

光バースト通信に対応する光ファイバ増幅器に関する研究 (041103004)

Optical amplifier for transmission of optical bursts

加木 信行 古河電気工業株式会社 ファイテルフォトンクス研究所

Nobuyuki Kagi, Fitel Photonics Laboratory, Furukawa Electric

福島 大[†] 吉川 徹^{††}Masaru Fukushima[†] Toru Yoshikawa^{††}[†]古河電気工業株式会社 情報通信カンパニー ファイテル製品部^{††}古河電気工業株式会社 ファイテルフォトンクス研究所[†]Fitel Products Division, Telecommunication Company, Furukawa Electric^{††}Fitel Photonics Laboratory, Furukawa Electric

研究期間 平成 16 年度～平成 17 年度

概要

本研究では、光バースト通信に対応する光ファイバ増幅器の方式検討、試作、およびそれを用いた多段増幅試験を行った。バースト光の増幅に適した制御方式を電子回路上に実装し、これを用いてエルビウムドープ光ファイバ増幅器 (EDFA) の利得を制御した。応答時間が 1μ 秒以下の高速な電氣的フィードバック制御によって、バースト光増幅にともなう利得変動を抑制できることを確認した。また、この光ファイバ増幅器を使って、波長多重されたバースト光を周回伝送させる系を構築し、多段中継後において、バースト状の光パワー変動がない場合と同様の伝送品質を保つことができることを実証した。

Abstract

In this work, we investigated control scheme for optical amplifier suitable for transmission of optical bursts, developed amplifier prototypes, and performed WDM transmission experiments with the amplifier. Gain of erbium-doped fiber amplifier (EDFA) was electrically controlled by a fast feedback loop with a response time of < 1 microsecond. With the feedback control, the gain transient was suppressed in the amplification of optical bursts. In a recirculating loop experiment, we demonstrated that optical bursts were transmitted successfully through the cascaded EDFAs.

1. まえがき

高効率でフレキシブルなネットワークを実現する技術として光バーストスイッチング (OBS) が注目されている。OBS では帯域の需要に対して動的に波長が割り当てられ、IP パケットがマイクロ秒～ミリ秒のオーダーを持つバースト信号として伝送される。このような光信号に対して従来の光ファイバ増幅器は利得緩和にともなう過渡的な応答を示し、その結果生じる光波形の劣化が伝送品質を制限することが知られている。

本研究では、波形劣化を生じずに光バースト信号を増幅する光ファイバ増幅器を開発し、これを用いて波長多重されたバースト信号の多段増幅中継試験を行うことを目標とした。

2. 研究内容及び成果

バースト状の光入力に伴う光ファイバ増幅器の利得変動抑制には、光学的補償を行う方式と電氣的補償を行う方式があり得る。光学的方式としては、(1) 別の入力光源を用意してバーストの間隙を埋めるように制御し、実質 CW 光を EDFA に入力する方式、(2) 光学的にフィードバックループを構成して利得をクランプする方式、等が考えられる。しかし、これらの方式は光学部品の追加を必要とするため、我々はより低コストで実現できる電氣的補償を行うことを検討した。

増幅媒体となるエルビウムドープファイバの特性や、制御回路のパラメータを考慮したシミュレーションの結果、十分に高速な電氣的フィードバックによってバースト光増幅時の利得変動を抑制できる見通しが得られた。この結果

に基づいて本制御方式を実装した光増幅器の試作を行った。

試作した光増幅器のブロック図を図 1 に示す。光学的には一般的な構成のエルビウムドープ光ファイバ増幅器 (EDFA) とし、励起波長は 980nm とした。増幅波長帯域は C バンドであり、利得の波長依存性をフラットにするためのフィルタ (GFF) を挿入した。入力部と出力部にフォトダイオード (PD) を設け、これらを用いて光増幅器の利得をモニタしている。

制御回路では、励起電流を一定に保つ ACC モードと、過渡応答を抑制すべく利得を一定に保つ AGC モードを選択可能とした。ACC モードでは励起パワー一定となり、EDFA 本来の応答を示すことになる。一方 AGC モードにおいては、目標利得とモニタ利得の差 (利得エラー) を算出し、これを LD 電流にフィードバックする。エラーの算出においては自然放光のパワーを考慮している。また、フィードバックの量を適切に設定することで、広いダイナミックレンジにおいて高速かつ安定な動作を図った。フィードバック制御に必要な演算はデジタル制御部にて行われ、利得にエラーが生じてから、励起 LD の電流を変化させるまでの応答時間は、 $1\mu\text{sec}$ 以下となっている。

通常の光増幅器では、光入力断となった場合、光サージ抑制のために励起 LD をシャットダウンする。一方、本制御回路においては、光入力断となっても励起 LD をシャットダウンせず、光バーストの間隙においても反転分布を保つようにした。

