

不管是大功率的还是小功率的 LED 照明应用，一般都由电源、LED 驱动器、LED、透镜和基板几部分构成，其中关键的元件是 LED 驱动器，它必须提供一个恒流输出才能保证 LED 发出的光不会忽明忽暗、以及不会发生 LED 色偏现象，它一般接受 24V-48V 的直流电压输入，但也有一些先进的 LED 驱动器可直接接受 220V 市电交流输入。

LED 照明应用的主要设计挑战包括以下几个方面：散热、高效率、低成本、调光无闪烁、大范围调光、可靠性、安全性和消除色偏。这些挑战需要综合运用适当的电源系统拓扑架构、驱动电路拓扑结构和机械设计才能解决。

Diodes 公司亚太区技术市场总监梁后权指出：“对设计师来说，最大的技术挑战将是高效率要求、光学设计、热管理和提高某些应用的可靠性，如高亮度 LED 街灯。我们现在提供的一系列 LED 照明解决方案覆盖从 0.1W 到 250W 的应用。”

“在 LED 照明系统的应用中，除了选择合适的 LED 产品，一个完整的 LED 照明设计还要包括光学设计、热设计、产品设计和电气驱动设计。由于 LED 是低压器件，因此将高压交流供电转换为 LED 使用的低压恒流驱动将面临许多挑战。”安森美半导体中国区高级应用经理郑宗前指出：“进一步说，为了保证 LED 照明的优势，LED 电气驱动必须是可靠的、高效率的、安全的和低成本。因此，针对不同的 LED 照明的应用，首先需要选择正确的驱动电路拓扑结构。”安森美半导体现可以提供从 1W 到 500W 功率范围内的全部 LED 照明解决方案。

为了快速推动 LED 照明市场的起飞，美国国家半导体公司 (NSC) 最近瞄准了一块非常庞大的白炽灯直接替代市场，即用 LED 灯直接替代现有家庭或其他应用市场中的白炽灯，并推出了一款针对该市场的直接市电输入 LED 驱动芯片 LM3445。

不过，NSC 亚太区电源管理产品市场营销经理吴志民表示：“白炽灯电灯已面世很多年，对于许多多年未改的技术标准，我们的家居照明系统一直也在沿用许多多年未改的技术标准，这个情况并非一朝一夕可以改变过来。例如，基于散热及照明角度等问题，原有的旧式电灯插座或装置并不适宜用来安装 LED 灯泡。但除了技术问题之外，成本效益也亦是使 LED 灯无法普及的最大原因。钨丝灯泡及霓虹光管的售价约为 US\$0.6-0.7/Klm，但目前 LED 灯的售价仍然高达 US\$40-50/Klm。”

正如以上所说，由于 LED 灯必须能够装设在原有的旧式插座之内，因此散热是一个必须克服的大问题。但严格来说，这可以利用机械工程技术解决的问题，LED 系统生产商的责任是努力开发新技术，尽量提高 LED 的亮度(即每单位功率产生的流明量)。吴志民自信地说：“我们可以提供功效效率最高的 LED 驱动器，以确保可将整个灯光系统的散热量减至最少。”

LED 的相对高成本是 LED 照明市场目前仍难以大规模起飞的主要障碍。例如，英飞凌科技有限公司电源管理业务部产品市场总监 Alexander Sommer 就说：“大多数小于 25W 的典型 LED 照明应用是标志灯、标识灯、以及替代标准的白炽灯和卤素灯。但与现有的荧光灯和白炽灯技术相比，LED 初始成本仍然是进入大众市场的一个主要障碍。”

Cytech 产品及设计部工程师徐瑞包也认同主要商业化挑战是成本。他说：“目前各种功率的 LED 照明系统在电路上都是可以实现的，技术挑战来自于终端应用的要求，比如应用于汽车，要考虑到光学设计以及整体散热设计等。商业化部署的挑战则主要来自于 LED 成本。”

### LED 照明设计的散热考虑

25W 以下的 LED 照明系统一般设计用于像阅读台灯、走廊灯、客厅射灯、家用餐灯、小夜灯等应用，客户一般希望这类应用设计得越小巧越好，因此其 PCB 能安放的设计空间相对来说比较小，因此长时间使用时封装空间内的温度有可能会很高。由于设计师不太可能在其内安装一个散热风扇，因此它的散热设计就变得非常关键和重要。

“大多数小于 25W 的低功率 LED 照明应用要求一定程度的小型化。这常常导致更高的功率密度，尽管功耗不是很大。足够的散热管理措施必须通过改进的机械结构提供。此外，高电气效率有助于降低功耗。” Alexander Sommer 指出，“如果需要进一步减少热阻，这可以通过电气隔离来做到，因为它可以实现最高效率的热传递。这些方法也允许实现优化的流明输出。”

