

# 平价 LED 球泡灯的设计思考

LED the parity bulb lamp design thinking

颜重光

**摘要:** LED 平价照明灯具是老百姓市场所需求的, 将是全球市场的海量产品。LED 光源和驱动电源芯片的降价造就了 LED 平价照明灯具的可行机会。分析论述了 5W 的平价 LED 球泡灯的设计方案。

**关键词:** COF MCOB BP3102 LED 平价照明灯具 LED 平价球泡灯

LED 作为新一代节能、环保、长寿命的照明光源已成全人类的共识。LED 照明灯具至今不能被大量推广应用, 不能进入千家万户, 其主要原因是 LED 照明灯具价格居高不下, 一个 5W 的 LED 球泡灯, 它的亮度相当于 25-30W 的白炽灯, 目前市场的零售价在 RMB50-100 元, 与荧光节能灯相比贵了很多。现在老百姓买荧光节能灯政府还有补贴, 买 LED 灯还没有啊! 因此, 建议开发老百姓用得起的平价 LED 球泡灯、LED 日光灯是 LED 产业界迫切需要做的实事。

今天, LED 光源正在不断地降价, LED 驱动电源新一代的芯片价格也在下降, 配套的五金塑料件的价格也在下降。因此设计、生产平价 LED 照明灯具的时机已经成熟。

市场遵循金字塔法则, 价高的产品永远只能占据塔尖的一小部分, 价格每向下降一点, 市场的扩容是成平方的倍增(图 1)。平价 LED 照明灯具将是平民百姓能够享用的大众产品, 也是老百姓用得起的新一代照明灯具。

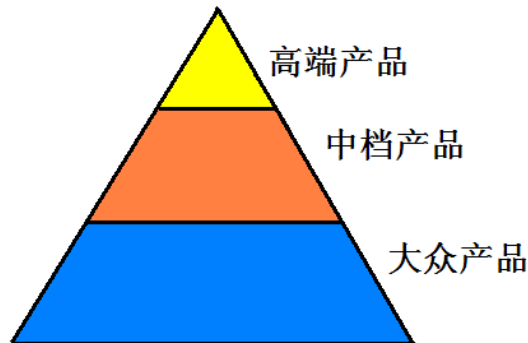


图 1 市场的金字塔法则

随着 LED 光源的大幅度降价, 和 LED 驱动电源专用芯片功能的高度集成, 用其生产的电源成本也步步下降, 今天如果能将 5W-10W (相当于 25W-60W 白炽灯的亮度) 的平价 LED 照明灯具的生产成本控制在 RMB 8—25 元以内, 市场零售价控制在 15-35 元以内, 使平价 LED 球泡灯的零售价接近同功率的荧光节能灯的零售价, 那么 LED 作为第四代光源替代白炽灯、荧光灯的步伐就会大幅度加快, 平价 LED 照明灯具进入数以万亿计的寻常百姓家将成为现实。如果政府对平价 LED 照明灯具能辅以财政补贴, 将使老百姓更早受益、更早享用, 使社会更多的节能。

---

作者: 颜重光 退休高工 北京大学上海微电子研究院 兼职教授

## 平价 LED 照明灯具的设计思路

平价 LED 照明灯具的设计思路遵循性能够用、质量第一、成本低廉的原则，将相当于 25W-60W 白炽灯的亮度的 5W-10W 平价 LED 照明灯具的生产成本控制在 RMB 8—25 元以内，市场零售价控制在 15-35 元以内。

以平价 LED 球泡灯为例，由 LED 光源模组、恒流驱动电源和灯头、外壳、散热器、灯罩组成（图 2）。LED 日光灯的整体构成也基本如此。如何选择好其中的每一个零部件是设计此平价 LED 照明灯具成败的关键。LED 光源选用以光效高、发热低、散热好、性价比好为准则；恒流驱动电源选用以采用原边控制（PSR）隔离电路、周边零件少、功率因数较高、效率较高、性价比好的为准则。

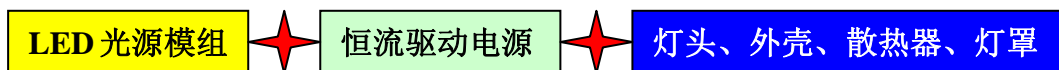


图 2 平价 LED 球泡灯主要零件

### LED 光源模组的选择

如今生产 LED 光源模组技术已相当成熟，价格也在一直平民化之中，每瓦（W）RMB1.00 的价格是目前设计平价 LED 灯具能接受的设计成本。如何在众多的 COB、MCOB、COF、LEDs 中选择适用而性价比好的 LED 光源模组是此平价 LED 球泡灯设计成败的关键之一。LEDs 是高压 LED 的模组（HV LEDs）暂不在本案例中讨论。

