

用集成式8开关无闪烁驱动器 控制矩阵式LED前灯中的单个LED (上)

Control Individual LEDs in matrix headlights with integrated 8-switch flicker-free driver

□ Keith Szolusha 凌力尔特公司LED 驱动器产品部高级设计负责人

LED 兼具设计灵活性和坚固、实用的电路，使汽车设计师能够用其设计引人注目和具备极长寿命和高性能的前灯。汽车设计师越来越多地在照明系统中采用 LED，因为 LED 可用来产生独具特色、引人注目的设计，有助于区分新型号和老型号，或者区分高端车型和经济车型。

毫无疑问，汽车 LED 照明时代已经来临，但是尚未发挥出最大潜力。未来车型将采用更多 LED 灯，LED 灯将有新的形状和颜色，对单个 LED 的控制将增强。简单的 LED 串将让位于 LED 矩阵，通过电脑控制可以对矩阵中的每一个 LED 单独地调光，从而能够实时实现无限多种生动的照明图案。这种未来已经近在咫尺：凌力尔特公司的 LT3965

LED 矩阵驱动器使汽车照明设计很容易再向前迈进一步。

用单个 IC 通过 I²C 控制 8 个功率开关

基本的 LED 前灯设计采用一致的 LED 电流，因此亮度也是一致的。但是这种方法将 LED 潜能的很大部分留在了纸面上。矩阵式前灯能够通过控制 LED 串中单个 LED 的亮度，因而利用了 LED 与生俱来的优势。

从理论上说，利用电脑控制的功率开关以控制 LED 矩阵中的单个 LED 并不困难，从而让单个 LED 接通或断开，或对单个 LED 进行 PWM 调光，以产生独特的照明图案和功能。每个 LED (或 LED 串中的一段) 需要使用自己的转换器，或者使用自己的并联功率开关。可以用具备串行通信功能的传统驱动器/转换器 IC 建立一个矩阵驱动器，不过一旦 LED 矩阵需要两个或 3 个以上的开关时，设计一个由分立式组件组成的解决方案就变得富挑战性了，因为需要使用一个尺寸大于 LED 矩阵的组件矩阵。

LT3965 I²C 8 开关矩阵式 LED 调光器使得很容易控制大型或小型 LED 矩阵 (可多达 512 个 LED)。图 1 显示了在凌力尔特演示电路板 DC2218 上运行的 LT3965。

高度集成的设计 (参见图 2) 最大限度减少了所需组件。可单独地寻址的 LT3965 通道可以很多方式控制 LED 矩阵，包括：

- 每个 LT3965 可控制 8 个调光通道，即一个 LED 串中的 8 个 LED 或 8 段 LED。



图1 LT3965 LED 矩阵调光器演示电路板 DC2218 作为 Arduino(DC2026)的屏蔽罩使用。这个演示电路板驱动前灯、转向灯、尾灯和装饰灯，可通过 USB 电缆连接到凌力尔特图形用户界面，以进行评估

