

# 单个 2MHz 升降压型控制器能驱动整个 LED 车前灯组，并且满足 CISPR 25 Class 5 EMI 规格要求

作者：Keith Szolusha



汽车 LED 前照灯组将远光灯和近光灯、昼间行驶灯、有时还包括信号灯和示宽灯整合为单个车前灯组。该灯组的组件会具有迥然相异的驱动器要求，包括电压和电流要求、拓扑、功率级别或独特的调光功能。满足各种要求常常意味着需采用单独的驱动器解决方案。使用多个驱动器不仅使物料清单 (BOM) 和生产过程复杂化，而且还会导致难以满足 EMI 标准。每个额外的驱动器都会将其高频信号添加至交织混杂的 EMI，从而使 EMI 认证、故障排除和缓解工作变得复杂。

虽然每种汽车款式和型号的车前灯组可以配备富有创造性的各种 LED 电流和电压，但是它们通常最高达到 30W 总值。考虑到这一点，似乎应该有很多可满足灯组中每个灯串之功率和功能要求的驱动器。然而现实情况是并没有。这样的驱动器必须接受相对较宽的电池电压范围，并采用一种升降压拓扑将其转换为各种各样的灯串电压。它必须具有小巧和通用的特点，以便容易地安装到灯组十分受限的空间之中，并产生极低的 EMI，从而尽量地减少研发工作量并免除增设昂贵 EMI 金属屏蔽外壳的需要。而且，它还应该是高效率的。Power by Linear™ LT8391A 2MHz 升降压型控制器在满足所有上述要求方面具有独特性，可驱动整个车前灯组，而且还是仅采用单个控制器。

