

恒流驱动源在太阳能 LED 路灯中的应用实例

一. 概述

太阳能的利用虽然有很多方法，但是像超大功率的太阳能发电站、家庭屋顶发电等都不适合中国的国情，唯一最简单而最容易实现的是太阳能路灯。我国的路灯总数超过 1 亿盏，只要其中的 6000 万盏改成太阳能路灯，其每年节省的电量就超过一个三峡水电站的发电量。如果把今后每年新增的 2000 万盏路灯全部改用太阳能路灯，三年下来又是一个三峡水电站。其节能的效果是非常可观的，而且完全不需要兴师动众地动员全国的力量来兴建，而这样发动各级地方政府的力量和各个有关企业的力量就可以完成。

太阳能路灯的构成十分简单（图 1）。



图 1. 太阳能路灯的构成

太阳能路灯的安装也十分简单，几乎就好像种树一样，挖一个坑，埋进去就可以了。不像采用交流电的路灯，需要铺电缆、建造变压器房、挖维修井…。虽然单个太阳能路灯的造价要比普通的高压钠灯的造价贵，但是，如果考虑铺设电缆等的总体造价，二者就相差不多。再加上以后每年所节省的可观的电费，可以说，太阳能路灯在一两年之内所节省的电费就可以弥补其差价，以后所节省的电费就是纯收益了。

从图 1 所示的框图中可见，其中最核心的部件，就是 PWM 调光控制器和恒流模块。过去很多投资都投向太阳能电池、和 LED。很少有人关心到这两部分，以至于目前市面上的控制器大都没有 PWM 调光的能力，而目前的恒流模块绝大多数都是采用从国外进口的芯片。而国家也不重视这方面投入。这是一个很大的问题，当然也是有很大的机遇。

二. 太阳能 LED 路灯为什么需要恒流驱动

除了发光效率以外，要使 LED 能够成为一个实用的灯具还有一系列问题需要解决。其中最重要的就是它的恒流驱动。这是由以下几个原因所决定的。

(一) 太阳能 LED 路灯所用的蓄电池输出电压不恒定

在太阳能路灯中通常是采用铅蓄电池作为能量储存单元的，而铅蓄电池的输出电压从满充到满放，其电压变化是会接近 20% 的（图 2）。所以它所引起的 LED 电流变化就有可能超过 4 倍以上。