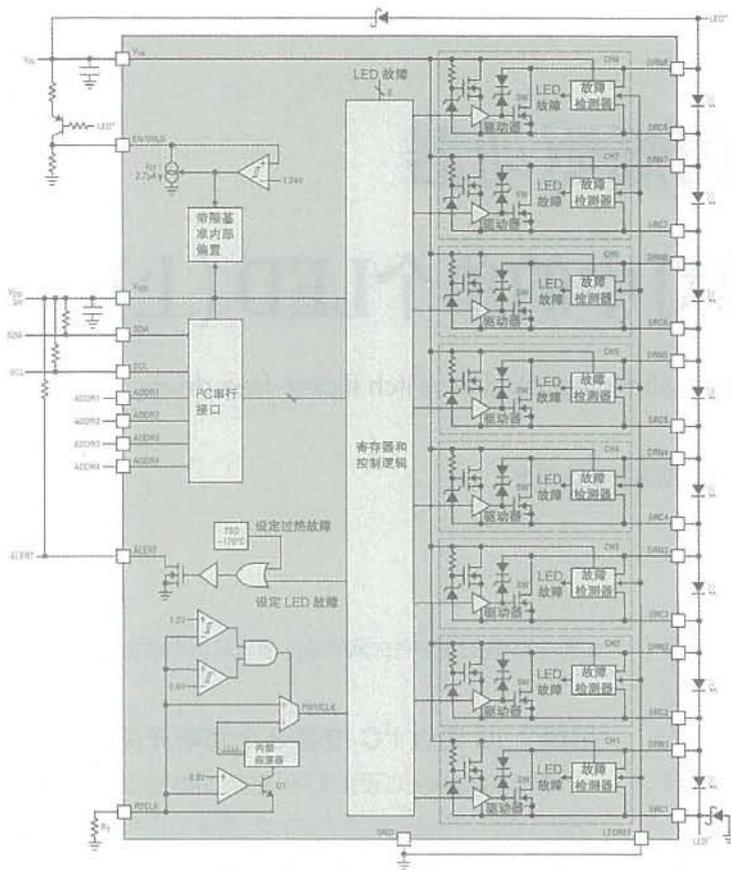


图2 LT3965 60V 8 开关 LED 矩阵调光器方框图, 包括 8 个功率NMOS 并联开关以用于亮度控制、一个故障标志和 I2C 串行通信接口

- 8 个通道可控制两个 RGBW LED 模块上单独的红、绿、蓝和白光, 以调节亮度、改变仪表盘或装饰照明系统的色彩。
- 多个 LT3965 可以通过单一通信总线单独地寻址, 以成倍增加大型阵列中的 LED 串数目。
- LT3965 的每个通道可控制多个 LED, 或者多个通道可以组合, 以高效地控制在较大电流的单个 LED。

当与合适的恒定电流 LED 驱动器结合使用时, 矩阵调光器 LED 驱动器允许电脑控制前灯、白天行车灯、刹车灯和尾灯、侧弯灯、仪表盘显示器以及其他装饰照明系统中的单个 LED。LT3965 内置的自动故障检测功能在发生故障时保护单独 LED, 并向微控制器报告故障情况。

60V LT3965 包括 8 个集成的 330mΩ 功率开关, 这些开关可连接一个或多个 LED。这些功率开关作为并联器件使用, 断开特定通道上的 LED 或对这些 LED 进行 PWM 调光。这些开关形成了 8 个可单独地控制亮度的通道 (调光比

高达 256:1) 和一个 LED 串上 8 个不受故障影响的 LED 段。

当所有 8 个功率开关同时接通时 (所有 LED 都关闭), LT3965 可应对 500mA LED 串电流。这些开关可以并联连接, 使 1A 电流通过 4 个 LED 通道, 如本文稍后所示。不管 LED 数量多少或电流大小, LED 串都必须由恰当设计的转换器驱动, 该转换器的带宽必须能够应对矩阵调光器的快速瞬态。本文中 will 探讨一些参考设计。

“升压然后双降压模式”转换器 LT3797 以两个 LT3965 在 500mA 驱动两个 LED 串, 总共 16 个 LED

LT3965 的 8 个并联功率开关控制在 500mA 的 8 个 LED 通道之亮度。8-LED 矩阵调光器系统的 LED 串电压可能在 0V 至 26V 之间, 取决于在给定时间内有多少 LED 接通或断开。要驱动这些 LED, 建议使用大带宽、以及不用输出电容器或输出电容器很小的 30V 降压型转换器。这种降压型拓扑要求, 9V 至 16V 汽车输入是“预先升压”至 30V 轨, 然后降压型稳压器能够运作。

三输出 LT3797 LED 控制器可以很方便地作为“预先升压”然后降压的单个 IC 解决方案使用。该器件的一个通道可以配置为升压型稳压器, 之后跟随的是其余两个通道, 配置为降压型 LED 驱动器。两个降压型 LED 驱动器的每一个可驱动一串矩阵式调光 LED。这种拓扑有很多优势, 最显著的是, 无论 LED 串的电电压高于还是低于电池电压, 该电路都会持续以最佳模式运行。

图 3 显示了图 1 所示演示电路板的原理图, 包括一个“升压然后双降压模式”转换器 LT3797 和 LT3965 矩阵式前灯调光系统, 该系统共有 16 个 LED, 以 500mA 电流运行。每个 LED 可单独地控制以接通、断开或 PWM 调光至低至 1/256 亮度。LT3797 的 350kHz 开关频率位于 AM 频带以外 (可以很好地降低 EMI), 从同一 350kHz 时钟产生的 LT3965 170Hz PWM 调光频率位于可见光频率范围以外。凭借正确的系统同步, 采用 LT3797 和 LT3965 的矩阵式前灯可以无闪烁运行。

