

氏 名	いわ なみ やす のり 岩 波 保 則
授 与 学 位	工 学 博 士
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 56 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学 位 規 則 第 5 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) 情 報 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	高 感 度 F M 受 信 機 の 設 計 理 論 に 関 す る 研 究
指 導 教 官	東 北 大 学 教 授 佐 藤 利 三 郎
論 文 審 査 委 員	東 北 大 学 教 授 佐 藤 利 三 郎 東 北 大 学 教 授 星 子 幸 男 東 北 大 学 教 授 重 井 芳 治 東 北 大 学 助 教 授 長 沢 庸 二

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

F M 通 信 方 式 は 今 日 に 至 る ま で 久 し く 高 品 質 な 通 信 を 提 供 す る 手 段 と し て 用 い ら れ て き て い る こ と は 周 知 で あ る 。 ア ナ ロ グ F M 方 式 の 受 信 機 に は 古 く か ら L D (Limiter Discriminator) 受 信 機 が 用 い ら れ て き た が , 1960 年 頃 よ り ス レ ッ シ ョ ル ド 拡 張 形 の P L L 受 信 機 お よ び F M F B 受 信 機 な ど の 高 感 度 F M 受 信 機 が 出 現 し , 現 在 こ れ ら は 衛 星 通 信 を 中 心 と す る 分 野 で 実 用 さ れ て い る 。

し か し , 実 用 さ れ て い る と 言 っ て も そ の 設 計 思 想 は 実 験 結 果 に 負 う と ころ が 少 な く な く , P L L 受 信 機 に 対 し て は 現 実 的 諸 条 件 下 に お け る 特 性 解 析 が 不 備 で あ っ た り , F M F B 受 信 機 に 対 し て は 適 切 な 理 論 的 設 計 論 が あ ま り な い 。 さ ら に , そ の 他 の 高 感 度 受 信 機 に 対 し て は 現 在 の と ころ 提 案 程 度 に 留 っ て い る の が 現 状 で あ る 。

そ こ で , 本 研 究 で は こ れ ら 理 論 的 に 不 明 確 な F M 受 信 機 の 設 計 手 法 を 明 ら か に す る こ と を 目 的 と し , 具 体 的 に は , P L L 受 信 機 に 対 し て は 理 論 的 な 設 計 論 を 整 理 し , さ ら に 現 実 的 諸 条 件 下 に お け る 特 性 変 化 等 を 明 ら か に す る 。 ま た , F M F B 受 信 機 に 対 し て は 従 来 数 少 な い 理 論 的 設 計 論 を 明 確 化 し て い る 。 さ ら に , そ の 他 の 高 感 度 受 信 機 と し て は F M F B - P L L 複 合 ル ー プ 受 信 機 を 選 び , 理 論 的 設 計 法 お よ び ス レ ッ シ ョ ル ド 拡 張 能 力 を 明 ら か に し て い る 。 ま た , 以 上 の 高 感 度 受 信 方 式 に 関 す る 研 究 の 他 に エ ン フ ェ シ ス 方 式 に つ い て も 触 れ , 最 適 な エ ン フ ェ シ ス 関 数 を 求 め て

いる。

第2章 FM受信の基礎理論

本章では、第3章からの内容において、あらかじめ挙げておいた方が良いと思われるFM方式に関する必要事項を簡潔に述べている。

第3章 FM受信機における最適なエンファシス方式

本章では、高感度受信方式と共に、電力と帯域の制限されたアナログFM方式で出力 S/N を改善する方法として知られているエンファシス方式についての検討を行い、通常のLD受信機のスレッシュホールド以上の領域とスレッシュホールド以下の領域のそれぞれに対し、出力 S/N を最大にする最適なエンファシス関数が存在することを示している。

第4章 位相同期形高感度FM受信機の設計理論

PLL FM受信機(図1)の研究は、現在まで各種の解析法を用いて数多くなされてきている。しかし、その動作の把握は位相比較器の非線形性により困難な場合が少なくなく、現実的条件下におけるスレッシュホールド解析等はまだ完全に行われていない。

