

大功率 LED 照明恒流驱动电源的设计

在当今全球能源紧缺的环境下，节约能源已成为大势所趋。同时，国家也大力倡导节能减排，已结束的 2008 年北京奥运会和即将到来的 2010 年上海世博会都不约而同地以绿色节能为主题，这就给中国 LED 照明产业的发展带来了巨大的历史机遇。大功率 LED 具有光效高、低功耗、寿命长、稳定性高、光色纯、安全性好、可控性强等优点，正逐步取代以往的光源，开始广泛运用于全彩显示屏、交通信号灯、汽车车灯、背景光源、景观照明、特种工作照明等，成为照明领域的新一代绿色光源。据国内有关机构预测，在奥运、世博的强力带动下，中国 LED 照明市场规模将从 2007 年的 48.5 亿元快速增长至 2010 年的 98.1 亿元。有关专家分析认为，中国 LED 照明产业将在 2010 年前后迎来新的发展高峰。

问题的提出

一般来说，大功率 LED 的功率至少在 1W 以上，目前比较常见的有 1W、3W、5W、8W 和 10W。其被称为“绿色光源”，正朝着大电流（300mA~1.4A）、高效率（60~120lm/W）、亮度可调的方向发展。然而，大功率 LED 的发光强度是由流过 LED 的电流决定的，电流过强会引起 LED 的衰减，电流过弱会影响 LED 的发光强度，因此 LED 驱动需要提供恒流电源，以保证大功率 LED 使用的安全性，还需要满足预期的亮度要求，并保证各个 LED 亮度、色度的一致性。所以，传统上用于驱动灯泡（钨丝）、日光灯、节能灯、钠灯等光源的电源并不适合直接驱动大功率 LED。用市电驱动大功率 LED 也需要解决降压、隔离、PFC（功率因素校正）和恒流问题，还需有较高的转换效率。

目前，市场上有上千款关于大功率 LED 恒流驱动的专用芯片，国内有广鹏（ADDtek）、点晶（SITI）、晶锜（SCT）、华润矽威（PT），国外有美国的超科（Supertex）、德州仪器（TI）、美信、国半、英国的捷特科（Zetex）等知名厂家。大多专用芯片采用迟滞型转换器，低电压输入范围，可升压、可降压、PWM 控制、功率开关可内置或外置、输出电流可以达到 1.5A，内置过压、欠压、开路/短路和温度保护电路等。

如图 1 所示，迟滞型转换器的关键特点是自振荡，这意味着频率将随输入电压、LED 电流和驱动 LED 数量的变化而变化。然而，这种转换器经常运行在连续模式下，这意味着电感永远不会饱和，也不会完全耗尽电流，MOSFET 关断后还继续有电流维持 LED 亮度。但缺点是占空比和频率不断改变的情况下检测电阻 RCS 呈现的阻抗是不一样的，流经 RCS 的电流和 LED 实际电流相比不完全一致，检测数据存在偏差。

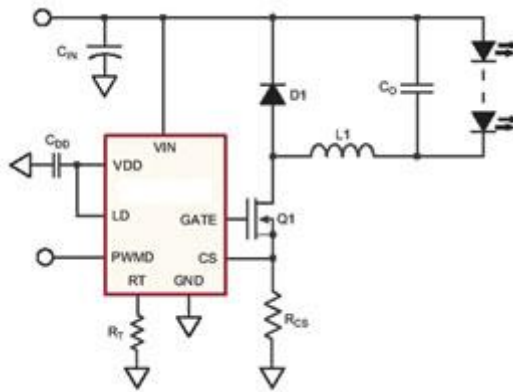


图 1: 迟滞型转换器

在大功率 LED 照明工程领域中，需要 100W 以上大功率的恒流驱动电源，同时要求较高的效率和功率因数，目前市场上的 E27、B22 和 GU10 灯头用 LED 驱动电源远远不能满足大功率 LED 照明工程领域。

