

Design Note:

HFDN - 42.0

Rev. 3; 06/08

低コストのマイクロコントローラでレーザドライバ MAX3643 を使用

マイクロコントローラで MAX3643 を使用

1 はじめに

小型バーストモードレーザドライバMAX3643は、図1に示すようなPON (受動光ネットワーク)アプリケーション用に設計されたものです。APON、BPON、GPON、GEPON、およびEPONなど多くのタイプのPONネットワークが開発中です。このアプリケーションノートに関する限り、これらのPONの各タイプについて詳細を知る必要はありません。ただし、これらのタイプのすべてが、ONTに必要なレーザドライバに共通した特性を共有しているということには留意する必要があります(図2)。一般的な要件を以下に示します。

1. レーザドライバICは、非常に短い期間でバイアスをかけてレーザの変調(レーザのバーストオン)を開始することができる必要があります。またレーザを迅速にオフ(バーストオフ)にすることも必要になります。上記のPONのアプリケーションの中には、わずか数ナノ秒でドライバがこれを達成することが必要となるものもあります。
2. レーザドライバICは、レーザを数百メガビット、場合によってはギガビットデータレートでさえも変調することができる必要があります。
3. レーザドライバ、およびPONネットワーク内の他のすべての部品が極めて低コストでなければなりません。ONTに対する価格設定の圧力は、大量かつ民生用であるがために特に強力になります。

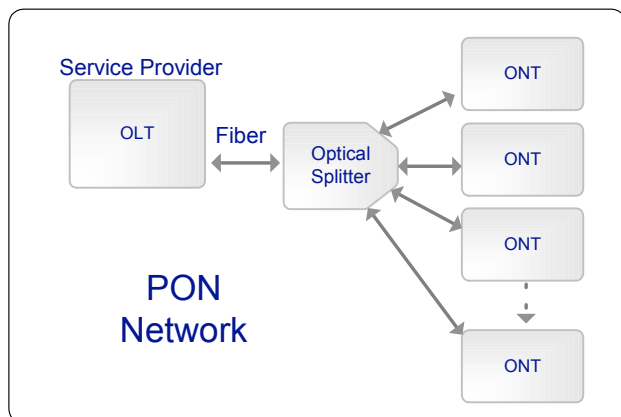


図1. PON ネットワークの簡略図

ONTに対する価格設定の圧力が強力なため、高度な統合化を行う必要があります。またトランシーバ内のすべての部品を徹底して調査する必要があります。MAX3643を使用すると、顧客によってはより低コストのシステムを実現することができる可能性があります。これは、顧客が、利用可能な既存のマイクロコントローラ(μC)の機能(物理層コントローラすなわちMAC層コントローラで利用可能)をレーザ電流の調整に使用することができるようになるからです。ドライバとコントローラの全体コストは、レーザドライバからレーザコントローラ回路を取り除くことによって(これは通常、最大限の高速パフォーマンスを達成するため、高速BiPOLARまたはBiCMOSプロセス上で行われます)、また低コストのCMOSマイクロコントローラに制御を移すことで削減することができます。

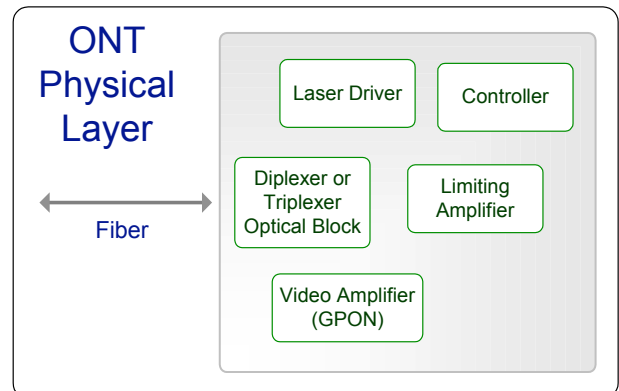


図2. ONT の標準的な物理層

このアプリケーションノートでは、低コストのマイクロコントローラ(μC)または利用可能なシステムコントローラに搭載可能なデジタルレーザ制御に共通した手法をいくつか説明します。また、例と試験データを提示してこの方法の標準的な性能についても示しています。2006年秋には、その他の詳細情報、ファームウェア、およびテストデータと併せて、ドライバ/コントローラ的全ソリューションが利用可能になる予定です。

