

# 基于 PLC810PG控制 IC的 LED路灯驱动电路

解学军,王兴超

(山东沂光电子股份有限公司,临沂 276017)

**摘要:** PLC810PG是一种带集成半桥驱动器的 PFC与 LLC组合离线控制器。基于 PLC810PG的 150 W LED路灯电源,功率因数  $PF=0.97$ ,系统效率  $\eta_{total}=92\%$ ,符合 IEC61000-3-2中对谐波电流的规定限制。

**关键词:** PLC810PG控制 IC; PFC&LLC拓扑; LED路灯电源; 140~265V<sub>AC</sub>输入; 150 W输出

## The Driver Circuit Based on PLC810PG Control IC for LED Street Light

Xie Xuejun, Wang Xingchao

(Shandong Yiguang Electronic Co., Ltd, Linyi 276017)

**Abstract:** The PLC810PG is a combined PFC and LLC off-line controller with integrated half-bridge drivers. The 150 W LED street light power supply based on PLC810PG, the power factor (PF) = 0.97 and system efficiency ( $\eta_{total}$ ) = 0.92 as well as meets harmonic current limits as specified in IEC61000-3-2.

**Keywords:** PLC810PG control IC; PFC & LLC topology; LED street light power supply; 140~265 V<sub>AC</sub> input; 150 W output

## 0 引言

目前 LED应用的一个热点就是 LED的道路照明。LED路灯技术主要有两大部分:一个是离线(off-line)LED驱动电源技术;另一个是 LED路灯模块及其散热和灯具技术。

由于用来取代高压钠灯等传统光源用于道路照明的 LED路灯功率往往远超过 75 W,因此要求 LED路灯电源 AC输入电流谐波含量必须符合 IEC61000-3-2等标准规定限制。为此,LED路灯电源必须采用功率因数校正(PFC)。

LED路灯电源大多采用开关型电源(SMPS)拓扑结构。由于 LED路灯功率通常达 150 W以上,不宜再沿用单开关反激式电路,而必须采用支持相应功率的电路拓扑,例如半桥 LLC谐振拓扑结构。

## 1 半桥 LLC谐振拓扑结构

半桥双电感加单电容(LLC)谐振转换器基本结

构如图 1所示。在图 1中,  $Q_1$  和  $Q_2$  是半桥开关(MOSFET),  $C_R$ ,  $L_R$  和变压器 T1初级绕组线圈  $L_M$  组成 LLC谐振电感器  $L_r$ ,将其结合进变压器初级之中,如图 2所示。对于图 2所示的电路拓扑,仍称作 LLC谐振结构,而不称其为 LC谐振拓扑。

