

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06022

研究課題名(和文) 民生用ミリ波レーダへの応用を目的とした低コスト高次高調波発振器アレーの研究

研究課題名(英文) Study on low cost higher order harmonic oscillator array for consumer millimeter wave radar

研究代表者

田中 高行 (Tanaka, Takayuki)

佐賀大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60207107

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、簡易な構成・低コストの高次高調波発振器アレーについて検討した。スロット線路共振器にガンダイオードまたはFET(HEMT)を用いた負性抵抗回路を用いた2次高調波を出力とする発振器を設計試作し、それらを用いた発振器アレーについて検討した。発振器は複数のポートを持ち、結合用ポートで基本波(同期信号)、出力ポートで2次高調波(出力信号)が大きく出力され、所望の特性が得られた。ガンダイオード発振器をアレー化して特性の確認を行ったが、より高電力の注入信号が必要なのことがわかった。また、ガンダイオード発振器の出力周波数可変性が可能なことがわかった。

研究成果の概要(英文)： In this thesis, low cost and high performance harmonic oscillator arrays with simple structure are studied for an oscillator array in high frequency bands such as a millimeter wave and transmitting and receiving modules including antennas. The oscillator consists of Gunn diodes and a slot line and that consists of negative resistance circuits using HEMTs and a slot line are investigated, and the performance of an oscillator array using the oscillators are measured.

The oscillators have multi-port. The fundamental signal that is the synchronization signal is obtained at the coupling port and the 2nd harmonic signal that is the output signal is obtained at the output port suppressing the undesired signals. The performance of an oscillator array using Gunn diodes and a slot line is investigated. It is confirmed that high power injection signal is necessary for the oscillator array. Moreover, it confirmed that the Gunn oscillator can develop to VCO (Voltage Controlled Oscillator).

研究分野：工学

キーワード：マイクロ波 レーダ 高調波 発振器 ビームステアリング ガンダイオード

1. 研究開始当初の背景

レーダーにおいて、電波の放射方向を連続的に高速で変化させるビームステアリング技術が不可欠である。主に軍用レーダーとして用いられるフェイズドアレーが代表的なものであるが、大型の移相器を多数必要とし高価なものとなっており、民生分野での使用には不向きであった。そこで、回路の小型化、低コスト化が課題となっていた。これを解決する技術の一つとして、構成が簡易で低コストで製作できる発振器アレーが考案された。

2. 研究の目的

本課題では、発振器アレーのミリ波などのより高周波での応用、及びアンテナと一体化した送受信モジュール化を目的とした、安価なデバイスで高い周波数の信号を発生できる新しい構成の高調波発振器 (Push-Push 発振器) を用いた発振器アレーの研究を行うものである。さらに発振器を周波数可変化し、FMCW (周波数変調を用いたレーダ) の機能を持たせることができる周波数可変発振器アレーを実現することを目的としている。

最終的な構成のイメージを図1に示す。

具体的には、出力信号用ポートと同期信号ポートを有するマルチポート高調波発振器、移相結合回路、VCO (周波数可変発振器) それぞれの検討と組み合わせた場合の検討となる。

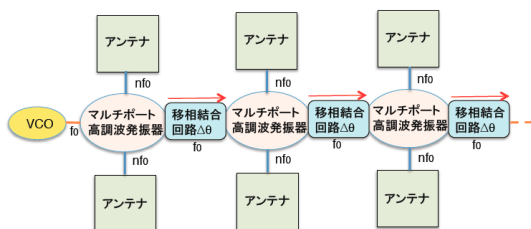


図1 全体構成

3. 研究の方法

手順としてはまず基本構成として重要な発振器について検討する。共振器には高いQを得ることができるスロット線路共振器を用いる。このスロット線路とガンダイオードを用いた構成とスロット線路にFET (HEMT)

を用いた負性抵抗回路を装荷した構成の発振器を設計試作する。さらに、これらの発振器をアレー化して発振器アレーを構成し、特性の検討を行う。次に発振器のVCO化を行い、そのVCOを用いて出力周波数可変発振器アレー実現する。

(1) スロット線路共振器に負性抵抗回路 (ガンダイオード) を装荷した基本発振器の構成の検討:

スロット線路共振器に負性抵抗回路を装荷しただけの、たいへん簡易な構成の発振器の検討を行う。基本原理はこれまでの研究で明らかにしているので、発振器アレーの構成に適したマルチポートの構成とした回路について検討する。

(2) 本研究の構成に適した移相結合回路の検討と発振器アレーの基本構成 (2素子アレー) の検討:

発振器アレーに使用する移相結合回路として、スロット線路共振器にダイオードを付加した構成、スロット線路に可変容量素子を装荷した構成、について検討する。また、これらの移相結合回路とこれまで検討してきたFET (HEMT)を用いた簡易な構成の移相結合回路を用いて発振器アレーを構成し、移相結合回路の特性と発振器アレーの出力の関係を詳細に調べる。

(3) 多素子発振器アレーの検討:

