

ミリ波 Gunn 発振器の高効率逡倍同期方式に関する研究

小川 宏幸*・江口 慎一**・安田 茂***・林 理三雄***

A Study on The High Effective Subharmonic Injection Locking of Gunn Diode Oscillators in Millimeter Wave Region

Hiroyuki OGAWA, Shinichi EGUCHI, Shigeru YASUDA and Risao HAYASHI

As one of the reliable methods for the effective stabilization of the millimeter wave solid state oscillator, there is a phase locking method with an external highly stable injection signal. The Gunn oscillator has itself a frequency multiplying action and its free running oscillating signal can be locked by those at subharmonic injection frequencies. And it is easy to construct subharmonic injection locking circuits which are small in the size and lightweight, compared with others, such as those of the phase lock loop and self injection method. Therefore, this method of stabilization is very useful and effective for highly stable millimeter wave and sub-millimeter wave oscillators.

For the subharmonic injection locking experiment, we designed and used a new oscillator mount with the free running oscillating frequency set at 38.1GHz, we obtained the following results for this experiment. At subharmonic ratio, 1/2, 6.2dB of locking gain was obtained with a locking band width of 26MHz. At subharmonic ratio, 1/3, 6.86dB of locking gain was obtained with a locking band width of 26MHz.

1. まえがき

現在電波は、地上放送、衛星通信、自動車・携帯電話、PHS等、様々な形で利用され、今後もその需要増大が見込まれている。特にミリ波帯以下の周波数利用は地上では飽和状態にあるため、未だ十分活用されていないミリ波（30～300GHz）・サブミリ波帯（300GHz～3THz）の周波数開拓が必要である。

ミリ波・サブミリ波帯の周波数の特徴としては、

- ① 周波数帯域が広い、即ち多くの情報が扱える。
- ② 波長が短いため、機器の小型軽量化が可能である。
- ③ 指向性が高い、即ち手軽で分解能の良いセンシングが可能である。
- ④ 降雨など大気環境の影響を受ける。そのため伝播損失が大きいため、地上での長距離通信には不向きだが、近距離で同時に同じ周波数を使うことができるので周波数の利用効率が高い。

等があげられる¹⁾。しかし、この周波数帯域では使用簡

易な発振器が確立していないのが現状である。ミリ波帯以上の発振源としては、クライストロン、TWT等の電子管を用いた方式、IMPATT、Gunnダイオード、FET等、半導体素子を用いた方式などがあるが、我々は小型、軽量、使用簡易であるということから、IMPATTダイオード及びGunnダイオードを用いた発振器の確立、特に発振周波数の安定化ということを目的にして、超高周波での安定化に有効である逡倍同期法を中心に、またその基本となる直接外部注入同期法について実験を行い良好な結果を得た。本論文では同期が難しいとされるGunnダイオードを用いた結果について報告する。

2. 固体発振器の安定化方式

固体発振器の安定化方式としては、

- (1) PLL方式（位相同期ループ）
 - (2) 安定な共振回路を装荷する自己注入同期方式
 - (3) 外部から良質な信号を注入する外部注入同期方式
- 等があげられるが、ミリ波・サブミリ波帯の高周波数を考えると(1)のPLL方式は、高安定化が実現可能ではあるが回路的に複雑になる欠点を持っている。また、(2)の自己注入同期方式は一般に回路構成が簡単になる利点はあるが、主として空洞共振器等の工作精度・温度補償に限界があり、ミリ波のような高い周波数になるにつれて

平成9年5月31日受理

*富士通㈱

**博士前期課程電気電子工学専攻

***電気電子工学科

十分な安定度を要求するには不十分である。それに比較し(3)の外部注入同期は、発振周波数の制御と同時に発振器内の雑音成分を減少させることができ、ほぼ外部からの同期信号と同程度の安定度が得られる。

通倍同期法とは、外部注入同期方式の一つで、主発振周波数の整数分の一の安定な周波数信号を外部から注入すると、Gunn ダイオードの非線型特性により発生した通倍波に主発振波が引き込まれ、安定な発振波となる方式であり、直接外部注入同期法とは、主発振周波数と同程度の周波数信号を外部から注入し、安定化させる方式である²⁾。

