

100Gデジタルコヒーレント通信用LN光変調器ドライバの開発

Development of LN modulator drivers for 100G digital coherent communication

佐々木尚史 Naoshi Sasaki, 齋藤 誠 Makoto Saito, 神園隆司 Takashi Kamizono, 山崎晴彦 Haruhiko Yamazaki

[要 旨] 高速光通信の大容量化を目指した 100G デジタルコヒーレント通信用に LN 変調器用のドライバを開発した。LN 変調器の駆動に必要な十分な 32GBaud で 7.0 Vp-p 以上の出力のドライバ回路を 34.6 mm×25.4 mm の小型パッケージに 4 回路搭載し、当社独自の実装技術により実現したシンプルな内部構成で隣接回路とのクロストークを 20 GHz で -20 dB 程度までに安定して抑えることに成功した。

[Summary] We have developed LN modulator drivers for 100G digital coherent communication which aims to increase the capacity of high-speed optical communications. We have installed four circuits of drivers into a small package which size is 34.6 mm × 25.4 mm and achieved more than 7.0 Vp-p output voltage at 32Gbaud. The performance was necessary and sufficient to drive LN modulators. Our unique implementation technology have been able to reduce the crosstalk between adjacent circuits up to about -20 dB at 20 GHz stably with very simple internal structure.

1 まえがき

スマートフォンの普及に伴い昨今のネットワークトラフィックは急激に増大しており、今後もその勢いは衰える兆しを見せていない。このトラフィックが増大し続ける状況下、長距離通信でもさらなる高速・大容量化が求められている。これに対して、OIF (Optical Internetworking Forum) では、2009 年に超長距離用 100G DWDM (Dense Wavelength Division Multiplex) 通信方式に関するフレームワークを示し、さらにその後にデジタルコヒーレント技術を用いた DP-QPSK (Dual Polarization-Quadrature Phase Shift Keying) 通信方式についても合意されている。この方式は波長分散耐力、偏波モード分散耐力、雑音耐力の観点から優れた変調方式の一つである。[1]

図 1 に OIF で合意された DP-QPSK 通信方式の送信モジュールブロック図を示す。

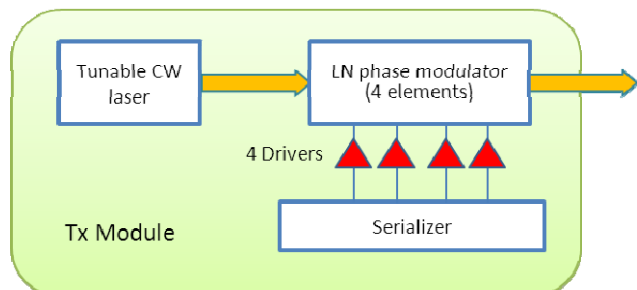


図 1 DP-QPSK 送信モジュールブロック図
Block diagram of a DP-QPSK transmitter module

この図に示すとおり、DP-QPSK 通信方式の電気-光変換には LN (Lithium-Niobate) 変調器が使用されており、同変調器を駆動するには 1 つの変調器に対して 4 個のドライバが必要である。

アンリツデバイスは計測器用に供給している高周波モジュールで培った高周波実装技術と、EDFA 用励起光源等の通信用半導体の生産で培った量産化技術を用いて、デジタルコヒーレント通信用トランシーバへの組み込みに適し、4 個を 1 つのモジュールにした LN 変調器用ドライバモジュール AH34161A を開発した。図 2 にその外観を示す。

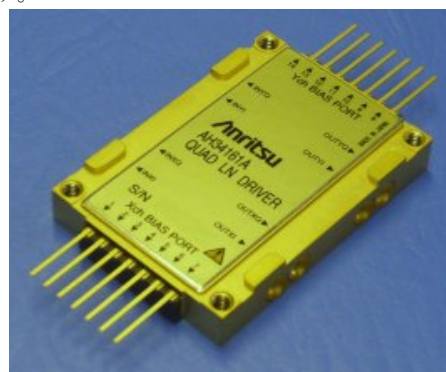


図 2 AH34161A LN ドライバ外観
External view of AH34161A LN Driver

2 開発方針および課題

前述の OIF で合意の LN 変調器は 32GBaud で V_{π} を 3.5 V と規定している。DP-QPSK の駆動には $2 \times V_{\pi}$ の電圧を要することから、この変調器を駆動するドライバの出力振幅は 32GBaud で 7 Vp-p 以上であることが求められる。また、変調器の V_{π} には個体差があるため、ドライバの出力振幅は一定の範囲で調整可能でなければならない。

