

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2018.01.011

LED 液晶电视电源中 BOOST-PFC 的设计

韩召成, 文定都, 任于涵, 廖雄志, 湛 政

(湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘 要: 针对传统开关电源功率因数低、电源谐波高的缺陷, 提出了一种有源 BOOST-PFC 电路结构。介绍了 BOOST-PFC 的工作模式、功率因数校正和电路拓扑结构的工作原理, 并对电路的元器件进行了选型, 采用 NCP1607 实现了 BOOST-PFC 电路。利用提出的原理图和计算出的参数, 制作了 BOOST-PFC 变换器模块, 并将该电路在 LED 液晶电视电源中进行了试验验证。试验结果表明, 其电流波形能很好地跟踪电压波形, 电感上电流波形图有很好的正弦包络, 且随着输入电压的增加, 输出电压稳定在 385 V 左右, 功率因数大于 90%, 最大可达 99.5%, 从而验证了理论分析和参数设计的正确性。

关键词: NCP1607; 有源功率因数校正; BOOST-PFC; LED 液晶电视电源

中图分类号: TN86

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2018)01-0060-05

Design of BOOST-PFC in LED LCTV Power Supply

HAN Zhaocheng, WEN Dingdou, REN Yuhan, LIAO Xiongzhi, ZHAN Zheng

(College of Electrical and Information Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: In view of the defects of low power factor and high harmonic power exhibited by conventional switching power supply, an active BOOST-PFC circuit structure has thus been proposed. An introduction has been made to the working principle of BOOST-PFC, power factor correction and circuit topology. A careful selection has been made of the components, thus realizing the adoption of the BOOST-PFC circuit by NCP1607. By adopting the proposed schematic diagram and the calculated parameters, the BOOST-PFC converter module has been worked out, followed by a test verification of the circuit in LED LCTV power supply. The test results show that the current waveform is capable of tracking the voltage waveform, with a good sine envelope exhibited by the upper current waveform of the inductor. With the increase of the input voltage, the output voltage is stabilized at about 385 V, with its power factor greater than 90%, and the maximum being 99.5%, thus verifying the validity of the theoretical analysis and parameter design.

Keywords: NCP1607; active power factor correction; BOOST-PFC; LED LCTV power supply

0 引言

发光二极管 (light-emitting diode, LED) 具有节能环保、寿命长、低压安全等特点, 这使得 LED 背

光技术在液晶电视行业得到了广泛的应用。普通的 LED 驱动电源会对电网造成谐波干扰, 但可采用功率因数校正 (power factor correction, PFC) 技术抑制谐波对电网的干扰。传统的 LED 液晶电视电源多

收稿日期: 2017-05-20

基金项目: 湖南省教育厅科研基金资助项目 (16C0476, 17C0475)

作者简介: 韩召成 (1990-), 男, 江苏徐州人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为现代电力电子技术与系统,

E-mail: 914027210@qq.com

采取无源功率因数校正, 以无源因数校正电路虽然具有电路简单、成本较低的优势, 但是容易产生噪声, 校正效果远不如如有源功率因数校正^[1-4]。

功率因数校正电路的拓扑结构有多种, 如 Boost 型、Buck 型、Cuke 型等。其中, 电感电流连续模式的 Boost 变换器, 不仅能够储存能量、抑制电磁干扰 (electromagnetic interference, EMI) 噪声, 并且还兼具输出功率大、电流波形失真小的优点, 故在 PFC 中得到了广泛的应用^[5-8]。

因此, 本研究根据有源功率因数校正和 BOOST 变换器的优势, 设计了一款以 NCP1607 为核心的 BOOST-PFC 电路。分析表明, 所设计的电路具有效率高、结构简单以及工作性能稳定的特点。最后, 在 LED 液晶电视电源中对此电路进行了试验验证, 所得试验结果较为理想, 功率因数大于 90%。

