设计笔记:

HFDN-42.0

Rev. 3; 06/08

MAX3643 激光驱动器与低成本微控制器的配合使用

maxim integrated™

MAX3643 激光驱动器与低成本微控制器的配合使用

1 概述

MAX3643紧凑的突发模式激光驱动器设计用于PON (无源光网络)系统，如图1所示。具体应用中存在不同类型的PON，例如：APON、BPON、GPON、GEPON和EPON。本设计笔记不讨论每种PON的特性，而是关注它们在ONT (图2)中对激光驱动器要求的共同特性。通常要求如下:

1. 激光驱动器IC必须能够在极短的时间内提供偏置并开始调制一个激光器 (突发启动激光器)。该器件还必须能够快速关断激光器 (突发关断)。对于多数PON应用，驱动器必须在几ns内完成上述任务。

2. 激光驱动器IC需要在几百兆位甚至千兆位数据速率下调制激光器。

3. 必须保证激光驱动器以及PON网络的其它元件具有极低的成本。由于ONT面向大批量和消费类应用，其价格压力很大。

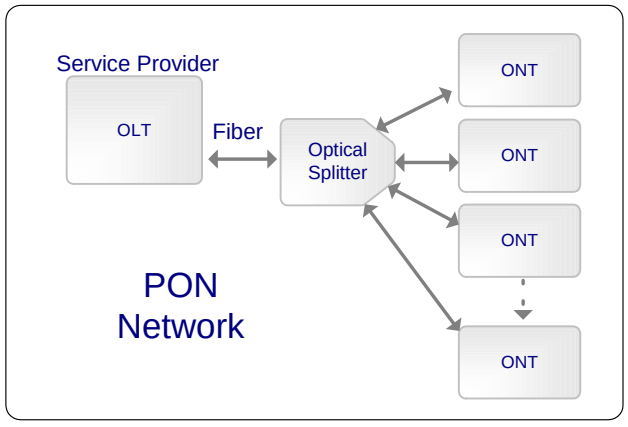

图 1. 简化的 PON 网络框图

迫于ONT的价格压力，必须保证收发器的高集成度并严格控制每个部件的安全性。MAX3643在某些情况下允许使用现有的微控制器(µC) (可利用其物理层控制器或MAC层控制器)调节激光器电流，为用户提供一个低成本的解决方案。由于激光驱动器中扣除了激光控制器，而为了获得高速性能该电路通常采用的是BiPOLAR 或BiCMOS工艺(可以获得最佳的高速指标)，可以使用低成本的CMOS µC，从而降低了激光器和控制器的总体成本。

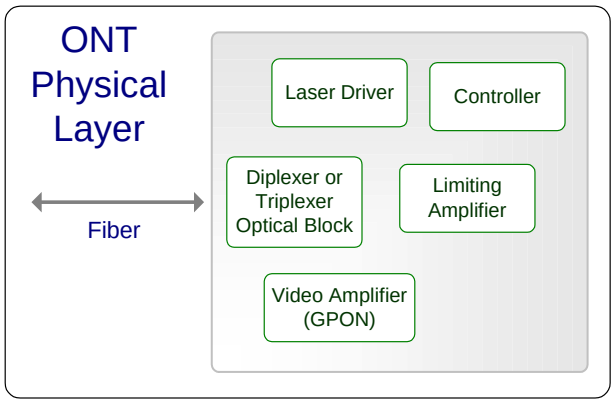

图 2. 典型的 ONT 物理层

本应用笔记讨论结合低成本微控制器(µC)或已有的系统控制器实现数字激光器控制的通用技术，并提供了应用实例和测试数据，用以说明这种方法的典型特性。在2006年底将会推出包括详细资料、固件和测试数据在内的完整的驱动器/控制器解决方案。

2 通用激光器控制

由于激光二极管的工作点随温度变化，提供给激光器的偏置电流和调制电流通常需要根据温度或监视二极管的反馈进行更新。MAX3643激光驱动器能够提供满足激光器要求的较大调制电流和偏置电流 (高达85mA/70mA)，以及高速突发、调制电路。将µC与驱动器连接，根据温度变化调节偏置电流和调制电流 (必要时)。两种常见的激光器偏置电流和调制电流控制方法是：APC环路法和K因子补偿法。以下说明了如何利用现有的低成本µC实现补偿。另外，还讨论了µC的PWM输出与MAX3643的连接。