另一种防止 LED 长时间工作过热问题的思路是采用调光解决方案。飞兆半导体公司高压 IC 产品行销经理 SangCheol Her 表示：“相比荧光灯和白炽灯，采用调光解决方案是降低 LED 功耗的重要途径，这种方案利用调光控制器来实现。尤其是对于小于 25W 的 LED 驱动解决方案，由于 PCB 尺寸小，而封装空间有限，散热问题无可避免，所以该方案更显重要。”

事实上，在这个功率范围内，LED 照明灯将会取代卤素灯和紧凑型荧光灯 (CFL)。此外，先进的技术为了摆脱散热问题，必须去掉对温度变化敏感的无源组件如电解电容。然而，目前大多数 LED 驱动器解决方案都源于电源拓扑并以此为基础，故应该考虑到温度范围的限制，因为一般产品通常基于商业标准，但照明灯却必须确保能够适应严苛的环境如工业环境。

### LED 照明设计的架构选择

LED 照明系统架构选择取决于你的设计目标是低成本、高效率还是最小 PCB 面积。一般来说，小于 25W 的 LED 照明系统不要求进行功率校正，因此可以采取简单一些的拓扑架构，如 PSR 或 Buck 拓扑。25W-100W 的 LED 照明应用要求进行

功率校正,因此一般采用单级 PFC、准谐振(QR)PWM 或反激式拓扑。100W 以上 LED 照明应用一般采用效率更高的 LLC 拓扑和双级 PFC。

“低于 25W 功率 LED 照明解决方案可采用 PSR 或 Buck 拓扑,因为这一功率范围主要针对小型设计,强调设计的简单性。中等功率解决方案(25W-100W)适合于单级 PFC、准谐振(QR)PWM、反激式拓扑。” SangCheol Her 说,“大功率解决方案(大于 100W)则适合采用 LLC、QR PWM、反激式拓扑设计。从效率角度来看,LLC 和 QR 性能更好;而 PSR 方案无需次级反馈,设计简单,尺寸也比其它方案小。”

郑宗前也表示:“小于 25 W 的 LED 灯具主要应用在室内照明,它们主要采用低成本的反激拓扑结构。安森美半导体的 NCP1015 和 NCP1027 单片变换集成电路集成了内置高压 MOSFET 和 PWM 控制器,可以有效的减少 PCB 的面积和灯具的体积,提供最大 25W 的功率输出(230V AC 输入)。”

“对于非隔离型小于 25W LED 照明应用,如果输入到输出转换比低,那么简单的降压转换器可以是一个低成本和小体积的选择。在看重效率的隔离型拓扑架构中,使用像英飞凌 CoolSET ICE2QS 系列器件的准谐振反激式拓扑就是一个很好的选择。” Alexander Sommer 说。英飞凌是第一家提供数字准谐振反激控制 IC 的供应商。

25W-100W 功率范围的典型 LED 照明应用是街道照明(小区道路)和像停车场这样的公共场所。功率转换效率、PFC 功能的高性价比实现和高颜色品质现在是最重要的三大技术挑战。例如,在商业照明和街道照明应用中,更长得使用寿命和由此产生的更低维护成本正帮助克服较高初始成本的进入障碍。25W 到 100W 的 LED 照明应用有功率因数的要求,因此需要增加功率因数校正电路。

“这种电路可以采用传统的两段式结构,即有源非连续模式功率因数校正(PFC)电路加 DC-DC PWM 变换电路,如安森美的功率因数校正控制器 NCP1607, NCP1607 的外围电路非常简单并可以提供很好的性能。”郑宗前表示,“对于高效率、低成本和小体积的 LED 方案而言,值得推荐的是单段的 PFC 电路,它可以同时实现功率因数和隔离的低压直流输出,并具有显著的成本优势,必将成为中等功率 LED 照明的主流方案。安森美半导体的 NCP1652 为实现单级的 PFC 电路提供了最优的控制方案。”

深圳世强电讯则采用 Silicon Labs 的 C8051F3XX 系列 8 位 MCU 以软件方式实现 PFC。该公司助理市场经理黄孙峰说:“我们针对家用市电(180V-260V)输入 10W-30W 小功率 LED 照明应用开发出的全数字化 LED 照明方案,可用软件控制方式实现高达 0.95 的 PFC 值。与硬件 PFC 相比,该套软件方案在保证同样性能指标的前提下,还具有更高的灵活性、适应性及可升级性。”该方案采用的 LED 驱动器 MIC3230 的最大输出电流为 350mA,最多可驱动 12 颗 1W 的 LED,能够很好地满足室内照明的需求。

Alexander Sommer 说：“对于要求在一个很宽的输入和/或负载范围内(如调光)具有效率和性能的 25W-100W 功率 LED 照明应用，建议采用带一个独立 PFC 级的准谐振反激式拓扑结构。典型地可实现高达 90%的效率。”

