

Design Note:

HFDN-33.0

Rev. 1, 04/08

レーザードライバ MAX3656 を使用してパソロジカルパターンを含んだ
シリアルデジタルビデオを送信



Maxim Integrated Products



レーザドライバ MAX3656 を使用してパソロジカルパターンを含んだシリアルデジタルビデオを送信

1 はじめに

このデザインノートでは、SMPTE シリアルデジタルインタフェース(SDI)様式のデジタルビデオを光ファイバリンク経由で送信することが困難な理由、および MAX3656 レーザドライバを使用してこの問題を克服する方法について説明します。

初期のデジタル光ファイバ伝送システムは、大規模な電気通信ネットワークを通じてデジタルオーディオ(音声)を配信するように設計されていました。たとえば、SONET (Synchronous Optical Network: 同期光ネットワーク)は、クロックおよびデータリカバリ(CDR)を容易に行うことができるようにスクランブルを使用した光伝送の規格です。スクランブルすることでデータをランダム化し、オーバーヘッドのデータを増やすことなくレシーバが容易にクロックを回復できるようにしています。

非圧縮のデジタルビデオも、送信されるデータをランダム化できるようにスクランブルを使用しています。ただし、デジタルビデオでの問題は、カラージェネレータによって人工的にスクランブルが作成されるということ、またデジタルカラージェネレータによってノイズのないビデオが作成されるということです。特に、2 つの色が必ずしも適切にスクランブラによってランダム化されるわけでないため、DC オフセットの大きなパターン、すなわち遷移密度の低いパターンを繰り返す可能性があります。送信が困難なこれらのパターンは、「パソロジカルパターン (pathological pattern)」と呼ばれます。DC オフセットが大きなパソロジカルパターンは光ファイバのトランスミッタにとって非常に厄介です。パソロジカルパターンに関する問題を克服することが、このアプリケーションノートの焦点です。

2 パソロジカルパターン

光ファイバトランスミッタにとって最も負担の大きいパソロジカルパターンは、1 つの「ハイ」ビットの後に 19 の「ロー」ビットを繰り返すパターン(またはこの逆のパターン)です。このパターンおよびこの逆のパターンは、特定の色調のマゼンタによって作成されます。このパターンは、5%(逆のパターンでは 95%)のマーク密度をトランスミッタに渡します。これは、正常な結果を得るために必要な

50%のマーク密度からはほど遠いものです。パターンは、HDTV 信号の場合には 26 μ s、SDTV 信号の場合には 53 μ s の間、繰り返されます。これはアクティブなビデオの水平ラインの 1 本をスキャンするのに要する時間です。さらに悪いことに、水平ラインのブランキングによって、壊れたビデオのその後のライン全体にわたってパターンが繰り返される可能性があります。

スクランブル用アルゴリズムを規定する仕組みが原因となって、ANSI/SMPTE 259M、292M、294M、および 344M の規格に従ってフォーマットされたビデオは、パソロジカルパターンの影響を受ける可能性があります。これには、270Mbps (SDTV の場合)および 1.485Gbps (HDTV の場合)という 2 つの一般的なデータレートが含まれます。

3 50%以外のマーク密度に関する問題

「マーク密度」という用語は、データパターン内の 1 と 0 の比率を指します。光ファイバシステムでは、50%から大きく離れたデータパターンを長期間許容することができません。光ファイバシステムには、長期間わたって 50%以外のマーク密度のデータが続くと問題を引き起こす要素が数多くありますが、このアプリケーションノートでは、トランスミッタに焦点を当てます。

標準的なレーザドライバ回路には、自動パワー制御 (APC) ループ (APC ループの詳細については後述) が備わっており、また、場合によってデータ入力とレーザ変調器出力に AC 結合が備わっているものもあります。AC 結合と APC ループはどちらも、信号内に存在するマーク密度の著しい不均衡に対して十分に対処することはできません。

AC 結合は、レーザドライバを通過するデータのハイパスフィルタとして機能します。長期間、マーク密度が 50%から大きく外れると、データの低周波成分がこのフィルタのカットオフ周波数を下回るため、パルス幅歪み (PWD) が生じます。この理由は、連続受信可能同一ビット数 (CID) の長いストリングに反応して、あるいは 50%のマーク密度からの長期的なずれに反応してコンデンサが充電を開始するためです。充電の後、少数ビットは本