本開発では、これらの LN 変調器を駆動するための基本的な機能・性能を満足し通信装置に搭載する上で、より使いやすい LN 変調器用ドライバモジュールとして、以下の項目を実現することを目指した。

- ・省スペース
- ・実装および調整の簡便性
- ・低コスト
- ・高品質

2.1 省スペースの実現

今回開発した 4 回路入りドライバ AH34161A のブロック図を図 3 に示す。OIF で合意した 100G DP-QPSK 用のトランシーバのサイズは 177.8 mm×127 mm (7 インチ×5 インチ) である。このサイズ内にドライバの他に LN 変調器を初めとする送信側の部品はもちろん、受信側の部品も搭載する必要があるため、トランシーバ内に搭載されるドライバには極力小さい面積に実装できることが求められる。前述のとおりトランシーバ内には 4 個のドライバが実装されることになるが、本開発では要求に応えるため 1 パッケージ内に 4 回路のドライバを内蔵することで、複数パッケージのときより実装面積が低減される。

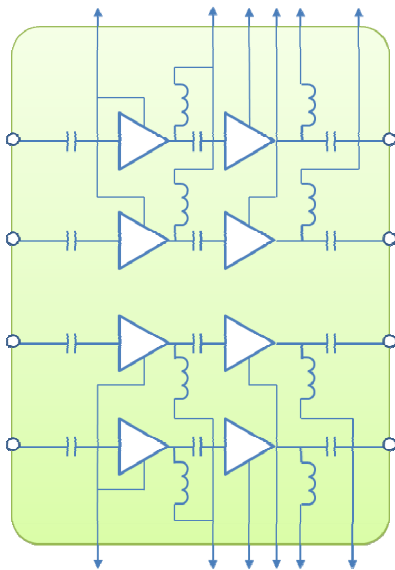


図 3 AH34161A LN ドライバブロック図
Block diagram of AH34161A LN Driver

またトランシーバ内トータルの実装面積の縮小を目指し、DC ブロッキングキャパシタとバイアスティをパッケージ内に構成することにした。このことにより精密な配線技術を使用するため、ドライバ後に必要となる DC ブロッキングキャパシタやバイアスティを、プリント回路基板上に構成するよりも小さな部品で実現可能となる。

2.2 実装および調整の簡便性の実現

前述のドライバ入力部の DC ブロッキングキャパシタと出力部のバイアスティは、プリント回路基板上に構成すると実装面積を要するばかりではなく高周波特性に影響を受けやすい。そのためこれらの部品をプリント配線基板に実装するには、高周波特性を劣化させないように注意深く実装する必要がある。本開発ではこのような高周波特性に影響を与える部分をパッケージ内に取り込むことで、ユーザは高周波特性の劣化を気にせず簡便に部品を実装することも目指した。

また OIF で合意した LN 変調器では、RF 入力ポートが 4 個の GPPO 互換コネクタを使用することが規定されていることから、ドライバの出力ポートには、変調器の接続が容易なように GPPO 互換コネクタを使用した。

さらに DP-QPSK 変調方式では 4ch の信号遅延時間の差が性能に影響するため、4 系統の信号経路は極力電気長が合っていることが求められる。本開発ではドライバと変調器を接続が等長となるよう、ドライバ出力側の GPPO 互換コネクタのピッチは LN 変調器の入力コネクタと同じピッチで配列した。図 4 にドライバ出力部の寸法図を示す。