1 BOOST-PFC 工作模式及功率因数校正原理

1.1 BOOST-PFC 电路工作模式

BOOST 电感电流的波形以及开关管 Q 的驱动波形如图 1 所示。在一个开关周期内, 随着工作状态的更迭, 电路共有两种工作模式^[9], 如图 2 所示。设电网输入电压为 V_m , 则 $v_{in}(t)$ 为

$$v_{in}(t) = V_m \sin \omega t, \quad (1)$$

式中 ω 为输入电压角频率。

不控整流桥的输出电压瞬时值可表示为

$$v_g(t) = V_m |\sin \omega t|, \quad (2)$$

式中 V_m 为输入交流电压的幅值。

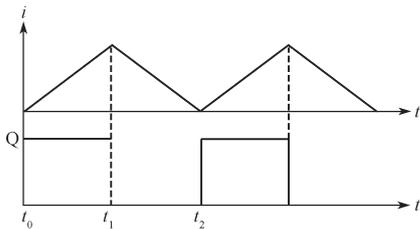
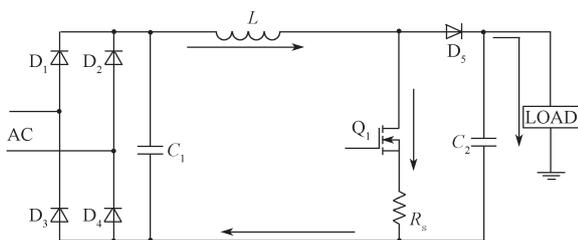
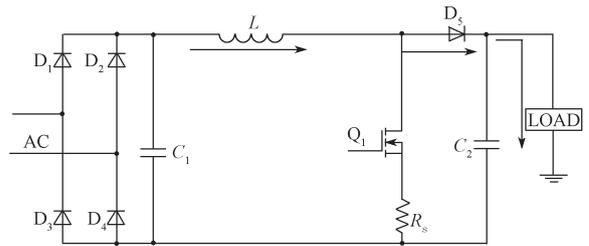


图 1 Boost 电感电流波形和开关管 Q 的驱动波形

Fig. 1 Boost inductor current waveform and switch Q driving waveform



a) 工作模式 a



b) 工作模式 b

图 2 BOOST-PFC 主电路各工作模式的等效电路

Fig. 2 Equivalent circuit of the working mode in BOOST-PFC main circuit

1) 工作模式 a ($t_0 \sim t_1$)

t_0 时刻, 开关管 Q 导通, 二极管 D 处于反偏截止状态, 如图 2a 所示。电流经电感和开关管形成回路, 电感储能, 电感 L 两端的电压 u_L 可表示为

$$u_L = L \frac{di_L}{dt} = V_m |\sin \omega t|, \quad (3)$$

$$i_L \text{ 的变化率为 } \frac{di_L}{dt} = \frac{V_m |\sin \omega t|}{L} > 0. \quad (4)$$

由式 (4) 可知, 当开关管 Q 导通时, 电感上的电流增大, 储存能量, 此时由电容 C_2 向负载供电。

2) 工作模式 b ($t_1 \sim t_2$)

t_1 时刻, 开关管 Q 关断 (图 2b), 电流经电感、二极管 D 和负载形成回路, 电感两端电压可表示为

$$u_L = L \frac{di_L}{dt} = V_m |\sin \omega t| - V_o, \quad (5)$$

$$i_L \text{ 的变化率为 } \frac{di_L}{dt} = \frac{V_m |\sin \omega t| - V_o}{L} < 0. \quad (6)$$

式 (5) (6) 中, V_o 为负载电压。

由公式 (6) 可知, 开关管 Q 关断时, 电感 L 上的能量经过二极管 D 向负载供电, 并向电容 C_2 充电, 电感上的电流逐渐减小。

1.2 功率因数校正原理

图 3 所示为功率因数校正原理图, 其中 $V_m(t)$ 是输入电压, $I_L(t)$ 是电感电流, $I_{L, \max}(t)$ 是电感电流的包络线, 也就是电感的最大电流, $I_m(t)$ 是输入电流^[10]。

