

LED 照明亮度控制新技术特征与应用

摘要：随着 LED 应用的不断增加，大功率 LED 的驱动控制日显重要。本文分析介绍了 LED 照明亮度控制的新技术特征与应用。

1、前言

如今电源管理技术的发展趋势是，以太网供电技术巨大市场近在咫尺，电源 IC 应身兼多职，电源转换 IC 集成 LDO 和 DC/DC 转换器，LED/LCD/OLED 驱动器以及其他的功率半导体器件和电源模块。而本文仅对 LED/LCD/OLED 驱动器中的调光控制技术作研讨。这是因为 LED 推动了照明革命。LCD 背光仍是主要 LED 应用，其 LED 已经被用于各种室内及室外装饰照明应用，而且开始着眼于手电、花园灯和街灯等通用照明应用。这些用途为 LED 照明正在家庭与企业照明领域开辟市场。LED 通用照明的未来是发光效率超过 100 lm/W 的高通量 LED 的开发，使得 LED 不需要逆变器就能利用交流电工作，从而推动 LED 更加接近主流的通用照明市场。因而背光照明的亮度控制是 LED 照明革命中的重要技术，于是便有下文所述的 LED 照明亮度控制的新技术特征与应用的分析介绍。

2、背光照明亮度控制的拓扑

背光照明亮度控制的拓扑即调光方法，包括使用低频和高频信号进行脉宽调制 (PWM)、直流电压控制及电阻调光等调光技术，以下仅介绍直流电压控制及 PWM 调制技术。

2.1 直流电压调光

图 1 是以 ZETEX 的 ZXLD1350 驱动器为例的典型直流电压调光示意图。

ZXLD1350 驱动器是连续电感式降压转换器，内置多开关而输出电流达 350mA，输入电压范围在 7V 至 30V 之间。其特点是 ZXLD1350 配备多功能的调节脚，可通过控制 LED 的电流，以多种方式调节 LED 的亮度。

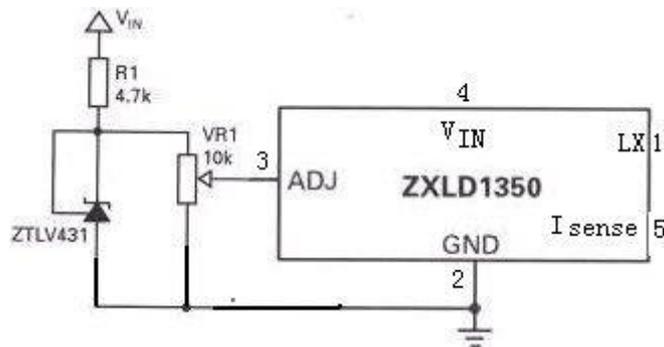


图 1：直流电压调光示意图

TLV431 作为分路调节器，以产生外置的 1.25V 电压基准。此电压基准被运用至 VR1 电位以提供 0V-1.25V 的调光电压。使用外置的调节器，将影响电流设定的准确性。相对于内置电压基准，使用 1% 电压基准，使 LED 电流更加准确。

调节针可通过外置的直流电压 (V_{ADJ}) 进行过驱动，以获得超过内置的电压基准，并调整输出电流使其超出或低于额定值。此时的额定输出电流为：

$$I_{OUT} \approx \frac{0.08 \times V_{ADJ}}{R_{sense}} \quad [\text{当 } 0.3 < V_{ADJ} < 2.5V \text{ 时}]$$

请注意，100% 的亮度设定与 V_{ADJ}=V_{REF} 相对应。如果 V_{IN} 达到最大值 2.5V，则 R_{SENSE} 应增加 2 倍。这将使功率小幅降低 1% 到 2%。调节针的输入阻抗为 200kΩ+20%。如果直流电压的输出阻抗相对较高，可能有所影响。

2.2 新的调光技术—PWM 调制技术的应用

LED 发出光的波长与器件内被驱动的正向电流关系密切。为了防止色调变化，须精心选择调光方法。以往最常用的调光方法是改变器件上的正向电流或电压。不幸的是电流或电压的变化都会改变光的波长，这种效应与波长成正比，较长的波长经受的色调对电流的变化最强。在很多应用中，这种结果是不能接受的，如果采用 PWM 调制技术，就可以给 LED 正确调光，不会引起波长变化。LED 的通断操作是通过改变占空比实现的，这时正向电流 (I_F) 是恒定电流。