来の幅よりも広くなり、結果として PWD を生じます。これは、一種の確定的ジッタになります。

APC ループは、レーザの平均電力に対するローパスフィルタとして機能します。マーク密度の異常が長期間にわたって発生し、ループの帯域幅の範囲に入った場合、APC ループはこのマーク密度の異常に対応します。たとえば、1 つの「ハイ」ビットに 19 の「ロー」ビットが続くという前述のパソロジカルパターンが長期間発生した場合、標準 APC ループがバイアス電流を調整することでこのパターンに対応します。APC ループは平均電力が減少していることを検出し、レーザのバイアス電流を増やすことでこれを修正しようとします。

さらに悪い状況は、19 の「ハイ」ビットに 1 つの「ロー」ビットが続く逆のパターンです。この場合、APC ループはレーザのバイアス電流を減らして平均電力を維持します。このとき、時折「ロー」ビットがレーザのスレッショルド電流未満を通過するため、レーザは緩和発振やターンオン遅延を提示するようになります。これらの影響については、次のアプリケーションノートに詳述されています。

[HFAN-02.0: Interfacing Maxim Laser Drivers With Laser Diodes](#)

4 ファイバチャネルおよびギガビットイーサネットでマーク密度の問題に対処する方法

SONET は、完全な反復信号を生成することのない、ノイズのあるアナログオーディオ信号を処理できるように設計されたものです。これは、デジタルデータには当てはまりません。ファイバチャネルとギガビットイーサネットは、遷移密度が極めて低くなる、すなわち DC オフセットが大きくなる可能性のある、デジタル的に生成されたデータを処理できるように設計されました。これらの伝送規格では、8b/10b コーディングを使用してデータを調整することによって光伝送を容易に行うことができるようにしています。この符号化方法では、各 10 ビットワードについて最悪でも 40%または 60%のマーク密度が保証されます。多数の連続ビットが続く場合、マーク密度は 50%に近づきます。その代わりに、余分な帯域幅が必要になります。つまり、8b/10b の符号化によってビットレートが 25%増加します。

5 APC ループについて

MAX3273、MAX3735、MAX3850、MAX3863、および MAX3869 などの従来のマキシムレーザドライバは APC ループを備えています。この APC ループを使用することで、温度変動や経年変化が原因でレーザ特性が変化した場合に、それに応じてレーザ出力の平均電力

を制御することができます。APC ループは、以下の 3 つで構成されています。すなわちレーザダイオード、レーザダイオードに光学的に結合されたフォトダイオード(モニタダイオード)、および APC 回路です。レーザの平均電力を設定するには、APCSET ピンの抵抗を調整します。これによって、IC がモニタダイオードの電流と比較するための内部電流が生成されます。モニタダイオードの電流はレーザの光パワーに比例しており、APC 回路はこれを使用してレーザの平均電力を判断します。モニタダイオードの電流が APCSET ピンで設定した値より低い場合、APC 回路はレーザの平均出力電力を増大するためにレーザバイアス電流を増加します。レーザ出力が増加することによって、モニタダイオードに当たる光の量が増大し、モニタダイオードの電流が増加します。モニタダイオードの電流が、APCSET の抵抗によって設定された目的の電流に一致すると、APC ループの均衡条件が成立します。

6 MAX3656 の APC ループ

MAX3656 はバーストモードのレーザドライバです。この APC ループは、デジタル処理で実現されているという理由で、他のいずれのマキシムレーザドライバとも異なります。MAX3656 はデジタル APC ループの独自のアーキテクチャを使用してレーザの平均電力を制御します。このアーキテクチャはマーク密度のずれが大きなデータを処理できるように設計されているため、MAX3656 は信号を劣化させることなくパソロジカルパターンを含んだ信号を通過させることができます。

図 1 は、このアプリケーションノートで使用する MAX3656 のアプリケーション回路を示しています。バーストイネーブルピン(BEN \pm)は静的に差動の「ハイ」に維持されているため、部品は連続モード動作に設定されません。詳細については、MAX3656 データシートを参照してください。

7 パソロジカルテストパターンの生成

SMPTE は、高精細度 SDI のパソロジカルテストパターンを SMPTE RP 198-1998 で規定し、標準精細度 SDI のパソロジカルテストパターンを SMPTE RP 178-1996 で規定しています。記載されているパターンはスクランブルする前のものです。このデザインノートの開発時には利用可能なスクランブル用デバイスがなかったため、特定のデータパターンを生成して等価レベルのストレスをトランスミッタに加えました。