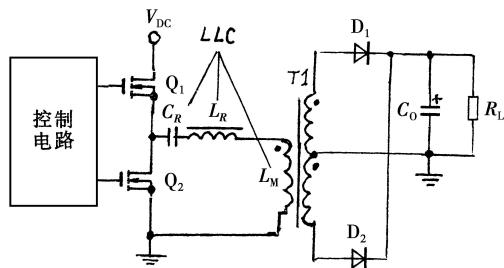


图 1 半桥 LLC谐振转换器基本结构

LLC谐振电路拓扑能提供较大的输出功率,保证半桥 MOSFET的零电压开关(ZVS),具有高效率。

收稿日期: 2010-01-25

作者简介: 解学军(1960-),男,高级工程师,山东沂光电子股份有限公司副总经理,主要从事电子元器件开发、生产与应用。

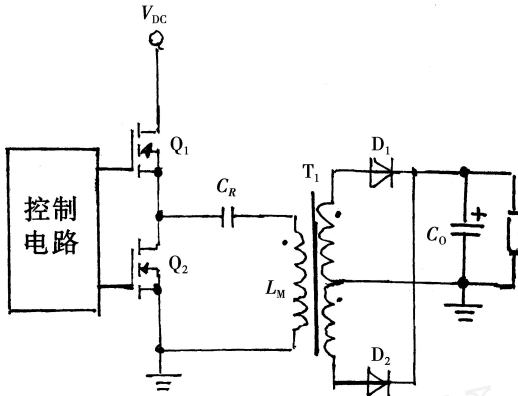


图 2 将 LLC 谐振电感器并入到变压器初级

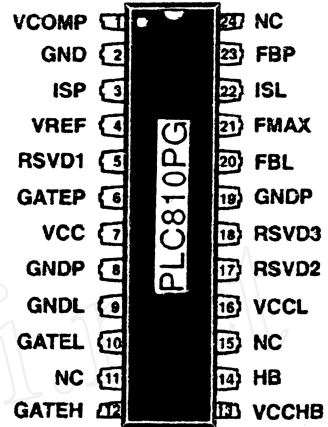


图 3 PLC810PG 引脚排列

## 2 PFC/LLC 控制器 PLC810PG

PLC810PG 是美国 Power Integrations (PI) 公司推出的一种新型控制 IC。这种控制 IC 采用 24 引脚窄体塑料无铅封装, 引脚配置如图 3 所示。

PLC810PG 芯片集成了连续电流模式 (CCM) PFC 控制器和 PFC 开关 (MOSFET) 驱动器、半桥 LLC 谐振控制器及半桥高、低端 MOSFET 驱动器, 如图 4 所示。

