

パルス駆動された高出力ガン発振器

貴 田 桂 介*

The High-peak-power Pulsed Gunn-effect Diode Oscillator

Keisuke KIDA*

(Received August 31, 1979)

The maximum output at high frequency is limited by the thermal increase of a Gunn-effect diode when the diode is driven to obtain microwave or m-m wave by continuous bias.

When the diode is operated with a pulsed bias, a high power density can be dissipated in the diode without appreciable temperature rise. The maximum peak power obtained in this experiment is about 5 Watt at 9.6 GHz. The efficiency is about 5 percent. The pulsed power supply has 16 KHz repetition frequency and 1 percent duty cycle. The oscillation frequency can be changed from 9 GHz to 12 GHz continuously and power variation is less than 5 dB when the diode mount is properly tuned.

1 まえがき

ガンダイオードやインパットダイオードを発振素子とするマイクロ波やミリメートル波発振器は、直流電源に高電圧源を必要としない、装置小型化 (IC化) の動向に対する適応性、信頼性の高さなどの点で従来のクライストロンに比較してすぐれている。一方これらのダイオードの動作周波数は素子の動作領域の長さに逆比例するので、同一の電力を得る場合には周波数が高くなると電力密度は大きくなる。ガンダイオードの通常の発振モードの場合では、印加した直流バイアスの数%~10%が高周波に変換される。大部分の直流バイアス電力は素子内部での熱損失となり、素子の温度上昇を引き起す。たとえばキャリア密度が $3 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ の場合には $2 \times 10^7 \text{W/cm}^3$ の電力損失にも耐えるが、キャリア密度 10^{14}cm^{-3} では $4 \times 10^6 \text{W/cm}^3$ の損失が連続的に一定バイアスが印加されたときの限界となる¹⁾。固体素子の使用上限をき

める因子として素子の温度上昇は重要な部分を占め、とくに素子の損失が大きい場合はとりわけ、熱的な問題は重視すべきで高出力を得るには素子の温度上昇を小さく抑えねばならない。温度上昇を小さくするには、素子とマウントとの熱的抵抗を小さくすることも考えられるが、ここではガンダイオードにパルスのバイアスを印加する方法により、連続バイアスにくらべて大きい電流を加え、パルスの繰返し周波数 16KHz, DUTY CYCLE 1%のときに約ピーク出力 5 Wの高周波出力を得た。

本論文では、ガンダイオードの直流バイアス用のパルス電源の概要、パルス動作時のガンダイオードの発振諸特性につき述べる。

2 パルス電源

ガンダイオードは電力損失の限界に近い状態で使用されるから、バイアス電源はパルス波形の立上り、立下り特性が良好でなければならず、DUTY CYCLE も小さなものが望ましいので、くり返し周波数 16KHz, DUTY

* 電子工学科 (Department of Electronic Engineering)

CYCLE 1%とし、パルス波高値は 20V~40V の範囲で変え得る。パルス電源のブロック図を図1に示す。パルス発振部で基本方形波を発生して、くり返し周波数を設定し波形変換部で DUTY CYCLE 1%のパルスを作り、これを増幅して必要な電圧を得るようになってい

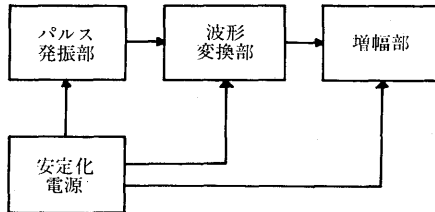


図1 パルス電源の構成

2-1 パルス発振部

IC (8038) を使用した基本方形波発生用の回路を図2に示す。この回路の発振周波数 f は

$$f = \frac{1}{\frac{5}{3} R_a C \left(1 + \frac{R_b}{2R_a - R_b} \right)}$$

で求められ、 VR_1 および VR_2 を変化させることにより、DUTY CYCLE や発振周波数も変化させることができる。この回路は周波数の変化が簡単で、出力電圧が大きいことを特長としているが、方形波パルスの立上り、立下りの特性があまり良くないので、図3の回路の

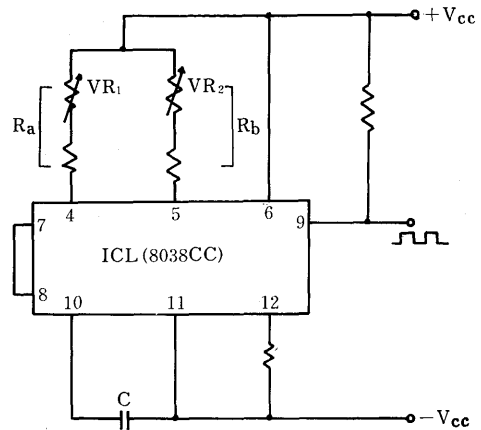


図2 基本方形波発生回路図

様に発振部の安定度を向上させるため、デジタル IC と水晶発振子を組み合わせたものを使った。この回路の動作は TTL ゲートの出力を抵抗を通して入力に接続して、負帰還をかけてリニアアンプとなし、それを二段用いて正相アンプとした。さらに水晶発振子を直列に接続して正帰還ループを作り発振させ、発振周波数の安定化を図った。

