



Title	発振器の注入同期を利用した移相器の動作速度の検討
Author(s)	香川, 泰宏; 塩見, 英久; 岡村, 康行
Citation	電子情報通信学会技術研究報告. MW, マイクロ波. 2003, 103(287), p. 129-134
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/51305
rights	Copyright©2003IEICE
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

発振器の注入同期を利用した移相器の動作速度の検討

香川 泰宏[†] 塩見 英久[†] 岡村 康行[†]

[†] 大阪大学大学院基礎工学研究科 〒560-8531 大阪府豊中市待兼山 1-3

E-mail: ^{††}shiomi@ee.es.osaka-u.ac.jp

あらまし 注入同期発振器を利用したアクティブ集積アンテナによる無線通信用フェーズドアレイアンテナの実現には、廉価で高速、低損失な位相変調器が必要である。本研究では、ベースバンド変調信号を重畳したバイアスで駆動した注入同期発振器の移相特性を検討した。とくに、注入同期発振器を矩形波により位相変調したときの立ち上がり立ち下り特性を測定し、変調信号をゲートバイアスへ重畳した場合とドレインバイアスへ重畳した場合との特性の違いについて検討した。まず、発振器のゲートバイアス電圧の変化による発振出力の移相特性を測定したところ、注入信号の周波数が4.429GHzのとき、最大で118度の移相が得られた。ドレインバイアス電圧について同様に測定したところ、最大で203度の移相が得られた。これらの結果をもとにゲートバイアス及びドレインバイアスに矩形波を重畳したところ、それぞれ200kHz、2MHzでの移相変調を確認した。

キーワード 注入同期発振器 PSK 変調

Experimental Study about Modulation Speed of Phase-shifter using Injectionlocked Oscillator

Yasuhiro KAGAWA[†], Hidehisa SHIOMI^{††}, and Yasuyuki OKAMURA[†]

[†] Graduate School of Engineering Science, Osaka University
1-3 matikaneyama, toyonaka-city, osaka, 560-8531 Japan

E-mail: ^{††}shiomi@ee.es.osaka-u.ac.jp

Abstract To develop wireless transmissions phased array antenna using active integrated antenna with injectionlocked oscillator, high speed and low loss phase modulator at low price is needed. This research is studying phase shift characteristics at injectionlocked oscillator with modulated signal bias voltage. Particularly, experimented rising time and falling time as phase modulating with square wave voltage, and studied difference to gate bias and to drain bias. At first, experimented oscillation output phase characteristics by gate bias voltage changing. At result, when injected signal frequency is 4.429GHz, phase shift is up to 118 degree, and confirmed 2MHz phase shift keying (PSK). Also, experimented it by drain bias voltage changing. At result, phase shift is up to 203 degree, and confirmed 200kHz PSK.

Key words Injectionlocked Oscillator, PSK modulation

1. ま え が き

近年、高速無線LANなどの多重波通信環境での干渉波除去技術において、低廉で集積可能な低損失移相器の実現が望まれている。そのなかで、アクティブ集積アンテナによるフェーズドアレイアンテナの研究が盛んに進められており、その多くは移相手段として注入同期発振器の注入信号の周波数と自励発振周波数の差異を発生させることで、注入信号と自励発振信号との間に発生する位相差を利用している。このようなアンテナを大出力送信機として用いる場合、注入同期発振器は低廉で集積

可能なマイクロ波発振源と位相変調器の複合機能素子として利用可能である。このとき、情報伝送量を増加させる為に、その位相変調速度を大きくする必要がある。本報告では、注入同期発振器の位相変調速度について報告する。まず、発振器の注入同期について述べ位相変調の原理について説明する。つぎに、注入同期発振器の構成とその位相変調実験系について詳しく述べる。さらに実験結果を示し、発振器のゲートバイアスとドレインバイアスそれぞれに変調波を重畳したときの変調速度の差異について述べる。