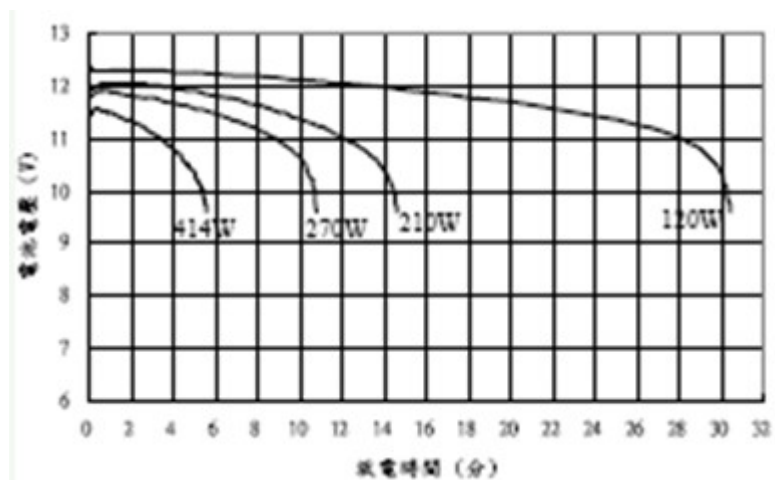


图 2. 铅蓄电池的放电曲线

LED 有很陡的伏安特性（图 3）。

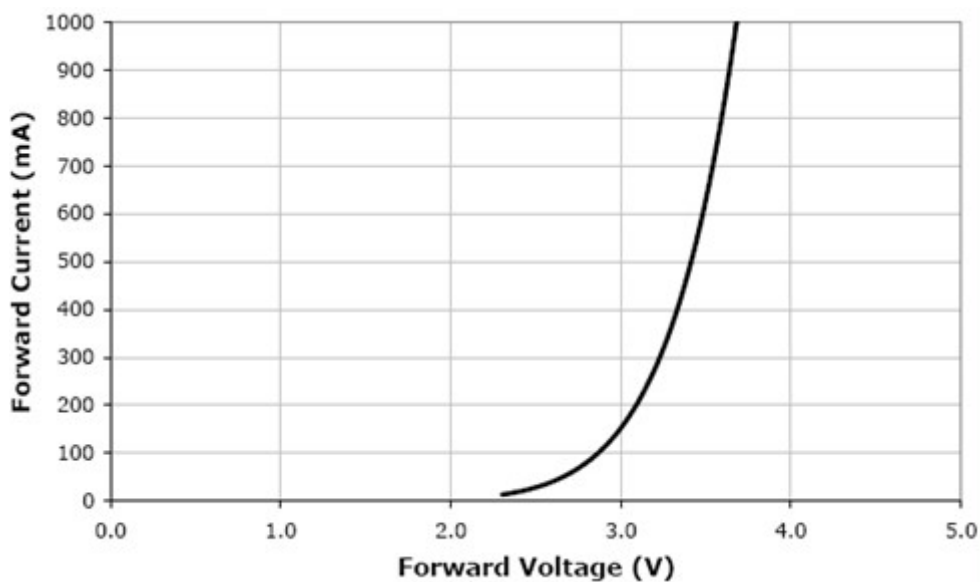


图 3. 某一公司的 LED 的伏安特性

假定初始的电压为 3.25V，这时的正向电流为 350mA。假如供电电压降低到 2.6V（20%），这时的电流就不到 40mA，降低了将近 8.75 倍。

而 LED 的发光亮度是直接和其正向电流有关的。同一厂家的同一 LED，其相对发光强度和正向电流的关系曲线如图 4 所示。

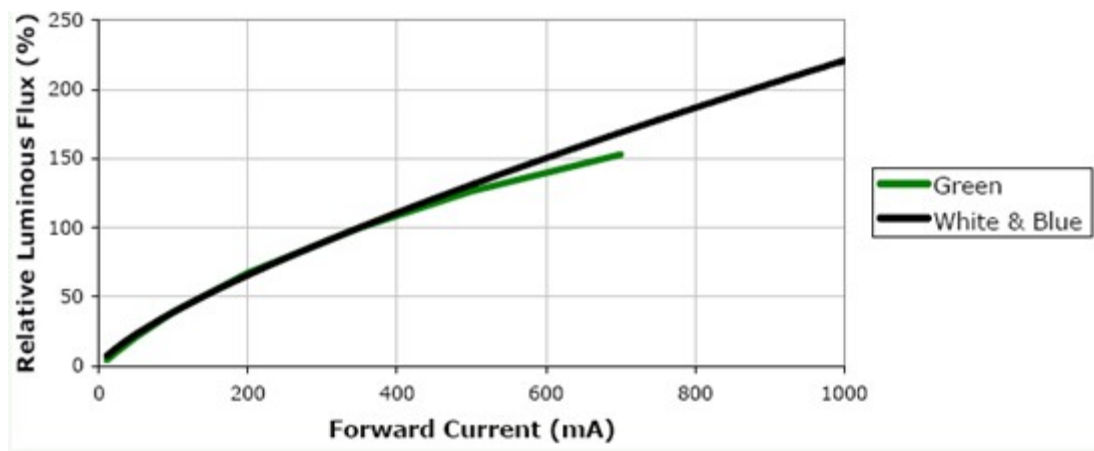


图 4. 相对光强和正向电流的关系

由图中可以看到，如果正向电流从 350mA 降低 8.75 倍到 40mA，其相对发光强度将从 100 降低到 20。降低将近 5 倍。显然这是完全不能允许的。所以一定要把电流恒定。

