

#22

レーザーダイオードの変調

---

---

---

---

---

---

# APPLICATION NOTE

---

# レーザーダイオードの変調

## 初めに

多くのILX製LDドライバーに備えられる外部変調機能は、非常に柔軟な回路であり、さまざまなアプリケーションに使用できます。レーザーダイオード動作にわずかなディザリングを加えた場合（小振幅アナログ変調）、小振幅アナログ変調であっても、レーザー電流にてレーザーの線幅拡大または波長掃引を制御できます。レーザー出力をオーディオ周波数以上で振幅変調する必要がある場合でも、LD駆動電流を直接変調することで簡単に実行できます。立ち上がり・立ち下がりのエッジがシャープで不連続なデジタルスタイルのパルスが必要な場合でも電流源の変調は使用可能です。このタイプの変調の許容基準は、許容できる出力のリングングのレベルを基準にしています。変調テストのパラメータと機器の仕様を慎重に検討することで、かさばるBias-Tネットワークをセットアップから削除し、シェルフに既にあるか、ラボのテストに組み込まれている可能性が高いレーザーコントローラーでの変調動作に置き換えることができるかどうかを判断できます。

電流源の帯域幅が広いほど、出力に固有のノイズが多くなるため、直接変調可能な電流源の帯域幅は通常バイアスTよりも小さくなります。この制限があっても、これらの変調可能な電流源の使用法はより柔軟です。LDドライバーに接続されているレーザーはほぼ変調可能ですが、対照的に、特定の配線構成を持つレーザーのみがバイアスTを組み込んだマウントで使用できます。外部バイアスTを使用してレーザーダイオードも変調はできますが、これらのデバイスは通常非常にかさばり、直接変調を行うレーザーよりも大きくなりにしても同じ大きさになります。

この事がLDドライバーの直接変調が好ましい2つの理由です。

## テストセットアップ

オシロスコープのトレースを提示してレーザー変調の多くの側面を説明します。これらのトレースは、ILX製LDC-3724BLDコントローラーを電流源として使用して生成されTektronix TDS 3014オシロスコープで表示されました。出力は、Agilent33120Aファンクションジェネレータで変調され、LDM-4984バタフライレーザーマウントを介してLDC-3724Bに接続されたNEL製 NLK1556STG DFBレーザーが変調の対象でした。レーザー出力は、最も広い帯域幅に設定されたThorLabs PDA400光検出器を使用してスコープで観察されました。電流源を全範囲に渡って駆動する為、JDS-Fitel製HA1光減衰器を使用しレーザー電流のすべての値で検出器の飽和を防止しました。

## 変調用の電流源の構成

外部で変調可能な各ILX電流源には、各電流出力範囲に対応する伝達関数があります。ほとんどの場合、伝達関数は入力コネクタに隣接する機器に表示されます。これらの伝達関数は、ボルト/ミリアンペア (mA / V) の単位で、特定の出力電流を生成するために必要な入力信号を指定します。たとえば、LDC-3724Bの200mAレンジの伝達関数は20mA / Vです。これは、変調入力コネクタに供給される1VDC信号が20mAの公称DC電流を生成することを意味します。この電流は、定電流セットポイントで指定された電流に追加されます。この例では、セットポイントが100mAの場合、合計出力は120mAになります。代わりに、出力が0Vを中心とする1kHzの正弦波で変調される場合、出力は120kHzの最大出力と80mAの最小出力で1kHz正弦波変調されます。

伝達関数とともに、変調回路は入力インピーダンス値によって指定されます。

このインピーダンスは、機器に応じて50～10kΩの範囲になります。

この仕様については、機器のドキュメントを参照してください。このインピーダンスは、変調電圧レベルを設定するときに重要です。

入力インピーダンスが低い場合、関数発生器の信号は通常、接続時に大幅に負荷がかかり、出力が予想と異なるものになります。

関数発生器の出力を変調入力に接続し、レーザー出力を無効にし変調レベルを設定するのが最適です。これにより、回路に適切に負荷がかかり、オーバードライブによるレーザーの損傷のリスクがなくなります。