パソロジカルテストパターンは、パソロジカル領域が開始する、またはパソロジカル領域が終了するレーザドライバの過渡応答をテストするために設計されました。こ

のパターンは、19の「ハイ」ビットと1つの「ロー」ビットの繰り返しからなる1ビデオライン、擬似乱数符号の1ライン、1つの「ハイ」ビットと19の「ロー」ビットの繰り返し

からなる1ライン、および擬似乱数符号の別の1ライン(図2を参照)から構成されています。

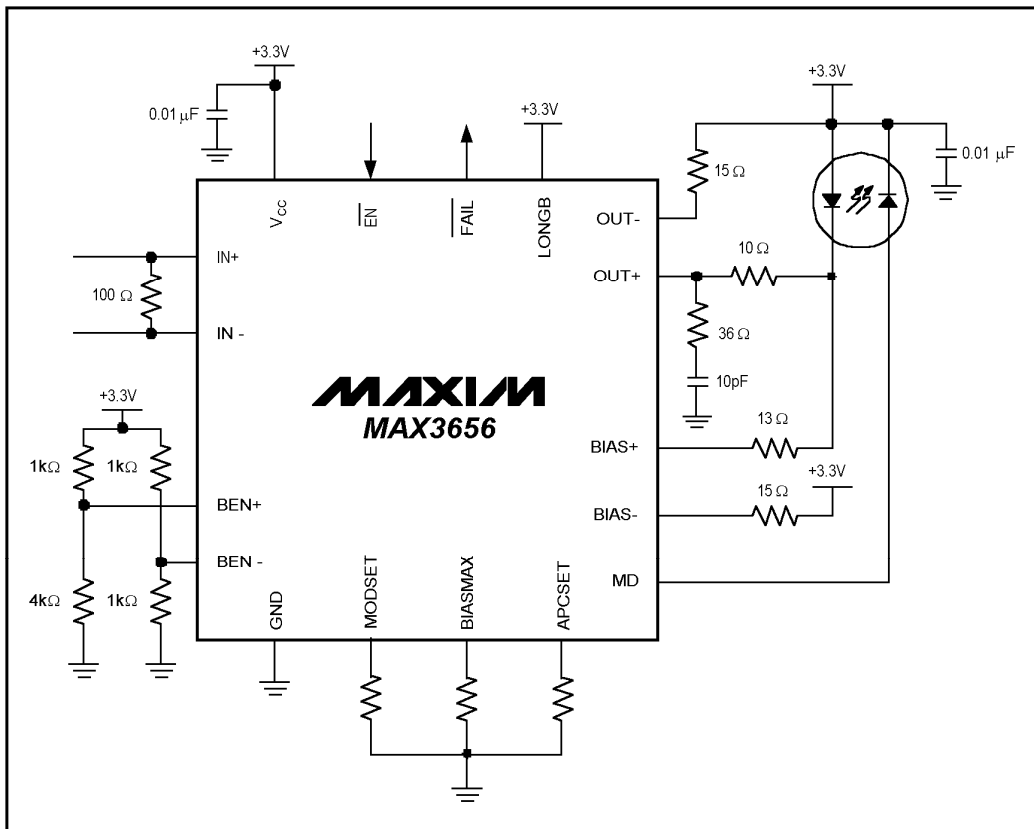


図1. MAX3656 のアプリケーション回路

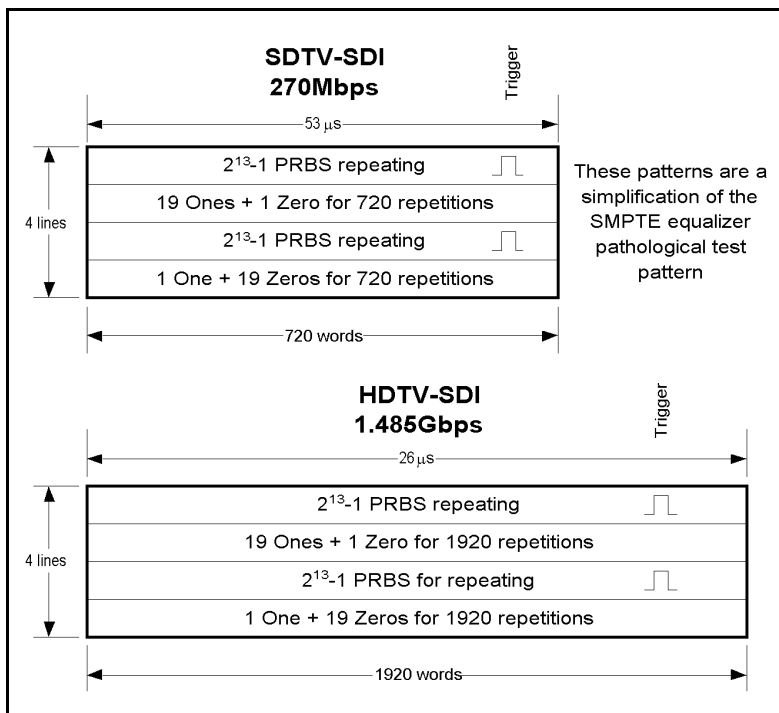


図2. テストパターン

8 標準的なレーザドライバ構成の光アイ

図3～図6は、1.485GbpsのHDTVレートで動作する標準APCループを備えたレーザドライバを示しています。APCループのカットオフ周波数は十分に低いため、 $2^{31}-1$ PRBSの極めて広帯域のスペクトルを処理することができ、否定応答がほとんどありません。否定応答はいずれも、ハイレベルとローレベルでのジッタおよび「ノイズ」として現れます。

