

いとうけんじ

氏名 伊東健治
 授与学位 博士(工学)
 学位授与年月日 平成9年3月25日
 学位授与の根拠法規 学位規則第4条第1項
 研究科、専攻の名称 東北大学大学院工学研究科(博士課程)電子工学専攻
 学位論文題目 衛星通信用低スプリアス周波数変換器に関する研究
 指導教官 東北大学教授 水野 皓司
 論文審査委員 主査 東北大学教授 水野 皓司 東北大学教授 米山 務
 東北大学教授 伊藤 弘昌

論文内容要旨

第1章 序論

衛星通信は国際衛星通信から出発し、国内衛星通信や移動体衛星通信など多様な発展を続けている。図1に衛星通信の回線の概念図を示す。本研究の目的は、図1に示す周波数変換器の小形化や経済化に適した構成とその設計法を明らかにするとともに、周波数変換器のスプリアスの抑制を図ることにより、衛星通信のパーソナル化と周波数の利用効率の向上に資することである。本章では衛星通信の動向について述べ、低スプリアス周波数変換器に対する要求を明らかにする。次に周波数変換器の主たる構成要素であるミキサと周波数シンセサイザに関する従来の研究の概要をまとめ、スプリアスの抑制の観点から解決すべき課題を示す。最後に本研究の目的と内容について述べ、本研究の位置づけを明らかにする。

