

Application Note:

**HFAN-2.5.0**

Rev. 5; 10/08

---

---

## シングルエンド方式と差動方式によるレーザダイオードの駆動

---

---

# シングルエンド方式と差動方式によるレーザダイオードの駆動

## 1 はじめに

最適化された光トランスミッタを設計するには、ドライバをレーザダイオードに接続するための適切なインターフェース回路が必須となります。一般的に、レーザダイオードのシングルエンド駆動は、部品と基板のスペースが少なくすむため、簡単で利用しやすいソリューションです。欠点としては、出力エッジ速度が比較的遅く、トランシーバの電源にノイズが加わるため、結果的にレシーバの感度に影響するということがあります。近年の業界実績によれば、差動駆動ベースの光トランスミッタによって、シングルエンド駆動に伴う問題点を克服することができるということがわかっています。このアプリケーションノートは、差動駆動がどのようにしてシングルエンド駆動よりも速いエッジ速度を実現するかについて明らかにすることを目的としています。

## 2 シングルエンド駆動と差動駆動の回路構成

シングルエンド駆動では、レーザ変調電流がレーザアノード(コモンカソードレーザ)またはレーザカソード(コモンアノードレーザ)に流れます。図 1 は、コモンアノードレーザを駆動する場合の簡略回路図です。変調電流がダンピング抵抗( $R_D$ )を通過してレーザのカソードに供給されます。レーザのアノードは電源にじかに接続され、レーザバイアスはフェライトビーズで絶縁されたドライババイアス出力から与えられます。DC および AC 負荷を平衡化するために、ドライバの相補出力は、フェライトビーズと抵抗(レーザ負荷とダンピング抵抗の相当値に一致)からなる並列ネットワークによって  $V_{CC}$  にプルアップされます。RC シャントネットワーク( $R_F$  と  $C_F$ )によって高周波を減衰させています。ドライバ出力における容量  $C_P$  ( $C_{P1}$  と  $C_{P2}$ )は、出力トランジスタの等価容量、パッケージ、および基板レイアウトの寄生容量を結合した容量を表しています。

