

关键词：LED、LED 驱动器、LED 调光、调光技术、视频播放、图像质量、LED 电流、点校正、DC、脉宽调制、PWM、全局亮度控制 (BC)、电源管理、模拟、半导体、德州仪器、TI

LED 调光技术提高了视频播放画面质量

作者：Michael Day，德州仪器 (TI) 电源管理应用主管

视频广告牌和超大屏幕等均要求大量的小型子系统，其包括电源、视频编码器及解码器、线路驱动器、数字信号处理器 (DSP) 等等，这些子系统密切协作以产生视频图像。对观众来说，最终结果是要拥有令人惊奇的高清晰度图像质量的超大屏幕全彩色视频。虽然观众对某个视频回放发出的欢呼声让整个体育场为之震动，但他们一点也不了解该视频系统中由 LED 驱动器实现的诸多功能。如果您仔细观察一下显示屏，您就会看到数以百计的单个视频面板。再靠近一点，您会发现每个面板都包含 16X16 像素。每个像素由三个 LED 组成：红色、绿色和蓝色。每个 LED 的阳极都电气连接到一个 LED 驱动器的输出。最终，这些数以万计的 LED 驱动器会控制通过几十万个 LED 的正向电流来生成视频图像。

电气设计人员面临的挑战是了解使用 LED 驱动器控制 LED 电流的最佳方法。大多数高端 LED 驱动器都为设计人员提供了多种控制其系统中 LED 电流的方法。这些驱动器拥有一些帮助调低 LED 亮度的特性，例如：点校正 (DC)、脉宽调制 (PWM) 调光和全局亮度控制 (BC) 等。尽管这些特性均提供同一种基本功能即调节 LED 亮度，但它们的使用却不同。理解如何正确地利用这些特性是拥有最佳品质视频的关键。

模拟与 PWM 亮度调节的对比

在了解 LED 驱动器的诸多高级特性以前，您首先必须了解降低 LED 亮度的两种方法：模拟调光方法和脉宽调制 (PWM) 调光方法。模拟调光方法是指改变流经 LED 的正向电流。利用一半的电流驱动 LED 可降低一半的亮度。尽管并不是绝对的 1: 1，但是 LED 亮度会随着正向电流的变化而高度线性地变化。

PWM 调光方法是指通过开关电流来改变电流的脉宽，而不是改变振幅。LED 亮度受控于 LED 开启时间百分比，也即占空比。人眼的频率响应极限约为 60Hz 及以下。因此，以 60 Hz 以上的频率开关 LED，可让人眼只看到平均 LED 亮度。大多数显示器都以 100 Hz 或更高频率来实施 PWM 调光方法。就固定的 PWM 调光频率而言，更低的占空因数带来更低的 LED 亮度。图 1 显示了将一个 20 mA LED 调光至 25% 亮度时，模拟调光和 PWM 调光之间的对比情况。两个 LED 均获得了相同的亮度。