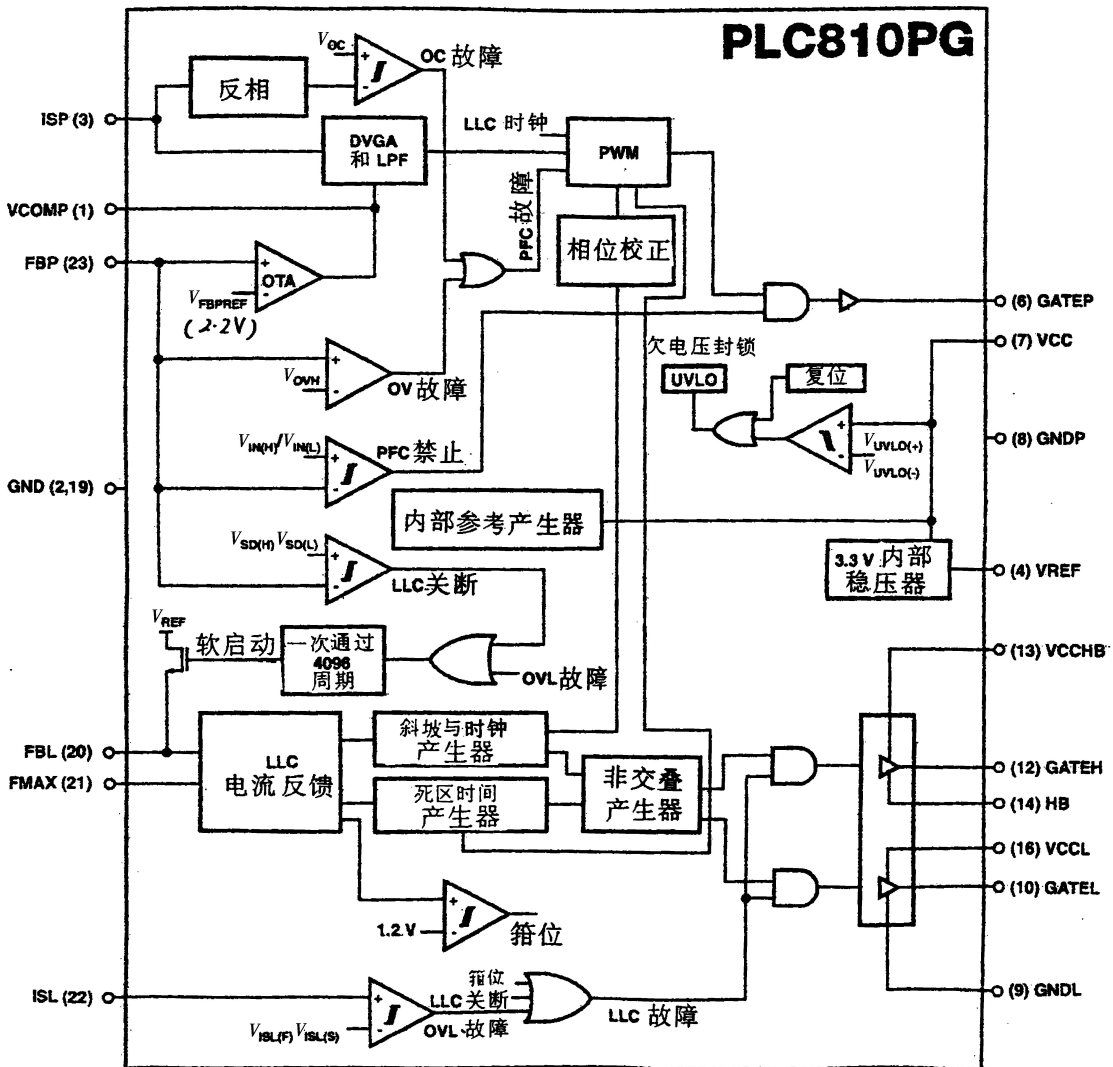


图 4 PLC810PG 功能框图

### 2.1 PFC控制器

FLC810PG的CCM PFC控制器只有4个引脚(除接地端外),是目前引脚最少的CCM PFC控制器。这种PFC控制器主要是由运算跨导放大器(OTA)、分立电压可编程放大器(DVGA)和低通滤波器(LPF)、PWM电路、PFC MOSFET驱动器(在引脚GATEP上输出)及保护电路组成的。PFC控制器有两个输入引脚,即引脚ISP(3)和FBP(23)。

FBP引脚是PFC升压变换器输出DC升压电压的反馈端,连接OTA的同相输入端。OTA输出可视为是PFC控制器等效乘法器的一个输入。OTA在引脚VCOMP(1)上的输出,连接频率补偿元件。反馈环路的作用是执行PFC输出DC电压调节和过电压及电压过低保护。IC引脚FBP的内部参考电压 $V_{FBPREF} = 2.2\text{ V}$ 。如果引脚FBP上的电压 $V_{FBP} > V_{OVN} = 1.05 \times 2.2\text{ V} = 2.31\text{ V}$ , IC则提供过电压(OV)保护,在引脚GATEP上的输出阻断。如果电压不足使 $V_{FBP} < V_{N(L)} = 0.23 \times 2.2\text{ V} = 0.506\text{ V}$ , PFC电路则被禁止。如果 $V_{FBP} < V_{SD(L)} = 0.64 \times 2.2\text{ V} = 1.408\text{ V}$ , LLC级将关闭。

FLC810PG的ISP引脚是PFC电流传感输入,用作PFC算法控制并提供过电流(OC)保护。PFC在ISP引脚上的过电流保护(OCP)解扣电平是 $-480\text{ mV}$ 。

### 2.2 LLC控制器

半桥LLC谐振控制器的FBL引脚是反馈电压输入端。流入引脚FBL的电流越大,LLC转换器的开关频率则越高。LLC级最高开关频率由连接在引脚FMAX与引脚 $V_{REF}$  (3.3V)之间的电阻设定,可达正常工作频率(100 kHz)的2~3倍。引脚FBL还提供过电压保护。引脚ISL(22)为LLC级电流传感输入端,提供快速和慢速(8个时钟周期)两电平过电流保护。死区时间电路保护外部两个MOSFET不会同时导通,并实现零电压开关(ZVS)。

PFC和LLC频率和相位同步化,从而减小了噪声和EMI。PFC电路不需要AC输入电压感测作为控制参考,这是区别于其他同类控制器的标志之一。

FLC810PG的引脚VCC(7)导通门限是 $9.1\text{ V}$ ,欠电压关闭门限是 $8.1\text{ V}$ 。VCC电压可选择 $12\sim 15\text{ V}$ 。

