

## 負抵抗發振器의 最大周波數 解析(I報)

## (Analysis of Negative Resistance Maximum Oscillating Frequency)

金 映 權\*  
(Kim, Young Kwon)

徐 廷 鴻\*\*  
(Suh, Chong Hong)

李 興 九\*\*\*  
(Lee, Hung Koo)

金 興 壽\*\*\*\*  
(Kim, Hung Soo)

## 要 約

負抵抗素子인 터널다이오드와 受動線形負荷로 負抵抗發振器를 構成하고 受動負荷를 可變하여 周波數最大化에 관해서 研究했다. 理論的인 解析과 複素平面上에 임피던스 軌跡을 圖示하고 並列-RL負荷와 抵抗負荷의 두 경우의 最大發振周波數를 測定하여 두경우의 實驗結果를 보면 並列-RL負荷의 쪽이 훨씬 높은 周波數를 發振하는 것을 알았다.

## ABSTRACT

Tunnel diode oscillator consisting of a tunnel diode(negative-resistance element) and a passive linear load. In this paper maximizing the frequency of a negative resistance oscillator with varying a passive linear load is investigated. The method of theoretical analysis, utilizing impedance loci in the complex plane and experimental data shows that the maximum frequencies of quasi-harmonic oscillation is higher in the parrallal-RL load than in the resistive load.

## I. 緒 論

1958년 Esaki에 의해 發明된 VNL特性을 갖는 負抵抗素子인 터널 다이오드는 增幅器, 發振器 및 高速度의 스위칭回路等に 그 應用價値가 크다. 터널 다이오드를 使用한 高周波 負抵抗發振器는 負抵抗能動素子 即 터널 다이오드와 受

動線型負荷로서 構成된다. 要求하는 周波數를 얻기 爲해 負抵抗發振器를 設計함에 있어 受動線型負荷選擇이 問題가 된다. 따라서 본 論文에서는 터널 다이오드 負抵抗發振器에서 受動負荷를 變化시키므로써 일어지는 正弦波發振周波數의 最大化를 解析하고자 한다. 解析方法은 複素平面上에 임피던스軌跡을 使用한 圖示的 解法으로 理論的인 解析을하고 實驗結果를 檢討하고자 한다.

## II. 負抵抗發振素子

Heavily doped된 p-n 接合 터널 다이오드는 順方向 小直流바이아스 電壓에서 터널링 效果로 因하여 負抵抗特性을 나타낸다. 따라서 이 負抵抗素子は 遷移時間效果에 의해서 制限을 받지 않

\*慶熙大學校電波工學科  
Dept of Wave Eng, Kyung Hee Univ.

\*\*\*光云電子工科大學電子工學科  
Dept. of Electronics, Kwang Woon Electronics College

\*\*\*\*國立航空大學電子工學科  
Dept. of Electronics, National Aviation College

接 受: 1969年 4月 3日

으므로 심지어는 마이크로波와 같은 超高周波部分에도 應用可能하게 된다.

(1) 等價回路과 特性

터널 다이오드의 負抵抗領域에서 動作하기 爲한 小信號 等價回路은 그림 1과 같다.

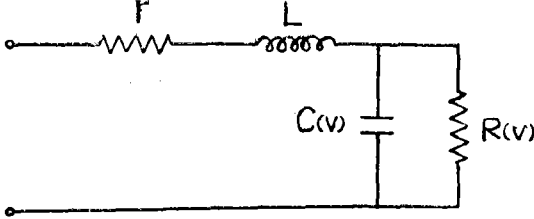


그림 1. 터널 다이오드의 等價回路

그림 1과 같이 等價回路은 인덕탄스 L, 抵抗 r, 電壓 縱續抵抗 R(v), 電壓 縱續靜電容量 C(v)로 構成된다. L은 주로 外함의 인덕탄스에 시에 基因되며 r은 음-접촉 저촉, 베이스, 포장의 内部 리드와 表皮効果에 의한 周波數에 나타난 抵抗이다. 또한 C(v)는 接合캐파시턴스이며 R(v)는 總 接合抵抗으로 V는 R과 C端子間의 電壓을 나타낸다.

(2) 터널 다이오드 特性

商用되고 있는 锗마늄(Ge)과 갈리움 아시나이드(GaAs)터널 다이오드의 一般의인 電流-電壓 特性을 보면 그림 2와 같다.

실리콘(Si)터널 다이오드는 그림 2에 나타난  $I_p/I_v$ 值가 锗마늄이나 갈리움 아시나이드에 비해 작다.

이러한 터널 다이오드의 主要한 靜特性을 보

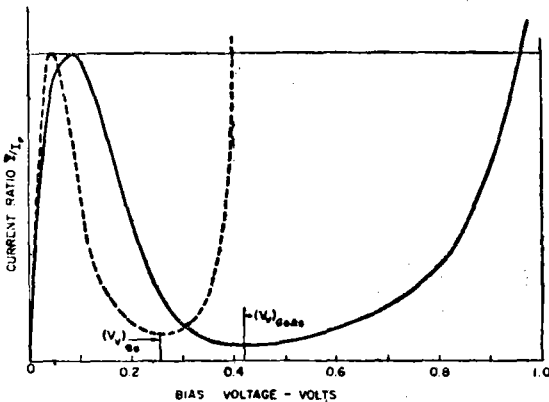


그림 2. Germanium과 Gallium Arsenide 터널 다이오드의 特性

면 表 1과 같다.

表1 代表的인 터널 다이오드靜特性

	Ge	GaAs	Si
$I_p/I_v$	8	15	3.5
$V_p$ [V]	0.055	0.15	0.065
$V_v$ [V]	0.35	0.50	0.42
$V_F$ [V]	0.50	1.10	0.70

(3) 터널 다이오드의 安定度判別

터널 다이오드 增幅器나 發振器를 設計함에 있어 必須的인 事項은 터널 다이오드의 線形等價 回路에서 다이오드가 電位的으로 安定할 수 있는 必要充分條件을 求하는 問題이다.

터널 다이오드의 電位安定度는 그림 1의 等價 回路에서

$$\frac{r}{R} < 1 \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{L}{R^2C} < 3 \dots\dots\dots (2)$$

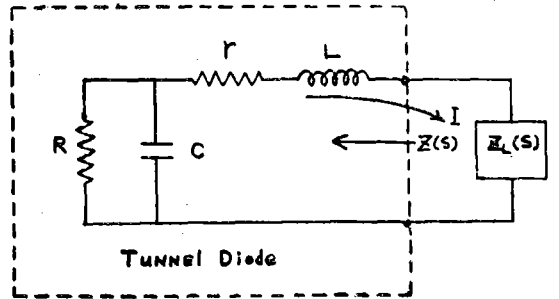


그림 3. 다이오드의 電位安定度 說明圖

를 源足해야 하며 또 적어도 10KMC 程度까지 使用可能한 그림 1과 같은 線形等價回路에 그림 3 같이 受動素子 Z\_L(s)를 接續하였을 때 터널 다이오드의 그 端子素子 Z(s)가 電位的으로 安定하기 爲한 條件은 다음과 같다.

$$Z(s) + Z_L(s) = 0 \dots\dots\dots (3)$$

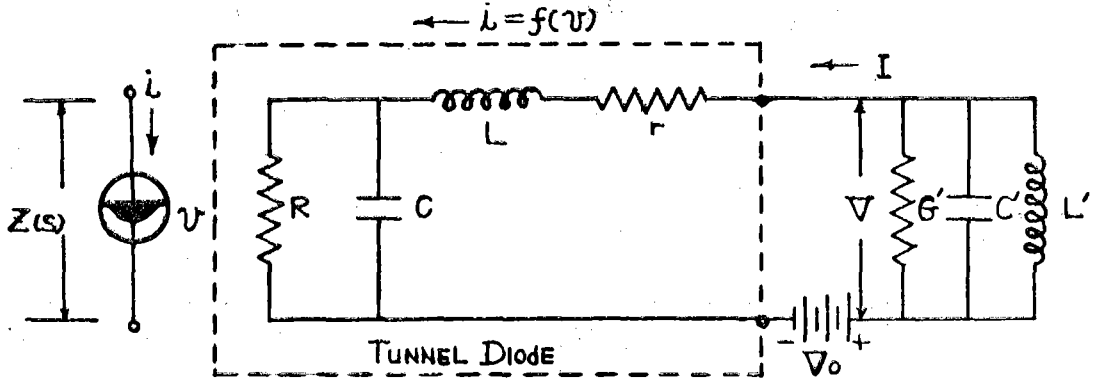
이 閉右側一半 S平面에서 解를 갖지않는 적어도 하나의 有限한 正의 實函數 Z\_L(s)가 存在하여야 한다.

