一个三级电源就可高效驱动多个 LED 串

JAMES ALIBERTI 说：一个 PFC 级即反向恒流降压稳压器和一个下行 DC/DC 变压器电路就可以高于 90% 的效率驱动 LED。

诸如路灯、体育场照明的高顶棚灯等一些高功率 LED 照明应用之所以青睐多串架构是有多方面原因的，其中主要包括：易于设计性、灵活性和安全性因素。主要的工程难题就是效率、长使用寿命以及均匀的光输出等。长使用寿命和较高的效率在 LED 照明系统的整体价值定位中起到了关键的作用，因为要想降低维护费用的发生，这些都是必须的。

多串架构最常见的方法是购置一款具有功率因数校正 (PFC) 功能前端的现成电源，该前端具有一个隔离式恒流 DC 输出电压且该输出电压馈至每个 LED 串的稳压器。为了最大化效率，首选的方法是使用降压转换器和一个具有最高可能 DC 输出（该输出仍位于 II 类或 60VDC SELV 最高电压电平范围内）的电源。就此方法而言，我建议使用一个 36V 或 48V DC 输出，因为这两个输出均为电信应用中通常使用的现成普通电源。

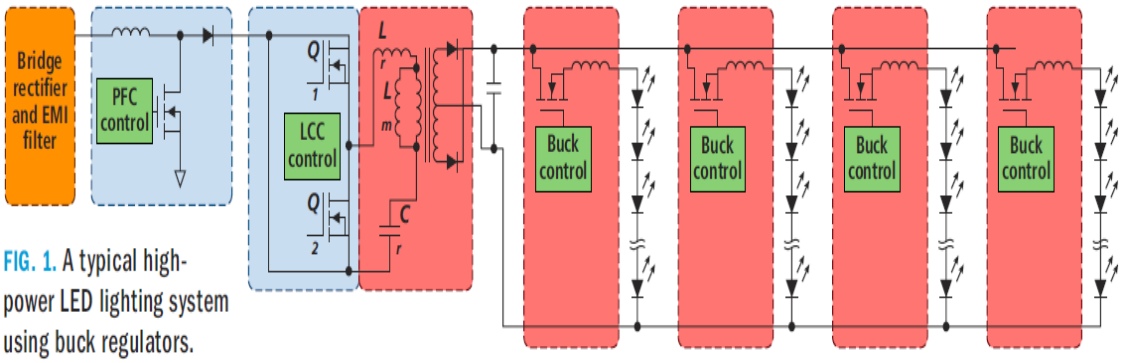

FIG. 1. A typical high-power LED lighting system using buck regulators.

多个降压转换器方法

多个降压转换器方法具有一些优势，即简易性和加速产品上市的优势。但是这种方法可能会很昂贵，尤其随着 LED 串数量的增加，这种方法就需要更多的降压转换器。一个简单的降压稳压器电路通常由一个脉宽调制 (PWM) 控制器、电感、MOSFET、二极管以及一些电阻和电容组成。如果需要更高的效率，那么您就可以用一个 MOSFET 来代替续流二极管并使用一个可以实现同步降压运行的 PWM 控制器。

一个替代方案是使用基于德州仪器 (TI) SimpLEDrive 技术的多变压器方法，如图 2 所示。该方法使用了一个由 PFC 部分、反向恒流降压稳压器和下行 DC/DC 变压器电路组成的三级方法。该方法提供了高于 90% 的效率和可以产生最高质量最均匀亮度输出的高级串电流稳压。其还可以通过添加单个串消弧电路（该电路由无源可控硅整流器 (SCR) 组成）为更高可靠性提供冗余。在单个 LED 开路的情况下，消弧电路高效地短路故障串，但仍对剩下的串保持良好的电流调节。这些特性和更低的总体系统成本以及模块性使得多变压器方法成为一

个曲型的 LED 照明电源解决方案。

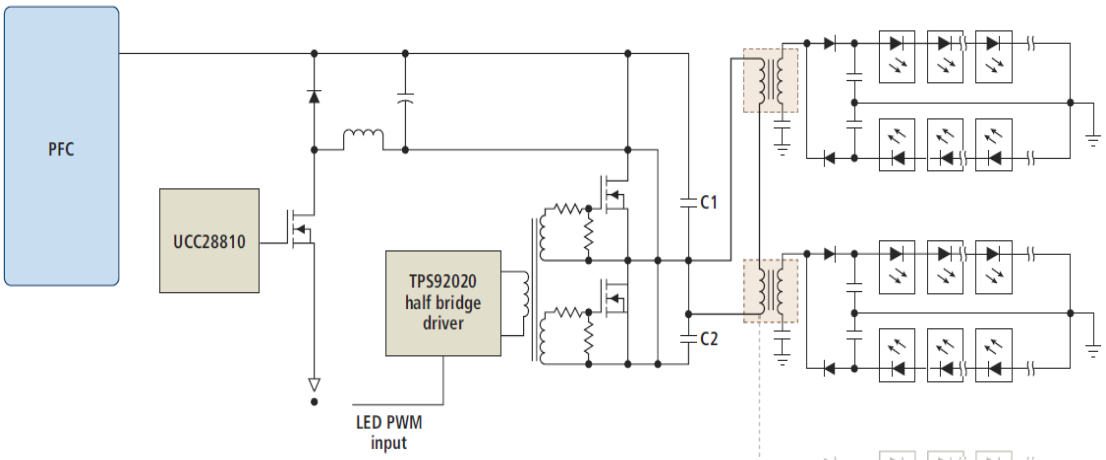

FIG. 2. A three-stage approach uses a PFC stage, a single buck regulator, and transformers to drive multiple LED strings.