### 高周波ロールオフと帯域幅の決定

ほとんどのILX Lightwaveのレーザーの電流源は、低帯域幅（CW）と高帯域幅出力モードを持っています。前述のように、低帯域幅モードは非常に低ノイズのCW出力用に設計されており、通常は外部変調での使用には不適切です。一方、高帯域幅モードははるかに大きな周波数応答を提供し、特に外部変調入力と組み合わせて使用するよう設計されています。

伝達関数と入力インピーダンスに加えて、ILX電流源の外部変調回路を指定する最後の情報はその帯域幅です。帯域幅は、出力に大幅な変更を加えることなくサポートできる周波数範囲であり、変調方式に依存します。変調方式は、アナログまたはデジタルのいずれかです。アナログ変調とは、単に波形の振幅が連続的に変化していることを意味します。サイン波は完璧な例です。一方、デジタル変調は、振幅の不連続な変化を意味します。方形波は、デジタル変調の代表的な例です。

ILX電流源の帯域幅は、ミッドスケール出力で50%変調に設定されたときに出力が3dB（2倍）以上変化しない周波数範囲として指定されます。つまり、CW出力がミッドスケールに設定され、変調信号がフルスケールの75%からフルスケールの50%まで出力を正弦波状に変化させるように構成されている場合、最大帯域幅は、出力のピーク変動は2倍（3dB）変化します。次の図は、3dBロールオフを示しています。

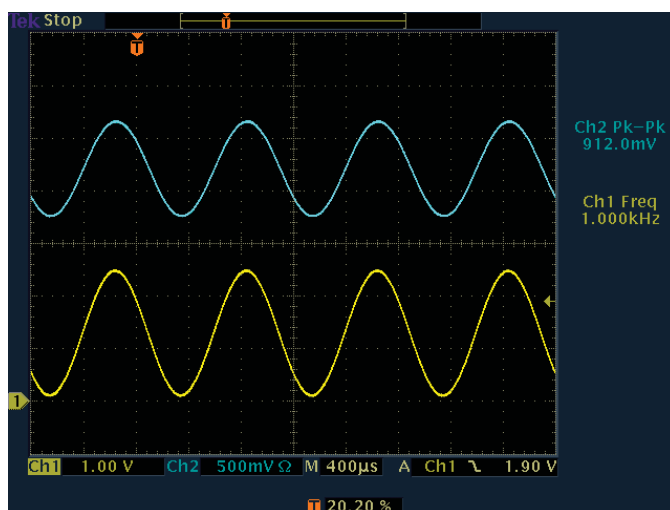


図1.低周波性能、CWモード、アナログ変調

図1のチャンネル2（青いトレース）は、1kHzで100～150mAに変調されているレーザーの光検出器出力を示しています。チャンネル1は入力変調信号です。LDC-3724Bは、低帯域幅（CW）モードで動作し、100mAのCWセットポイントで200mAの範囲です。

図2は、レーザーのP-P出力が2分の1 (912mVから460mV) 減少していることを示しています。図からわかるように、この特定のレーザーコントローラーのCWモード帯域幅は31kHzです。公開されている仕様は15kHzです。