## 3 采用FLC810PG的150 W LED路灯电源

采用FLC810PG的150 W LED路灯电源电路如

图5所示。

### 3.1 输入滤波器/PFC主电路/偏置电源

在图5(a)中,电容 $C1, C2, C3, C4, C5, C6$ 和共模电感器 $L1, L2$ 组成输入EMI滤波器, $R1\sim R3$ 在AC电源切断时为电容放电提供通路。NTC热敏电阻RT1在系统启动时限制浪涌电流,当电路开始正常工作时,继电器RL1将RT1旁路,RT1不再有功功率损耗,可使电源效率提高 $1\%\sim 1.5\%$ 。

BR1是桥式整流器,在接通AC电源后,电流经二极管D1对PFC升压转换器输出电容 $C9$ 充电,浪涌电流不经过PFC电感器 $L4$ ,从而使 $L4$ 不会出现饱和。

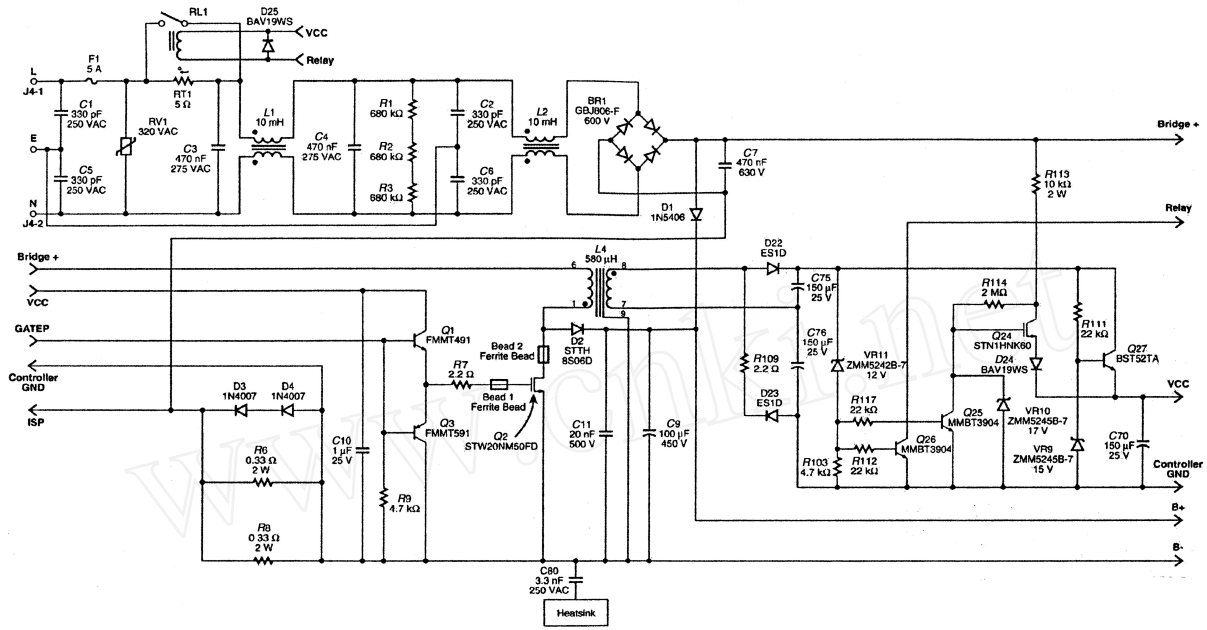
$L4$ , PFC开关(MOSFET)Q2,升压二极管D2和输出电容 $C9$ 等,组成PFC升压变换器主电路。在 $140\sim 265V_{AC}$ 输入电压范围内,输出电压稳定在 $385V_{DC}$  (B+与B-之间),并在BR1输入端产生正弦AC电流,使系统呈现纯电阻性负载,线路功率因数(PF)几乎等于1。晶体管Q1, Q3等组成Q2的缓冲级。 $R6$ 和 $R8$ 是PFC级电流传感电阻,二极管D3, D4在浪涌期间箝位 $R6$ 和 $R8$ 上的电压(即两个二极管上的正向压降)。Q2栅极和漏极串接的铁氧体磁珠( $\phi 3.5\text{ mm} \times 3.25\text{ mm}$ , 20),用作改善EMI特性。PFC开关Q2的散热器通过C80接初级地(B- )。

