

게 된다. Bevensee는 혼합終端을 갖는 몇개의 모드로서 傳播式을誘導하였다.

### 5. 結 論

이리스結合, 루프結合 그리고 百足型的의 週期構造가 두 通過帶域 사이의 共流點에서 零이 아닌 群速度를 갖는 것을 보였다. 結果로서 共流點 부근에서 群速度가 커지며 여러 週期部로 構成되는 空腔內的 모드 分離가 增加되었다.

Knapp이 開發한 陽子加速構造와의 比較는 興味있는 '것으로 Knapp은  $\pi/2$ 모드 動作으로 설명하였지만 Knapp의 結合回路를 空腔間的 結合細格 또는 루프로 생각한다면 Knapp의 回路는  $\pi$ 모드로 解析되는 것이며 이러한 觀點에서 Knapp 回路는  $\pi$ 모드에서 共流한다고 보여지는 것이다.

(李 泰 鎬 抄)

### 超傳導空腔間共振器를 갖인 모노트론 發振器

Francis Biquard, P. Grivet and Albert Septier. "A Monotron Oscillator with Superconducting Cavity" IEEE trans. Vol. IM-17 p. 254(1968)

이 論文은 超傳導空腔共振器를 사용한 모노트론型 超周波發振器에 對한것이다.

理論的性質을 바탕으로한 간단한 測定結果는 이러한 型의 發振器가 훌륭한 short-term 安定度( $10^{-11}$  for  $T=1ms$ )와 Spectral-Purity( $2\delta f/f=10^{-17}$ )를 갖고있다는 點이다.

現在 나타난 實驗的結果는 發振始作과 周波數安定인데, S 밴드 發振器는 周波數安定도가  $10^{-10}$  以上이고 10mW정도의 連續的인 電力을 供給할수있다는것이 확인됐다.

### 1. 모노트론

모노트론 發振器라함은 한 連續的電子빔이 單

同調空腔器의 電磁界에 에너지를 출수있는곳에 놓인 裝置를 말한다. 負傳導領域은 特性을 이루는 畵內에 나타나서, 이시스템의 再生動作의 可

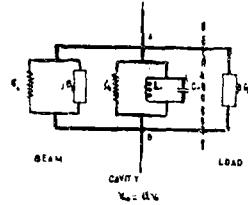


그림 1 모노트론의 등가회로

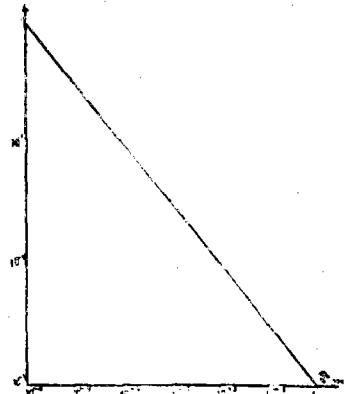


그림 2 이론적 단시간 안정도  
 $f=3GH_z, Q=10^7, P=0.1W$

능성을 암시해준다. 모노트론 發振器의 一般論은 먼저 Muller와 Rostas 等に 依하여 이룩됐다. 또 모노트론 發振器의 動作이 그림 1과 같은 等價回路로 表示될수있음을 보였는데 여기서 애드미턴스  $G_b + jB_b$ 는 空腔共振器의 等價回路에서 電子빔의 영향에 依한것이다. 最近의 成果로서 超傳導空腔共振器는 대단히 높은 Q값과, 훌륭한 周波數安定度를 갖인 強力한 超周波發振器로 등장하고 있다.

### 2. 超傳導 모노트론의 設計

速度  $U_0$ , 密度  $I_0$ 인 電子빔이 길이  $d$ 인 圓筒型空腔共振器의 軸를 따라, 電壓  $V_0$ 에 加速되어 흐르고, 이때 TMO<sub>PR</sub> 모드에서 共振周波數를  $f$ 라하자. 電子빔은 空腔共振器에서 高周波界로 그림이 바뀐다. 萬一 電子走行角  $D = \frac{2\pi fd}{u_0}$  이 잘 선택된다면, 빔은 電磁界에 에너지를 전달할

수 있고, 또한 空胴共振器內的 發振이 일어날수 있다.  $TM_{010}$  모드에 對해서 電界  $E_z$ 는 空胴共振器 軸을 따라 一定하고, 發振조건은  $D=(2K+\frac{1}{2})\pi$  에서 찾을수 있는데,  $K$ 는 整數이므로 다른 모드의 發振도 可能하다.