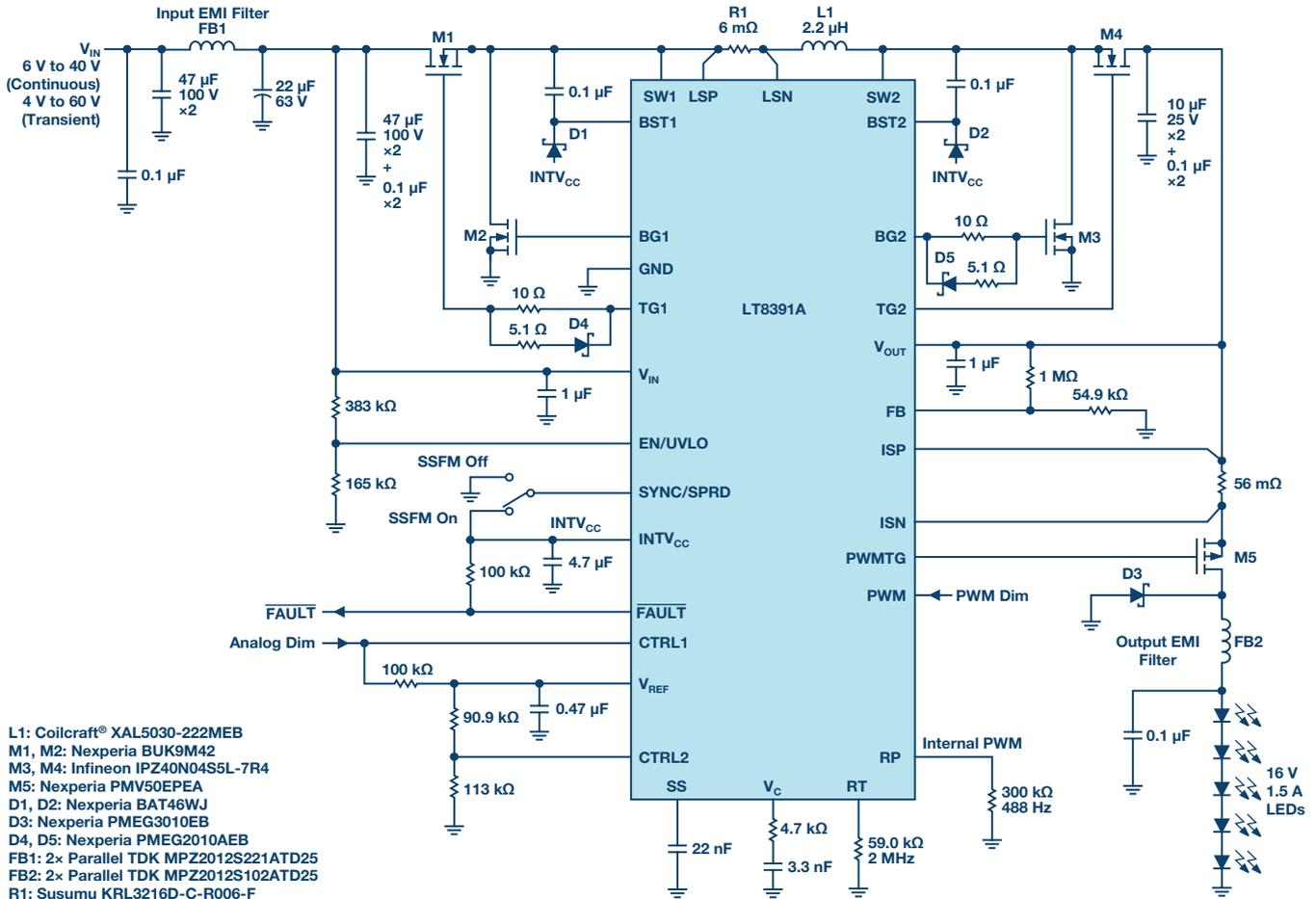


图 1. LT8391A 2MHz 16V, 1.5A 汽车升降压型 LED 驱动器达到 CISPR 25 Class 5 EMI 规格要求

## 具低 EMI 的 LT8391A 2MHz 同步控制器

LT8391A 是同类产品中首个用于 LED 电流调节的 2MHz 升降压型控制器。LT8391A 非常高的 2MHz 开关频率允许使用单个小电感器，并实现面向高功率 LED 应用的小巧总解决方案尺寸。与那些将电源开关内置在 IC 封装之中的单片式转换器不同，诸如 LT8391A 等控制器能够以高得多的峰值电流（比如 10A）驱动外部电源开关。这种峰值电流将会烧毁典型集成化转换器的小型 IC 封装。相比之下，采用外部 3mm × 3mm 同步 MOSFET 的控制器则能提供高得多的功率。这些 MOSFET 可与热环路电容器一起布置在狭小的空间以实现非常低的 EMI。这种独特的峰值开关电流检测放大器架构把检测电阻器布置在功率电感器的旁边（位于至关紧要的输入和输出热环路的外部），这也降低了 EMI。可选的扩展频谱调制 (SSFM) 进一步降低了该控制器的 EMI。

图 1 中的 2MHz LT8391A 16V、1.5A (24W) 升降压型 LED 驱动器拥有高达 93% 的效率，其采用了 EMI 滤波器和栅极电阻器，如图 2 所示。当去掉可选的 EMI 组件后，效率可提高 1%~2%。这款设计采用小型 3mm × 3mm MOSFET 和单个高功率电感器，即使在 24W 功耗条件下，该转换器的温升也是很低的。在 12V 输入时，所有组件在室温基础上的温升均不超过 25°C。在 6V 输入时，在采用标准的 4 层 PCB 且没有散热器或冷却气流的情况下，最热组件的温升小于 50°C。当面对低至 4.3V 的输入瞬变时，该转换器可在 24W 满负载条件下持续运行；或者通过模拟或 PWM 调光减小负载电流（当输入长时间下降时）。8A~10A 检测电阻器使得可在低  $V_{in}$  条件下提供该高功率。