大功率 LED 的驱动电源设计考虑

从照明灯具发展历史来看，几乎没有采用隔离方式。隔离方式设计势必影响灯具驱动效率，也不符合未来节能降耗要求，所以 LED 照明不一定要采用隔离方式设计。

在大功率 LED 的串联数量方面，流经大功率 LED 的电流不再受大功率白光 LED 串联数量的限制。为了满足不同的发光亮度需求，通过灵活地驱动多个大功率 LED 就可以实现。对于大功率白光 LED 的并联使用，该类电路仍无法保证并联分支 LED 的发光亮度一致性。但可以使用多个相同恒流电源，分路驱动不同的并联分支 LED，这样就保证了并联分支 LED 属性一致性，从而可以解决发光亮度一致性的问题。

采用全部串联方式要求 LED 驱动器输出较高的电压。当 LED 的一致性差别较大时，分配在不同 LED 两端的电压不同，但通过每颗 LED 的电流相同，LED 的亮度一致。如采用恒流式 LED 驱动，当某一颗 LED 品质不良短路时，由于驱动器输出电流保持不变，不影响余下所有 LED 正常工作。当某一颗 LED 品质不良断开后，串联在一起的 LED 将全部不亮。解决的办法是在每个 LED 两端并联一个齐纳管，不过，齐纳管的导通电压要比 LED 的导通电压高，否则 LED 就不亮了。如广鹏 (ADDtek) 的大功率 LED 保护器 A716、AMC7169 和 A720，分别是 350mA、500mA 和 700mA LED 保护器。如图 2 所示，使用时将其与大功率 LED 并联。

电源失效时负载断开，这种功能在下列两种情况下至关重要，即断电和 PWM 调光。如图 2 所示，在升压转换器断电期间，负载仍然通过电感和二极管与输入电压连接。这样即使电源已经失效，还会继续产生一个小泄漏电流，极大缩短了 LED 的寿命。负载断开在 PWM 调光时也很重要。在 PWM 空闲期间，电源已经失效，但是输出电容器仍然与 LED 连接，它会通过 LED 放电，直到 PWM 脉冲再次打开电源。实施负载断开电路时，最好在 LED 和电流传感电阻器之间放置一个 MOSFET。在路灯照明设计中，一般要求白天有自动关闭功能，可以在电路中间增加光敏电阻，在白天光线照射下阻值改变使那个 MOSFET 停止工作，当然也可以使后级 DC/DC 停止工作。

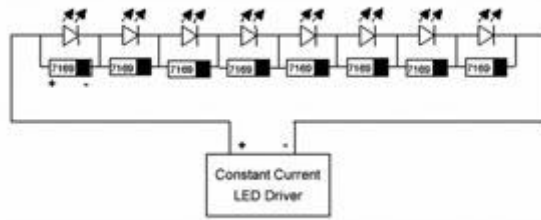


图 2: 大功率 LED 保护器

在许多情况下, 利用低频(50~200Hz) PWM 方式调节 LED 电流非常方便, 通过控制脉冲宽度来调节亮度。这种调节方法的优点在于光谱保持不变, 而采用幅度调节时, 光谱会随着流过 LED 电流的变化而改变。一般来说, 低频 PWM 调光电路的效率比线性 LED 调光电路更高。在路灯照明设计中, 一般需要在半夜某时将路灯照度减低一半, 节能降耗。可以在电路中间增加定时器, 到时间输出 50%占空比即可功率减半。

防水设计, 按使用环境分为户外、户内。目前的防水电源大多是以环氧树脂作为防水密封填充材料, 颜色主要为黑色, 当然也有白色以及其他一些颜色。有少数厂家采用了其他的防水填充材料。重要的是它要能经得起高温、冷冻、雨水以及一些腐蚀性物质的侵袭。

100W 的 LED 路灯可以替代 250W 的高压钠灯, 或 300W 的水银灯。100W 的 LED 路灯, 其输出光通量大约为 6 250lm(经过二次光学设计, 会有所损失), 到达路面时的流明数仍为 6000, 而路面的平均照度可以达到 16Lux(杆高 12m)。250W 高压钠灯的输出光通量为 20 000lm, 但到达路面的流明数就只有 7000, 路面的照度大约为 30~40Lux。由于显色系数的差别, LED 的照度修正系数为 2.35 倍, 高压钠灯的修正系数为 0.94 倍。所以, 100W 的 LED 经过修正以后, 地面的照度为 37.6Lux, 而高压钠灯修正后的照度为 28.2~37.6Lux, 二者相当。所以, 100W 的 LED 路灯可以取代 250W 的高压钠灯, LED 路灯可以节能 60%。

