

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	多値光変調器の回路設計に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	山崎 裕史
Author(English)	Hiroshi Yamazaki
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9858号, 授与年月日:2015年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:植之原 裕行,浅田 雅洋,小山 二三夫,宮本 智之,府川 和彦
Citation(English)	Degree:, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9858号, Conferred date:2015/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

多値光変調器の回路設計に関する研究（要約）

山崎 裕史

本研究は、デジタルコヒーレント光通信ネットワークにおけるキーデバイスの一つである多値光変調器につき、高度な多値変調方式に対応する新規光回路構成の提案と実証を目的として行われた。研究のアプローチとしては、光変調器の回路設計に焦点をあて、設計論を体系的に整理した上で各種用途に合わせた新規回路を提案する手法をとった。提案設計を用いた光変調器の作製および動作実証にあたっては、プラットフォーム技術として成熟度と設計柔軟性の高い石英 PLC と LN のハイブリッド集積構造を用いた。本研究では計 6 種類の新規光変調器を提案し、それぞれ従来手法に対し原理損失の低減、回路構成の簡易化、柔軟性の向上、応答線形性の向上といったメリットを実証した。以下に各章の内容と成果を要約する。

第 1 章「序論」では、光ファイバ通信ネットワークの更なる大容量化や高機能化に向け、高度な多値光変調方式を駆使したデジタルコヒーレント通信技術の研究開発が活発に進められている背景を述べ、主要なデバイスの一つである多値光変調器の更なる高度化の必要性を示した。また、光変調器の基本的な構成要素であるマッハツェンダ変調器(MZM)の構成と動作原理につき説明した。

第 2 章「直列・並列型設計」では、プッシュプル駆動型マッハツェンダ変調回路(MZM)を直列および並列に接続することで多値光変調器を構成する設計手法を体系的に整理し、これを応用した新規変調器として 64QAM 変調器および 3D シンプレックス変調器の回路設計と実証実験結果を示した。本章ではまず、コンスタレーションのサブセット分割に基づく光変調器回路設計の手法を体系的に整理し、さらに並列接続部における入力側分岐比と出力側結合比を等しくすることで回路原理損失を最小化できることを新たに指摘した。64QAM 変調器においては、非対称カプラの対向配置により従来構成より 4.7dB 原理損失の小さい構成を提案、10Gbaud(60Gbps)において動作実証した。3D シンプレックス変調器においては、信号点配置の対称性に合わせた回路構成により従来構成に対し必要 MZM 数を 3 から 2 に削減しつつ原理損失を 2.1dB 低減する構成を提案、21.5Gbaud(43Gbps)において動作実証した。

第 3 章「共役型設計」では、前章で整理した直列・並列型設計を発展させた新しい変調器構成として共役型設計を提案し、これを応用した新規変調器として多値数可変変調器、PS-QPSK 変調器、およびデュアルキャリア変調器の回路設計と実証実験結果を示した。本章ではまず、共役型設計のコンセプトとして 2 並列 MZM 回路において生じる互いに複素共役な 2 出力信号を同時利用する構成を示し、その応用により直並列型より原理損失の小さい ≥ 8 値変調器および正負両方向への周波数シフト光を同時に得る相補型周波数シフト(CFS)が実現できることを示した。多値数可変変調器においては、共役型の採用と可変カプラの導入により、8 及び 16 値変調方式における約 2dB の原理損失低減と 4,8,16 値変調の切換え動作が可能な構成を提案、20Gbaud(40,60,80Gbps)において動作実証した。PS-QPSK 変調器においては、共役型の採用により従来構成に対し必要 MZM 数を 4 から 3 に削減しつつ原理損失を 3dB 低減する構成を提案、28Gbaud(84Gbps)において動作実証した。デュアルキャリア変調器においては、CFS と 4 並列 IQ 変調回路および偏波多重回路の集積により 2 周波数多重信号を 1 変調器で生成できる構成を提案し、CFS の光源周波数無依存・サブキャリア周波数間隔可変動作について実証するとともに、単独光源・単一変調器として世界初となる 400Gbps 信号生成に成功した。

第4章「線形応答型設計」では、前章までとは異なり多値電気信号で変調器を駆動することで多値光信号を生成するアプローチに着目し、ここで問題となるMZMの応答非線形性(Sin 応答特性)を光回路の工夫により解決する手法として線形応答型設計を提案・実証した。本章では、MZMの出力側カップラを 2×2 として、一方からSin 応答で表される主信号を得ると同時に、他方から得られるCos 応答信号をさらにSin 変調して補正信号を生成し、これを主信号と適切な比率で結合させることで応答特性の線形性を向上する回路設計を提案し、その特性を理論的に解析した。さらに上記設計指針に基づき、線形応答変調器(LOM)を2 並列に接続した線形IQ 変調器(LIQM)を作成し、従来MZMを用いた回路に対し線形性と原理損失のトレードオフの改善および16QAM 変調におけるコンスタレーションの歪みの抑制を確認した。

第5章「結論」では本研究で得られた成果を総括した。