2.1 利用 PMW 输出设置激光器偏置电流和调制电流

MAX3643 能够与多种类型的控制器输出(电压、电流或电阻)连接。首选方案是电压或电流DAC输出，因为其噪声较小且启动问题少，但通常只有价格较高的µC才会提供这些输出。对于低成本应用，可以将脉宽调制输出(PWM)连接至MAX3643 (图 3)，用来设置输出电流的大小。PWM信号通过低通滤波器，实质上是构建了一个DAC，将输出转换成电压信号 (图 4)。

PWM 输出通常由计数器/定时器、系统时钟和寄存器(用于存储所要求的脉宽)产生。计数器开始对计数时建立输出的初始条件(0 或 1)。在每个时钟周期内，计数器/定时器输出与脉宽值进行比较。如果数值匹配，则翻转输出电平，且将翻转后的状态保持到计数器/定时器的最终计数值。然后再次触发输出，返回其初始状态。

上述功能可由µC 的内部寄存器实现，即便是极低成本的µC，也会提供计数器和定时器，利用其计数功能和各种输出可以产生 PWM 信号。

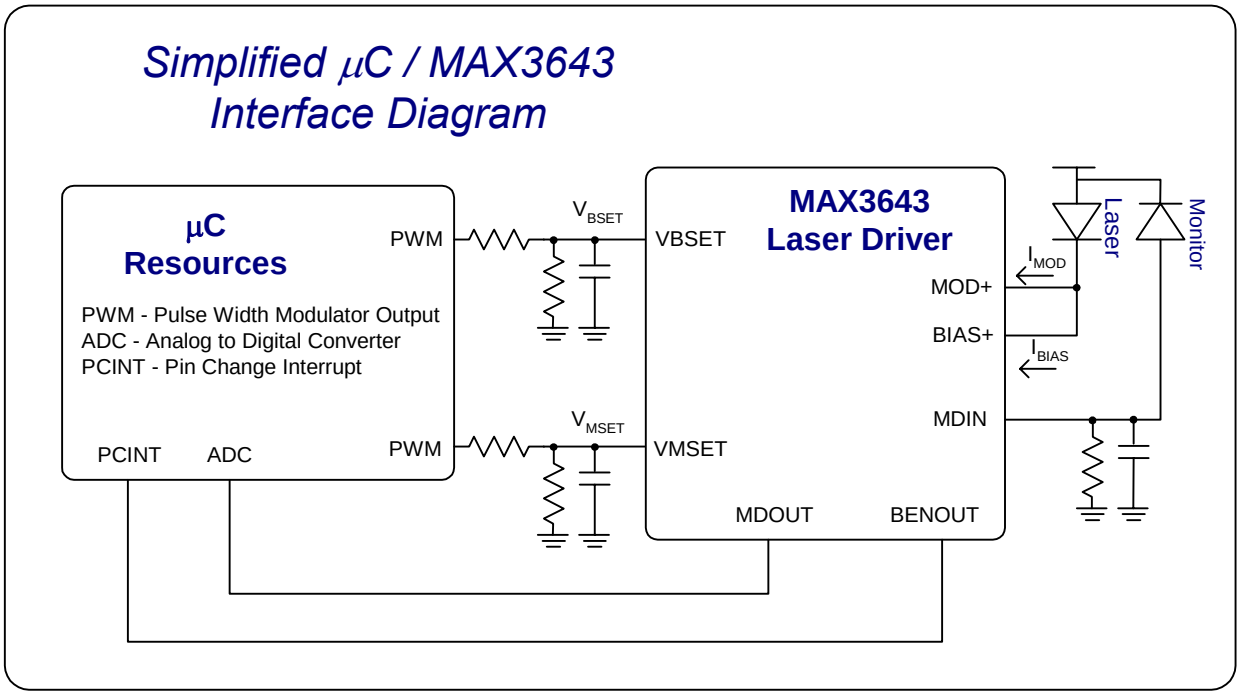

图 3. 简化的 µC/MAX3643 接口电路

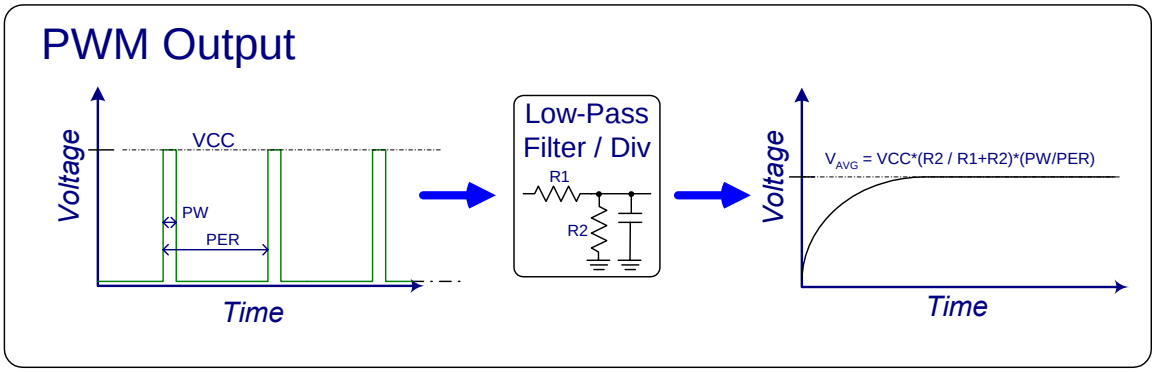

