

# LED驱动电源的拓扑结构选择

## The Topology Structure Selection of LED Driving Power Supply

文新 供稿

中图分类号: TN86 文献标识码: B 文章编号: 1606-7517(2015)08-4-117

LED光源是一种可靠性高,使用寿命长(超过5万小时),效率高( $\geq 120$ 流明/瓦),具有近乎瞬时响应的能力,因此被广泛应用,在节能减排的绿色革命中,极具发展前途。例如,白炽灯泡的响应时间大约200ms(毫秒),而LED的响应时间仅是5ns(纳秒),所以,LED在汽车行业的刹车灯应用中很受欢迎。

### 1 LED驱动电源的要求

LED光源的亮度具有可调性,可调的亮度需要用恒定电流来驱动LED,并且,无论输入电压如何,都必须保持该电流的恒定。所以,只要将白炽灯泡连接到电源就能为其供电的情况比较,LED驱动电源技术具有挑战性。

LED具有类似于二极管的正向V-I特性。在低于LED开启阈值(例如,白光LED的开启电压阈值大约是3.5V)时,流经该LED的电流非常小。在高于开启阈值时,电流会以正向电压形式成指数倍递增。这就允许将LED定型为一个串联电阻的电压源。这里必须说明:这种模型仅在单一的工作在直流电流下才有效,如果LED中的直流电流发生改变,那么,这个模型的电阻也将随之改变,以此反映新的工作电流。在大的正向电流下,LED中的功率损耗增大,会使设备发热,因此将改变正向压降和动态阻抗。在确定LED阻抗时,充分考虑设备的散热环境是非常重要的。

当采用降压稳压器驱动LED时,LED常常会根据所选择的输出滤波器排列来传导电感的交流纹波电流和直流电流。这不仅可以提高LED中电流的RMS振幅,而且还会增大其功率损耗。这样也将会提高结温,并对LED的使用寿命产生重要影响。如果我们设定一个70%的输出限制来作为LED的使用寿命,那么,LED的使用寿命就可以从74℃下的15,000小时,延长到63℃之下的40,000小时。LED的功率损耗由LED的电阻值乘以RMS电流的平方,再加上平均

电流乘以正向压降来确定。由于结温可以通过平均功耗来确定,因此,即使是较大的纹波电流对功耗产生的影响也不大。例如,在降压变换器中,等于直流输出电流( $I_{PK-PK}=I_{out}$ )的峰—峰纹波电流会增加不超过10%的总功率损耗。如果远远超过这个损耗水平,那么就需要降低来自电源的交流纹波电流,以便让结温和工作寿命保持不变。有一则非常有用的经验法则,就是结温每降低10℃,半导体的寿命就会提高两倍。实际上,由于电感器的抑制作用,因此大多数设计都趋向于更低的纹波电流。此外,LED中的峰值电流不应该超过厂商所规定的最大安全工作电流额定值。

### 2 LED驱动电源的拓扑结构选择

LED照明采用AC/DC变换的电源中,构建的电源变换器模块包括二极管、开关(FET)、电感器、电容器和电阻等分立元件,它们各执行自身的功能,用脉宽调制(PWM)稳压器控制电源变换。电路中通常存在变压器隔离的AC/DC电源变换器,其中包含反激、正激与半桥等拓扑结构,参见图1所示。其中反激式拓扑结构是功率小于30W的中低功率应用的标准选择。而半桥结构则更适合提供给更高能效和功率密度的应用场合使用。对于作为隔离结构的变