3. 実験システム

図1に本実験で使用した実験回路のブロック図を示す。実験回路はGunn ダイオードをマウントした発振マウン

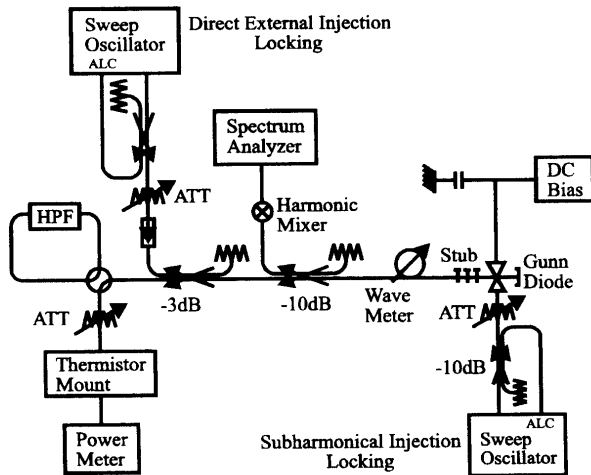


図1 実験回路のブロック図

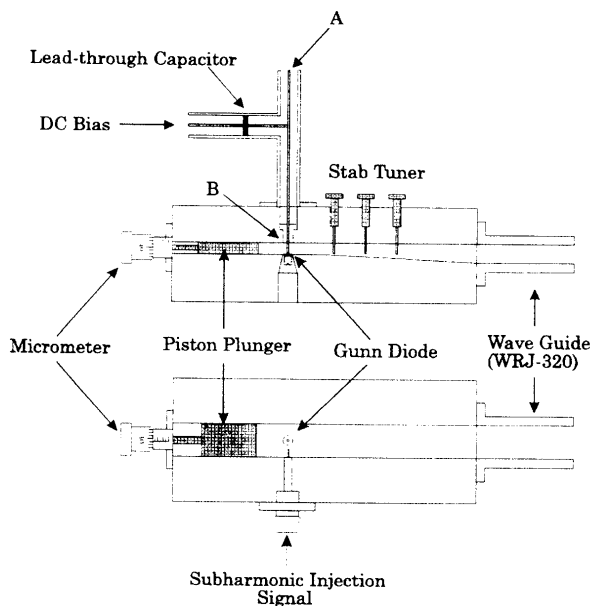


図2 発振マウントの概略図

ト、通倍同期用、直接外部注入同期用の信号回路、及び信号出力回路からなり、矩形導波管(WRJ-320)を用いた立体回路で構成されている。実験においては、発振周波数を波長計で、発振出力を電力計で測定し、発振信号のスペクトルをスペクトラムアナライザーで観測を行った。外部からの注入信号源としては、直接外部注入同期、通倍同期ともにそれぞれ掃引発振器を使用した。

図2は今回新たに設計・製作した発振マウントの概略図である。従来は通倍同期用の外部注入信号をDCバイアスに重畳して注入していたが³⁾⁴⁾(図2のA点)、この方法ではバイアス回路が複雑になり、通倍同期信号の注入効率が悪化するため通倍信号注入口をDCバイアス注入口から分離し、マウントの側面から注入するように改良した⁵⁾。また、回路調整用のスタブを1本増やして3本にすることで、よりインピーダンス整合をとりやすくした。更に、DCバイアス注入口から発振波が漏れるのを防ぐために、DCバイアス注入口を高周波的に短絡した(図2のB点)。

4. 実験結果

4.1 静特性

Gunn ダイオードの動作特性を把握し、正常に動作しているかを確認するために静特性の測定を行った。発振器にDCバイアスを印加し、電圧を変化させ、そのときの電流、発振周波数、発振出力を測定した。測定はマウントに取り付けられているスタブ及びショートプランジャーを相互に調節し、出力を観測しながら最適と思われる発振状態を見つけながら行った。図3に静特性の実験結果を示す。電圧を次第に上げていくと、約1.8V付近から電流が減少しはじめ、負性抵抗が発生し発振が始まる。さらに電圧を上げていき、電圧4.6V、電流860mAで発振出力17.9dBmが得られた。このときの発振周波数は38.1GHz、発振効率率は約1.55%であった。