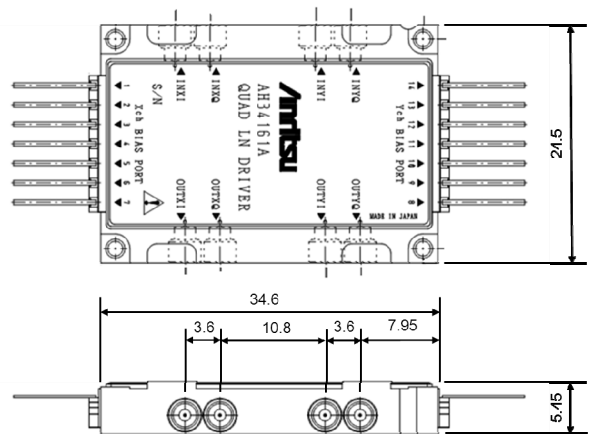


図 4 AH34161A LN ドライバ寸法図
Dimensions of AH34161A LN Driver

2.3 低コストかつ高信頼性の実現

昨今の通信機器の価格競争を考えると、通信機器用の部品は低価格であることは必須である。また一方で、通信回線のシステム内に組み込み連続動作を求められることから十分な信頼性を確保しなければならない。

一般的に部品点数が多くなればコストは上昇し、信頼性は低下する傾向となるため、本開発では部品点数を極力少なくしシンプルな構造で目標性能を達成することを目指した。

3 課題解決

3.1 クロストークの低減

小さなパッケージ内に複数の同一回路を実装する場合、それが高周波であればあるほどクロストークの問題が発生する。特に複数回路を実現するために狭ピッチで配置し、かつ回路毎の群遅延を極力合わせるため、その電気長を等しくした伝送線路でこの現象が発生しやすい。

このクロストークは実際の使用においては、4 回路にはそれぞれ全く違った信号が伝搬されるため特性上悪い影響を与える。省スペースのパッケージを実現するためには、このクロストークを低減する方策を講ずる必要がある。

一般的にパッケージ内配線用の伝送路にはマイクロストリップライン(MSL)を使用することが多い。これはMSLが比較的単純な構造で形成しやすいためであるが、その伝送モードはTEMモードに近いものの、前後に接続する部品との不整合による不要な放射も起きやすい。この伝送線路からの放射がクロストークの大きな原因のひとつとなっている。この際クロストークの低減には電波吸収体をMSL 周辺に貼付することが一般的な技術として知られているが、電波吸収体やそれを固定するための接着剤には種類によって密閉したパッケージ内でガスを発生させるものもあり、この技術は長期信頼性の観点からは必ずしも好ましいものではない。

上記の問題を解決するために本開発ではグランドコプレーナ線路(G-CPW)を使用した。G-CPW はマイクロストリップ線路と同様TEMモードに近い伝送モードだが、伝送路間にグランドが介在するためシールド効果によるクロストーク低減が期待できる。

グランドコプレーナ線路を使用したAH34161Aのクロストーク測定結果を図5に示す。

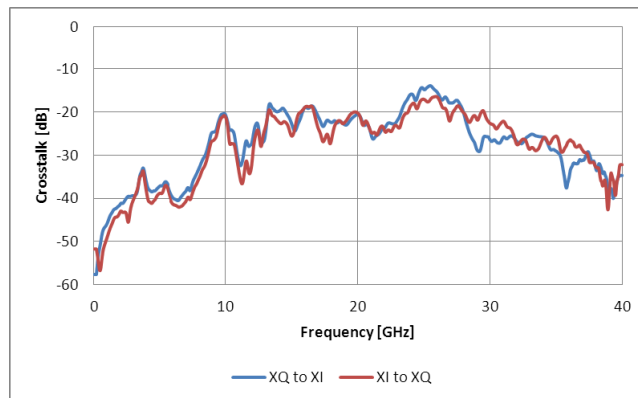


図5 AH34161A クロストーク特性
Crosstalk characteristic of AH34161A

伝送線路周辺に電波吸収体を配置するなどの処置を行わずに、20 GHz以上の周波数で-20 dB程度のクロストークを実現している。

3.2 パルス応答特性の向上

副次的効果としてMSLとG-CPWを比較した場合、G-CPWに群遅延特性の優位性が見られることが電磁界解析シミュレーションから確認できる。図6にMSL、G-CPWの電磁界解析シミュレーションモデルを、図7にそのシミュレーション結果を示す。このシミュレーションモデルの線路長はいずれも10 mmとした。