图 4. PWM 输出至直流电压转换

选择低通滤波器的元件 R 和 C，使数字 PWM 信号通过低通滤波器后产生的纹波和噪声最小。通常，µC 的数据资料中会给出选择这些元件的公式。对于本应用笔记，可以利用这些公式将滤波后的 PWM 输出纹波调节到最小，配合 MAX3643 使用时，电压 (平均值或纹波峰值)不超过 1.4V。如果纹波过大，激光器输出眼图将出现噪声，并且增大系统的误码率。大于 1.4V 的电压将导致 MAX3643 工作不正常。

2.2 PWM 补偿

通过MAX3643调节激光器偏置电流和调制电流时，一种简单的数字方法是使用PWM输出。一般情况下PWM DAC输出不是理想值，可能需要对电源电压的变化进行补偿，由于偏置电流通过闭环控制 (详细说明见下节)，实现补偿不存在问题，但由于VCC变化会导致调制电流变化，从而严重影响系统的整体性能。

有些PWM输出摆幅介于稳定的基准电压与GND之间，而多数输出则是介于VCC与GND之间的CMOS电平。对于这种类型的PWM输出，VCC变化时，低通滤波器输出的平均电压将发生很大变化，如图5所示，VCC = 3.0V时，平均电压为0.3V；VCC = 3.6V时，平均电压为0.36V。为了补偿这一变化，脉宽必须从5µs调整至6µs。

