

新型可调光 LED 灯具应用设计关键

- 近年来，随着LED灯具的出现，照明领域发生了革命性的变化。在欧洲和美国的零售商店，古老的白炽灯泡已难觅踪迹，甚至禁止销售。而在替代灯具市场，低功耗的紧凑型荧光灯（CFL）现在面临着新的竞争对手。LED技术正在不断改进，LED灯具在亮度和功率方面日益强大。这些特性再加上其特有的高能效，使LED灯具成为照明的理想选择。

一般白炽灯泡每瓦能产生 10流明，而LED制造商宣称LED灯具每瓦最高可达到 100 流明。然而，外形和最高工作温度的局限使得LED难以发挥全部潜力。目前性能最好的LED替代灯具，效率可达到每瓦 50-60 流明。因此，LED灯具在效率标准方面与CFL灯具已经难分伯仲（注：CFL灯的效率范围为每瓦 60-70 流明，且改进潜力有限）。

生态问题也日益受到公众关注。随着人们对全球变暖和气候变化等环境问题的意识不断提高，节约资源和能源的理念正成为很多市场营销策略的要点。过去 10 年间汽车油耗的降低和白炽灯的禁用很好地说明了这一趋势。全球多国政府已经制定白炽灯淘汰的时间表。还有一些公共政策专门为节能环保的“生态”产品提供宽松的税收支持或其他财务帮助。

LED 的内在优势非常符合公众对安全、节能和环保照明解决方案的热切期盼。LED 还有许多其他优点，如较高的调光能力、较长的使用寿命和较小的外形尺寸，在外形、颜色、寿命和成本方面打开了方便之门。

采用在机械、光、电和热等各方面都兼容的LED照明解决方案替代传统的照明源（荧光灯、CFL节能灯、卤素灯或其它白炽灯）是一场正在发生的工业变革。商务、办公和住宅照明市场呼唤高质量的LED改良灯具。尽管成本问题仍然是这些解决方案的主要障碍，但同时还需要注意以下技术问题：

- 与现有基础设施的电气兼容性，特别在使用标准入墙式插座调光器时。
- 外形须采用螺口型式
- 必须解决 LED 的散热问题

1.1 调光器的兼容性

目前，家庭、旅馆和办公场所照明灯具的控制设备都是针对白炽灯设计安装的。提供调光功能的最好方法是使用“市电切相”调光器。这种调光器原理上是为白炽灯供电而开发的。从电学方面看，白炽灯可视为一个电阻性负载。

而电子照明源（如CFL节能灯或LED灯）的电气等效负载则不再是纯阻性负载。这样在调光器工作方式上就产生了很大的不同。负载使用不当会导致系统功能失常，可能出现令人非常不舒服的闪烁、甚至损坏灯具或调光器。这样可能引起用户不满，从而推迟采用LED解决方案。目前，调光器仍然价格昂贵且难以安装。因此，推出兼容现有调光器的优质解决方案成为兑现LED照明推广承诺的必然。

- 切相调光器虽然类型各异，但是工作原理基本相同（即在每个周期切掉部分电源正弦波）。这可以通过开关来实现。开关接通时，电源就输送到负载（灯泡）。开关断开时，则不供电。通过调节开关导通时间，就可以调节供给负载的总能量。

调光器分为两类：前沿切相型和后沿切相型。见图 1。

- 前沿切相调光器，就是在电源半周期开始时切相。经过了与调光位置相对应的一段时间后，开关才导通为负载供电直至半周期结束。经过零点后，重复相同操作。见图 1 和图 2。

- 后沿切相调光器，就是开关在半周期开始时导通，经过与调光位置相对应的一段时间后断开，并将断开状态保持至半周期结束。经过零点后，重复相同操作。见图 3 和图 4。

