

Research on LED Drive Power Supply Based on LLC Resonant Converter

Junting Chen Wenbin Li Lianying Wu Zuolin Zou Jinzuo Zhang

Shenzhen Keyu Power Supply Technology Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract

Because LED basically adopts DC drive mode, but the mains is AC, it is of great significance to study the driving power supply of LED products for its service life and efficiency. In this paper, the drive power supply is designed based on the LLC converter, and the prototype test is designed. The results show that the LLC converter has high efficiency and can be started by soft switch, fully improve the efficiency of the drive power supply, and ensure that the power supply index meets the design standard.

Keywords

LLC converter; LED lamp; drive power supply

基于 LLC 谐振变换器的 LED 驱动电源研究

陈俊廷 李文斌 吴连英 邹佐林 张进座

深圳市科宇电源科技有限公司, 中国·广东 深圳 518000

摘要

因为LED基本上采用直流驱动方式,但是市电为交流,因此研究LED产品的驱动电源对于其使用寿命与使用效率具有重要意义。论文基于LLC变换器进行驱动电源设计,并进行设计出样机测试,结果显示LLC变换器具有较高效率,可以进行软开关启动,充分提升驱动电源效率,保证电源指标符合设计标准。

关键词

LLC变换器; LED灯; 驱动电源

1 引言

LLC 谐振变换器可以提升开关频率、减小功率管损耗以及关断次级输出整流二极管等。同时整流二极管的端部并不需要与缓冲电路连接、输出端不会产生滤波电感,充分减小体积、减少元器件数量。所以,以 LLC 变换器为基础,设计 LED 驱动电源具有重要意义^[1]。

2 LLC 变换器的主电路设计

采用安美森公司生产的 NCP1397 新品进行电路设计。LLC 变换器设计指标如下: η (功率): 0.90; I_o (输出电流): 6.6A; V_o (输出电压); f_r (开关频率): 100Hz; P_o (输出功率): 200W; V_{in} (输入电压): 380~430V。

2.1 选取开关管

MOSFET 管电压应该比漏源电压大,另外应该预留 20% 裕量,漏源最大电压是输入电压最大值 V_{in_max} , 所以:

$$V_{ds} > 1.2V_{in_max}=559V \quad (1)$$

MOSFET 电流峰值应该比谐振电流峰值 I_{L_max} 大, 所以:

$$I_{ds} > I_{L_max}=1.45A \quad (2)$$

所以,开关型号选择 DNF04N60Z 型号, MOSFET 管为 $I_{ds}=4.5A$, $V_{ds}=600V$, 预留充分裕量,满足设计要求^[2]。

2.2 选取整流二极管

因为整流二极管反向电压是 $2V_o$, 因此,为了保证其不会出现击穿现象,反向峰值的电压应该在 $2V_o$ 以上, 所以:

$$V_{RRM} > 2V_o=60V \quad (3)$$

电流流通整流二极管之后的峰值如下:

$$I_{s_RMS} = \frac{\pi P_o}{4V_o} = 5.23A \quad (4)$$

结合计算结果,整流二极管选择 NTSJ2080CTG 型号, $V_F=0.5V$, $I_F=20A$, $V_{RRM}=80V$, 裕量富足,满足设计要求。

2.3 设计集成变压器

通常采用 ETD 磁芯,其中心柱为圆柱型,相比于长方体型,其单杂绕组减小 11%,可以充分减小变压器通顺,有效提升电源效率。根据输出功率对磁芯截面积进行计算:

$$A_e = 0.12\sqrt{P_{in}} = 184mm^2 \quad (5)$$

通过对磁芯参数表进行查询,采用 ETD49 型号,其截

【作者简介】陈俊廷(1978-),男,中国广东普宁人,本科,从事新型电源适配器研发及产业化研究。

面积是 211.8mm^2 ，对于变压器最坏运行条件是在输入满载最小值条件下，使得 LLC 变换器达到最低工作频率，开关频率最小值为 53kHz ，那么变压器初级线圈最小匝数为：

$$N_{p(\min)} = \frac{n(V_o + V_F)}{A_e \cdot \Delta B \cdot 2f_{s,\min}} = 32.2 \quad (6)$$