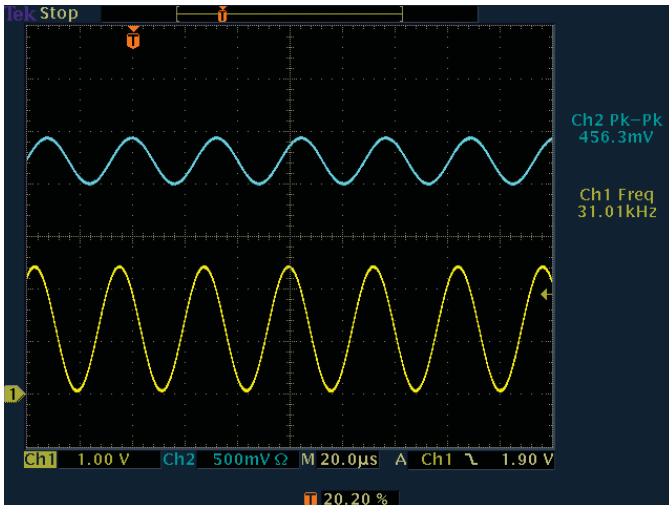


図2.高周波性能、CWモード、アナログ変調。

図3は、変調入力が高帯域幅モードで方形波に変更されたときに何が起るかを示しています。レーザー出力は、CWモードでのノイズフィルタリングにより大きく歪んでいます。フィルタリングにより、方形波に必要な高周波成分が除去され、丸い鋸歯形状になります。

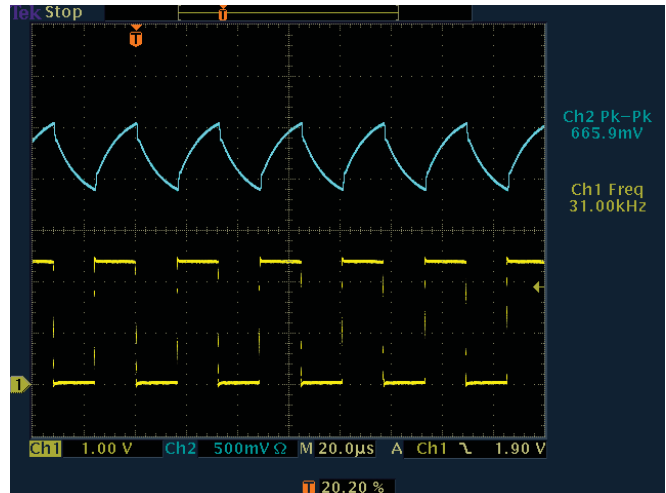


図3.高周波性能、CWモード、デジタル変調

方形波による変調（デジタル変調）の帯域幅が、出力がクリップされることなく最大および最小出力設定に到達できる最大周波数と定義されている場合、帯域幅を減らす必要があります。図4の例が示すように、チャンネル2の青いトレースは、最大周波数10kHzで最大出力（白い基準トレース）に達します。

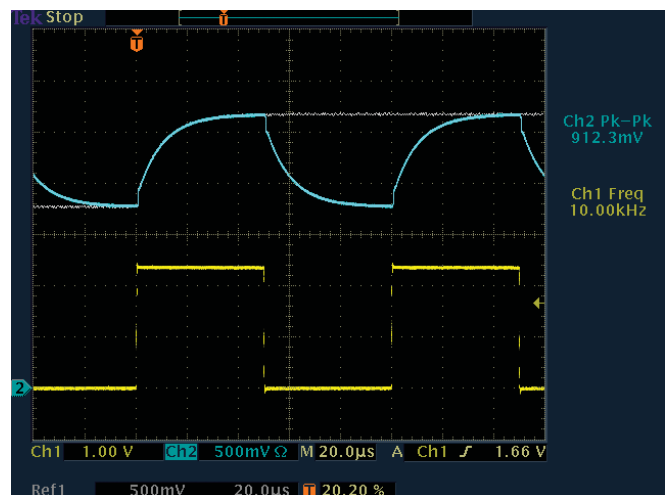


図4.高周波性能、CWモード、デジタル変調



図5は、LDC-3724Bが高帯域幅モードで動作し、100mAセットポイントが200mAの範囲にあるときの3dBロールオフポイントを示しています。IHBWモードの帯域幅は1MHzに指定されていますが、図5に示すように、コントローラのロールオフは約2.7MHzで発生します。より高い周波数では、変調入力と光出力の間におよその $\pi$ 位相シフトがあることに注意してください。