100W 以上应用包括主要道路和高速公路照明(这里需要高达 20K 流明或以上的亮度、以及 250W 的电源输入)和专业应用，如舞台灯光照明和建筑泛光灯照明。在高功率应用中使用 LED 的一个关键驱动力是可靠性和低功耗带来的低拥有成本。例如，其系统效率可与金属卤化物和低压钠灯相比。初始成本比较可能在短期内继续是该市场进入门槛。

郑宗前指出：“对于大于 100W 的 LED 应用，我们将采用传统的有源非连续模式功率因数校正电路和半桥谐振 DC-DC 转换电路。我们推出了一种新型的集成控制器，它集成了有源非连续模式功率因数控制器和具有高压驱动的半桥谐振控制器。”

该半桥谐振控制器工作在固定的开关频率和固定的占空比，并且该电路不需要输出侧的反馈控制回路。这使得半桥谐振 DC-DC 变换电路工作在效率最高的 ZVS 和 ZCS 状态。直流输出电压将跟随功率因数校正电路的输出。

Alexander Sommer 强调：“对于 100W 以上的更高功率级 LED 照明应用，效率变得更加重要，建议使用 LLC 谐振拓扑结构，它可以实现 90%以上的效率。我们建议你使用英飞凌新的 8 引脚器件 ICE1HS01。”

不管 LED 照明系统的输出功率有多大，LED 驱动器电路的选择都将在很大程度上取决于输入电压范围、LED 串本身的累积电压降、以及足以驱动 LED 所需的电流。这导致了多种不同的可行 LED 驱动器拓扑结构，如降压型、升压型、降压-升压型和 SEPIC 型。

凌力尔特公司电源产品部产品市场总监 Tony Armstrong 指出：“每种拓扑结构都有其优点和缺点，其中，标准降压型转换器是最简单和最容易实现的方案，升压型和降压-升压型转换器次之，而 SEPIC 型转换器则最难实现，这是因为它采用了复杂的磁性设计原理，而且需要设计者拥有高超的开关模式电源设计专长。”

总而言之，终端产品的应用决定 LED 的拓扑结构，然后再根据 LED 的拓扑结构和输入电源再合理选择 Buck、Boost、SEPIC、或 Buck-Boost 结构。“一般来说，25W 以下选用 Buck 的较多。更大功率的则倾向于选择 Boost 结构。效率的话两者一般都可以做到 85%以上，LT3755 可以做到高达 97%的效率。考虑驱动部分 BOM 成本的时候更应该考虑整体系统成本。”徐瑞包说，“随着竞争的加剧，时时会有更低 BOM 成本的方案，但不一定是最合适的。我们不建议按照这个标准设计产品。PCB 面积主要受主要元件的控制，小功率的 LED 灯尽量采用集成度高

的方案。大功率的方案要选用技术集成度高的产品，外围电路简单。此处讨论的都是指 DC-DC 的解决方案。”

梁后权也指出：“为了达到高效率要求，应当考虑采用开关模式 LED 驱动器，大多数这类客户更喜欢选择降压 LED 驱动器，因为总的效率更高一些。如果从最低 BOM 成本角度来考虑，开关型 LED 转换器不是最便宜的。此类客户可能会试图采用线性恒流 LED 驱动器。这可以提供最低的 BOM 成本，但效率可能就不会像开关模式 LED 驱动器那样高。如从最小 PCB 板面积的角度考虑，通常将选用开关模式转换器，因为它们产生更少的热量，甚至相关的元器件体积也将会更小。”

### 模拟、PWM 和 TRIAC 调光方案

LED 调光解决方案及规范一直在不断变化，直到现在还未固定下来，所以现在市场上存在 PWM、模拟及可控硅 (TRIAC) 三种调光方案。PWM 和模拟方法是其中较简单的，但需要构建调光基础架构和新的调光控制器。

模拟调光方案的缺点是，LED 电流的调节范围局限在某个最大值至该最大值的约 10% 之间 (10:1 调光范围)。由于 LED 的色谱与电流有关，因此这种方法并不适合于某些应用。

PWM 调光方案则是以某种快至足以掩盖视觉闪烁的速率 (通常高于 100MHz) 在零电流和最大 LED 电流之间进行切换。该占空比改变了有效平均电流，从而实现高达 3000:1 的调光范围 (仅受限于最小占空比)。由于 LED 电流要么处于最大值，要么被关断，所以该方法还具有能够避免在电流变化时发生 LED 色偏的优点，而在采用模拟调光时这种 LED 色偏现象是很常见的。

SangCheol Her 则看好 TRIAC 调光方案的市场前景，他表示：“可控硅 (TRIAC, 2 线调光) 将成为非常流行的解决方案，因为这种技术可以完全使用传统的系统而不需任何改变。而且，它还能够扩展为 3 线调光，以避免出现与低功率因数相关的缺陷。”