이때 Z\_L(s)는 Z(s)를 安定化시켰다고 볼수 있다. 따라서 Z(s)가 Z\_L(s)로 因하여 安定化되었다면 그림 3을 순환하는 閉路電流 I는  $ReS \ge 0$ 에 있는 모든 S에 對해서 零이다.

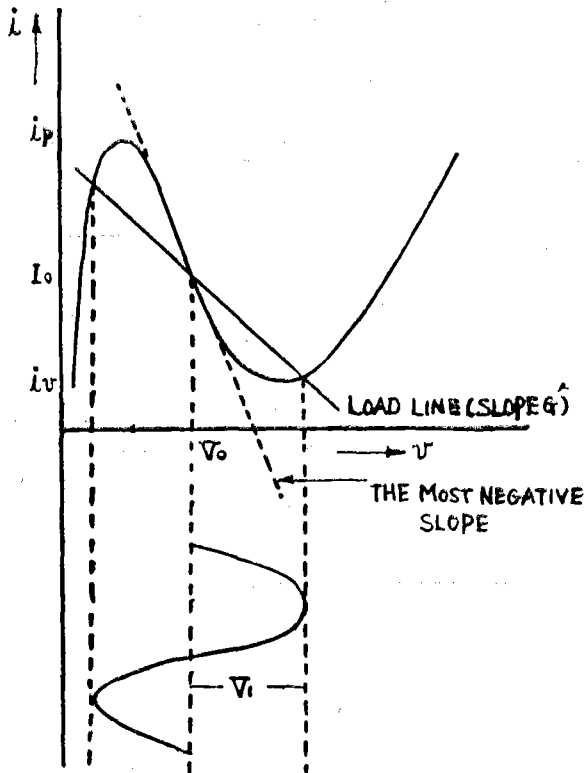
Ⅲ. 理論 解析

터널 다이오드 發振器에서 負荷變化에 따른 發振周波數中 特히 正弦波周波數의 最大化를 理論

解析하고자 한다. 能動素子로서 作用하는 電壓 制御型 負驅動點抵抗 터널 다이오드에 受動並列 同調回路를 接續하므로써 그림 4와 같은 發振回 路가 構成된다.



(a) 基本的인 發振回路



(b) 負荷線과 다이오드 特性

그림 4. 터널 다이오드 負抵抗 發振器

그림 4(a)에서 節點方程式은

$$C' \frac{dV}{dt} + G'V + \frac{1}{L'} \int V dt + i = 0 \dots\dots (4)$$

그런데

$$V = v - V_0, \quad I = I_0 + i(t) \text{ 이므로}$$

$$\frac{d^2v}{dt^2} + \frac{1}{C'} \left( G' \frac{dv}{dt} + \frac{di}{dt} \right) + \frac{v}{L'C'} = 0 \dots (5)$$

$$\ddot{v} + \frac{G'}{C'}(1 + \frac{1}{G'} \frac{di}{dv})\dot{v} + \frac{1}{L'C'}v = 0 \dots\dots (6)$$

式(6)은 一種의 Van der pol 非線型 微分方程式으로 거의 正弦波發振을 하는 경우의 近似的인 解는 다음과 같다.

$$v \cong V_0 + V_1 \sin \omega_1 t \dots\dots\dots (7)$$

다이오드 等價回路에서 R는 v와 i의 比로 定해지는 實効負抵抗이므로 ra를 i-v特性中 가장 큰 負기울기의 逆數라 하면

$$-\infty < R < r_a < 0 \dots\dots\dots (8)$$

이다.

그림 4(a)에서 턴넬 다이오드의 等價回路에 定電壓電源과 適當한 線型임피던스 ZL(s)를 接續하여 發振回路가 構成되는데 本論文에서는 購入 가능한 턴넬 다이오드를 使用하여 그 다이오드의 負抵抗値를 가지고 負荷變化에 따른 最大 正弦波 發振周波數를 얻기 위한 ZL(s)의 選擇問題를 理論解析하고 發振器를 製作하여 實驗檢討한다.

이제 턴넬 다이오드 等價임피던스 Z(s)는

$$Z(s) = r + LS + \frac{\frac{R}{CS}}{R + \frac{1}{CS}} \\ = r + LS + \frac{R}{1 + RCS} \dots\dots\dots (9)$$

그리고 受動並列同調回路인 外部負荷 ZL(s)와 턴넬 다이오드도 구성된 發振回路에서 周波數 W1(限界周波數)에서 一定振幅發振을 하기 爲한 條件은 Ⅱ. (3)에서 다음과 같다.

$$Z(s) + Z_L(s) = 0 \dots\dots\dots (10)$$

$$\text{여기서 } S = j\omega_1 \dots\dots\dots (11)$$

그림 4(b)에서 發振振幅 V1이 零에서 增加하면 R의 값은 ra의 값에는 無關하게 (-)로 減少한다. 結局은 (+)로 된다. 이런 點에서 特性方程式 (10)의 根은 振幅을 增加시키므로써 決定될 수 있다. 또한 正弦波發振의 安定限界周波數는 한 雙의 複素共軛特性根이 V1을 平衡振幅에서 增加시킬 때 複素平面的 右半平面에서 左半平面으로 通過하면 存在한다.

(1) 임피던스 軌跡

負抵抗素子 턴넬 다이오드의 임피던스 Z(s)는

複素平面上에 다음과 같은 要領으로 임피던스軌跡을 구하였다.

턴넬 다이오드의 等價임피던스

$Z(s) = LS + r + \frac{R}{1 + RCS}$ 에서  $r=0$ 라 놓고 兩邊에  $\sqrt{L/C}$ 를 乘하여 L과 C를 1로 規準化하면 다음과 같다.

$$Z(s) = S + \frac{R}{1 + RS} \\ = \frac{R}{1 + \omega^2 R^2} + j\omega(1 - \frac{R^2}{1 + \omega^2 R^2})$$

여기서 R一定曲線(定해진 R値에 對해서  $\omega$ 의 變化에 따른 Z(j $\omega$ )의 軌跡)과  $\omega$ 一定曲線(定해진 W値에 對한 R變化에 따른 Z(j $\omega$ )의 軌跡)은 그림 5와 같다.

그림 5는  $r=0$ 에 對한 Z(s)의 軌跡이므로  $r>0$ 인 Z(s)의 軌跡은 그림 Ⅲ-2의 軌跡原點을 左側으로  $r/\sqrt{\frac{L}{C}}$  Unit 만큼 移動해 주면 된다. 이 턴넬 다이오드의 等價임피던스 軌跡을 利用하여 理論解析을 展開한다.

(2) 抵抗負荷

턴넬 다이오드에 抵抗負荷를 接續한 發振回路에 安定한 限界周波數를 구한다. 이제 그림 5의 턴넬 다이오드 임피던스 軌跡을 實際 抵抗負荷에 適用하기 無해  $r=0, r_a=-1, Z_L$ 은 純抵抗으로 規準化値가 0.5 Unit라 假定한다.

이때 임피던스 軌跡(一定R軌跡)은 式(10)에서 알 수 있는 바와 같이 그림 5의 原點을 左側으로 0.5만큼 移動시키면 된다. S平面的 右半平面內에 存在하는 Z+ZL의 零點數를 求하기 爲하여 나이퀴스트 定理을 적용한다.

式(9)에서

$$1 + RCS = 0$$

$$S = -\frac{1}{RC} + j0$$

따라서 Z는 複素-右-半-平面의  $(-\frac{1}{RC} + j0)$ 인 點에서 하나의 極點을 가지며 抵抗負荷에서 ZL(s)가 正의 實函數이므로 이 點은 特異點으로 된다.

