

임페트 다이오드 마이크로波 發振器에서의 임피던스 整合에 關한 研究

(Study on Impedance Matching of Microwave
IMPATT-Diode Oscillator)

尹 彰 鏞*

Yoon, Chang Yong

要 約

부성 저항을 갖는 다이오드를 사용한 마이크로파 발진기에서 최대의 出力을 내기 위한 임피던스 정합 조건이 공진기의 load 임피던스가 다이오드 임피던스의 $\frac{1}{2}$ 이라는 결과가 이론적으로 抽出된다. 이 사실을 실험적으로 규명하기 위하여 임페트 다이오드의 임피던스를 實驗적으로 조사하고 마이크로파 공진기를 실제 제작하여 조사하였다.

ABSTRACT

The Impedance Matching Condition for maximum power out-put of an Impatt oscillator is calculated using the Van der pol's equation. From this calculation, it is found that the load impedance of the oscillator must be one half of the diode impedance for the maximum power output.

To get an experimental proof for this result, the impedance of the Impatt-diode was measured and accordingly the microwave oscillator designed and fabricated.

The data obtained from the experiments agree fairly closely with the theoretical values.

I. 緒 論

半導體素子를 사용한 마이크로파 발진기를 종래의 Klystron이나 Magnetron 발진기와 대치코자 최근에 상당한 연구가 진행되고 있다. 마이크로파를 발진시킬 수 있는 半導體素子로서는 마이크로파 영역에서 부성 저항을 갖는 간(Gunn) 다이오드와 임페트(IMPATT) 다이오드가 있는데 본 논문에서는 간 다이오드에 비하여 高出력을 낼 수 있는 임페트 다이오드를 사용하여 마이크로파 발진기를 제작하였다. 그리고 역 바이어스 電壓下에서의 임페트 다이오드 特性을 조사하고 또 공진기의 特性을 조사하여 부성 저항을 갖는 다이오드를 사용한 마이크로파 발진기에서 최대의 出力을 낼 수 있는 임피던스 정합 관계를 조사하였다.

II. 부성 저항을 갖는 다이오드를 사용한 발진기의 임피던스 정합 조건

부성 저항을 갖는 다이오드를 공진기에 넣어서 마이크로파 발진을 시킬 경우 발진 조건은 다음과 같다.

$$Zd + Zr = 0$$

$$Zd = -Rd + jXd : \text{다이오드 임피던스} \quad (1)$$

$$Zr = Rr + jXr : \text{공진기 임피던스}$$

$$Rd, Xd, Rr, Xr \geq 0$$

(1)식으로부터

$$Xd = -Xr \quad (2)$$

$$Rr = Rd \quad (3)$$

라는 조건이 나온다.

(2)식은 발진 周波數를 나타내고 (3)식은 出力關係를 표시하며 일반적으로 $Rd \geq Rr$ 일때 발진이 가능하고 $Rr = Rd$ 인 경우 최대의 出力을 얻

* 西江大學校 電子工學科 講師

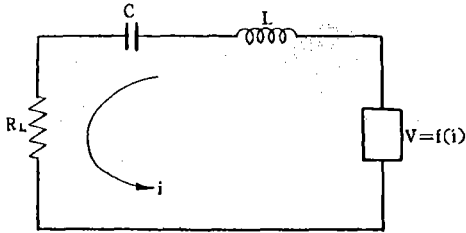


그림 1. 부성 저항을 갖는 다이오드를 사용한 발진기의 등가회로

을 수 있는 것으로 해석되고 있으나 실상 수리적인 근거가 명백치 않으며 이 문제를 Van der Pol 방정식을 풀어 합리적으로 抽出한 最大 (1) (2) 出力과 임피던스의 관계는 다음과 같다.

부성 저항을 갖는 다이오드를 사용한 발진기의 회로는 그림 1과 같이 간단하게 표시 할 수 있다.