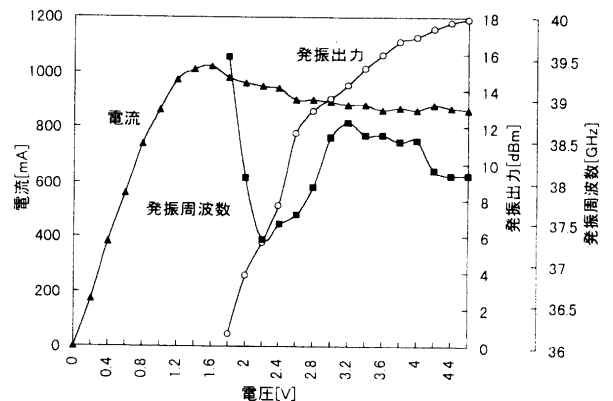
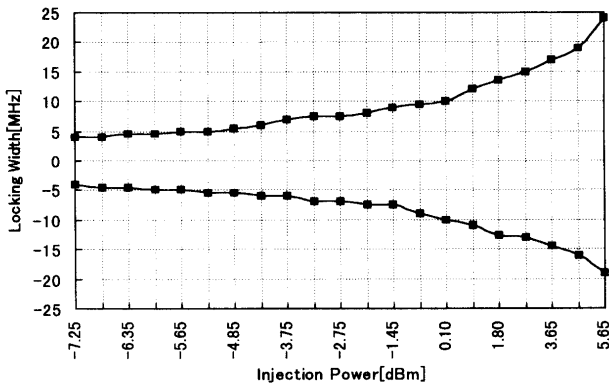
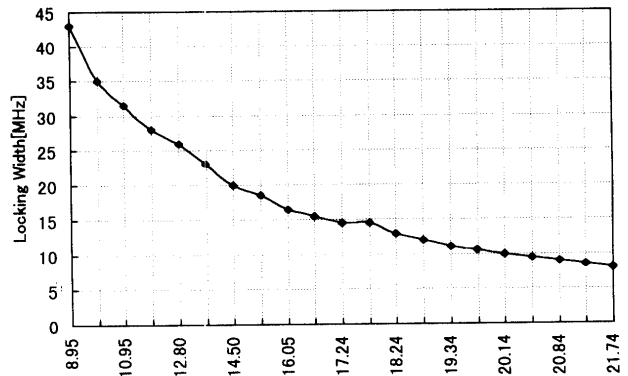


図3 Gunn 発振器の静特性



(a) 注入電力-同期幅特性



(b) 同期利得-同期幅特性

図4 直接外部注入同期特性

4.2 直接外部注入同期特性

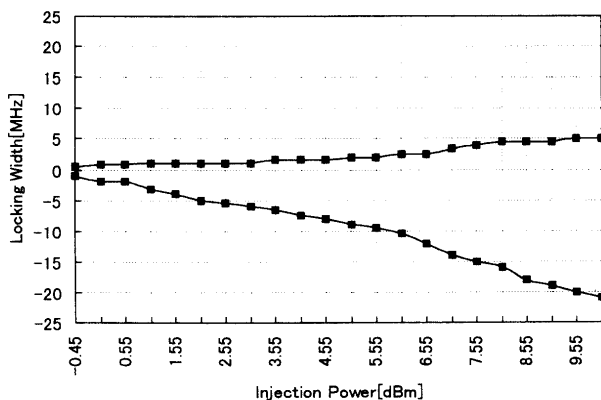
図4(a)は注入電力-同期幅の特性を示したものである。この実験では電圧3.8V、電流880mAのとき周波数37.68GHzの自由発振波に、これと同程度の周波数信号を外部から注入する。この注入信号のレベルを減衰器により変化させ、そのときの同期幅と発振波の出力を測定した。同期がかかったときの発振信号のスペクトルと同期幅はスペクトルアナライザで測定する。今回の実験では、最大で43MHzの同期幅が得られた。図4(b)は同期利得-同期幅の特性である。同期利得とは同期がかかったときの発振波の出力とそのときの注入信号レベルとの比である。この結果より、一般に広い同期幅を得るためには注入信号のレベルが大きくなり、結果として同期利得が劣化する。逆に同期利得を大きくすると同期幅は狭くなる。しかし、今回の実験では、同期利得約9dBのとき43MHzの同期幅が得られ、主発振信号出力に比べ、かなり低い注入信号レベル、発振器を安定化することができた。