이 結果 Z+ZL은 恒常 複素 右-半-平面에

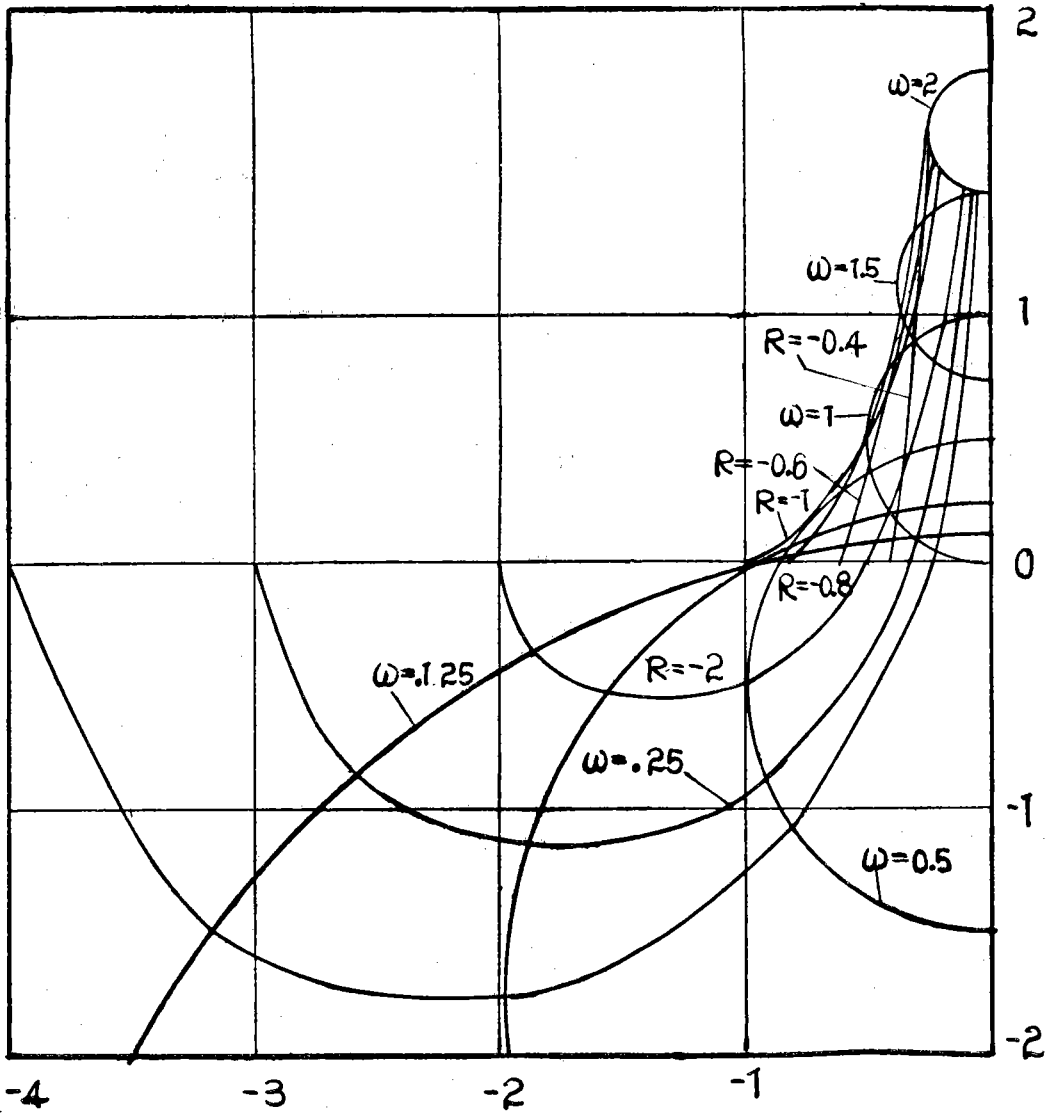


그림 5. Z(s)-軌跡

한개의 極點을 갖고  $Z+Z_L$ 의 右一半-平面的 零點數는 完全한  $Z+Z_L$ 軌跡으로 이루어지는 原點의 時計方向 包圍數보다 하나 커지게 된다.

$R=-1$ 에 對한 完全한 軌跡을 나타내면 그림 6과 같다.

그림 6의 軌跡은 點X를 時計方向으로 한번 돌았기 때문에 特性方程式 (9)은 두개의 右一半-平面根을 가지게 된다.

小信號에 對해  $R=r_d$ 로 發振이 되나 振幅이 늘면  $R$ 는  $r_d$ 보다 더 負로 되어 結局  $Z+Z_L$ 軌跡

의 交叉點 X는  $R=-2$ 까지 내려간다. 따라서 振幅이 增加할때  $Z+Z_L$ 軌跡에 나이퀴스트 定理을 적용하면 이 軌跡과 交叉하는 X點이 安定한 限界周波數임을 알 수 있다.

以上에서 알수 있는 바와 같이 負荷抵抗을 減少시키므로서 發振周波數를 增加시킬 수 있다.  $Z_L$ 을 零으로 接近시키면 豫想되는 發振周波數는 그림 III-2의  $\omega$ 一定曲線中  $Z$ 平面的 原點을 通過하는  $\omega=1$ (規準化值) 即  $\frac{1}{\sqrt{LC}}$ (非規準化值)에

서 얻어진다.

(3) 並列-R<sub>L</sub>C<sub>L</sub> 負荷

抵抗負荷에서 最大豫想周波數는 抵抗이 零일 때 얻어졌는데 抵抗負荷時보다 높은 周波數를 並列 R<sub>L</sub>C<sub>L</sub> 負荷에서 얻을 수 있다. 이때 R<sub>L</sub>, C<sub>L</sub> 値와 最大發振周波數는 Ⅲ章2節에서 얻은 임피 단스 軌跡을 利用하여 求할 수 있다.

一定振幅發振에 對한 式(9), (10)로 주어진 條件은 發振周波數에서  $Z(j\omega) = -Z_L(j\omega)$ 를 滿足해야 하므로  $Z(s)$  平面上에  $-Z_L(j\omega)$ 의 軌跡을 구하면  $Z(s)$ 軌跡과  $-Z_L(s)$ 軌跡의 交點이 安定限發振周波數이다.

따라서 最大豫想周波數를 얻기 위해서는 可能한 限 높은 周波數에 對應되는 이와같은 交叉點을 얻는 것이 問題가 된다. 이와같은 問題를 解析하기 위해 一例로 R<sub>L</sub>C<sub>L</sub>並列負荷에 對해서

$$R = r_a = -1, 855, r = 0 \text{인 } Z \text{軌跡과 } R_L \leq -r_a \text{인}$$

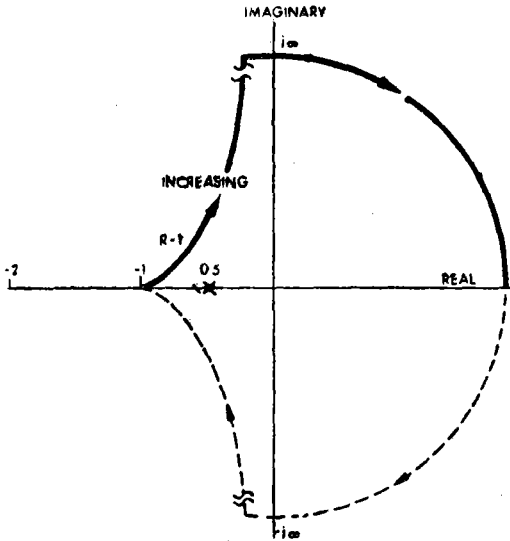


그림 6. R=1의 完全軌跡

表2. Z(s) Z<sub>L</sub>(s)