2. 注入同期

発振器に対して外部から周波数の近い注入信号を注入した場合、発振器は注入信号に同期するという性質をもつ。これを注入同期現象という。注入同期現象のモデルは図1に示すように自由発振周波数 $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ の発振器に周波数 ω の外部信号電流源 $I(\omega)$ を接続したものとす。もし、 $\omega = \omega_0$ であって、発振電圧 V と信号源電流 I が同相ならば、発振電圧振幅 $|V|$ は上昇する。その理由は発振器に対して負のコンダクタンス $-\frac{I}{V}$ が外部から付加されたためであって、発振器の見かけ上の負のコンダクタンス値の絶対値が増大したと見られるからである。この状態で信号源の周波数 ω を ω_0 より少し高くすると、発振器に流入する電流の位相が次第に進んでくる。発振器側から信号源側を見ると、その等価アドミタンス $-\frac{I}{V}$ は負のコンダクタンスを持つと同時に負のサセプタンス分言い換えるとインダクタンス分を持つことになる。負のコンダクタンス分は発振振幅を増大させるが、インダクタンス分は発振器共振回路の共振周波数を上昇させる。言い換えれば、発振周波数は外部信号の周波数に追いつこうとする。結局、発振器は信号に比べて少し遅れた電圧位相を保って信号源と同じ周波数で発振することになる。もし、信号周波数がある限界以上に高くなれば、発振周波数はそれに追従できなくなって同期が外れる。以上のような同期現象において発振器の位相はアドラーの式で以下のように表せる。

$$\frac{d\phi}{dt} = f_0 - f_{inj} + \frac{\rho}{\alpha} \frac{f_0}{2Q} \sin(\psi - \phi) \quad (1)$$

ここで f_0 は発振器の自励発振周波数、 α は発振器の出力振幅、 Q は発振器の Q 値、 ψ は注入信号の位相、 ϕ は発振器の位相である。また、 $\frac{\rho}{\alpha} \frac{f_0}{2Q} = \Delta f_m$ とする。発振器が注入信号に同期

している状態、すなわち安定状態において、 $\frac{d\phi}{dt} = 0$ であるので、発振器と注入信号の位相差 $\Delta\phi$ は

$$\Delta\phi = \sin^{-1} \left(\frac{f_{inj} - f_0}{\Delta f_m} \right) \quad (2)$$

となる。ここで $\Delta\phi = \psi - \phi$ である。この式からわかるように注入同期現象は注入信号が $f_0 \pm \Delta f_m$ の間にあるときに成立する。この Δf_m をロッキングレンジという。このロッキングレンジは発振器の Q 値および出力に反比例し、注入信号の出力に比例する。よってロッキングレンジを広く取るためには Q 値の低い発振器にできるだけ強い注入信号を入れることである。また、狭く取りたいときはその逆である。以上のことからわかるように発振器と注入信号の位相差をロッキングレンジ内で $-\frac{\pi}{2} \leq \Delta\phi \leq \frac{\pi}{2}$ の範囲で変化させることが出来る。この式をグラフに示すと図のようになる。式2より注入信号と発振器の位相差はそれぞれの周波数の差によって決まるので、どちらか一方を一定値に固定してもう一方を制御することで位相の制御を行える。たとえば注入同期信号を一定にし、 $\left(\frac{f_{inj} - f_0}{\Delta f_m} \right)$ が0.5から-0.5になるように f_0 の値を制御した場合、位相は 60° 変化することになる。