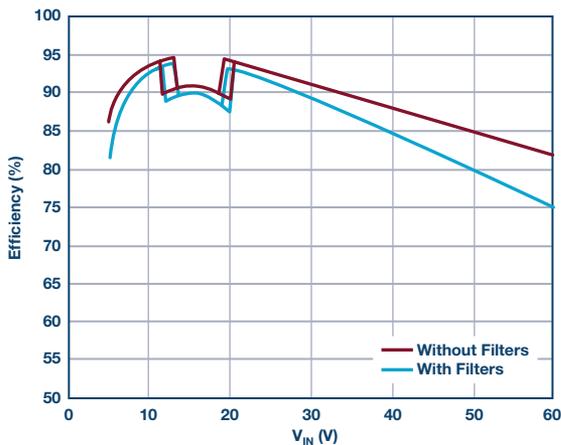


图 2: 图 1 所示 LED 驱动器解决方案的效率。采用 16V、1.5A 演示电路 DC2575A LED 驱动器所做的测量（带和不带可选的 EMI 组件）

LT8391A 具备最新的 PWM 调光特性和开路 LED 故障保护功能。这款同步升降压型控制器可调节流过一串 LED 的电流，这些 LED 的电压可能位于（也可能不位于）输入电压范围（例如：9V~16V 汽车电池或 18V~32V 货车电池）之内。它可在低至 4.0V 的冷车发动输入情况下运行，并能承受高达 60V 的输入瞬态电压。LT8391A 在 120Hz 提供高达 2000:1 PWM 调光比，而且它能够使用其内部 PWM 调光信号发生器（无需从外部提供的 PWM 时钟）以实现高达 128:1 的准确调光比。

## 针对汽车应用的 CISPR 25 EMI 规格

图 1 中所示的 2MHz LT8391A LED 驱动器专为汽车前照灯而设计。它采用 AEC-Q100 组件并满足 CISPR 25 Class 5 辐射 EMI 标准。扩展频谱调制 (SSFM) 降低了 EMI，而且还在执行 PWM 调光的同时无闪烁地运行，如图 7 所示。其小型电感器以及特别小的输入和输出 EMI 滤波器突显了 LT8391A 的小尺寸。对于 2MHz 转换器而言，不需要使用大型 LC 滤波器，而是仅采用了小的铁氧体磁珠以降低高频 EMI。

汽车 EMI 要求不容易通过高功率转换器得到满足。布设在大面积 PCB 上且靠近大电容器的高功率开关和电感器会形成不希望有的热环路，特别是在包括一个大检测电阻器的时候。独特的 LT8391A 升降压型架构将检测电阻器从降压和升压开关对热环路中去除，因而实现了低 EMI。

图 3 和图 4 给出了图 1 所示 24W LED 驱动器的实测 EMI。尽管该控制器具有 2MHz 工作频率和 24W 功率，但是这款升降压型 LED 驱动器仍然达到 CISPR 25 Class 5 辐射和传导 EMI 规格要求。Class 5 规格是大多数汽车 EMI 测试的最严格要求和目标。不能达到 Class 5 EMI 规格要求的转换器要么在设计时置于汽车电路之外，要么就必须装入大的金属材料 EMI 屏蔽罩内。虽然屏蔽罩体积庞大并不会产生装配问题，但是增设屏蔽罩所花费的成本却是昂贵的。

## 面向多光束 LED 灯应用的升降压

LED 车前灯组可以是兼具创新性和艺术创意的。远光灯和近光灯可以与时髦漂亮和独具特色的日间行驶灯 (DRL) “包裹”在一起。因为日间行驶灯仅在远光灯和近光灯关闭时才会需要，故可使用单个 LED 驱动器给远光和近光 LED 或日间行驶灯供电。只有在 LED 驱动器具有灵活的输入至输出比、而且能对输入至输出电压进行升压和降压的情况下，这种做法才会奏效。升降压型设计可满足该要求。

图 5 中的多光束 LT8391A 升降压型 LED 驱动器能够驱动 3V 至 34V 的 LED 灯串电压。这使其能驱动一个近光灯串，并通过给近光灯串添加 LED 以创建一个远光灯。这同一个驱动器在切换之后，可驱动一个电压较高、但电流较低的 DRL。从仅限近光灯的 LED 切换至近光 / 远光灯组合式灯串，就不会在输出电压或 LED 电流上产生尖峰脉冲，如图 6a 所示。LT8391A 能够在升压、4 开关升降压、和降压工作区之间平稳地转换。对于转换器来说，从 LED 数量少的灯串变更至 LED 数量多的灯串时不产生 LED 尖峰脉冲会是棘手的难题，然而这款多光束 LED 灯电路则能轻松地做到这一点。另外，从远光灯与近光灯组合模式切换至仅限近光灯模式也是非常干净的，未产生任何有害的 LED 尖峰脉冲，如图 6b 所示。