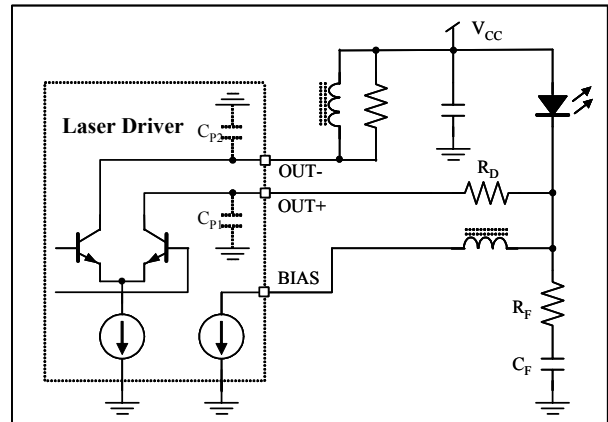


図1. シングルエンド方式によるレーザダイオードの駆動

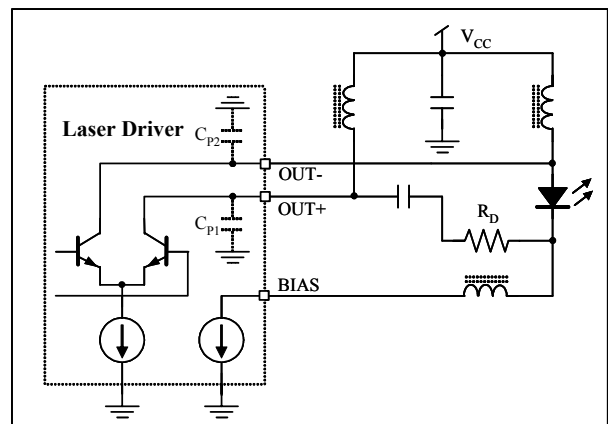


図2. 差動方式によるレーザダイオード駆動

図 2 は差動駆動の例を示しています。レーザのカソードはダンピング抵抗( $R_D$ )を経由し、ドライバ出力に AC 結合されています。ドライバ出力は、フェライトビーズを通過して  $V_{CC}$  にプルアップされ、出力トランジスタに DC バイアスを与えます。ドライバの相補出力とレーザダイオードのアノードの共有ノードは、フェライトビーズを経由して  $V_{CC}$  に接続されており、 $V_{CC}$  からの高周波を絶縁しています。レーザバイアスは、シングルエンド駆動の構成と同様の方法で与えられています。同じレーザダイオードとドライバを使用した場合、2.5Gbps の差動駆動方式の光トランスミッタの方が、シングルエンド駆動よりもエッジ速度が 20ps 速くなることを示しています[1]。

### 3 シングルエンド駆動の充電と放電

図 1 のシングルエンド駆動の回路を再構成したものを図 3 に示しています。簡単にするため、以下の説明では、 $R_F$  と  $C_F$  補償ネットワークについては省略します。レーザのターンオン期間に、出力トランジスタ T1 がシンク電流を供給し、ダンピング抵抗  $R_D$  を介してレーザを変調し、また寄生コンデンサ  $C_{P1}$  を充電します。 $C_{P1}$  の充電が完了した後に、ようやく全変調電流がレーザの方に切り替わられます。このコンデンサを充電する過渡電流が主に立上りエッジの速度を妨げる原因です。

レーザがオフにされると、T1 はシンク電流を停止し、レーザダイオードとダンピング抵抗で構成される一連のネットワークを介して寄生コンデンサ  $C_{P1}$  が放電されます。この過渡電流によってレーザオフの遷移が遅くなり、その結果、光出力の立下りが遅くなります。充電と放電のループ時定数  $\tau_{SE}$  は、以下の式で概算されます。

$$\tau_{SE} \approx (R_D + R_L) \cdot C_P$$

ここで、 $R_L$  はレーザの等価抵抗です。レーザの直列インダクタンスの寄与については、この解析には含まれていません。

直列抵抗  $R_D$  は、レーザとアセンブリのインダクタンスによって生じるオーバシュートやリングングを減衰させるために必要です。このため、ドライバ出力ノードにおける等価容量を減少させることが、高速な光エッジ速度を達成するための重要なポイントとなります。図 4 はステップ応答のシミュレーション結果を表しています。レーザダイオードは、1pF コンデンサと並列な 5Ω 抵抗としてモデル化しています。ダンピング抵抗  $R_D$  は 10Ω が選択されています。このテストに使用されているトランジスタ(T1 と T2)のエッジ速度(20%~80%)は約 25ps です。シミュレートしたレーザダイオード出力のエッジ速度を表 1 に示します。立下りエッジが立上りエッジよりも遅くなっています。

表 1. シングルエンド駆動のエッジ速度(単位: ps)と出力容量

| $C_P$ ( $C_{P1}$ & $C_{P2}$ ) | 1pF   | 2pF   | 3pF     |
|-------------------------------|-------|-------|---------|
| $t_r/t_f$ (20%-80%)           | 41/46 | 53/59 | 71/78   |
| $t_r/t_f$ (10%-90%)           | 60/72 | 83/97 | 118/125 |