2.2.1 低频高频调光应用

(1) 低频调光。由于 LED 具备稳定的瞬时驱动电流，因而适合采用低频调光。LED 的色温在所有亮度下保持不变。低频调光的另一个优点是可将亮度降至 1%。因此调光范围为 100:1。而频率选择是为避免可见闪烁，PWM 信号必须大于 100Hz。如果所选的频率过高，内置低通滤波器将开始合并 PWM 信号，并产生非线性反应。同时调节针的软启动功能将导致 PWM 信号的上升或下降发生延迟。这将使 LED 电流具有非线性特性，在频率增加时影响更为显著。

常见的低频和高频信号进行脉宽调制示意图如图 2 所示。该图是以 ZETEX 的 ZXLD1350 驱动器为例的脉宽调制示意图。

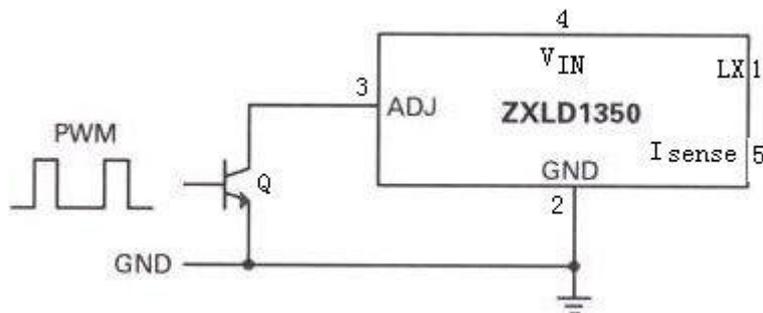


图 2: 以 ZXLD1350 驱动器为例的脉宽调制示意图

建议低频的上限为 1kHz。电感器可能听得见的噪音的影响也需要加以考虑。某些线圈松动的电感器可能出现此类情况，PWM 频率为 1kHz 时将比 100Hz 更加明显。

(2)高频调光

如果系统要求低辐射和输入/输出谐波，则适合采用高频调光。但调光范围将降至 5:1。ZXLD1350 具备整合高频 PWM 信号的内置低通滤波器，可进行直流调光控制。如果 PWM 频率高于 10kHz 左右，且占空比大于指定的最小值，装置将保持工作状态，输出也将持续不变。

(3)输入缓冲晶体管

进行 PWM 调光时，输入双极晶体管 Q 宜使用集电极开路输出(如图 2 所示)。以确保达到 200mV 的输入关闭阈值。不使用缓冲晶体管也可直接进行 PWM 控制，但必须格外谨慎。该操作将使内置的 1.25V 电压基准负荷过重。如果 100%PWM(直流)使用 2.5V 输入电压，进入 LED 的输出电流将达到正常电流的 2 倍。并可能损坏 ZXLD1350。使用 5V 逻辑信号进行过驱动将极有可能在超出调节针额定电压时损坏装置。

(4)软启动及去耦电容器

调节针上的任何附加电容器都将影响 PWM 信号上升和下降。由于上升时间将增加大约 0.5ms/nF，因此需对此加以考虑。将其与 100Hz PWM 进行对比，50%占空比时开启时间 T_{on} ，及关闭时间 T_{off} 为 5ms，1%占空比时开启时间 T_{on} 为 0.1ms。调节针上的 1nF 将导致 0.5ms 的上升时间，这将造成以低占空比进行调光时出错和受到限制。

2.2.2 利用线性以及 PWM 输入信号准确控制亮度

该方案是采用高度整合的技术。其特点是效率较高而且功耗较低，所需的外置组件也最少并可准确控制温度/亮度。而新型 LM3402/02HV 开关稳压器可以能满足这方面技术的需要，图 3 所示为 LM3402/02HV 开关稳压器的应用示意图。

