

非常见问题第182期： 控制LED驱动器的EMI

Frederik Dostal, 现场应用工程师

问题：

照明设计中使用LED驱动器时，如何降低其电磁干扰？



答案：

使用Silent Switcher®电源。

如今，几乎所有照明应用都使用LED。LED在相对较短的时间内便已成为照明的首选。但在大多数应用中，仅凭LED本身还无法实现其功能。LED必须采用合适的电源才能工作。这样的驱动器电路自然应该尽可能高效以降低能耗，LED主要使用开关电源的原因正在于此。

无论什么类型的电源，都应当考虑电磁兼容性。在LED灯中尤其如此。随着时间推移，针对LED产生的干扰的各种测量、评估和记录标准已经确立。

不受控制的电磁干扰可能会带来严重后果。就在最近，我对此有了直观感触。我的电动车库开门器上的旧E27白炽灯泡烧坏

了。将其更换为现代LED灯泡后，灯又亮起来了。但是，我再也无法使用遥控器打开车库门。因此，肯定是LED灯发出的电磁辐射对车库门的无线电电子设备造成了干扰。

开关电源产生的辐射一部分是传导发射，部分是辐射发射。因此，LED驱动器产生的电磁辐射既可以通过电源线传输，也可以通过磁耦合或容性耦合到相邻电路段中。这些辐射通常不会造成破坏，但可能导致相邻电路元件工作不正常。

因此，使所产生的辐射最小化是有意义的，但在这方面必须满足哪些要求？欧盟的所有电气电子产品都要求有CE标志。CE标志证明产品符合欧盟关于安全、健康和环境保护的规定。只有合规的设备才能在欧洲经济区内流通。世界其他地区，设定了其他与电磁辐射干扰相关的重要要求，例如UL、CSA等标准。

有许多专门涉及LED灯的安全性和电磁辐射的标准，其中一个主要标准是CISPR 11。CISPR代表国际无线电干扰特别委员会。还有许多其他基于CISPR标准的规定和法规，包括ISO、IEC、FCC、CENELEC、SAE等。

采取适当措施并使用外加的电源线滤波器，可以确定地减少传导发射。此类滤波器用于滤除共模或差模噪声。在这里，作用的频率范围通常低于30 MHz。但是，开发此类滤波器并非那么简单。滤波器通常针对特定频率范围进行优化。在其他频率范围，寄生效应以及其引起的器件特性变化可能会造成影响。例如，一个滤波器可以很好地降低100 kHz开关电源所产生的辐射。然而，电源通常会在很宽的频率范围内产生辐射，尤其是在10 MHz以上。在这种情况下，针对100 kHz优化的滤波器甚至可能由于寄生效应和谐振而增加辐射。

这种方式无法确定降低辐射发射。在这里，PCB走线及无源电路元件的寄生电感和电容的大小起着决定性的作用。通常频率在30 MHz以上，至相应标准中规定的上限时，降低这些辐射发射非常困难。它需要丰富的经验和背景知识。特别LED灯的驱动，辐射发射水平可能非常高。通常是驱动一串LED，此串联电路常常需要占用电路板上的大量空间。因此，其几何布局具有天线的特性，所产生的发射被特别有效地辐射出去。屏蔽电路复杂且昂贵，甚至因为光线无法穿过金属板屏蔽层，对LED甚至不能使用金属板屏蔽。因此，解决之道在于限制所产生的辐射发射量。

设计带电源的LED灯泡时，请注意以下关于电磁兼容性的可能性：

- ▶ 在电源的所有输入和输出端增加滤波器，但并不真正了解具体的辐射情况。这通常导致需要为尺寸过大的元件付出高成本，而且制造成本也会提高。
- ▶ 重复使用经过验证的滤波器设计，而不是每次都对滤波器进行适应性调整。这里同样可能导致元件成本较高，而且滤波器的设计也可能不是最优。
- ▶ 委托专家提供滤波器设计。为此，还需要在需要的时候能找到外部专家提供支持。这也会产生额外的成本。
- ▶ 选择具有最低辐射和最佳EMC特性的现成开关稳压器IC设计。在这种情况下，只需要最少的滤波或不需要滤波。

大多数LED驱动器是升压转换器。图1显示了此类转换器的原理电路图。升压转换器输入端的传导发射通常较低。输入电流不是脉冲式（蓝色电流环路）。但在输出端，发射非常高，因为其中有脉冲电流流过反激二极管（红色电流环路）。在导通时间内（即接地开关接通时），电感充电，没有电流流过反激二极管。在此时间段内，为负载供电的总能量来自输出电容。

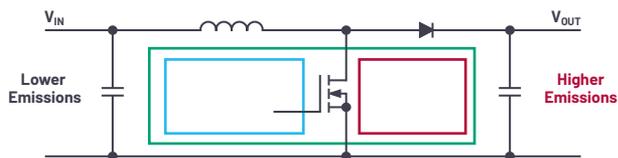


图1. 升压转换器电路图，这是LED驱动器的十分常见拓扑。

在图1中，导通时间内的电流以蓝色显示，关断时间内的电流以绿色显示。电流在非常短的时间（或开关转换时间）内发生变化的所有路径都在图1中显示为红色。这些路径在短短几纳秒内便从有电流状态变为无电流状态。它们是关键路径，必须设计得尽可能小巧紧凑，从而降低辐射发射。