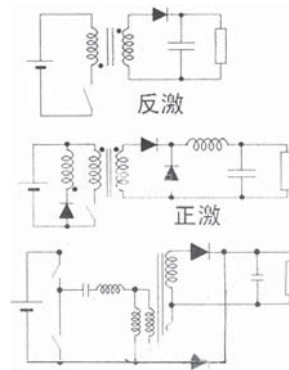


图1 LLC半桥谐振拓扑结构

压器来说，其尺寸的大小与开关频率有关。故多数隔离型 LED 驱动器基本上都采用电子变压器。

采用 DC/DC 变换器电源的 LED 照明应用中，可以使用的 LED 驱动方式有电阻型、线性稳压器及开关稳压器等，图 2 所示为基本的应用示意图。在电阻型驱动方式中，调整与 LED 串联的电流检测电阻即可控制 LED 的正向电流。这种驱动方式设计成本低，且没有电磁兼容 (EMC) 问题，劣势是依赖于电压，需要筛选 LED，并且效能较低。线性稳压器同样比较容易设计，也没有 EMC 问题，还可以支持电流稳流及过流保护 (Fold back)，同时提供外部电流设定点，不足之处在于功率耗散较大，输入电压要始终高于正向电压，且能效不高。开关稳压器通过 PWM 控制模块不断控制开关 (FET) 的通和断，进而控制电流的流动。

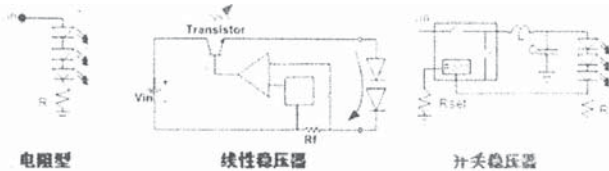


图2 常用的DC/DC LED驱动方式

开关稳压器具有更高的能效，与电压无关，且能控制 LED 亮度，不足之处在于成本相对较高，也更为复杂，还存在电磁干扰 (EMI) 问题。

LED 驱动电源 DC/DC 开关稳压器常用的拓扑结构包括降压 (Buck)，升压 (Boost)、降压—升压 (Buck-Boost) 以及单端初级电感变换器 (SEPIC) 等多种不同类型。而在所有不同工作条件下，最低输入电压大于 LED 串的最大电压时，则采用降压型结构，例如，采用 24Vdc 驱动 6 颗串联的 LED；与此相反，在所有不同工作条件下，最大输入电压都小于最低输出电压时，则采用升压结构，例如，采用 12Vdc 驱动 6 颗串联的 LED；而在输入电压与输出电压范围有交集时，可以采用降压—升压或者 SEPIC 型结构，例如，采用 12Vdc 或 12Vac 驱动 4 颗串联的 LED，但这种拓扑结构的成本及能效是最不理想的。

采用交流电源直接驱动 LED 的方式，近年来也获得了一定的进展，其应用示意图如图 3 所示。在这种拓扑结构中，LED 串以相反的方向排列，工作在半周期，而且，LED 在线路电压大于正向电压时才导通。这种结构具有若干优势，如可以避免 AC/DC 变换中所带来的功率损耗等。但是，这种结构中，LED 在低频时开关，因此，人眼可能会察觉存

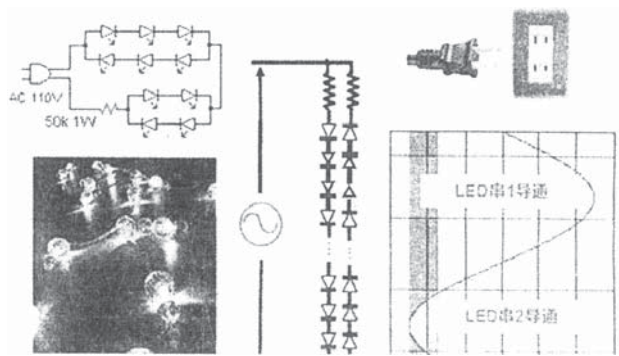


图3 直接采用交流驱动LED的示意图

在闪烁现象。此外，在这种结构设计中还需要加入 LED 保护措施，以使其免受线路的浪涌或瞬态电流干扰。

### 3 LED拓扑结构选择的示例分析

表 1 中所列出的信息有助于为 LED 驱动器选择最佳的开关拓扑。除这些之外，还可以使用简易的限流电阻器或线性稳压器来驱动 LED，但是这类方法通常会浪费过多的功率。LED 拓扑结的设计参数包括输入电压范围、驱动的 LED 数量、LED 电流、隔离、EMI 抑制以及效率。大多数 LED 驱动电路都属于下列拓扑类型：降压型、升压型、降压—升压型、SEPIC 和反激式拓扑。