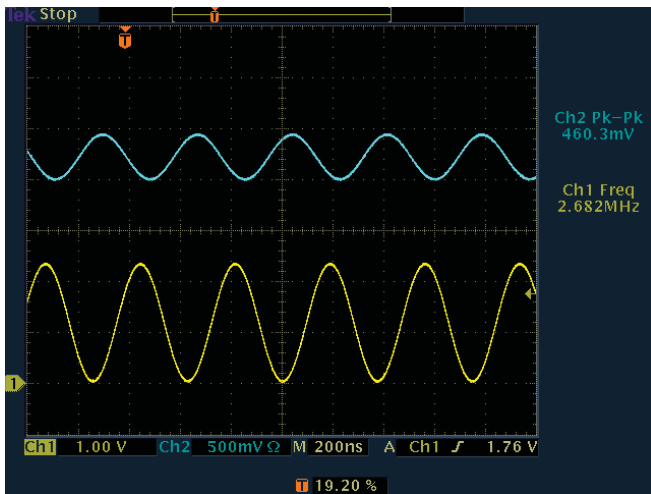


Figure 5. High Frequency Response, High Bandwidth Mode, Analog Modulation

図6に示すように変調周波数応答をプロットすると、約1.9MHzで共振が発生することがわかります。これが位相シフトが発生する理由です。周波数が共振を超えて増加すると、予想通りに変調が低下します。

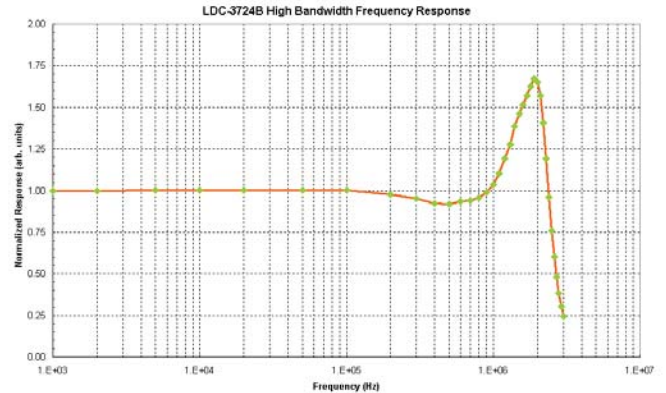


図6. 周波数応答、高帯域幅モード、アナログ変調

図7は、高周波で変調形式をアナログからデジタルに変更しても、光出力に目立った違いがないことを示しています。これは、入力がかかなりのマージンでデジタル帯域幅を超えたためです。

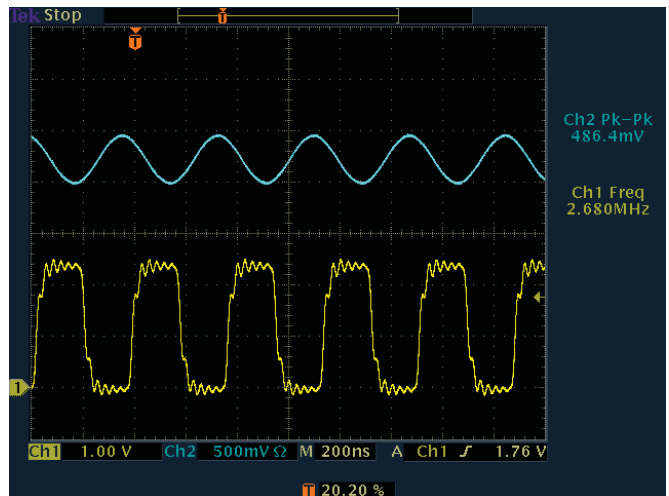


図7. 高周波応答、高帯域幅モード、オーバードライブデジタル変調

変調周波数を1桁減らすと、実際の回路の動作がわかります。これを図8に示します。この場合、IHBWモードでも変調周波数は200kHzを超えることはできません。これは、方形波を構築するのに非常に多くの周波数成分が必要なためです。

方形波入力では、高周波で変調するときリリングが電流制限設定値を超えることに注意してください。図8に示すチャンネル2の水平カーソルは、150mAおよび155mAのレーザー出力に対応しています。この例では、電流制限は155mAに設定されています。