（二）LED 发光的温度不稳定

LED 路灯通常在露天工作，其环境温度的变化是很大的。

而 LED 的正向电流还和结温有关，图 5 就表明 LED 在不同结温时的伏安特性。

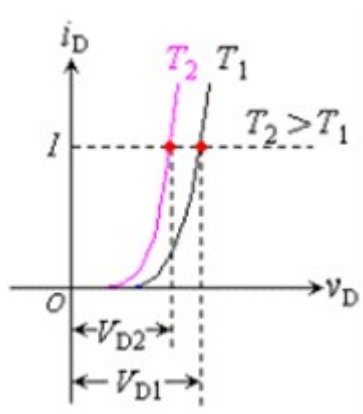


图 5. 在不同环境温度时 LED 的伏安特性

LED 的温度系数通常为负的，也就是当温度升高时 ($T_1 \rightarrow T_2$)，伏安特性向左移动。其值大约是 $-2\text{mV}/^\circ\text{C}$ ，那么当其结温增加 50 度时，其正向电压就会降低 0.1V，假如用恒压电源供电时，其正向电流就会增加。比如，常温 25°C 时 LED 最佳工作电流 20mA，当环境温度升高到 85°C 时，PN 结电压 V_F 下降，工作电流急剧增加到 $35\text{mA} \sim 37\text{mA}$ ，但此时电流的增加并不会产生亮度的增加，称为亮度饱和。同样，当环境温度下降至 -40°C 时，结电压 V_F 上升，最佳工作电流将从 20mA 减小到 $8\text{mA} \sim 10\text{mA}$ ，发光亮度也随电流的减少而降低，达不到应用场所所需的照度。

而且当温度变化时，LED 的发光光谱也会发生变化。通常温度增加时光谱的最大值是向波长长的方向漂移。大约是每升高 10°C 时漂移 1nm，升高 50 度会产生 5nm 的变化（见图 6）。

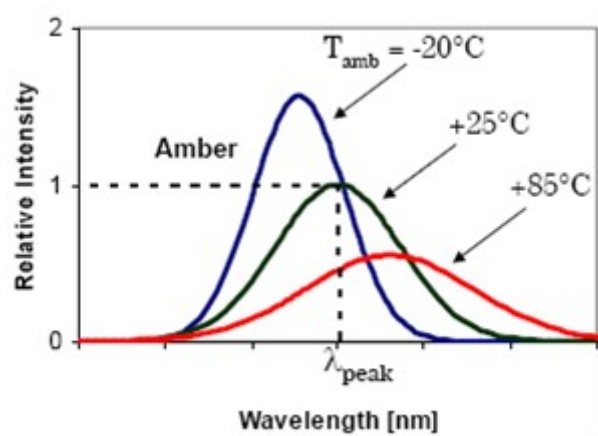


图 6. LED 发光的峰值波长随环境温度而变化

实际上，LED 的光谱也是随其正向电流改变而改变。这也是不希望的，所以一定要保持其正向电流恒定。采用恒流源供电以后，这种温度变化所引起的电流变化就会转化为其正向电压的变化，从而不会引起亮度和光谱的变化。

(三) LED 的 PWM 调光

在太阳能 LED 路灯中，常常需要按照工作时间来调节路灯的亮度，以减小太阳能电池板的面积。

为了改变 LED 的亮度，最简单的方法就是改变其正向电流。但是，正向电流的改变会引起光谱的改变，对于白光 LED，会引起其视在色温的改变，显然这是不希望的（图 7）。

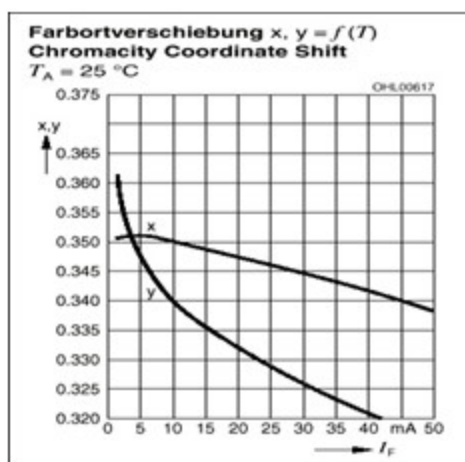


图 7. 正向电流的变化引起的发光光谱的变化

最好的方法就是采用脉宽调制（PWM）的方法来调光。这实际上利用了人眼的视觉残留的特点，使得虽然 LED 仍然以满电流工作，但是它是开关式地间歇地工作，改变开和关的比例，就可以改变其视在亮度。为了不致引起闪烁的感觉，开关的周期必须小于人眼视觉残留的时间，也就是说，PWM 的频率必须高于人眼所能感觉到的闪烁频率。大约是在 200Hz 以上。不过，由于现在的 LED 功率越来越大，要产生大功率的 PWM 信号直接加到 LED 上是很麻烦的。幸好现在的恒流源

大多是一种开关式直流变换器，它可以接受一个很小功率的 PWM 信号，就可以输出一个大功率的开关信号加到 LED 上，而同时还能保持恒流的作用，也就是它的峰值仍然保持原来设定的电流值。