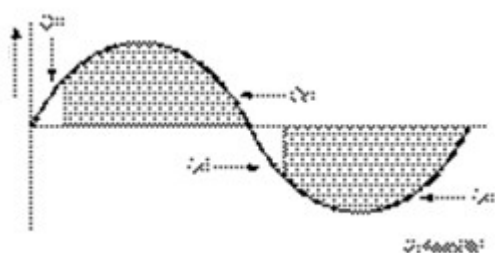


图 1. 前沿型-调光器最大位置

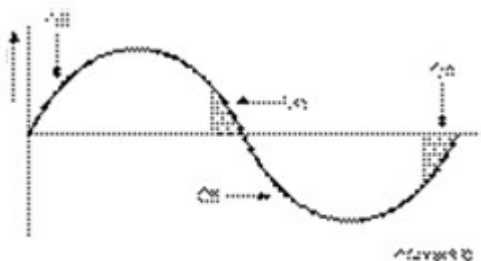


图 2. 前沿型-调光器最小位置

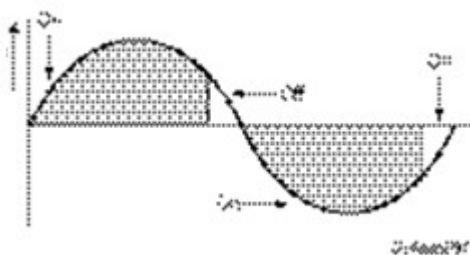


图 3. 后沿型-调光器最大位置

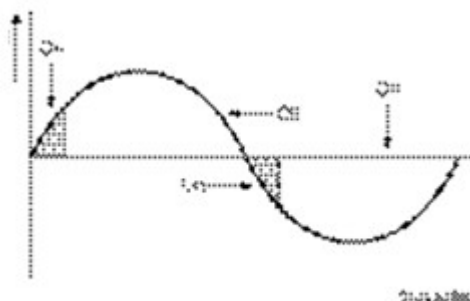


图 4. 后沿型-调光器最小位置

要完成切相，主要使用两个技术：**TRIAC**（双向可控硅）开关或**晶体管**开关。**TRIAC**调光器多为前沿切相调光器。晶体管开关既可以是前沿切相调光器也可以是后沿切相调光器。**TRIAC**调光器的问题是它需要满足特殊的条件才能正常工作：**TRIAC**可以通过触发栅极来打开，一旦触发，仍需要一个最小的电流来维持其处于导通状态。这个触发电流被称为“**门锁电流**”，而且为了保持**TRIAC**导通，电流必须加载一段时间。一旦器件被**门锁**，必须有持续的电流供应。这个电流被称为“**保持电流**”。如果这个电流断开或减弱，**TRIAC**将关断。为了兼容调光器，**LED**灯具必须吸收调光器所需的保持电流。例如，如果一只 **6W**的**LED**灯（大致相当于 **40W**的白炽灯泡）要与一个最小负载为 **10W**的调光器配合使用，就需要一些额外电路来提供足够的保持电流。在这种情况下，灯泡效率会降低，但与 **40W**相比仍然是高效率。如果没有这个电路，**LED**灯则无法正常工作。不同调光器的保持电流有所不同。因此，额外损耗越大，与调光器的兼容性就越好。可调光应用的设计难点就在于找到灯具效率和调光器兼容性之间的最佳权衡。

- 恩智浦的**SSL2101**（及其衍生产品**SSL2102**）有两个由**IC**控制的集成泄放开关。通过外接电阻，可以设置两个不同的泄放电流。**IC**为电流选择提供了更大的灵活性，并优化了调光器兼容性。**SSL2103**（**SSL2101**的仅控制器集成版本）中则去掉了集成的泄放开关，但可以用低成本的外部双极型开关（仍由**IC**驱动）代替，可选择提供更高的泄放电流。同时，

该版本还移除用于转换器操作的内置MOSFET，但可以进行外部修正，从而形成满足特定调节要求的解决方案。

1.2 选择外形尺寸与拓扑结构的关系

LED灯具本质上属于电流驱动型。它们的发光强度大致与通过电流成正比。因此，可以采用不同的拓扑结构使用市电来驱动。拓扑结构选择的关键目标之一是确定最终应用的外形尺寸。小于 15W的低功率LED灯主要针对现有灯具的改良应用。这意味着灯泡的形状必须与现有传统灯具相近。目前市售产品主要采用下面三种拓扑结构：

1.2.1 LED 与电阻串联

- LED 与电阻串联，电阻与市电直接相连。这种拓扑最简单。只要电源电压高于二极管

正向电压之和，LED 即导通。LED 的最大电流由电阻值决定：
$$I_{peak} = \frac{V_{mains_max} - n \cdot V_f}{R}$$
 其中 n 是 LED 的数量， V_f 是其正向电压。