当切换至 DRL 灯串或从 DRL 灯串切换至其他灯串时，情况同样如此。图 6c 示出了怎样关闭近光灯并平稳地将 DRL 连接至输出电容器。甚至当 LED 电流从 1A（远光灯和近光灯）变至 700mA（含 8 个 LED 的 DRL）时也未发生任何问题。还可以添加其他的饰物 LED 或信号 LED，而且可使 DRL 闪烁以作为信号灯。图 6d 示出了怎样利用内部设定的 PWM 发生器对 DRL 进行 PWM 调光，然后当黑暗降临时平稳地切换至近光灯。

汽车环境需要能够在出现 LED 短路和开路情况时正常工作的强大解决方案。LED 短路和开路情况利用图 6 所示的多光束 LED 灯解决方案安全地处理，并通过转换器的故障标记进行报告。

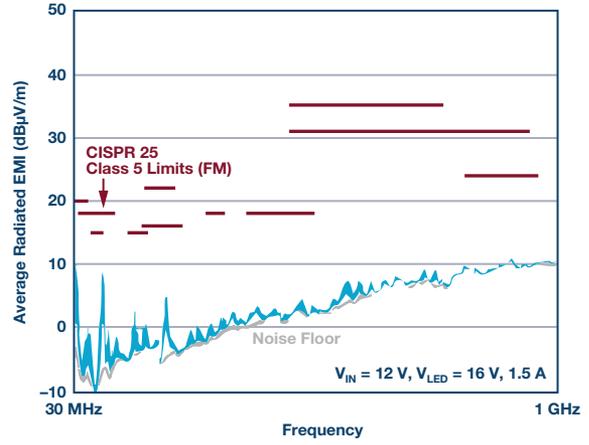
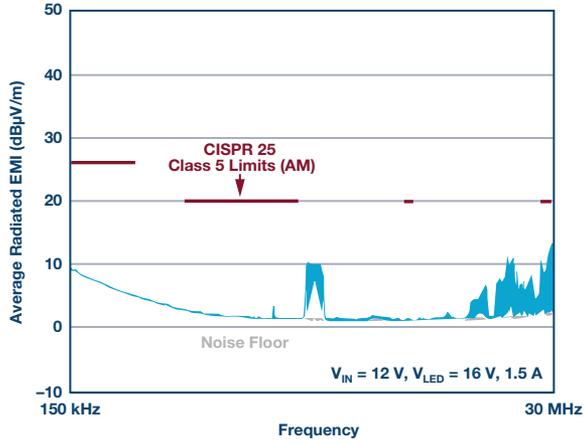
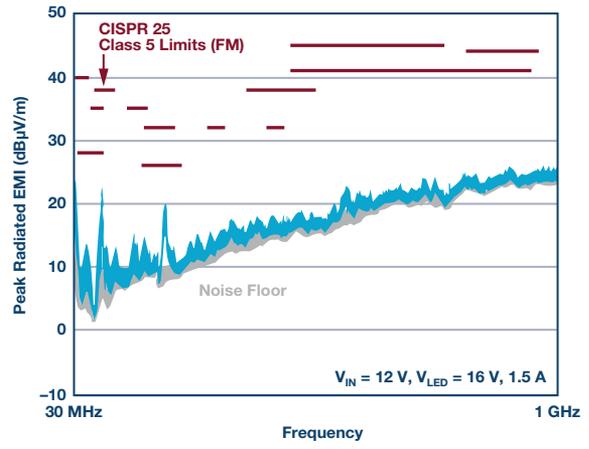
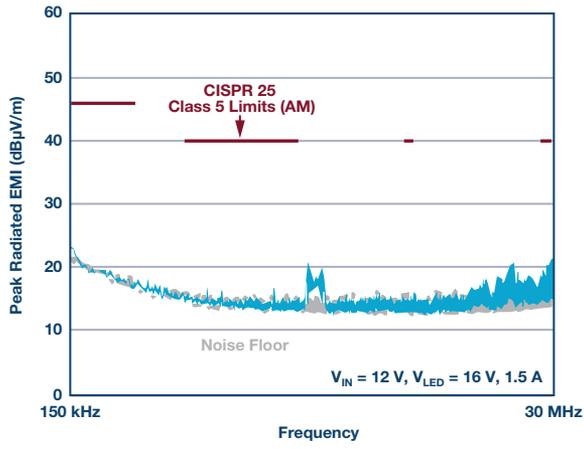