$L4$ 的副绕组是偏置线圈,其输出由D22, D23,  $R109, C75, C76$ 倍压整流和滤波,作为后随偏置稳压器的DC输入。在系统通电后,电流通过Q24, D24对 $C70$ 充电,为U1(FLC810PG)提供启动偏置。Q27,  $R111$ 和齐纳二极管VR9组成射极跟随稳压器。当偏置电压 $V_{CC}$ 达到稳定时, Q25关闭启动电路,并且Q26接通继电器RL1,将热敏电阻RT1短路。

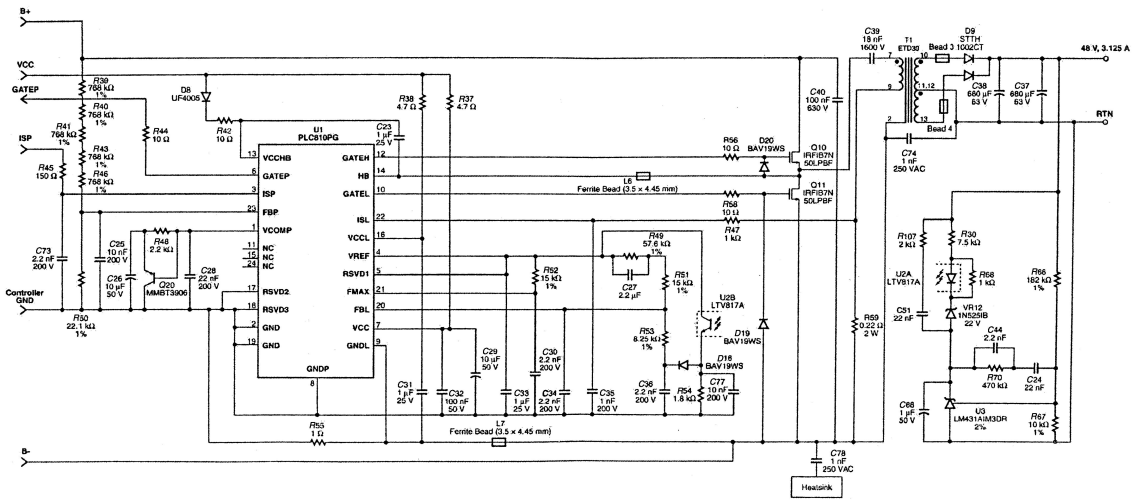
### 3.2 PFC电路控制输入和LLC变换器

基于U1的LED路灯PFC电路控制输入和半桥LLC谐振转换器电路如图5(b)所示。

在图5(b)中, U1引脚GATEP上的PWM信号驱动PFC开关Q2。 $R6$ 和 $R8$ 上的电流传感信号经 $R45, C73$ 滤波输入到U1引脚ISP,来执行PFC算法控制,并提供过电流保护。PFC输出电压 $V_{B+}$ 经 $R39\sim 41, R43, R46$ 和 $R50$ 取样,并经 $C25$ 滤除噪声,输入到U1引脚FBP,来执行PFC输出电压调节和过电压以及电压过低保护。U1引脚VCOMP外部 $R48, C26, C28$ 为频率补偿元件。当引脚VCOMP上的信号较大时, Q20导通,将 $C26$ 旁路,可使PFC控制环路能够快速响应。