这个解决方案简单但效率不高。例如，一个 12W 的应用，其 LED 的最大电流可能达 500 mA。总正向电压将为 24V。对于 220V 的交流市电，所需电阻值为 574Ω。这个电阻在电流为 500mA 时将消耗 143W 功率。当然，我们可以考虑使用低电流二极管，但达到相同功率所需的 V_f 更高。这样做的直接后果是，开启时间大幅缩短，且会出现闪烁。

1.2.2 降压式拓扑

- 降压式拓扑是最高效的拓扑结构之一。其基本原理如图 5 所示。

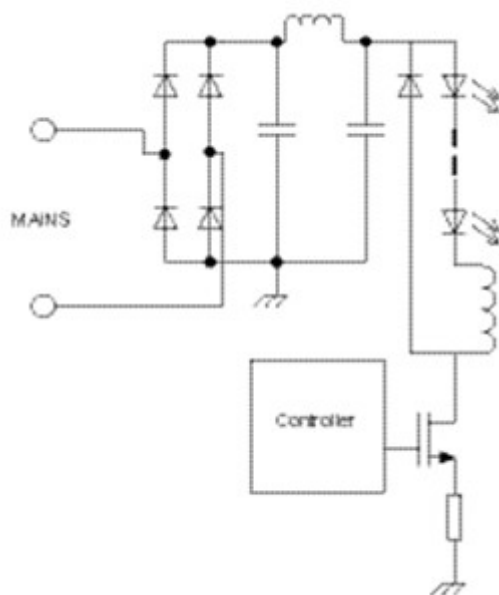


图 5. 降压式拓扑原理图

当开关接通时，电流流过LED线圈并发光。为了控制电流值，一个传感器电阻与地串联。通过检测该电阻上的电压，当其达到过流保护（OCP）值时，开关会断开。线圈中存储的能量则通过续流二极管和LED释放。

- **这种拓扑有两大优点：**

- 首先是效率非常高，特别是低功率应用时（小于 10W）。使用这种拓扑的 LED 普通照明灯通常宣称其效率高于 90%。

- 第二个优点是外形尺寸。总体外形尺寸对于灯具改良市场非常重要，因为最终的产品外形必须与传统白炽灯或卤素灯产品相近。降压式拓扑不使用变压器或光耦器件，因此线圈相对较小，特别在开关频率相对较高时尤其如此。

这种拓扑也有两个主要缺点

- 这种拓扑的主要缺点是不提供任何电气隔离。考虑到散热因素，LED 通常安装在金属散热器上。这样，出于安全原因，会强制要求电气隔离。

- 第二个缺点是 LED 与线圈串联。这样就需要在二极管的总正向电压与转换器的最大损耗之间进行权衡。如果输入和输出之间压差过大，就会降低效率。

1.2.3 反激拓扑

反激式拓扑结构中，线圈由变压器代替，LED 连接到变压器的次级端，如图 6 所示。

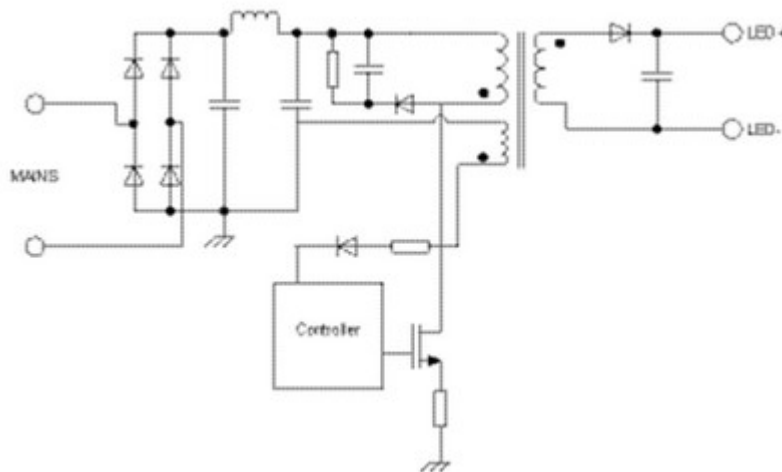


图 6. 反激式拓扑原理图

当开关接通时，电流流过变压器，而变压器次级端上的二极管处于阻断状态。当开关断开时，次级端二极管开始导通，电流流过二极管并发光。

反激式拓扑的主要优点是 LED 与变压器的次级端相连。由于可以选择绕线匝

数比，所以不需要在 LED 的数量和效率之间进行权衡。这样的拓扑结构可以进行电隔离，因而设备的安全性提高了，VCC 的产生也更为简单。还可以给变压器增加一个辅助绕组线圈，这样就能为控制器提供电源。