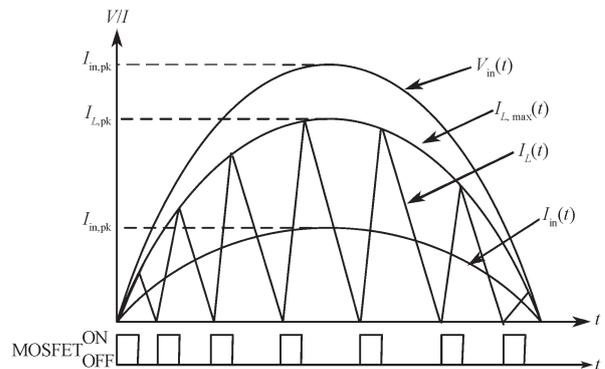


图 3 功率因数校正原理图

Fig. 3 A schematic diagram of the power factor correction

电感上的磁链方程为

$$L_b \cdot I_{L, \max}(t) = V_{in}(t) \cdot T_{on}, \quad (7)$$

所以, 有

$$I_{L, \max}(t) = \frac{V_{in}(t) \cdot T_{on}}{L_b}. \quad (8)$$

式(7)(8)中: L_b 为电感量; T_{on} 为导通时间。

由公式(8)可知, 电感电流的最大值能够跟踪输入电压。从图3可以看出, 电感上的电流经过电容滤波后, 得到的输入电流 $I_{in}(t)$ 能够很好地跟踪输入电压, 从而实现了功率因数的校正。

2 PFC 模块电路设计及参数计算

本文基于安森美公司生产的 NCP1607 芯片, 采用有源 PFC 工作原理实现 BOOST-PFC 变换器模块。

2.1 NCP1607 的特点与引脚功能

NCP1607 是一个性能优越的功率因数控制器, 该控制器在临界导通模式 (critical-conduction mode, CRM) 中工作, 其启动电流小于 40 mA, 工作电流仅为 2.1 mA, 具有精准的基准电压, 误差仅为 1.6%。此外, 采用传导模式, 能够使输入电压在一定的范围内保证单位功率因数。此集成电路板 (integrated circuit, IC) 还可用作预-变频器在交流-直流适配

器、电子镇流器和其他中等功率离线转换器 (通常高达 250 W)。

NCP1607 的封装引脚形式如图4所示。芯片的1脚为内部误差放大器的反相输入端; 2脚为内部误差放大器的输出端; 3脚接外部定时电容; 4脚为电流反馈引脚, 可以限制流过开关管电流的大小; 5脚可以检测到电感退磁临界导电模式操作; 6脚接地; 7脚是 PWM 输出引脚, 用于驱动高功率 MOSFET 的栅极; 8脚为电源引脚, 当输入电压大于 11 V 时, 芯片可以正常工作, 但是当输入电压低于 8.5 V 时, 芯片停止工作。