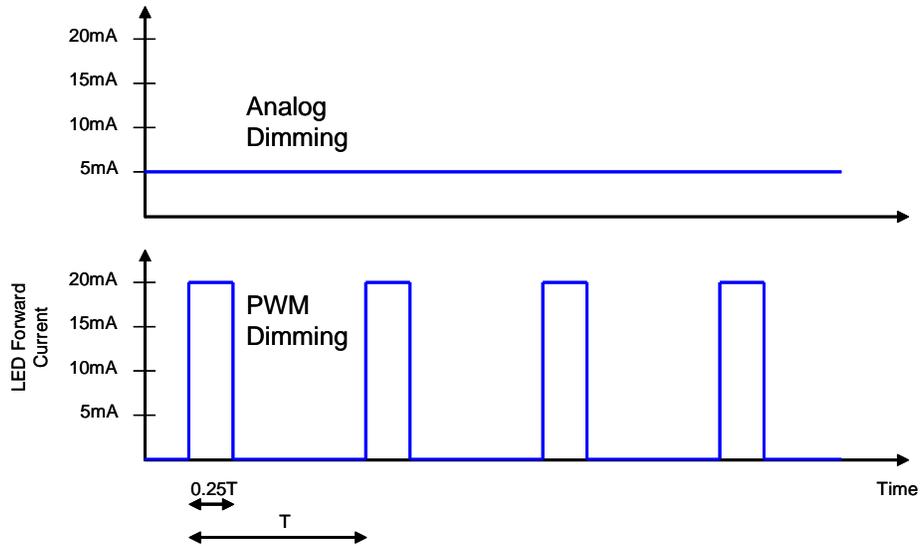


图 1 模拟调光与 PWM 调光的对比

点校正

LED 生产加工容差较难控制。对高质量显示较为重要的两个主要 LED 特性是发光强度和光谱纯度。不幸的是，每个 LED 的这两个特性都有可能差别很大，即使这些 LED 都来自同一家制造企业。在理想情况下，当处理器命令 LED 驱动器以相同电流开启所有红色 LED 时，它们便以相同亮度开启。实际上，相同电流的 LED 存在极大的亮度差异。相同正向电流条件下，一个典型可购得的 LED 部件型号具有 2: 1 的亮度差异。

如果不对这种差异进行补偿，则 LED 面板的像素间亮度匹配就会非常的低。点校正 (DC) 提供了一款优异的解决方案，来对这些发光强度差异进行补偿。术语 DC 是指校正或者标准化某个 LED 显示器中每个像素（点）的强度。这是通过调节流经每个单独 LED 的模拟电流来实现的。必须在面板生产出来以后在工厂中进行初始 DC。测试设备测量 LED 发光强度，然后生成可编程到 IC 中的 DC 系数，从而达到调节 LED 亮度的目的。

一个典型的 LED 驱动器（如：[TLC5946](#) 等）利用单个电阻 R_{set} 设置每个输出的最大 LED 电流。点校正使用模拟调光方法来调节电流至该最大电流的某个百分比。DC 校正位数越大，最终 LED 亮度匹配也就越紧密。一个 6 位 DC 具有 64 离散电流水平，其从 0mA 到 R_{set} 电阻定义的最大电流。这样便可提供 1.59% 步长的正向电流。一个 7 位 DC 具有 0.79% 步长的正向电流。图 2 显示了一个成品面板点校正前后的亮度水平。

点校正以前，所有 LED 均具有相同的正向电流，其会导致 2: 1 的亮度差异。实施点校正以后，LED 驱动器以不同的电流来驱动每个 LED，使所有 LED 的亮度均相同。必须对 DC 进行精心地设计以使亮度水平降低到比面板中最暗 LED 更低的一个值，这一点非常重要应该注意。在生产环境中，把许多面板组合到一起生产