表1 备选的LED电源拓扑

拓扑结构	输入电压 ( $V_{in}$ )总是大于输出电压 ( $V_{out}$ )	输入电压 ( $V_{in}$ )总是小于输出电压 ( $V_{out}$ )	$V_{in} < V_{out}$ 或 $V_{in} > V_{out}$	隔离式
降压拓扑	√			
升压拓扑		√		
降、升压拓扑			√	
降压或升压拓扑			√	

图 4 所示为三种基本类型的电源拓扑实例。第一个示意图所示的降压型稳压器用于输出电压总是小于输入电压的情况。在图 4 中，降压稳压器会通过改变 MOSFET 的开启时间来控制电流进入 LED。电流感应可通过测量电阻器两端的电压获得，其中电阻器应与 LED 串联。对这种方法

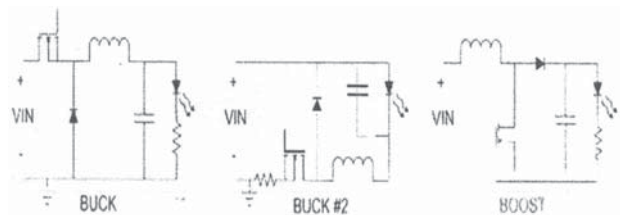


图4 简单的降压和升压型拓扑为LED供电

而言，主要的设计难题是如何驱动 MOSFET。从性价比的角度上说，推荐使用需要浮动栅极驱动的 N 通道场效应晶体管 (FET)。这需要一个驱动变压器或浮动驱动电路（该电路可以用于维持内部电压高于输入电压）。

图 4 还显示出了备选的降压稳压器 (buck#2)。在这种电路中，MOSFET 对接地进行驱动，从而大大降低了对驱动电路的要求。该电路可选择通过监测 EFT 电流或与 LED 串联的电流感应电阻来感应 LED 电流。后者需要一个电平移位电路来获得电源接地的信息，但这将使原本简单的设计复杂化。另外，图 4 中还显示了一个升压变换器，该变换器可在输出电压总是大于输入电压时使用。由于 MOSFET 对接地进行驱动并且电流感应电阻也采用接地参考，因此，这一类拓扑设计就比较容易。该电路的一个不足之处是在短路期间，通过电感器的电流会毫无限制。但我们可以通过采用保险丝或电子断路器的方法来增加故障保护，同样，一些更为复杂的拓扑也可以提供这类保护。

图 5 所示为两种降压—升压型电路，该电路可以在输入电压和输出电压相比较发生时高时低的情况下使用。两者具有相同的折衷特性，它们可在有关电流感应电阻和栅极驱动位置的两个降压型拓扑中显示。图 5 中的降压—升压型拓扑显示了一个接地参考的栅极驱动。它需要一个电平移位的电流感应信号，但是，这种反向降压—升压型电路是一个接地参考的电流感应和电平移位的栅极驱动。如果控制 IC 与输出有关，并且电流感应电阻和 LED 可以交换，那么，该反向降压—升压型电路就能以非常有用的方式进行配置。适当地控制 IC，就能直接测量输出电流，并且 MOSFET 也可以被直接驱动。

这种降压—升压方法的一个缺陷是电流相当高。例如，当输入和输出电压相同时，电感和电源开关电流为输出电流的两倍。这就会对效率和功耗产生负面的影响。在许多情况下，图 6 中的“降压型或升压型”拓扑将缓和这一类问题。在该电路中，降压功率级之后是一个升压电路，如果输入电

