

矩阵式 LED 调光器助力实现 色彩鲜艳亮丽的 LED 灯

凌力尔特公司 Keith Szolusha

RGB LED串用于投影仪、建筑、显示器、舞台和汽车照明系统，因为这类系统需要高效率、明亮的光输出。一个RGB LED串要产生预期的色彩，其中每个LED(红、绿和蓝光)都需要独立和准确的调光控制。高端系统可以使用一个光反馈环路，以使微控制器能够调节RGB LED串，提供准确的色彩。给RGB LED串增加一个白光LED，形成一个RGBW LED串，就可以增加彩色照明系统可用的色彩、饱和度和亮度值。每个RGBW LED串中的4个LED都需要进行准确调光。两个RGBW LED串需要8个“通道”。

驱动RGBW LED串以实现色彩和亮度控制的方式多种多样。一种驱动RGBW LED串并调节其亮度的方式是使用4个单独的LED驱动器，分别用于4种颜色(R、G、B和W)，如图1a所示。在采用这种方式的系统中，每个单独的LED或LED串的电(或称PWM调光)是由单独的驱动器和控制信号驱动的。不过，在这类解决方案中，LED驱动器的数量会随着RGBW LED串数量的增加而迅速增多。任何采用大量RGBW LED串的照明系统都

需要大量驱动器，对这些驱动器的控制信号进行同步的工作量也很大。

一种简单得多(也更便捷)的方法

是，用单个驱动器/转换器以固定电流驱动所有LED，同时用一个并联功率MOSFET矩阵对各个LED进行PWM调

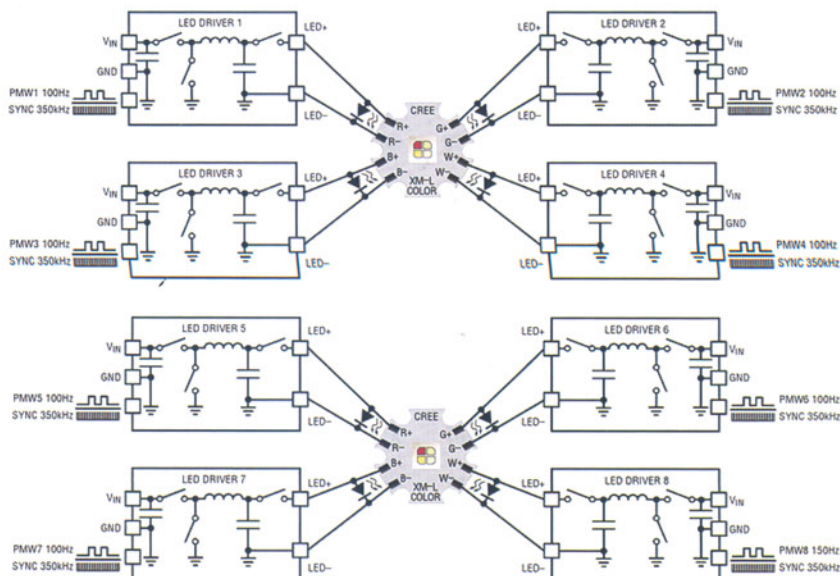


图1a

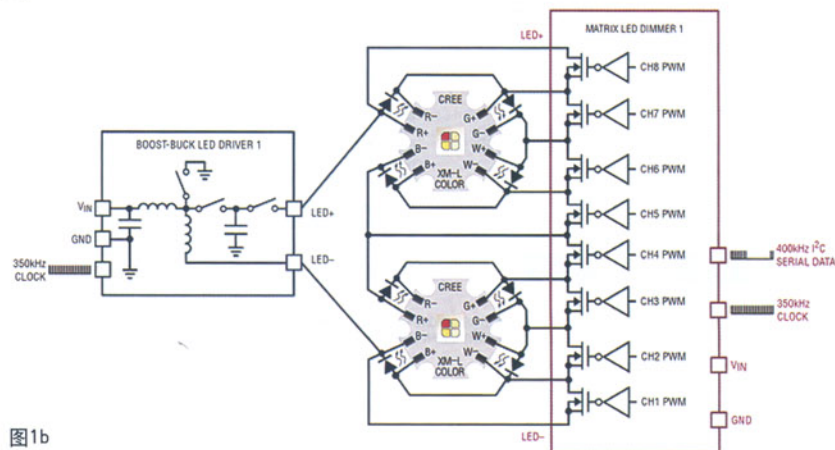


图1b

光以实现亮度控制。如图1b所示的矩阵式调光器和单个LED驱动器减小了图1a解决方案的电路尺寸。此外，用单条通信总线控制矩阵式LED调光器使RGBW LED色彩混合系统相对简单和紧凑，同时驱动大电流RGBW LED串时，色彩和亮度控制也很准确。