2 共通のレーザ制御

レーザダイオードの動作点は温度に応じて変動するため、レーザに供給されるバイアス電流と変調電流は通常、温度またはモニタダイオードのいずれかのフィードバックに基づいて更新されます。MAX3643レーザドライバは、多くの変調電流とバイアス電流を供給することができます(それぞれ最大85mAと70mA)。またレーザに必要な高速バーストと変調の回路も用意されています。μCはドライバにインタフェース接続され、温度の変化に応じて、バイアス電流と、ときには変調電流を調整します。レーザのバイアス電流と変調電流の制御に共通した2つの方法は、APCループとKファクタ補償です。以下の項では、低コストのμCで利用可能なリソースを用いてこれら2つを実現する方法について説明します。μC PWM出力のMAX3643へのインタフェース接続についても説明します。

2.1 PWM出力を使用してレーザのバイアス電流と変調電流を設定

MAX3643は、コントローラのみならずさまざまな出力タイプ(電圧、電流、または抵抗)とインタフェース接続が可能のように設計されています。ノイズや起動時の問題が少ないため、

電圧または電流による忠実なDAC出力が望まれますが、ほとんどの場合、これらは高価なμCにしか搭載されていません。低コストのアプリケーションでは、パルス幅変調(PWM)の出力をMAX3643にインタフェース接続し(図3)、出力電流レベルを設定しています。PWMの出力は電圧出力に変換され、基本的にPWM信号をローパスフィルタに通すことによってDACを生成しています(図4)。

PWM出力は通常、カウンタ/タイマ、システムクロック、およびレジスタ(所望のパルス幅を保存)を使用して生成されます。カウンタは、出力を初期状態(ゼロまたは1)に設定して計算を開始します。各クロックサイクルにおいて、カウンタ/タイマの出力とパルス幅の値が比較されます。一致した場合、出力が切り替わり、カウンタ/タイマがターミナルカウントに達するまで保持されます。カウントに達すると、再び出力が切り替わり、初期状態に戻ります。

この機能は、μCの内部レジスタを使用して生み出すことができます。ただし、非常に低コストのμCであっても、ほとんどの場合、カウンタとタイマを内蔵しているため、さまざまな計数法と出力手法を利用してPWM出力信号を生成することが可能です。