図4では、レーザの出力レベルが良好な状態でパソロジカル領域が開始されています。パソロジカルパターンが長期間にわたって繰り返されると、高マーク密度のパターン(95%)では、APCループがバイアス電流を低減します。このためハイレベルは低下し、ローレベルはスレッシュホールドを下回ります(図5を参照)。低マーク密度パターン(5%)では、平均電力を一定の割合に維持しようとするためにバイアス電流が増大し、これによってハイレベルとローレベルは押し上げられます。

パソロジカルパターンが終了してPRBS領域に入ると、図6に見られるように、信号は、5%のマーク密度パターンでは上昇し、95%のマーク密度パターンでは下降します。これは「ベースラインワンダ」と呼ばれ、正しいデータを得るためのアイオープニングはほとんど残りません。

図6にも見られるように、パソロジカル領域の中心で、約13 μ s後に、APCループが最大限の範囲に完全に達していることに留意してください。わずか1ラインの1.485Gbpsのパソロジカルパターンを処理するために、APCループの時定数を大幅に大きくする必要があります。

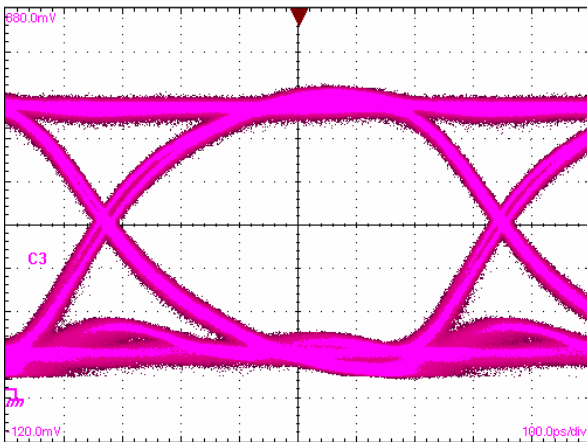


図3. 1.485Gbpsで動作する $2^{31}-1$ PRBSを用いたDC結合のレーザドライバ出力(標準APCループ)

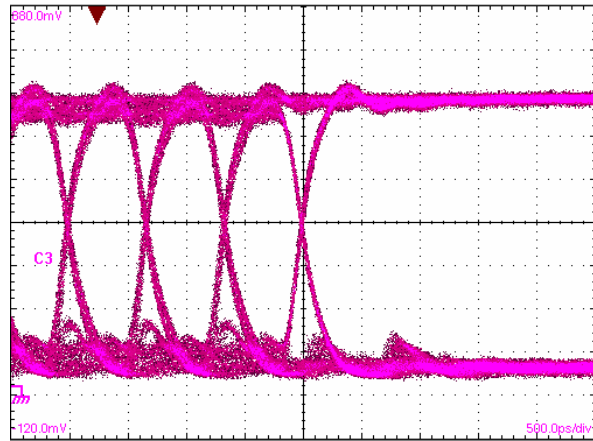


図4. HDTV-SDI テストパターンを用いたDC結合のレーザドライバ出力。パソロジカル領域の始まり(標準APCループ)