出更大尺寸的显示器，这时所有 LED 的亮度水平必须被设定为系统最暗 LED 的值或者更小。LED 的产品说明书应提供最小规定亮度范围。

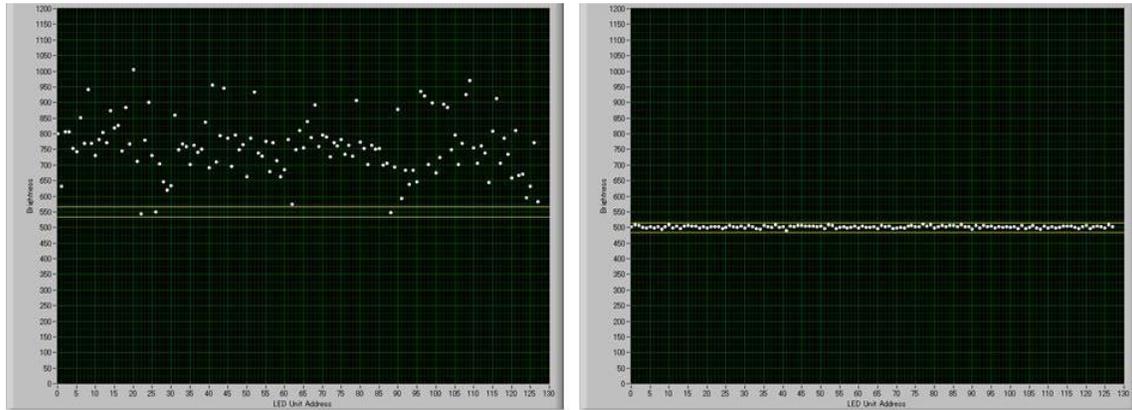


图 2 点校正前后的 LED 亮度（[图片由 MDS 提供](#)）

点校正还可用于调光整个显示器的亮度。在阳光明媚的正午时分，竖立在户外的显示屏使用全亮度可能较为适合，但在晚上或者室内观看时这一亮度可能就会让人受不了。通过将所有 DC 值减小至其原有值的某一百分比，可以实现全面板亮度调光。使用有 DC 功能的 IC 但却没有利用这种 DC 特性的某个系统，可以通过将所有 DC 值均编程为其最大值的一半，来获得 50% 的亮度。利用 7 位点校正的 LED 驱动器，可通过将所有 DC 值从 127 减小至 63，来获得 50% 的亮度。下列方程式设定了使用 DC 时某个 LED 的正向电流：

$$I_{LEDx} = I_{max} * DCx / 2^n$$

其中：

- I_{max} 为由 Rset 设定的最大输出电流
- DCx 为输出 x 的点校正值
- n 为点校正位数

利用上述实例， I_{max} 等于 40 mA，DC 等于 63，则所有 LED 电流均被设置为 $40 \text{ mA} * 63 / 127 = 19.84 \text{ mA}$ 。

如果系统已经利用 DC 特性来获得统一的面板亮度，则 DC 仍然可以用于亮度调光。通过将 DC 值编程为原始值的一半，可以获得 50% 的亮度调光。作为一个使用 7 位 DC LED 驱动器的例子，如果 LED 要求一个 108 的 DC 值来设定其电流到获得统一面板亮度所需的正确值，则可以通过将新的 DC 值编程为 54 来获得 50% 的亮度调光。

使用 DC 调光点校正面板的缺点是它降低了亮度匹配有效位的有效数。

亮度控制

为了在允许全面板亮度调光的同时保持严格的亮度匹配，由于拥有一套单独的亮度控制 (BC) 寄存器，一些高端 LED 驱动器包括了单独的全面板亮度调光 DC。同 DC 一样，BC 也是通过模拟调光方法来实施的。两者之间的差别是，DC 单独对每个 LED 调光，而 BC 则同时对许多 LED 调光。DC 和 BC 寄存器的数目和结构均与 IC 相关。

例如，一款专为驱动 3 组 LED（每组 8 个）而设计的 24 通道 LED 驱动器 [TLC5951](#) 便包括了 24 个 DC 寄存器（每个 LED 一个寄存器）。它包含 3 个 BC 寄存器，每组 LED 一个 BC 寄存器。这与专为驱动 16 个同色 LED 而设计的 16 输出 LED 驱动器 [TLC5943](#) 不同，TLC5943 包括了 16 个内部 DC 寄存器。它具有一个同时调光 16 个输出的单 BC 寄存器。将 DC 和 BC 功能分离可在继续允许全面板亮度调光的同时，获得对 LED 亮度匹配的精确控制。同时在包括 DC 和 BC 的 IC 中，LED 电流由两个寄存器值的组合来定义：

$$I_{LEDx} = I_{max} * (DCx / 2^n) * (BC / 2^m)$$

其中：

- I_{max} 为由 Rset 设定的最大输出电流
- DCx 为输出 x 的点校正值
- N 为点校正位数
- BC 为全局亮度值
- M 为亮度校正位数

PWM 调光

精确亮度控制只是高质量视频要求的一个方面，第二个方面是精确的色彩匹配。前一代显示器使用模拟调光方法设置 LED 亮度级别来实现混色，其对色彩质量产生许多不利影响。[图 3](#) 显示了 LED 的色彩随正向电流变化而变化。[图 3](#) 中“真”绿色 LED 定义了其全亮度的色彩，也即该指定 LED 电流为 20 mA。利用模拟调光方法来获得 25% 亮度，要求 5 mA 的正向电流。这样便将色谱从 525 nm 变到 531 nm，这在一些要求真色彩显示的显示器中可能无法接受。