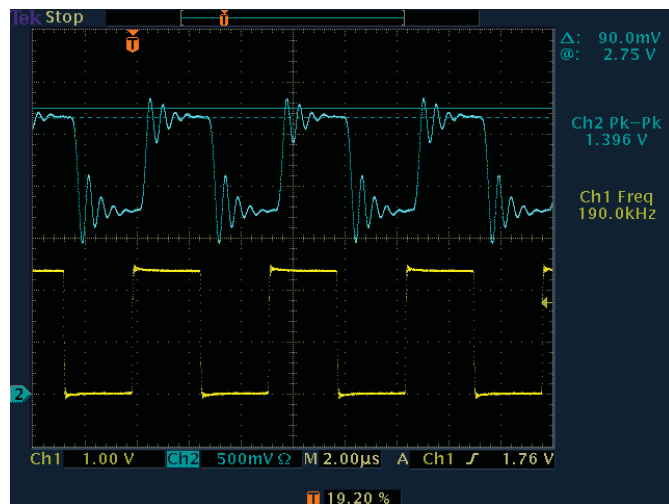


図8. 高周波応答、高帯域幅モード、帯域幅制限デジタル変調

### パルス動作

適切なパルスまたは関数発生器を使用すると、外部変調機能を備えたILX光波電流源の大部分は、限られた容量でパルス電流源として動作できます。

このタイプの動作では、変調信号は、0Vとテストまたはレーザー電流制限で指定された最大値の間で発振するように構成されています。

変調信号のデューティサイクルを変更することにより、パルスの特性に近い出力電流を生成できます。

他の高周波デジタル変調の例で示したように、到達可能な最高周波数（最大帯域幅）は、パルス形状に対するテストの許容範囲によって決まります。角が非常に正方形のパルスが必要な場合は、低い周波数と小さい振幅の出力のみが許容されます。

結果として得られるパルス形状により多くの余裕を与えることができれば、より高い帯域幅とより高い振幅のパルスを実現できます。

図9は、変調入力を設定して、デューティサイクルが50%の「パルス」を生成した結果を示しています。

リリングは落ち着き始めています。周波数を上げるか、パルス幅を減らすと、ピークでパルスがより強く変調されます。出力の谷に見られる小さなパルスは、電流が遮断されたときに発生するリリングによるものです。コントローラに組み込まれたレーザー保護回路は、電流の逆転とレーザーの損傷を防ぎます。

ただし、正のサイクルが発生すると、コントローラ回路は小さなパルスの出力を防ぐことができません。

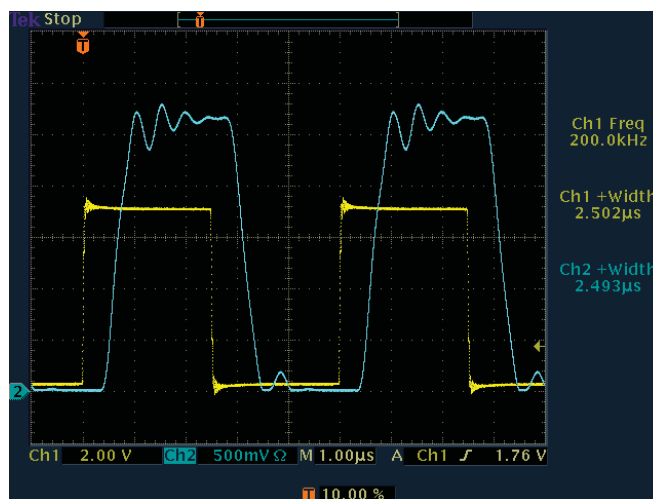


図9. 高周波応答、高帯域幅モード、QCWパルス変調

コントローラは、逆バイアス保護回路を利用することで、よりクリーンなパルスを出力するように「トリック」することができます。これは、変調振幅を大きくし、オフセットを小さくして変調電圧を負に駆動することで実現されます。電圧が負になると、レーザーを保護するために出力がゼロにクランプされます。電圧が十分にマイナスに駆動されると、谷はゼロのままになります。