所以，为了实现 PWM 调光也是需要采用恒流驱动源。而调光功能在太阳能 LED 路灯中是非常重要的。例如可以在午夜以后改为半功率工作，甚至再以后改为 1/3 功率工作，这样就可以大大减小太阳能电池板的面积，从而降低了整个灯具的成本。

（四）LED 的不一致性

即使是同一型号的 LED 其伏安特性在各个个别的器件之间也是不同的，更何况在不同生产厂家之间就更是不同了（图 8）。

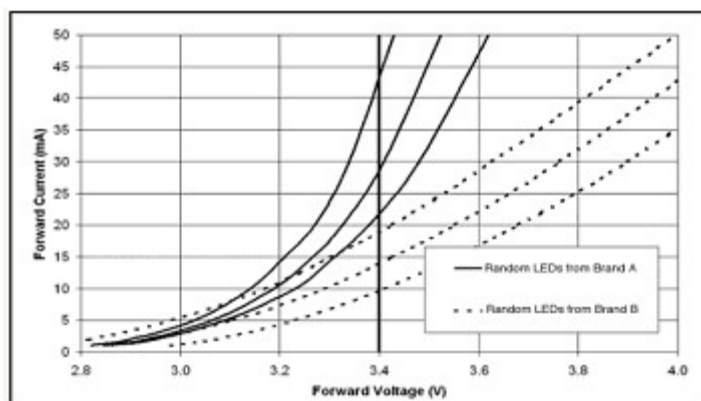


图 8. 同一厂家 LED 伏安特性离散性（实线），和不同厂家 LED 伏安特性的离散性（虚线）

从图中可以看出，假如采用恒压电源供电，它们之间的正向电流就会有很大差异。而过大的正向电流也会导致光衰的加速，所以一定要用恒流源供电。

三. 各种恒流源的选用

用在太阳能 LED 路灯中的恒流源,可以分为升压型、降压型、升降压型三种:所谓升压型就是它的输出电压比输入电压高。降压型就是输出电压比输入电压低。而升降压型则是可以根据输入电压低于或高于输出电压的情况自动地调节其工作模式为升压或降压。

在太阳能 LED 路灯中,通常采用铅蓄电池作为储能器件,它的电压通常为 12V 或 24V 两种。而所要求的输出电压,则是由所连接的 LED 的架构所决定。为了使得所有 LED 的正向电流一致,通常采用各个 LED 串联的方式,这时,所要求的输出电压就是所有串联的 LED 正向电压的总和。例如,假定用 10 个 LED 串联(图 9a),其正向电压的总和大约为 $10 \times 3.3V = 33V$ 。其实由于各个生产厂家所生产的 LED 各不相同,而且各个 LED 之间也有所不同。所以,10 个 LED 的正向电压的总合也不尽相同。其实在恒流源中,所恒定的是电流而不是电压。所以,并不需要知道正向电压总和的准确值,而只要知道它比输入电压高还是低就可以了。在这里,不论采用 12V 还是 24V 的蓄电池,它都要求采用升压型的恒流源。

假如所用的 LED 为 10V, 1A 的 10 瓦 LED。那么不论是 12Vd1 蓄电池还是 24V 的蓄电池就都要采用降压型的恒流源。

如果 LED 的电压和电源电压接近,例如负载为 4 个 1 瓦 LED 串联,那么它的电压为 13V 左右,而蓄电池在充满电的时候就会达到 14V 以上,这时候就要用降压型的恒流源,但是如果在蓄电池快要放完电的时候,它的电压就大概只有 10.4V。这时候就需要采用升压型的恒流源。所以,在这种情况下,就必须采用升降压型的恒流源。