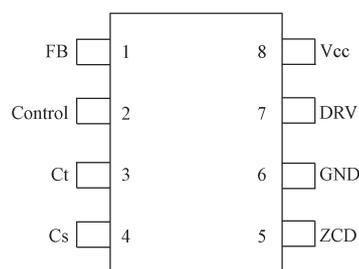


图4 NCP1607 的封装引脚形式

Fig. 4 NCP1607 package pin form

2.2 有源功率因数校正电路的设计

有源功率因数校正电路原理如图5所示。

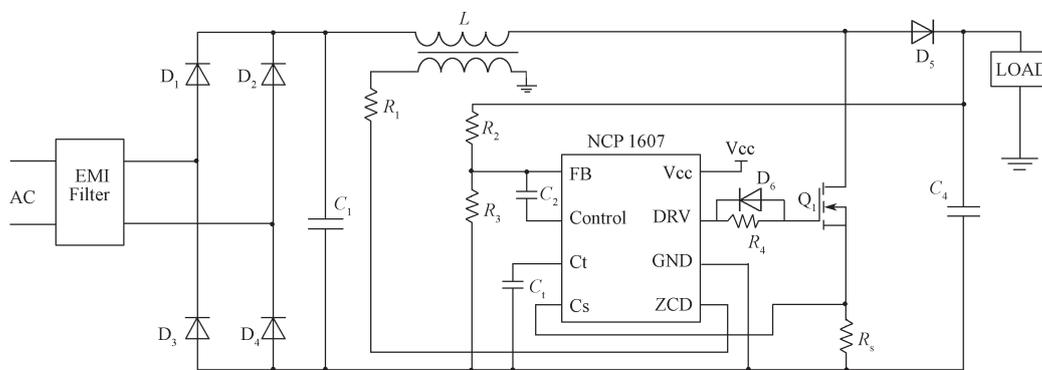


图5 BOOST-PFC 的系统电路图

Fig. 5 Circuit diagram in BOOST-PFC system

220 V 市电经过 EMI 和整流桥后变换为直流电, 作为 BOOST-PFC 电路的输入电压。在图5中, 电容 C_1 可以降低电流中的谐波含量; 电容 C_4 上的电压为 PFC 输出电压, 此电压经过电阻 R_2 、 R_3 分压取样, 输入 FB 内部误差放大器的反向输入端检测, 控制 PWM 驱动的占空比, 以实现电压的稳定输出; 电阻 R_5 为电流检测电阻, 流经 MOS 管的电流在 R_5 上转化为电压信号, 当 CS 引脚电压超过芯片内部电压时, 驱动 MOS 管关断。芯片的驱动引脚经 R_4 连接到 MOS 管的栅极, R_4 用来防止 MOS 管的驱动信号震荡。 C_1 为定时电容, 该电路通过将 C_1 电压与从调

节块导出的内部电压进行比较, 以控制电源开关导通时间。芯片的 V_{cc} 由后一级变压器的辅助绕组提供。

2.3 元器件参数的计算

此 PFC 模块的输入电压为 85~265 V, 输出电压为 385 V, 输出功率为 120 W, 预计功率因数大于 90%, 效率大于 90%。

额定负载情况下, 当输入的电压最小时, 输入的最大电流为

$$I_{in, \max} = \frac{P_o}{\eta \cdot V_{in, \min}} = 1.48 \text{ A}. \quad (9)$$

式中: P_o 为额定功率; η 为效率值。

设电感电流的最大变化量为尖峰电流的 20%, 则最大纹波 Δi 为

$$\Delta i = I_{in, max} \times 20\%, \quad (10)$$

流过电感中的最大电流为

$$I_{L, pk} = I_{in, max} + \frac{\Delta i}{2} = 1.63 \text{ A}。 \quad (11)$$

输入电感决定了工作的最低频率, 输入电感越大则最低工作频率越小。根据已知参数, 可求得最小开关频率不同输入电压时的电感值:

$$L \leq \frac{\sqrt{2} \cdot V_{in, min} \cdot (V_{PFC} - \sqrt{2}V_{in, max})}{V_{PFC} \cdot I_{L, pk} \cdot f_{sw}} = 31.9 \text{ mH}。 \quad (12)$$

式中: $V_{in, max}$ 为最大输入电压; V_{PFC} 为 PFC 变换器输出电压; $I_{L, pk}$ 为峰值电流; f_{sw} 为工作频率。

已知 V_{PFC} 的额定电压为 385 V, 且正常情况下 $\Delta V_{PFC} = 20 \text{ V}$, 可得

$$C_{PFC} \geq \frac{P_{out}}{\eta \cdot 2\pi \cdot f_{ac} \cdot \Delta V_{PFC}} = 16.3 \text{ } \mu\text{F}。 \quad (13)$$

式中: P_{out} 为 PFC 模块输出功率; f_{ac} 为交流电频率。

根据实际工程考虑, 电容 C_{PFC} 选取规格为 450 V 下的 82 μF 的电解电容。

计算电容 C_t 的值为

$$C_t \geq \frac{2 \cdot P_{out} \cdot L \cdot I_{charge}}{\eta \cdot V_{ac}^2 \cdot V_{C_t, max}} = 18 \text{ pF}。 \quad (14)$$