図10に、この構成の例を示します。出力は200kHzで2.3 $\mu$ s幅の一連のパルスです。青い水平カーソルで示される駆動電流は150mAです。

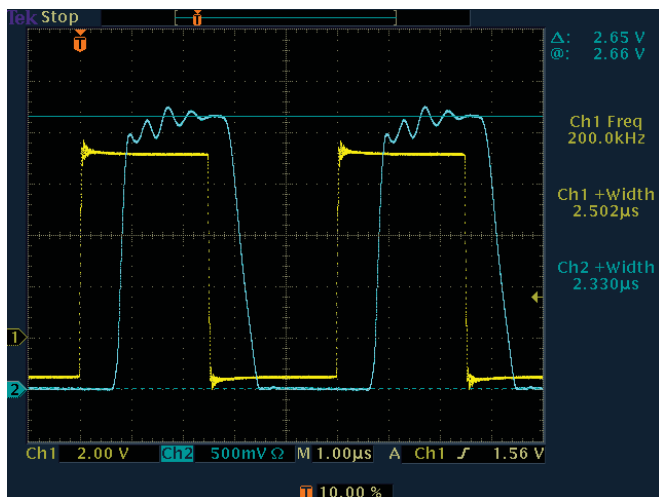


Figure 10. High Frequency Response, High Bandwidth Mode, Pulsed Modulation with 50% Duty Cycle

## 結論

ILXレーザーダイオード電流源の大部分は、外部変調が可能です。この外部変調信号は、回路の3つのパラメーター（伝達関数、入力インピーダンス、変調帯域幅）の範囲内にある限り、どのような形式でもかまいません。これらの各パラメーターは、入力信号に対する出力の応答方法に影響します。CWセットポイント、変調信号レベル、および周波数を慎重に選択することにより、レーザー光源の線幅拡大や精密な波長制御などのタスクを実行できます。これらのタスクは通常、総駆動電流のわずかな割合（=ディザ変調）の変調を必要とし、小信号変調として知られるタイプを構成します。

総駆動設定値の100%まで出力を駆動するように構成されたより大きな振幅の信号は、いわゆる大信号変調に使用できます。このタイプの変調は、連続的に変化する信号を使用して単純な振幅変調を実行する場合と、デジタルタイプの信号に対して不連続になる場合があります。デジタルタイプ（方形）の波形で電流源を変調しようとするとき、ソースの変調帯域幅を認識することは非常に重要です。鋭い立ち上がりエッジと立ち下がりエッジを持つ波形には、入力波形の真の表現を作成するために、現在のソースによって複製される必要がある非常に多くの周波数成分があります。このため、使用可能な帯域幅は、ソースがアナログ信号（単一周波数または非常に限られた数の周波数）で変調されている場合よりも低くなります。使用可能な帯域幅がどれだけ低くなるかは、アプリケーションによって異なります。

リングングは高周波数で非常に顕著であり、一部のアプリケーションでは許容されますが、テストで出力が一定時間最大値に落ち着く必要がある場合、変調周波数を1桁以上低下させる必要があります。

外部変調回路は、理解されると非常に用途の広い機能になります。このアプリケーションノートでは、いくつかの構成、それらを正常に使用方法、および使用すべきでない場合について説明します。



日本代理店  
株式会社 日本レーザー Newport機器部  
Tel: 03-5285-0853  
E-mail: Newport\_gr@japanlaser.co.jp  
<https://www.newport-japan.jp/>



**株式会社日本レーザー**

---

For application assistance or additional information on our products or services you can contact us at:

**ILX Lightwave Corporation**

31950 Frontage Road, Bozeman, MT 59715  
Phone: 406-556-2481 • 800-459-9459 • Fax: 406-586-9405  
Email: [sales@ilxlightwave.com](mailto:sales@ilxlightwave.com)

To obtain contact information for our international distributors and product repair centers or for fast access to product information, technical support, LabVIEW® drivers, and our comprehensive library of technical and application information, visit our website at:

**[www.ilxlightwave.com](http://www.ilxlightwave.com)**