多个 LED 也可以采用串并联的结构,通常我们称之为几串几并。例如 10 串 3 并就是如图 9b 的结构。

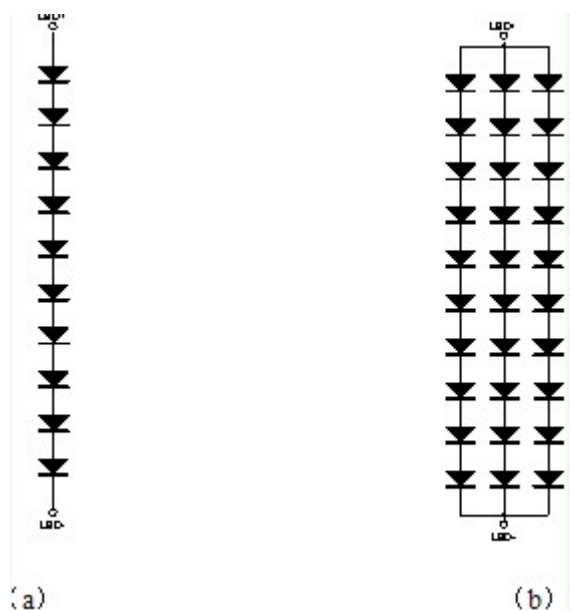


图9. LED的10串3并结构

这时候虽然也可以采用一个恒流源供电，但是这时候的恒流源就只能够恒定3串的总电流。这个总电流在各串中的分配是根据它们的伏安特性来分配的。因为加在这3串上的电压是一样的，而每串中的每一个LED的电流又是相同的，这时候就必须平衡在满足这两个条件的工作点上。而且，假如有一串中的一个LED坏了，就会把三串的总电流分配到两串中去，这就加大了每串中的电流。为了减小各串之间的电流不平衡，可以把各串中所有的LED都并联起来，构成一个网格型的结构。这时候如果某一串中有一个LED坏了，就不会影响到其它LED。但是，如果坏的LED呈现短路情况，那就会把其它两串中的LED也都短路掉，不过LED损坏时以开路为多，短路比较少。当然最好的方法就是用保护二极管（通常是齐纳二极管）和每个LED并联，不过这样就增加了成本。

当然多个LED也可以采用全部并联的方法，但是因为每个LED的伏安特性不一样，如果这时候用恒压源来供电就会产生极大的问题（图10）。

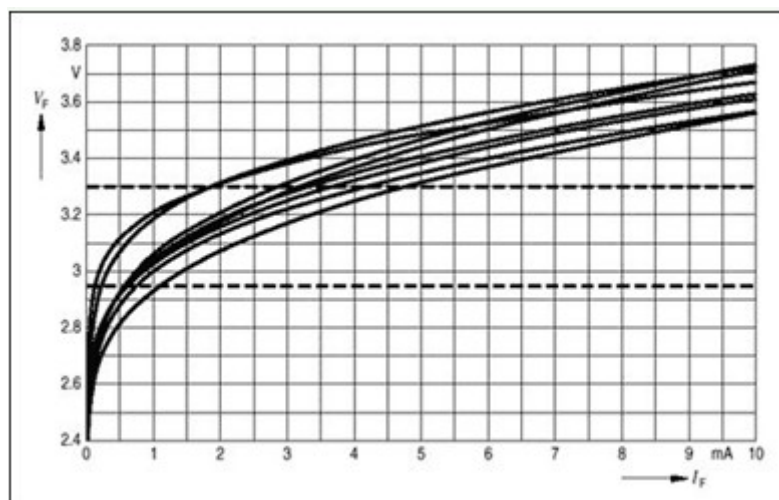


图 10. 用恒压源对多个并联的 LED 供电时每个 LED 的电流都不一样

这时候即使采用大电流的恒流源供电，也不能保证每个 LED 里的电流一样，通常需要对每个 LED 串联电阻来得到平衡，但那样会降低效率。所以并联的 LED 数过多是不建议的。