2-2 波形変換部

基本波方形パルスより DUTY CYCLE 1%のパルスを取り出すための回路で、図4にその構成を示す。CR

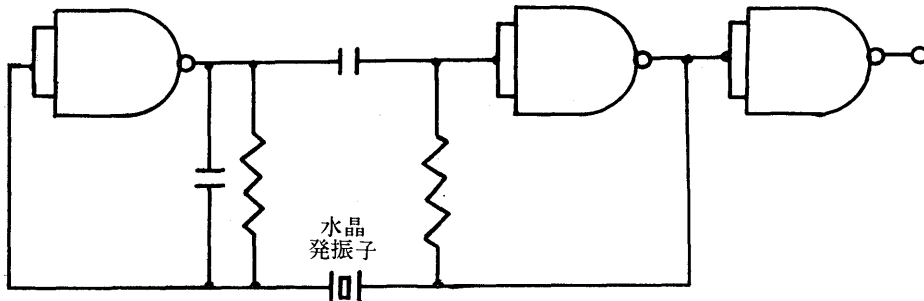


図3 周波数安定化発振器

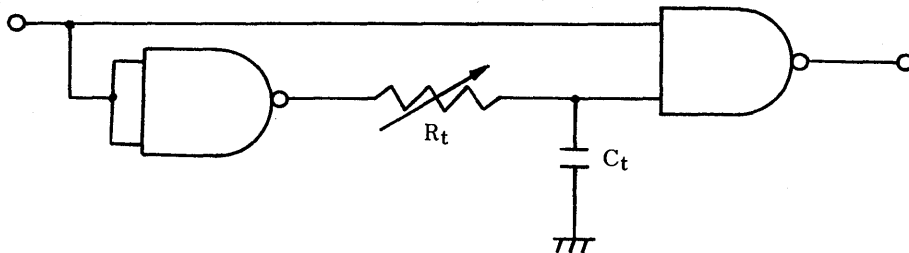


図4 波形変換回路

微分回路で微分波形を作り、それをシュミット回路を用いて波形整形して短パルスを得る方法は回路が簡単であるが、回路の時定数が入力、出力インピーダンスに影響を受けるという欠点がある。図4は論理回路を微分回路に用いたもので、出力には方形波パルスに近い立上り、立下り特性の良好なパルスを得ている。さらにこの回路にシュミット回路を加えて波形整形してきれいな方形波パルスを次段の増幅部に与える。この回路は C_t を設定

した後、 R_t を変化させることで DUTY CYCLE を 1%~5% とすることが可能となる。

2-3 増幅部

前段の波形変換回路からの出力パルス（ピーク出力 2.7V—10mA）を負荷となるガンダイオードを動作させるに必要なピーク電圧 40V、ピーク電流 5A まで増幅する。増幅部は PNP-NPN の接続による飽和形パルス増幅器にエミッタホロワ回路を二段接続したものから構成

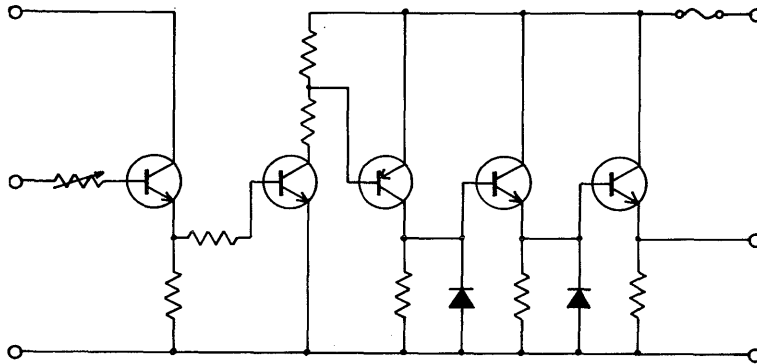


図5 パルス増幅回路

されている。使用トランジスタはパルスの立上り、立下り特性が劣化しないように高周波用及び高速スイッチング用のものを選んだ。また出力抵抗も小さく設定しストレージタイムが短くなるよう心がけた。さらにガンダイオードにバイアスを印加する際には出力トランジスタのコレクタと出力のアース端子間にコンデンサを入れて過渡特性を良くしてある。増幅部の回路を図5に示す。