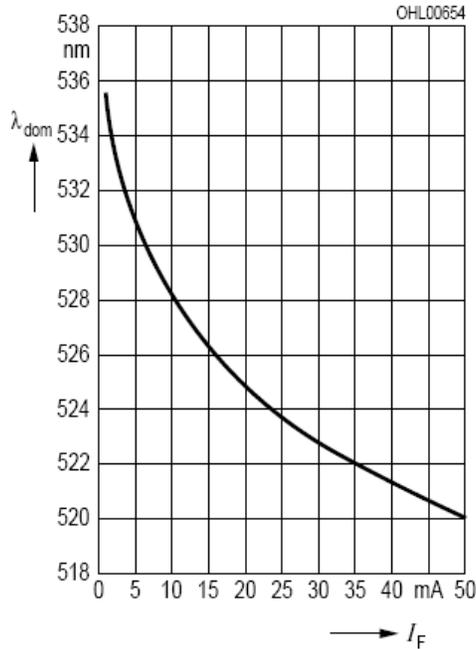


图 3 色彩随正向电流的变化而变化（图片由 Osram 提供：“调光 InGaN LED”）

脉宽调制 (PWM) 亮度调光或灰度 PWM 调光，可消除调光 LED 相关的色彩改变。这种调光将精确 LED 色彩保持在低亮度水平，其为产生高质量视频的关键。无论 LED 的亮度水平如何，都要保持流经 LED 的恒定电流，这样 PWM 调光方法便可消除 LED 色彩改变。彩色显示器的每个像素都产生自三种 LED：红色、绿色和蓝色。通过同时脉冲和混合红色、绿色和蓝色 LED，像素便能够产生高达 687 亿种颜色。下列举例说明了 PWM 调光方法。

为了简单起见，该示例假设只有 3 位 PWM 调光。3 位相当于 $2^3 = 8$ 色度，因此可以对每个 LED 进行编程让其在从 0 到 7 PWM 灰度步长的任何地方保持“开启”。每个视频帧均以所有 LED “关闭”作为开始。在首个 PWM 时钟上升沿，所有 LED “开启”，但那些 0 灰度值编程的 LED 除外。IC 在每个 PWM 时钟周期之初便增量灰度计数器。所有 LED 均保持开启，直到 PWM 灰度计数器达到 LED 编程 PWM 值以上为止。

图 4 描述了这一过程，其显示了简化的 3 位 PWM 调光控制器的波形和结构图（请参见图 5）。将红色、绿色和蓝色 LED 的灰度值分别编程设定为 7、4 和 1，屏幕上便会产生一个橙色像素。设定为灰度值 4 的绿色 LED 在首个 PWM 时钟周期上升沿处开启，并保持 4 个完整 PWM 时钟周期。这个 3 位 PWM 调光方法示例可以产生每个像素 $2^3 * 2^3 * 2^3 = 512$ 种颜色。将这种计算方法扩展到 16 位 LED 驱动器（例如：[TLC5943](#)），便会产生 $2^{16} * 2^{16} * 2^{16} = 281$ 万亿种颜色。