図7のグラフからG-CPWの群遅延特性は、MSLの群遅延特性に比べ周波数における傾斜が小さいことがわかる。パルスを送信するLNドライバの伝送線路においてはこの群遅延特性は無視できないものである。高調波成分を含むパルスを送信する際、基本波と高調波の伝達速度が違えばパルス波形が忠実に伝送されなくなるが、図7のグラフに示すような傾斜が大きくなればなるほど、その波形の乱れはオーバーシュートとして現れる。

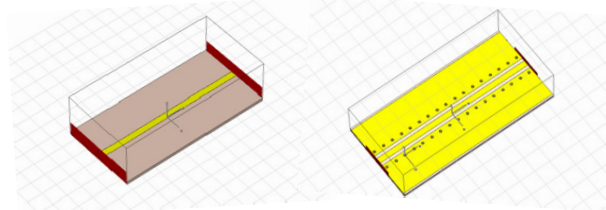


図6 MSLとG-CPWシミュレーションモデル
Simulation model of MSL and G-CPW

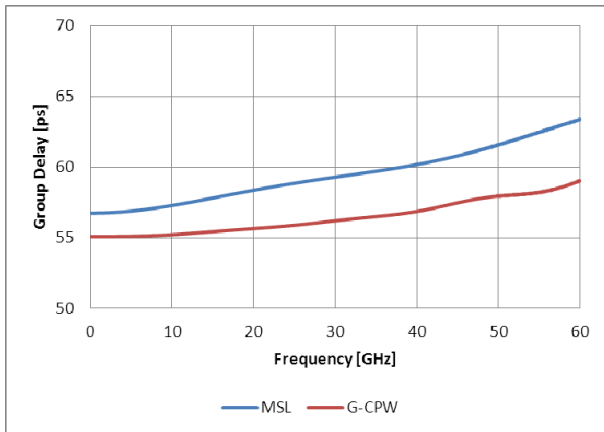


図7 MSLとG-CPWの群遅延シミュレーション
Group delay simulation of MSL and G-CPW

図8に図7の特性の伝送線路に10 Gbit/sのアイパターンを送った場合のパルス応答特性を示す。MSLを送った波形の方が、G-CPWを送った波形よりもオーバーシュートが大きくなっていることがわかる。