四. 恒流源的基本工作原理和特性

(一) 升压型恒流源的基本结构如图 11 所示。

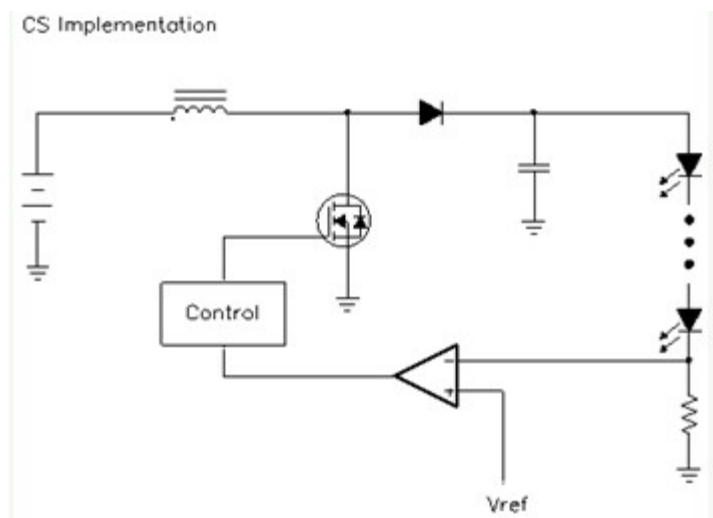


图 11. 升压型恒流源的基本原理图

图中显示了一个基本的电感升压电路，其中控制器（Control）给出了一个 PWM 开关信号来控制大功率开关管，后者在导通时对电感充电，而在断开时电感中的能量就对电容充电。经过几次开关以后就可以把输入电压泵至更高的电压，从而完成升压的任务。改变 PWM 信号的工作比就可以改变其输出电压。为了保持输出电流的恒定，就要求测量输出电流值，这是靠一个和 LED 串联的小电阻来测量的。这个电阻上的电压就和一个参考电压相比较，比较所得出的误差信号就送去控制器用以改变 PWM 信号的工作比，这样就实现了一个闭环自动控制，以控制其输出电流为恒定。

在选用这类升压型恒流源时，有几个问题需要注意的。

1. 恒流特性要好

图 12 表示一个 SLM2842S 的恒流特性曲线。检测电阻放在高端比方在低端更为好点。

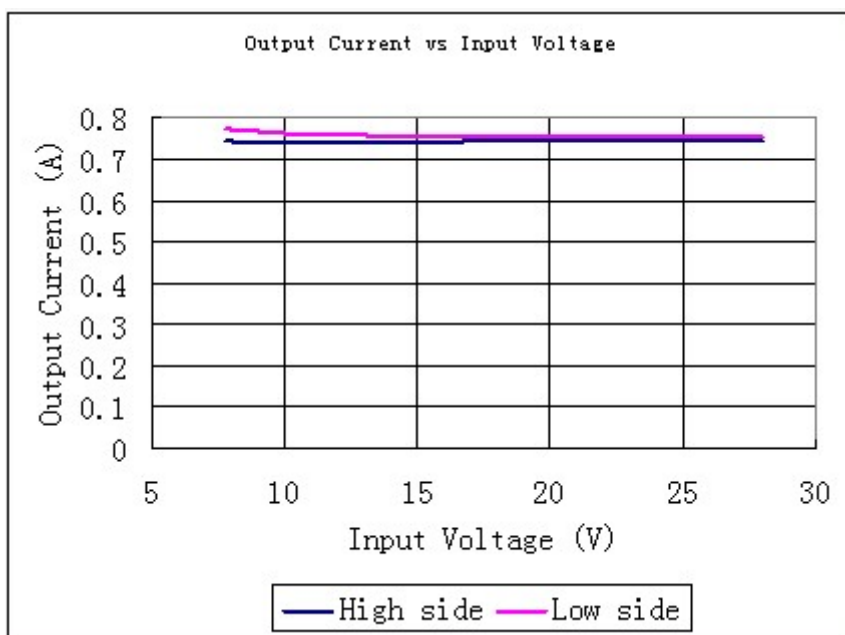


图 12. SLM2842S 的恒流特性

2. 升压比要尽可能小，或者说输入电压要尽可能高，一般来说，升压比越小效率越高。下面图 13 是当输出电流为 0.7A 输出功率为 30 瓦时，SLM2842S 的效率和输入电压的关系。

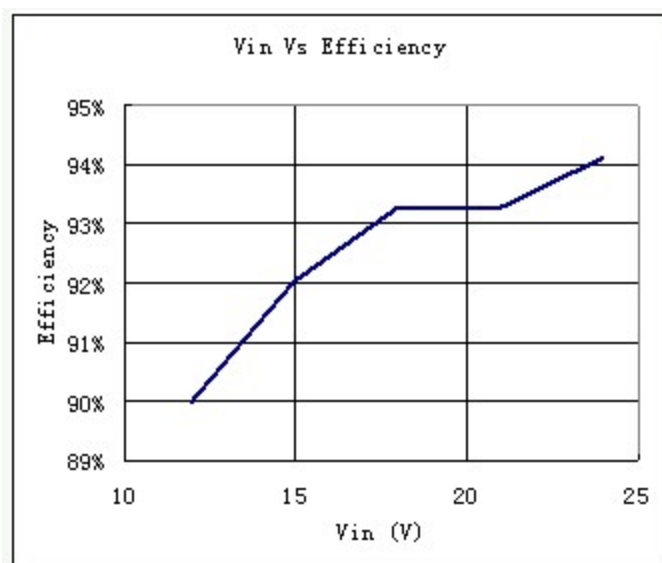


图 13. 当输出电流为 0.7A 输出功率为 30W 时, SLM2842S 的效率和输入电压的关系

由图中可见, 如果采用 12V 的蓄电池, 它的效率就只有 90%左右, 而如果改用 24V 的蓄电池, 它的效率就可以达到 94%。这就可以减少芯片的功耗, 降低芯片的温度, 提高芯片的可靠性。