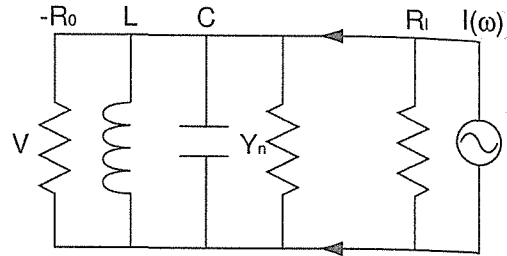


図1 発振器の注入同期モデル

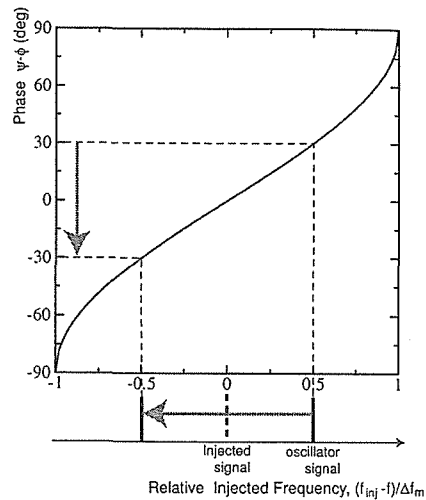


図2 アドラーの式

3. 移相器の構成

作成した FET 発振器を図3に示す。ゲートスタブ $l_g=17.85\text{mm}$ 、ソーススタブ $l_s=11.7\text{mm}$ で設計発振周波数は 4.5GHz である。FET 発振器は図のように注入信号を入れてゲート側で結合させ、その信号によって同期する構造になっている。発振器のバイアス回路はマイクロストリップ線路によってバイアスラインとし、コンデンサによって AC をカットしている。また、ゲートソース間、ドレインソース間それぞれのバイアス電圧条件を変化させることで発振器の自励発振周波数がチューニングできる。実際作成した発振器はゲートソース間電圧が $V_{gs} = 400\text{mV}$ 、ドレインソース間電圧が $V_{ds} = 1.2\text{V}$ のとき、発振器の自励発振周波数は $f = 4.4415\text{GHz}$ となり、出力のパワーは $P_0 = -5.55\text{dBm}$ となった。

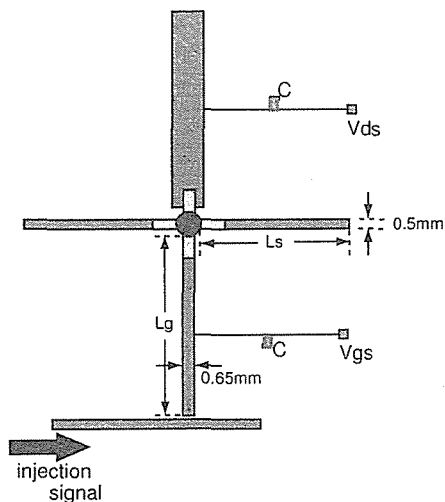


図 3FET 注入同期発振器

4. 実験方法

注入同期発振器の位相を数値データで測定するために図 4 のようにネットワークアナライザを用いて測定を行った。注入信号をネットワークアナライザのポート 1 から入れ、出力波をポート 2 で受けてポート 1 のコネクタ端との位相差を測定した。その際、注入信号周波数は f_{inj} で一定にし、発振器のバイアス条件を変えることで発振器の自励発振周波数を変え位相差を変化させた。バイアス条件はドレインソース間電圧一定でゲートソース間電圧を変化させた場合、ゲートソース間電圧一定でドレインソース間電圧を変化させた場合について測定を行った。次に変調速度実験の測定系を図 5 に示す。注入信号と発振器の位相差を I-Q 位相検波器を用いてオシロスコープで観測するようになっている。注入信号を発振器の前で図 6 のような分岐回路で分岐させた。分岐回路はポート 1 ポート 2 それぞれを 50Ω で終端したときのリターンロスは -24.4dB で、ポート 1 のトランスミッションロスは -3.47dB でポート 2 のトランスミッションロスは -3.29dB である。また、ポート 1 とポート 2 の位相差は 1deg である。分岐回路で分岐された信号をそれぞれ RF 信号・注入信号とし、発振器から出てくる信号を LO 信号とした。I-Q 位相検波器は RF 信号入力端と LO 信号入力端の位相差を測定することが出来る。実験は図 5 のようにバイアス電圧にファンクションジェネレーターから矩形波を注入し、発振器の自励発振周波数を周期的に変化させその位相の変化を測定した。例えば周期 T_p の矩形波を注入したときオシロスコープの X-Y 表示と $t(\text{時間})$ - $V(\text{電圧})$ 表示は図 7 のように対応する。I-Q 位相検波器の I チャンネルは同相成分、Q チャンネルは直行成分である。また、矩形波の周波数を徐々に上げていき変調速度について測定を行った。バイアス条件についてはネットワークアナライザによる実験と同様の条件を用いて測定を行った。