图 3 中的 LM3402/02HV 开关稳压器设有专用的亮度控制(DIM)接脚，可以利用线性以及 PWM 输入信号准确控制亮度。利用发光二极管发光的照明系统普遍采用 PWM 的光暗控制方式控制灯光亮度，这个亮度控制方法已成为业界普遍采用的标准。只要调节正向发光二极管的电流，发光二极管的光线输出量便会按照线性方式增减，但大部分光线的波段会出现偏移现象。部分应用对颜色的要求并不十分严格，因此仍会采用线性的亮度控制方式，但汽车灯如煞车灯、液晶显示器背光以及直接显示的 RGB 发光二极管对亮度及色彩都有极严格的要求，因此这类应用一般都会采用 PWM 方式控制亮度。

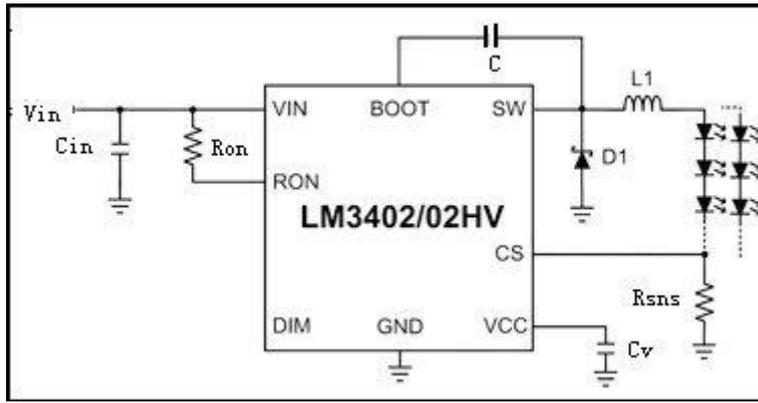


图 3: LM3402/02HV 开关稳压器的应用示意图

LM3402/02HV 开关稳压器特征如下：输入电压范围 6V~75V，采用降压稳压器的线路布局；可为发光二极管提供恒定的驱动电流，回授电压为 200mV；当 RON 接脚处于低电位时，停机电流便会进一步降低；准确的 PWM 亮度控制；开关频率高达 1MHz；设有磁滞功能，而且导通时间固定。因此，可以在整个输入电压范围内进行开关频率 (FSW) 控制。

2.2.3 一个 PWM 控制的串联开关的应用

当 PWM 频率高于 100Hz 时，人眼是无法察觉单个脉冲的，但是，整合这些脉冲把它们理解为亮度，通过线性改变占空比，就可以线性改变亮度，而不会有任何波长变化。如图 4 所示，调节 LED 亮度最常用的方法是一个 PWM 控制的串联开关。因为正向工作电流相对较高，所以选择开关时必须小心，确保开关能够处理传导损耗。