(a)输入滤波器、PFC主电路和偏置电源



(b) PFC控制输入与 LLC变器

图 5 采用 PLC810PG 的 150 W LED 路灯电源

Q10, Q11 为半桥功率开关 (MOSFET)。C39 是谐振电容。C39 与变压器 T1 初级绕组构成 LLC 谐振槽路。T2 次级输出经 D9, C37, C38 整流滤波, 产生 48 V 输出, 为 LED 路灯模块供电。

48 V 的输出由 R67, R66 采样, 经稳压器 U3, 光电耦合器 U2 及 R54, D16, R53 等反馈到 U1 的 FBL 引脚, 来执行输出电压调节和过电压保护。流入引脚 FBL 的电流越大, LLC 级开关频率也就越高。最高开关频率由 U1 引脚 FMAX 与 VREF 之间的电阻 R52 设定。R49, R51, R53 设置下限频率。C27 是 LLC 级软启动电容, 软启动时间由 C27 和 R49, R51 共同设定。

R59 是 T1 初级电流感测电阻。R59 上的电流感

测信号经 R47, C35 滤波输入到 U1 的 ISL 引脚, 以提供过电流保护。

偏置电压  $V_{CC}$  经 R37, R38 分别加至 U1 的 VCC 和 VCCL 引脚, 将 U1 模拟电源和数字电源分开。R55 和铁氧体磁珠 L7, 在 PFC 与 LLC 地之间提供隔离。U1 内半桥高端驱动器由自举二极管 D8, 电容 C23 和电阻 R42 供电。Q10 和 Q11 散热器经 C78 连接到初级地 (B-)。

### 3.3 磁性元件选择

#### 3.3.1 PFC 升压电感器

PFC 升压电感器 L4 使用 PQ32/20 磁心和 12 引脚骨架, 电气图和结构图如图 6 所示。

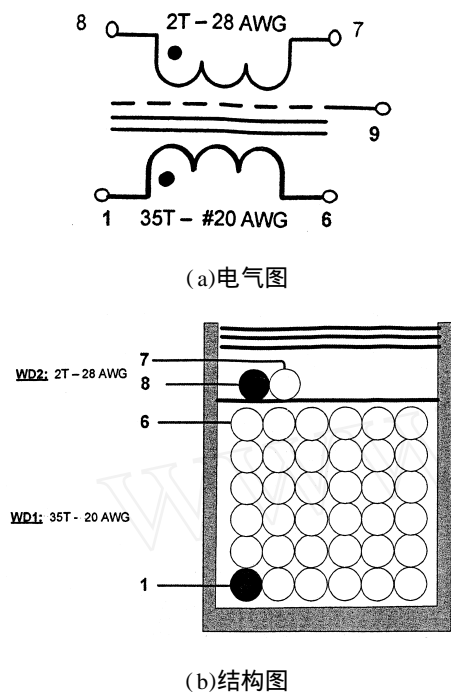


图 6 PFC升压电感器 L4电气图与结构图

L4主绕组使用 #20AWG(美国线规,约  $\phi 0.8\text{ mm}$ ) 绝缘磁导线,从引脚 1 开始到引脚 6 终止,绕 35 匝,电感量是  $580\ \mu\text{H}$  ( $\pm 10\%$ )。在主绕组外面绕一层作绝缘用的聚酯膜。偏置绕组使用 #28AWG( $\phi 0.3\text{ mm}$ ) 绝缘导线从引脚 8 开始绕 2 匝,到引脚 7 结束。在该绕组线圈外面绕 3 层聚酯膜。在磁心上包裹一层铜箔,并用  $\phi 0.5\text{ mm}$  铜线将铜箔与 9 引脚焊接起来,作为屏蔽层。在铜箔外面再绕 3 层聚酯膜。