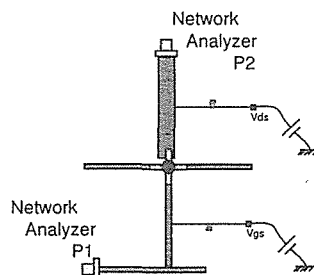


図 4 位相測定

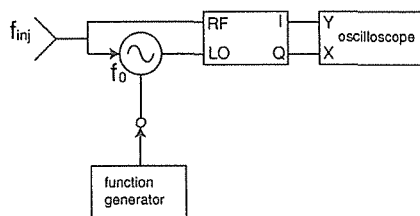


図 5 変調実験

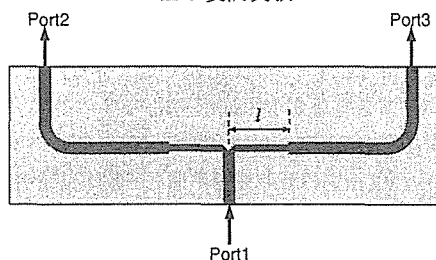
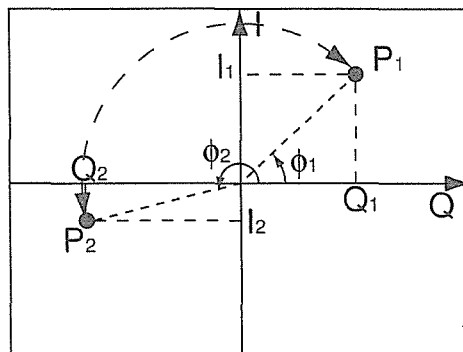
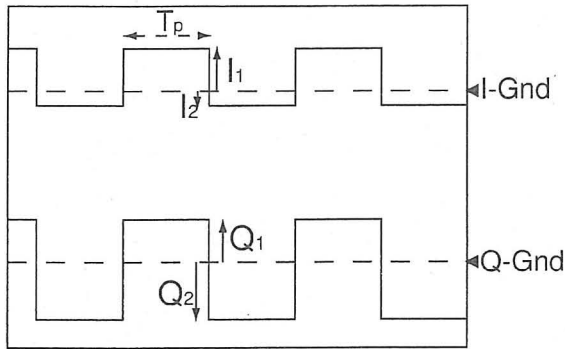


図 6 分岐回路



(a) X-Y 表示



(b) t-V 表示

図 7 I-Q 位相検波器の出力例

5. 結果・評価

まず注入同期発振器のバイアス条件を変化させた場合の位相の変化を測定した。ゲート、ドレインそれぞれの変化に対する位相とパワーの関係の測定結果を図 8、図 9 に示す。実線は位相差の変化を示しており、左側の目盛りに対応している。また、破線はパワーの変化を示しており、右側の目盛りに対応している。ゲートソース間バイアス電圧変化の測定は注入信号周波数 $f_{inj} = 4.427GHz$ 出力 $P = -25.05dBm$ ドレインソース間電圧 $V_{ds} = 1.2V$ で一定、ドレインソース間バイアス電圧変化の測定は注入信号周波数 $f_{inj} = 4.429GHz$ 出力 $P = -25.05dBm$ ゲートソース間電圧 $V_{gs} = 400mV$ 一定で行った。この結果よりゲートバイアス電圧が $-300mV \sim -900mV$ の範囲で変化したとき位相は $118(deg)$ 変化した。また、ドレインバイアス電圧が $500mV \sim 1300mV$ の範囲で変化したとき位相は $203(deg)$ 変化した。