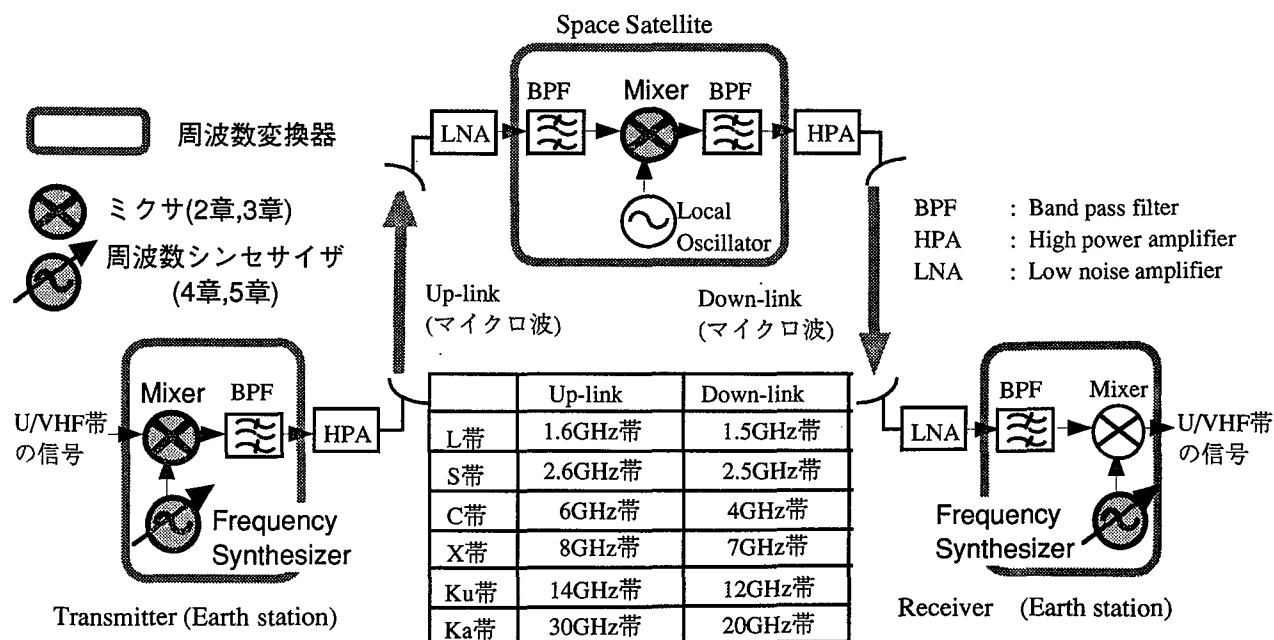


図1 衛星通信回線と周波数変換器

第2章 送信用偶高調波ミキサ

第2章では2重周波数変換方式の衛星搭載中継器や地球局用送信機に用いる送信用偶高調波ミキサについて述べる。図2にアンチパラレルダイオードペア(APDP)を用いた偶高調波ミキサの構成と40GHz帯での試作例を示す。偶高調波ミキサは、フィルタでの抑制が困難である局部発振波の第2高調波が低レベルであり、低スプリアス特性を有する。ここでは従来知られていなかった偶高調波ミキサの出力電力や変換損失などの基本特性を解析し、その限界性能を明らかにする。まずAPDPをスイッチとみなす近似のもとで、送信用偶高調波ミキサの出力電力と変換損失の解析式を求める。これらの結果より局部発振電力を高めると、RF信号の出力電力を高めることができ、スプリアスレベルを抑制できることを明らかにする。そして2GHz帯での測定により、解析の検証を行う。図3に2GHzでの送信用偶高調波ミキサの出力電力と変換損失を示す。良い一致が得られ、解析式の妥当性が確認できる。本章では、さらに集積化が容易なスタブ分波形偶高調波ミキサの回路構成を提案する。そしてスタブ分波回路の散乱行列を求め、スタブの設計条件を明らかにする。最後に、X帯QPSK(Quadri PSK)変調器および40GHz帯モノリシック偶高調波ミキサの試作結果について述べ、ともに良好な特性が得られていることを示す。