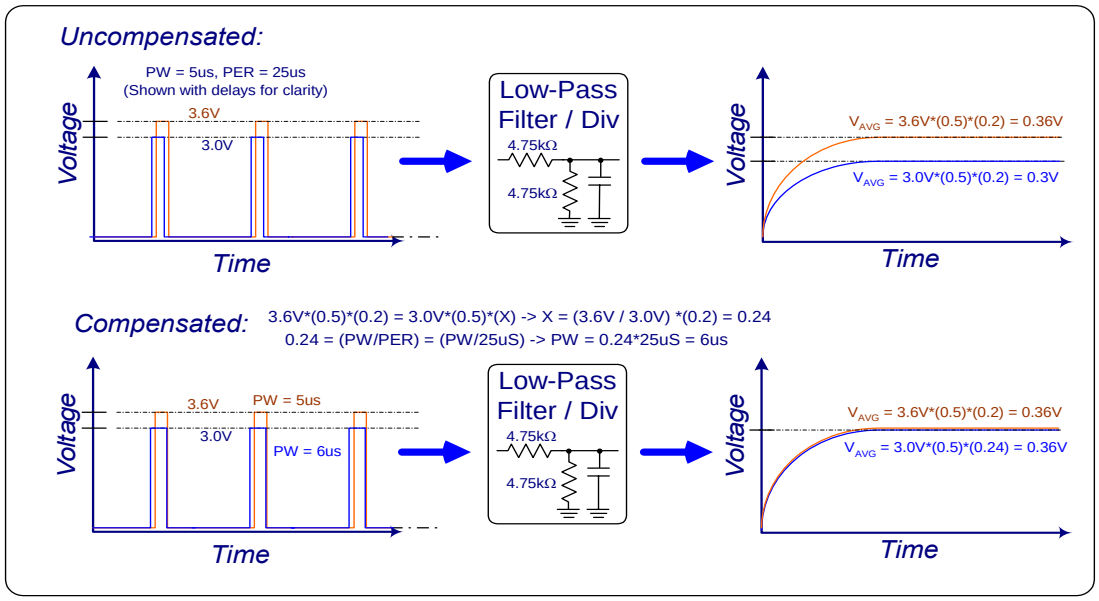

图 5. 未经补偿与经过补偿的 PWM

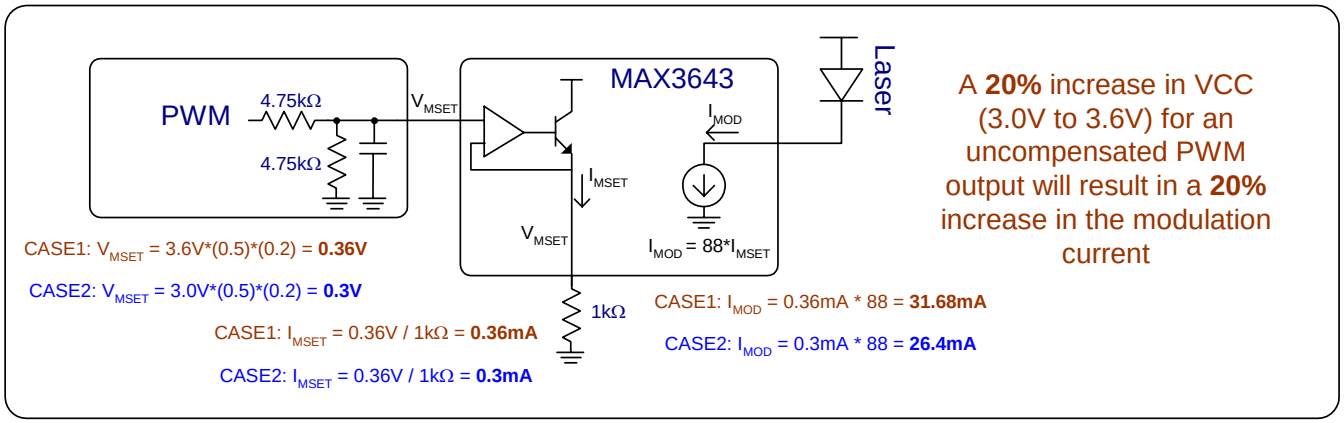

图 6. VCC 的变化

图6给出了VCC增加20%时导致激光器电流增加20%的逻辑分析。假设平均功率通过APC环路保持稳定，消光比在3.6V供电时约为11dB (3.6V)，3.0V供电时约为7.7dB。消光比的这一变化远不能满足收发器应用的要求。为减小这一变化量，可以采取以下措施：1. 校准电源电源使变化量最小；2. 采用具有稳定的(或基准)逻辑高电平输出的PWM输出；3. 根据VCC的变化补偿脉宽输出。

采用低成本µC对PWM输出进行补偿通常是最经济、最简便的方案。一种简单的方法是：监测VCC，产生一个百分比修正系数对PWM输出进行调节。例如，如果电源电压为3.0V，标称值设定为3.6V，则应将脉冲宽度增加20% (3.6/3.0 = 1.2)，以保证平均值恒定。图7给出了这种方法的示意图和例子。