W	Z(s) Z <sub>L</sub> (s) R, R <sub>L</sub>	$Z(j\omega) = \frac{R}{1+W^2R^2} + j\omega(\frac{R^2}{1+W^2R^2}) - Z_L(j\omega) = -\frac{R_L}{1+W^2R^2}j + \frac{WR_L}{1W^2R_L^2}$			
		R = -0.628	R = -0.855	R <sub>L</sub> = 1.72	R <sub>L</sub> = 1.855
0		-0.628 + j0	-1.855 + j0	-1.72 + j0	-1.855 + j0
0.1		-0.675 + j0.0605	-1.792 - j0.221	-1.672 + j0.29	-1.792 + j0.322
0.2		-0.619 + j0.225	-1.65 - j0.412	-1.451 + j0.5	-1.65 + j0.614
0.3		-0.607 + j0.186	-1.42 - j0.439	-1.36 + j0.702	-1.42 + j0.789
0.4		-0.591 + j0.252	-1.195 - j0.483	-1.168 + j0.808	-1.195 + j0.8832
0.5		-0.576 + j0.319	-0.997 - j0.433	-0.989 + j0.85	-0.997 + j0.8335
0.6		-0.55 + j0.391	-0.827 - j0.319	-0.843 + j0.875	-0.827 + j0.9186
0.7		-0.54 + j0.461	-0.680 + j0.461	-0.703 + j0.847	-0.680 + j0.882
0.8		-0.502 + j0.548	-0.589 - j0.075	-0.585 + j0.818	-0.589 + j0.875
0.9		-0.476 + j0.632	-0.488 + j0.088	-0.506 + j0.783	-0.488 + j0.812
1.0		-0.451 + j0.716	-0.417 + j0.227	-0.435 + j0.749	-0.417 + j0.773
1.1		-0.427 + j0.805	-0.342 + j0.4	-0.368 + j0.69575	-0.342 + j0.71
1.2		-0.40 + j0.899	-0.312 + j0.505	-0.327 + j0.672	-0.312 + j0.695
1.3		-0.376 + j0.980	-0.272 + j0.6565	-0.286 + j0.6306	-0.272 + j0.6435
1.4		-0.367 + j1.08	-0.239 + j0.7798	-0.253 - j0.61	-0.239 + j0.6202
1.5		-0.332 + j1.16	-0.218 + j0.8955	-0.228 + j0.589	-0.218 + j0.6045
1.6		-0.314 + j1.285	-0.188 + j1.0432	-0.201 + j0.567	-0.188 + j0.5568
1.7		-0.293 + j1.389	-0.169 + j1.1594	-1.1749 + j0.51	-0.169 + j0.5406
1.8		-0.275 + j1.49	-0.153 + j1.288	-0.157 + j0.485	-0.153 + j0.512
1.9		-0.259 + j1.59	-0.1375 + j1.4155	-0.147 + j0.48	-0.1375 + j0.4345
2.0		-0.243 + j1.695	-0.1252 + j1.536	-0.1335 + j0.458	-0.1252 + j0.464

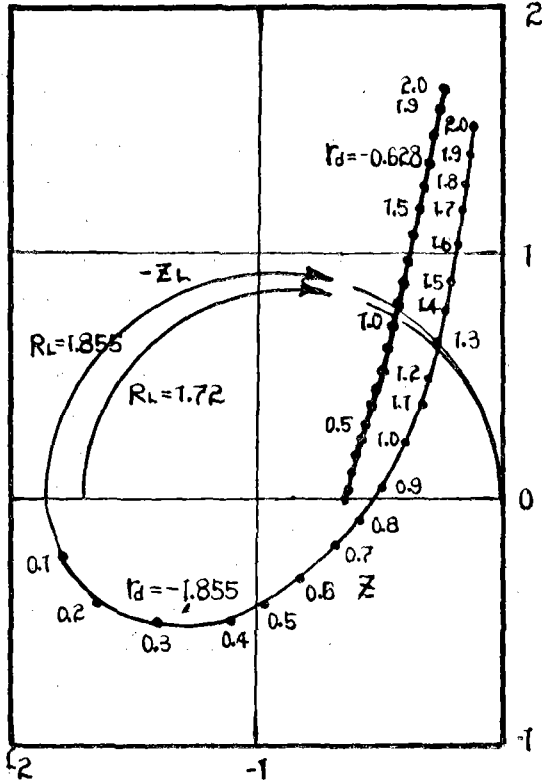


그림 7. 並列-R<sub>L</sub>C<sub>L</sub>負荷

-Z<sub>L</sub>軌跡과의 交點을 求해보면 다음과 같다.

$$Z(s) = \frac{R}{1 + \omega^2 R^2} + j\omega(1 - \frac{R^2}{\omega^2 R^2})$$

$$Z_L(s) = \frac{\frac{R_L}{C_L s}}{R_L + \frac{1}{C_L s}} + \frac{R_L}{1 + R_L s} \text{ 規準化)$$

이므로 表 3를 作成하여 交點을 얻기 위한 軌跡을 求하면 그림 7와 같다.

그림 7에서 보는바와 같이 交叉點은 R<sub>L</sub>을 增加시키므로서 높은 周波數에서 생긴다. 그러나 2重靜動作點이 나타날 可能性을 避하기 爲해서 R<sub>L</sub>이 -r<sub>d</sub>보다 크지않다고 制限한다면 最大豫想 周波數는 R<sub>L</sub>=r<sub>d</sub>인 軌跡의 交叉點에서 이리남을 알 수 있다. 여기서 r=0로 놓고 解析하였으나 r=0인 特任한 경우도 以上の 圖表方法으로 解析된다. 그러나 지금까지 解析한 바와 같이 實際 屯넬 다이오드回路에서 r=0라 놓아도 無妨하다. 그림 7에서 -Z<sub>L</sub>의 軌跡은 規準化值의 軌跡이므로 C<sub>L</sub>值에 無關하였다. 따라서 C<sub>L</sub>值을

考慮한 이 값의 決定과 最大發振周波數가 問題 된다. 그러나 C<sub>L</sub>值의 選擇은 -Z<sub>L</sub>軌跡에 何等의 影響을 미치지 못하지만 이 값에 따라 계속적인 주파수 데이터值만은 얻을 수 있다. 이 C<sub>L</sub> 값은 두 軌跡의 交叉點이 두 軌跡上의 同一周波數 ω<sub>a</sub>와 一致하도록 決定해 주므로서 하모닉 發振을 얻을 수 있다.

그러므로

$$Z(j\omega)_{R=r_d} = -Z_L(j\omega)_{R=r_d} \dots \dots \dots (12)$$

式(12)에서 最適負荷回路 時定數와 하모닉 發振의 最大周波數를 求하면

$$T_d = R_L C_L = -r_d C \text{ (非規準化值)} \dots \dots \dots (13)$$

$$\omega_a = \sqrt{(2r_d^2 - 1)r_d} \dots \dots \dots (14)$$

와 같다.

式(14)을 圖示하면 그림 8와 같다.

또한 ω<sub>a</sub>值보다 높은 周波數는 發振振幅을 零에 가깝게 하던지 또는 R의 값을 r<sub>d</sub>值보다 더 負로 작게 取하므로서 일어질 수 있는 可能性을 생각해보자.

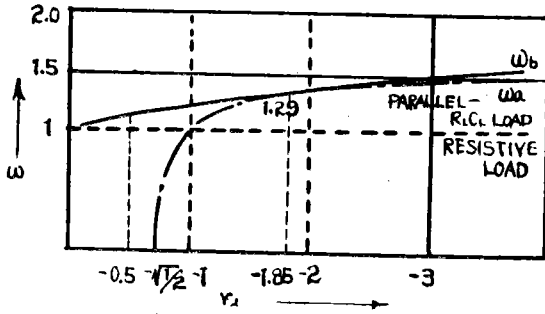


그림 8. 可能發振周波數( $r=0$ )

任意의 負值 R에 對한 發振可能周波數는  $\omega$ —一定曲線과  $-Z_L$ 曲線과의 交點이 된다. 그런데  $\omega$ —一定曲線의 中心은 周波數가 增加함에 따라 虛數軸을 따라 올라가면서 그 半徑은 줄어들므로  $-Z_L(R_L=r_d)$ 에 接하는  $\omega$ —一定軌跡이 最高周波數에 該當하는 交叉軌跡이 된다. 이 周波數를  $\omega_b$ 로 表示하여  $r_d$ 值에 따른  $\omega_a$ —一定,  $\omega_b$ —一定軌跡을 求하면 그림 9과 같다.