如果不进行二次光学设计, LED 的照射是比较集中, 所以一定要进行二次光路设计, 使其光强呈蝙蝠形, 照射范围可以达到 66m。

主回路设计

大功率 LED 照明恒流驱动主电路采用优异的 BOOST 和 DC/DC 的两级组合方式, 具有良好的动态响应和稳流特性, 解决了电网的谐波污染问题, 使大功率 LED 驱动电源更加绿色环保。

BOOST 采用主动式有源功率因数校正 (APFC) 电路, 工作在连续模式, 谐波电流和开关管电压电流应力小。DC/DC 采用半桥 LLC 串联谐振转换器, 元器件数量有限, 谐振储能 (tank) 元件能够集成到单个变压器中, 因此只需要 1 个磁性元件。在所有正常负载条件下, 初级开关都可以工作在零电压开关 (ZVS) 条件, 而次级二极管可以采用零电流开关 (ZCS) 工作, 没有反向恢复损耗。特别适用于中、高输出电压转换器的高性价比、高能效和 EMI 性能优异的解决方案。

传统功率因数校正电路技术复杂、设计步骤繁琐、所需元器件多、体积大而且成本高。因此, 设计时往往要在性能和成本之间进行折衷。本设计采用了 IR1150, 它是一种新型的

单周期 AC / DC 功率因数校正控制芯片，采用了 IR 公司的专利单周期控制(One-cycle control, OCC)技术，无须传统 PFC 电路所需的模拟乘法器、输入电压采样以及固定的三角波振荡器，大大简化了 PFC 电路的设计并缩小了装置体积。

半桥 LLC 串联谐振转换器采用飞兆半导体公司推出的高集成度绿色 FPS 功率开关 FSFR2100。其采用零电压开关(ZVS)技术，能够大幅降低 MOSFET 和整流器的开关损耗。采用这种技术,此 FPS 开关无须散热器即可处理高达 200W 的功率,使用散热器更可处理高达 450W 的功率。较之于传统的硬开关转换器拓扑,FSFR2100 的效率提高了 10%。它可以在输入和负载大范围变化的情况下调节输出,同时开关频率变化相对很小。此外,它可以在整个运行范围内实现零电压切换(ZVS)。最后,所有寄生元件,包括所有半导体器件的结电容和变压器的漏磁电感和激磁电感,都是用来实现 ZVS 的。

照明恒流驱动电源主电路如图 3 所示,前级 APFC 实验电路输入电压 AC 220V,额定输出 DC 380V,开关频率 f 选择 70kHz,后级半桥 LLC 串联谐振转换器。输出电压范围:DC 300~360V,输出额定电流 350mA,谐振频率 f_0 选择 100kHz,变压器匝比 $n=N_p/N_s=0.6$,功率满足 150~300W 的输出功率范围。主电路依次是 85V~264VAC→整流→PFC→380VDC→DC/DC(隔离)恒流→多颗 LED 串联,APFC 可以选用功率因数校正控制器 IR1150、L6562 和 FAN7527B 等,半桥 LLC 串联谐振转换器选用 FSFR2100。