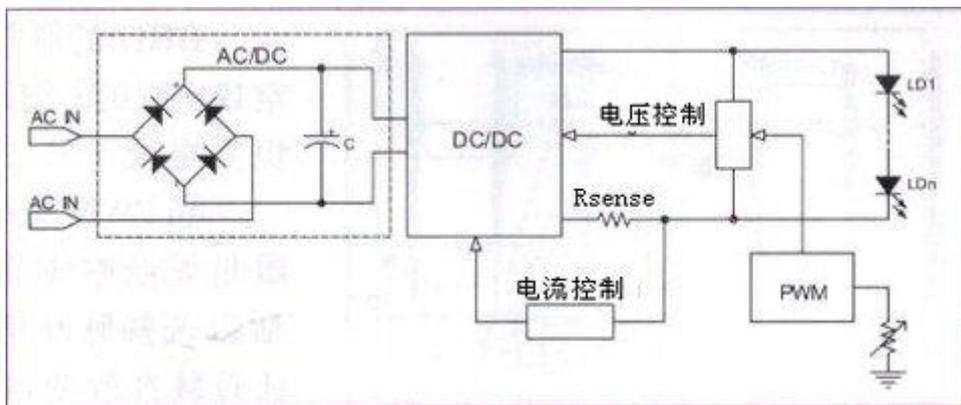


图 4: 引用 ST 公司新型技术的 PWM 调光技术框图

为了克服这个问题，这个方案取消了串联开关，而且还提高了能效。图 4 所示为新的调光技术的框图，引用了 ST 公司的新技术。这项新技术存在于两个控制回路内：一个电流回路和一个电压回路(图 4 所示)。当需要最大的亮度时，电流回路以稳定的正向电流驱动 LED；在调光操作期间，电流控制回路将会限制最大输出电流，同时电压回路将维持输出电压低于 LED 阵列阈值电压之和。当断开 LED 时，电压回路将控制最大输出电压。该新的调光技术的框图因为不再使用电源开关，就可以得到一个更加低廉的高效解决方案。

3、增添智能性亮度控制技术的应用

LED 照明应用可以得益于 MCU 的智能性。MCU 可以用于多种任务，包括用户接口、通信、电池状态监控和温度测量。在设计中添加 MCU 并不意味着加大了复杂性、占用空间或更昂贵。如 Microchip 提供了 PIC10F 系列 MCU，这些器件采用 6 引脚 SOT-23 封装形式。器件内部还有振荡器和复位电路。连接电源并接地，得到 4 个 I/O 引脚，这些引脚可以编程设定为执行任何所需的任务。FPIC10F 引脚可以用作模拟或数字引脚。FPIC10F 系列中有两个器件型号含有模拟比较器模块。有两个 FPIC10FP 器件型号含有 8 位模数转换器(ADC)。只需要学习 33 条汇编指令就可以为 PIC10F 编写代码。

MCU 在 LED 照明中的一种应用是进行亮度控制。功率型 LED 可以通过降低驱动电流进行调光。但是，这不是控制 LED 亮度的最有效方式。在最高额定驱动电流下，功率型 LED 达到最佳效率。通过使用低频 PWM 信号来开关 LED 可以达到更好的效率。PWM 信号连接到 SMPS 控制 IC 的使能输入。在打开时，LED 始终以最高电流驱动。

PIC10F206 器件为 SMPS IC 提供了用户按钮接口，并产生 PWM 控制信号。PIC10F206 具有内部振荡器和复位电路，不需要任何外部电路。在这些应用中，PIC10F206 器件还可以用于线性化亮度控制或监控电池状态。

3.1. 新的解决方案中 PWM 控制信号如何产生

有多种方法可以产生 PWM 控制信号来控制供电电路。带有捕捉—比较—PWM(*) 模块的器件可以利用片上数字时基来产生 PWM 信号，以控制供电电路，从图 5 所示的使用 PIC12HV615 比较器的降压 LED 驱动器输出到 Q1 的信号可以看出。

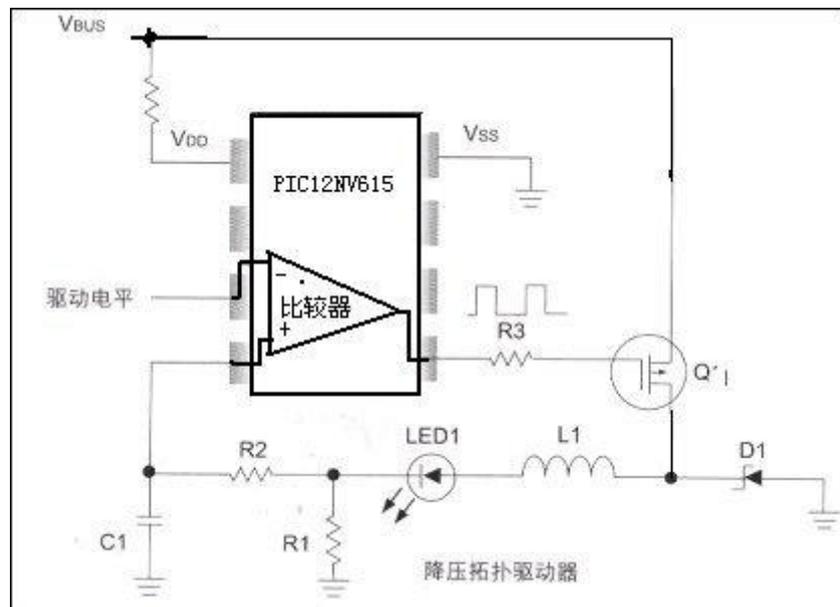


图 5：使用 PIC12HV615 比较器的降压 LED 驱动器

信号脉冲宽度由 MCU 时钟和占空比寄存器控制；增强型*(E*) 模块使一个 PWM 信号可以控制 2 或 4 个输出引脚，分别进行半桥或 H 桥控制；具有比较器和 E* 模块的器件可以使用