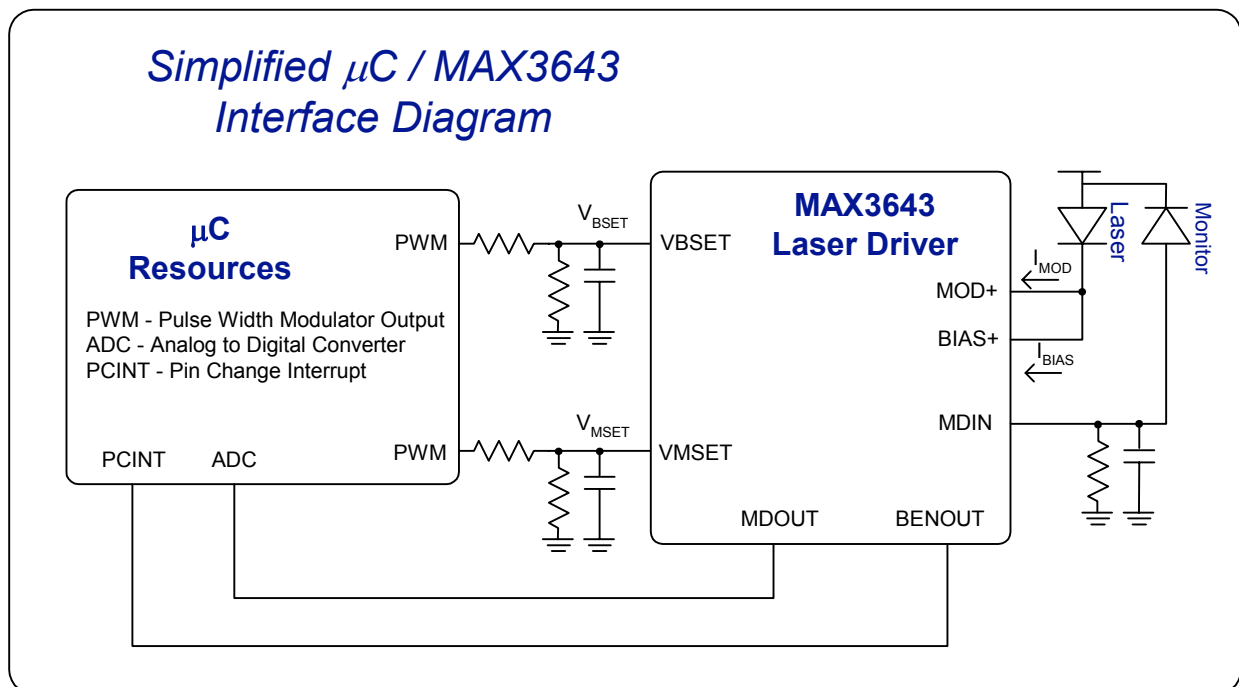


図3. μC/MAX3643のインタフェースの簡略図

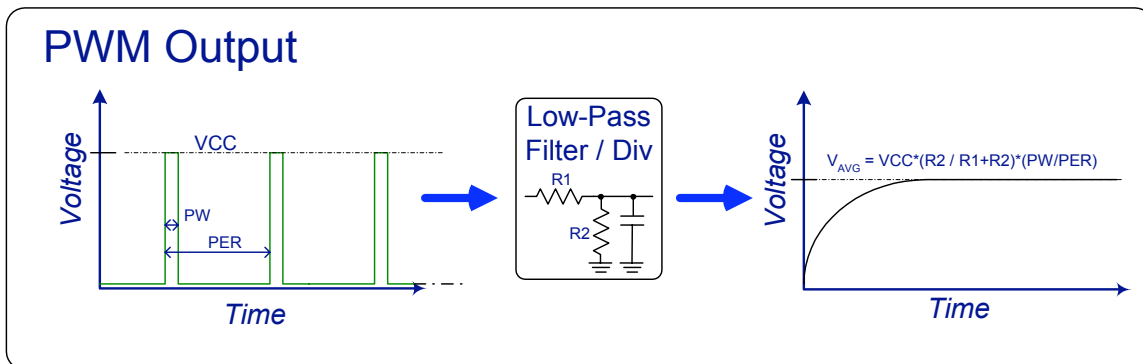


図4. DC 電圧変換に対するPWM 出力

ローパスフィルタの R 部品と C 部品の値は、デジタル PWM 出力からのリップル/ノイズが最小限になるように選択します。これらの部品を選択するための式は通常、 μC 用のデータシートに提示されています。このアプリケーションノートに関する限り、PWM 出力からのリップルを可能な限り最小限にすること、また MAX3643 にインタフェース接続したときの電圧(平均またはリップルのピーク)が 1.4V を超えないようにすることを規定するだけで十分です。リップルが多すぎると、レーザ出力のアイダイアグラムにノイズが含まれるようになり、システムのビットエラー率の性能が低下することになります。また、電圧が 1.4V を超えると、MAX3643 は不適切な動作を示すようになります。

2.2 PWM 補償

PWM出力を利用するという方法は、MAX3643を用いてレーザのバイアス電流と変調電流を調整するための簡

単なデジタル手法です。ただし通常のPWMのDAC出力は理想的ではないため、電源電圧の変化に応じて補償が必要となる場合があります。これは、閉ループを通じた制御であるため(次項で説明)、バイアス電流については問題となりませんが、VCCの変化に伴って変調電流に変動が生じる可能性があり、全体性能に大幅な影響を与える可能性があります。

一部のPWM出力は、安定したリファレンスとGNDの間をレールにすることができますが、ほとんどは単純なCMOS出力セルであるため、VCCとGNDの間がレールとなります。このようなタイプのPWM出力については、VCCの変化に伴って、ローパスフィルタの出力端における平均電圧に大きな変化が生じます。この変化を図5に示します。ここに示した例から、平均電圧はVCC = 3.0Vで0.3V、またVCC = 3.6Vで0.36Vになります。この例の変動に対して補償を行うには、パルス幅を5 μs から6 μs に変更する必要があります。