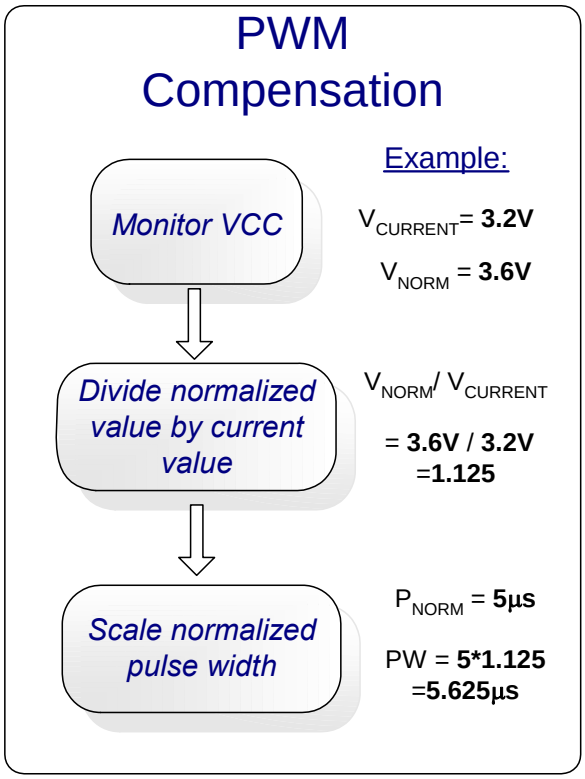

图 7. PWM 补偿

2.3 自动功率控制环路

偏置电流在温度升高后会达到标称温度下的 2 倍或 3 倍。反馈环路用于补偿这种变化，设置偏置电流。通过正确设置激光器偏置电流，可使平均光功率在整个温度范围内保持恒定。激光器控制中用到的反馈环路常被称作自动功率控制(APC)环路。

APC 环路由监视二极管、控制器和偏置电流调节电路组成(图 3)。APC 环路根据需要上下调节二极管电流，从而保持监视二极管电流恒定。由于监视二极管电流基本上与激光器输出功率成正比，所以可通过保持监视二极管电流稳定达到保持平均光输出功率恒定的目的。

对于 PON 应用，APC 环路设计比较复杂。激光器开启时间所占比例非常小，突发持续时间非常短。在一些 PON 应用中，突发时间小于 400ns。MAX3643 配合微控制器使用，可以提供二极管电流的采样与保持，有助于简化 APC 环路设计。激光器开启时对监视二极管电流进行采样。一旦激光器关闭，采样值将输出到 MDOUT 引脚。MAX3643 在一定时间内保持该值，使低成本µC 进行模/数转换。µC 将从 MAX3643 接收一个表明 MDOUT 采样就绪的中断(BEN)。

控制器必须立即 MDOUT 电压进行一次 ADC 转换，根据监视二极管的电流获取平均值，并做出一些判断(图 8)。随后，控制器根据需要向上或向下调节偏置电流，使实际的监视二极管电流与所要求的监视二极管电流(设置点)相匹配。闭环控制的优势是：可根据温度的变化调节偏置电流，还可以根据 VCC 的变化调节用于控制偏置电流的 PWM 频率。

从数据模板的要求看，监视二极管的电流变化很快，需要频繁跟踪平均功率的变化。考虑到这一因素，应仔细设计配合µC 使用的平均和滤波电路。如果环路带宽过快，数据模板的变化将导致平均功率出现偏差。如果过慢，初始化时间将会过长。可在µC 中使用 PID 控制拓扑或双路/带宽可调节的环路系统，以便启动时获得最佳的整体系统响应，并且保证稳定工作。

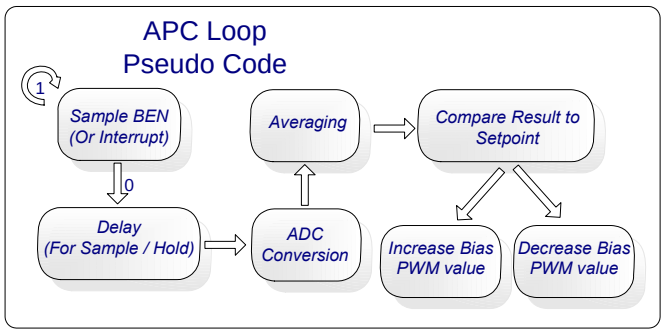

图 8. GPON ONT 视频覆盖方框图

2.4 K 因子补偿

温度变化时，激光二极管的调制电流也要随之变化，以保持稳定的消光比。在不增加额外成本的前提下，很难实现保持恒定消光比的闭环拓扑。监视二极管跟踪电流的变化和反馈环路增益的变化(低成本光纤)会增加补偿难度，为操作带来不准确性及误差。基于上述原因，常用开环方式补偿随温度变化的激光二极管调制电流。

一种简单的开环方法是K因子补偿 (正在申请专利，申请号 10/086, 162)。K因子补偿是选取一个校准常数 (K, 典型值介于 0 与 3 之间)，将该值乘以偏置电流。然后将结果叠加到调制电流的设置点。由于APC环路导致偏置电流随温度的升高而增大，也需要相应增大调制电流。在µC中实现这一方案非常简单，只涉及比例相乘与求和运算。有关K因子补偿的详细信息，请参考应用笔记 HFAN–02.2.1: Maintaining the Extinction Ratio of Optical Transmitters Using K-Factor Control 、HFAN–02.3.1: Maintaining Average Power and Extinction Ratio, Part 1, Slope Efficiency and Threshold Current 以及 HFAN–02.3.2: Maintaining Average Power and Extinction Ratio, Part 2, MAX3863 Laser Driver and DS1847 Digital Resistor。