检测电阻要尽可能小, 以免在上面消耗功率。实际上这也就意味着其内部的参考电压要尽可能低。这对于芯片设计者来说有一定的难度。如果这个参考电压在 0.1 伏左右, 就是一个相当好的一个芯片了, 这时, 外部的检测电阻就可以用一个很小值了, 也就意味着整个系统具有很高的效率。

(二) 降压型恒流源

降压型恒流源的基本工作原理和升压型是差不多的。其基本原理图如图 14 所示。

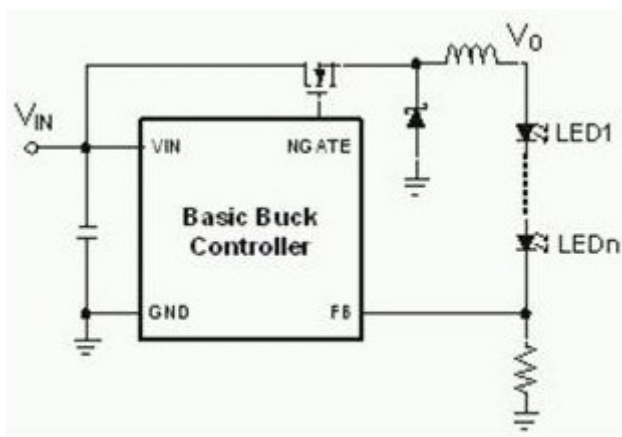


图 14. 降压型恒流源的基本原理图

通常储能电感是和 LED 串联, 开关导通时, 电感储能; 开关断开时电感通过二极管继续有电流流通。由于输出电压是输入电压减去电感电压, 所以是降压型。LED 中的电流经过检测电阻测量以后反馈回控制器。来控制 PWM 的工作比, 以实现恒流的控制。

降压型恒流源的缺点是要求输入电压高于输出电压，而太阳能 LED 路灯中所采用的蓄电池往往是 12V，顶多是 24V。而路灯中的 LED 通常是 10 个串联，其所要求的总输出电压往往在 33V-36V 左右，因此较难采用降压型的恒流源。而降压型恒流源的优点是效率高。因为输入电压高于输出电压，所以输入电流小于输出电流。电流小有助于减小电阻性损耗。图 15 表明一个降压型恒流源在输入电压固定在 35V，输出电流固定在 2A 时，其效率和输出电压的关系曲线。