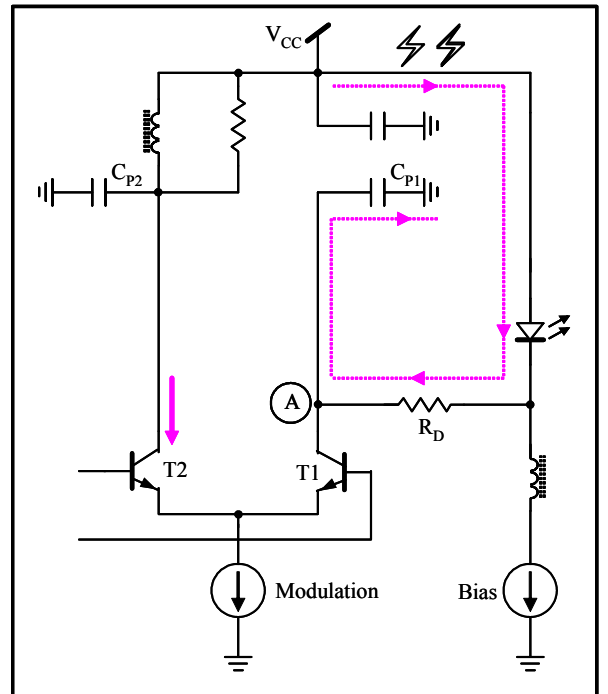
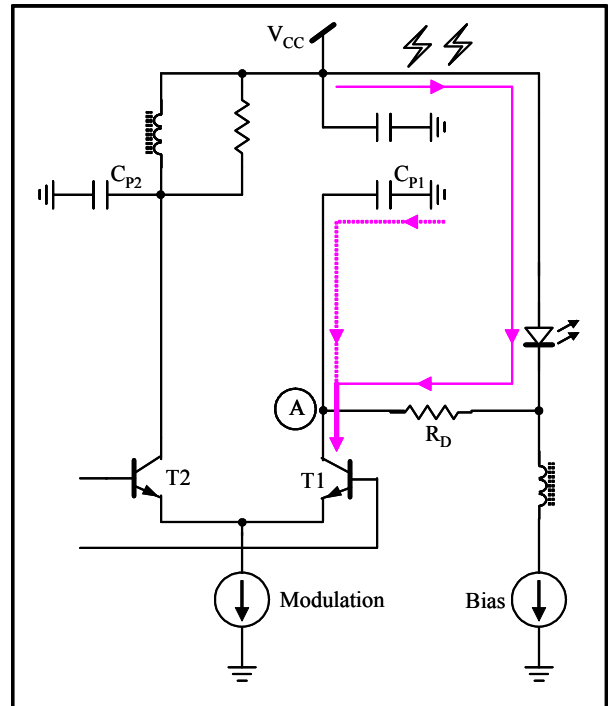


図3. シングルエンド駆動回路の充電ループ(上図)と放電ループ(下図) (点線は、コンデンサが充電/放電する場合の過渡電流を表します)

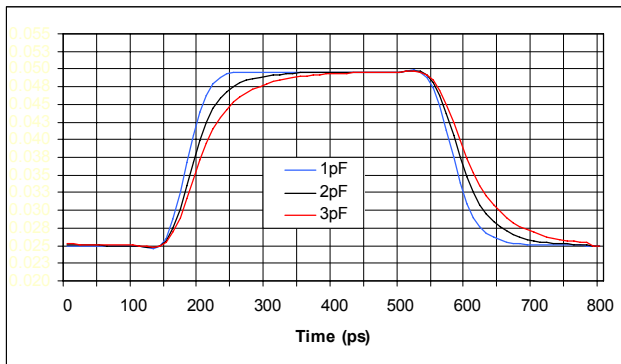


図4. シングルエンド駆動のステップ応答シミュレーション

もう1つの欠点は、シングルエンド駆動では、 $V_{CC}$  プレーンに大量の過渡電流が流れてしまうということです。レーザが電源からのノイズを拾い、光レーザの感度に影響を与えてしまうことにならないよう、トランシーバのレイアウトと電源デカップリングを綿密に設計する必要があります。

#### 4 差動駆動の充電と放電

図5は、レーザダイオードを差動で駆動した場合の電流の流れを示しています。レーザがオンになると、出力トランジスタ T1 がシンク電流を供給して、T1 のコレクタでの寄生容量  $C_{P1}$  を充電し、ダンピング抵抗  $R_D$  と AC 結合コンデンサを介してレーザを変調します。フェライトビーズが電流の流れを一定にするため、 $i_{CP1} = i_{CP2}$  となります。レーザオフの期間にドライバの電流が相補側に切り替えられると、充電と放電のプロセスが同じループで逆になります。