图 3: LT8391A 演示电路 DC2575A 达到 CISPR 25 Class 5 汽车辐射 EMI 规格要求

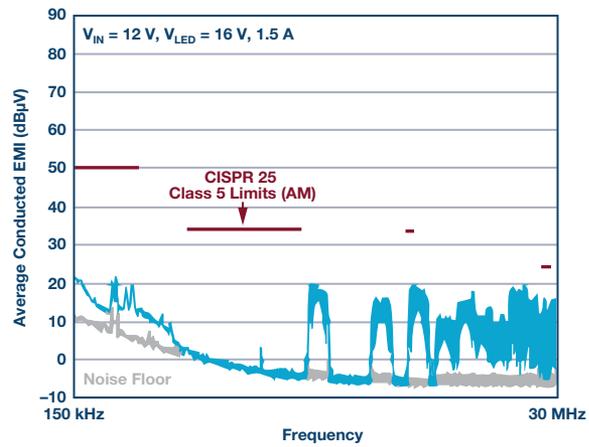
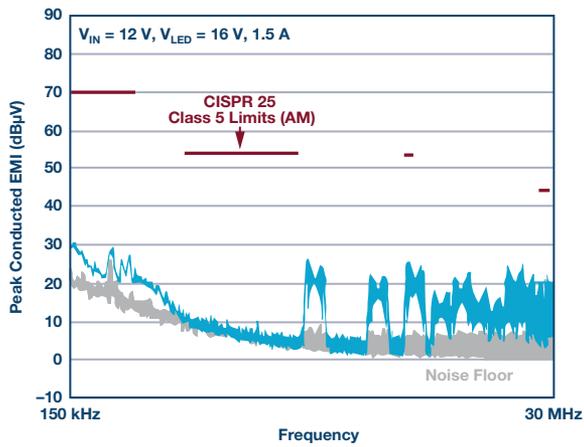