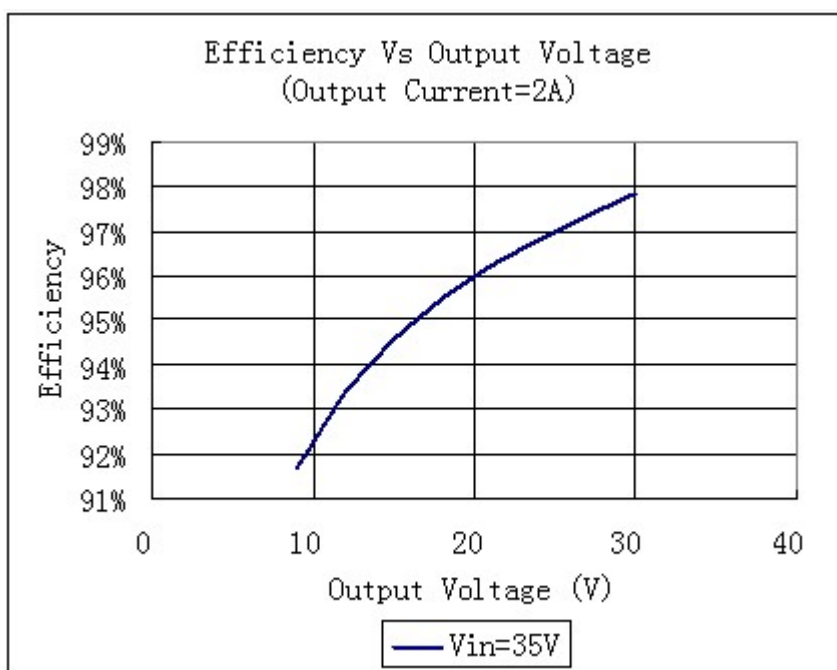


图 15. 降压型恒流源的效率和输出电压的关系曲线

从图中可以看出，当输出电压为 30V 时，其效率高达 98%。这种恒流源的恒流特性也很好（图 16）。

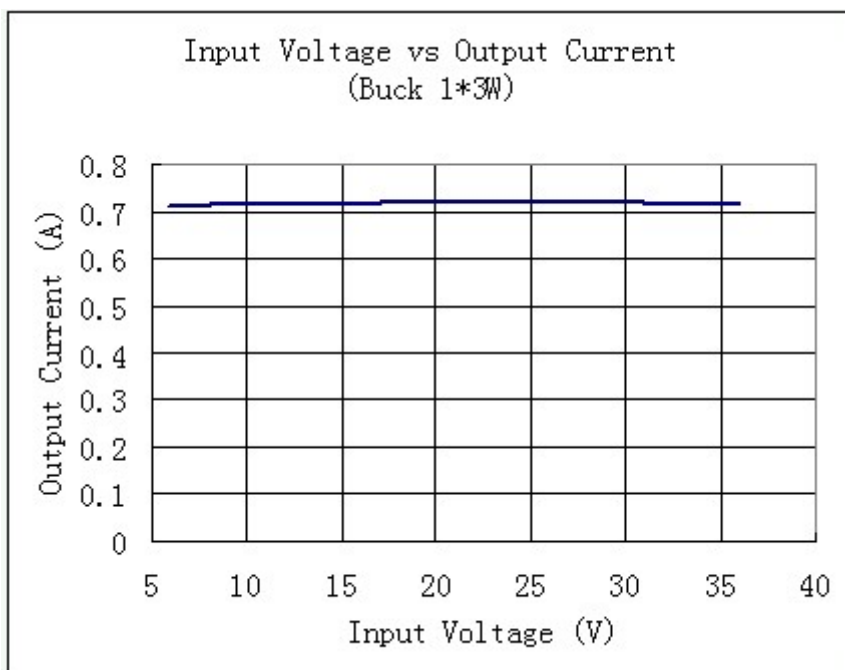


图 16. SLM2862J 的恒流特性

其实，这种降压型恒流源也可以用在交流电的 LED 路灯中，只要在前面加一个输出为 36V 的恒压电源，就可以驱动 60 瓦（1 瓦 LED10 串 6 并）的 LED，而且效率高达 98%。

（三）带 PWM 调光的恒流源

对于人眼来说，很难察觉到红、绿或蓝 LED 中几纳米波长的变化，特别是在光强也在变化的时候。但是白光的颜色温度变化是很容易检测的。而采用改变正向电流的方法来调光就很容易使人眼感觉到色温的变化，这是不希望的。所以在大功率 LED 路灯中，我们往往采用 PWM 的调光方法，以避免视在色温的变化。另一方面，改变正向电流的模拟式调光也会使输出电流的设定精度降低，这也是不希望的。

在 PWM 调光中，有一个很重要的指标就是调光频率。调光频率要足够高，以避免人眼感到闪烁，所以至少在 200Hz 以上。另一方面，调光频率也不能过高，因为输出电流从 0 增加到规定值有一个过程，也就是需要消耗一定时间，希望这

个时间占整个周期的比例越小越好，所以周期不能太小。否则会降低所能实现的对比度。

除此之外，还有升降压型恒流源。但是这种恒流源比较多应用在像汽车这类的输入电压会在很大范围内波动的场合，而很少应用在太阳能 LED 路灯中。就不在这里介绍了。

结束语

太阳能 LED 路灯具有极好的市场前景，而且也是开发可再生能源的一种最佳途径。然而从目前情况来看，大多数人都把目光集中在太阳能电池板，以及 LED 灯具上。而较少有人注意到恒流源和控制器的性能和开发这方面。而选择高性能的 LED 恒流源不但可以提高 LED 路灯的可靠性，而且具有 PWM 调光性能的恒流源和具有 PWM 调光输出的控制器相配合，还可以大大减小所需的太阳能电池板的面积，这对于降低整个灯具的成本，加速普及太阳能 LED 路灯具有极其重要的意义。希望所有从事太阳能 LED 路灯的工作者都来重视这方面的工作，把我国的太阳能 LED 路灯提高到国际的最先进的水平上来！