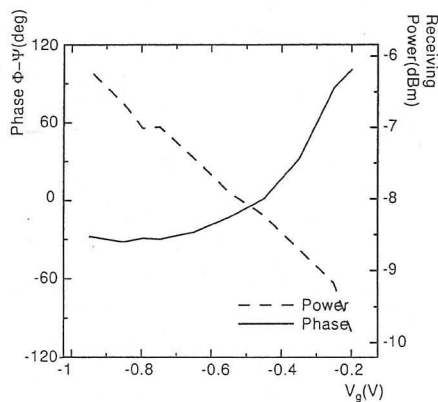


図 8 V_g 変化による位相およびパワーの変化

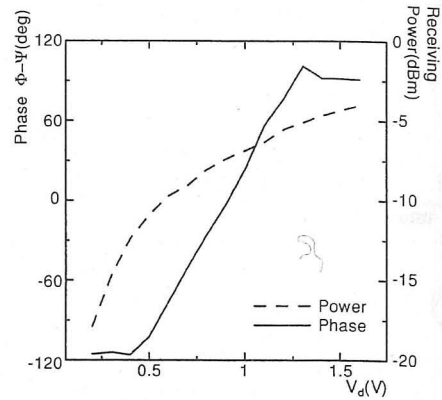
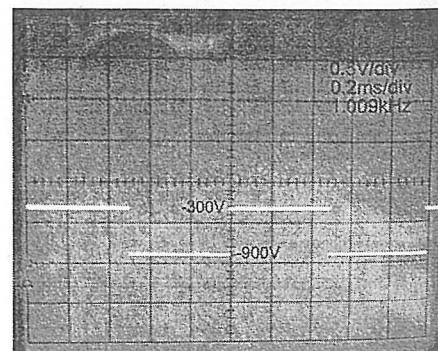
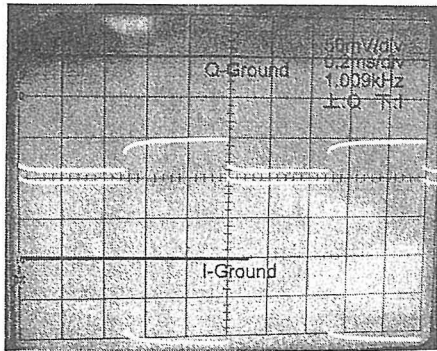


図 9 V_d 変化による位相およびパワーの変化

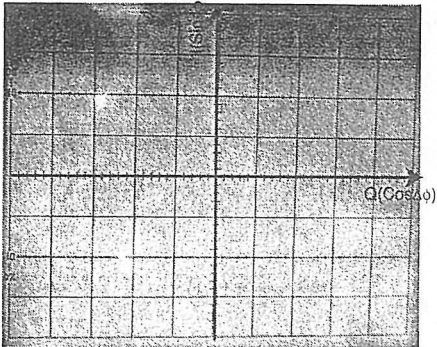
次にバイアス電圧に矩形波をかけた場合の測定結果を以下に示す。矩形波のオフセットと振幅は図 8 とず 9 の結果から決められた。周波数 $1kHz$ の矩形波、図 10(a) のバイアス電圧を注入同期発振器のゲート側にかけた実験結果を図 10(b) に示す。この図は上の波形が出力 Q、下の波形が出力 I、横軸が時間 t になっている。また、時間のディヴィジョンは $0.2ms$ 、電圧のディヴィジョンは両者とも $50mV$ となっている。位相検波器の I-Q 出力を X-Y 軸にとった時の結果を図 10(c) に示す。この結果を見ると矩形波のバイアス電圧をかけることで位相変調がかかっていることがわかる。立ち上がり立ち下り時間それぞれ 0 秒であり十分変調できている。次に矩形波の周波数を $2MHz$ にしたときの結果を図 11 に示す。時間のディヴィジョンは $0.1\mu s$ 、電圧のディヴィジョンは出力 Q が $50mV$ 、出力 I が $100mV$ となっている。この結果をみると周波数が高くなることでゲートに入れたバイアス電圧の波形も変化していることがわかり、それに伴って位相の変化も変化している。図 11(c) を見ると点の判別はつきにくくなっているが、図 11(b) から立ち上がり立ち下り時間が共に小さく十分変調できていると考えられる。よって、ゲートバイアス電圧による変調は $2Mbps$ 以上の帯域が望めるものと考えられる。



(a) バイアス電圧 (t-V 表示)

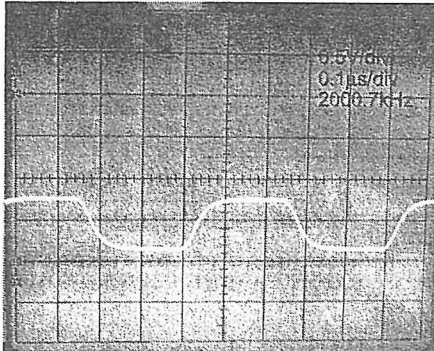


(b)IQ 出力 (t-V 表示)