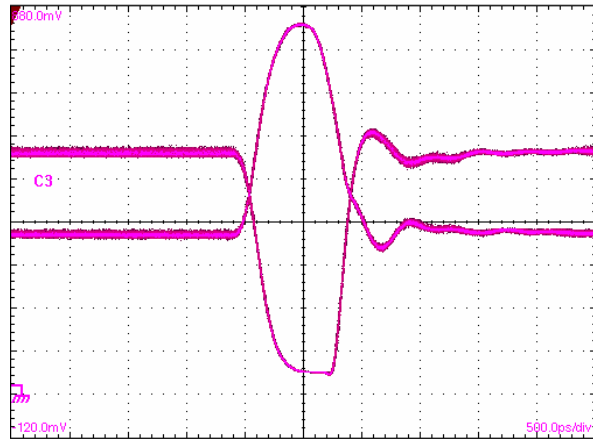


図5. HDTV-SDI テストパターンを用いたDC結合のレーザドライバ出力。パソロジカル領域の中心(標準APCループ)

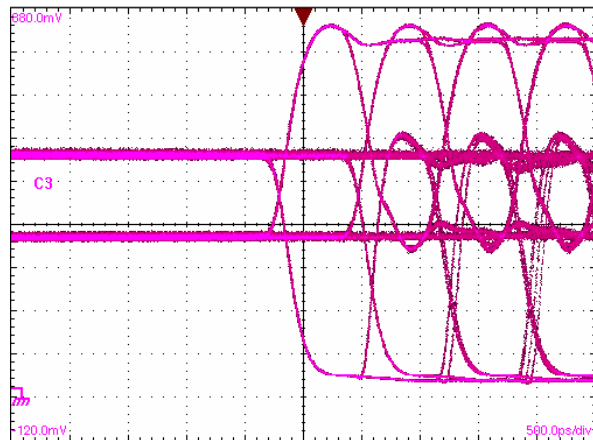


図6. HDTV-SDI テストパターンを用いたDC結合のレーザドライバ出力。パソロジカル領域の終わり(標準APCループ)

9 MAX3656 の光アイ

図 7～図 14 は、擬似乱数パターンおよび図 2 に示したテストパターンを用いて連続モード(バーストモードではない)で動作する MAX3656 を示しています。

標準レーザドライバに比べて、このレーザドライバの APC ループはデジタルであり、バイアス電流を増減してベースラインワンダを生成することによって、50% 以外のマーク密度には応答しません。ただし、このループは、マーク密度のずれを無視するというデジタル APC 回路の機能によって安定しています。

9.1 1.485Gbps の HDTV レート

標準レーザドライバと同様、ハイとローのどちらのビットでも十分なレベルで MAX3656 はパソジカル領域に入ります(図 8)。標準レーザドライバとは異なり、MAX3656 は、図 9 と図 10 に示すようにパソジカル領域の中心と終わりで十分なレベルを維持しています。