TRIAC 调光今天是业内非常热的一个话题，最初，TRIAC 调光器是为白炽灯而设计的，但大多数用户希望相同的 TRIAC 调光器也能对替代的 LED 灯进行调光。梁后权表示：“Diodes Zetex 目前可为客户提供全部的调光解决方案 (包括 PWM、模拟和 TRIAC)。例如，ZXLD1362 LED 驱动器用一个 ADJ 引脚来实现模拟和 PWM 调光，这就为客户带来了很大的设计灵活性。”

不过，郑宗前认为，市场上 TRIAC 调光器的应用方案应该只是过渡性的，长远来说，应该会用 PWM 调光。他说：“主要的三点决定性因素为：1) 用 PWM 调光从零到最光，都不会有闪烁的现象。2) 性能会更好。因为调光输出功率采用了功率因数校正电路，这是配合全球对灯光采用功率因数有强制性的要求，虽然一般从 25 W 开始有这要求，但美国要求灯光从零瓦起已需强制性功率因数校正电

路。如采用 TRIAC 调光将牺牲功率因数和增加了电路的复杂性。因此，采用 PWM 调光可以提供最好性能的选择，也是未来的趋势。3)成本会更好。用 PWM 调整占空比，不需要太多额外的控制电路成本。”

Alexander Sommer 也看好 PWM 调光方案前景，他说：“与模拟调光方法相比，LED 的 PWM 调光方法有以下优点：1)效率更高;2)不管调光程度有多大，允许 LED 一直在优化的和恒定的电流下工作;3)在整个调光范围内 LED 颜色色调保持一致(颜色色调像流明输出一样随 LED 工作电流而变化)。”

徐瑞包也坦率地说：“个人觉得，调制方式的选择不应该决定于 LED 的功率。而应决定于终端产品的应用要求。比如，显示背光或者 LED 装饰灯可能会选用 PWM 的调光方式，颜色一致性好，亮度级别高。但是对于一般的家用照明或者商业照明，模拟调光或者 TRIAC 也可以选择，不过会产生色偏，并且调光的级别会很低。”

梁后权也表示：“为了在连续调光时实现无闪烁，大多数客户喜欢选择 PWM 调光，因为它可提供更大的调光范围和更好的线性度。取决于你正在使用的调光频率，闪烁现象可以降到最小。模拟调光更容易实现，因为它只需要一个 DC 电压就可以无闪烁地对 LED 进行调光。但通常来说，调光范围要窄一些。”

对于由多个 LED 构成的大功率照明应用，确保每个 LED 具有均匀的亮度且不产生任何闪烁也成为了主要的设计障碍，但 PWM 方法很容易解决调光时的闪烁问题。“若 PWM 调制器的占空比能保持恒定，就便应该不会存在有灯光亮度不均匀的问题。”吴志民表示，“美国国家半导体的 LED 驱动器不但能确保输出的电流大小均匀，而且也确保画面有极高的光暗对比度。从以这几方面来说，我们的 LED 驱动器都比市场上的同级产品更出色优胜。”

Tony Armstrong 指出，总之，最终用户所采用的调光方法在很大程度上将由 LED 本身的最终用途来决定。例如，在 LED 用于给显示器提供背面照明的汽车信息娱乐系统中，环境照明的亮度变化范围是非常宽的，既有阳光充足时的无比明亮，也有无月之夜的漆黑一片，可谓千差万别。由于人眼对于环境照明条件的轻微变化极其敏感，因此需要 3000:1 的宽调光范围。这将要求 LED 驱动器电路采用 PWM 调光方法。

不过，他补充道：“在 LED 街灯中，由于这种灯常常要么处于接通状态要么处于关断状态，因而只需要一个有限的调光范围即可。在这种场合中，仅需采用一种简单的模拟调光法便能满足要求。”

如前所述，小于 25W 的 LED 照明应用主要是替换标准白炽灯和卤素灯。在这一功率范围上，最可能的一个应用就是替代由基于 TRIAC(双向可控硅)的逐步削减入墙式调光器控制的白炽灯或节能灯。目前市场上有前沿和后沿削减调光器，这为整体兼容性带来了挑战，因为从 EMI 的角度来看 TRIAC 调光是很差的。

“对于要求最佳性价比的非调光应用，使用像英飞凌 TDA4863G 这样的 DCM PFC 的单级 PFC 反激拓扑是一个合适的选择。”Alexander Sommer 认为，“25W 及以上功率范围 LED 照明应用面向更多的专业市场。调光控制方法的选择将取决

于它是替代型还是新安装型。数字照明控制(如 DALI 或无线解决方案)允许对调光水平进行更精确的控制、以及更多的功能,如日光下调光和占空比感应。替代型安装可能要求兼容旧的模拟 1-10V 调光控制器。”