比较器信号来控制 PWM 信号的关闭时间；具有比较器和 PWM SR 锁存器的器件可以使用比较器信号和/或时钟脉冲来开关锁存器输出；可以使用外部 PWM 外设 IC。在需要多个高速 PWM 通道时，这一方法很有用，PWM 信号可以使用软件和 I/O 引脚产生。PWM 频率和占空比分辨率要求不是太高的话，这一方法的成本较低；带有片上比较器的 PIC 单片机(如 PIC12F609)可以用于实现简单的 LED 驱动器。PIC12HV609 添加了一个内部稳压器，可以在高于 5V 的直流总线下工作。

3.2 PWM 控制信号产生例举—MCP1630 高速 PWM 控制器

MCP1630 提供了另一种可用于为大功率 LED 驱动器产生高速 PWM 信号的方法（见图 6 所示）。

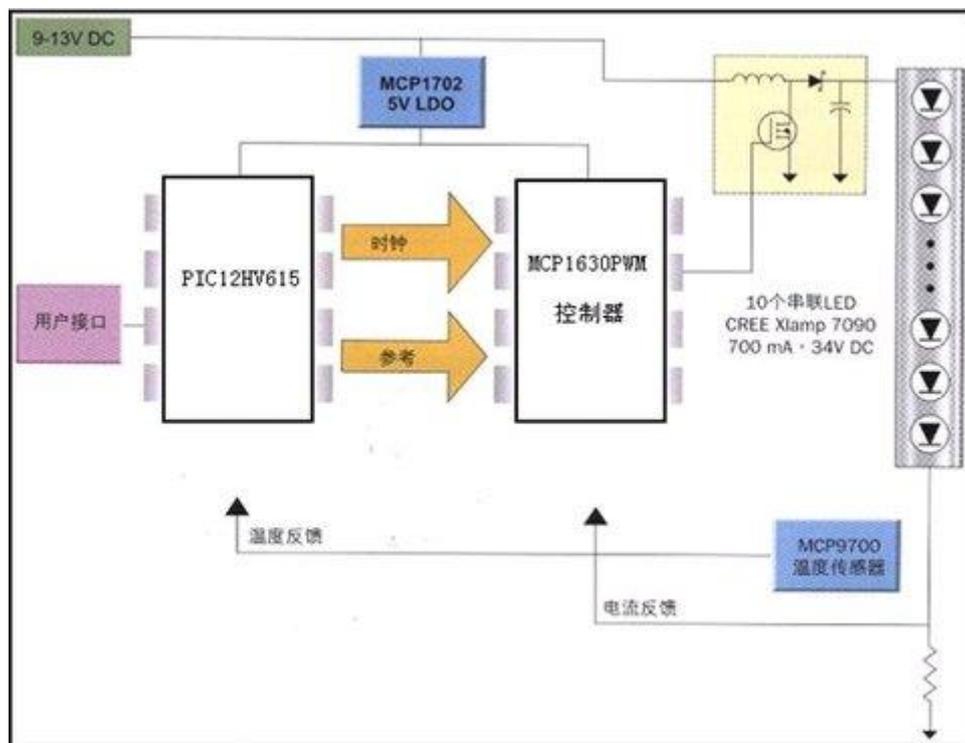


图 6: 由 MCP1630 提供的大功率 LED 驱动器

MCP1630 是 8 引脚器件，包含产生模拟 PWM 控制环路所需的元件，包括：误差放大器、比较器和驱动功率晶体管的高电流输出引脚。MCP1630 旨在用于与提供参考时钟源的 MCU 配合使用。PIC12HV615 MCU 控制 PWM 频率和最大占空比。根据应用需求，开关频率最高可达 1MHz。在需要调光或软启动功能时，MCU 还可以控制误差放大器的参考输入。多个 MCP1630 器件可以连接到一个 MCU 来支持多个供电通道。