图1a和1b：(1a)在大功率色彩混合应用中，8个单独的LED驱动器和PWM信号可用来驱动两个RGBW LED串，或者(1b)可用具串行通信功能的单个升压-降压型LED驱动器和矩阵式LED调光器实现小得多、也紧凑得多的解决方案。

LT3965矩阵式LED调光器可实现这样的设计，如图2所示。每个LT3965的8个开关矩阵式调光器可以与整整两个RGBW LED串配对使用，从而允许在零至100%亮度之间、以1/256的PWM步进单独控制每个LED(红、绿、蓝和白光)的亮度。两线I²C串行接口命令为所有8个通道提供色彩和亮度控制。提供给矩阵式LED调光器IC的I²C串行接口代码决定所有8个LED的亮度状态，并可以在发生故障的情况下，检查LED是否开路或短路。

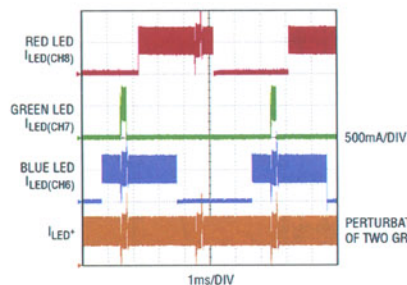


图2 用LT3965矩阵式调光器对500mA RGBW LED串的电进行PWM调光和调相，以产生各种色彩和照明图案

既然RGBW LED串中的每个LED都设计成单点光源，那么红、绿、蓝和白光合起来就产生了多种多样的色彩，而且饱和度、色彩和亮度是可控的。凭借高速LT3965矩阵式调光器，可以在零(0/256)和100%(256/256)亮度之间、以1/256调光步进设定每个LED的亮度。

准确的0~256级RGBW色彩及亮度控制

通过对RGBW LED串中的红、绿、蓝和白光LED单独进行PWM调光，RGBW LED可以产生准确的色彩和亮度。单独进行的PWM亮度控制可支持256:1或更高的调光比。取代PWM调光的另一种方法是，简单地降低每个LED的驱动电流，但这种方法会影响准确度，因此仅允许10:1的调光比，而且这种方法导致LED本身产生色偏移。采用PWM调光的矩阵式调光方法与降低驱动电流的方法相比，前者的色彩及亮度准确度会更高。

LED驱动器(提供500mA LED电流)的带宽和瞬态响应会影响色彩准确度。图5中紧凑的升压-降压型转换器的交叉频率高于10kHz，输出电容

器很小或没有输出电容器，随矩阵式调光器接通或断开其开关，该转换器可对所驱动LED数量的变化迅速做出响应。

为了说明快速瞬态响应对准度而言多么重要，我们以不同的PWM占空比单独运行红、绿和蓝光LED，并用一个RGB光传感器测量这些LED的光输出。图3中的结果显示，在4/256~256/256范围内，每种颜色的斜率是一致的，在低于这个范围时斜率稍有变化。当然，红、绿和蓝光LED的色彩性能并不是完美无缺的，因此，甚至在仅驱动一种颜色的LED时，有些颜色还是会从其他频带上泄漏出来。不过，总的来看，这是一个高度准确的系统。

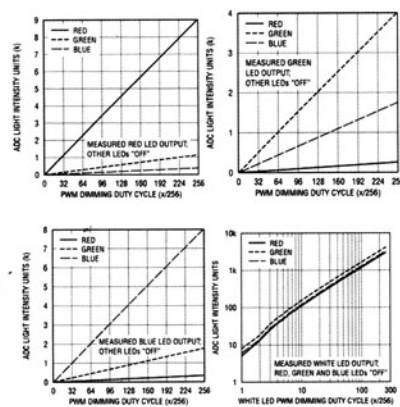


图3 PWM光占空比在0/256~256/256之间变化时，对红、绿、蓝和白光亮度的控制情况

采用带宽非常大(>40kHz)的降压型转换器LED驱动器时，直至1/256 PWM调光范围的准确度都可改善，但是要这么做，或者需要增加另一个升压型转换器，以提供一个稳定和高于30V的输出电压，因而增加了成本，或