(2) で検討した2素子発振器アレーを3素子に拡張する。3素子とすることで、発振器が両端と中間に配置された構成となり、多素子の発振器アレーの実現が現実的となる。

(4) 発振器のVCO化と出力周波数可変発振器アレーの基本構成 (2素子アレー) の検討:

発振器において出力周波数の可変化を図る。最初は2素子発振器アレーについて検討する。Gunnダイオードは10%程度の範囲で発振周波数を変化させることができる。そこで、信号源の信号を一つの発振器に注入して、注入同期により発振器アレー全体の出力周

波数を可変化する。また、共振器に可変容量素子を装荷して、共振器の共振周波数を変化させて、VCO化を図る。

(5) 出力周波数可変多素子発振器アレーの検討：

(4)で検討した発振器アレーを3素子に拡張する。ここでは(3)で行った検討を元に研究をすすめる。

4. 研究成果

以下研究成果をまとめる。

(1) スロット線路共振器に負性抵抗回路（ガンダイオード）を装荷した基本発振器の構成の検討：

発振器アレーの構成に適したマルチポートの構成とした発振器について検討を行った。発振器アレーに必要な同期信号となる基本波用ポートと出力とする2次高調波用ポートを有し、それぞれのポートで不要波を抑圧したガンダイオード発振器を実現した。基本波用ポートでは10.1 GHzで+9.9 dBmの出力が得られ、不要波の抑圧は-22.9 dBであり、2次高調波用ポートでは20.2 GHzで-6.0 dBmの出力が得られ、不要波の抑圧は-16 dBという結果が得られ、マルチポートの各ポート（基本波、2次高調波）で不要波が抑制され、発振器アレーに適した特性を示した。この回路において注入同期の効果についても確認した。基本波ポートから0 dBmの注入信号を加えることで、10 dB以上の位相雑音特性が改善されることがわかった。

次に、FET (HEMT)を用いた負性抵抗を装荷した基本発振器の検討を行った。この発振器は、多素子発振器アレーに使用可能な3ポート（2次高調波用1ポート、基本波用2ポート）を有するものである。出力を共振器から取り出す部分は、2次高調波は電界結合、基本波は磁界結合とすることで対称構造の回路とし、安定した共振波動場を形成することができた。基本波用ポートでは7.55 GHzで-3.51 dBm、-5.16 dBmの出力が得られ、不要波の抑圧は-25

dBであった。2次高調波用ポートでは15.11 GHzで-9.95 dBmの出力が得られ、不要波の抑圧は-6.4 dBという結果が得られた。これもそれぞれのポートで不要波を抑圧した発振器を実現した。

発振器アレーでは、結合回路に流れる同期信号（基本波）の位相変化に対して、出力信号間の位相差の変化は高調波の次数倍になることが見込まれる。例えば制御信号に対する同期信号の位相の移相量が 90° のとき、出力信号が4次高調波であれば、出力信号間の位相差の変化は $90^\circ \times 4 = 360^\circ$ となる。そこで、より発振器アレーの効果が高まる4次高調波を出力とする発振器について、アレー化に適したマルチポート化を行った。発振器アレーの端の部分に用いる2ポート構成、それ以外の部分に用いる3ポート構成について、各ポートで所望の成分を最も大きく出力することができた。

(2) 本研究の構成に適した移相結合回路の検討と発振器アレーの基本構成（2素子アレー）の検討：

これまで研究を行ってきたHEMT、ゲートとドレイン端子に給電するバイアス回路、結合用のコンデンサのみを用いた簡易な構成の相互同期型結合回路（図2）で、可変移相量を大きくする方法が明らかになった。結合回路のドレインポート側の反射特性において、ドレインソース間に印加する制御電圧の範囲で共振点が現れる状況で、可変位相量が大きくなることがわかった。

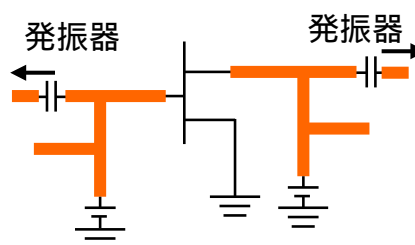


図2 相互同期型結合回路

また、(1)で検討したガンダイオード発振器と HEMT を用いた結合回路によって 2 素子の発振器アレーを構成した。この回路では、発振器アレーとして動作するためには、0 dBm を超える比較的大きな電力の信号を結合回路に供給する必要があることを確かめた。また、新しい構成の結合回路として FET やダイオードなどの非線形素子を使わない構成の結合回路を検討し、およそその特徴がわかっている。

(3) 多素子発振器アレーの検討：

HEMT を用いた基本発振器と簡易な構成の結合回路を用いた相互同期型 3 素子発振器アレーについて、相互同期型多素子発振器アレーが実現可能であることを確かめた。多素子化する場合、結合回路に接続するポートは二つ必要となる。上下対象となる位置で磁界結合により発振器から同期信号を取り出すまたは信号を入力することで発振器はマルチポート化を実現している。