LED 光源模组或称之 LED 光源模块，常见的是 COB 封装，最近发展的有 COF、LEDs，这些都是为了下游 LED 应用工厂设计 LED 照明最终产品方便、快捷而由 LED 上游公司利用其大规模生产 LED 芯片的优势而设计、生产的。其关键技术是将电参数性能完全相同的单颗 LED 芯片在 LED 晶圆（Wafer）生产时或生产后配对集成在一个单元上。

COB（Chip On Board）封装是常见的 LED 模组封装，将电参数相同的 LED 芯片颗粒配对，按功率设计好组合光源的矩阵排列，通过 COB 封装工艺流程将 N 个颗粒的 LED 绑定在铝基板或陶瓷基板上，成为一个新的 LED 光源模组。铝基板选用导热好的材料，如美国的贝格斯、莱尔德等，铝基板上受贴 LED 芯片面的绝缘层通常在 75-100um 左右。铝基板上覆的铜箔通常为 35um。而 LED 芯片的厚度一般是 80-100um。利用覆铜在铝基板上预制了各颗 LED 灯珠间的连线，通常一个 COB 光源成品只有二个与驱动电源的连接点（图 3）。COB 在一个平面上有 N 个 LED 光珠，一个 LED 光珠有 4 个出光面，N 个 LED 光珠就有 4 乘 N 个出光面，出光面比单颗 LED 光珠出光面大，出光密度高，COB 封装可以比同功率的单颗灯珠提高 15% 的出光效率。如果在铝基板或支架的 LED 芯片安装点预置光学锥形聚光杯坑，在锥形环镀银更可增加光线的反射，提高出光率。这种把 LED 芯片直接放在光学的聚光杯坑里面又称为 MCOB 封装。COB 封装还可以减少原本单颗 LED 封装的支架成本、节省原本需要的 N 个二次光学透镜为一个，多颗芯片共用一个基板，使得多瓦数的灯珠节约了成本，也节省组装人力成本。LED 芯片通过铝基板直接散热，更有利于热量的传导扩散。



图3 LED 的 COB 封装

COF (Chip On Frame) 是 COB 封装技术的创新发展, COF 是将 LED 管芯 (Die) 如集成电路管芯那样直接绑定在铜支架上, 铜支架厚度大约 0.4mm, 按预先设计好的光源矩阵排列, 冲制放置 LED 灯珠的聚光杯坑, 聚光杯坑的深度大约 0.4mm, 覆铜箔预制各颗 LED 灯珠间连接的走线, 一个 COF 模组只有二个接点与驱动电源连接。铜支架冲压成型, 加工简便而快速, 制造成本不高。图 4 是 5W 的 COF 模组, 图左是 COF 铜支架几何尺寸图, 图右是 COF 模组的实物照片。