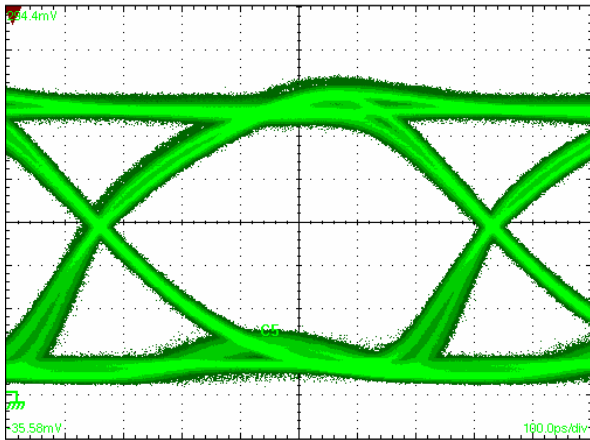


図 7. 1.485Gbps で動作する $2^{31}-1$ PRBS を用いた MAX3656 の光アイ

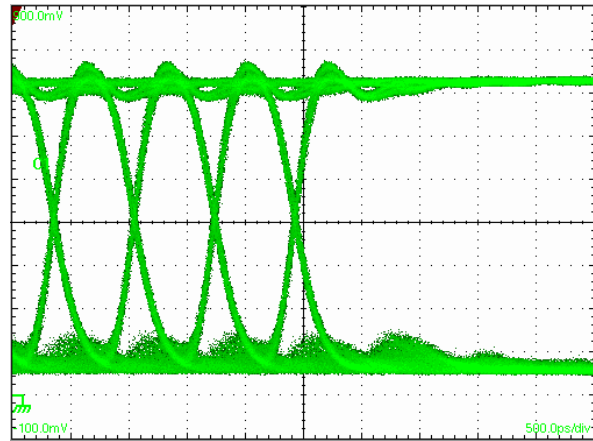


図 8. HDTV-SDI テストパターンを用いた MAX3656 の光アイ。パソジカル領域の始まり

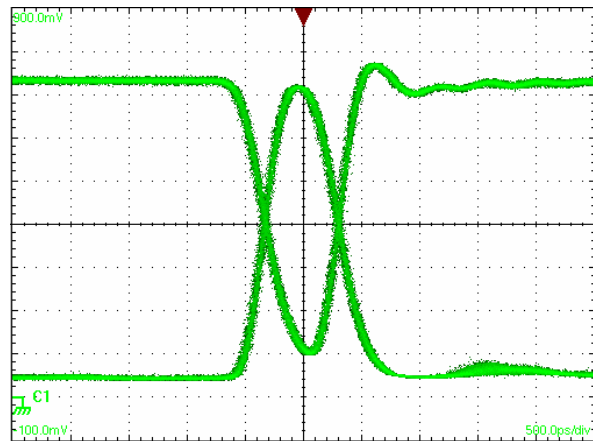


図 9. HDTV-SDI テストパターンを用いた MAX3656 の光アイ。パソジカル領域の中心

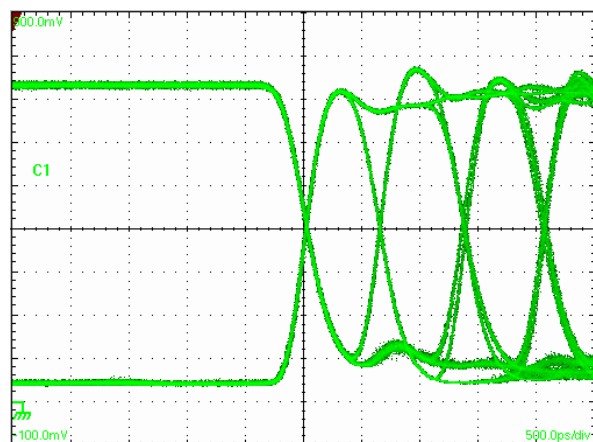


図 10. HDTV-SDI テストパターンを用いた MAX3656 の光アイ。パソジカル領域の終わり

9.2 270Mbps の SDTV レート

次の図は、図 2 に示す SDTV-SDI テストパターンを用いて動作する MAX3656 を示しています。1.485Gbps での動作と同様に、MAX3656 は 270Mbps の SDTV レートで非常に良好に動作します。