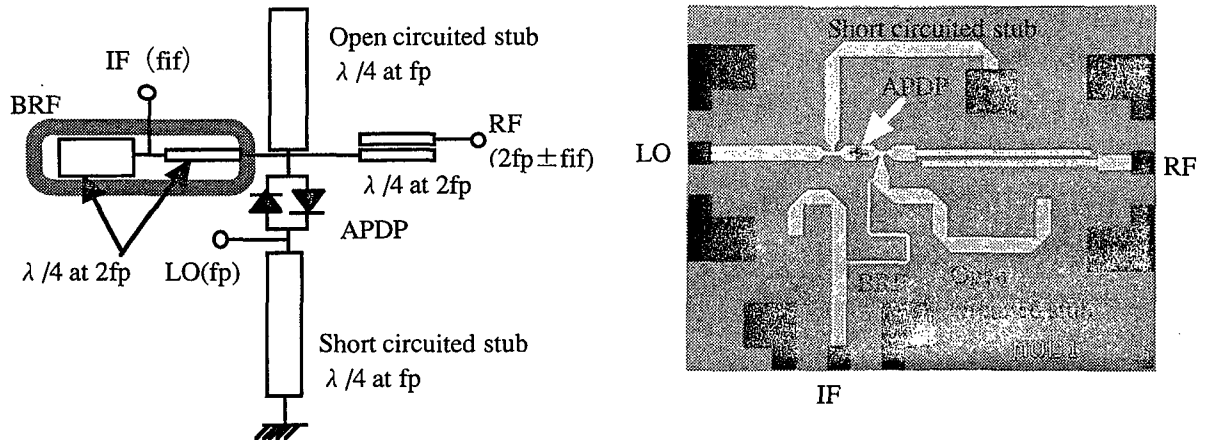


図2 アンチパラレルダイオードペア(APDP)を用いた偶高調波ミキサの構成と40GHz帯での試作例

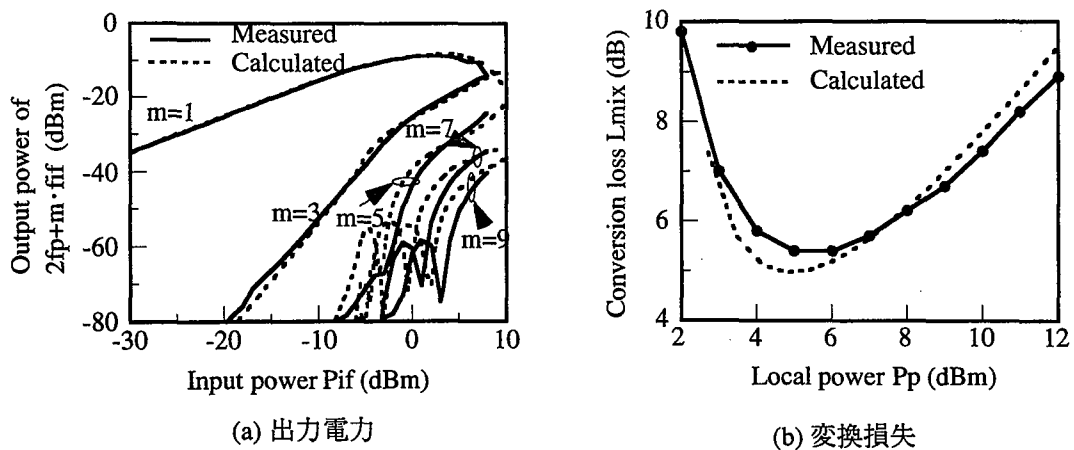


図3 2GHzでの送信用偶高調波ミキサの出力電力と変換損失

第3章 平衡形ドレインミクサ

第3章では直接周波数変換方式の衛星搭載中継器に適用する平衡形ドレインミクサについて述べる。直接周波数変換方式の衛星搭載中継器に用いるミクサの局部発振周波数は入出力周波数より低い。そのためフィルタで抑制できない所望帯域内にスプリアスが生じる。このスプリアスを抑制するため、スロット線路形180度ハイブリッド電力分配器を用いた平衡形ドレインミクサを提案する。まず解析と実験により、SBD(Schottky Barrier Diode)ミクサとドレインミクサのスプリアスレベルの比較を行う。図4にSBDミクサとドレインミクサのスプリアスレベルの比較を示す。これらの結果により、ドレインミクサのスプリアスレベルは高次となるほど急峻に低下し、衛星搭載中継器に適することを明らかにする。次に端子間のアイソレーション特性を実現するスロット線路形180度ハイブリッド電力分配器の新たな構成とその動作原理を示す。最後に、Ka帯での試作結果について述べる。図5にミクサの外観と出力スペクトラムを示す。出力波($f_{in}+f_p$)近傍のスプリアスレベル-67dBc($4f_{in}-6f_p$)が得られている。