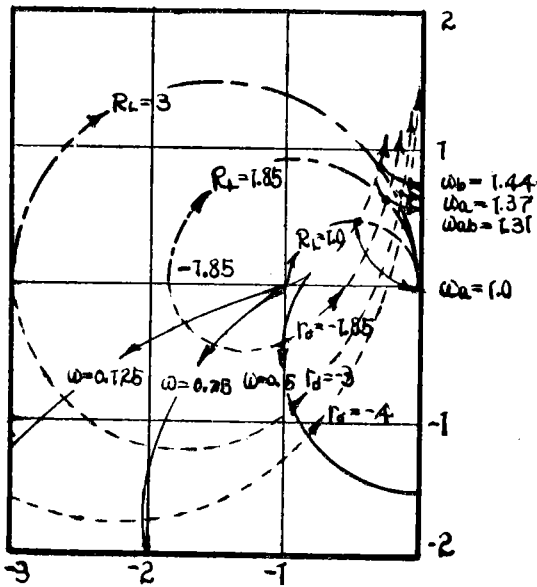


그림 9. 並列 R<sub>L</sub>C<sub>L</sub> 負荷의  $\omega_a, \omega_b$

Z平面上에서 一定 $\omega_a$ 의 圓의 方程式은

$$(R_0 Z)^2 + (I_m Z - \omega_b + \frac{1}{2\omega_b})^2 = (\frac{1}{2\omega_b})^2 \dots (15)$$

또  $-Z_L$  軌跡에 對한 圓의 方程式은

$$(R_0 Z + r_d/2)^2 + (I_m Z)^2 = (r_d/2)^2 \dots (16)$$

이므로 式(15)와 (16)에서 接線의 方程式을 求하면

$$2\omega_b(\omega_b^2 - 1) = -r_d \dots (17)$$

이다. 여기서  $\omega_b$ 를  $r_d$ 의 函數로 놓고 圖示하면 그림 8의  $\omega_b$ 와 같다.

$\omega_b$  項으로 接點을 求하여 그 點의 座標와  $-Z_L(j\omega_b)$ 를 같게 놓으면 時定數가 誘導된다. 印

$$T_b = R_L C_L = \frac{1}{\omega_b} \sqrt{1 - 4\omega_b^2(\omega_b^2 - 1)} \dots (18)$$

그림 8에서  $\omega_a = \omega_b$ 되는 點의  $r_d$ 值를 除外한 값에서  $\omega_b$ 는  $\omega_a$ 值보다 크다는 것을 알 수 있다.

$\omega_a = \omega_b$ 되는 點을 求하면 다음과 같다.

$$\omega = \sqrt{1 + \sqrt{2}/2} = 1.31 \dots (19)$$

$$r_d = -\sqrt{2 + \sqrt{2}} = -1,855 \dots (20)$$

또 그림 9에서 알 수 있는 마와 같이  $r_d < -1,855$ 이면 一定 $\omega_b$ 軌跡과  $-Z_L$ 軌跡과의 接點은  $r_d$ 보다 적은 負值를 갖는 R에 該當된다. 故로 R의 最適値는  $r_d$ 의 最小値로 잡아야 한다. 또 이렇게 되면 이 값은  $\omega_a$ 에 對應된 값이므로  $r_d < -1,855$ 이면 最大發振周波數는  $\omega_a$ 로 된다. 또 그림 9에서  $0 > r_d > -1,855$ 이면 接點에 對應하는 R의 값은  $r_d$ 보다 더욱 큰 負值를 가지므로 여기서  $\omega_b$ 를 얻을 수 있다. 以上을 綜合하면 並列 R<sub>L</sub>C<sub>L</sub>-負荷를 갖는 턴넬 다이오드發振器의 最大發振周波數는 첫째,  $-\infty < r_d < -1,855$ 인 경우는  $\omega(\max) = \omega_a$ (零振幅), 둘째,  $-1,855 < r_d < 0$ 인 경우는  $\omega(\max) = \omega_b$ (一定振幅)이다. 이 最大周波數의 安定度를 判別하기 爲해  $Z(j\omega) + Z_L(j\omega)$ 에 나이퀴스트 定理를 적용하면  $r=r_d$ 인 定常狀態에서는 負荷回路 時定數  $R_L C_L$ 이  $T_a$ 보다 크다 할지라도 複素 右一半-平面에 두개의 特性根을 포함하므로 不安定하다. 더욱이 式(13)과 (18)를 比較하여 보면  $r_d$ 가  $-1,855 < r_d < 0$ 인 값을 갖는다 해도  $T_b > T_a$ 이다. 따라서  $\omega_b$ 로 나타난 近似的인 正弦波發振은 自己開始이며 두 경우 모두 安定한 發振임을 알 수 있다.



IV. 實 驗

여 터널 다이오드 發振器를 製作實驗하였다. 터널 다이오드發振回路 構成은 그림 10과 같다.

購入可能한 터널 다이오드 IN2930A를 使用하

서 터널 다이오드의 표류용량과 負荷인 단탄스를

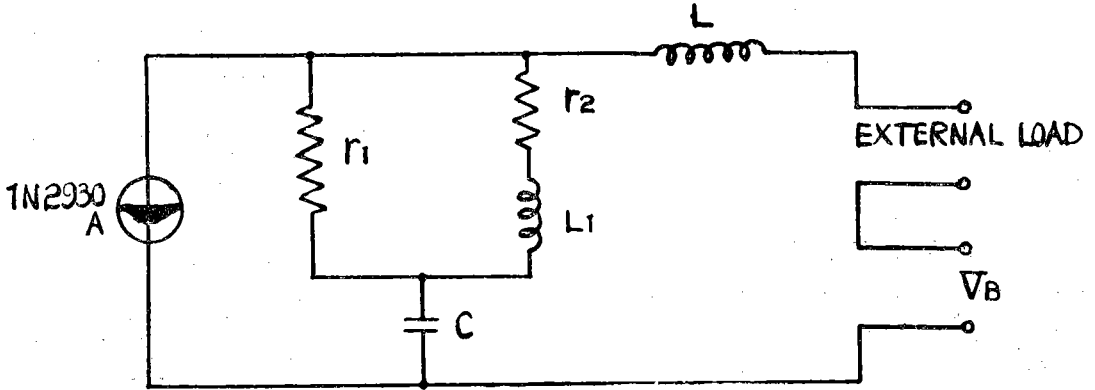


그림 10. 터널 다이오드 發振器의 實驗모델

有効하게 代置할 수 있게끔 充分히 크게 잡았다.

$r_1, r_2, L_1$ 은 高周波기생진동을 피하기 위한 素子이다. VHF에서 C는 短絡된 것으로 되며 L과 은 開妨된 것으로 되므로 터널 다이오드는 安定

化抵抗  $r_1$ 으로 並列接續된다.  $L_1$ 의 目的은 實驗中 높은 周波數에서  $r_1$ 을 通해 短絡回路를 만들기 위한 것이며 安定化 인단타의 直列抵抗  $r_2$ 는 아주 적어 無視할 수 있다. 以上에서 實驗에 使