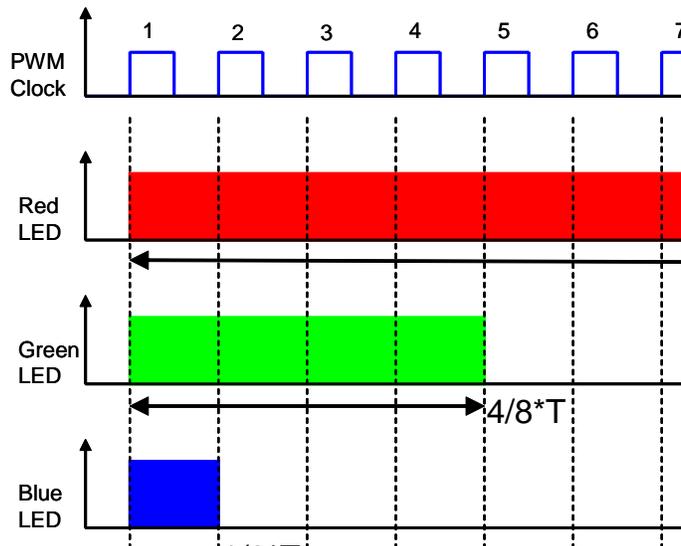


图 4 每个 LED 开启以产生一个橙色像素的时间

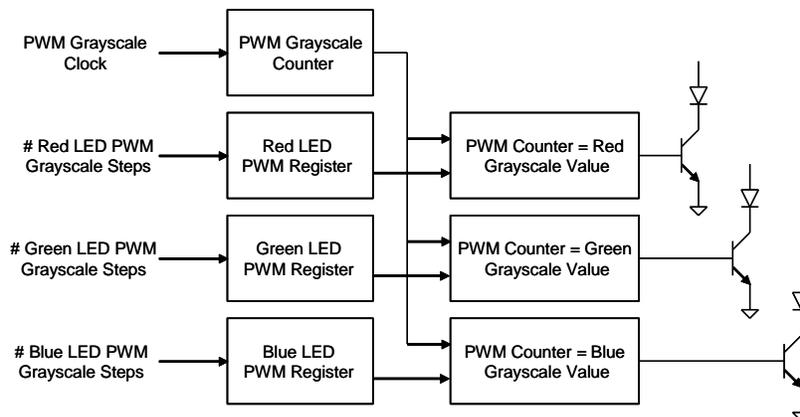


图 5 表明 3 位 PWM 调光如何产生一个橙色像素的结构图

点校正、亮度控制和 PWM 调光一起正确使用时，大屏幕上的图像便能完美无暇。正是因为这一周到的设计，观众会对大屏幕上的视频重播惊叹不已，但他们并不了解为了正确匹配像素到像素亮度，让显示器亮度同周围光线环境相适应，然后混合色彩产生完美画面所付出的心血和努力。

参考文献

- 如欲下载这些产品说明书，敬请访问：[TLC5946](http://www.ti.com/lit/ug/ti-ug-5946)、[TLC5951](http://www.ti.com/lit/ug/ti-ug-5951)、[TLC5943](http://www.ti.com/lit/ug/ti-ug-5943)。
- 如欲了解 LED 的更多详情，敬请访问：www.ti.com/led-ca。
- 如欲观看 TI E2E™ 社区上的视频、咨询问题并共享有关知识，敬请访问：www.ti.com/e2e-ca。

作者简介

Michael Day 现任 TI 电源产品部电源管理应用主管，他在功率转换方面拥有 16 年的设计经验。目前，**Michael** 主要负责管理 TI DC/DC 电源应用产品部。**Michael Day** 毕业于德州理工大学 (Texas Tech University, Lubbock, Texas)，获脉冲电源理学学士学位和硕士学位。**Michael** 是 IEEE 会员并发表了 60 余篇关于电源、便携式电源和照明的文章。如欲联系作者，请发送邮件至 ti_michaelday@list.ti.com。

电气设计人员面临的挑战是了解使用 LED 驱动器控制 LED 电流的最佳方法。

大多数高端 LED 驱动器都为设计人员提供了多种控制其系统中 LED 电流的方法。这些驱动器拥有一些帮助调低 LED 亮度的特性。

尽管这些特性均提供同一种基本功能即调节 LED 亮度，但它们的使用却不同。

理解如何正确地利用这些特性是拥有最佳品质视频的关键。

LED 调光技术提高了视频播放画面质量