3 ダイオードマウント

ガンダイオードを直接に WRJ-10 の導波管にマウントする導波管-ポスト方式を採用し次の諸点に留意してマウントの製作を行なった。

- 1) ガンダイオードの位置を上下に移動できるようにする。
- 2) 1) のとき、ガンダイオードに回転力が加わらないようにする。
- 3) ガンダイオードを装着するポストは種々の大きさのものに交換できる。
- 4) ガンダイオードの交換が容易である。
- 5) バイアス端子の直流的な絶縁。
- 6) ガンダイオードからの放熱を良くする。
- 7) バイアス端子を通しての外部からの影響の遮断。

特に 7) の問題は従来製作したマウントは 2), 3), 4), 直接バイアスのリード線を引き出した形式であったため、その解決が困難であったが、ここでは BNC 接栓を

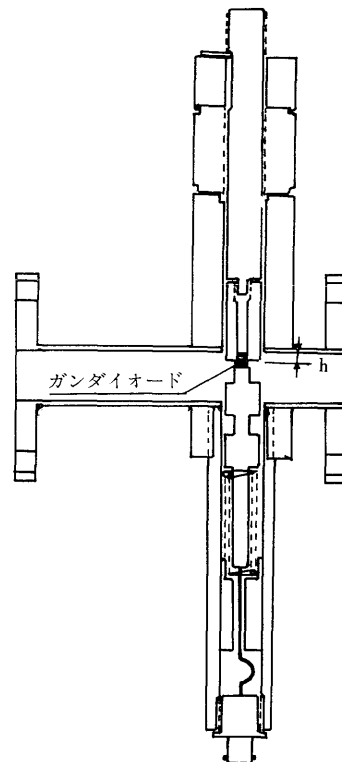


図6 ダイオードマウント

使ったことによりうまく解決できた。ダイオードマウントを図6に示す。

4 測定結果および検討

ガンダイオード発振器の諸特性の測定は参考文献⁴⁾に示す回路で行われた。

ガンダイオードと可変短絡器の短絡板面との距離 d により発振周波数がきまることが図8よりわかる。ガンダイオードに印加するバイアスが20Vのときには、周波数は d が5mm~16.5mmでは比較的なめらかに変化し、発振出力の変動も最高と最低でも5dB以内の違いであるが、16.5mmをこえると d の変化に対し周波数がこきぎ

みに変わり、発振出力は20dBもの差が生ずる。バイアス電圧を25Vにすると周波数変化はなめらかになり、 $d=25\text{mm}$ あたりを境にして2本の曲線が引かれることがわかる。 d を変化させたとき連続的に変化する周波数範囲も12GHzから9GHzと広く、発振出力の変動も6.8dBの幅で比較的小さく、すぐれた発振器であるといえる。35Vのバイアス電圧を印加した場合は d に対する周波数変化は3本の曲線に分離し連続的に変化する周波数幅が狭くなる。発振出力は25Vの場合と同様に変動幅が小さく、かつ d の変化で発振が途絶えることがない。