式中: $I_{charge} = 297 \text{ } \mu\text{A}$; $V_{C_t, max} = 2.9 \text{ V}$ 。

根据实际需要, C_t 取 2 200 pF。

3 实验结果

利用上述的原理图和计算出的参数, 制作出了一台 BOOST-PFC 变换器模块, 输入电压为 85~265 V, 直流输出电压为 385 V。

图 6 所示为额定负载下, 输入电压为 220 V 时, 输入电压与输入电流的波形图。

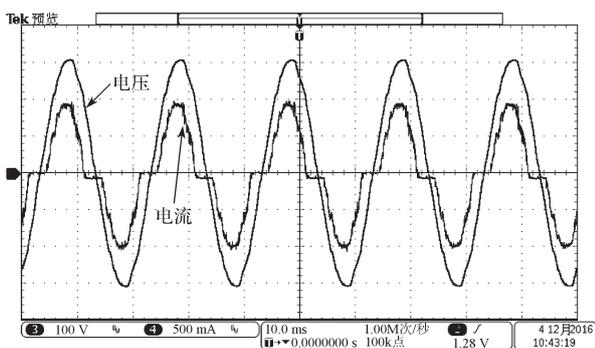


图 6 输入电压与输入电流波形图

Fig. 6 Input voltage versus input current wave-forms

从图 6 中可以看出, 电流波形能很好地跟踪电压波形, 因而实现了功率因数校正。

电源芯片输出的 PWM 波形和 BOOST 电感上的电流波形如图 7 所示。

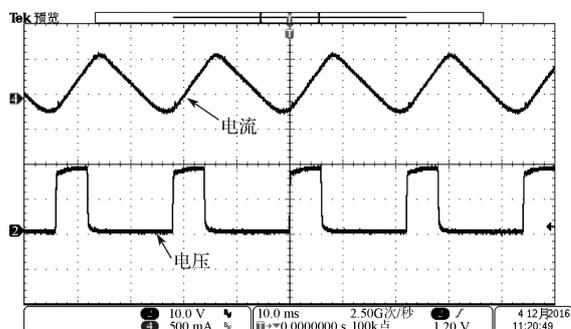


图 7 PWM 波形与 BOOST 电感上电流波形图

Fig. 7 Current wave-forms for PWM and BOOST inductors

在临界导通工作模式中, 当升压电感电流刚为 0 时, 驱动器导通, 电感上的电流逐渐增大; 当驱动器关断时, 电感上的电流立即减小。在实际工作中, 当驱动关断时, MOS 管的寄生电容还有电压, 因而 MOS 管关断会有延迟, 所以驱动器关断时, 流经电感的电流继续上升。从图 7 上看, PFC 电感 L 上电流的波形图有很好的正弦包络, 可见功率因数校正得到了实现。

在本设计中, PFC 电路输出的电压为 385 V, 在对样机 PFC 电路的测试中做了输入特性测试, 输入电压从 90 V 逐步递增到 265 V, 测得的输出电压与功率因数如表 1 所示 PFC 电路测试结果

Table 1 PFC circuit test results

| U_{in}/V | U_{out}/V | $\eta/\%$ | U_{in}/V | U_{out}/V | $\eta/\%$ |
|-------------------|--------------------|-----------|-------------------|--------------------|-----------|
| 90 | 384 | 99.5 | 210 | 386 | 96.8 |
| 120 | 388 | 99.1 | 240 | 386 | 93.9 |
| 150 | 384 | 98.9 | 265 | 388 | 90.9 |
| 180 | 388 | 98.1 | | | |

由表 1 可知, 随着输入电压的增加, 输出电压稳定在 385 V 左右, 同时功率因数均大于 90%, 最大时可达 99.5%。表 1 所示数值表明, 功率因数得到了校正, 并达到了预期目标。