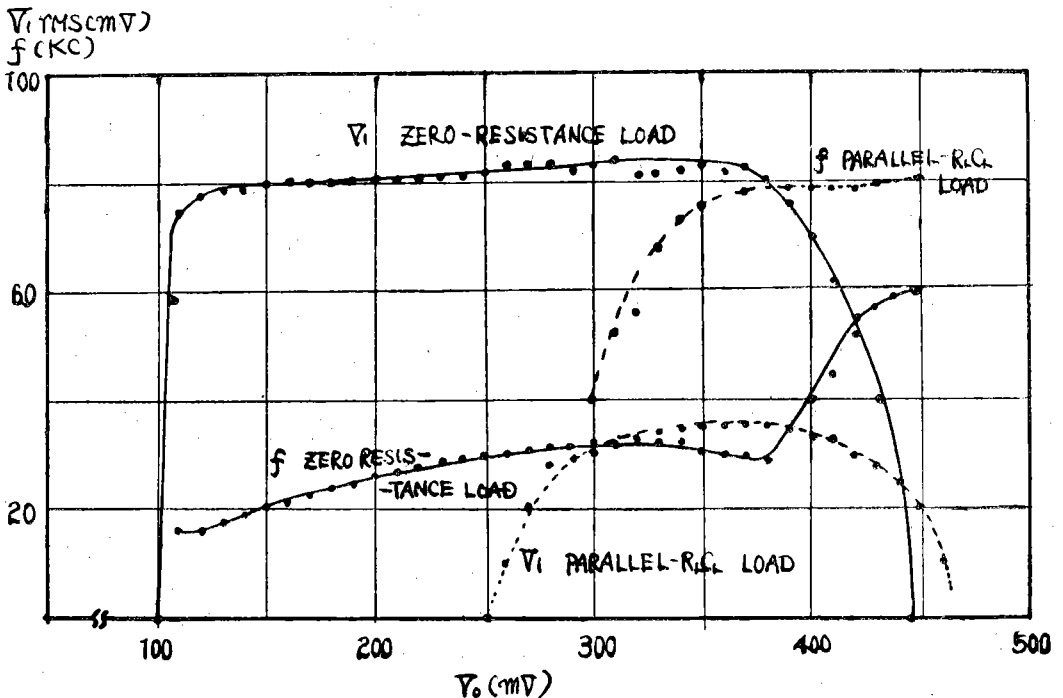


그림 11. 零-負荷, 小-인단탄스時 實驗結果曲線

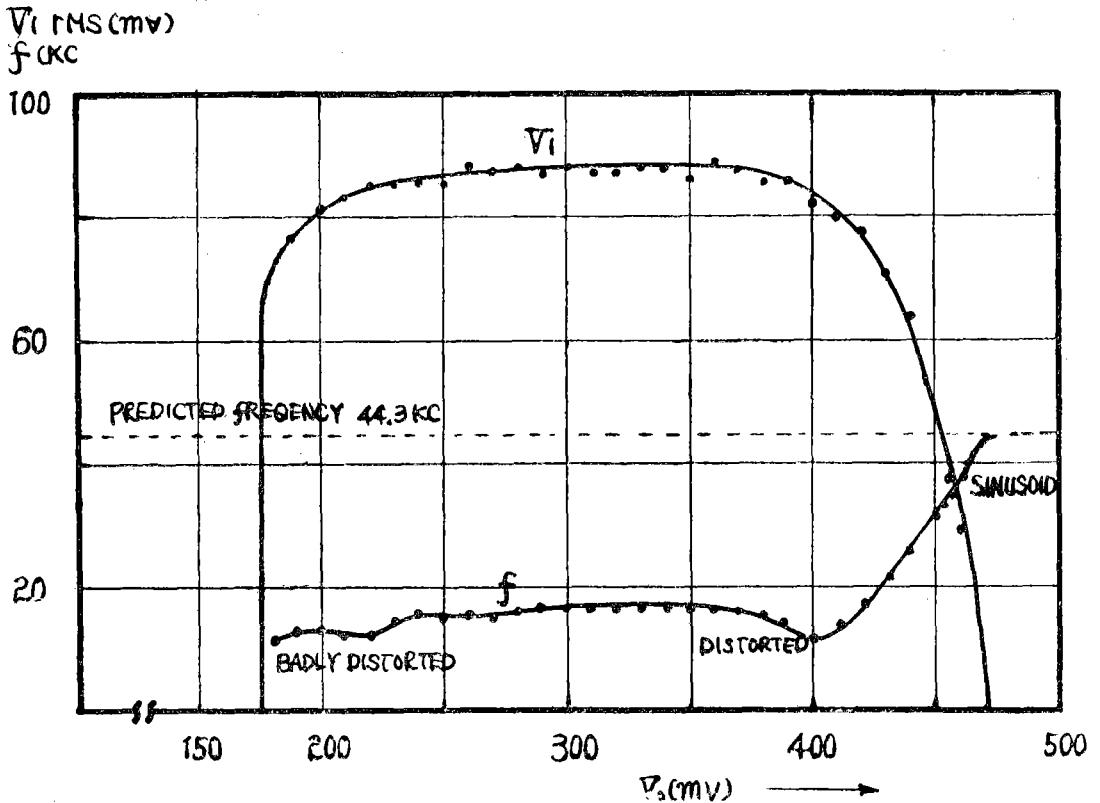


그림 12. 零-負荷, 大-인덕탄스時 實驗結果曲線

用한 發振回路의 素子는 다음과 같이 定하였다.

$r_1=75[\Omega]$ ,  $L_1=2[\mu H]$ ,  $C=0.01[\mu F]$ ,  $r_2=0.6[\Omega]$

(1) 零抵抗 負荷

(A) 零負荷, 小-인덕탄스인 경우

$r_d=0.628$ (規準化值)  $= -96[\Omega]$  (IN 2930A 特性),  $L=700[\mu H]$ 로 놓고 實驗하였다. 이 경우 豫想最大發振周波數는  $60.2\text{Kc}$  ( $T=16.6\mu\text{sec}$ )이다. 바이아스電壓에 따른 實驗結果值을 plot하면 그림 11와 같다.

그림 11에서 歪曲狀態의 發振周波數는 回路設計周波數와 큰 差異가 있는 基本周波數에 高調波가 많이 包含되나 이 帶域을 넘어 正弦波發振이 發生時에는 豫想周波數에 接近함을 알 수 있다. 이는 다이오드의 特性에서 負抵抗領域內의 負抵抗의 最大値에 該當하는 帶域內에 屬하기때 문이다.

(B) 零-負荷, 大인덕탄스인 경우

$r_d=-0.462$ (規準化值),  $L=1.3[\text{mH}]$ 인 경우 豫想發振周波數는  $44.3[\text{Kc}]$  ( $T=22.6\mu\text{sec}$ )이다. 이 경우 實驗結果를 plot하면 그림 12과 같다.

(2) 並列- $R_L C_L$  負荷

(A)  $r_d=-0.628$ ,  $R_L=1.72$ (規準化值),  $C_L=0.01[\mu F]$ 인 경우

이 경우 그림 13에서  $R_L=1.72$  曲線과 Z軌跡과의 交點을 約 1.3으로 놓으면 豫想最大周波數는  $1.3 \times 6.2=78.4[\text{Kc}]$  ( $T=11.3\mu\text{sec}$ )이다.

바이아스 電壓에 따른 振幅과 周波數變化的 實驗結果 曲線은 그림 13과 같다.

(B)  $C_L$ 變化에 따른 周波數와 振幅變化

$r_d=-0.628$ (規準化值)에서 並列  $R_L C_L$ -負荷

發振器의  $C_L$ 變化에 따른 周波數와 振幅의 實驗 結果는 그림 13과 같다.

以上の 實驗에서 신크로스코프에 나타난 몇가지 主要한 波形을 보면 寫眞 1~11과 같다.