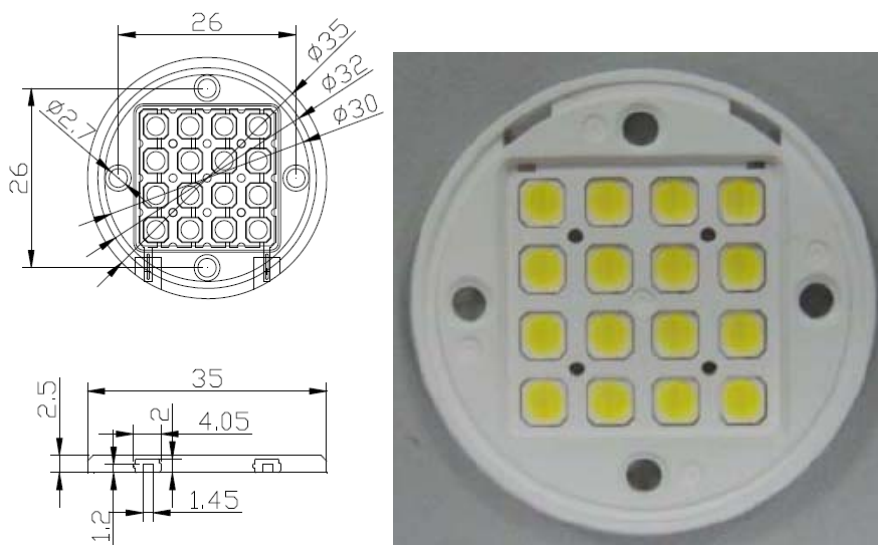


图4 LED 的 COF 封装

COF 模组是 COB 模组封装技术的创新发展。如 5 图所示 COB 和 COF 二种封装基板骨架结构的剖面示意图, 假设 LED 芯片 (Die) 均不放入基板骨架的聚光杯坑中, 其中 COF 的骨架是铜支架, COB 的骨架是铝基板, 铜箔是用来做连接电路走线的。COB 上 LED 芯片绑定在铝基板上, COF 上 LED 芯片绑定在铜支架上, 铜的导热系数远高于铝, 因此, COF 的热阻可比 COB 降低 50%; COF 是 N 颗 LED 灯珠固定在矩阵聚光杯坑中的, 聚光杯坑采用镀银增加光的反射, 加上 LED 灯珠的多面出光, 可使 COF 的光效提升 15%; COF 因没有铝基板和减少几道生产工序而节省部分人工及材料; 因而同样功率的 COF 与 COB 相比, COF 整体成本可比 COB 降低 30%, 所以 COF 模组有很好的性价比。

COB 和 COF 的模组光源有适用于球泡灯、吸顶灯、筒灯、日光灯、平面灯

灯等的各种系列，应用十分方便。COF 系瑞丰光电子首创。

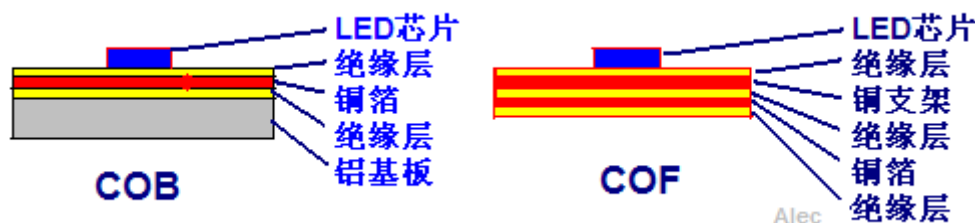


图 5 COB 和 COF 二种基板骨架结构的剖面示意图

## 恒流驱动电源芯片的选择

LED 发光二极管芯片作为照明光源工作的主要电气参数是正向电压 ( $V_F$ ) 和正向电流 ( $I_F$ )，其它相关的是颜色/波长/亮度/发光角度/效率/功耗等。 $V_F$  正向电压是为 LED 发光建立一个正常的工作状态。 $I_F$  正向电流是促使 LED 发光，发光亮度与流过的电流成正比例。白光 LED  $V_F$  标称电压： $3.2V \pm 0.2V$  (WLED)。LED  $I_F$  工作电流按应用需要选用，过大易引起 LED 的早期光衰，过小则不能点亮。LED 发光二极管的特性决定它必须工作在恒流状态。因此，选择功能合适、性能稳定可靠、成本适中的恒流驱动电源是此平价 LED 球泡灯设计成败的关键之二。

选择功能够用，周边零件少，内置 MOS 管的原边控制隔离电路驱动电源芯片，是比较理智的选择。本土 LED 照明驱动芯片设计商的技术水平与国际制造商的差距并不大，而在性价比上占明显的优势。如晶丰明源、美芯晟等本土 LED 专用恒流源芯片设计公司产品 BP3102、BP3112、MT7953 等，它们既专业、管用，又具有很好的性价比。

BP3102 是一款高精度原边反馈的 LED 恒流控制开关。芯片工作在电感电流断续模式，适用于全输入电压范围功率 5W 以下的反激式隔离 LED 恒流电源。BP3102 芯片内部集成 600V 功率 MOS 开关，采用原边反馈模式，无需次级反馈电路，也无需补偿电路，只需要极少的外围元件即可实现恒流，节约了系统的成本和体积。BP3102 芯片内带有高精度的电流取样电路，使得 LED 输出电流精度达到  $\pm 3\%$  以内。芯片采用了专利的恒流控制方式，可以达到优良的线性调整率和负载调整率。BP3102 具有多重保护功能，包括 LED 开路保护、LED 短路保护、芯片过温保护、过压保护、欠压保护和 FB 短路保护等。BP3102 内部结构框图如图 6 所示。BP3102 采用 SOP-8 封装，管脚功能描述如表 1。