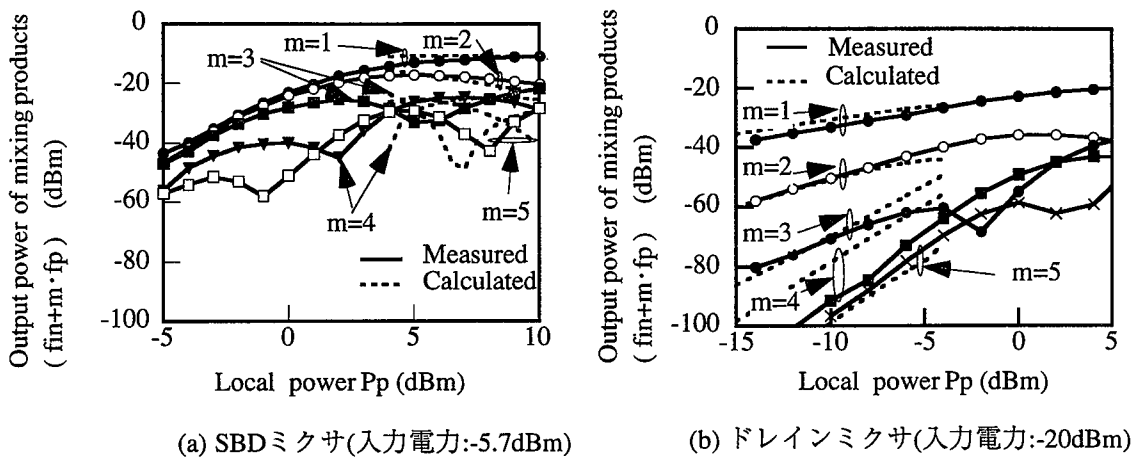


図4 SBDミクサとドレインミクサのスプリアスレベルの比較

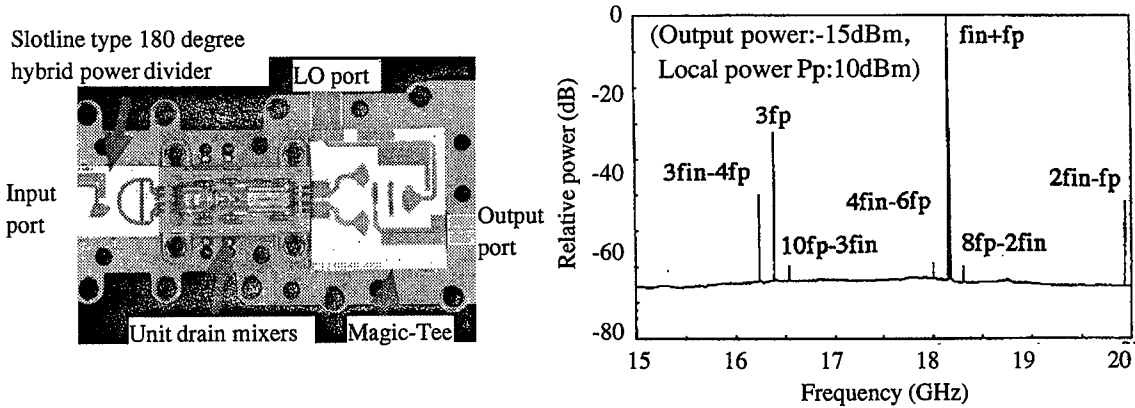


図5 ミクサの外観と出力スペクトラム

第4章 LFDDSを用いた周波数シンセサイザ

第4章ではデジタル衛星通信方式の地球局に適用するLFDDS(Linear Frequency variation Direct Digital Synthesizer)を用いたPLL(Phase Locked Loop)シンセサイザについて述べる。同期を保持したまま切り換えできる周波数変化範囲を広帯域化し、同期はずれによるスプリアスの輻射を抑制するために、周波数を一定の速度で変化させるLFDDSを基準発振器とするPLLシンセサイザを提案する。図6に構成を示す。ここでは

LFDDSを基準発振器として用いた場合、PLLの位相比較器への2入力信号の周波数差を低減でき、同期はずれを抑制できることを示す。そして広帯域に同期を保持するためのLFDDSの周波数変化速度の条件式を示す。最後に、6GHz帯での試作結果について述べ、同期を保持しながら周波数切り換えが可能な帯域幅23%、周波数切り換え速度 $50\mu\text{s}$ およびスプリアスレベル-55dBcの特性が得られていることを示す。

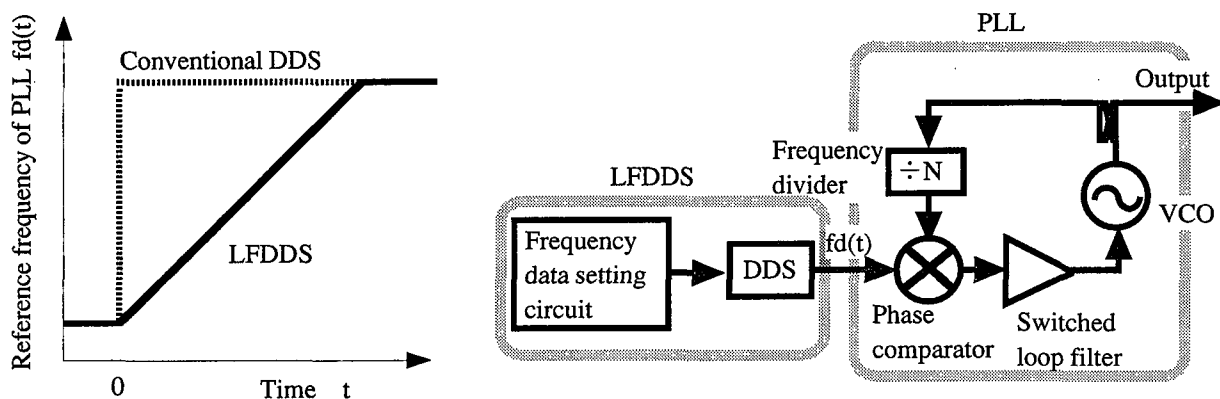


図6 LFDDSを基準発振器とするPLLシンセサイザの構成

第5章 2同調形DDS駆動PLLシンセサイザ

第5章ではデジタル衛星通信方式の地球局に適用する2同調形DDS(Direct Digital Synthesizer)駆動PLLシンセサイザについて述べる。DDSは細かな周波数設定が可能であるが、波形の量子化に伴うスプリアスレベルが高い。このスプリアスを抑制するため、DDSの出力に周波数変換器を設けた2同調形DDS駆動PLLシンセサイザを提案する。図7に構成を示す。まず、周波数変換器を用いDDSからPLL出力までの周波数通倍数を低減することにより、シンセサイザ出力でのスプリアスレベルを抑制できることを示す。次にPLLで粗同調しDDSで微同調する2同調形とすることにより、DDSの周波数変化幅の狭帯域化ができ、その結果、高レベルのスプリアスを避けたDDSの周波数を選択できることを明らかにする。最後に、周波数間隔0.06HzのL帯シンセサイザの試作結果について述べ、スプリアスレベル-60dBc以下の特性が得られていることを示す。

