

氏名	林 理三雄
授与学位	工学博士
学位授与年月日	平成元年10月11日
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第2項
最終学歴	昭和39年3月 東京電機大学大学院工学研究科電気工学専攻 修士課程修了
学位論文題目	ミリ波インパット発振器の高効率逡倍同期法に 関する研究
論文審査委員	東北大学教授 水野 皓司 東北大学教授 小野 昭一 東北大学教授 佐藤 徳芳

論文内容要旨

本論文はミリ波衛星研究開発の一端として、衛星搭載を目指したインパット発振器に関する研究成果を纏めたものである。簡易で、小型軽量化が要求される衛星搭載用ミリ波発振器として有効な、新しい高効率逡倍同期方式を提案している。提案する方式は次の2種類である。

① 弱い規制発振波に逡倍同期を掛け主発振波を効率良く同期する方式。

② インパット発振器に同期用低周波を注入した時、多数の高調波が発生する。その幾つかを外部共振回路で強調し、主発振波を効率良く同期する方式。

また、これまで逡倍同期に関する確立された理論も無いため、提案する方式も含めた理論式の導出、理論解析を行なうと共に、実験的研究を行い、理論と実験が良く一致する事、及び、提案する方式が、従来の逡倍同期方式より高効率・高性能である事を明らかにしている。

本論文は6章の本論並びに付録から成っている。

第1章 序 論

本章では、本研究の背景及び従来のミリ波発振器の研究とその問題点を明らかにし、本研究の目的・意義を述べている。インパット発振器は、簡易で高効率、発振周波数可変、高出力であり、しかも発振周波数範囲も高いという特徴がある。しかし、①発振器雑音特にFM雑音が大き、②自由発振では周波数安定度が悪い等大きな欠点がある。衛星搭載用ばかりでなく、ミリ波利用技術に

於て、如何に効率良くこの欠点を克服するか、重要な課題である。此等について、これまでの研究経緯・問題点を明らかにしている。

第2章 多周波利用注入同期理論式の導出

本章では、提案する方式を解析する為外部注入同期に関する基本式の導出を行なっている。

図2.1, 2.2に、理論式導出のため用いる発振器回路、及び、インパット素子の等価回路を示す。ここでは、① インパット素子は、多周波信号で動作している。② 外部回路は、その回路以外の周波数の信号に依存しない。③ 各外部回路は、非線型回路素子（インパット）を介して結合されている。④ 注入信号回路は常に整合が取れている。又、⑤ V_{ei}, V_{di} は $\omega_i, |I_i|, \phi_i$ の関数である、等仮定し、次式の様な、多周波動作注入同期方式の関係式を導出した。

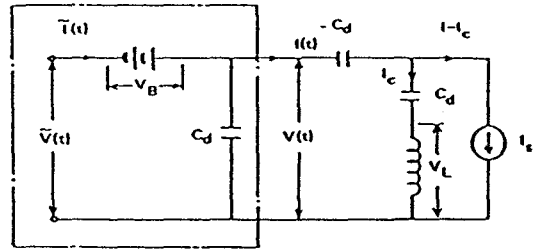
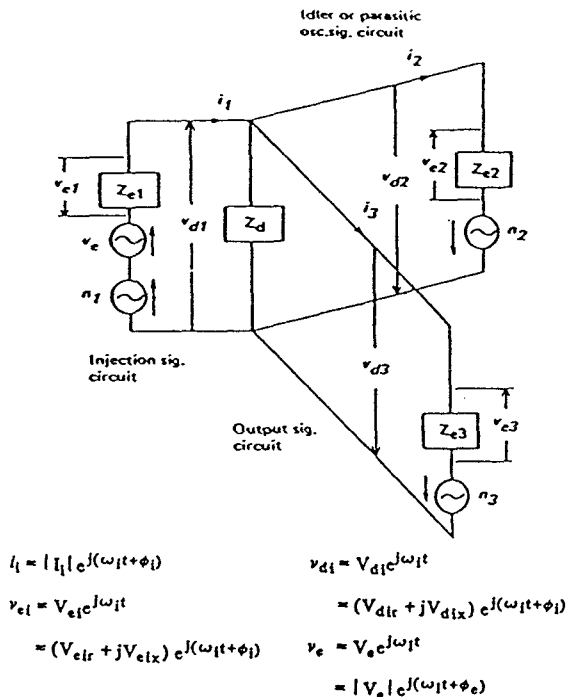
$$\begin{bmatrix} r & x \\ x & -r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D\Phi \\ D\log I \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_v & R \\ R_v & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\Phi \\ dI \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_r \\ V_x \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} N_r \\ N_x \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