就改良市场而言，这种拓扑主要的缺点是其应用的实际尺寸较大。变压器（如需反馈则可能添加光耦）占用了大量空间。一些控制器，如 SSL210x 系列，可以同时兼容降压式和反激式拓扑。根据需求不同，如当需要安全性和良好的散热性能时，可以采用非常紧凑的降压式应用；如果要求 LED 功率很高或有电隔离，则可以使用反激式拓扑。为了获得更小的外形尺寸，SSL2101 和 SSL2102 均集成了功率开关。

• 1.3 调光

LED 很容易进行调光。其发光强度大致与供电电流成正比。只要降低平均电流，发出的光能就会减少。然而，要设计一个调光拓扑则比较复杂，需要使用不同的技术，如 PWM 调光、调频或者 I 峰值调制。

- 使用 PWM 调光时，输送至 LED 的瞬间电流只有两个值：0 或 I 最大值

- 当 $PWM=0$ 时, $I_{LED}=0\text{ A}$
- 当 $PWM=1$ 时, $I_{LED}=I_{\text{最大值}}$

通过调整 PWM 信号的占空比, 可以改变 LED 平均电流。这种技术要求转换器扮演类似于快速切换电流源的角色。这种技术的目标是容纳大电流并保持精确控制。开关损耗可能很高, 特别是对于深度调光。

- 使用调频时, 最大 LED 电流不变, 但是转换器的频率会改变。换言之, 转换器每个周期内输送至 LED 的能量是相同的, 但是每秒钟的周期数量是变化的。调频的问题是在最小频率变得很低时会产生噪声, 而在最大频率变得很高时会产生巨大的开关损耗。这些因素会增加深度调光的难度。

- 使用 I 峰值调制时, 控制器频率是固定的, 但电源开关的开启时间是变化的。因此, LED 的最大电流 I 峰值是变化的。换言之, 每秒钟的周期数是不变的, 但是每个周期输送至 LED 的能量会减少。采用该技术进行深度调光时, 要求脉冲必须非常小。由于开关损耗过大, 一般不推荐使用这种方式。

一些控制器, 如 SSL2101 及其衍生产品 (SSL2102/03), 可以将调频和 I 峰值调制结合使用。这样可以将每种方法的缺点降至最低。在全功率时, 可以优化开关频率来限制开关损耗。在调光状态下, 同时降低 I 峰值和频率可以避免开启时间过短以及频率过低。因此, 其调光水平可以低于 1%。

1.4 寿命

LED 的使用寿命较长是其主要优点, 其宣称寿命可达 5 万小时。这个值比节能灯寿命要高出许多, 远远超过了传统白炽灯的寿命。然而, LED 不能单独使用 (如上所述), 需要其他器件提供驱动。在半导体行业, 寿命测试的标准是 1000 小时。根据最终应用的工作温度不同, 也采用一些系数用于器件寿命的估算。这 1000 小时的测试不足以确保所估算的寿命, 还必须进行加速寿命测试来确保控制器的寿命与 LED 的寿命相当。

SSL210x 系列产品成功通过了结温为 150°C 的 8000 小时寿命测试。根据最终应用中实际结温不同, 估计寿命在 115°C 时可以达到 4.5 万小时, 在 105°C 时可以达到 7.5 万小时。这些值足以支持“SSL210x 系列产品可与 LED 同寿”的宣称。

1.5 结论

就数量而言, LED 照明灯具目前在普通照明市场上仍然是少数。然而, 随着市场逐渐升温, LED 解决方案在未来几年必然逐渐占据市场主导地位。本文讨论了可调光 LED 照明应用的几个方面。降压式和反激式拓扑结构是两种常用拓扑结构。降压式拓扑为低功耗应用

提供了非常紧凑和高效的解决方案，而反激式拓扑由于具有内部电隔离，对于要求安全和灵活的系统仍然是最佳选择。

调光器兼容性和调光范围是两个具有挑战的特性。围绕相关问题对各种选择加以权衡将是产品成功与否的关键。当前，恩智浦提供的 **SSL210X** 系列产品几乎覆盖了改良市场可调光应用的所有可能，因而可以针对每个设计进行优化，从而获得最佳的解决方案。