

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 本島 邦明

本論文は“波長多重伝送システムにおける光ファイバ増幅器の過渡応答に関する研究”と題し、8章からなる。

第1章は“総論”であり、波長多重伝送システムにおける光ファイバ増幅器の過渡応答の重要性について述べ、本論文の目的と構成をまとめている。

第2章は“波長多重伝送システムにおける光ファイバ増幅器の課題”と題し、陸上ネットワークと海底ネットワークで用いられる光ファイバ増幅器の課題について概括する。

陸上ネットワークにおいては、帯域制御や障害発生時の迂回ルート確保の機能を実現するため、波長多重伝送システム用光ファイバ増幅器には波長数の変動に対し一定の利得を保持する利得制御機能が必要となる。また、線路損失の変動があってもチャンネル出力を維持するための、出力制御機能も重要である。一方海底ネットワークにおいては、信号電力の安定化のため励起電力一定駆動方式が取られる。このため、中継器への全信号電力の急峻な変動が生じた場合に、数百 mW のピーク電力を有する光サージが発生する可能性が有り、サージを抑圧するための対策が必要である。

第3章は“光ファイバ増幅器のモデリングと過渡応答の解析手法”と題し、本論文の理論解析の基本的ツールとなる EDF(Erbium Doped Fiber) とその制御回路を含めた理論モデルを構築した。利得及び出力制御機能を実現する制御回路を記述する方程式と、EDF の原子レート方程式及び光子レート方程式とを連立させることにより、光ファイバ増幅器の動作が完全に記述できることを示した。また、EDF の誘導放出断面積と誘導吸収断面積の高精度測定法を提案し、この値を用いれば、広い入力信号電力範囲及び波長範囲において増幅度誤差 0.3dB 以下の高い設計精度が得られることを示した。

第4章は“光ファイバ増幅器の利得制御方式”と題し、利得制御方式として励起光制御方式と補償光制御方式の2方式を提案し、この2方式を第3章で構築した理論モデルをもとに解析した。

励起光制御方式は、制御回路に要求される応答速度は 1ms 程度の時定数で十分であり、低速回路で経済的に実現できることを示した。この理論検討を確認するため、励起光制御方式を用いてパケット伝送時に低周波遮断歪みの抑圧特性を評価し、理論計算から得られる制御精度とほぼ一致することを確認した。また、補償光制御方式についても、16 チャンネルの 622Mbit/s CPFSK 変調信号の FDM 分配システムへの適用検討を行い、理論解析結果との比較を行なった。

第5章は“光ファイバ増幅器の出力制御方式”と題し、長距離波長多重伝送システムで不可欠となる、光ファイバ増幅器の出力制御方式に関する検討を行った。端

局から出力された利得制御波長の出力電力を一定に保つことにより出力制御を行う自律制御方式を提案し、第3章で構築した理論モデルを適用して解析を行なった。EDF 3段と利得制御回路及び出力制御回路からなる中継器の実時間動作を数値解析し、各制御回路の利得と時定数の所要値を明らかにした。この数値計算に基づき光ファイバ増幅器の試作を行い、その利得波長特性、波長数変動時の過渡応答特性、入力部に接続された光ファイバの損失が変動した場合の過渡応答特性を実験的に検討し、数値解析と良く一致することを明らかにした。

第6章は“光サージ伝播特性の解析と抑圧手法”と題し、海底ネットワークで問題となる光サージの伝播の抑圧手法として、光増幅中継系への入力電力変動の速度を管理することにより、光サージピーク値を管理することができることを示した。3章の理論モデルを用いて数値計算を行い、典型的なシステムでは、光スイッチの切替時間が20ms以上であれば光サージのピーク値は100mW以下に抑えられ、海底中継器用の受動部品の信頼性に影響を及ぼさないことを示した。また、本解析の妥当性を検証する実験を行い、光サージのピーク電力の実験値と理論値は、1dB程度の誤差で一致すること示した。

第7章は“冗長化励起系の安定化手法”と題し、海底ネットワークで使用される光中継器において、EDFを励起する励起レーザを冗長化した場合のレーザの安定化手法について述べている。まず、冗長化系では励起レーザ間の注入同期現象が不安定性の原因であることを理論・実験両面から明らかにした。次に、この不安定性を抑圧する方式として、励起レーザ間の結合を抑圧して注入同期状態を回避する光アイソレータ挿入方式、注入同期状態が発生しても光カプラでの干渉を抑圧できる長尺光ファイバ挿入方式、ファイバグレーティング挿入方式を提案しその有効性を実験的に検証した。

第8章は本論文の結論である。

以上のように本研究では、波長多重伝送システムにおける光ファイバ増幅器の過渡応答を解析するための理論モデルを提案し、このモデルに基づき、過渡応答を制御するための各種方式、すなわち陸上システム用利得制御方式および出力制御方式、海底システム用サージ抑圧手法および冗長化励起系を設計・開発した。これらの成果は、すでに商用システムに応用されているのみならず、将来の光ネットワークで用いられる光増幅器の設計にも有効であり、電子工学への貢献が多岐である。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。