者需要一个高于30V的输入电压源。除非在极低光输出时必须提供非常高的准确度，否则没什么理由额外增加一个转换器，而放弃图5中通用、简单和尺寸紧凑的升压-降压型转换器。

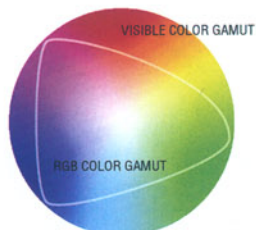


图4 RGB LED 串提供很宽的色域。简化色彩混合算法的方式之一是增加白光LED

这里描述的矩阵式调光RGBW LED色彩混合器系统实现了非常宽的色域，如图4所示。增加额外的颜色，例如琥珀色，还可以进一步扩展色域。RGBW LED串(包括一个琥珀光LED)可以产生RGBW LED串无法产生的深黄色和深橘黄色。这些LED也可以用矩阵式调光器驱动，不过与8通道矩阵式调光器很好匹配的是两个RGBW LED。

LT3965的256级调光方法非常容易对应于典型的RGB着色程序和常见的色彩混合算法。例如，如果打开一个标准的PC着色程序就会看到，色彩混合是通过256个值的RGB系统完成的，如图6所示。又如，图2中的LED电流波形用一个RGBW 矩阵式LED系统产生紫色光，而这个矩阵式LED系统是由基本PC着色程序控制的。由于本文描述的设计方案产生准确的电流驱动和PWM控制，因此可以通过调节各个LED的占空比，按照预期对RGBW

LED串进行色彩校准，从而可简便地抵消固有的LED亮度变化。

采用升压-降压型驱动器的矩阵式LED色彩混合器

矩阵式调光器需要合适的LED驱动器，以能够用多种输入给8个LED组成的LED串供电，例如标准12V $\pm 10\%$ 电源、9V~16V(汽车电池)或6V至8.4V(锂离子电池)。这类驱动器解决方案之一是LT3952升压-降压型LED驱动器，从输入至LED，该解决方案既可升高也可降低电压，同时提供低纹波输入和输出电流。在该器件的浮置输出拓扑中，输出电容器很小或没有输出电容器，因此在以接通断开方式对各个LED进行PWM调光以控制色彩和亮度时，该器件能够快速响应LED电压的变化(见图2)。

图5所示的LT3952 500mA升压

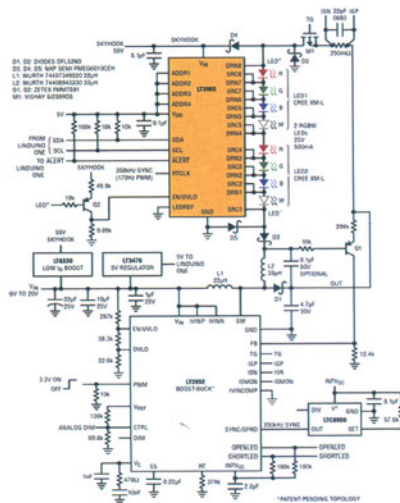


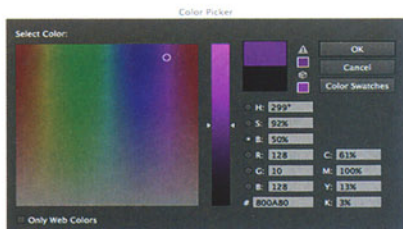
图5 LT3965矩阵式LED调光器与LT3952升压-降压型LED驱动器一起使用，控制两个500mA RGBW LED串中各个LED的色彩，以串行通信方式控制色彩和照明图案

一降压型LED驱动器与8开关矩阵式LED调光器LT3965，以及两个RGBW 500mA LED串一起使用。当串联LED数量在0~8个范围内变化时，这种新的升压-降压型拓扑可以在0~25V输出电压范围内顺畅地运行。串联LED的瞬时电压随时变化，怎样变化取决于，在任意给定瞬间，矩阵式调光器启动和禁止了哪些以及多少LED。这个转换器/拓扑的60V OUT电压(V_{IN} 和 V_{LED} 之和)及转换器占空比针对6V~20V的整个输入范围，以及0~25V/500mA的输出范围(串联LED电压)做出了规定。