图 4: LT8391A 演示电路 DC2575A 达到 CISPR 25 Class 5 汽车传导 EMI 规格要求

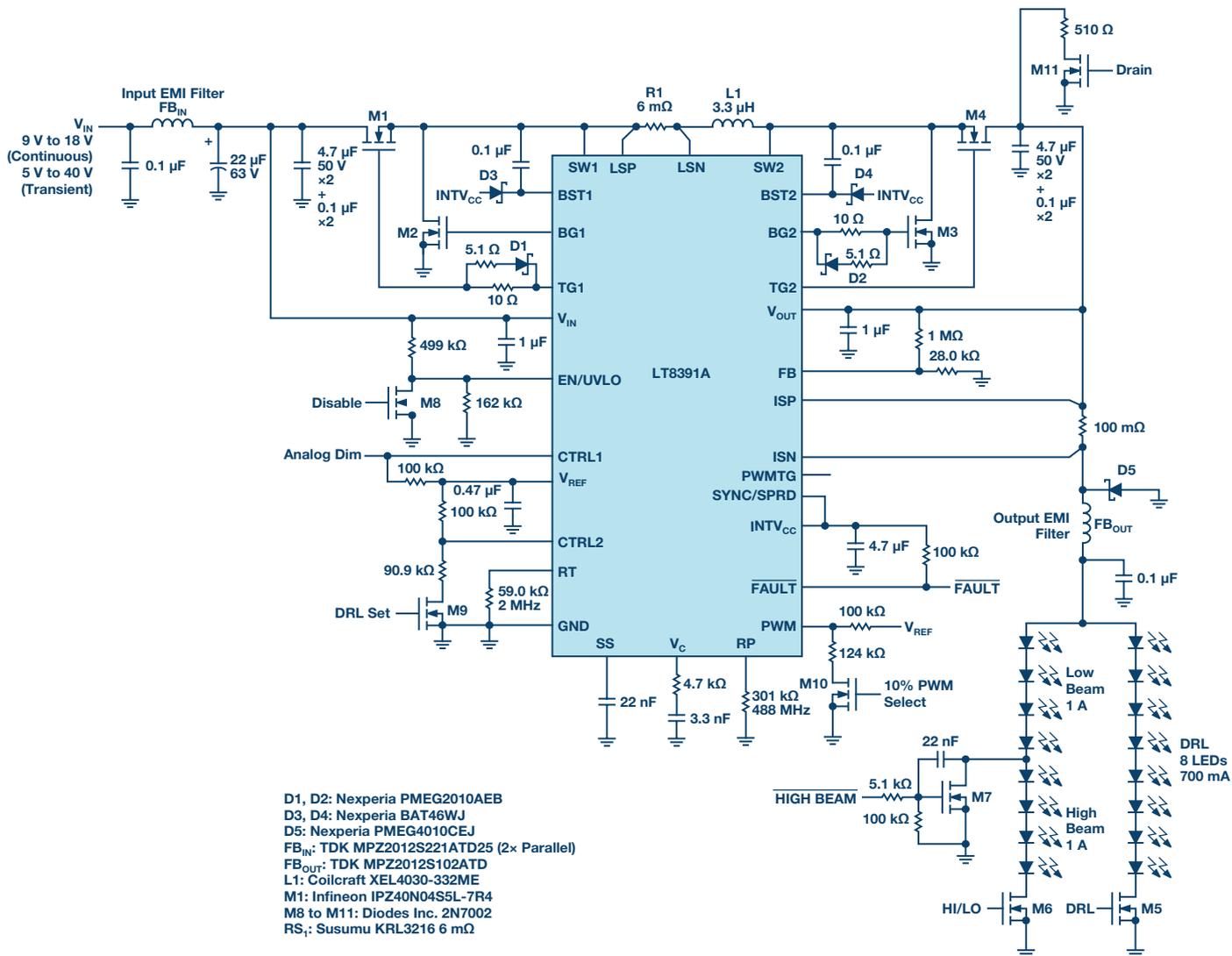


图 5: 用于近光灯、远光灯和 DRL 灯的 LT8391A 多光束 LED 车前灯组解决方案

### FE 和 QFN 封装适合狭小紧凑的安放设计空间

LT8391A 可提供 4mm × 5mm 28 引线 QFN 封装（对于小尺寸应用要求）和 28 引线 TSSOP FE 封装（针对汽车设计）。这两种封装均具有耐热性能增强型 GND 焊盘，以利于消散内部 INTV<sub>CC</sub> LDO 因较高电压所产生的功耗。

这些转换器的内部 LDO INTV<sub>CC</sub> 稳压器能够以 2MHz 频率和大约 15nC 栅极电荷驱动 4 个同步 MOSFET。图 7 示出了 LT8391A FE 2MHz 16V、1.5A 演示电路（DC2575A，基于图 1 所示的设计）的小尺寸。对于该高功率的通用型应用，仅需要单个 5mm × 5mm 电感器。