其中， ΔB 代表磁通密度摆幅最大值，通常在 $0.25\sim 0.3\text{T}$ 范围内，论文采用 0.3T 。

次级匝数应该在 5 以上，才可以符合 $NP > 32.2$ 的要求。

所以，一次侧匝数选择 35 匝，因此二次侧匝数就是 4 匝。

3 LLC 变换器的控制电路

3.1 NCP1397 概述

控制电路选择 NCP1397 芯片，主要特点如下：①开关频率在 $50\sim 500\text{kHz}$ 范围内。②涵盖 600V 自举电压驱动。③开关频率最小精度在 $-3\%\sim +3\%$ 范围内。④允许调节死区时间，在 $100\text{ns}\sim 1\mu\text{s}$ 范围内^[3]。

3.2 工作频率最小值与最大值设计

芯片 F_{\max} 引脚运行频率最大值、 R_t 运行频率最小值，运行频率外围电路。

通过外围电路的 EF_{\min} 与 RF_{\max} 数值确定工作频率，开关频率最小值设定为 50Hz ，开关频率最大值设定为 200Hz 。按照数据手册中开关频率和钳位点之间关系曲线图能够对电阻阻值进行确定^[4]。在开关频率最小值是 50Hz 情况下， RF_{\min} 是 $42\text{k}\Omega$ ；在开关频率最大值是 200kHz 条件下， RF_{\max} 是 $7\text{k}\Omega$ 。

3.3 设计死区时间

需要基于死亡时间才能够实现软开关，开关管关断前谐振电流充满寄生电容，另外开关管开通前消失于寄生电容，需要保证这两个条件得到充分满足，才可以让开关管漏源电压变为 0。所以，死区时间确定成 200ns 。

3.4 设计软启动

该环节主要是对开机时间进行延缓，缓慢增加 LLC 的输出功率，降低浪涌电流，保证功率开关管不会受到影响。在 LLC 变换器中，开关频率对于输出功率具有决定性影响，因此，芯片软启动属于让开关频率由起始频率至符合频率限定值过程。通常软启动起始频率为 3 倍的正常频率。变换器初期加电环节，输出电压无法构建反馈，并且光耦输出端处于断开状态， C_{ss} 放电，此时仅有 RF_{\min} 、 R_{start} 之间关联，软启动起始频率如下：

$$f_{sart} = \frac{1}{3 \cdot C_{ss} (R_{Fmin} // R_{Fstart})} \quad (7)$$

在 C_{ss} 不断充电过程中，经过 RF_{start} 的电流不断减小，开关频率也开始减小。在达到基准电压之后，充电电流降低至 0，开关频率达到恒定状态。此过程，输入电流均值缓慢上升，输出电压基本上不形成过冲而实现稳压值。

软启动的启示频率设计为 3000kHz ，那么 RF_{start} 典型值如下：

$$R_{Fstart} = \frac{R_{Fmin}}{\frac{f_{sart}}{f_{min}} - 1} \quad (8)$$

确定 C_{ss} 应该在过流保护与软启动时间实践展开折中处理， C_{ss} 取 $2.2\mu\text{F}$ 。

3.5 设计输入欠压保护

通过 BO 引脚中分压电阻电压值进行确定，公式如下：

$$R_{upper} = R_{lower} \times \frac{V_{PFCON} - V_{BO}}{V_{BO}} \quad (9)$$

$$R_{lower} = V_{BO} \times \frac{V_{PFCON} - V_{PFOff}}{I_{BO}(V_{PFCON} - V_{BO})} \quad (10)$$