4 结语

本论文分析了 BOOST-PFC 拓扑的工作模式以及功率因数校正的原理, 详细地介绍了 NCP1607 外围电路及其参数计算方法, 并将设计的变换器运用在 LED 液晶电视电源上。经过样板测试验证, 所得结果表明该系统工作稳定, 达到了预期的设计效果。

本设计不仅适用于 LED 液晶电视电源, 同样适

用于其他 LED 照明设备的驱动电源, 具有很好的推广应用价值。

参考文献:

- [1] 钱照明, 张军明, 盛 况. 电力电子器件及其应用的现状和发展 [J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(29): 5149-5161.
QIAN Zhaoming, ZHANG Junming, SHENG Kuang. Status and Development of Power Semiconductor Devices and Its Applications[J]. Proceeding of the CSEE, 2014, 34(29): 5149-5161.
- [2] 姚 凯, 阮新波. Boost-Flyback 单级 PFC 变换器 [J]. 南京航空航天大学学报, 2009, 41(4): 505-509.
YAO Kai, RUAN Xinbo. Boost-Flyback Single-Stage PFC Converter[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2009, 41(4): 505-509.
- [3] 陈 勇, 代文平, 周 俊. 一种基于新型无桥 Boost PFC 的通信电源 AC/DC 变换器设计 [J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(12): 123-130.
CHEN Yong, DAI Wenping, ZHOU Jun. Design of AC/DC Converter in Telecom Power Supply Based on Bridgeless Boost PFC[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(12): 123-130.
- [4] 文立群, 肖强晖. 基于 UC3846 的有源嵌位单级 PFC 开关电源 [J]. 湖南工业大学学报, 2014, 28(2): 52-55.
WEN Liqun, XIAO Qianghui. UC3846-Based Active Clamp and Single-Stage PFC Switched Power Supply[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2014, 28(2): 52-55.
- [5] 张 阳, 肖强晖, 廖无限. 基于 HV9910 的 LED 驱动恒流源设计 [J]. 湖南工业大学学报, 2012, 26(4): 56-58.
ZHANG Yang, XIAO Qianghui, LIAO Wuxian. Research on HV9910-Based LED Constant-Current Supply[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2012, 26(4): 56-58.
- [6] 耿玉茹. 一种简化的单相 Boost PFC 变换器的功率因数测量方法 [J]. 电测与仪表, 2013, 50(6): 44-48.
GENG Yuru. Simplified Power Factor Measurement Method of Single-Phase Boost PFC Converter[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2013, 50(6): 44-48.
- [7] 姚 玮, 吕征宇, 陈 申, 等. 单相 PFC 变换器功率因数的数字分析方法 [J]. 电源学报, 2012, 10(1): 18-21.
YAO Wei, Lü Zhengyu, CHEN Shen, et al. Digital Power Factor Analyzing Method of Single-Phase PFC Converter[J]. Journal of Power Supply, 2012, 10(1): 18-21.
- [8] 于海坤, 许建平, 张 斐, 等. 具有宽负载范围的新型 Boost 功率因数校正器 [J]. 电工技术学报, 2011, 26(12): 93-98.
YU Haikun, XU Jianping, ZHANG Fei, et al. A Novel Boost PFC Converter with Wide Load Range[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(12): 93-98.
- [9] 柳 成, 李 磊, 赵 卫. 基于 UCC28070 单相 Boost-PFC 变换器设计 [J]. 电源世界, 2014, 11(5): 21-25.
LIU Cheng, LI Lei, ZHAO Wei. Design of Single-Phase Boost-PFC Converter Based on UCC28070[J]. The World of Power Supply, 2014, 11(5): 21-25.
- [10] 赵舒泽, 陈 申, 吕征宇. 基于 NCP1607 的自驱动 Boost PFC 的设计 [J]. 电源学报, 2011, 8(1): 43-46, 55.
ZHAO Shuze, CHEN Shen, Lü Zhengyu. Design of Self-Driven Boost PFC Based on NCP1607[J]. Journal of Power Supply, 2011, 8(1): 43-46, 55.

(责任编辑: 廖友媛)