MCP1630 可以用于解决高级的供电难题。在使用多个 MCP1630 器件时，可以对每个时钟输入应用相位偏移来降低总线电流脉动。对于对 EMI 敏感的应用，可以对时钟信号应用抖动来降低给定频率的辐射能量。

4、关于加强背光照明亮度控制技术的应用

背光照明 LED 的亮度控制可经由 PWM 或恒流控制来实现。PWM 亮度控制需动用恒流驱动器来驱动 LED，但需要调节开/关时间才能达到所需的光度。因此，PWM 比直接的恒流控制更加复杂。于是又呈现新的解决方案。为此，以 RGB LED 背光照明为例加以说明。

LCD 显示屏中的图素会划分为三个主色区格：红、绿和蓝。图素色彩是由这三种主色混合来定义。使用 RGB 背光，当 LED 温度改变时，驱动器必须更正红、绿和蓝三个主色间的亮度平衡，以防出现白点位移。此外，驱动器还需保证在任何操作温度下维持光的正确强度，而在补偿方面，可以用闭环或开环形式。使用闭环补偿的话，需采用感光器来测量白点和其强度。相反地，如使用开环补偿，温度便需事先测量出来，并通过预先定义好的补偿曲线来调节亮度的平衡。以如 LP5520 是 RGB 背光照明驱动器的一个例子，是一个开环补偿式 LED 驱动器。图 7 表示开环颜色补偿的原理。

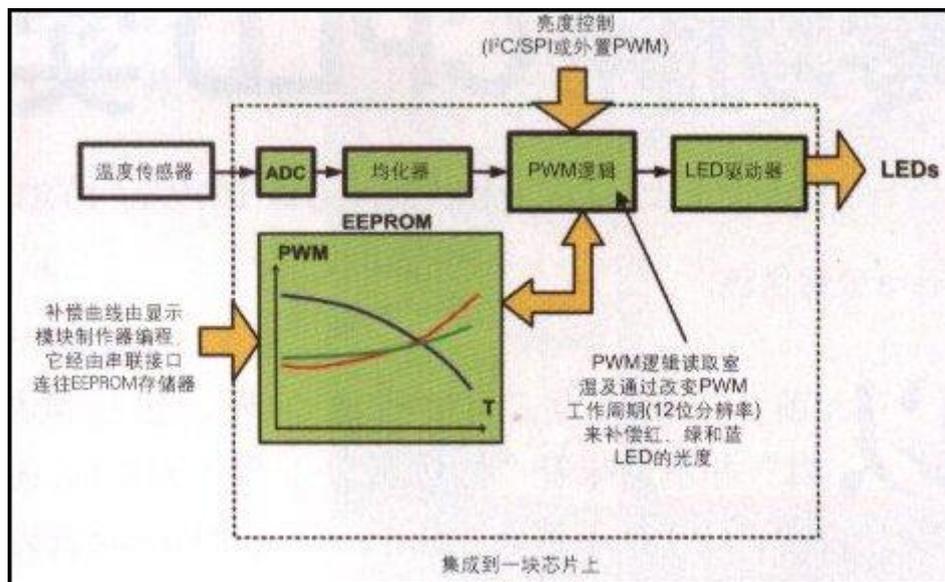


图 7: 开环颜色补偿的原理

其中温度补偿曲线是用现实应用中的 RGB LED 来量度，这些曲线被编程在芯片内部的 EEPROM 存储器中。该芯片被集成到 LCD 显示模块上，而模块的制造商会在生产时为补偿曲线编程。此外，RGB LED 背光亦可用作优化颜色过滤器。

5、结论

上述高效的 LED 亮度控制技术有几个不同拓朴方法，概括为二类：其一是独立使用一个模拟驱动器 IC，或者将其与一个 MCU (用以增添智能性) 配合使用；其二是将 LED 驱动功能集成到 MCU 应用中。拓朴的选择要视应用而定，而即将出现的集成多任务混合信号解决方案必会为 LED 亮度控制技术带来新的挑战。