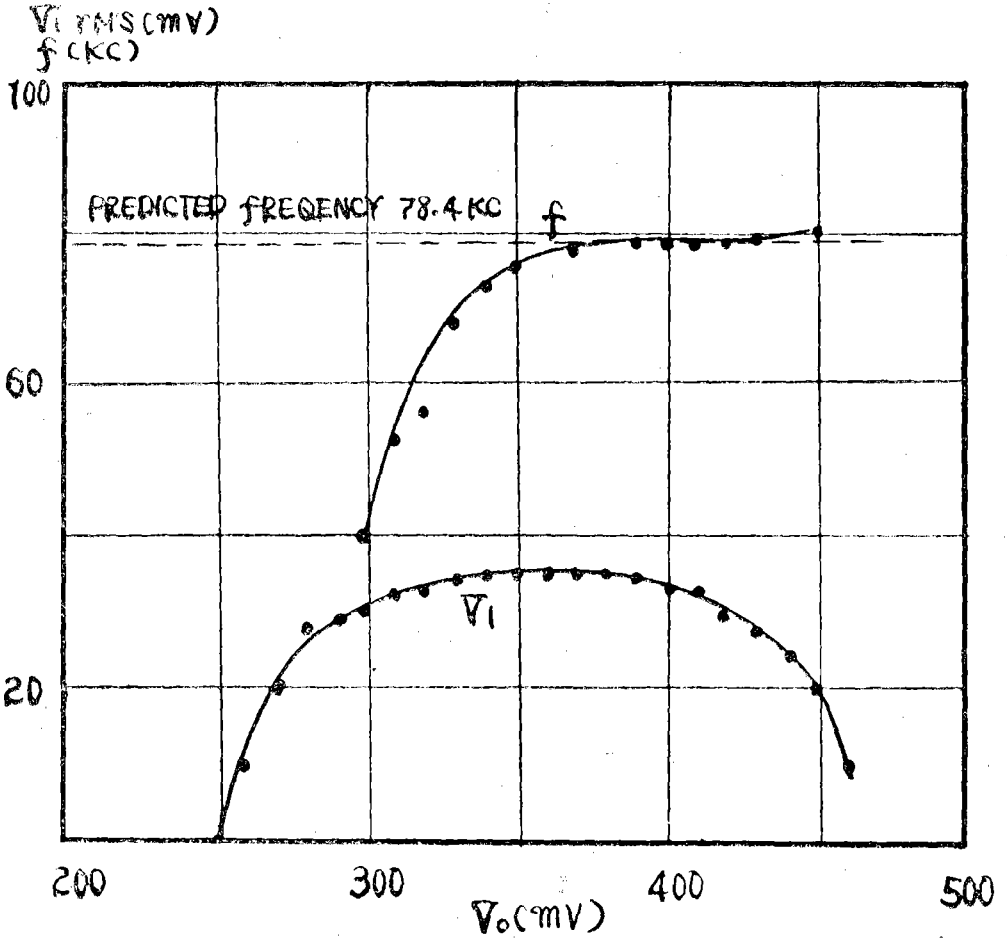


그림 13. 並列  $R_L C_L$ -負荷의 實驗結果曲線

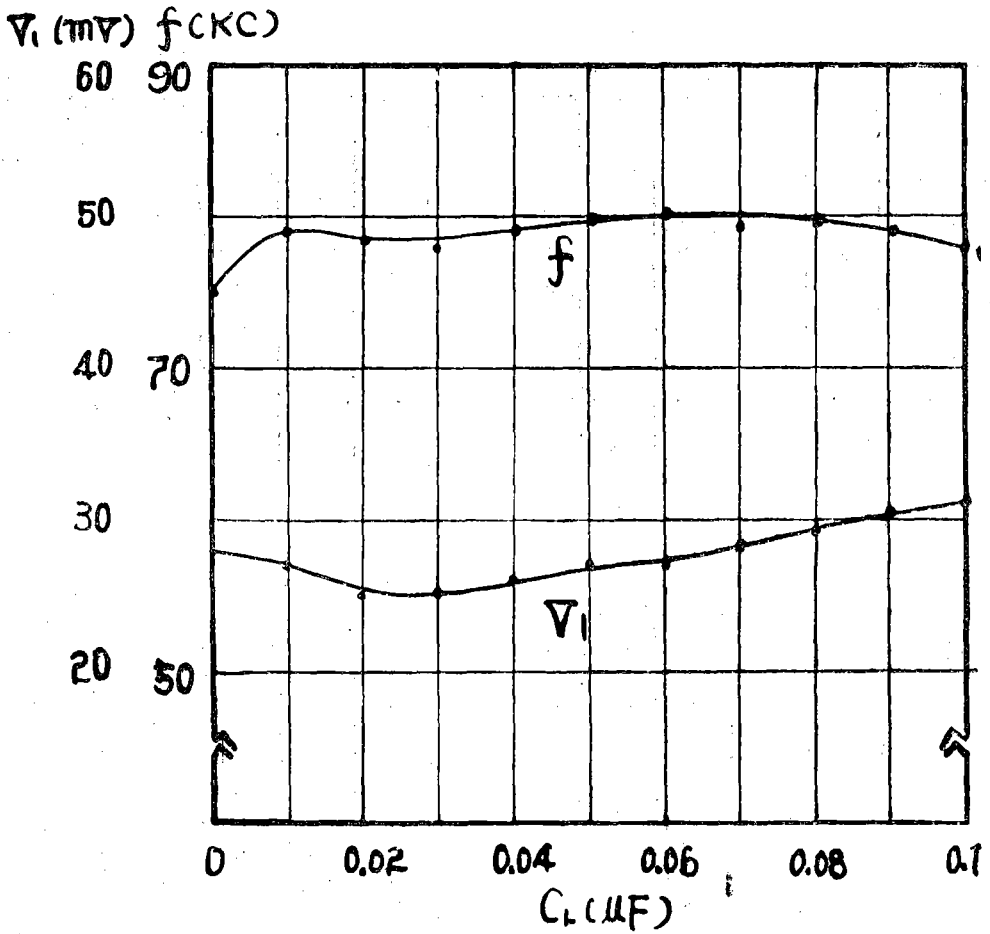


그림 14. 並列RLCL-負荷時 發振周波數와 振幅의 實驗結果( $r_d = -0.628$ )