(2.1) 式が外部注入同期に関する基本式である。(2.1) 式で用いられる各記号は、

$$D\Phi = [D\phi_k], \quad D\log I = [D\log |I_k|] \quad (2.2)$$

$$d\Phi = [d\phi_k], \quad dI = [d|I_k|] \quad (2.3)$$

$$N_r = [N_{ir}]_{real}, \quad N_x = [N_{ix}]_{imag} \quad (2.4)$$



$$I(t) = I_0 + \sum_{k=1} I_k \cos \omega_k t$$

$$I_c(t) = I_0 + \sum_{k=1} I_{ck} \cos(\omega_k t + \phi_{ck})$$

$$I_{ck}/I_0 \ll 1$$

図2.2 インパットダイオードの等価回路

図2.1 理論解析に用いる注入同期発振器の等価回路3ポート回路の例

$$\left. \begin{aligned} V_r &= [\delta_i | V_e | \cos(\phi_e - \phi_{1s}) - (V_{e1r} + V_{d1r})_s] \\ V_x &= [\delta_i | V_e | \sin(\phi_e - \phi_{1s}) - (V_{e1x} + V_{d1x})_s] \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

r, x, R, X, R_v, X_v などは回路定数により決められる値、 $\delta_i = 1 (k=1), 0 (k \neq 1)$ である。

(2.1) 式中の各定数決定のために、 $V(t), I(t), I_c(t)$ は多周波信号であると仮定し、図2.2の等価回路を利用して、交流成分 $V(t)$ を求め、インパットダイオードの多周波動作式を導出した。これにより、多周波動作のインピーダンスが求められる。この理論式導出により、多周波動作のインパット発振器の外部注入同期動作が表現でき、理論解析が可能になった。

第3章 各種注入同期方式数値解析

本章では、導出した理論式を用いて、直接外部注入同期 (DIL)、直接逡倍同期 (DSIL)、弱い寄生発振信号利用逡倍同期 (SILP)、及び、注入信号の何倍かの周波数に共振するアイドラー回路がある (SILI) 方式等各種の外部注入同期方式に関する数値解析を行い、その結果を示している。得られた結果の概要は、① 高効率逡倍同期方式が SILP、SILI 方式により実現でき、DSIL 方式はもちろん、DIL 方式よりも優れた特性が得られる。② SILP 方式において、高効率逡倍同期効果を得るには、主発振信号を妨害しないで、可能な限り寄生発振を大きく選ぶ必要がある。③ 一般的に逡倍同期方式の同期幅は、DIL 方式に比べ注入電力増加に連れ、急に大きくなる。注入信号レベルが小さい領域では DIL 方式は他の方式に比べ同期幅も広く、同期幅は注入信号レベルに対し緩やかに変化する。④ 逡倍同期方式の安定発振を与える回路パラメータの調整範囲は、DIL 方式の回路パラメータ調整範囲に比べ狭い。特に、SILI 方式では、最適条件を得る回路パラメータ調整がクリチカルである。⑤ SILI 方式は、アイドラー周波数の選び方で、SILP 方式よりさらに高効率が期待できる。等である。

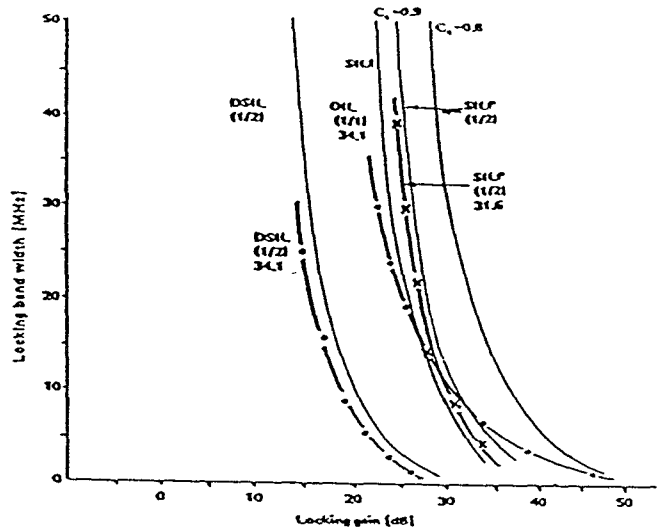


図5.1 2逡倍寄生発振波利用逡倍同期 SILP 方式の実験結果及び数値解析結果

実験結果はデータと共に実線で、理論結果は細い実線で示してある。アイドラー信号利用 SILI 1-②-4 方式の理論結果も C_1 をパラメータにして示してある。特性曲線上の DSIL ($1/2$) 34.1等は DSIL 方式、2逡倍同期、被同期信号周波数が 34.13 (GHz) である等をそれぞれ示している。