다이오드는 black box 로 표시하고 다이오드 양단에 걸리는 電壓 V는 電流의 函數로 표시한다.

$$V=f(i)=-ai+bi^3 \quad a, b > 0 \quad (5)$$

그림 1의 발진기를 시간에 대한 電流의 方程式으로 표시하면 다음과 같다.

$$\frac{d^2i}{dt^2} + \frac{1}{L} \frac{di}{dt} (R_L - a + 3bi^2) + \frac{i}{LC} = 0 \quad (6)$$

電流 i의 해는 (7)식과 같이 표시 된다.

$$i = Ae^{-rt} \cos(\omega_1 t + \theta)$$

여기서 $r = \frac{a - R_L - 3bi^2}{2}$: damping factor

$$\omega_1 = \left(\frac{1}{LC} - r^2 \right)^{\frac{1}{2}} = (\omega_0^2 - r^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} : \text{natural angular frequency}$$

이런 때 발진기의 出力은 근사적으로 다음과 같이 표시된다.

$$P_{osc} = \frac{1}{2} I^2 R_L = 2(a - R_L) R_L / 3b$$

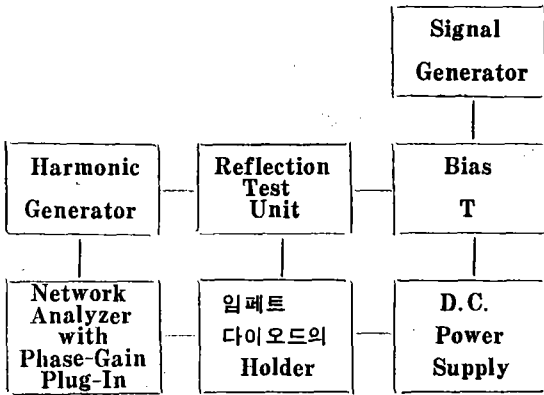


그림 2. 임페트 다이오드의 임피던스 측정 계통도

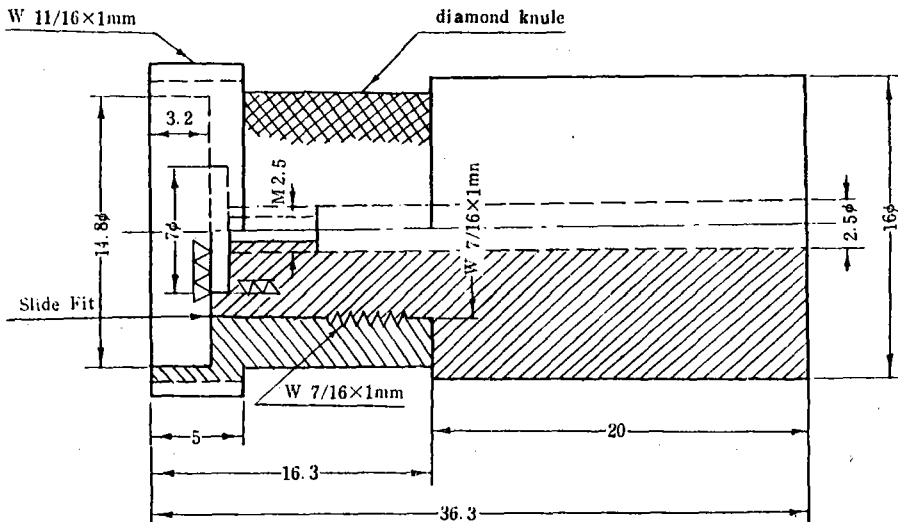


그림 3. 임피던스를 측정하기 위한 다이오드 Holder

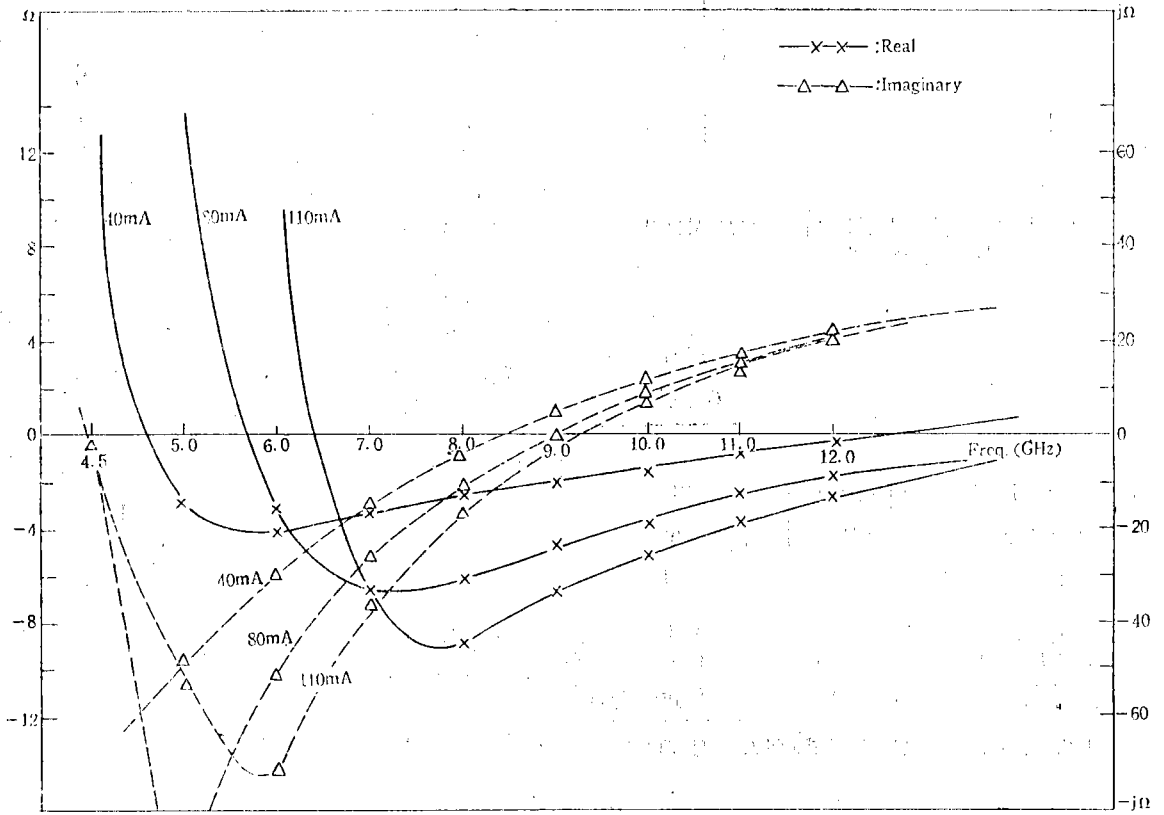
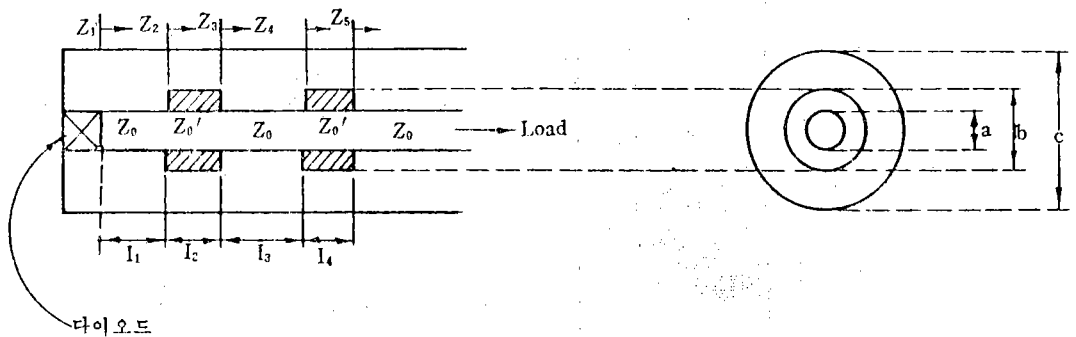


그림 4. Bias Current 와 周波數에 따르는 다이오드의 직렬저항의 變化



$Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6$: 각 reference plane 에서의 입력 임피던스
 l_1, l_2, l_3, l_4 : 각 송전선의 길이. 단위는 cm.
 Z_0, Z_0' : 각 송전선 부분의 특성 임피던스
 a, b, c : 각 도체의 지름