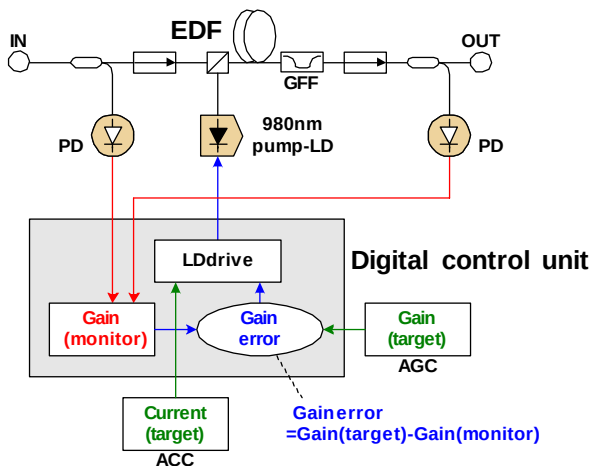
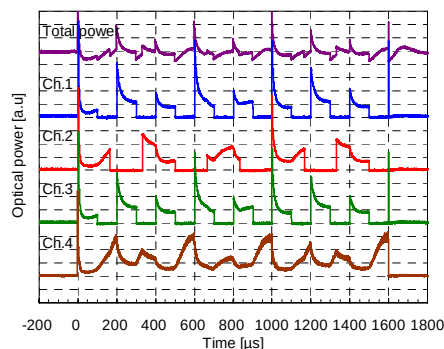


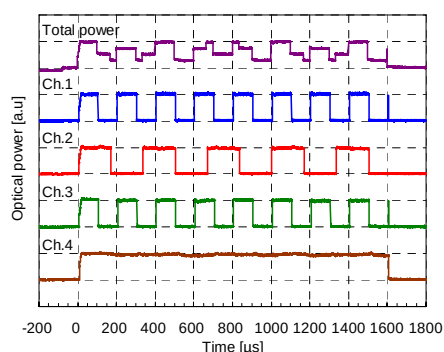
図1 光増幅器ブロック図

試作した光増幅器5台と光ファイバ380kmを用いて周回実験の系を構築し、多段中継での増幅特性を調査した。200GHz 間隔で波長多重された4波のバースト光を増幅した際の出力波形を図2(a)~(c)に示す。各波長におけるバースト長は、各々100 μ s、167 μ s、100 μ s、および1.61msとし、周回ごとに0.27msの間、光増幅器への光信号入力が完全に断になるよう設定した。

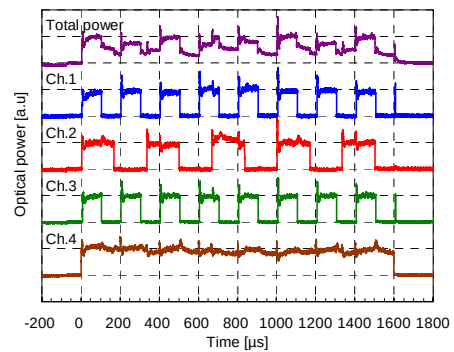
図2(a)は、5段増幅後のACCモード（フィードバックなし）時の波形である。全波長のバースト光が同時に立ち上がる $t=0$ において大きなオーバーシュートが発生している。また、その後も相互利得変動によって大きくパワーが変動している。一方、図2(b), (c)は、AGCモード（フィードバックあり）時の波形であり、各々5段増幅後、35段増幅後のものである。光増幅器の段数を重ねるにつれて利得変動が累積していくものの、累積量は1段あたり0.1dB程度に抑制されている。



(a) 5段後波形 ACCモード



(b) 5段後波形 AGCモード



(c) 35段後波形 AGCモード

図2 増幅後の波形

また、パースト光増幅にともなう利得変動が伝送品質に与える影響を調査するために、信号光に10Gb/sの変調をかけて、伝送後のビットエラーレートを測定した。その結果、AGCモードにおいてはパースト状の入力パワー変動がない場合とほぼ同等のエラーレートが得られた。ビットエラーの要因は主としてEDFAの雑音でありパースト光増幅にともなう利得変動ではないと言える。

3. むすび

EDFAの利得を電氣的なフィードバックによって制御し、波長多重されたパースト状の光信号を利得変動を抑制して増幅できることを実証した。また、多段増幅試験においてパースト状の光パワー変動がない場合と同様の伝送品質を保つことができることを確認した。

【誌上発表リスト】

- [1] Kazuro Okamura, Eisuke Otani, Toru Yoshikawa, Tatsuji Uchino, Masaru Fukushima, and Nobuyuki Kagi, "Optical burst amplification using EDFA with fast feedback control", Optical Fiber Communication Conference (Anaheim) Paper OTuN2 (2005年3月8日)
- [2] Eisuke Otani, Takeo Okaniwa, Kazuro Okamura, Toru Yoshikawa, Tatsuji Uchino, Masaru Fukushima, and Nobuyuki Kagi, "Amplification of WDM burst signals using EDFA with a fast feedback control", LEOS Annual Meeting (Sydney) Paper TuO3 (2006年10月25日)
- [3] 吉川徹、岡庭武男、大谷栄介、岡村和郎、内野竜嗣、福島大、加木信行、"多段接続されたEDFAによるWDMパースト信号の増幅"、電子情報通信学会全国大会B-10-70(東京)(2006年3月26日)

【申請特許リスト】

- [1] 福島大、加木信行、"光パースト信号及び光パケット信号伝送装置、光パースト信号及び光パケット信号伝送方法、光送信装置、及び光増幅方法"、日本、2005年2月28日
- [2] 福島大、加木信行、大谷栄介、岡村和郎、岡庭武男、"光増幅器、光増幅器の制御方法、及び光増幅中継通信装置"、日本、2005年6月27日
- [3] 岡村和郎、加木信行、福島大、"光増幅方法および光増幅装置"、日本、2005年12月28日