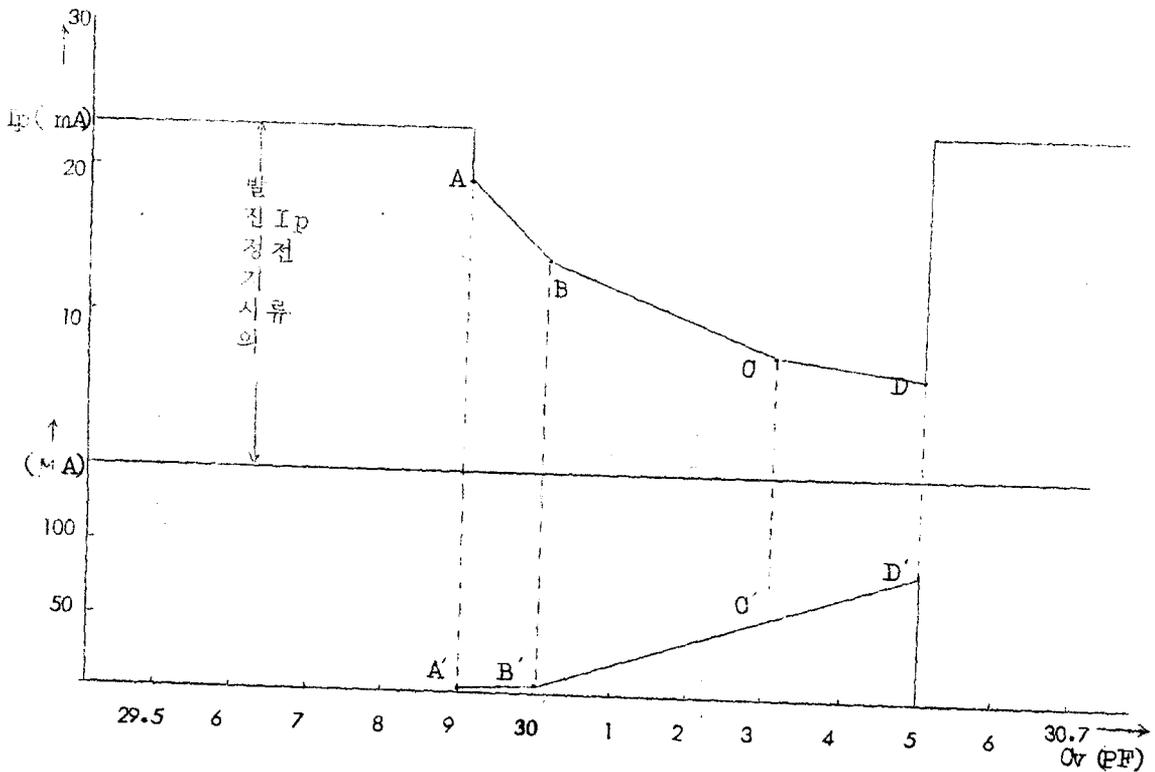


fig : 5

(도표 13) CV 베타동에 의한 화도 및 안정도

| 구분 | 주파수평균치 | CV | I _p | I _g | 화도 | 안정도 |
|-----|--------------|--------|----------------|----------------|------------------------|-----------------------------|
| A 점 | 불안정함 | 29.9PF | | | | |
| B " | 4350.159 KHZ | 30.0 " | 16.1mA | 5.5 uA | 37 × 10 ⁻⁶ | (±) 3.5 × 10 ⁻⁶ |
| C " | 4350.365 " | 30.3 " | 7.6 " | 46.8 " | 84 × 10 ⁻⁶ | (±) 3.9 × 10 ⁻⁶ |
| D " | 4350.467 " | 30.5 " | 6.6 " | 87.8 " | 107 × 10 ⁻⁶ | (±) 0.69 × 10 ⁻⁶ |

그러므로 G-K형을 사용했을 때는 CV값을 C점에서 동작시키는 것이 가장 좋다고 생각한다. 그러나 G-K형은 P-G형보다 발진특성이 너무 예민하여 가변용량 CV를 조정하기 힘들며 또한 확도도 1단위가 낮음을 알 수 있다.

3. 결 론

각종 수정발진회로를 수집, 이들의 제 특성을 분석 파악하여 가장 주파수 편차가 적고 안정한 발진기를 시작(試作)하여 회로의 기술기준을 정하고자함이 본 연구의 목적이다.

금년도에는 P-G형 및 G-K형의 발진기를 시작하여 부하용량변동에 의한 영향을 조사하였다. 지금까지의 결과를 요약하면 아래와 같다.

(1) 요구되는 확도 및 안정도에 따라 각 회로소자의 허용구간을 정할 수 있다.

(2) P-G형 무조정회로는 발진출력은 약하나 조정개소가 적기 때문에 안정도가 양호하며 확도 및 안정도를 각각 10^{-6} 까지 올릴 수 있다.

(3) LC동조형 P-G회로는 발진출력도 강하며 가변용량 CV의 조정기술에 따라 확도 및 안정도를 각각 10^{-6} 까지 얻을 수 있다.

(4) LC동조형 G-K회로는 발진곡선이 매우 예민하여 CV의 용량을 정확히 조정하기가 매우 힘들며 확도도 10^{-5} 으로 P-G형보다 한단위 떨어지며 발진상태도 불안정하여 현업에서는 사용키

힘들 것으로 생각된다.

이상과 같이 P-G형 및 G-K형 발전기의 특성을 조사하였다. 그러나 회로측의 부하용량을 측정할 수 있는 "부하용량계"가 아직 당연구소에 없고 또한 책임연구원 및 담당연구원의 전출 및 퇴직으로 인하여 공백기간이 많았기 때문에 그다지 많은 연구자료를 얻지 못하였음을 아쉽게 생각하며 이와 같은 정황이 앞으로 계속 되어야 할 것으로 생각된다.