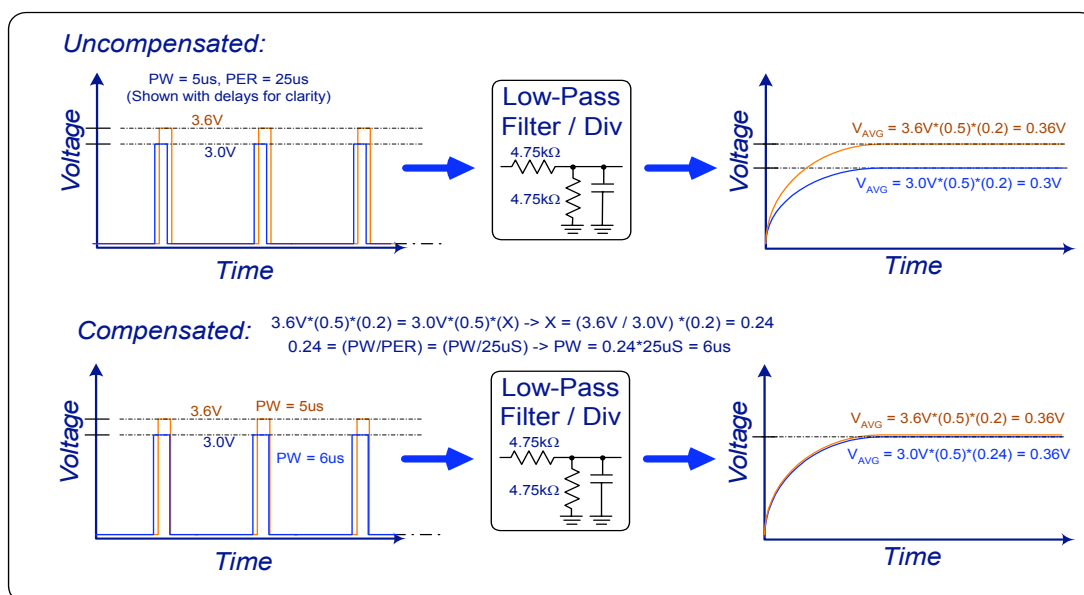


図5. 補償されていないPWMと補償されているPWM

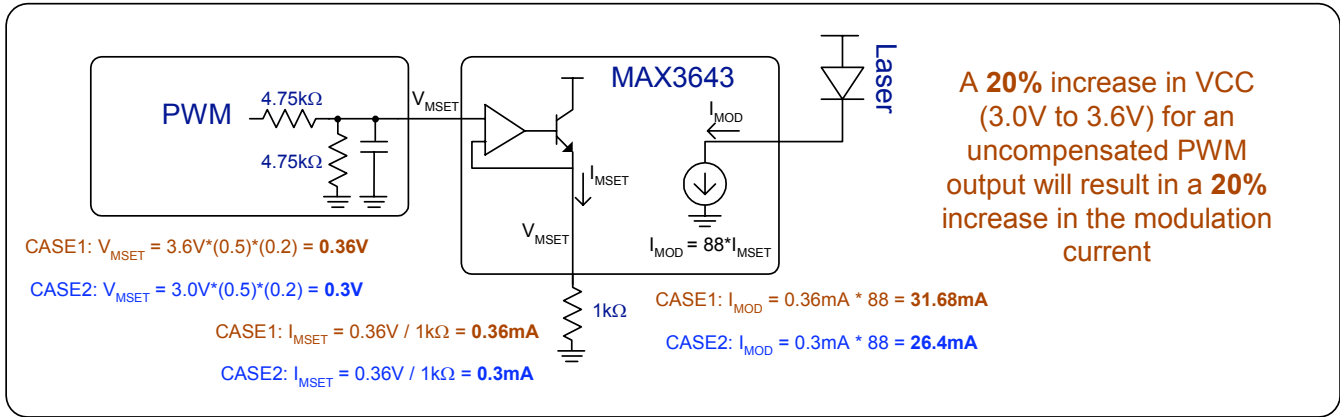


図6. VCC の変動

図6は、VCCが20%増大すると、レーザ電流が20%増大するという当然な結果を示しています。APCループによって平均電力が一定に保たれると仮定すると、消光比は3.6Vでおおよそ11dB、3.0Vで7.7dBとなります。この大きな消光比の変動は、トランシーバのアプリケーションとしては許容しがたいものとなります。変動を減少するためには、以下を実行します。1. 変動が最小限となるように電源電圧を調整する。2. 安定した(すなわち基準となる)ロジックハイの出力レベルを備えたPWM出力を使用する。または3. VCCの変化に応じてパルス幅出力を補償する。

PWMの補償は通常、低コストのμCで達成することのできる最も安価で簡単なソリューションです。簡単な方法は、VCCをモニタし、PWM出力に戻る割合に基づいて補正係数を適用するというものです。たとえば電源電圧が3.0Vで、すべてを3.6Vの値に正規化した場合、パルス幅を20% ($3.6/3.0 = 1.2$)だけ増やして平均値を一定に保ちます。この手法の汎用ブロック図と実例を図7に示します。