### 3.3.2 LLC 变压器

变压器 T1 使用 ETD39 磁心和 18 引脚骨架,电气图与构造图如图 7 所示。

先绕次级绕组 WD1A/WD1B。次级绕组使用 175 股 40AWG( $\phi 0.08\text{ mm}$ ) 李兹线(即绞合线),从引脚 10 到引脚 12,再从引脚 11 到引脚 13 各绕 9 匝,并覆盖 2 层聚酯膜。初级绕组 WD1 使用 75 股 40AWG( $\phi 0.08\text{ mm}$ ) 绞合线,从 7 引脚开始到 9 引脚结束,绕 39 匝,再绕 2 层聚酯膜。WD1 电感量是  $820\ \mu\text{H}$  ( $\pm 10\%$ ),漏感是  $100\ \mu\text{H}$  ( $\pm 10\%$ )。将分成两部分的磁心插入骨架中对接在一起,在磁心外面用 10 mm 宽的铜皮绕一层,用焊锡将接缝焊牢,再在铜皮与引脚 2 之间焊接一段  $\phi 0.5\text{ mm}$  的铜线。在铜皮外部用聚酯膜覆盖起来。

### 3.4 主要性能

图 5 所示的 150 W LED 路灯电路,主要参数如下:

AC 输入电压范围:  $140 \sim 265\ \text{V}_{\text{AC}}$ ;

DC 输出:  $48\ \text{V}$ ,  $3.125\ \text{A}$ ;

输入功率因数:  $0.97$ ;

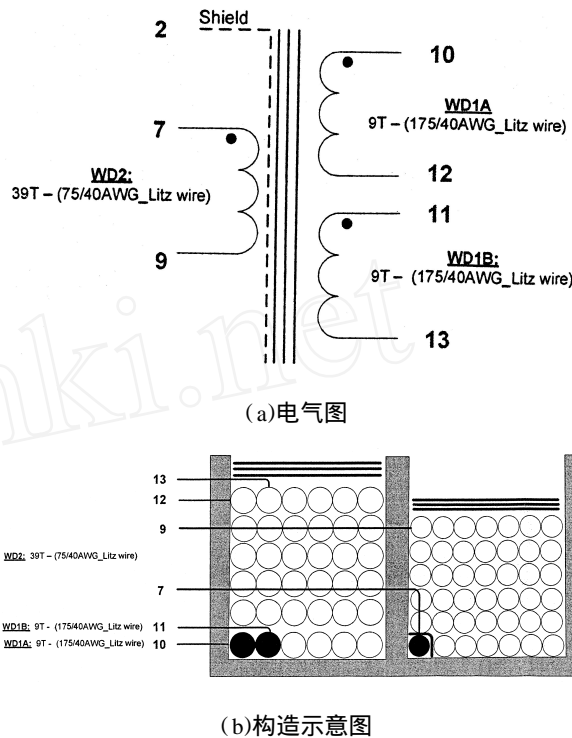


图 7 LLC 变压器 T1 电气图与构造图

输入电流总谐波失真 (THD):  $< 7\%$ ;

满载时 PFC 级效率:  $> 95\%$ ;

满载时 LLC 级效率:  $> 95\%$ ;

LED 电源总效率:  $> 92\%$ ;

传导 EMI 满足 EN 55022B / CISPR 22B 规范要求;

安全性: 满足 IEC 950 / UL 1950 II 级要求。

## 4 小结

欲将 LED 路灯取代传统高压钠灯等传统道路照明光源,采用简单驱动电路虽然也能在短时间内将 LED 路灯点亮,但其安全性和可靠性则没有保证,输入电流谐波、功率因数和效率也无法达到相关规范要求。基于 PLC810PG 控制 IC 的 LED 路灯电源,则不存在这些问题。虽然这一设计方案电路略显复杂,但性能却得到可靠保证。这一设计方案代表了 LED 路灯电源的发展方向。

## 参考文献:

- [1] 毛兴武,张艳雯,周建军,等. 新一代绿色光源 LED 及其应用技术 [M]. 北京:人民邮电出版社,2008
- [2] Power Integrations PLC810PG Continuous Mode PFC & LLC Controller with Integrated Half-bridge Drivers, 2009, 2 (www.powenint.com)
- [3] 陈大华主编. 绿色照明 LED 实用技术 [M]. 北京:化学工业出版社,2009