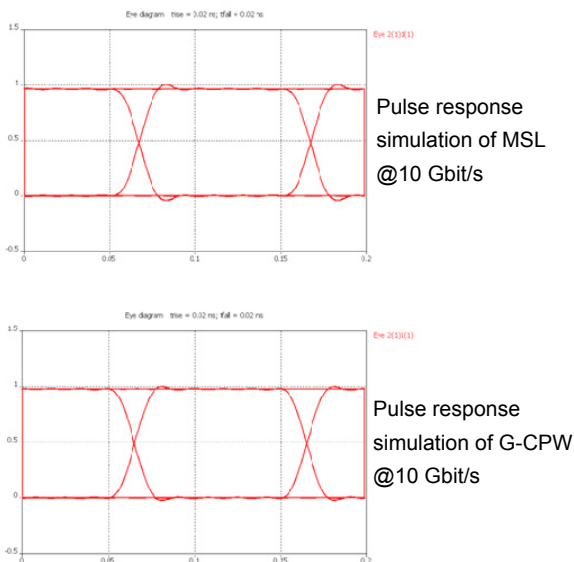


図8 MSLとG-CPWのパルス応答特性シミュレーション比較
Pulse response simulation of MSL and G-CPW

このシミュレーション結果から、クロストーク対策のみならずパルス応答特性の面でもG-CPWが本開発に適していると言える。

上記構造を採用して実現したAH34161Aの実際の出力波形を図9に示す。

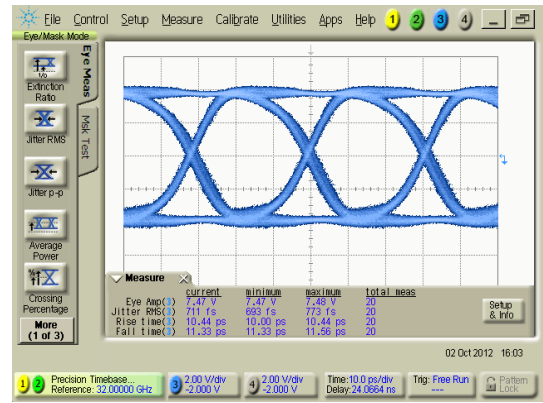


図9 AH34161A出力波形(32 Gbit/s)
Output waveform of AH34161A (32 Gbit/s)

《測定条件と結果》

- ・ビットレート : 32 Gbit/s
- ・入力振幅 : 500 mVp-p
- ・出力振幅 : 7.5 Vp-p
- ・ジッタ : 700fs rms

シンプルな構造であるため、安定的に非常に高品位な出力波形を得ることができている。

3.3 アウトガスの低減

構造物を接着剤で固定する場合は、そこから発生するガスが密閉したパッケージ内で信頼性に悪影響を与える可能性があるため、本開発では部品点数を減らし低コスト化することも踏まえて、グラウンドコプレーナ線路を採用し電波吸収体を伝送線路周辺に配置せず、に所望の特性を得た。また簡便性を高めるためにバイアスティをパッケージ内に収容したが、一般的にバイアスティ用のチョークコイルには円錐型の巻線コイルを使用することが多く、この円錐コイルを固定するためには接着剤の使用が不可欠となる。今回独自に金ワイヤの配線によりチョークコイルを形成し、円錐コイルを使用しないバイアスティを開発しそれを採用した。

これらのアウトガス対策を施したAH34161Aの内部ガス分析結果を表1に示す。この結果からハロゲン系ガスなど品質に影響を与える成分が含まれておらず、水分も十分抑えられていることがわかる。

表1 AH34161A内部ガス分析結果
Internal gas analysis of AH34161A

分析方法: MIL-STD-833 method 1018, 単位: vol%

水分	水素	ヘリウム	窒素	酸素	炭酸ガス
0.35	0.03	<0.01	99.61	<0.01	0.01

4 今後の開発

AH34161A では 1 パッケージ 4 回路の 100G デジタルコヒーレント用 LN 変調器ドライバを実現したが、さらに省スペースのドライバも求められている。トランシーバでドライバの前段に配置されるシリアライザは表面実装(SMT: Surface Mount Technology)であることが多いことから、トランシーバ内の実装スペース削減の手段として、ドライバの入力を SMT リード、出力は GPPO 互換コネクタにすることでドライバに SMT-同軸変換の機能を持たせるなどの方法も検討する。



図 10 検討される小型ドライバのイメージ
Image of studying small size driver

5 むすび

100G デジタルコヒーレント用 LN 変調器ドライバを開発した。ドライバ回路前後に必要なブロッキングキャパシタやバイアスティを備えた 4 チャンネルの回路を小型パッケージ内に收容することで、取扱い容易で省スペース形状の製品を実現した。

またパッケージ内の信号伝送にグランドコプレーナ線路を採用することで、シンプルな構造による高性能・高信頼性を達成した。

参考文献

- 1) 財団法人機械システム振興協会:
“コヒーレント光通信システムに関する調査研究報告書(要旨)”, システム技術開発調査研究 21-R-7, pp.17(2010.3)

執筆者



佐々木尚史
アンリツデバイス(株)
高速デバイス開発部
プロジェクトチーム



齋藤 誠
アンリツデバイス(株)
高速デバイス開発部
プロジェクトチーム



神園隆司
アンリツデバイス(株)
高速デバイス開発部
プロジェクトチーム



山崎晴彦
アンリツデバイス(株)
高速デバイス開発部
プロジェクトチーム