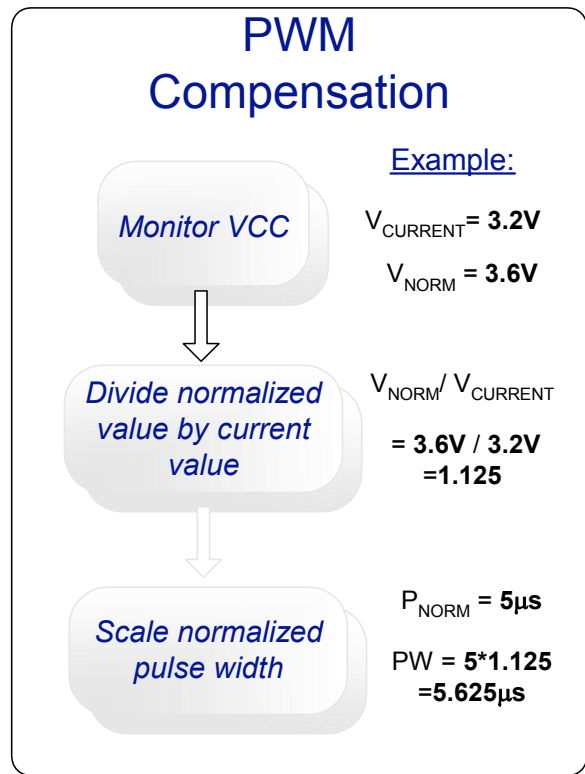


図7. PWM の補償

2.3 自動パワー制御ループ

高温におけるバイアス電流は、ほとんどの場合、公称温度における値の 2 倍以上になります。多くの場合、フィードバックループを使用して、これらの変動を補償してバイアスレベルを設定します。レーザのバイアスレベルを適正に設定すると、平均電力を温度に対して一定に保つことができます。レーザ制御で使用されるフィードバックループは、しばしば、自動パワー制御(APC)ループと呼ばれます。

APC ループは、モニタダイオード、コントローラデバイス、およびバイアス電流調整回路で構成されています(図 3)。APC ループを使用すると、必要に応じてバイアス電流を調整することによってモニタダイオードの電流を一定のレベルに維持することができます。モニタダイオード電流は基本的にレーザ出力パワーに比例するため、モニタダイオード電流を一定のレベルに保つことによって、平均光出力パワーが一定に保たれます。

PON アプリケーションの場合、APC ループの設計は少し複雑になります。レーザはわずかな時間だけオンになり、バースト時間は極めて短い期間になる可能性があります。PON アプリケーションによっては、バースト時間が 400ns より短い場合があります。MAX3643 を使えば、モニタダイオード電流のサンプルアンドホールドが可能となるため、低コストのコントローラを用いた APC ループの設計が簡単になります。モニタダイオード電流はレーザがオンの間にサンプリングされます。次に、レーザがオフになると、サンプリングされた値は、MDOUT ピンに出力されます。MAX3643 は、低コストの μC がアナログからデジタルへの変換を行うのに十分な時間だけ値を保持します。 μC は、MDOUT 上でサンプルが準備完了されたことを示す割込み(BEN)を MAX3643 から受信します。

次にコントローラは、MDOUT 端の電圧の ADC 変換、特定の平均化、および所望のモニタダイオード電流に基づいた判定を実行する必要があります(図 8)。コントローラは次に、所望のモニタダイオード電流(設定値)を実際のモニタダイオード電流に一致させるためにバイアス電流を必要に応じて調整します。このような閉ループの利点として、温度の変動に対してバイアス電流を調整することが可能で、また VCC の変化に伴ってバイアス電流の PWM 周波数も調整することができるという点があります。

モニタダイオード電流はすばやく変化し、ほとんどの場合、データパターンによって平均電力の変動を追跡します。このため、 μC で使用する平均化とフィルタリングは慎重に計算する必要があります。ループ帯域幅が速すぎると、平均電力は、データパターンの変化が原因

でドリフトを生じることになります。遅すぎると初期化の時間が限度を超えてしまいます。起動時および通常の動作時に最大限の全体応答を得るために、PID コントローラのトポロジまたはデュアル/可変ループ帯域幅システムを μC で使用することもできます。

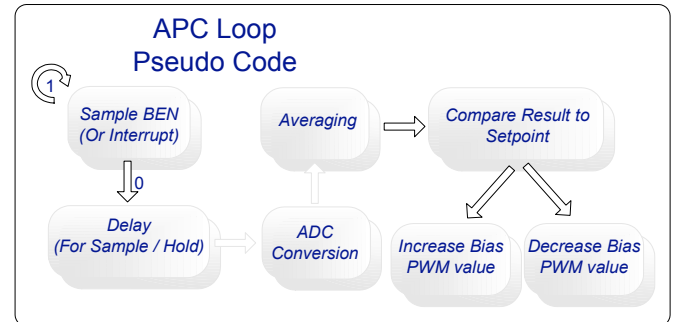


図8. GPON ONT のビデオオーバーレイのブロック図

2.4 Kファクタ補償

レーザダイオードの変調電流は、所望の消光比を維持するため、温度の変化に応じて頻繁に変更する必要があります。光学部品に過剰なコストを追加することなく、安定した消光比を維持する閉ループトポロジを実装することは困難です。モニタダイオードのトラッキングの変化およびフィードバックループの利得変化(低コストの光学部品のため)によって困難さが増し、動作上の間違いや誤差が生じます。このため、ほとんどの場合、開ループの手法を使用して温度に対するレーザダイオードの変調電流を補償しています。