It has resonant operation for high efficiency while the solution becomes more cost-effec- half-bridge controller, two MOSFETs, capacitors C1 and C2, and transformers.

在使用多变压器方法时，要注意该方法为一种电气隔离设计，其二次侧输出电压可设计在 UL II 类或 SELV 电平范围内，即 60VDC 或 42VAC。由于输出电压介于该范围，因此其可以大简化照明结构设计，从而避免了反复的安全机构的批准流程。该特性增加了相同电源满足其他照明应用不同结构设计的灵活性。

就运行情况而言，多变压器方法拥有高于 1% 的更好串电流匹配。它具有可获得高效率的谐振运行，并且随着串数量的增加其性价比也会更高。

三级方法的内部原理

PFC 电路的输出为一个升压的 DC 电压，该电压设置在输入线电压峰值以上 10-20% 左右。PFC 输出被馈至下一个级，该级是一个配置用来产生恒流输出的反向降压稳压器。反向降压就是一次侧恒流控制环路被关闭的地方。该降压的电流输出被下行馈至 DC/DC 变压器电路，该电路由一个半桥接控制器、两个 MOSFET、电容 C1 和 C2 以及一些变压器组成。

之后，该电流经过半桥接 MOSFET 开关，到达串联变压器的一次侧。电容 C1 和 C2 具有诸多功能，其中包括半桥接分压器功能、谐振电路组件功能以及 DC 阻断电容功能，其可避免变压器饱和。

谐振运行允许 MOSFET 以零电压转换 (ZVS) 运行。这就大大降低了开关损耗并提供了以更高频率运行的选项，以缩小无源组件的尺寸并最大化电源效率。

DC/DC 级将 DC 电流转换成 AC 电流，并整流流经所有串联变压器一次侧的交流电流。该方法提供了更大的灵活性，因为其允许将更多的变压器串联以支持更多的 LED 串。

要想计算变压器匝比，我们需要串的总数量以及 LED 串正向电压的一个很好的

近似值。这些假设均基于每个串都具有相同数量的 LED。

设计旨在实现最高效率

在电源设计中，实现最高效率的最佳实践是尽可能地少处理一些功率。为了实现这一目标，我们需要最小化输出-输入电压比，即输出电压应尽可能地接近输入电压。由于大多数高功耗照明应用都需要 PFC，因此出于简单的目的，我们只将其看作是一个功能模块并向其输出分配一个典型值，并且知道其会根据诸多因素而发生变化。

大多数有源 PFC 电路均可作为一个升压转换器使用，因此 PFC 输出电压必须要高于最高 AC 线压的峰值。就 85-265VAC 的一般输入范围电源而言，其约为 375V 的峰值电压。由于容差和纹波，我们添加了动态范围上限 (headroom)，因此 400V 是一个典型的设定值。

源自 PFC 部分的 400V 电压被馈至下行反向降压转换器的输入端。由于反向降压需要保持稳压，如果 PFC 输出与所说的 AC 线路纹波不同（该纹波通常出现在有源 PFC 电源设计中），我们就需要确定 PFC 电压的最低输出电压。如果我们假设 40V 的典型纹波容量（所有的纹波容量都用 LED 负载和大型存储电容标出），那么 400V 减去 40V 就得出反向降压的最低输入电压为 360V。

反向降压也需要设计一些有一定规定的工作合规电压输出。因此在这种情况下，我们将使用 80V，从而得到 280V 的输出。

10-LED 串示例

既然我们已经固定了我们的工作边界，那么就让我们来看看阐述了如何计算反向降压的恒流设定值以及如何确定变压器匝比的一个设计实例吧。

在该示例中，我们使用了两个变压器以 1A 的电流驱动 4 个 LED 串，每个串由 10 个高功率 LED 组成。我们将假设每个 LED 的正向电压 (Vf) 为 3.5V，即总的串电压为 35V。

反向降压稳压器的 280V 输出现在就成为 DC/DC 变压器电路的输入。就就是说，施加于串联一次侧的电压为 280V 电容分压器（由 C1 和 C2 组成）电压的一半，即总串联一次侧变压器装置两端的电压为 140V。每个变压器的一次侧电压 (Vp) 为桥接电压 (140V) 除以变压器的数量 (2)，即 Vp=70V。

现在计算变压器匝比就变得简单了，如方程式 1 所示：

$$\frac{N_P}{N_S} = \frac{V_P}{V_S} = \frac{70V}{35V} = 2 = \text{a turns ratio of 2:1}$$

方程式 1

其中，Np= 一次侧上的绕线匝数
Ns= 二次侧上的绕线匝数
Vs= 二次侧或 LED 串电压
Vp= 每个一次绕组两端的电压

计算设定值

要想计算反向降压的电流输出设定值，只要看一下整个 LED 串的总输出功率并返回到电流控制环路关闭的反向降压级就可以了。以 1A 电流驱动 4 个 10-LED 的串，相当于 140W 的总输出功率。如果将反向降压稳压器的输出电压设置为 280V，则电流输出应为大约 500mA。由于降压稳压器下行将会发生更多的损耗，因此需要对反向降压稳压器进行微调。

方程式 2 计算了降压稳压器的电流设定值 (Iset)。

$$I_{Set} = P_{LEDS}/V_{Buck} = \frac{140W}{280V} = 0.5A$$

方程式 2

本练习说明了利用多变压器进行设计的简单易懂程度。通过简单的调整，您就可以满足各 LED 电流或不同 LED 串数量的要求。该模块化解决方案通过很少的重新设计就可满足许多照明应用的要求。