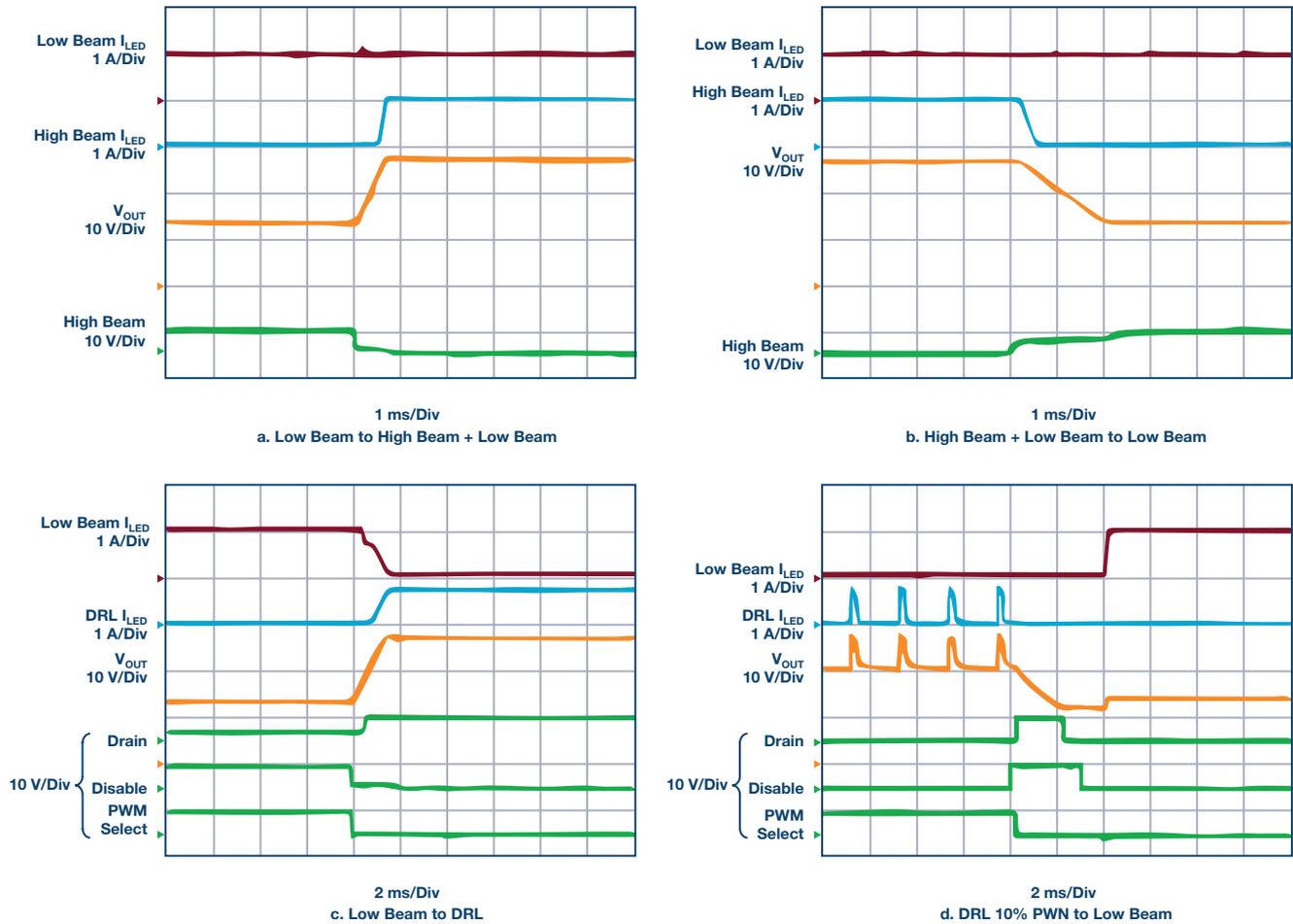


图 6: 波形显示: 对于图 5 所示的 LT8391A 多光束 LED 灯应用电路, 在远光灯 + 近光灯、近光灯和 DRL LED 灯串之间可实现平稳的切换

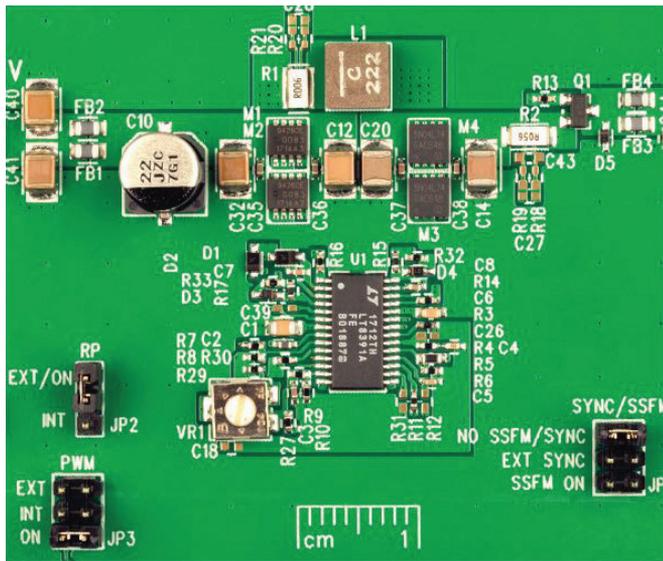


图 7: 紧凑型解决方案: 采用 LT8391A 的 2MHz 演示电路 DC2575A 以 1.5A 驱动 16V LED

### 结论

LT8391A 2MHz、60V 升降压型 LED 驱动器控制器可为汽车前照灯中的 LED 灯串供电。该器件的特点包括其低 EMI 四开关架构和扩展频谱频率调制功能, 用于满足 CISPR 25 Class 5 EMI 规格要求。独特的高开关频率允许其在高于 AM 频段的频率条件下工作, 因而所需的 EMI 滤波非常之少。其小尺寸和通用性使之能够在具有各种电压和电流的车前灯组 LED 灯串中使用。

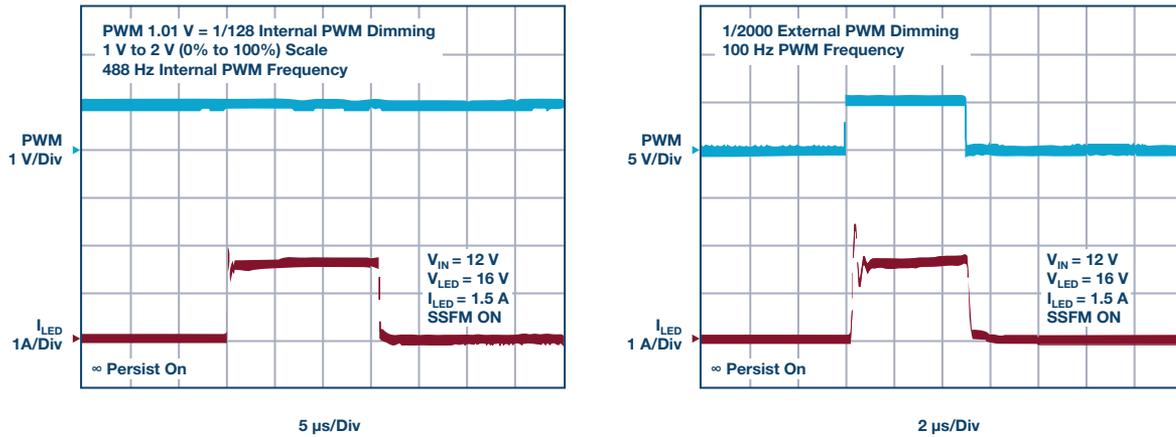


图 8: 采用内部和外部 PWM 选项的 PWM 调光; 分别为 1% 和 0.05%

表 1. 用于汽车电源解决方案的高功率、高效率同步升降压型控制器

|                     | LT8390                                       | LT8390A                                      | LT8391                                       | LT8391A                                      |
|---------------------|--|--|--|--|
| 稳压器                 | x  | x  | x  |  |
