

氏 名	福 本 克 巳
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3404 号
学位授与の日付	平 成 11 年 1 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	マイクロ波発振器の負荷特性と同期特性に関する研究

(主査)

論文調査委員 教授 奥村浩士 教授 上田院亮 教授 吉田 進

論 文 内 容 の 要 旨

波長がおおよそ1cmから30cm（周波数1GHzから30GHz）の電磁波はマイクロ波とよばれ、宇宙通信、衛星通信、近年では携帯電話などに利用されている。これらの通信技術を可能にしたのはマイクロ波機器の小型軽量化、高信頼化、低コスト化等を目的としたマイクロ波集積回路の研究開発によるところが極めて大きい。本論文は、マイクロ波集積回路の基礎となるマイクロ波発振器の集積回路上での実現に関する長年にわたる理論的実験的研究の成果をまとめたものである。

本論文は二部構成であり、緒言に続いて、第一部（第1章と第2章）ではマイクロ波発振器の数式モデルと等価回路に関する研究成果、第二部（第3章から第6章）ではマイクロ波発振器の同期特性に関する研究成果を述べ、第7章の結論から成り立っている。緒言では、マイクロ波利用の歴史を概観した後、マイクロ波集積回路の研究開発の現状と本研究の意義を述べている。

第一部第1章では、非線形負荷コンダクタンスと並列共振回路を接続した従来のファン・デア・ポール型マイクロ波発振回路の数式モデルは集積回路には不適切であることを指摘し、電圧と周波数の両者を考慮した非線形負性アドミタンスをもつマイクロ波発振器の数式モデルを提案し、リーケ線図を使ってこのモデルのパラメータを決定する方法を示している。さらに、この数式モデルを実際のガン発振器に適用してモデルから計算された負荷特性が実験結果とよく一致することを示し、この数式モデルの有効性を示している。

第2章では、マイクロ波発振器の等価回路に関する研究成果を述べている。まず、従来のファン・デア・ポール発振器の等価回路は負性コンダクタンスが電圧のみに依存しており、そのため集積回路上で実現するマイクロ波発振器の等価回路として用いられないことを指摘している。この従来型の等価回路に抵抗、キャパシタなどの受動素子を接続した場合にこれらの素子が発振特性に及ぼす影響を詳細に調べ、種々の受動素子を付加して実際とよく一致する一般的な等価回路の構成法を提案し、数式モデルと等価回路との相互の関係を検討している。

第二部の第3章では、マイクロ波発振器の注入同期現象を波動変数により解析し、当発振器の負荷特性の数式表現と注入同期特性との関係を明らかにしている。すなわち、マイクロ波発振器の注入同期現象を解析するには入出力信号を波動として取り扱う方がより実際に適した解析が可能となること示し、単方向注入同期特性を解析し、実験結果ともよく一致することを確認している。

第4章では、マイクロ波発振器に対する入出力信号を波動変数で取り扱う方法と電流電圧として取り扱う方法とを比較した後、低周波領域とマイクロ波領域では単方向注入同期特性が異なることを指摘している。これに基づき、マイクロ波発振器と伝送線路との結合系ならびに発振器と発振器の結合系とに分けて波動変数を用いた解析法により、同期安定性と電力合成の可能性を検討している。その結果、対称結合で弱結合にするか、発振器相互間の結合が強い時には非対称結合にれば電力合成が可能であることを見出している。

第5章では、単体のマイクロ波発振器では高出力を得ることは経済的技術的には極めて困難であることから、多数個の発

振器出力を合成し高出力を得る方法を検討し、提案したマイクロ波発振器の数式モデルを用いて2個のマイクロ波発振器の相互同期特性を解析している。さらに、多数個の発振器を無損失可逆回路で相互同期させた場合に発振電力が完全合成されるために具備すべき発振回路の条件を検討し、同相モードの安定条件、逆相モードの不安定条件ならびに結合回路の周波数依存性を考慮して、発振電力を完全合成するための回路条件を示している。

第6章では、逆相結合同期発振器系の外部注入信号に対する応答特性を解析的実験的に検討している。すなわち、2個の逆相結合した同期発振器システムの外部注入信号に対する同期特性を比較検討し、従来の発振器モデルによる解析結果と実験結果と不一致の原因は非線形負性アドミタンスの不足によることを指摘している、次いで、提案している数式モデルを結合系に適するように簡略化したモデルを提案し、それを用いた解析結果が実験結果とよく一致することを確認している。また、外部注入信号の周波数が逆相同期周波数に等しい場合には線形増幅し、また、逆相同期周波数に近い時には、逆相同期から準同相または同相同期状態に遷移する特性を使って、デジタル変調信号の増幅の可能性を示している。

第7章では、各章のまとめを行っている。

論文審査の結果の要旨

マイクロ波は宇宙通信、衛星間の通信、最近では携帯電話などに利用されている。これはマイクロ波集積回路の実現によって機器が小型軽量になり、その高信頼化、低コスト化などが達成されたからである。

本論文は、マイクロ波集積回路の基礎となるマイクロ波発振器の集積回路化に関する理論的実験的研究の成果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 従来のファン・デア・ポール型マイクロ波発振回路の数式モデルは実際の動作の記述には不適切であることを指摘し、電圧と周波数の両者の効果を併せもつマイクロ波発振器の数式モデルを提案し、実験結果とよく一致することを確認した。

2. 従来型マイクロ波発振器に種々の受動素子を組み合わせることによって、集積回路上に実現する実用的なマイクロ波発振器の等価回路の構成法を提案し、これによって構成された等価回路による解析結果と実際とがよく一致することを示した。

3. マイクロ波発振器の注入同期現象を解析するには入出力信号を波動変数として取り扱う方がより実際に即した解析が可能となること示し、単方向注入同期特性を解析し、実験結果ともよく一致することを確認した。

4. マイクロ波発振器の結合系を波動変数を用いた解析法により同期安定性と電力合成の可能性を検討し、対称結合で弱結合または非対称結合で強結合にすれば電力合成が可能であることを見出した。

5. 多数個のマイクロ波発振器を相互同期させた場合に発振電力が完全合成されるための回路条件を示し、応用例についても言及した。

以上、要するに、本論文は集積回路の上で実現可能なマイクロ波発振器の数式モデルと等価回路を提案し、それを用いて実際のマイクロ波発振器の諸特性を解析したもので、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)学位論文として価値あるものと認める。

また、平成10年12月1日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。