単純な開ループの手法はKファクタ補償として知られています(特許出願中。出願番号10/086,162)。Kファクタ補償は、較正された定数(K: 一般的に0~3の間)を選択し、この値をバイアス電流値に乗算することによって行われます。次に、この結果を変調電流の設定値に加算します。APCループでは、温度の上昇とともにバイアス電流が増大するため、変調電流も増大することになります。倍率と加算しか関与しないため、 μC への実装は非常に簡単です。Kファクタ補償の詳細については、アプリケーションノート「HFAN 2.2.1 – Maintaining the Extinction Ratio of Optical Transmitters Using K-Factor Control」、「HFAN 2.3.1 – Maintaining Average Power and Extinction Ratio Part 1, Slope Efficiency and Threshold Current」、および「HFAN 2.3.2 – Maintaining Average Power and Extinction Ratio, Part 2, MAX3863 Laser Driver and DS1847 Digital Resistor」を参照してください。

3 実例データ

以下のデータは、レーザダイオードにインタフェース接続した MAX3643 と低コストの Atmel ATtiny13V-10MU マイクロコントローラを使用して取得したものです。テストデータは、上記で説明した手法によって得られた性能結果を示しています。送信データはすべてのテストについてバーストデータです。バーストデータのブロックは、1.25Gbps で送信される PRBS パターンデータで構成されています。

APCループの性能は、図 9で確認することができます。図 9 は、温度が-40°C~+85°Cで変動した場合の平均出力光パワーを示しています。このテストでは、平均パワーの変動は±0.5dB未満であり、レーザダイオードのトラッキング誤差の変動(±1.5dB)の範囲内です。

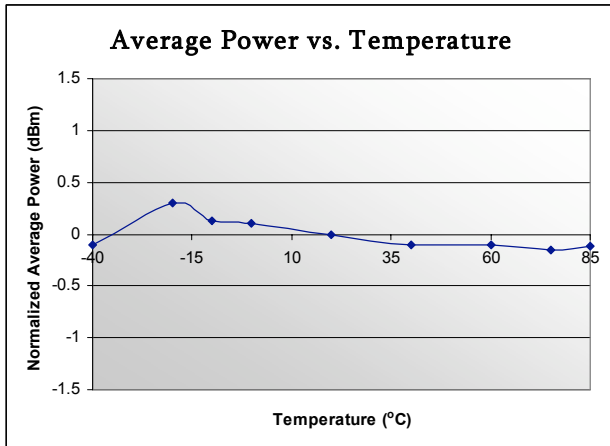


図9. APC ループ性能

K ファクタ補償の性能を図 10~図 15 に示します。図 11 では、温度が 0°C~70°Cに変化する場合の消光比を測定することによって性能を強調しています。図 10 でわかるように、消光比の変動は温度に対して 1dB 未満です。これは開ループの手法として非常に良好な性能です。拡張温度範囲(-40°C~+85°C)に対する消光比を図 11 に示します。この範囲では、特に-40°C~0°Cで、より大きな変動があります。この一因は、レーザダイオードのトラッキング誤差であり、また K ファクタ補償に使用されたキャリブレーション手法です。

この温度範囲に対して動作するモジュールを設計する場合、消光比の変動を低減するため、以下に示すようないくつかの追加の手法を検討することをお勧めします。すなわち、1. 高温におけるより大きな変動(ただし低温での変動は少ない)に対応することができるよう、キャリブレーション点を変更する(全体として変動を少なくする)。2. K ファクタの式を変更し、温度に依存する項を追加で

含める。あるいは、3. 温度センサと関連式を追加する(低温での K ファクタの値を調整)。

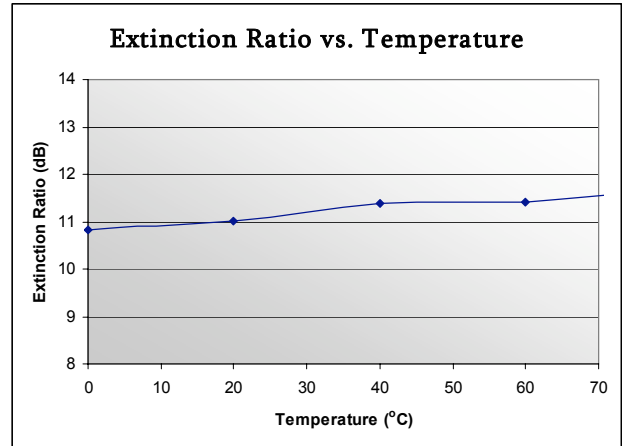


図10. 消光比(0°C~70°C)