그림 5. Multiple-Slug-Tuned 공진기의 단면도

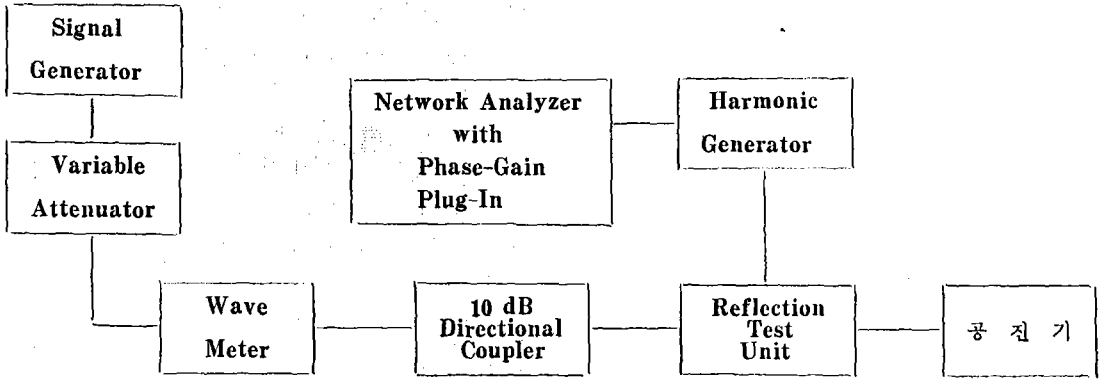


그림 6. 공진기의 임피던스 測定系統圖

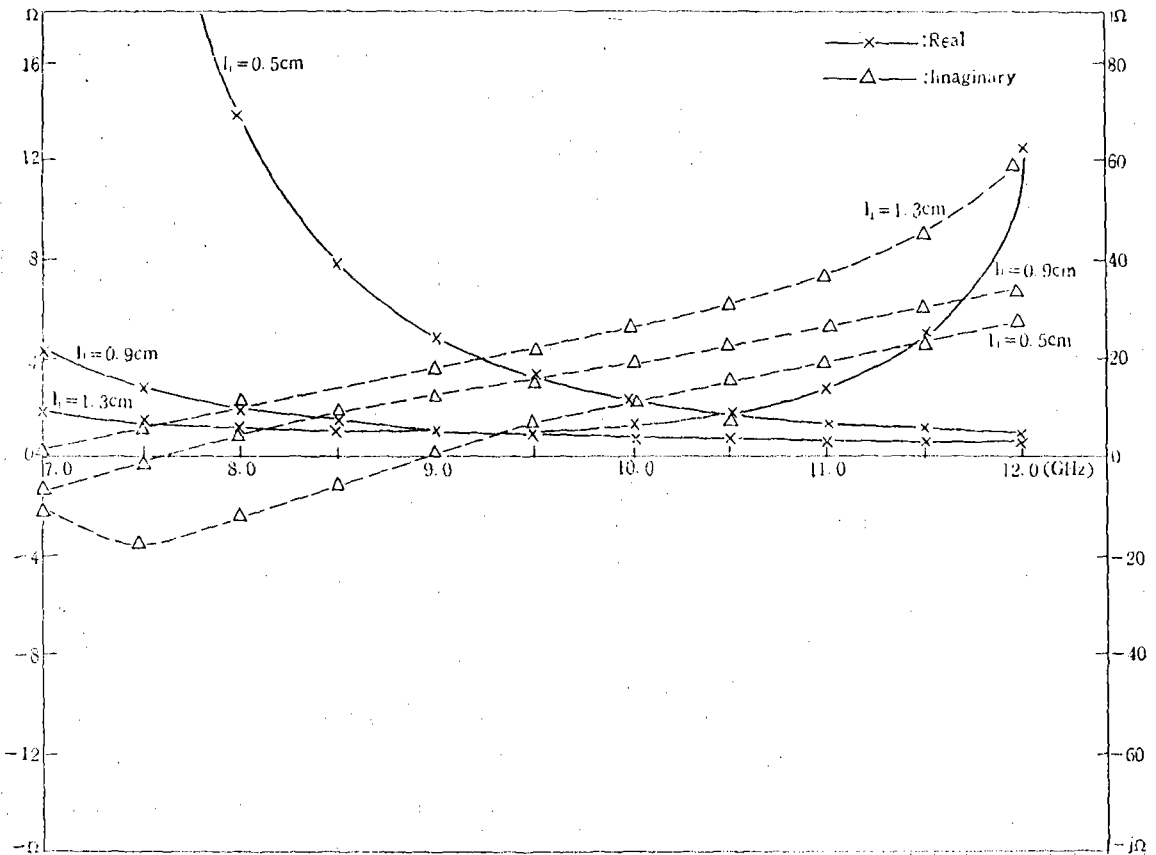


그림 7. $l_1=0.3$ 일 때 l_1 에 따르는 임피던스 Z_1 의 變化

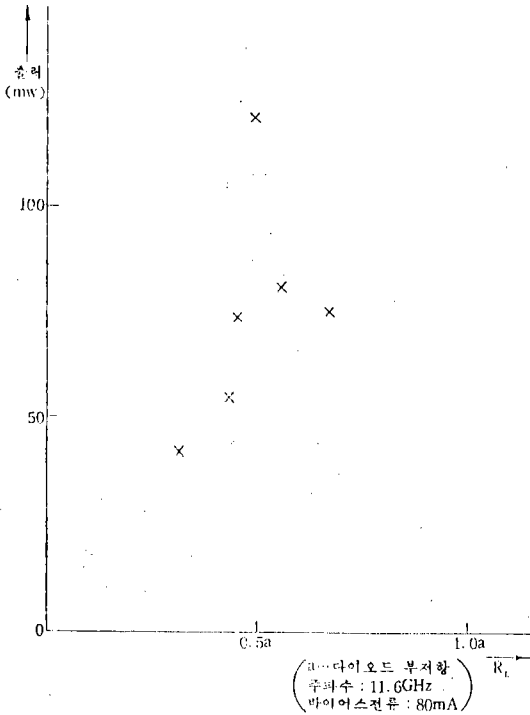


그림 8. 부저항대 出力關係

最大出力 關係式은 $dP_{out}/dR_L=0$ 에서 얻을 수 있는데 이때 공진기의 load 임피던스 R_L 이 다이오드 임피던스 a 의 $\frac{1}{2}$ 일 때 最大의 出力이 나올 수 있다는 사실을 알 수 있다.

Ⅲ. 임페트 다이오드의 임피던스 측정 결과

임페트 다이오드의 등가회로는 package 부분, 전자사태(avalanche) 부분과 유동구간(drift region)으로 나누어서 표시할 수 있고 각각의 성분을 실험적으로 나타낼 수 있지만 本論文에서 필요로 하는 것은 package 效果까지 포함한 브레이크 다운 후의 임페트 다이오드 임피던스 이므로 package 부분, 전자사태 부분과 유동 구간을 전부 합친 임피던스를 측정하였다.

마이크로파 발진을 일으킬 수 있는 부성저항을 갖는 다이오드 임피던스 측정 방법은 slotted line⁽³⁾을 사용할 수도 있지만 부성저항 때문에 생기는 정재파비 기호의 불명함으로 인한 불편 때문에 本論文에서는 Reflection Test Unit를 사용하여 그림 2에 표시한 방법으로 측정하였다.

이때 Bias T를 Reflection Test Unit 뒤에 접속해서 Bias T가 다이오드 임피던스 결정에 영향을 미치지 않도록 하였다.

이때 다이오드 외의 parastic 임피던스를 제거하기 위하여 그림 3과 같이 APC 7mm connector와 같은 구조에 다이오드를 넣어 단락시킨 APC 7mm connector와 비교하였다.