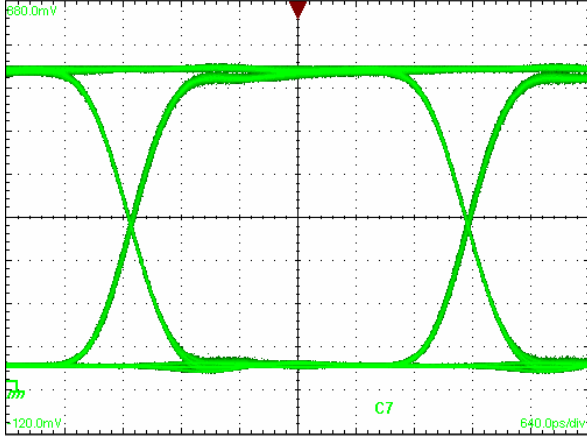


図 11. 270Mbps で $2^{31}-1$ PRBS を用いた MAX3656 の光アイ

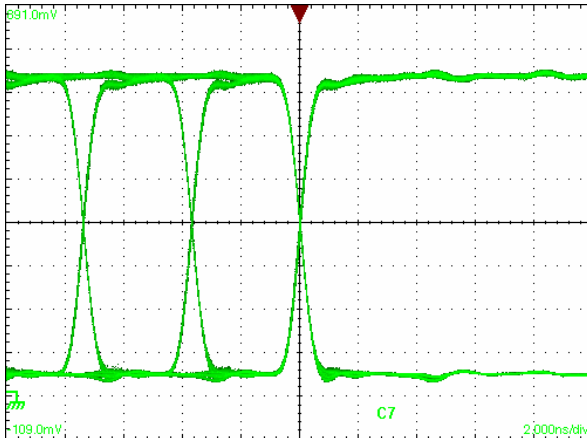


図 12. SDTV-SDI テストパターンを用いた MAX3656 の光アイ。パソジカル領域の始まり

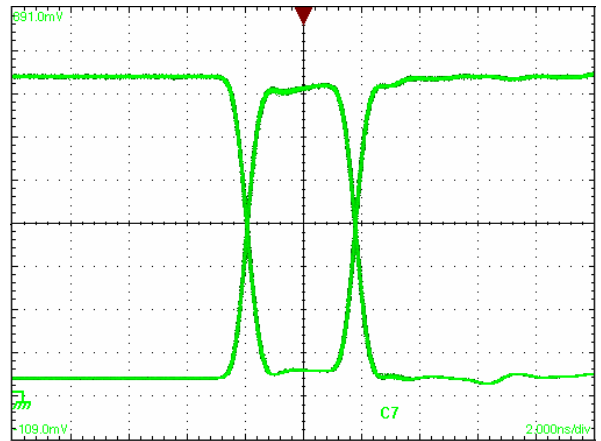


図 13. SDTV-SDI テストパターンを用いた MAX3656 の光アイ。パソジカル領域の中心

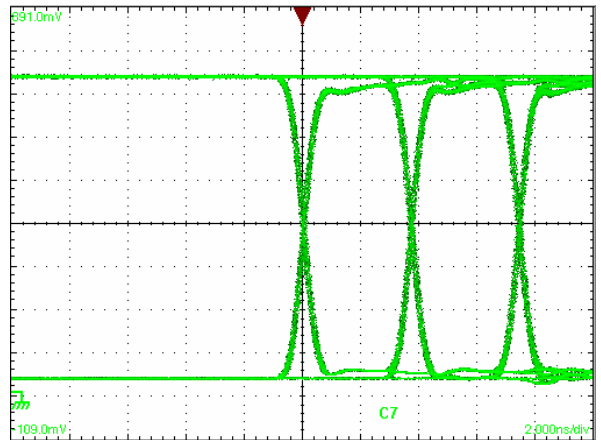


図 14. SDTV-SDI テストパターンを用いた MAX3656 の光アイ。パソジカル領域の終わり

10 結果のまとめ

図 3～図 6 は、各種パターンでの、標準 APC ループを備えたレーザドライバの動作を示しています。このレーザドライバは入力端でレーザに対して DC 結合されていますが、パソロジカルシーケンスの影響を受けると、やはりアイは大幅に劣化します。APC ループは、長期間にわたって 5%または 95%のマーク密度を処理できるだけの時定数を備えていません。APC ループの時定数はコンデンサで設定され、スクランブルデータ用の推奨値を使用していることに留意してください。

図 7～図 14 は、標準レーザドライバと同じ状況での MAX3656 の動作を示しています。パソロジカルパターンの中心と終わりで極めて明らかな改善が見られます。このレーザドライバはバーストモードに設計の焦点を当てているため、ベースラインワンダの除去を大幅に向上できるという副次効果が得られています。これは、パソロジカルパターンを含んだビデオを送信するときに非常に役立ちます。

参考資料:

Society of Motion Picture and Television Engineers 1997. [SMPTE Standard for Television – 10-Bit 4:2:2 Component and 4f_{sc} Composite Digital Signals – Serial Digital Interface](#). SMPTE 259M-1997

Society of Motion Picture and Television Engineers 1998. [SMPTE Standard for Television – Bit-Serial Digital Interface for High-Definition Television Systems](#). SMPTE 292M-1998

Society of Motion Picture and Television Engineers 2000. [SMPTE Standard for Television – 540 Mb/s Serial Digital Interface](#). SMPTE 344M-2000

Society of Motion Picture and Television Engineers 1998. [SMPTE RECOMMENDED PRACTICE – Bit-Serial Digital Checkfield for Use in High-Definition Interfaces](#). SMPTE RP 198-1998

Society of Motion Picture and Television Engineers 1996. [SMPTE RECOMMENDED PRACTICE – Serial Digital Interface Checkfield for 10-Bit 4:2:2 Component and 4f_{sc} Composite Digital Signals](#). SMPTE RP 178-1996