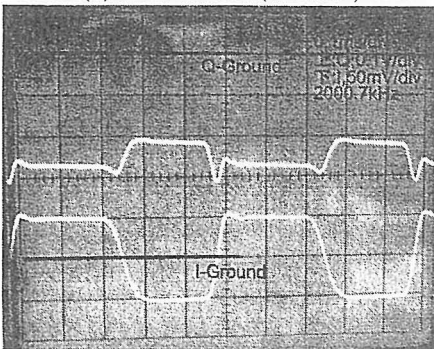


(c)X-Y 表示

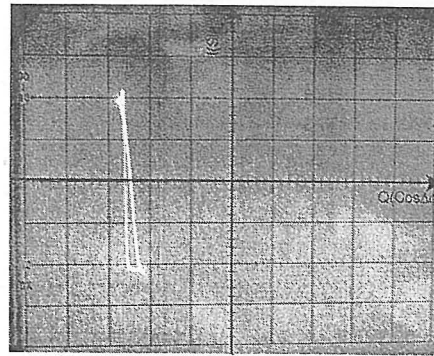
図 10 1kHz の変調信号を入れた際の実験結果



(a) バイアス電圧 (t-V 表示)



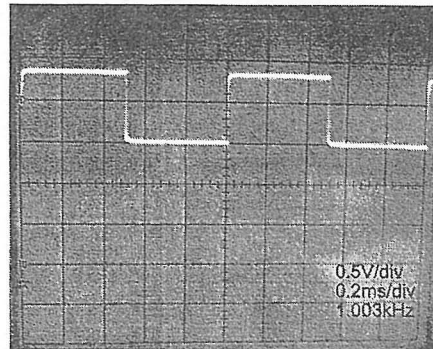
(b)IQ 出力 (t-V 表示)



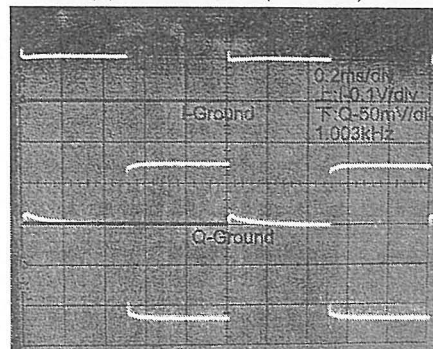
(c)X-Y 表示

図 11 2000kHz の変調信号を入れた際の実験結果

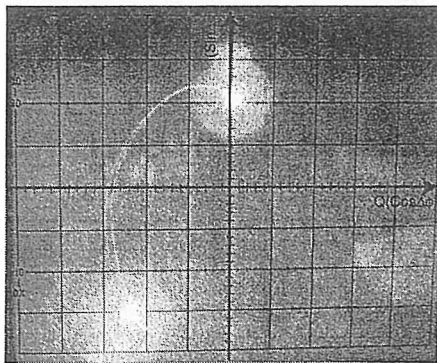
次に、ドレインソース間のバイアス電圧を変化させた場合についての実験結果を示す。1kHz の矩形波をバイアス電圧にかけたときの結果を図 12 に示す。図 12(b) の波形は上の波形が出力 I、下の波形が出力 Q になっている。また、時間のデヴィジョンは 0.2ms、電圧のデヴィジョンは両者とも 50mV となっている。これを見るとゲート側に電圧をかけたときと同様の結果が得られていることがわかる。次に、バイアス電圧の矩形波の周波数を 200kHz にしたときの結果を図 13 に示す。時間のデヴィジョンは 1μs、電圧のデヴィジョンは出力 Q が 50mV、出力 I が 100mV となっている。これを見るとゲート側にバイアス電圧をかけたときに比べて周波数の増加に伴う矩形波の波形の乱れが激しく、その出力の変調波の波形も同様に乱れていることがわかる。図 13(c) の結果を見ても点の区別がほとんどつかなくなっている。その結果、ドレインバイアス電圧による変調は数百 kHz が限界であると考えられる。



(a) バイアス電圧 (t-V 表示)