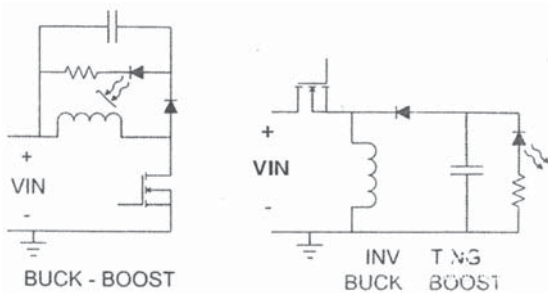


图5 降压—升压型拓扑可调节大于或小于 $V_{out}$ 的输入电压 $V_{in}$

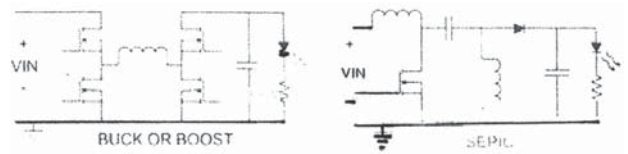


图6 降压或升压型以及SEPIC拓扑提供了更高的效率

压高于输出电压，则在升压级刚好通电时，降压级会进行电压调节。如果输入电压小于输出电压，则升压级会进行调节而降压级则通电。设计时，通常要为升压和降压操作预留一重叠，因此，从一个模型转到另一个模型时就不存在静带。

当输入和输出电压几乎相等时，该电路的优点是开关和电感器电流也近乎等同于输出电流，电感纹波电流也趋向于变小。即使该电路中有四个电源开关，通常其效率也会显著提高，在电池供电时，这一点至关重要。在图 6 中还示出了 SEPIC 拓扑，这类拓扑对 FET 的需要较少，但需要更多的无源元件，其好处是简单地接地参考 FET 驱动器和控制电路。此外，可将双电感组合到单一的耦合电感中，从而节省空间和成本。但是，它们像降压—升压拓扑一样具有比“降压或升压”和脉动输出电流更高的开关电流，这就要求电容器可以通过更大的 RMS 电流。

出于安全考虑，可以规定在离线电压和输出电压之间使用隔离。在这类应用中，最具性价比的解决方案是反激式变换器（见图 7 所示）。它要求所有隔离拓扑的组件数量最少。变压器匝比可设计成为降压、升压或降压—升压输出电压，这样就提供了极大的设计灵活性。但其缺点是电源变压器通常为定制组件。此外，在 FET 以及输入和输出电容器中存在很高的组件应力。在稳定照明应用中，可以通过使用一个“慢速”的反馈控制环路（它可以调节与输入电压同相的 LED 电流）来实现功率因数 (PFC) 功能。通过调节所需的平均 LED 电流以及与输入电压同步可获得较高的功率因数。

## 4 调光技术

调光是 LED 照明的普遍要求，例如，可能需要调节显示屏或调节建筑物内灯光的亮度。实现调光操作的方式主要有两种：即降低经过 LED 的电流，或者快速打开 LED 再关闭，

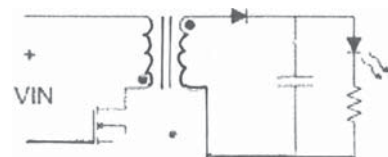


图7 反激式变换器可提供隔离和功率因数校正功能

然后使眼睛的感光最终达到平衡。因为光输出并不完全与电流呈现线性关系，因此用降低电流的方法之效率最低。此外，LED 色谱通常在电流低于额定值时会发生改变。所以应注意到，人眼对亮度的感知成指数倍增，因此调光就需要电流出现较大的百分比变化。因为在全电流情况下，由于电路容差的缘故，3% 的调节误差可以在 10% 的负载下被放大成 30% 甚至更大的误差，这样将会对电路设计产生更大影响。尽管存在响应速度慢一些的问题，但通过脉宽调制 (PWM) 来调节电流仍然更为精确。当 LED 作为照明和显示时，需要 100Hz 以上的 PWM 才能使人眼不会察觉到闪烁。10% 的脉冲宽度处于毫秒范围内，并且要求电源具有高于 10kHz 以上的带宽。

## 5 小结

表 2 所列表示，在 LED 应用中，将会采用多种电源拓扑来为其应用提供支持。通常，输入电压、输出电压和隔离需要按规定正确地选择。在输入电压与输出电压比较总是时高时低时，采用降压或升压拓扑可能是显而易见的正确选择。但当输入和输出电压的关系并非如此受抑制时，这个选择就变得更加困难了，这时需要权衡效率、成本和可靠性等多种因素。

表2 许多LED应用都规定了多种电源拓扑

拓扑结构	典型应用
降压拓扑	车载、标牌、投影仪、建筑物
升压拓扑	车载、LCD背光、手电筒（闪光灯）