圓筒型空胴共振器는  $f=3GHz$  근방의 S밴드에서 共振한다. 여기 空胴共振器를 만드는데는 OFHC 銅을 쓰고 内部表面을 납으로 眞空鍍金 혹은 電氣鍍金한다. (두께는  $5\mu m$  정도) 납은 溫度  $T < 7.2^\circ K$ 에서 第一種의 超傳導體이며, 이 裝置는 主로  $T=4.2^\circ K$ 에서 動作시켰다. 그림 3을 보면 空胴共振器는 2個의 同一한 2部分으로 그 面의 軸에 수직을 따라 절단했다. 이런方式은 機械的으로 편리는 하지만, 電氣的見地에서 볼때 좋지않다. 사실 空胴共振器의 半과 半을 連結하는 인더움의 連結部分은 대단한 HF 손실을 갖여오고, 또한 실질적으로  $Q$ 를  $10^7$  以上이 되지 못하게 한다. 終端面에는 直徑 6mm의 구멍 2個가 電子 빔을 空胴共振器의 軸을따라, 지나가게끔한다. 低溫狀態에서 固定되어있는 空胴共振器는 壁内部에 액체헬륨으로 차있고, 이것은 銅面으로 둘러싸여있다. 이 銅面은 4個의

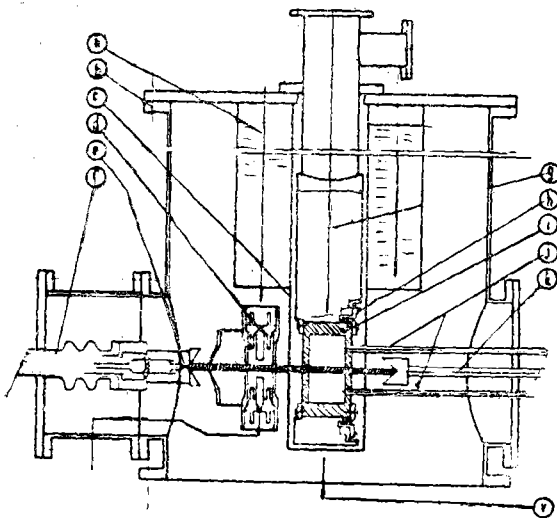


그림 3 모노트론

액체질소상자에 連結되어있어 輻射熱損失을 低下시킨다. 可變位空中線에 붙은 2同軸線路는 空胴共振器와 外部의 電氣回路(室溫狀態에 있는)와 結合시키고있다. 텅그스렌線으로된 음극을 갖인 3極電子銃은 電子빔을 發生시키는데, 이것은 靜電렌즈에 依해 焦點이 조절되며, 陰極에서 떠난 電子群의 95%가 30cm 떨어진 클렉터에 도달된다.

### 3. 超傳導 모노트론의 測定된 여러 性質

#### A. 定常狀態의 性質

그림 4는 理論値와 實驗値의 曲線을 나타내는데, 여기 例에서 動作되는  $TM_{010}$  모드는 走行角  $D$ 에 對하여 發振器의 起動電流  $I_s$ 의 값을 표시한다. 이때 負荷의  $Q$ 는  $2.22 \times 10^6$ 이었다. 그림에서 보듯이 實驗値와 理論値의 曲線이 약간 變位한것은 空胴의 兩端에 있는 구멍으로 因한

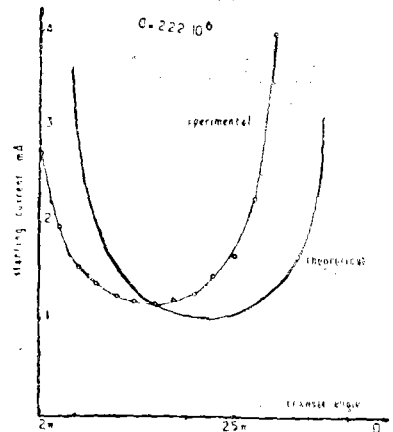


그림 4  $TM_{010}$  모드 발진 기동전류,  $Q=2.22 \times 10^6$  空胴의 機械的길이보다 電磁的길이 가 더 길다는 事實을 말해주고 있다.