3 举例

下面是 MAX3643 配合激光二极管、低成本的 Atmel ATtiny13V-10MU 微控制器使用时得到的数据。测试数据给出了上述方法的性能结果。所有测试中，数据传输均为突发模式，突发数据是以 1.25Gbps 速率发送的 PRBS 模板数据。

APC 环路的性能如图 9 所示，图中给出了温度在-40°C 至+85°C 范围变化时平均光功率输出的情况。该测试中，平均功率变化量小于±0.5dB，完全符合激光二极管跟踪误差变化的要求(±1.5dB)。

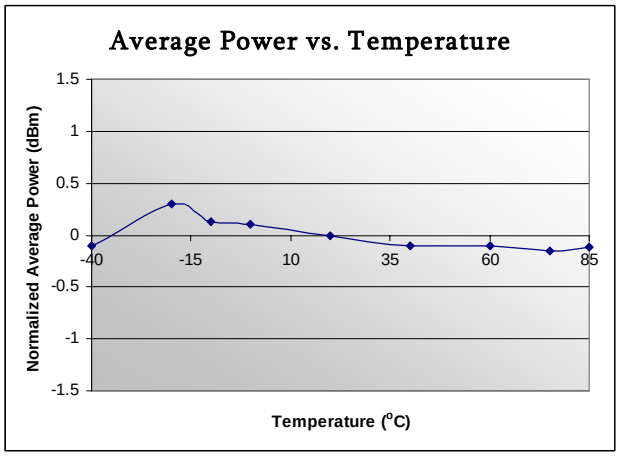

图 9. APC 环路性能

K 因子补偿特性如图 10 至图 15 所示，图 10 突出表现了 0°C 至 70°C 温度范围内的消光比指标。从图 10 可以看出，消光比在整个温度范围内的变化小于 1dB，对于开环方式来说，这是一个非常好的结果。图 11 给出了在扩展级温度范围内(-40°C 至+85°C)测得的消光比。在此温度范围内，特别是在-40°C 至 0°C 范围内变化较大，部分原因是激光二极管的跟踪误差和用于 K 因子补偿的校准方法所致。

如果实际设计的模块工作在这一温度范围内，可能需要采取其它措施降低消光比的变化，例如：1. 改变校准点，使得高温下的变化量大一些，而低温下的变化量小一些 (总体变化降低)；2. 修改 K 因子公式，使其包含另外一个与温度有关的因子；3. 增加一个温度传感器，用来在低温下调节 K 因子的数值。

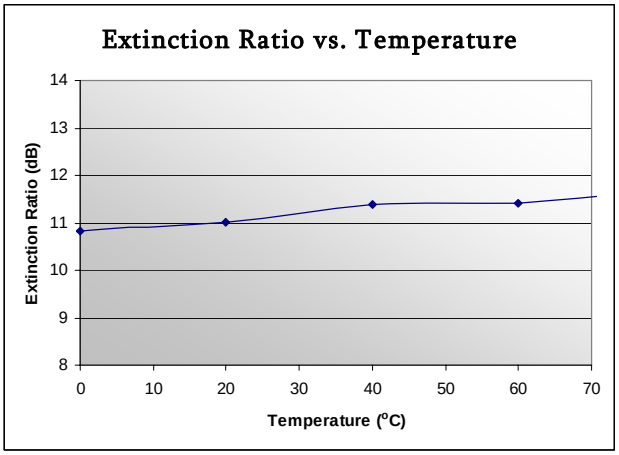

图 10. 消光比(0°C 至 70°C)

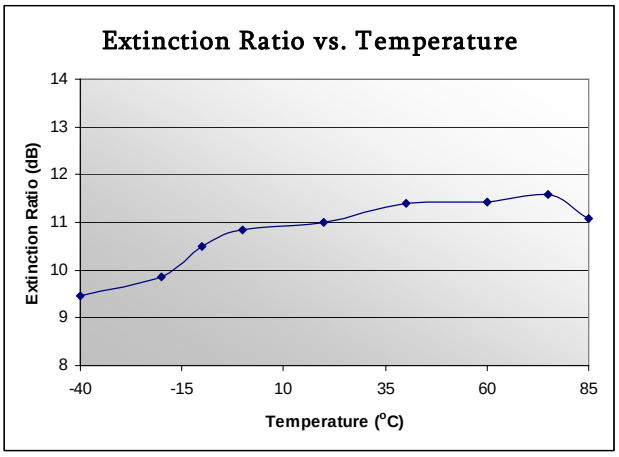

图 11. 消光比(-40°C 至+85°C)