第4章 各種注入同期方式の実験研究

本章では、ミリ波インパット発振器の各種外部注入同期方式

に関する実験結果システム、実験結果について述べると共に、提案する通倍同期方式の、高効率なる事を実験的に確かめている。また、同期過程のスペクトルの振る舞いについても示している。DIL方式で主発振波（34.13GHz）、寄生発振波（31.6GHz）のどちらかに注入信号があった時、同時に両発振波が同期することが明らかにされた。この現象を利用したSILP方式ではDIL方式に匹敵する高効率同期効率が得られ、DIL方式と同様に同期によりFM雑音も20dB以上改善されることが明らかになった。

第5章 理論結果と実験結果の比較

本章では、前章で得られた結果と、第3章で求められた理論解析結果の比較考察を行なっている。そして、理論結果が実験結果と良く一致することを示している。図5.1は、DIL方式と2通倍同期のDSIL, SILP, SILIの各方式の特性を示してある。SILP, SILI方式がDIL方式に匹敵する良好な特性であること、理論結果と実験結果が良く一致していること、また、回路パラメータ、特に注入信号回路とダイオード間の結合係数 C_1 が、特性に重要な影響を与え、最適化すれば、実験的にも更に良い結果が得られたことが明かになった。

第6章 結 論

本章では、各章で得られた成果を要約している。

本研究では、① ミリ波インパット発振器の高効率通倍同期方式として、二つの新しい方式の提案し、② 直接注入同期をも含めた通倍同期の理論式を導出した。③ その理論に基づき数値解析により、回路設計に重要な設計指針を得ることが出来た。また、④ 実験的研究を行い、提案する方式により、他の方式に比べ、高効率なミリ波インパット発振器の通倍同期方式が実現出来ること、⑤ 理論解析結果と実験結果とが良好一致を示し理論の妥当性等を明らかにした。

これにより、ミリ波利用分野で重要な、高安定、小型・軽量、高信頼な信号源が実現でき、衛星搭載用ばかりでなく、広くミリ波以上の周波数領域の利用分野でも、高効率高安定同期方式として貢献出来るものとする。

審査結果の要旨

ミリ波帯のコヒーレントな光源として、インパット発振器は、回路の簡易さ、小型軽量性、又発振周波数可変等の特長を持っている。しかし、衛星通信等応用の観点からは、発振器雑音が大きいという欠点を有している。著者は、その改善のために、次の2つの新しい同期方式を提案した。即ち、①弱い寄生発振波を逡倍同期させ、主発振波を同期させる方式、および②低周波を注入した時発生する高調波を共振回路で強調し主発振波を同期させる方式、である。本論文は、これらの新しい同期方式について理論的及び実験的研究を行い、その高効率性を明らかにし、実用化に向けての基礎データを与えたもので、全文6章よりなる。

第1章は、序論であり、本研究の背景及び従来のミリ波発振器の研究とその問題点を明らかにし、本研究の目的・意義をのべている。

第2章では、本研究で提案している新しい同期方式を理論解析するために、多周波動作のインパット発振器に対して外部注入同期に関する理論式の導出を行っている。

第3章では、前章で導出した理論式を用い各種の注入同期方式について数値解析を行っている。その結果、新しい2つの同期方式は、直接注入同期、直接逡倍同期など従来の方式に比べ、高効率性を持ち得ることを示している。このとき注入信号回路とダイオード間の結合係数など回路パラメータの設定が重要であることを見出しているが、これは重要な知見である。

第4章では、各種注入同期方式に関する実験システム、実験結果について述べると共に、第3章で理論的に予測した新しい逡倍同期方式の高効率性を実験的に確かめている。

第5章では、第4章で得られた実験結果と第3章で求めた理論解析結果との比較考察を行っており、同期幅対同期利得特性について、理論と実験とが良い一致を示すことを明らかにしている。

第6章は結論で、以上の各章で得られた成果を要約している。

以上要するに本論文は、ミリ波帯インパット発振器の安定性改善のために新しい逡倍同期方式を提案し、その有用性を理論的実験的に究明したもので、電子工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。