임페트 다이오드의 周波數와 D.C. 바이어스 전압의 변화에 따르는 입력 임피던스 측정 결과는 그림 4에 표시하였는데 이 결과를 보면 周波數에 따라서 부성 저항의 차이가 크게, 나므로 부성 저항이 큰 周波數 範圍에서 공진기의 임피던스를 정합시키면 高出力이 나올 것이라는 것을 알 수 있다. 그리고 D.C. 바이어스 電流를 증가시킬수록 높은 周波數 쪽으로 최대 부성 저항점이 Shift하고 크기도 커지므로 바이어스 電流에 따라서 공진 주파수도 달라지고 出力도 달라질 것을 예상할 수 있다.

Ⅳ. 마이크로파 공진기의 特性

마이크로파 공진기에는 여러 가지 형태의 것이 있으나 本論文에서는 넓은 周波數 範圍에서 임페트 다이오드의 임피던스에 정합시킬 수 있는 multiple-slug-tuned 공진기를 그림 5와 같이 설계 제작했다.

각 送電線의 特性 임피던스는 다음과 같이 표시된다.

$$Z_o = 60 \ln \frac{c}{a}$$

$$Z_o' = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \frac{b}{a} \quad \epsilon_r: \text{Teflon 으로서}$$

2.01 at $3 \times 10^9 \text{ Hz}$

2.08 at $2.5 \times 10^{10} \text{ Hz}$

Z_o 는 測定器機의 特性 임피던스 50Ω 에 맞추기 위하여 $a=0.3\text{cm}$, $b=0.7\text{cm}$ 로 하였다.

다이오드에서는 본 공진기의 入出 임피던스를 직접 測定할 수 없으므로 다이오드 대신에 지름이 0.3cm인 導體를 사용하여 단락시켜 가지고 load 쪽에서 본 임피던스를 測定하여 환산하였다. 이때 測定方法은 그림 6과 같고 환산된 공진기의 入力임피던스는 그림 7과 같다.

V. 임페트 다이오드를 사용한 마이크로파 발진기의 特性

Ⅱ절에서 수식으로 설명한 부성 저항을 갖는 다이오드를 사용한 발진기에서의 最大出力을 내기 위한 임피던스 정합 조건을 실험적으로 조사하기 위하여 Ⅲ절에서 測定한 임페트 다이오드를 Ⅳ절에서 설계한 공진기에 넣고 D. C. 바이어스 電壓을 인가하여 발진시켰다. 일정한 周波數에서 발진을 시키고 그때 바이어스 電壓에 따르는 임페트 다이오드의 임피던스와 Slug 위치에 따르는 공진기의 임피던스 환산으로 그림 8과 같이 出力과 임피던스의 關係를 나타냈다. 그림 8에서 나타난 바와 같이 공진기의 load 임피던스가 다이오드 임피던스의 $\frac{1}{2}$ 근처에서 最大出力이 나오는 것을 알 수 있다.

VI. 결 론

마이크로파 임페트 다이오드 발진기에서 最大出力을 얻도록 하자면 먼저 그 임페트 다이오드의 特性, 즉 그 부성 저항의 크기를 알아야 한다.

일반적으로 임페트 다이오드 발진기의 出力은 그 부성 저항의 크기에 比例하므로 발진기의 出力은 어느정도 미리 豫測할 수 있다.

이론적인 해석에 의하면 임페트 발진기의 出力은 부성 저항의 크기가 다이오드의 부성저항의 크기의 半일 때 最大가 되는데 實驗結果가 理論과 상당히 잘 일치함을 확인했다.

VII. 사 의

本研究에는 韓國科學技術研究所의 空中線研究室 實驗裝置를 사용하였으며 동 研究員과 여러 가지 유익한 技術的 問題의 討論이 가능하였음에 대하여 深深한 謝意를 표하는 바입니다.

참 고 문 헌

- (1) Cheong W. Lee, Microwave J., 29 (Feb. 1972)
- (2) Micro State Group, Special Microwave Devices Operation, Raytheon Co., Microstate Report No. 0171-331, Air Force Contract No. F33615-70-c-1729, SM-219, 19 (Feb. 1971)
- (3) James W. Gewartowski, and James E. Morris, IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, MTT-18, 3, 157 (March 1970)