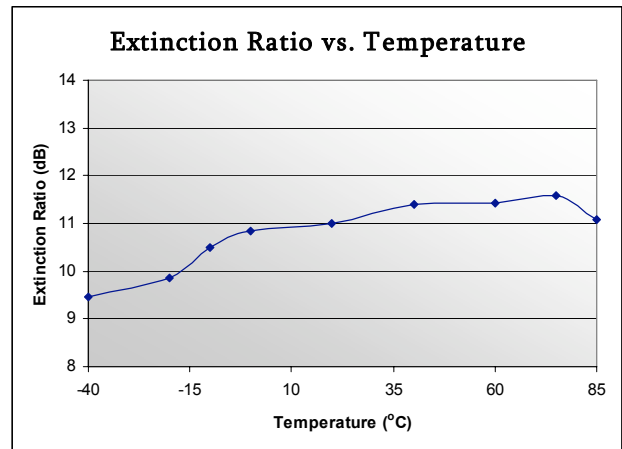


図11. 消光比(-40°C~85°C)

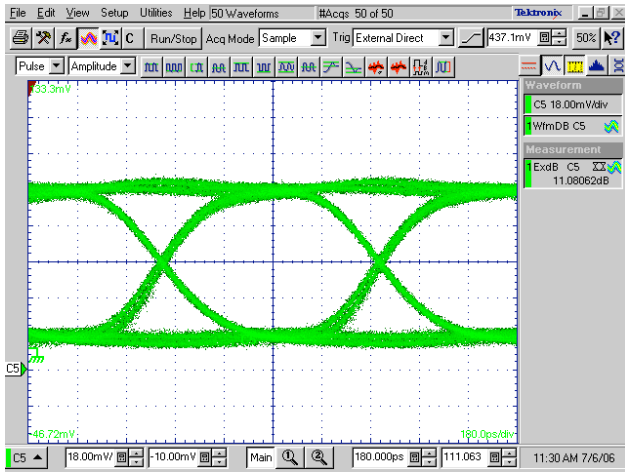


図12. アイダイアグラム(温度 = +85°C)

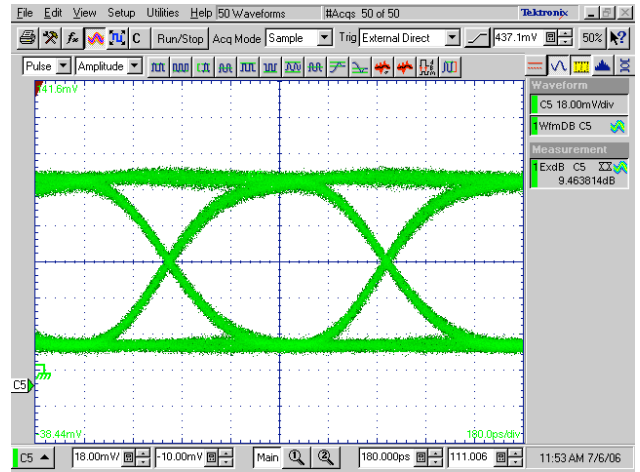


図15. アイダイアグラム(温度 = -40°C)

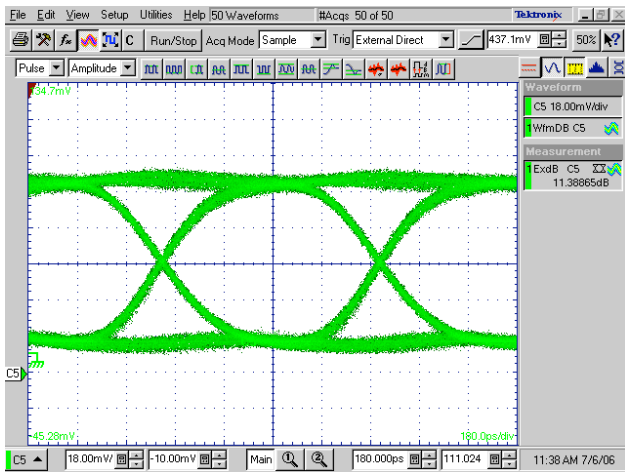


図13. アイダイアグラム(温度 = +40°C)