結果として、出力の周波数（2 次高調波）はすべてのポートで等しく 13.91 GHz、出力電力はやや小さいもののすべてほぼ同じで約 -9.5 dBm となった。また、同期信号の結合回路による移相量が約 115°であるのに対して、図 3 に示すように出力信号間の位相差の変化は制御電圧に対してほぼ線形的に変化し、約 235°であった（同期信号の位相変化の 2 倍）。

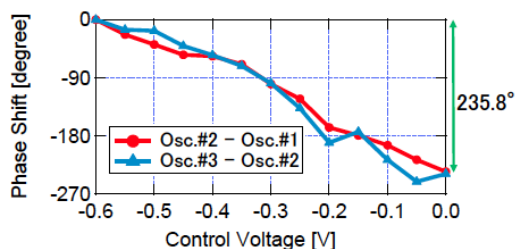


図 3 出力信号間の位相差の変化

(4) 発振器の VCO 化と出力周波数可変発振器アレーの基本構成(2 素子アレー)の検討：

帰還型 Push-Push 発振器に発振器を結合させるために用いたカブラの一部を注入ポートとして、注入同期技術を用いて位相雑音特性の改善と周波数可変 (VCO) 化が可能なことを明らかにした。出力信号を 2 次高調波として 14.98 GHz で発振させた状態で、0 dBm の注入信号を入力し注入信号の周波数を変えることで、出力周波数を 460 MHz 変化させることができることを確かめた。

次に(1)で説明したガンダイオードを用いた発振器において、出力信号を 2 次高調波として 19.74 GHz で発振させた状態で、基本波ポートから 5 dBm の注入信号を入力し、注入信号の周波数を変えることで、出力周波数を 60 MHz 変化させることができることがわかった。また、スロット線路共振器に可変容量素子を装荷することで、出力信号を 2 次高調波として 20 GHz で発振させた状態を基準として 1.06 GHz の範囲(約 5%)で周波数可変 (VCO) 化が可能であることを確かめた。アレー化には至っていない。

(5) 出力周波数可変多素子発振器アレーの検討：

特に成果は得られなかった。

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 18 件)

Elton N. Lima, Takayuki Tanaka, Ichihiko Toyoda, “A Ku-Band Injection-Locked Push-Push Oscillator with Two-Wavelength Ring Resonator,” 48th European Microwave Conference 2018, 2018 年.

福島 孟, 田中高行, 豊田一彦, “スロットリング共振器を用いた 3 ポート Push-Push 発振器の特性評価,” 映像情報メディア学会放送技術研究会, 2018 年.

武田直晃, 田中高行, 豊田一彦, “リング共

振器を用いたマルチポート 4 次高調波 Push-Push 発振器の基礎検討,”映像情報メディア学会放送技術研究会, 2018 年.

Takumi Sakumoto, Takayuki Tanaka, Ichihiko Toyoda, “Experiment Evaluation of a Multiport Harmonic Gunn Oscillator With Fundamental Signal Suppression,” Thailand-Japan Microwave 2017, 2017 年.

宮内紀尚, 田中高行, 豊田一彦, “相互同期型結合回路を用いた Push-Push 発振器アレーの出力安定性の評価,” 電子情報通信学会マイクロ波研究会, 2016 年.

福島 孟, 田中高行, 豊田一彦, “スロットリング共振器を用いたマルチポート Push-Push 発振器の実験評価,” 電子情報通信学会マイクロ波研究会, 2016 年.

作本 匠, 田中高行, 豊田一彦, “基本波フィルタを装荷したマルチポート高調波ガン発振器の試作評価,” 電子情報通信学会マイクロ波研究会, 2016 年.

Takayuki Tanaka, Hiroataka Umezaki, Ichihiko Toyoda, “Stabilizing Output Performance of Positive Feedback Type Push-Push Oscillator Array by Injection Locking Technology, ” 17TH International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics (ANTEM 2016), 2016 年.

DOI: [10.1109/ANTEM.2016.7550108](https://doi.org/10.1109/ANTEM.2016.7550108)

梅崎紘孝, 田中高行, 豊田一彦, “注入同期構成を用いた 3 素子正帰還形 Push-Push 発振器アレーの実験的評価,”映像情報メディア学会放送技術研究会, 2016 年.

Takayuki Tanaka, Takeru Sameshima, Norihisa Miyauchi, Ichihiko Toyoda, “A Push-Push Oscillator Array Using Mutual Phase Synchronization and Injection Locking, ” Vietnam-Japan MicroWave 2015, 2015 年.

Hiroataka Umezaki, Takayuki Tanaka, Ichihiko Toyoda, “Basic Evaluation of a Positive Feedback Type Push-Push Oscillator Array Using

Injection Locking Technology,” Vietnam-Japan MicroWave 2015, 2015 年.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況 (計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

佐賀大学教員活動データベース

<http://research.dl.saga-u.ac.jp/profile/ja.70f9086ce9961f9a59c123490551be02.html>

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

田中 高行 (TANAKA Takayuki)

佐賀大学・大学院工学系研究科・准教授

研究者番号：6 0 2 0 7 1 0 7

(2) 研究分担者

豊田 一彦 (TOYODA Ichihiko)

佐賀大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号：8 0 6 1 2 6 6 3

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()