表 1: BP3102 管脚描述

管脚号	管脚名称	功能描述
1	GND $\uparrow$	信号和功率地
2	FB $\uparrow$	辅助绕组信号采样端
3	VCC $\uparrow$	电源端
4	CS $\uparrow$	电流采样端，采样电阻接在 CS 和地之间
5、6	DRAIN $\uparrow$	内部功率管漏端
7、8	NC $\uparrow$	无连接，必须悬空

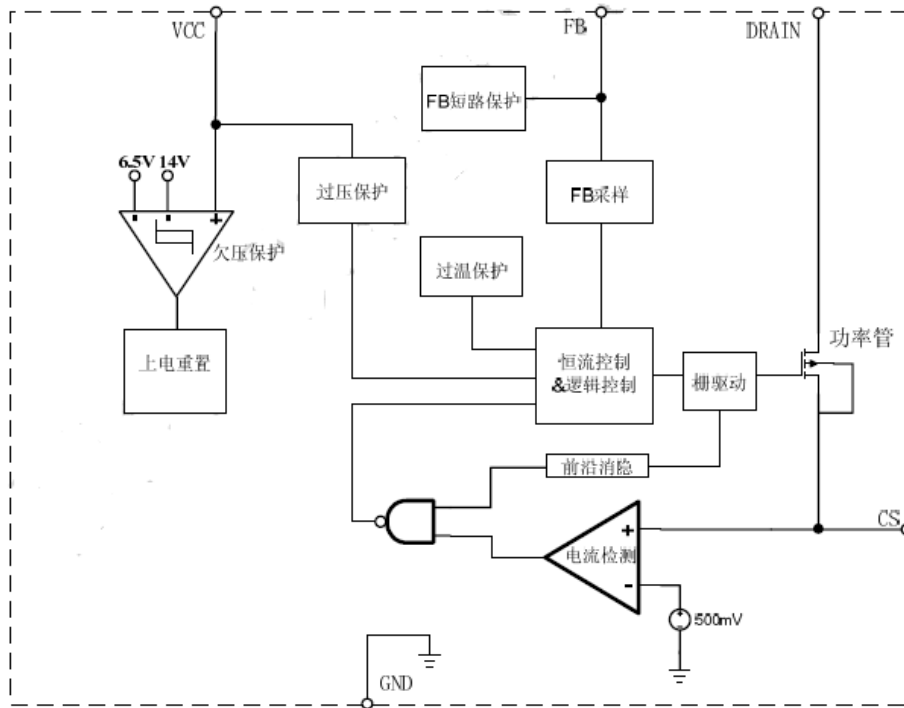


图 6 BP3102 内部结构框图

用 BP3102 设计 5W 的平价 LED 球泡灯的恒流电源电原理图如图 7 所示，这是一个隔离的恒流电源方案。由于 BP3102 已经集成了 LED 恒流驱动电路所需要的恒流、LED 开路保护、LED 短路保护、芯片过温保护、过压保护、欠压保护和 FB 短路保护等功能，所以整个应用电路就十分简洁。除了必须的 AC/DC 整流桥、电阻、电容外，驱动芯片和变压器就是二个主要的器件。