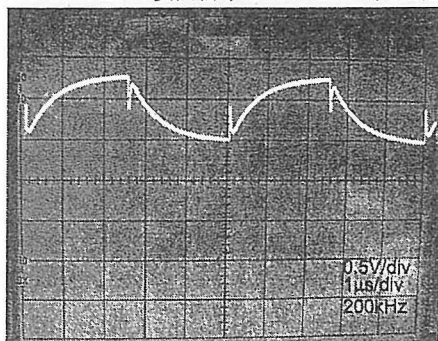


(b)IQ 出力 (t-V 表示)

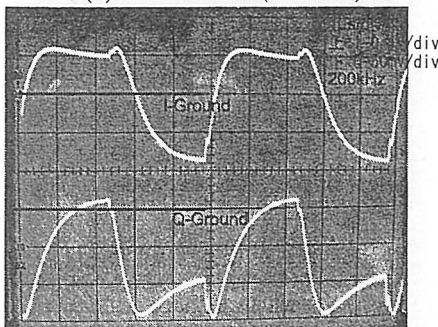


(c)X-Y 表示

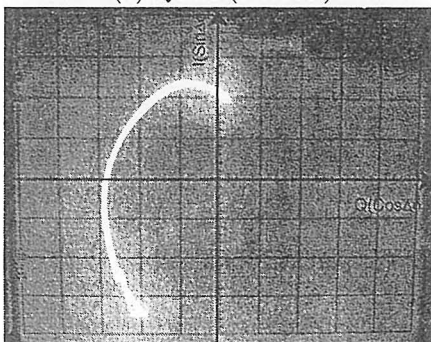
図 12 1009Hz の変調信号を入れた際の実験結果



(a) バイアス電圧 (t-V 表示)



(b)IQ 出力 (t-V 表示)



(c)X-Y 表示

図 13 200kHz の変調信号を入れた際の実験結果

次に変調された出力波の立ち上がり時間、立ち下がり時間について検討を行った。出力波の周期を T 、出力 I の立ち上がり時間立ち下がり時間をそれぞれ t_1 、 t_2 として、 $\frac{T/2}{t_1+t_2}$ を計算した。その周波数による変化を図 14 に示す。これを見ると、 V_g を変化した場合は 1M 以上でも 1 を割らず、安定した動作ができていたと考えられる。しかし、 V_d を変化した場合は 500kHz

の時に 1 になりその後 1 を割ってるため、 V_g を変化した場合に比べ動作が不安定であると思われる。これはトランジスタのドレインソース間のインピーダンスが小さいためにファンクションジェネレータとの整合が取れていないものと考えられる。よって、適当な整合回路を接続することで動作が改善されるものと思われる。

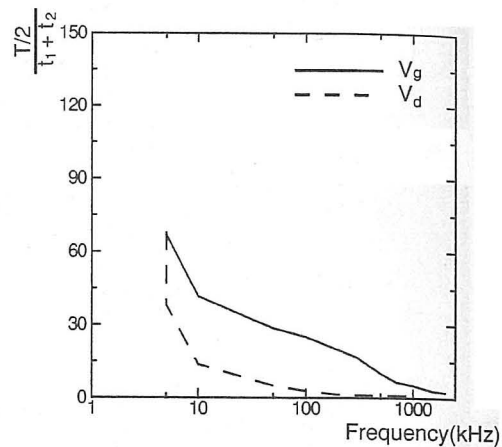


図 14 矩形波の周波数による波形率の変化

6. む す び

注入同期発振器に矩形波のバイアス電圧をかけることによって PSK 変調を実現した。また、ゲート側ドレイン側それぞれに矩形波バイアス電圧をかけた時、ゲート側にかけたほうが変調速度をとることができた。これによって、簡単な回路で変調をかけることが出来た。

文 献

- [1] 中島 将光, “マイクロ波電力合成に関して” 信学技報, MW79-14, 1979
- [2] R. Adler, “A study of locking phenomena in oscillator”, Pro. IRE, 34, 6, 1946
- [3] Robert A. York, “Injection and Phase-Locking Techniques for Beam Control”, IEEE TRANSACTION ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, VOL. 46, 1998