LT3797 降压模式转换器为应对极快的瞬态而优化, 使用很小的输出电容器或不使用输出电容器, 具备恰当补偿

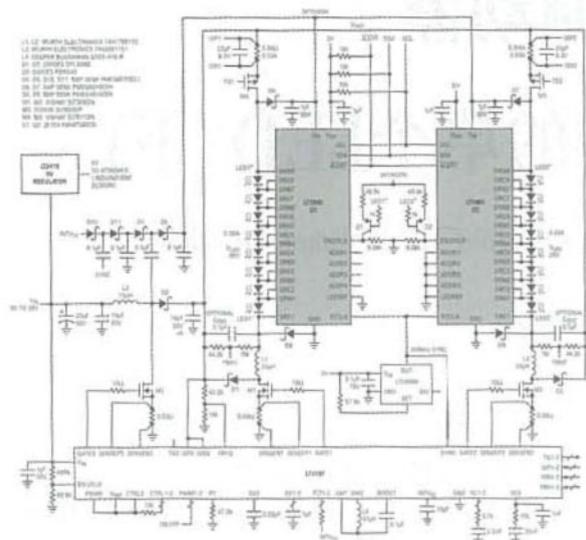


图3 LT3965 LED 矩阵调光器系统采用了“升压然后双降压模式”LED 驱动器 LT3797，两个 LT3965 矩阵调光器以汽车电池提供的 500mA 电流驱动 16 个 LED。I2C 串行通信接口用于控制单个 LED 的亮度和检查 LED 及通道故障

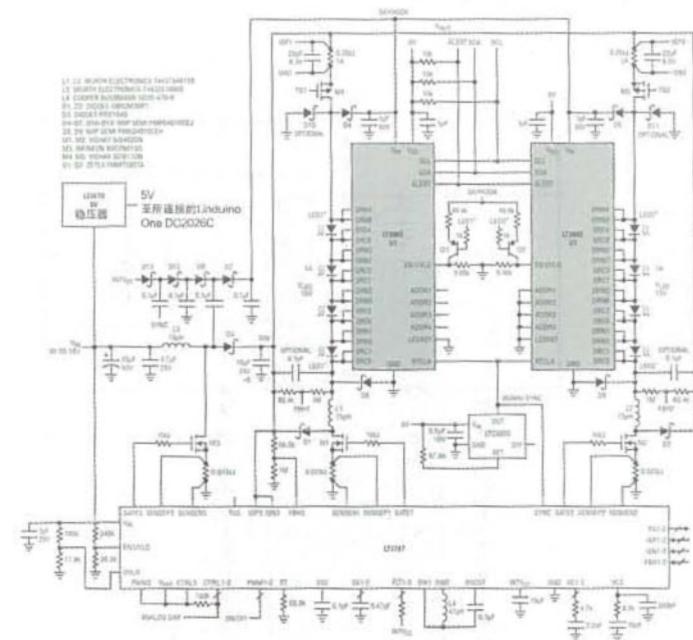


图5 1A LED 矩阵驱动器整合反相运行的并联通道，以实现电流更大的大功率 LED 前灯系统应用

的控制环路。这些带宽 >30kHz 的转换器可耐受 LED 接通和关断以及随意性 PWM 调光时产生的快速 LED 瞬变。布设在 LED 检测电阻器上的一个滤波电容器取代了控制系统中的

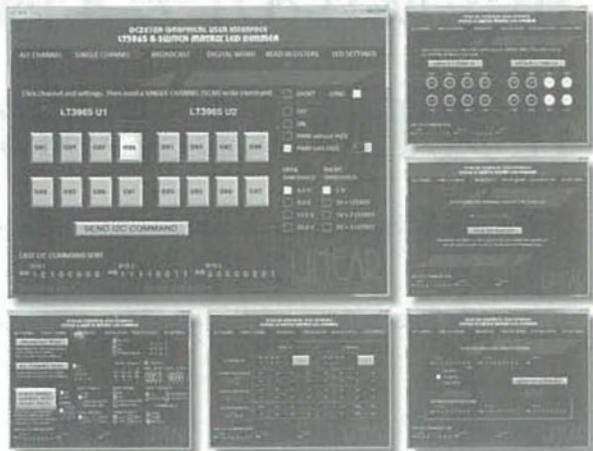


图4 基于 PC 的界面使设计师能够控制并监视由 LT3965 驱动的 LED 一个极点，当为实现矩阵式调光器的快速瞬态性能而减少或去除输出电容器时，该极点会丢失。