| LED 驱动器             |  |  | x  | x  |
| 汽车输入 / 输出范围至 60V    | x  | x  | 150kHz 至 650kHz                              | x  |
| 开关频率                | 150kHz 至 650kHz                              | 600kHz 至 2MHz                                | x  | 600kHz 至 2MHz                                |
| 用于实现低 EMI 的优化热环路布局  | x  | x  | x  | x  |
| 用于实现低 EMI 的扩展频谱频率调制 | x  | x  | 450 W+                                       | x  |
| 输出功率                | 450 W+                                       | 50 W+  | 4mm × 5mm 28 引线 QFN 封装,<br>28 引线 TSSOP FE 封装 | 50 W+  |
| 封装                  | 4mm × 5mm 28 引线 QFN 封装,<br>28 引线 TSSOP FE 封装 | 4mm × 5mm 28 引线 QFN 封装,<br>28 引线 TSSOP FE 封装 |  | 4mm × 5mm 28 引线 QFN 封装,<br>28 引线 TSSOP FE 封装 |

Keith Szolusha [keith.szolusha@analog.com]是位于加利福尼亚州苗必达的ADI公司（前凌力尔特公司）LED驱动器应用经理。他于1997年和1998年获得马萨诸塞州剑桥麻省理工学院的电子工程学士和电子工程硕士学位，专攻技术写作。



Keith Szolusha