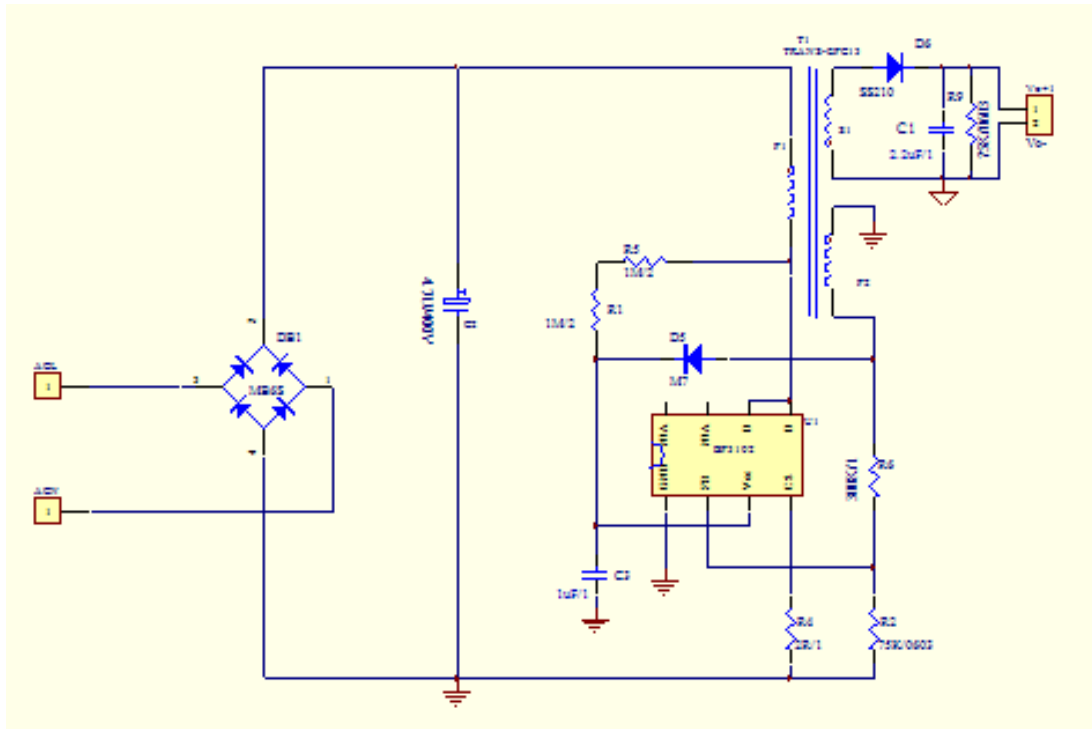


图 7 5W 平价 LED 球泡灯的恒流电源电原理图

BP3102设计为恒流输出，芯片仅需要25uA 的启动电流，系统上电后启动电阻对Vcc 的电容进行充电，当Vcc 电压达到芯片开启阈值时，芯片内部控制电路开始工作。系统启动后，Vcc 由辅助绕组进行供电。芯片逐周期检测变压器主级侧的峰值电流，CS 端连接到内部的峰值电流比较器的输入端，与内部500mV 阈值电压进行比较，当CS 外部电压达到内部检测阈值时，功率管关断。主级侧峰值电流的表达式为：

$$I_{P\_PK} = \frac{500}{R_{CS}} (mA)$$

CS 比较器的输出还包括一个500nS 前沿消隐时间。

LED 输出电流设置计算方法：

$$I_{OUT} = \frac{I_{P\_PK}}{4} \times \frac{N_P}{N_S}$$

其中，Np 是变压器主级的匝数，Ns 是变压器次级的匝数，I<sub>P\_PK</sub> 是主级侧的峰值电流。BP3102从新的视角去优化芯片算法设计是创新技术的关键，是一创新的设计新思路，一种主级侧恒流控制的新的原理，从图8中可以发现，芯片控制输出电流峰值，通过辅助绕组反馈，使得退磁时间和芯片开关周期的比例固定，这样就可以使得输出电流与外围的电感量偏差和输出电压的偏差无关，芯片控制T<sub>off</sub>时间占整个周期的一半，这样平均电流I<sub>out</sub>就是I<sub>Ls\_pk</sub>的四分之一，如上算式表示，电流与电感量无关。同时I<sub>p\_pk</sub>由芯片基准源决定，可以达到1%，匝比也是固定的，匝比精度较高，所以输出电流精度较高。整个电路对变压器电参数不敏感，降低了对变压器的要求，大大降低了变压器的生产成本。