从开关节点引出的一个充电泵用于把 LT3965 VIN 引脚供电至比 LED+ 电压高 7V，以使上管通道 NMOS 在被驱动时得到全面强化。LT3965 中的低 RDS(ON) NMOS 开关可实现高功率运作而不使 IC 变热，即使在所有 8 个并联开关均导通以关闭整个 LED 灯串时也不例外。在该场合中，LT3797 LED 驱动器可安全经受由所有 8 个并联开关所造成的虚拟输出短路而不发生任何问题，并且能容易地通过下一个接通的 LED 快速地调节 500mA。

演示电路 DC2218 (图 1 所示) 采用了图 3 所示系统，并通过 Linduino™ One 演示电路 DC2026，用所连接的 I2C 微控制器控制一个矩阵式前灯。DC2218 用作一个大型 Linduino 屏蔽罩，串行码流速率高达 400kHz，可产生不同的前灯照明图案，并与凌力尔特的图形用户界面(图 4)接口。

在图 4 所示的图形用户界面 (GUI) 中，LED 亮度和故障保护功能可以用 ALL CHANNEL MODE 和 SINGLE CHANNEL MODE 命令检查，并用 FAULT CHECK 读和写命令检查 LED 开路和短路状态。无闪烁运行、故障保护以及瞬态运行都可以用这个演示电路系统检查。DC2218 可以直接插入 12V DC 电源，而且可以由一个运行该 GUI 的个人电脑控制，或者通过一个简单的 USB 连接重新设定。(未完待续)

用集成式8开关无闪烁驱动器 控制矩阵式LED前灯中的单个LED (下)

Control Individual LEDs in matrix headlights with integrated 8-switch flicker-free driver

□ Keith Szolusha 凌力尔特公司LED驱动器产品部高级设计负责人

接上篇

采用并联通道的 1A LED 矩阵驱动器

LT3965 可用来驱动 1A LED 通道矩阵。并联连接 LT3965 的功率开关很容易，这样两个功率开关就可以均分 1A LED 电流，而每个 LT3965 则控制 4 个 1A 通道。用并联功率开关提供较大电流的一种方式，每个反相并联开关仅在 50% PWM 周期内运行。由于交替运行，单个 NMOS 功率开关仅在一半时间内通过 1A 电流，所以与同样一个 NMOS 功率开关在全部时间内通过 500mA 电流相比，实际产生的热量大约相同。

图 5 显示了一个 1A 矩阵式前灯系统，该系统的 8 个 LED 由两个 LT3965 驱动，还采用了一个“升压然后双降压模式”转换器 LT3797。当进行 PWM 调光时，LT3797 采用独特的 8 开关 1/8 周期相位关系，如图 6 所示。在这个 1A 矩阵式系统中，LT3797 的通道成对并联，以便配对的通道是反相，相互相差 180°，具体而言是通道 8 和 4、7 和 3、6 和 2 以及 5 和 1 配对。并联通道交替分流，有效地将 PWM 频率提高了一倍，提供了分散电流和热量的优势。要想让这正常工作，任何单一并联功率开关的最大占空比都是 50%，因为两个反相开关在 50% 时间接通（每个开关在 50% 时间对

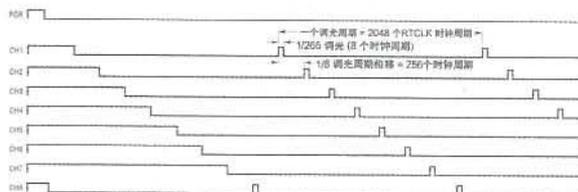


图6 8个LT3965电源开关的1/8 PWM无闪烁相位，在通过PWM调光进行亮度控制时限制瞬态

LED分流)可使LED在100%时间内断开。

每个LT3965控制4个1A LED的亮度，这4个LED由两个1A降压模式LT3797通道驱动(来自LT3797升压的20V通道)。这个坚固的大功率系统可以扩展，用更多LT3965为更多LED供电，或者用更多并联通道为LED提供更大的电流。可以每个通道以1A电流驱动两个LED和驱动这个灵活前灯系统的功率。