差動駆動でシングルエンド駆動と同じレーザ変調電流を達成するには、レーザダイオードとダンピング抵抗に対する電圧スイングの振幅を同じ値に保つことが必要です。つまり、シングルエンド駆動のノード A ( $\Delta V_A$ ) における電圧スイングが差動駆動での ( $V_A - V_B$ ) に等しくなるということです。したがって、差動駆動の寄生容量  $C_{P1}$  と  $C_{P2}$  に対する電圧スイングは、シングルエンド駆動の電圧スイングのわずか半分になります。全体的な効果として、差動駆動では信号の伝達が速くなります。レーザオンとレーザオフの時定数  $T_{DF}$  は、以下の式で概算されます。

$$\tau_{DF} \approx (R_D + R_L) \cdot \frac{C_{P2}}{1 + C_{P2}/C_{P1}} = \frac{1}{2} (R_D + R_L) \cdot C_P$$

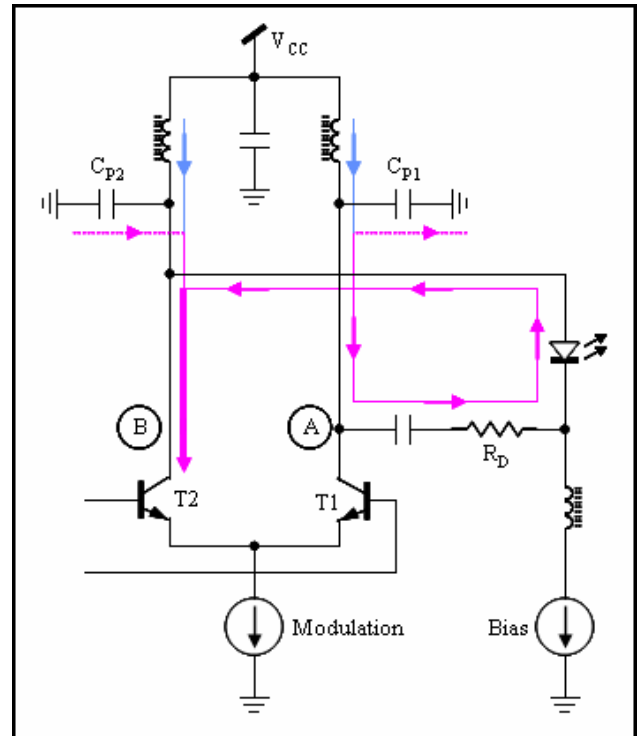
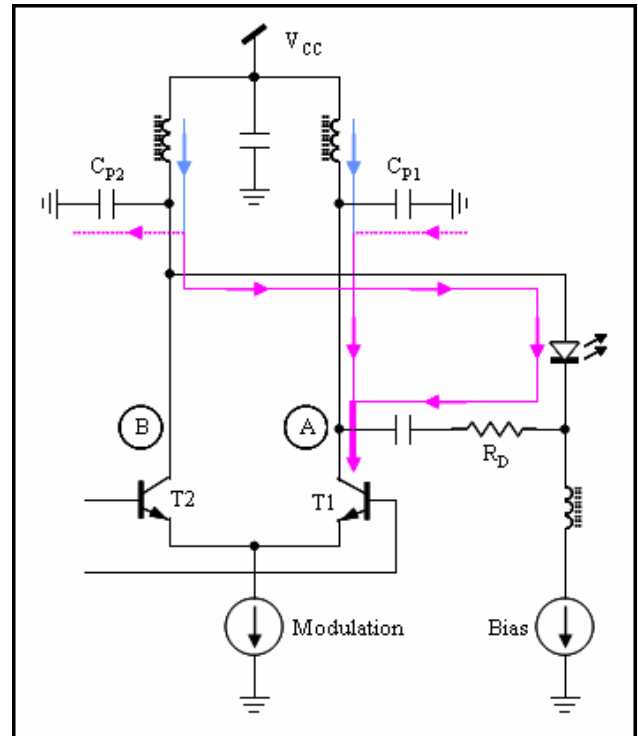