本章では、高感度PLL受信機について、その設計理論を中心に述べている。まず、変調信号がガウス過程と正弦波の各々の場合に対し、準線形近似理論を用いて周波数オフセットの効果を考慮した準線形PLLモデルを導出している。次に、それぞれの変調信号の場合に対し準線形モデルを用い、ループフィルタとして1次のラグ・リードフィルタを与えた場合の高感度設計のための回路定数決定法を述べている。また、ガウス過程変調信号の場合に対しては、Wienerの最適線形フィルタリング理論を適用し、最適および近似最適ループフィルタを用いたときのスレッシュホールド特性を明らかにしている。また、高感度設計されたPLL受信機に現実的条件と考えられる周波数オフセットおよび回路遅延が加った場合の特性劣化の様子を準線形モデルを用いて調べている。さらに、正弦波特性を含む任意の位相比較器特性を持つPLL受信機の雑音を無視し得る場合の角度復調限界特性についても言及している。最後に、従来あまり検討されていないPLL受信機に対するエンファシス効果の検討も行っている。

この結果得られた主な成果は次のようなものである。まず、変調信号がガウス過程と正弦波の場合に対し、周波数オフセットの影響を考慮した準線形PLLモデルを導出した。次に、ガウス過程変調信号の場合に対し、Wienerの最適フィルタリング理論を適用することにより、従来のラグ・リードループフィルタの場合に比べさらにスレッシュホールド特性の優れた近似最適ループフィルタを得る手法を示した。また、導出した準線形モデルを用い、周波数オフセットおよび回

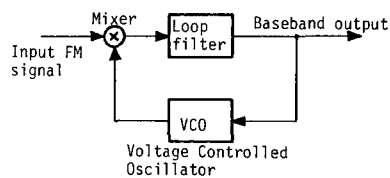


図1 PLL FM受信機

路遅延による位相誤差分散の増加の様子を定量的に明らかにした。さらに、任意の位相比較器特性を持つ PLL 受信機の雑音を無視し得る場合の受信限界特性が周波数オフセット量により劣化する様子も定量的に明らかにした。最後に、PLL 受信機のスレッシュホールド近傍のエンファシス効果は、エンファシス関数によってはかえって出力 S/N を減少させることになることも示した。

第 5 章 周波数帰還形高感度 FM 受信機の設計理論

FMFB FM 受信機 (図 2) の研究は現在まで数多くなされているが、内部に存在する複数個の非線形要素の為に厳密な解析は困難であり、設計に至っては実験結果に頼る部分が少なくない。

本章では、高感度 FMFB 受信機の理論的設計法について述べている。まず、2つの非線形要素である IF フィルタと LD に対し、それぞれ準線形近似を用いた単一同調フィルタモデル (付録に掲載) および準線形近似 LD モデルを導出し、解析、設計のための FMFB モデルを求めている。次に、

このモデルを用い、スレッシュホールド解析法および高感度設計法を述べている。そして、ループフィルタとして 2 次の Enloe のフィルタおよび 1 次 RC フィルタを与え、各々の場合につき回路定数決定法を示している。さらに、これらのループフィルタの場合に対し、従来あまり報告されていないエンファシス効果が FMFB 受信機の出力 S/N 特性に与える影響も論じている。

この結果、FMFB 受信機の理論的設計法を一層明確化することができた。特に、1 次 RC ループフィルタを用いた設計法は従来あまり報告されておらず有用と思われる。さらに、FMFB 受信機のスレッシュホールド近傍のエンファシス効果は、ループフィルタの形によっては必ずしも有効でないことも明らかになった。

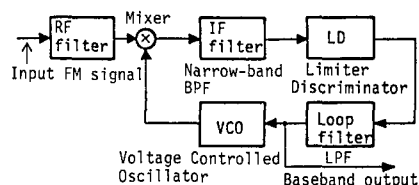


図 2 FMFB FM 受信機

第 6 章 周波数帰還一位相同期複合回路形高感度 FM 受信機の設計理論

FMFB-PLL 複合ループ FM 受信機 (図 3) は、FMFB 受信機の内部復調器である LD を雑音特性の良い PLL に置き換え、従来の PLL 受信機や FMFB 受信機に比べさらに優れたスレッシュホールド特性を実現しようとするものである。しかし、回路構造が複雑なことから現在のところ提案程度に留っており、その設計理論およびスレッシュホールド拡張能力はあまり明らかでない。

本章では、FMFB-PLL 複合ループ受信機的设计理論およびスレッシュホールド拡張能力について述べている。まず、第 4 章で述べた準線形 PLL モデルおよび第 5 章で用いた準線形近似単一同調フィルタモデルを用い、解析、設計の為