4.3 通倍同期特性

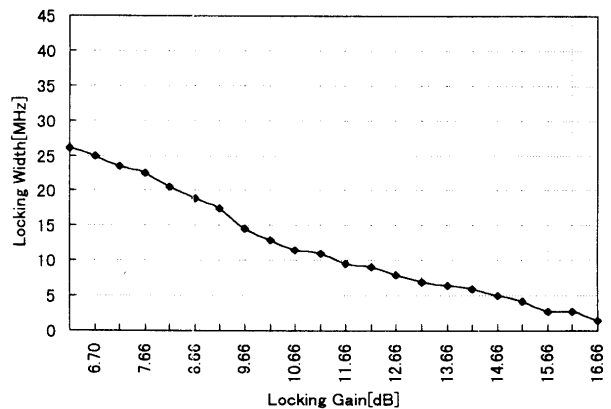
図5は2通倍同期特性を示したものである。実験では、電圧4.0V、電流880mAのとき周波数37.79GHzの自由発振波に、この周波数のほぼ1/2の18.87GHzの信号を注入した。最大同期幅は26MHz、このときの同期利得は6.20dBであった。

図6は3通倍同期特性である。電圧3.6V、電流890mAのとき周波数37.22GHzの自由発振周波数に、この周波数の1/3の周波数信号を注入したが、実際には周波数12.1GHz付近で同期がかかった。この実験では最大同期幅は26MHzでこのときの同期利得は6.86dBであった。

これらの通倍同期実験では、直接外部注入同期実験と同様に、注入信号を増大させると同期幅が広くとれることが分かる。しかし同じ同期幅を得るには、直接外部注入同期の方が同期利得が大きいという結果が得られた。また、発振波のスペクトルを観測すると、主発振波に付随した弱い寄生発振波とみられるスペクトルがいくつか観測された。通倍同期実験においては、主発振波に同期