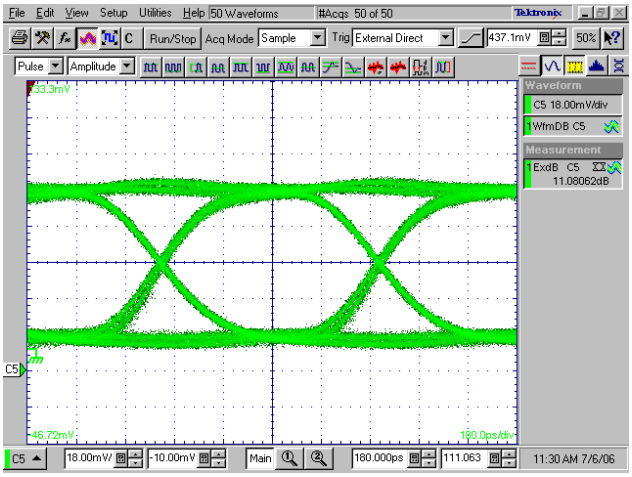

图 12. 眼图，温度 = +85°C

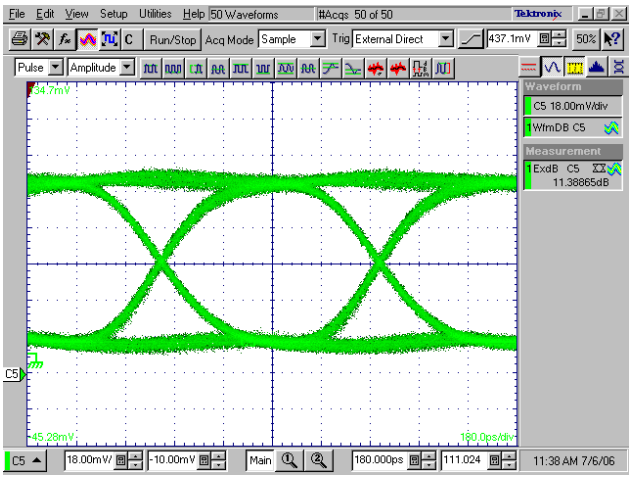

图 13. 眼图，温度 = +40°C

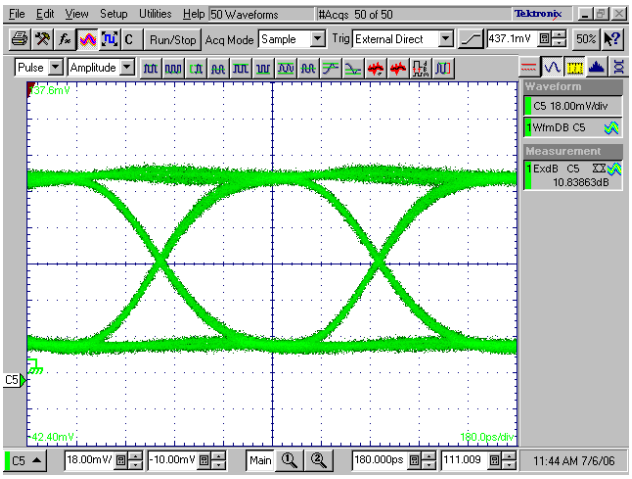

图 14. 眼图，温度 = 0°C

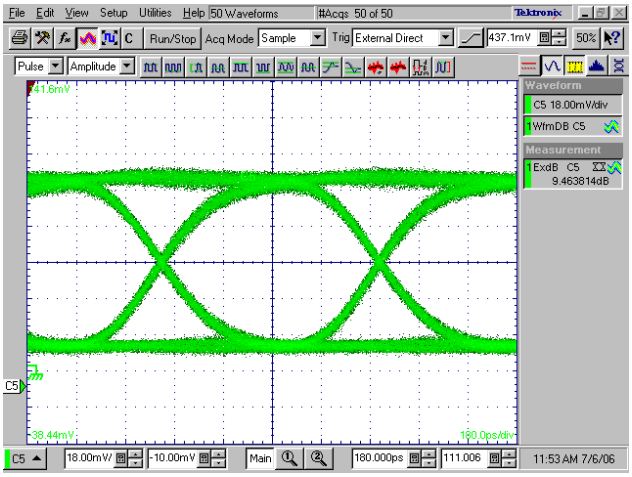

图 15. 眼图，温度 = -40°C

也可以在 µC 中实现 PWM 补偿算法，以补偿 VCC 的变化。PWM 补偿的性能如图 16 至图 18、表 1 所示。从这些图表可以看出，VCC 在 3.0V 和 3.6V 之间变化时，消光比的变化量小于 0.6dB。