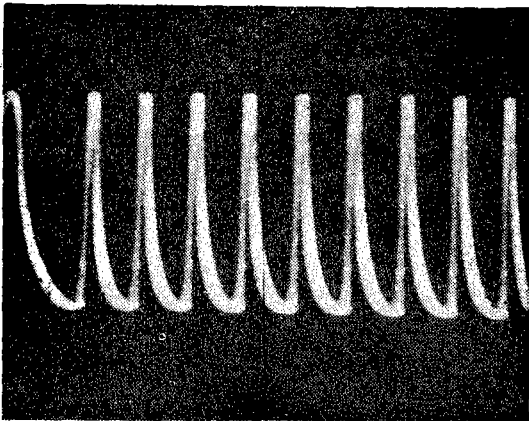


사진 1

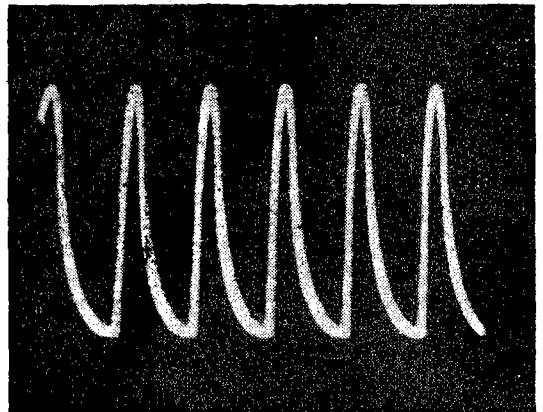


사진 2

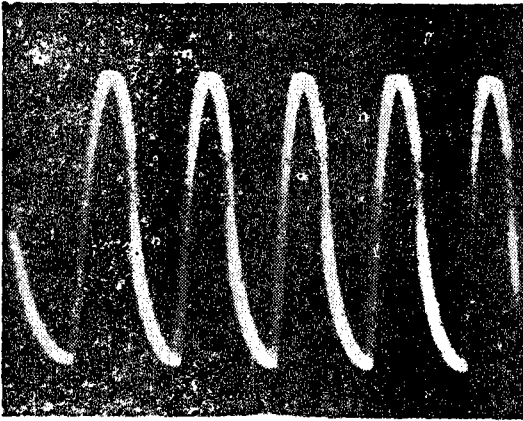


사진 3

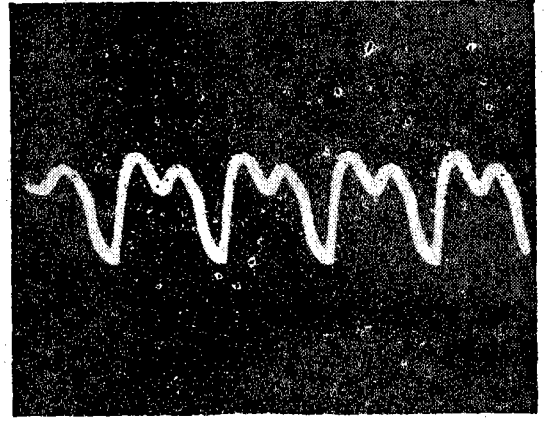


사진 4

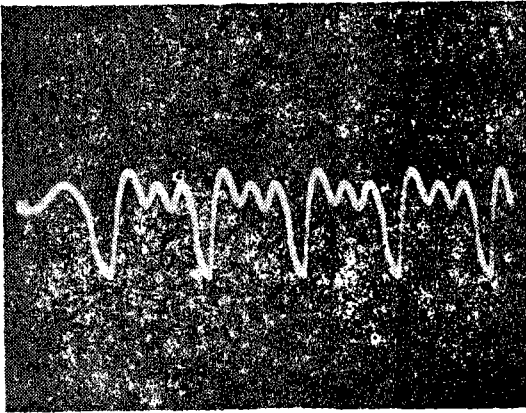


사진 5

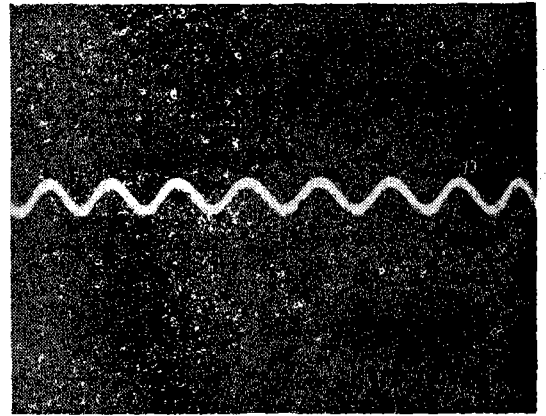


사진 6

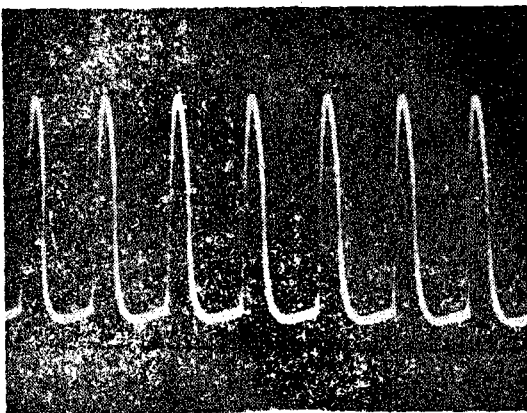


사진 7

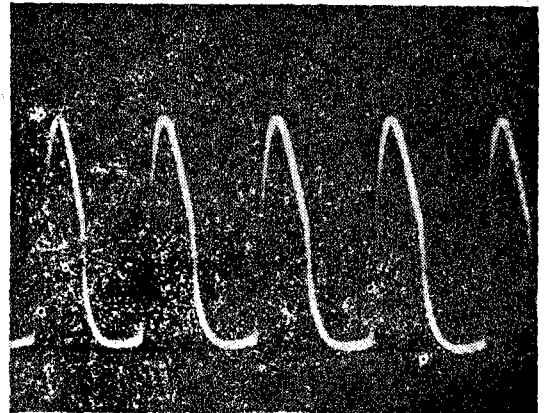


사진 8

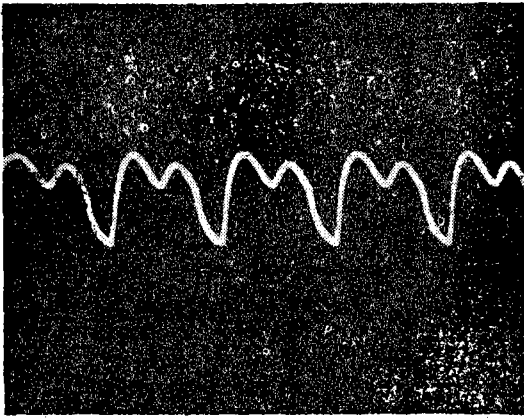


사진 9

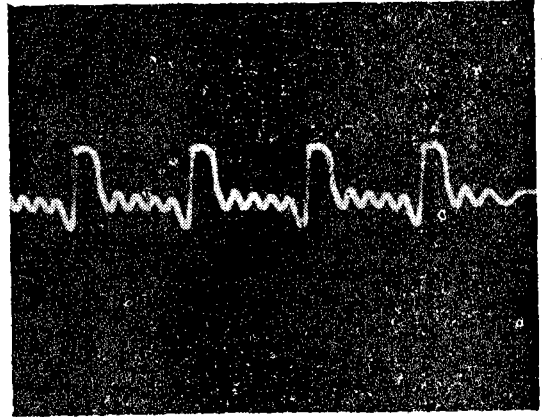


사진 10

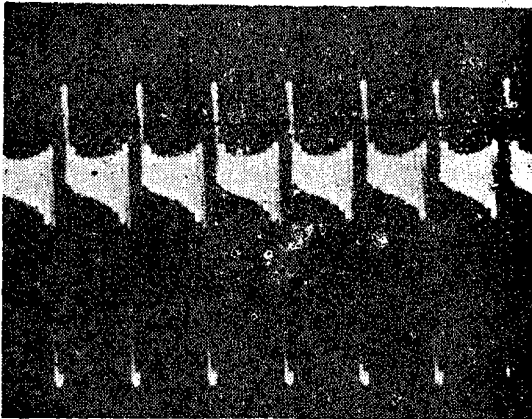


사진 11

### V. 結 論

앞에서 理論解析하고 實驗한 結果와 마찬가지로 抵抗負荷中 最大發振周波數를 얻을 수 있는 零一抵抗負荷보다 並列 R<sub>L</sub>C<sub>L</sub>-負荷로 構成된 턴넬 다이오드 發振器에서 높은 正弦波發振周波數를 얻었다. 이를  $ra = -0.628$  units,  $R_L = 1.72\Omega$ 에 對해 比較하여 보면 그림 15와 같다.

以上の 結果 解析에서 並列 R<sub>L</sub>C<sub>L</sub>-負荷에서 높은 周波數를 얻을 수 있음을 알았지만 並列共振回路를 걸어주면 이의 임피던스軌跡은 W의 더 큰 값에서 交叉하므로 더 높은 周波數를 얻을 수 있어 마이크로波의 發振도 可能하게 된다.

이에 對한 解析은 다음 기회에 하고자 한다. 並列 R<sub>L</sub>C<sub>L</sub>負荷에서는 C<sub>L</sub>值에 거의 無關한 周波數와 振幅을 얻을 수 있지만 並列共振負荷에서는 實際回路의 質要因을 考慮해야 하므로 R<sub>L</sub>值는 勿論 Z<sub>L</sub>軌跡을 求하여 이것과 턴넬 다이오드의 임피던스軌跡의 交點을 求하면 最大豫想周波數를 얻을 수 있다.

이와 反面에 零抵抗負荷時보다는 현저한 振幅減少를 超來하게 된다.

### < 參考文獻 >

1. Bsaki, I.; New phenomenon in Narrow Ge p-n junctions, Phys. Rev., Vol.109 1958
2. Millman, & Taub; pulse, Digital and Switching wave forms, Mcgraw-Hill, 1965.
3. Y. C. Hwang, etal; Designing with Tunnel Diodes Electronic Design, Vol.8 Feb. 17. 1960
4. L. I. Smilen, etal., Stability Criterion for Tunnel diodes, proc IRE. Jaq 1961
5. Strauss; wave generation and shaping Mc Graw-Hill, 1958
6. J. E. Gibson; Nonlinear Autowatic Control, Mcgraw-Hill, 1963.
7. E. Gottlieb, etal; Tunnel Diodes. pact I, Electronics June 14. 1963.

$V_i$  rms(mv)  
 $f$  (Kc)  
100

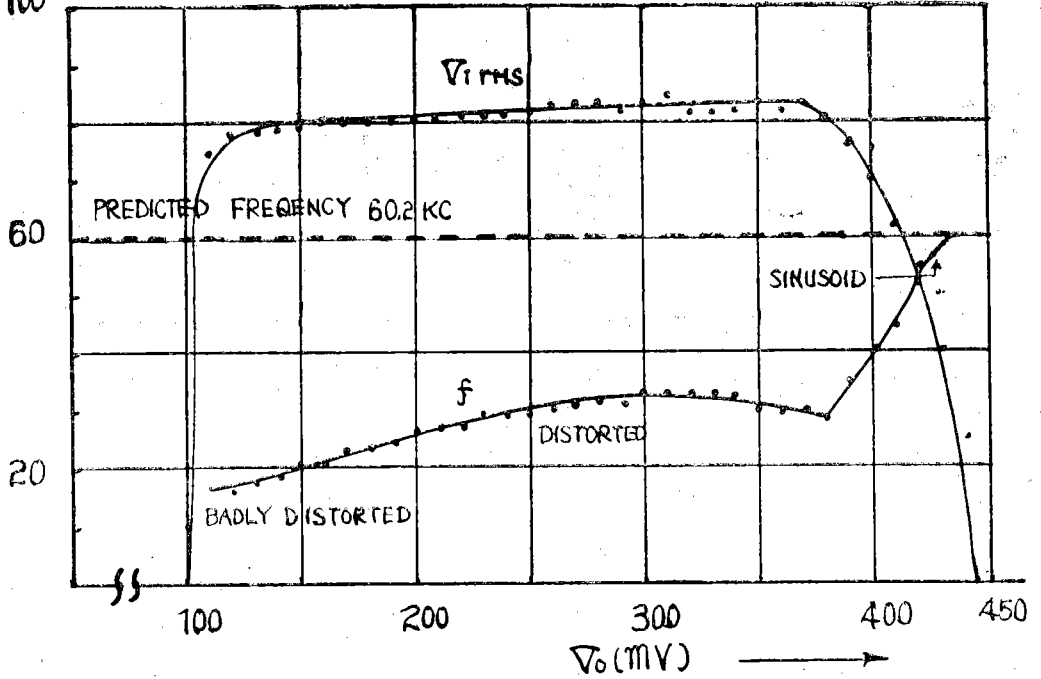


그림 15. 實驗結果比較