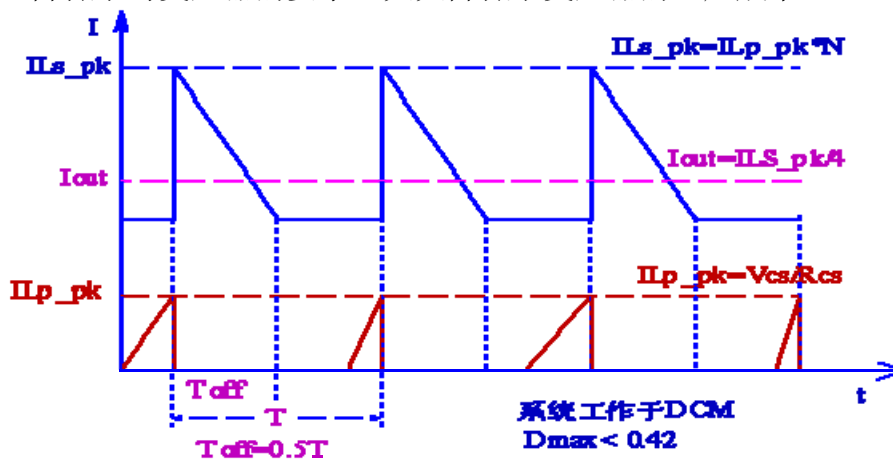


图8 BP31XX 系列主级侧恒流控制的一种新的原理

芯片通过FB 来反馈输出电流的状态，FB 的阈值电压设置在1V，建议FB 检测的上分压电阻和下分压电阻比值设计在4.0 左右。为了提高系统效率，反馈检测网络的上分压电阻可以设计到300KΩ~750KΩ。同时FB 检测的上分压电阻可以进行线电压补偿，补偿系数为：

$$\Delta V_{CS} = -1.1 \times 10^6 \times \frac{V_{ALUX}}{R_{FBH}} (mV)$$

其中， $R_{FBH}$  是反馈网络的上分压电阻。

系统工作在电感电流断续模式，无需环路补偿，最大占空比是42%。建议最大工作频率小于100KHz，最小工作频率大于20kHz。芯片限制了系统的极限最大工作频率和极限最小工作频率，以保证系统稳定性。工作频率的计算式为：

$$f = \frac{N_p^2 \times V_{LED}}{8 \times N_s^2 \times L_p \times I_{LED}}$$

其中， $L_p$  是变压器主级侧电感。

BP3102 内置多种保护功能。当Vcc 电压高于16V时，芯片关断外部功率管，芯片自动重启直到外部过压状态解除；Vcc 内部自带19V 钳位电路，以防止异常条件下芯片损坏。芯片内部热保护电路检测结温度，当结温度超过阈值(150℃)时，将关断功率MOSFET，直到结温度下降20℃后，MOSFET 才会重新使能。当输出出现LED 短路或LED 开路时，系统将自动进入低功耗模式，同时不断检测负载状态，直到故障解除。当故障解除后，系统自动恢复正常工作。

在设计BP3102 的PCB 时，需要遵循以下指南：旁路电容Vcc 的旁路电容器需要紧靠芯片Vcc 引脚。地线电流采样电阻的功率地线尽可能短，而且要和其它的地线及其它小信号的地线分头接Bulk 电容的地端。要减小功率环路的面积，如变压器主级、功率管及缓冲网络的环路面积，以及次级二极管、变压器次级、输出电容的环路面积，以减小EMI 辐射。NC 引脚必须悬空以保证芯片引脚间距满足爬电距离。增加Drain （内部功率管漏端）引脚的铺铜面积以提高芯片散热。接到FB 脚的分压电阻必须靠近FB引脚，而且节点要远离变压器的动点。