#### B. 周波數變位를 지배하는 要素

周波數安定度를 說明하는 主要要素는 다음 세 가지이다.

1) 그중 하나는 電子빔 加速電壓과 電流變動이다. 理論式은 다음과 같다.

$$\frac{df}{f} = \frac{1}{Q} \left( \frac{D-1}{4} \frac{dV_0}{V_0} - \frac{1}{2} \frac{dI_0}{I_0} \right) \quad (1)$$

즉 周波數不安定度는  $Q$ 의 크기에 反比例한다

dV<sub>0</sub>와 dI<sub>0</sub>에 對한 期待値는

$$\frac{dV_0}{V_0} \# \frac{dI_0}{I_0} \# 10^{-4} \dots\dots\dots (2)$$

이고, 또 Q=10<sup>7</sup> 이라면 (1)式에 依하여

$$\frac{df}{f} \# 10^{-11} \dots\dots\dots (3)$$

정도의 값을 갖인다.

2) 액체헬륨이 담긴통의 溫度變化 ΔT는 空洞 共振周波數를 淸淸히 變化시킨다. 事實 時間이 경과함에따라 壓力 P는 安定되지않고 서서히 變動하여 헬륨개스의 壓力을 變化시켜 溫度를 變化시킨다.

액체헬륨을 담은 통의 溫度가 T=4.2°K 에서, ΔT는 다음式으로 주어진다.

$$\Delta T(^{\circ}K) = 710 \Delta P \dots\dots\dots (4)$$

原理的으로 溫度變化는 다음 2가지 다른 영향을 갖고있다.

a) 하나는 대단히 낮은溫度에 있는 空洞의 銅壁에있어서의 空洞을 따라 생기는 熱擴散인데, 이 영향은 無視할수 있다.

b) 超傳導體의 表面리액턴스의 變化,

超傳導體에 存在하는 電磁界의 貫通깊이는 溫度에 따라 變하므로, 表面리액턴스도 變한다.

超傳導體의 電磁氣의 性質論은 많은 實驗에 依하여 式 (5)와 같이 貫通깊이 λ에 對해 實用的인 法則이 있다.

$$\lambda = \lambda_0 [1 - (T/T_c)^4]^{-1/2} \dots\dots\dots (5)$$

(5)式을 기초로하면 df를 다음과같이 추정할 수 있다. 즉

$$\frac{df}{f} \# -10^{-10} \Delta P \quad T \# 4.2^{\circ}K \dots\dots\dots (6)$$

3) 나머지, 다른現象은 外部壓力變化 때문에 생기는 空洞壁의 機械的變動으로 因한 周波數變動이다. 이러한 理由로 생긴 df의 結果는 T=4.3°K의 상태에서

$$\frac{df}{f} \# -0.5 \times 10^{-10} \Delta P \dots\dots\dots (7) \text{ 이었다.}$$

C. 使用可能한 出力電力限界

Muller와 Rostas의 理論에서 본듯이 마이크로웨이브電力을 數미리วัต트에서 數와트까지 빔電流密度를 올리므로서 增加시킬수있다. 여기서 우리는 電子빔의 카이네틱에너지가 電磁에너지로되는 轉換能率이 I<sub>0</sub>/I<sub>s</sub>=2.40에서 最大임을 밝혔다. 理論的으로, 轉換能率は 最大 14.4퍼센트 까지 도달 할수 있지만, 發振器의 周波數安定을 유지하기위해서, 다음 2事項이 絶대로 엄수되어야한다.

1) 빔電流는 충분히 약하게하여 초점조절이 잘 되어야하며, 空洞을 지날때 壁에서 생기는 손실을 막아야하며, 그러므로서 金屬表面의 熱作用을 피할수있어야 한다.

2) 空洞壁에서의 高周波손실을 可能한한 작게 하여야한다. 실지로 空洞의 壁에서의 過大한 熱作用은 액체헬륨을 끓게할수 있기 때문이다. 이러한 溫度의 增加는 發振周波數를 20Hz/min 보다 크게 變動시키기 까답이다. 이러한 低溫狀態의 영향은 이런發振器의 出力電力을 1와트까지로 限界지어주고있다.

(康俊吉抄)