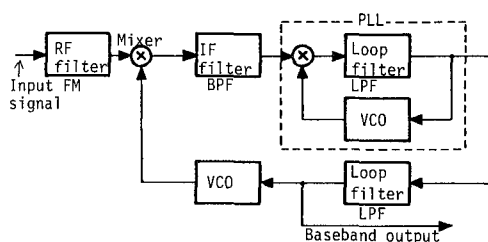


図 3 FMFB-PLL 複合ループ FM 受信機

の複合ループモデルを導出する。

次に、このモデルを用いた高感度設計法を述べ、そして具体的にループフィルタを与え、回路定数およびスレッシュヨルド値を決定している。

この結果、FMFB-PLL複合ループ受信機は、従来のPLL受信機やFMFB受信機に比べ大幅なスレッシュヨルド拡張能力は持たないことが判明した。

第7章 結 論

本章は結論であるが、2節よりなる。

まず、7.1節では、第4章、5章および6章で述べた3種類の高感度FM受信機の主に設計面からの比較検討を行っている。図4にスレッシュヨルド拡張能力の比較を示す。7.2節は総括であり、本論文の各章の内容、成果および今後の課題等をまとめている。

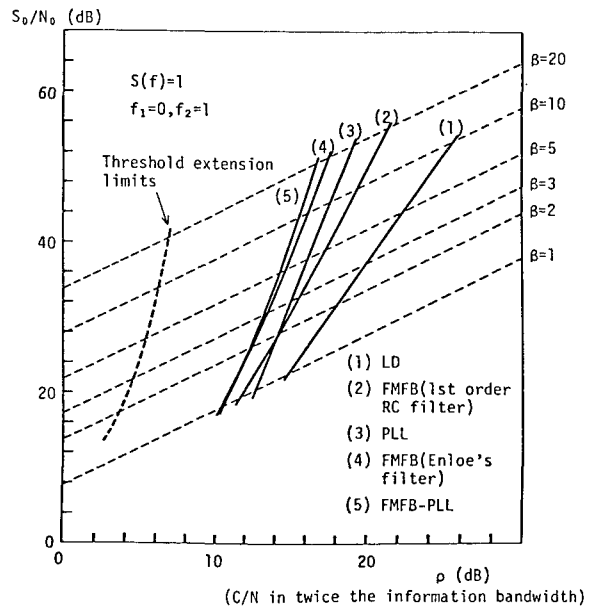


図4 本研究で設計した高感度FM受信機のスレッシュヨルド特性

審査結果の要旨

F M通信方式は古くから高品質な通信を提供する手段として用いられて来ている。しかし、今日衛星通信の発達及び電磁環境的な制約等により、低受信電力での通信の必要性が高まっている。また、現在のF M通信方式の通信容量は、理論的限界にはほど遠く、これに近付けることが要望されている。著者は、このような状況に鑑み、F M受信機を高感度にすることに着目し、最適設計理論に関する研究を進めて来た。本論文はそれらの成果をまとめたもので、全文7章よりなる。

第1章は緒論である。第2章では、F M受信機における出力S / Nの評価法について述べ、情報理論的考察によるアナログF M方式に対する出力S / Nの改善限界について述べている。

第3章では、電力及び伝送帯域の両者が制限された場合のS / N改善法として、エンファシス方式をとり上げ、回路次数が制限された場合の、最適エンファシス関数を導出している。

第4章では、位相同期F M受信機（PLL F M受信機）をとり上げ、ガウス雑音の仮定のもとに準線形PLLモデルを提案し、それに基づくF M受信機的设计理論を詳述している。ウィナーの最適線形フィルタリング理論を適用することにより、最適スレッシュホールド特性を得るPLL F M受信機的设计が可能となった。

第5章では、周波数帰還F M受信機（FMFB F M受信機）的设计法について述べている。解析には、第4章と同様な手法でFMFB F M受信機の準線形モデルを提案し、各種ループフィルタを仮定したときの、最適スレッシュホールド特性を得る设计法を確立した。1次RCフィルタを用いた場合のスレッシュホールドレベル改善度は2 dB～7 dB、エンローのフィルタを用いた場合は4 dB～10 dBとなる。

第6章では、第4章及び第5章で示したそれぞれの高感度F M受信機を組合せたFMFB-PLL F M受信機を提案し、最適スレッシュホールドレベル特性を解析すると同時に、その设计法について詳述している。従来のF M受信機に比較して4 dB～11 dB スレッシュホールドレベルの改善が可能となっている。

第7章は結論である。

以上要するに、本論文は従来のF M受信機に代る、位相同期、周波数帰還およびその両者の組合せによる高感度F M受信機に対し、準線形モデルを提案することにより、最適设计法を確立したもので、通信工学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。