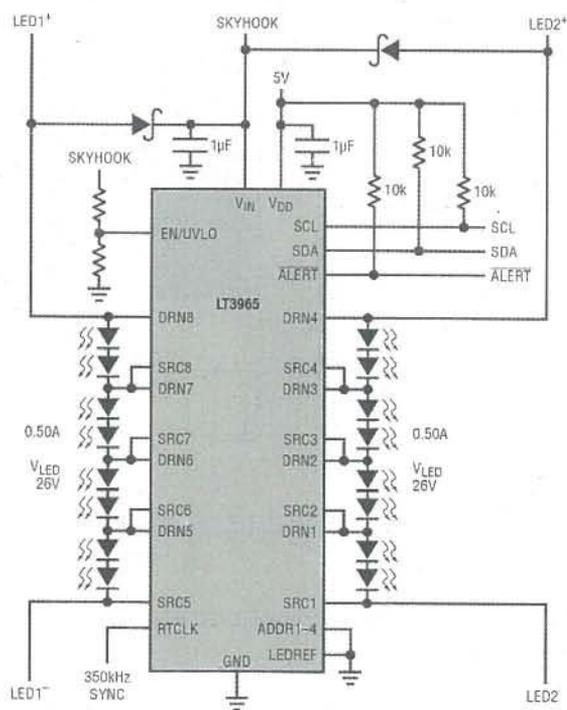


图7 灵活的LT3965可驱动不同LED串上的LED通道，每通道可驱动1至4个LED。(完整的驱动器电路类似于图3，但如本图所示，仅使用一个LT3965。)

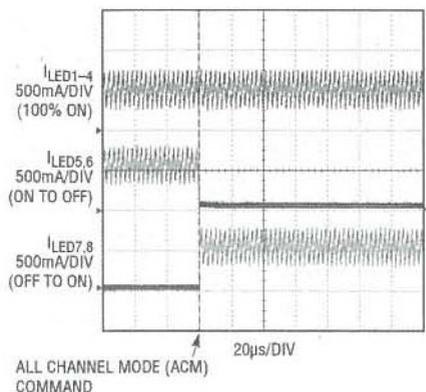


图8 本文所示 LED 矩阵驱动器设计具备最小的交叉通道瞬态效应或根本没有这种效应。例如，转换一半的通道，本文情况就是同时接通两个、关断两个，对其他 4 个未操作通道有很小或没有瞬态影响。未操作通道依然保持无闪烁。

总是有必要这么做。每通道驱动多于一个 LED 可减少系统所需的矩阵式调光器的数量，而且就某些设计而言，这足以满足照明图案和调光要求。前灯、信号灯和尾灯的各个段可能有多达 4 个亮度相同的 LED。应急 LED 灯可能有 3 或 4 个 LED 以相同的图案闪烁和摆动。

图 7 所示电路显示了每通道两个 LED 的系统，这个系统的 LED 数量与图 3 所示电路相同，但是仅用了一个而不是两个 LT3965 矩阵式调光器。

当通过 I2C 接口发来的命令要求 LT3965 接通、断开或对一个通道调光时，受到影响的是由该通道的并联功率开关所控制之两个 LED。为了保持在 LT3965 电压限制范围内，16 个 500mA LED 仍然需要分成两个串联的 LED 串，如图 2 所示。可以使用与图 2 中相同的 LT3797 电路，但是仅用单个 LT3965 控制两个 LED 串。这说明，LT3965 中的每个 NMOS 并联功率开关可以不受其他影响而独立地配置，从而允许无穷多种矩阵设计。

用于无闪烁 PWM 和渐变功能的全通道模式和单通道模式 I2C 命令

LT3965 的 I2C 指令集包括一字、两字和三字命令。这些命令通过串行数据线 (SDA) 和主控制器产生的时钟线 (SCL) 以高达 400kHz 的速度发送。主微控制器负责发送全通道模式 (ACM) 或单通道模式 (SCM) 写命令，以控制 LED 通道的亮度、渐变、开路门限和短路门限以及 LT3965 地址。

每通道超过一个 LED

LT3965 的每通道可以支持 1 至 4 个 LED。尽管单独地控制每一个 LED 有利于实现故障保护或高分辨率的照明图案，但并不

广播模式 (BCM)、ACM 和 SCM 读命令要求 LT3965 报告其寄存器中的内容，包括开路和短路寄存器，以进行故障诊断。当发生新的故障时，LT3965 给出 ALERT 标记。确定哪个 LT3965 报告了故障以及确定了故障类型和通道后，微控制器可以对故障做出响应。在多个 LT3965 IC 报告故障的情况下，LT3965 可给主器件对故障报告排序，以防止差错信息重叠。这保证了警报响应系统的可靠性和正确性。LT3965 数据表中给出了寄存器和命令集的完整列表。

ACM 写命令仅用两个 I2C 字，就可以即时接通或断开单一 LT3965 地址的所有 8 个通道，这些通道同时转换到接通或断开状态。将大量 LED 接通或断开会给 DC/DC 转换器施加一个明显的电流电压负载阶跃。这里介绍的转换器能从容地处理这些瞬变，而且几乎或完全不需要输出电容器和高带宽。