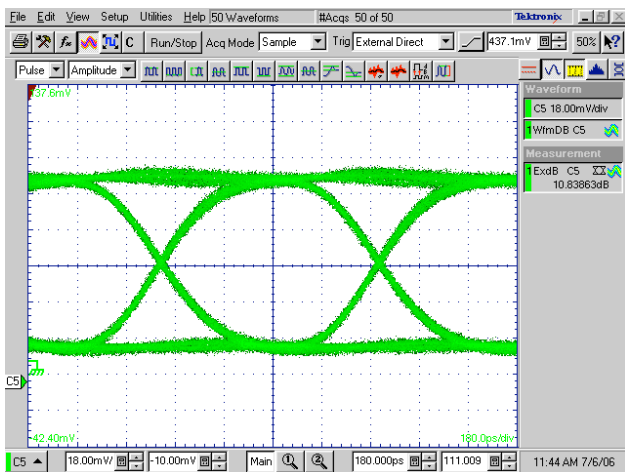


図14. アイダイアグラム(温度 = 0°C)

VCC の変動を補償するために、PWM の補償アルゴリズムも μC に実装しました。PWM 補償の性能を図 16～図 18 および表 1 に示します。これらの図および表でわかるように、VCC が 3.0V～3.6V の間で変化した場合、変動は 0.6dB 未満でした。

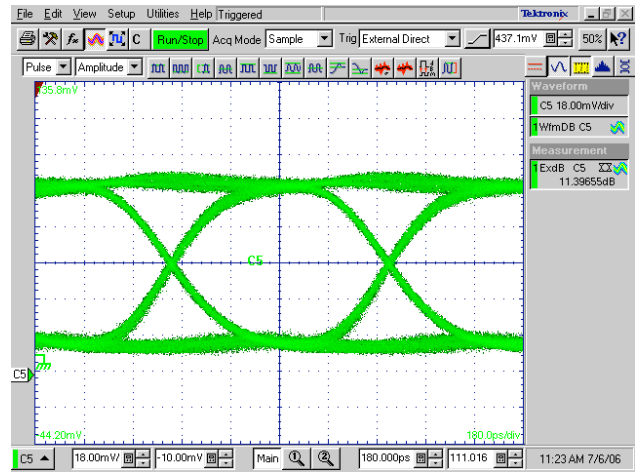


図16. 室温(VCC = 3.0V)

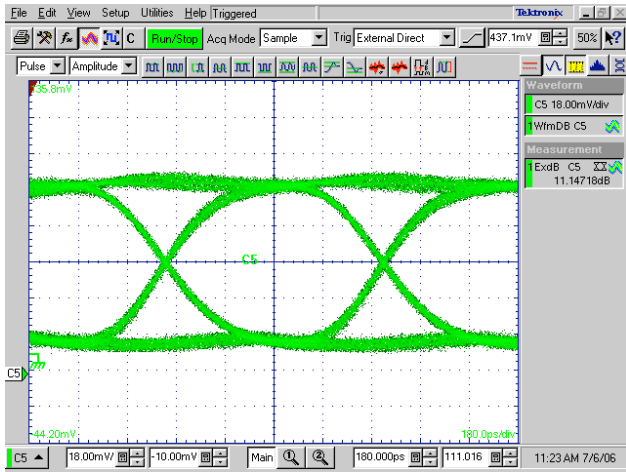


図17. 室温(VCC = 3.3V)

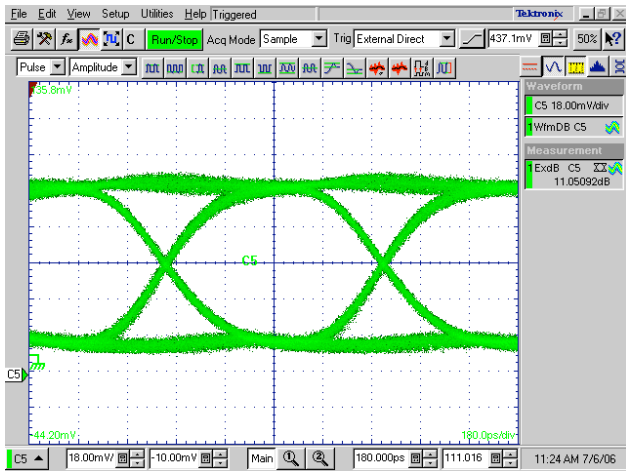


図18. 室温(VCC = 3.6V)

表 1. 「消光比」対「温度および VCC」

VCC	+85 °C	+25 °C	-40 °C
3.0V	11.56dB	11.39dB	9.42dB
3.3V	11.27dB	11.15dB	9.46dB
3.6V	11.03dB	11.05dB	9.08dB
Variation	= 0.53dB	= 0.34dB	= 0.38dB

4 結論

簡単な手法と、低コストの μC (MAX3643 にインターフェース接続) で利用可能な基本リソースを使用することで、温度の変化と VCC の変動に対して、レーザダイオードの平均パワーと消光比を十分に制御することができます。