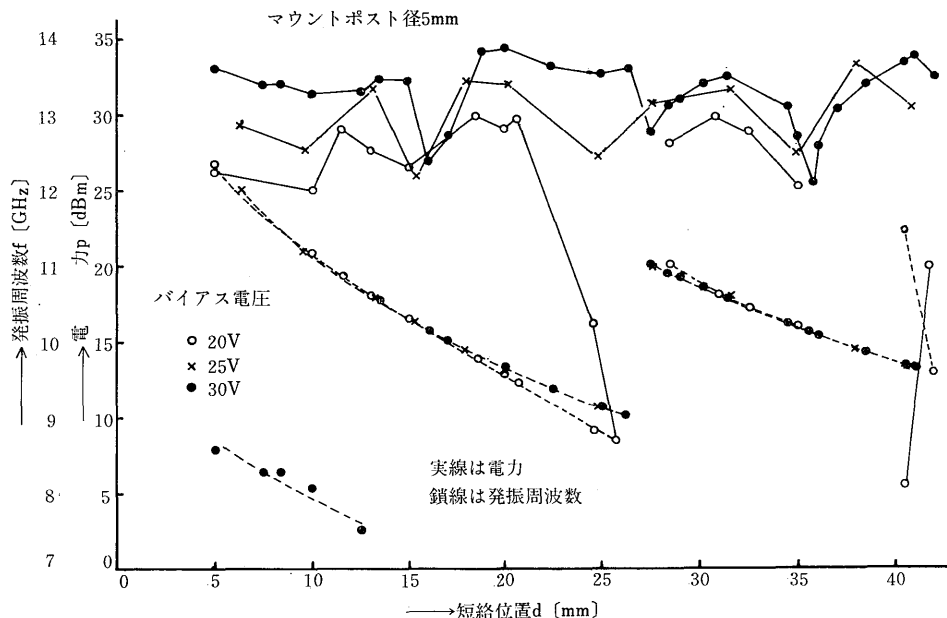


図7 ダイオードと短絡板面との距離と発振特性の関係

図8はバイアス電圧を変化させ d を適当に調整したときの発振周波数と電力を測定した結果である。この図から周波数がバイアス電圧に依存するように見えるが、これは d を変化させたためで電圧に対する周波数の変化の割合は小さい。バイアス電圧が20Vをこえると発振電力は30dBm以上となり、最大電力を与える周波数は9.5GHzあたりではほぼ一定の値を示すことがわかる。ガンダイオードをマウントする位置は最大電力を与える周波数に関係しないが、導波管の中心近くに置いたとき、ほんのわずかであるが、大きな電力を得ることができる。

本実験における発振電力の測定は、電力指示値が平均値を示すサーミスタを用いた電力計でなされたので、ガンダイオードに印加するパルスのDUTYの割合いを如

何に定めるかによって、発振電力のピーク値が異なった値を示す。さらに測定回路系全体の損失も考慮しなければならない。パルスはくり返し周期63μsecでパルス幅は0.5μsecにとつてあるので、指示値にさらに1dB加える必要がある。さらに測定回路系の全損失を1.5dBと見込むと34.4+1.0+1.5≈37(dBm)となり、発振電力のピーク値は約5Wであると考えられる。1cm²当りの電力損失はガンダイオードの寸法を100μ×100μ×25μとし、バイアス電圧25V、バイアス電流を4Aとすると、4×10⁸W/cm²となり、連続的なバイアスでは熱的に破壊されると考えられ、パルス駆動しなければ5Wのピーク出力を得ることはできない。

5 結び

ガンダイオード発振器をパルス駆動することにより、

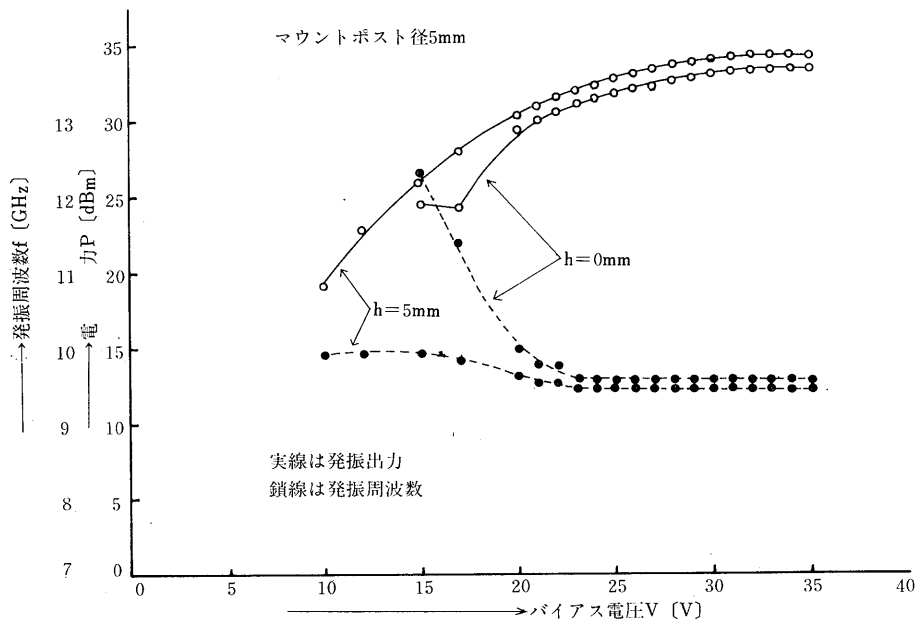


図8 バイアス電圧と発振特性の関係

連続動作では実現が困難なピーク値で5Wの発振出力をマイクロ波帯で得た。またバイアス電圧と回路条件を適当に設定して、ピーク出力が約1Wで9GHz~12GHzの帯域で5dB以内の出力変動の発振を得ることもできた。新しく製作したダイオードマウントは、取扱い易さ、データの再現性においてもすぐれており、実用に供し得るものであるが、さらに小型化と精度の向上について改善を重ねていく予定である。

本研究は本学特別研究費の援助によって行われたもので、御配慮戴いた関係各位に感謝致します。

パルス電源の製作にあたって本学電子工学科三上孝義氏に御助言頂いたことを記し感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) WATSON, H.A.; *Microwaves Semiconductor Devices and Their Circuit Applications*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1969.
- 2) 貴田; 中部工大紀要, 第11巻A, p.55~p.58, 1975年12月
- 3) 貴田; 中部工大紀要, 第12巻A, p.73~p.76, 1976年12月
- 4) 貴田; 中部工大紀要, 第13巻A, p.79~p.82, 1977年12月