図5. 差動駆動回路の充電ループ(上図)と放電ループ(下図) (点線は、コンデンサが充電/放電する場合の過渡電流を表しています。フェライトビーズを流れる電流は一定とみなされます)

差動駆動の時定数  $T_{DF}$  はシングルエンド駆動の時定数  $T_{SE}$  のおよそ半分であり、トランスミッタのエッジ速度が

速くなるということです。図 6 と表 2 はステップ応答のシミュレーション結果を表しています。2pF の出力容量の場合、20%~80%と 10%~90%での立下りエッジ速度は、それぞれ 20ps と 43ps 向上しています。

表 2. 差動駆動のエッジ速度(単位: ps)と出力容量

| $C_p$ ( $C_{p1}$ & $C_{p2}$ ) | 1pF   | 2pF   | 3pF   |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
| $t_r/t_f$ (20%-80%)           | 34/34 | 39/39 | 45/45 |
| $t_r/t_f$ (10%-90%)           | 51/50 | 58/57 | 71/69 |

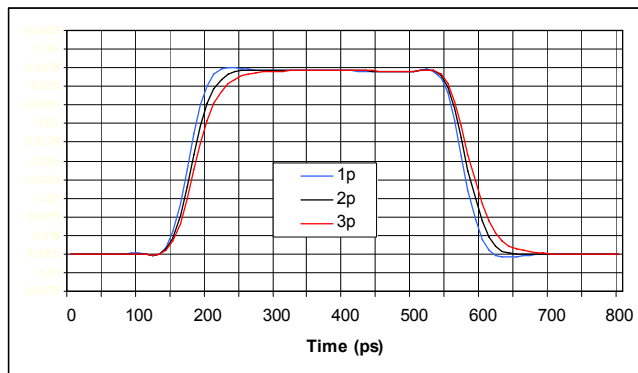


図6. 差動駆動のステップ応答シミュレーション

差動駆動方式は、その対称性から容量負荷に対して優れた耐性を示します。出力容量によるエッジ速度の低下がシングルエンド駆動よりも大幅に少なくなります。また立上り時間と立下り時間が一致しているため、トランスミッタの光アイダイアグラムを容易に最適化することができます。一方、レーザの充電と放電のループには同じ外部回路が含まれるため、基板レイアウトでのばらつきや不整合を幅広く許容することが可能で、 $V_{CC}$  プレーンに余分なノイズが付加されることがありません。欠点は、差動駆動方式はドライバとレーザダイオード間の AC 結合をベースとしているため、アプリケーションによっては低周波カットオフの問題を生じる可能性があるということです。

## 5 結論

このアプリケーションノートは、差動レーザ駆動構成を用いることによって、光トランスミッタのエッジ速度が改善されることを示しています。差動駆動の主な利点の 1 つは、出力ノードでより多くの容量を許容することができるということです。ただし、これは出力容量を無視してもよいという意味ではありません。優れた高周波の基板レイアウト技術や、出力容量の他の低減手法は依然として重要です。また、実際のアプリケーションでは(このアプリケーションノートでは取り上げていませんが)、その他数多くの要素についても考慮しなければなりません。たとえば、(a)回路に別の極をもたらずレーザの等価容量、および(b)エッジ速度を遅延させ、立上りエッジと立下りエッジの関係を非対称にするレーザの電気-光変換、などがあります。これらの要因があるため、高速な動作を実現するためには、比較的速いレーザダイオードとともに、レーザパッケージのインダクタンスの最小化も必要となります。

## 参考資料

- [1] アプリケーションノート:「MAX3735A: MAX3735A Laser Driver Output Configurations, Part 3: Differential Drive」Maxim Integrated Products、2003 年 11 月