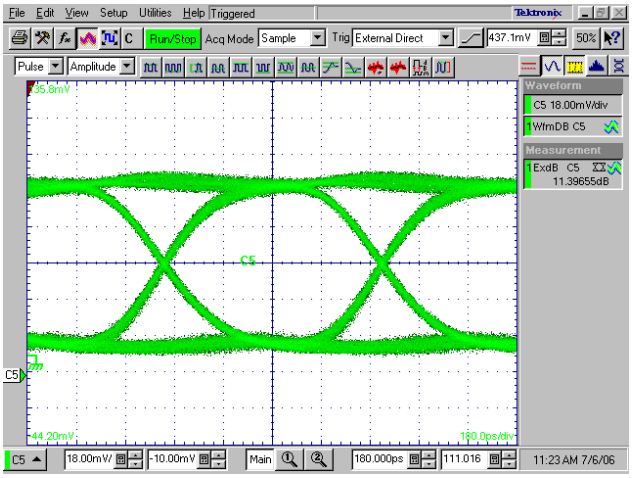

图 16. 室温，VCC = 3.0V

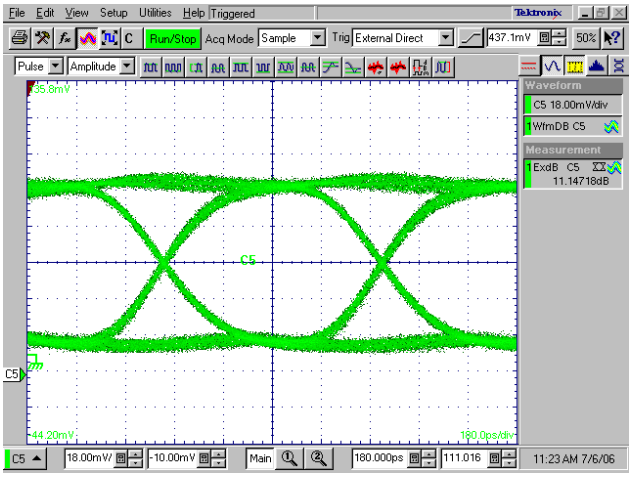

图 17. 室温，VCC = 3.3V

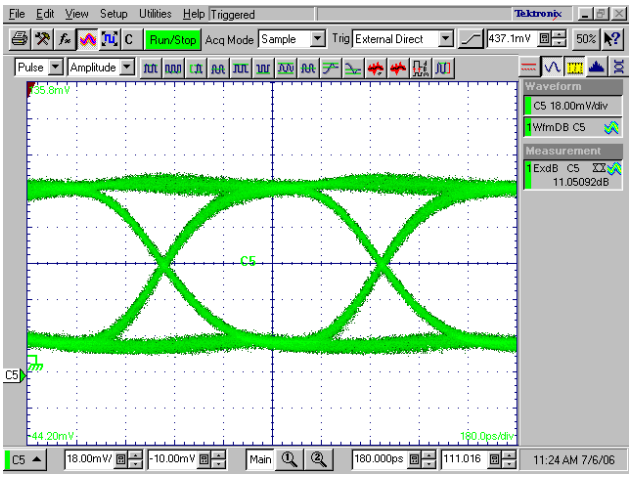

图 18. 室温， VCC = 3.6V

表 1. 消光比与温度、VCC 的关系

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
变化范围	**= 0.53dB**	**= 0.34dB**	**= 0.38dB**

4 结论

采用简单的方法和低成本μC 所能提供的一些基本资源 (连接至 MAX3643)，能够在温度、VCC 变化时很好地控制激光二极管的平均功率和消光比。