这个恒流驱动电源的PCB版图如图9。变压器的制造工艺如图10，变压器制造工艺要求如表2。这些都是做好这个电源的关键。

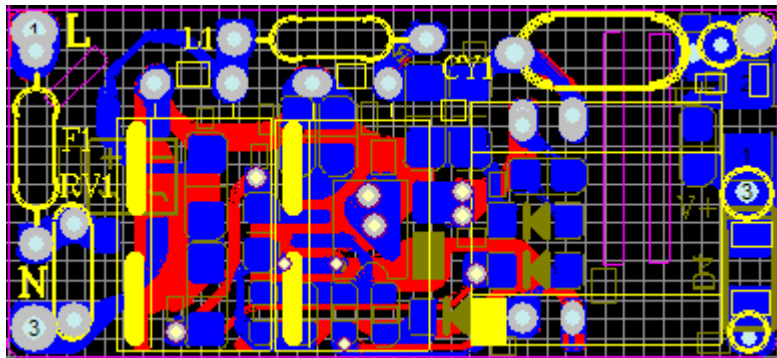


图9 5W平价LED球泡灯的PCB版图

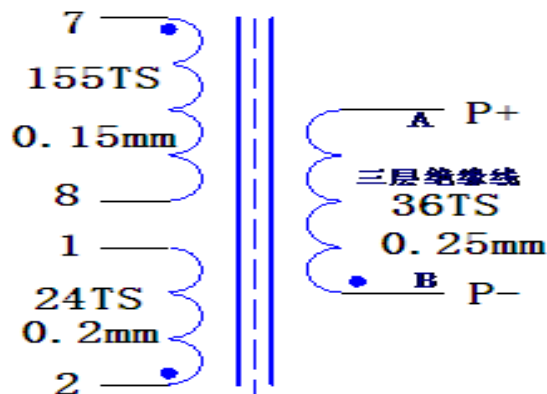


图10 5W 球泡灯变压器工艺图

表 2: 5W 球泡灯变压器工艺要求

骨架: EE13 卧式		磁芯: EE13		磁芯材料: PC40		
线圈绕组:						
属性	绕组	脚位	线材要求	匝数	绕制工艺	备注
初级 N1	4 层	7--8	0.15mm, 2uew 155℃	155	密绕	
胶带 2 层						
次级 N2	3 层	P- -- P+	三层绝缘线 0.25mm	36	密绕	
胶带 2 层						
反馈 N3	1 层	2---1	0.2mm, 2uew 155℃	24	均绕	
胶带 3 层						
备注:						
<p>1) 调整初级(第 7 脚至第 8 脚)电感量, 磨中间磁芯气隙调到 2.3mH(±5%), Q 值约 25, 漏感 Lk 小于 100uH (10KHz 测试), 初级电阻小于 6.4R, 次级电阻小于 0.28R。</p> <p>2) 注意由于初级线较细, 需控制绕线速度, 不可伤线, 以及防止线被骨架刮伤。</p> <p>3) 第 3, 4, 5, 6 脚剪掉。</p> <p>5) 变压器外需用 14mm 黄胶带包裹起来。</p> <p>6) 胶带颜色: 内黄外黄。</p> <p>7) 变压器初次级耐压: 3750V。</p> <p>8) 引出线“P-”线涂色, “P-” “P+”线留长 25mm。“P-”线从 1, 2 脚顶部出线, “P+”线从 7, 8 脚顶部出线。</p> <p>9) 成品需真空浸漆处理。</p>						

这个5W平价球泡灯整灯方案设计时已考虑控制成本, 因此使用的元器件很少, 表3是它的材料清单(BOM)。

BP3102有很方便易用的系统自动设计程序, 可以从[www.bpsemi.com](http://www.bpsemi.com)的网上下载使用(图11)。可以大大减轻设计师在设计新的应用方案时的工作量。

BP3102是晶丰明源的产品, 类似功能的MT7953是美芯晟的产品。

表 3: Power BOM

NO.	元件类型	型号描述	用量	单位	位号
1	贴片电阻	RES-SMD-1206-001.00M-5%-0.250W	2	Pcs	R1,R5
2		RES-SMD-1206-001.58R-1%-0.250W	1	Pcs	R4
3		RES-SMD-0805-560.00K-5%-0.125W	1	Pcs	R7
4		RES-SMD-0603-75.00K-5%-0.100W	2	Pcs	R2,R3
5	贴片电容	CAP-SMD-0805-X7R-001.00U-10%-025V	1	Pcs	C3
6		CAP-SMD-1206-X7R-004.70U-10%-50V	1	Pcs	C1
7	电解电容	CAP-ELE-004.70u-400V_P4*Φ8	1	Pcs	C2
8	贴片二极管	DIO-FAS-SMA-01.00A-1000V-M7(4007)	5	Pcs	D1, D2, D3, D4, D5
9		DIO-SKY-SMA-01.00A-200V-ES1D	1	Pcs	D6
10	变压器	TR-EE13卧式	1	Pcs	T1
11	芯片	IC-BPS-BP3102_SOP-8	1	Pcs	U1
12	PCB板		1	EA	