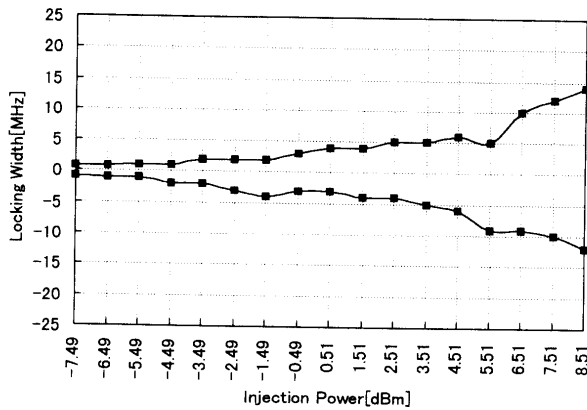


(a) 注入電力-同期幅特性

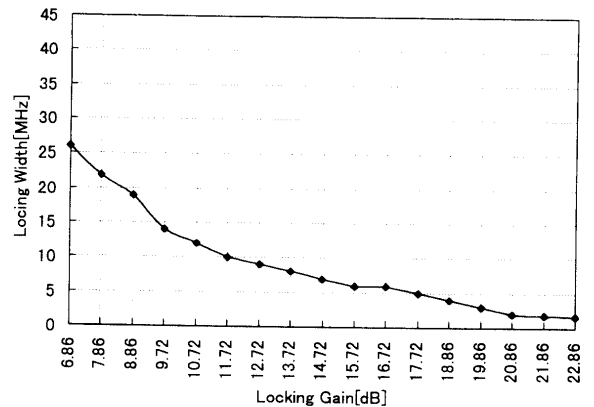


(b) 同期利得-同期幅特性

図5 2通倍同期特性



(a) 注入電力—同期幅特性



(b) 同期利得—同期幅特性

図6 3 通倍同期特性

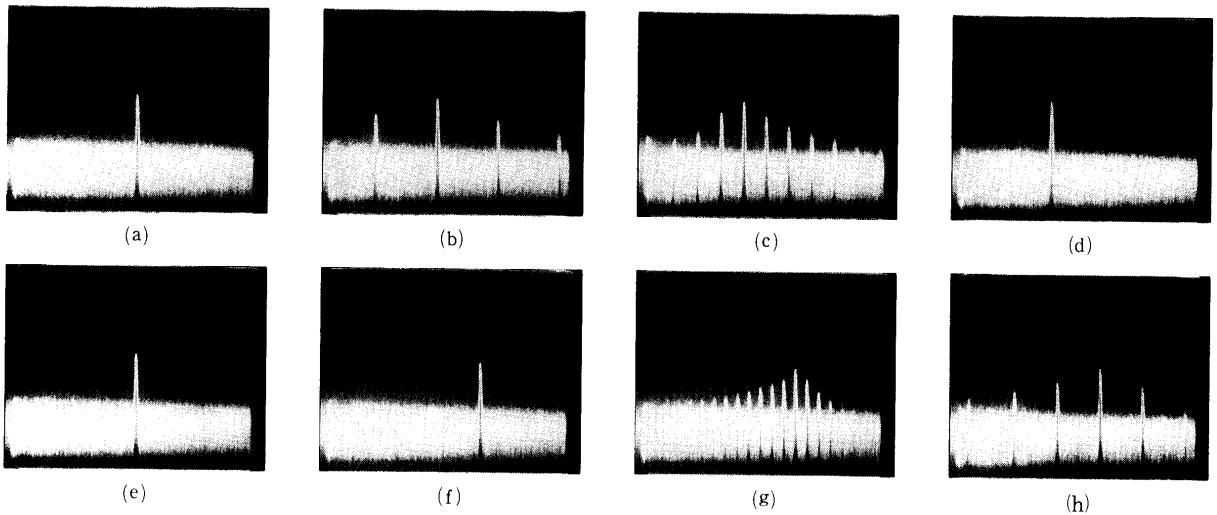


写真1 同期過程での発振波スペクトルの振る舞い

がかかると、同時にこれらの寄生発振波にも同期がかかることが観測された。また逆に寄生発振波に同期がかけると主発振波にも同時に同期がかかることが分かった。

4.4 同期過程での発振波スペクトルの振る舞い

写真1は直接外部注入同期の同期過程における発振波のスペクトルの振る舞いの変化を示したものであるが、通倍同期実験においても同様の振る舞いが見られた。

写真1(a)はGunn発振器の自由発振信号のスペクトルである。この発振波に掃引発振器から信号を注入し、主発振波の周波数に低い方から近づけていくと側帯波が生じる(写真1(b))。さらに、周波数を主発振波に近づけると側帯波が増加し(写真1(c))、あるところで側帯波がなくなり1本のスペクトルになった(写真1(d))。この状態が発振波が注入信号に引き込まれて、同期がかかった状態である。このとき主発振波周波数は自由発振周波数に比べ、約-12MHzになっている。また、さらに注入信号の周波数を高くしていくと主発振波は同期がかか

た状態で高い周波数の方に移動し(写真1(e))、自由発振周波数に比べ、約+12MHzまで移動して(写真1(f))、同期が外れた。発振波の引き込みがなくなり同期が外れると、再び側帯波が生じた(写真1(g)(h))。この実験の場合、同期がかかった状態でスペクトルが移動した24MHzが同期幅となる。

5. 考 察

本研究では、Gunnダイオードの特性を理解した上で、小型、軽量、使用簡易なミリ波・サブミリ波帯での発振器の確立を目指し、実験・検討を行ってきた。直接外部注入同期、通倍同期の安定化実験では、同じ同期幅を得る場合、直接外部注入同期の方が同期利得が良いという結果が得られたが、実用的な面から考えるとサブミリ波帯のような超高周波帯での発振器では、発振周波数の上昇に伴って外部注入信号の周波数も高くなければならぬため、低い周波数で安定化できる通倍同期の方がよ

り有効でないかと思われる。本研究では、3 通倍同期までの実験であったが、今後4, 5 通倍とさらに高次の通倍同期を行っていく必要がある。また、既に発表されているように⁶⁾寄生発振波に同期をかけることにより、主発振波にも同期がかかることが我々の実験でも確認できたので、主発振波に比べ弱い寄生発振波に通倍同期をかけ、安定化することができれば、サブミリ波発振器においてもより効率の良い発振器の周波数安定化が達成できるのではないかとと思われる。

参考文献

- 1) 赤池正巳：「よみがえるミリ波のうねり」, エレクトロニクス, 1993年3月号
- 2) 林 理三雄, 恩田 満：「ミリ波 IMPATT 通倍同期特性」, 電波研季報 Vol. 23, No. 123/124, pp 31~36 June/Sept. 1977
- 3) 林, 小川他：「ミリ波高調波の高安定化」平成7年度電気関係学会九州支部連大913
- 4) 林, 高倉他：「IMPATT ダイオード発振器によるサブミリ波の発生」平成7年度電気関係学会九州支部連大913
- 5) 林, 小川他：「ミリ波 Gunn 発振器の高効率通倍同期方式」平成8年度電気関係学会九州支部連大1209
- 6) 林 理三雄, 恩田 満：「寄生発振波利用によるミリ波 IMPATT 高効率通倍同期特性」, 電波研季報 Vol. 23, No. 123/124, pp3747 June/Sept. 1977