其中， $VPFC_{on}$ 设置启动电压，在比该数值大的条件下，芯片运行。 $VPFC_{off}$ 是关闭电压，在比该数值小的条件下，芯片停止运行。借助芯片参数手册能够获得： $V_{BO}=1.04\text{V}$ ， $I_{BO}=28\mu\text{A}$ 。 $VPFC_{on}=370\text{V}$ ， $VPFC_{off}=380\text{V}$ ，借助上式计算能够获得， $R_{lower}=2.01\text{k}\Omega$ ， $R_{upper}=0.7\text{M}\Omega$ 。

4 整机测试分析

4.1 驱动电源实物图

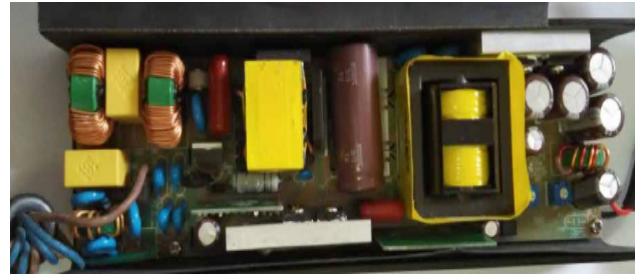


图 1 基于 LLC 变换器的驱动电源

满载输出设计为 $6.6\text{A}/30\text{V}$ ，输出功率设计为 200W ，对其展开测试，进而对设计正确性进行验证。

4.2 电气性能试验

交流电压输入在 $90\sim 265\text{V}$ 范围内，同时在负载是满载条件，测量记录输入电压、电源效率与功率因数等参数。见表 1。

在满载条件下，LED 的驱动电源，输出电流偏移率在输入电压提升过程未出现显著变化，功率因素在输入电压提升过程中略有降低，电源效率在电压提升过程中超出 90% ，谐波失真率在电压提升过程中变大。在输入电压是 220V 条件下，输出电流是 6.661A ，输出电压是 360V ，电源效率为 90.38% ，谐波失真率较小，各项参数均符合设计要求，体现出前级 PFC 的功率因数与效率较高，后级 LLC 变换器也具有较高效率，可以进行软开关启动，充分提升驱动电源效率，保证电源指标符合设计标准。

表 1 各项参数测量结果

交流输入 (V)	90	100	115	180	220	240	265
输入功率 (W)	230.35	228.07	225.83	221.69	221.10	221.05	220.92
功率因数	0.990	0.990	0.990	0.990	0.980	0.980	0.970
效率	86.74%	87.60%	88.49%	90.14%	90.38%	90.41%	90.47%
输出电压 (V)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
输出电流 (A)	6.660	6.660	6.661	6.661	6.661	6.662	6.662
输出电流偏移	0.91%	0.91%	0.92%	0.92%	0.92%	0.94%	0.94%
谐波失真率	5.60%	6.10%	6.60%	9.10%	9.60%	10.00%	10.80%

5 结语

综上所述,论文基于 LLC 交换机设计出一台样机(满载输出是 6.6A/30V,输出功率是 200W),同时进行测试,结果显示,在输入电压是 220V 条件下,输出电流是 6.661A,输出电压是 360V,电源效率为 90.38%,谐波失真率较小,各项参数均符合设计要求。

参考文献

[1] 高桐,邢岩,吴嘉昊,等.面向二次脉动功率解耦的三端口 LLC 谐振

变换器[J].中国电机工程学报,2021,41(15):5311-5320.

- [2] 徐心靖,林国庆,汪福林.基于 CLL 谐振网络的单级高功率因数 LED 驱动电源研究[J].电器与能效管理技术,2018(7):9-15.
- [3] 章勇高,侯景阳,洪博野,等.一种高效基于双向变换器的无电解电容 LED 驱动电源[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2019,40(4):45-51.
- [4] 阎铁生,许建平,曹太强,等.基于二次型 Buck PFC 变换器的无频闪无变压器 LED 驱动电源[J].电工技术学报,2015,30(12):512-519.