BP310X LED驱动电源设计					V1.5	
使用说明：本软件用于BPSemi的BP310X系列LED恒流驱动IC理论设计。软件中红色字体是根据实际电气参数要求填入，系统将自动算出相关的元件参数（蓝色字体）和系统工作参数（粉红色字体）。						
<b>Design Spec.</b>			<b>LED Load Spec.</b>			
最小输入电压_Vinmin=	180.0	Vac	LED单颗平均电压_Vled=	4.00	Vdc	
最大输入电压_Vinmax=	264.0	Vac	LED单颗平均电流_Iled=	800.00	mA	
输入频率@Vinmin_Fin=	50.0	Hz	LED串联数量_Qsled=	3.00	Pcs	
系统工作频率@Voutmax_Fsw=	48.0	Khz	LED并联数量_Qpled=	1.00	Pcs	
设计的系统效率@Vinmin_Eff=	80.0	%	电源输出电压_Vout=	12.00	Vdc	
系统工作最大占空比_Dmax=	40.0	%	电源输出电流_Iout=	800.00	mA	
输入电容纹波电压_ΔVc=	15.0	Vdc	电源输出功率_Pout=	9.60	Watt	
功率因数	Use PFC	0.8-0.95	校正系数_CPFPC=	0.5		
<b>Design Data (工作参数计算)</b>						
最小母线电压_Vbulkmin=	112.28	Vdc	最大母线电压_Vbulkmax=	373.35	Vdc	
开关管最大耐压Vdmax=	595.26	Vdc	输出二极管耐压@Vor=	115.00	Vdc	
开关管最小开通时间_Tonmin=	2.43	μS	变压器初次级匝比_Nps=	7.045		
开关管最大开通时间_Tonmax=	8.33	μS	次级绕组电流有效值_Isrms=	1306.39	mA	
次级绕组峰值电流_Ispk=	3200.00	mA	初级绕组电流有效值_Iprms=	185.44	mA	
初级绕组峰值电流_Ippk=	454.22	mA				
<b>变压器设计</b>						
变压器初级电感量_Lp=	2.06	mH	实际选用初级电感量_Lp=	2.00	mH	

图 11 BP3102 的系统自动设计程序

## 整灯方案的实现

将上述选择的 COF 的 LED 光源模块、和由 BP3102 为主芯片的恒流电源，加上 E27 灯头、散热器、外壳、灯罩，一个 5W 的 LED 平价球泡灯的整灯方案就实现了（图 12）。大批量生产时，所有元器件成本总和可控制在 RMB10.00 元左右，达到设计 LED 平价球泡灯的目的。图 13 是二种已小批量生产的 5W LED 平价球泡灯的实物照片。

这个方案的 5W LED 球泡灯主要参数如下：

- 工作电压：AC 85-240V
- 光效：70-90 lm/W
- 光通量：370-450lm
- 显色性：CRI >75
- 色温：3000-4000-6000K
- 发光角度：150°
- 可代替传统灯瓦数：30-40W

目前 LED 灯珠的光效随着制造技术的进步正在逐月提升，即每 W 的 lm 数在不断增长。PV 罩子的透光率关系到成品灯的光通量，不良的材料可能会使整灯损失 10-20 lm。所以要选用透光率高的材料做灯罩。

RF: COF Module

BPS: Drive power

Shell



图 12 RF COF + BPS Drive power + Shell



图 13 二种已小批量生产的 5W LED 平价球泡灯的实物照片

## 小结

LED 平价照明灯具正是老百姓市场所需求的，将是全球市场的海量产品，它必将走进全世界成万上亿户的家庭。LED 照明灯具只有把零售价格降至荧光节能灯的零售价才能迎来海量生产，才能使无论是富人还是穷人都能买得起，才能使全人类分享电子科技创新带来的恩泽。

平价 LED 照明灯具提倡包用三年是理智的，任何电子产品的寿命与产品的成本有关，一个环保而又亮又省电的照明灯具能用三年符合老百姓价值观念。

平价 LED 照明灯具的电源将继续使用铝电解电容器，因为它是又有效又便宜的滤去电源纹波和防止 LED 闪烁的器件，105 度的铝电解电容器的寿命是 10000 小时，今天使用 COF 光源的平价 LED 球泡灯的内腔温度已经下降，电解电容器的使用环境温度每下降 10 度，寿命增加一倍。

平价 LED 照明灯具将进入网络销售的全新营销模式，一个价格合理的、符合老百姓消费水平的 LED 平价照明灯具将迎来新的网购热潮和灯具专卖店的销售热情。

Alec 2012-05-06

## 参考资料

- |                                   |          |            |
|-----------------------------------|----------|------------|
| 1) 《照明用 LED 芯片与 LED 模块》           | 颜重光      | 2012-05-02 |
| 2) 《BPS 室内 LED 照明电源驱动芯片及应用技术》 PPT | 颜重光      | 2012-05-05 |
| 3) 《2011 年度 LED 照明行业的后顾与前瞻》       | 颜重光      | 2011-12-30 |
| 4) 《创新 LED 恒流源驱动芯片的算法设计》          | 颜重光      | 2011-11-03 |
| 5) BP3102 Datasheet               | 晶丰明源     | 2011-08-22 |
| 6) 《模组在照明领域的应用》 PPT               | 熊剑锋 瑞丰光电 | 2012-04-24 |