如图 8 所示，对大量 LED 进行通断转换的 ACM 写命令不会使其他通道的 LED 电流产生可见闪烁或大的瞬态。之所以产生了如此小和可控的瞬态，是因为采用了以 LT3797 为主构成的大带宽降压模式转换器。

单通道模式写命令产生相对较小和快速的单 LED 瞬态。SCM 写命令一次仅用来将一个通道设定为 ON、OFF、有渐变或无渐变 PWM 调光。PWM 调光值在 1/256 和 255/256 之间，通过 3 字写命令传送，而 ON 和 OFF 可以用较短的两字命令传送。单个 SCM 写命令上的一个渐变位使得 LT3965 能够以内部确定的对数渐变在两种 PWM 调光级别之间移动，并且没有额外的 I2C 通信量。每个通道的开路和短路门限可利用 SCM 写命令在一个和四个 LED 之间设定。

每个通道的 LED 短路和开路故障保护

短路和开路保护是矩阵式调光器的一种固有优势。每个通道的 NMOS 电源开关能在 1 和 4 个串联 LED 之间进行并联分流。传统的 LED 灯串具备针对整个灯串开路或短路的保护功能，只有某些 IC 拥有输出诊断标记以指示这些故障情况。与此完全不同的是，LT3965 能提供针对个别通道短路和开路的保护并安然度过此类故障，使运作通道保持活动和运行状态，同时记录和报告故障情况。

当一个 LED 串中发生故障时，LT3965 会检测到这个故障，并加上 ALERT 标记，通知微控制器有问题需要解决。如果该故障是开路故障，那么 LT3965 会自动接通相应的 NMOS 功率开关，绕过发生故障的 LED 直至完成全面诊断

或故障消除为止。

LT3965 维持针对每个通道的开路 and 短路故障寄存器，并在发出 I2C 故障读命令时将数据返回给微控制器。命令集包括保持该状态寄存器不变的读命令以及清除该故障寄存器的读命令，从而允许进行用户可编程的故障诊断。寄存器可以通过写、SCM、ACM、BCM 允许的各种不同模式读取。

- 单通道模式 (SCM) 读命令针对单通道返回开路和短路寄存器位。SCM 读命令还检查开路和短路门限寄存器、模式控制以及针对该通道的 8 位 PWM 调光值。

- 全通道模式 (ACM) 读命令回送某给定地址之所有通道的开路和短路寄存器位 (并不清零这些位)，以及所有 8 个通道的 ACM ON 和 OFF 位。

- 在具有很多 LT3965 矩阵调光器共享同一总线的复杂系统中，广播模式 (BCM) 读取操作首先询问哪个 LT3965 地址已经加上了故障标记 (如果有的话)。

- ACM 和 SCM 读取操作可用来检查和清除故障，并读取所有寄存器，以实现一个坚固的 I2C 通信系统。

同一条总线上可有多达 16 个可寻址 LT3965

每个 LT3965 具有四个用户可选的地址位，因而可提供 16 个唯一的总线地址。每个 ACM 和 SCM I2C 命令被发送至

共享通信总线，但只有被寻址的 LT3965 采取行动。该总线上的所有 IC 均遵守 BCM 命令。这种 4 位地址架构允许单个微控制器和单个 I2C 两线式通信总线支持多达 $8 \times 16 = 128$ 个可个别控制的通道。采用 LT3965 时，对于所有 (要求最高的除外) 的照明显示器而言，汽车前照灯、尾灯和装饰灯中所有的个别 LED 皆可由单根 I2C 通信总线和单个微控制器来控制。鉴于每个通道能够连接至多达 4 个 LED，因此一个相对易于实现的系统可支持针对最多 512 个 LED 的矩阵式调光。

结论

LT3965 矩阵式 LED 调光器可控制单个 LED 灯串上的 8 个 LED 亮度通道，从而使照明设计师能不受限制地使用精细和引人注目的汽车照明设计。I2C 通信接口允许一个微处理器控制 LED 灯串中个别 LED 的亮度。I2C 接口中的故障保护可确保 LED 照明系统的坚固性。该矩阵式调光器的通道是多用途的：每个通道能控制多个 LED；通道可组合以支持较高电流 LED；或者可利用位于同一根通信总线上的多达 16 个矩阵式调光器 IC 以形成多 LED 系统。在汽车前照灯、尾灯、前灯、侧灯、仪表板灯和装饰灯的设计中迈出下一步——未来就是现在。 