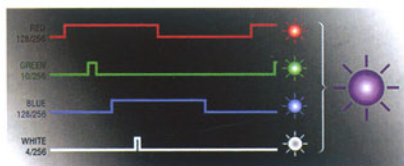
矩阵式调光器用并联功率MOSFET对LED分流，以此控制LED亮度。无论是浮置输出升压-降压型LED驱动器还是矩阵式LED调光器，都不要求LED接地。只要LT3965的 V_{IN} 引脚连至SKYHOOK，所有并联MOSFET都可以正常工作，电压至少比LED+高7.1V。SKYHOOK电压可以由开关转换器构成的充电泵产生，也可以由一个稳定的电源提供，当然该电源电压要至少比预期的LED+最高电压高7.1V(在这种情况下，为20V V_{IN} 最大值加上25V LED最大值)。采用3mm \times 2mm DFN封装的纤巧LT8330升压型转换器产生SKYHOOK电压是个不错的选择。

一个可选外部时钟器件用来在350kHz时同步系统，这种方法适合汽车环境，因为效率相对较高，且允许使用紧凑型组件。尽管这个系统同

样可以在2MHz(高于AM频段)上运行,但当矩阵式调光器使所有LED都短路,且LED串电压降至 $330\text{m}\Omega \cdot 500\text{mA} \cdot 8 = 1.3\text{V}$ 时,350kHz(低于AM频段)使这个升压-降压型转换器无须采用脉冲跳跃模式,就能够执行调节功能。这个频率还支持高调光比而不会产生可见的LED闪烁。



(a)



(b)



(c)

图6 用标准PC色彩选择器可以选择色彩

LED接通或断开时的启动顺序

矩阵式LED调光器系统可以设定以在所有LED都接通或断开时启动。如果在所有LED都断开时启动,那么这些LED的亮度就可以和缓地渐变,或者以设定的色彩和亮度启动,例如10%亮度的绿-蓝光。如果在串行通信系统发出命令指示调光器该做什么之前,所有LED都以500mA满标度电流

启动,那么在串行通信启动之前,可以看到明亮的全“白色”光。

无论以哪种方式启动,LT3965都应该在接收I²C串行通信命令之前加电,否则当该器件进行加电复位(POR)时,初始通信命令可能丢失。当EN/UVLO引脚向上穿过1.2V门限时,就会发生POR。既然这个电压以SKYHOOK至少比LED+高7.1V这一事实为基础,那么任何时候只要加上高的SKYHOOK电压后就能发生,例如用一个小型升压型稳压器提供55V,或者来自LT3952开关节点的充电泵电压足够高以提供SKYHOOK电压后也会发生。在由充电泵提供SKYHOOK电压的情况下,充电泵提供SKYHOOK电压之前,也许存在LED电流,因此在LT3965的开关断开LED之前,LED会发光。这是一种简单的解决方案,设计师想让LED以最大亮度接通启动时,可以使用这种方案。

要让LED开始工作,必须在LT3952接通之前存在高的SKYHOOK电压。如图6所示,如果PWM引脚在启动时保持低电平,那么LT3952就不启动,直到外部信号命令该器件启动为止,例如由主微控制器发来这样的信号。一旦SKYHOOK电压出现,该微控制器就可以向LT3965发送I²C设置命令,将LT3965的开关设置到LED OFF位置,之后电流将流向这些开关。设置完成后,就可以确认LT3952 PWM,然后电流开始流经已经短路的LT3965开关,LED则处于关断状态。之后,出

现亮度渐变的启动,或者LT3965调光器可能跃变至特定色彩或亮度。

一发生复位,LT3952的PWM必须再次拉低以将其关断,并在LED关断位置重新启动。在图5所示情况下,LT8330这类简单的微功率升压型转换器可在6V~20V输入电压范围内提供55V输出。通过确认ALERT标记,微控制器接收表示LT3965已加电并准备好接收串行通信命令的信号。在任何开关被短路之前,由于开关两端电压为零,所以通过LED的电流为零,这种状态被解释和报告为短路故障。只有在通过SKYHOOK给LT3965加电后,才会确认这个标记。

结论

LT3965矩阵式LED调光器可以与升压-降压型LED驱动器配对使用,以构成一个色彩准确的RGBW LED色彩混合器系统。LT3952可用在6V~20V输入范围内以350kHz开关频率和500mA流驱动两个RGBW LED串。这种通用系统可由汽车电池、12V电源或锂离子电池供电。之所以能够实现很高的色彩准确度,是因为升压-降压型LED驱动器拓扑能够实现快速瞬态响应,并能够通过256:1的I²C控制矩阵系统实现预期的调光控制。LT3965可设定为启动时,所有LED都断开,并以渐变亮度启动,或直接跳跃至特定色彩。可以增加光反馈(通过微控制器)以提高色彩准确度,尽管不是必须这么做。

EPC