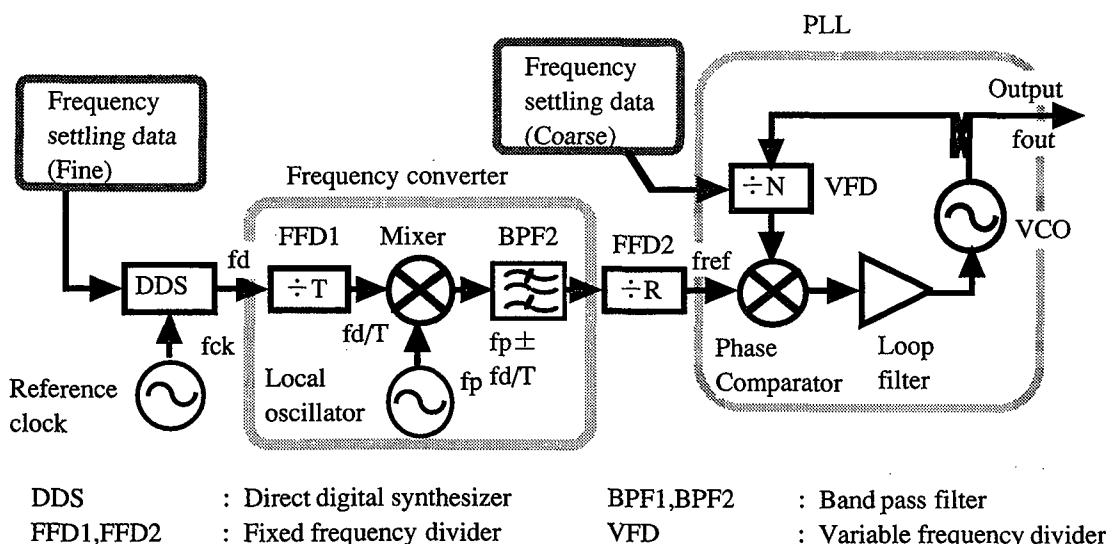


図7 周波数変換器を用いた2同調形DDS駆動PLLシンセサイザの構成

第6章 結論

本研究によって得られた成果を要約するとともに、今後の課題を示す。

審査結果の要旨

衛星通信は、広域性、回線設定の柔軟性、耐災害性などの特徴を有しており、世界的な視野より多様な展開が行われている。本論文は、著者が提案した新しい構成の衛星通信用低スプリアス周波数変換器に関して、その設計、開発および実用化に関する研究を纏めたもので、全編6章よりなる。

第1章は、序論である。第2章では、2重周波数変換方式の衛星搭載中継器などに用いる低スプリアスのアップコンバータとして、アンチパラレルダイオードペア偶高調波ミキサを提案し、その開発の過程における研究成果について述べている。まず理論解析を行い、アップコンバータとしての変換損失の限界値等を示している。この解析に基づき、40 GHz 帯モノリシックアップコンバータを開発し、-19.5 dBm の出力電力の時、変換損失 9.5 dB および局部発振波の第2高調波レベルが RF 信号に対して -49 dBc などの良好な値を得ている。このコンバータは現在実用に供されており、重要な成果である。

第3章は、直接周波数変換方式の衛星搭載中継器に関する研究である。まず、いくつかのミキサの動作に対して高次のスプリアスレベルを比較し、FET ドレインミキサは高次のスプリアスレベルが抑制されることを示している。次いで、スプリアスレベルをさらに抑制するためにスロット線路形 180 度ハイブリット電力分配器を用いた平衡形ドレインミキサの構造を提案し、予備実験を経て、Ka (18 GHz) 帯のアップコンバータを開発し、-67 dBc の低いスプリアスレベルを得たことについて述べている。この成果は衛星搭載機器として実用化されている。

第4章は、デジタル衛星通信方式の地球局用低スプリアス周波数シンセサイザに関する研究である。著者は、周波数を一定の速度で変化させる直線周波数変化直接デジタルシンセサイザを基準発振器とする位相同期シンセサイザを考案し、まずその設計論を明らかにしている。次いで、6 GHz 帯で試作を行い、帯域 23 % 周波数切り替え速度 $50 \mu\text{s}$ およびスプリアスレベル -55 dBc の良好な特性を得ている。

第5章では、直接デジタルシンセサイザの出力に周波数変換器を設けた2同調形位相同期シンセサイザについて述べている。まず、著者の提案による本シンセサイザについて設計論を展開し、次いで L (1.6 GHz) 帯で試作を行って、実際の使用条件のもと -60 dBc の低いスプリアスレベルを得、その設計論の妥当性を明らかにしている。本シンセサイザは、移動体衛星通信用端末に適用され実用に供されている。第6章は結論である。

以上要するに本研究は、衛星通信用低スプリアス周波数変換器に関して、新しい構成、動作に基づきミキサ、シンセサイザを考案し、理論解析、実験的検討を通して、実用に供し得るものの開発に成功したもので、電子デバイス工学ならびに通信工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。