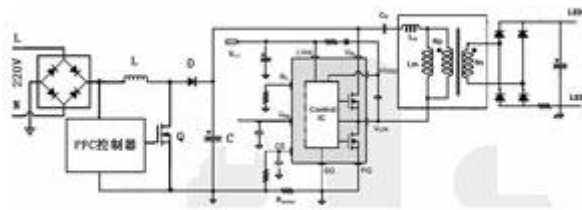


图 3: 大功率 LED 照明恒流驱动电源主电路

关键技术设计

LED 照明驱动方式,由于直接将 RSET 连接 FB 端会造成 RSET 的功耗过大,所以功率较小的 LED 恒流驱动电源往往在 FB 反馈端和 RSET 之间放置一个运算放大器以降低功耗。如图 4 所示,运算放大器获取采样电阻 RSET 上的电压,结合其他电阻和电容就可以构成一个完整、高效率的大功率 LED 恒流驱动电路。这样就能在确保 LED 获得恒流供电的同时,将 RSET 的功耗降低到可以接受的水平,从而使 LED 两端的电压尽可能大,流经的电流也尽可能大。

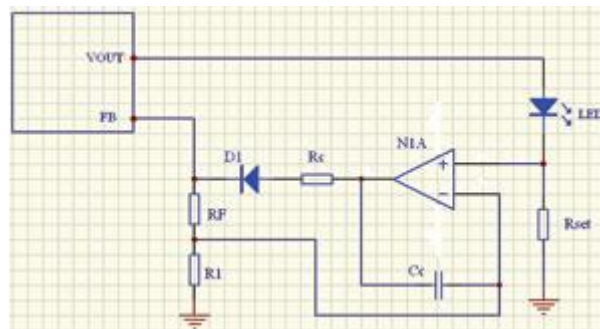


图 4: 功率较小的 LED 恒流驱动

大功率 LED 恒流驱动电源采用先稳压，再限流的混合方式。为适应负载需要，电压需要保证在一定范围内。LED 的 V_f 值在 3~3.6V 之间，那么按 LED 实际数量即可确定电源部分需要调整的电压范围。大功率 LED 恒流驱动如图 5 所示，设定稳压源的最大设定值 V_{SET} （比如 DC360V），设定稳流源的设定值 I_{SET} （300mA~1.4A），采样 R_{SET} 上的电压，若超过稳流源的设定值时，则输出电压相应下降，根据 LED 灯串联数量的多少，输出电压可降至最小值（如 DC 300V）。

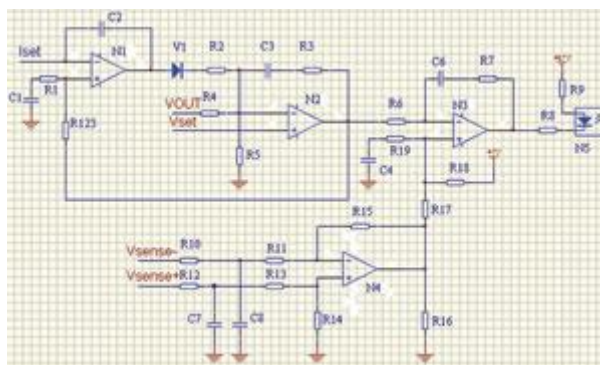


图 5: 大功率 LED 恒流驱动

开关调节控制模式与电阻限流方式相比，电路成本较高；控制环路可准确调节 LED 电流；可实现幅值和低频 PWM 调节；能够实现 LED 特性的自动温度补偿；宽输入电压范围；基本上不需散热器，可节省成本，对于高输入电压和大工作电流，其他驱动方案会导致非常高的损耗，然而此模式仍能保持高效工作。

技术指标

根据上述设计方案，大功率 LED 照明恒流驱动电源的主要技术指标为：输入电压 85~264V；频率 47~63Hz；输出功率 100W；输出电流：350mA \pm 5%或 700mA \pm 5%；输出方式：多颗 1W 以上大功率 LED 串联方式；输出电压范围：DC 300~360V，效率 \geq 90%，功率因数 \geq 0.99，谐波 \leq 5%，稳流精度 \leq 5%；具有定时、调流、关机功能；具有过压、过流、短路和过温保护功能；全密封，防水要求 IP65，外型尺寸(L \times W \times H)=185mm \times 70mm \times 45mm，重量 1.5kg。工作温度-40~+70 $^{\circ}$ C，储存温度-50~+85 $^{\circ}$ C，符合相关安规、ROHS 和电磁兼容标准、防雷设计（ICE-61000-4-5 Class 4）。较好地满足了照明工程的要求。