得益于创新，辐射发射比以前低得多的开关稳压器IC最近已上市。关键路径的布置非常对称，以至于不同方向的电流产生的磁场大部分相互抵消。

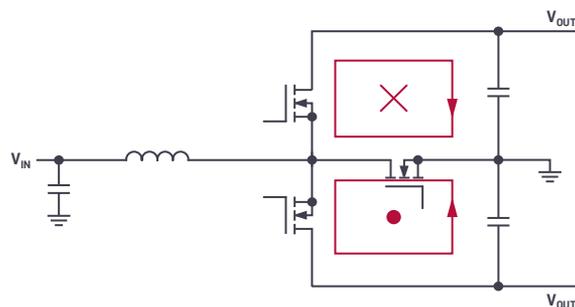


图2. 应用于升压转换器的Silent Switcher概念，磁场相互抵消。

图2显示了此拓扑的对称排列。顶部红色环路中产生的磁场与底部红色环路中产生的磁场大小相同，但方向相反，因而彼此抵消。ADI公司称技术为Silent Switcher。除此创新外，所有关键线段的寄生电感都大大降低，导致辐射场显著减弱。Silent Switcher拓扑利用专有功率晶体管布局来实现这种磁场抵消效果。升压转换器的功率晶体管和输出电容之间的路径（热环路）长度决定了该磁场相关的电感。在Silent Switcher 2技术中，此路径的长度大大缩短。这是通过所谓的倒装芯片技术实现的。开关稳压器IC中的硅不是通过焊线而是通过铜柱连接到IC外壳。这些铜柱的电感要低得多。因此，在电流开关速度相同的情况下，电压失调要低得多，由此便可降低辐射发射水平。所以，通过使用优化LED驱动器IC来大大降低EMI是非常可行的。在某些情况下，甚至可以在不使用EMI滤波器的情况下保持在一定的EMI限值内。

图3显示了一个具有极低辐射发射的实际电路。其中，LT3922-1在升压电路中运行。用8 V至27 V的输入电压驱动一个333 mA的10 LED链。对于这个星链结构，开关频率为2 MHz，产生的辐射极小。

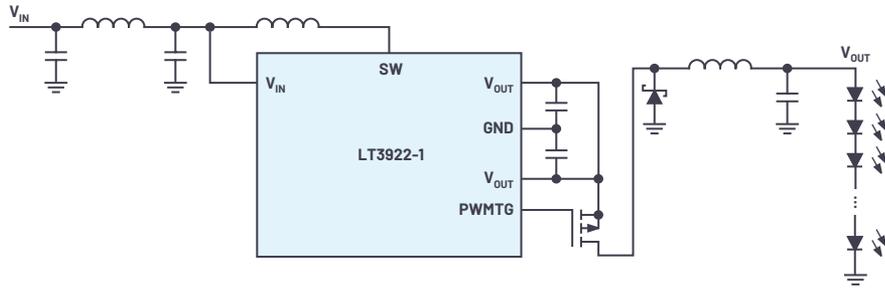


图3. Silent Switcher LED驱动器电路示例，针对最小辐射和最佳EMC特性进行了优化。

图4显示了图3中电路的平均辐射发射。红线显示了CISPR 25规范中的相应限值。可以看出，此规范很容易达到（下冲）。

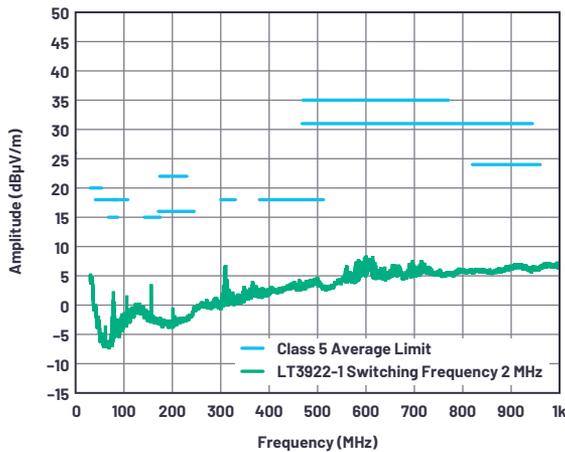


图4. 图3中LT3922-1的平均辐射EMI (CISPR 25)。

诸如LT3922-1之类的低辐射LED驱动器，常常还提供激活扩频调制 (SSFM)功能的选项。这可能不会减少实际产生的辐射，但它会将

辐射分散到更宽的频率范围内。这样，对于各个EMC标准，测量中可以获得更好的结果。LT3922-1在所设置的开关频率和该值的125%之间提供此功能。扩频调制在VHV和UHV频段中也会有非常显著的影响，可将任何给定频率的辐射降低到会影响无线电通信的水平之下。

像所有开关稳压器一样，对于LED驱动器，电路板布局的设计也非常关键。诸如Silent Switcher和Silent Switcher 2技术之类的现代创新有助于大幅改善EMC性能，但避免印刷电路板布局出现任何错误仍然很重要。正确放置传导快速开关电流的关键元件，对于最大程度降低辐射发射尤其重要。这些路径中产生的寄生电感应尽可能小。电流环路也应设计得尽可能紧凑。为了帮助用户周全考虑这些方面，LT3922-1数据手册之类的详细文档提供了有价值而明确的参考信息。

当今的某些现代LED驱动器特别注重使电磁辐射最小化。为此，它们采用了开关稳压器领域中的一些关键创新，包括ADI公司的Silent Switcher和Silent Switcher 2技术。利用这些IC进行设计时，为了符合EMI限值所要做的工作相对较少。



作者简介

Frederik Dostal曾就读于德国埃尔兰根大学微电子学专业。他于2001年开始工作，涉足电源管理业务，曾担任各种应用工程师职位，并在亚利桑那州凤凰城工作了4年，负责开关模式电源。他于2009年加入ADI公司，并在慕尼黑ADI公司担任电源管理现场应用工程师。联系方式：frederik.dostal@analog.com。

