

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2014.02.011

# 基于 UC3846 的有源嵌位单级 PFC 开关电源

文立群, 肖强晖

(湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412007)

**摘要:** 设计了一种基于 PWM 控制芯片 UC3846 的恒压源, 其适用于 175~265 V 宽电压的交流输入, 额定输出电压为 24 V, 输出电流为 2 A。采用单级三端 PFC 校正技术, 提高系统的功率因数; 采用有源嵌位软开关技术, 降低开关应力, 提高电源的输出效率。仿真和实物测试结果表明, 本恒压源的输入功率因数可达到 0.992; 在额定负载下, 整机效率可达到 88% 以上。

**关键词:** UC3846; 单级 PFC; 有源嵌位; 软开关

**中图分类号:** TP17

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2014)02-0052-04

## UC3846-Based Active Clamp and Single-Stage PFC Switched Power Supply

Wen Liqun, Xiao Qianghui

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

**Abstract:** A constant voltage source based on PWM control chip UC3846 is designed, which applies to the 175~265 V AC input voltage, and the rated output voltage is 24 V and output current is 2 A. The single stage PFC-three terminal correction technique is used to enhance the power factor of the system; meanwhile, the active clamping-soft switch technology is used to reduce the switch stress and improve the output efficiency of the power. The simulation and physical test shows that the input power factor of the constant voltage source is 0.992 and the system efficiency reaches 88% under the rated load.

**Keywords:** UC3846; single-stage PFC; active clamping; soft switch

## 0 引言

对电力电子装置而言, 高功率因数能够有效减少其对电网的谐波污染。目前, 在工程上应用最多的高功率因数开关电源大多采用两级 DC/DC 开关变换器串联的方式, 即所谓的 PFC (power factor correction) 串联 DC/DC 变换器技术<sup>[1]</sup>。这种电路的缺点是采用了两级级联, 所需元器件多、成本高, 且效率低, 特别是应用于中小功率场合时, 经济性很差。目前, 针对中小功率的 AC/DC 开关电源, 为了

降低成本和提高效率, 国内外学者着力研究单级高功率因数电路。因此, 研究单级 PFC 技术具有重要的现实意义。

一般地, 普通的单级隔离式 PFC 变换器与传统的 DC/DC 变换器相比, 具有电压应力高、损耗大的缺点<sup>[2]</sup>。针对上述问题, 本文设计了一种单级 PFC 变换器, 采用带有源嵌位和软开关的 Boost-Flyback 拓扑结构, 从而有效地限制开关管的电压尖峰。电路主、辅开关管在软开关条件下, 减少了其自身的开关损耗, 提高了电源系统的整体输出效率。另外,

收稿日期: 2014-01-30

基金项目: 湖南省教育厅基金资助项目 (13C023)

作者简介: 文立群 (1986-), 男, 湖南邵阳人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为 AC/DC, DC/DC 功率变换器,

E-mail: qqwlq1123@163.com

主、辅开关管共用一组控制电路, 有较强的实用性。

## 1 系统设计

### 1.1 系统结构

一个完整的、独立工作的 AC/DC 开关电源通常包括 EMC (electro magnetic compatibility) 滤波整流电路、主电路 (含功率变换器、隔离变压器)、PWM (pulse width modulation) 产生及控制电路、驱动电路、输出电路、辅助电源电路、取样电路<sup>[3]</sup>。本文设计的系统结构框图如图 1 所示。其工作原理是: 输入交流市电 220 V, 经过 EMC 滤波整流电路、主电路、输出电路后, 得到 24 V 直流电压; 同时, 采用电流取样和电压取样构成双闭环控制机制, 经 PWM 控制芯片调节 PWM 波形, 再通过驱动电路控制功率开关管的导通和关断, 从而实现 24 V 直流电压的稳定输出。

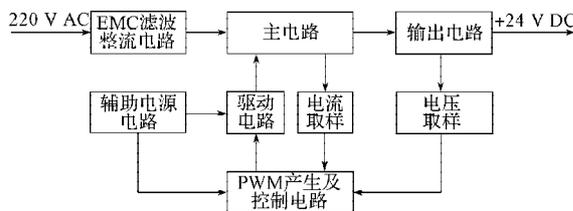


图1 系统结构框图

Fig. 1 System structure diagram

### 1.2 主电路

图2是带有源嵌位与软开关的单级PFC变换器的主电路拓扑结构。本文在基本的单级隔离式PFC变换器电路的基础上, 添加了一个辅助开关管 $Q_2$ 和一个嵌位电容 $C_g$ , 构成有源嵌位; 利用变压器漏感作为谐振电感 $L_r$ , 主开关管 $Q_1$ 和辅助开关管 $Q_2$ 的输出电容及电路中其他的寄生电容总和作为谐振电容 $C_r$  (虚线部分), 通过 $L_r$ 和 $C_r$ 的谐振来实现软开关。

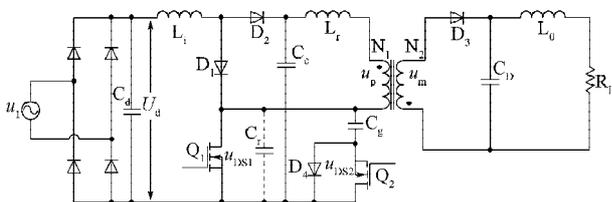


图2 带有源嵌位和软开关的 Boost-Flyback 变换器主电路图

Fig. 2 The main circuit diagram for Boost-Flyback converter with active-clamping and soft-switching

### 1.3 PWM 产生及控制电路和驱动电路

就整个系统而言, PWM 产生及控制电路和驱动电路就像人的大脑, 控制着整个系统的正常运行。本文舍弃传统的 PFC 专业芯片 (如 L6561), 选用 PWM 控制芯片 UC3846。这种方案不仅可以实现对 PFC 升压电路和反激式电路的实时控制, 且能简化外围电

路, 降低成本。

UC3846 是美国德州仪器生产的一款高性能固定频率电流型 PWM 控制芯片, 采用双路互补输出, 常作为半桥、全桥双极性变换器的驱动信号源。该芯片的优点是功能齐全, 内置高频振荡器、差动电流检测放大器、精密基准电压、欠电压锁定电路以及软启动电路, 具有自我保护功能。外部控制电路较为简单, 工作频率最高可达 500 kHz, 适应于  $-65 \sim 150$  °C 的外部环境, 输入电压范围为 8~40 V。该芯片的结构框图如图 3 所示。

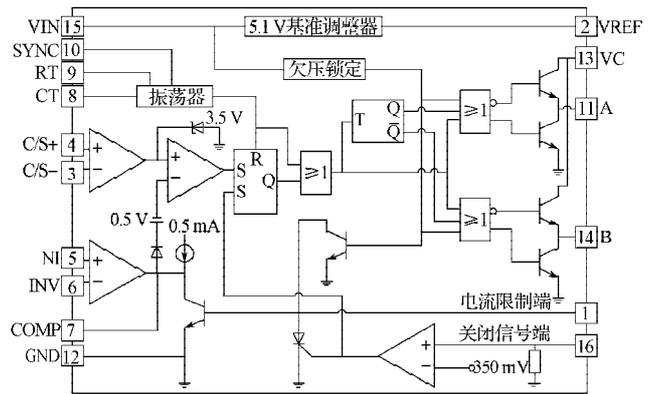


图3 UC3846 的结构框图

Fig. 3 The structure diagram of UC3846

本文选用 UC3846 作为 PWM 控制芯片, 引入电压、电流双闭环结构, 采用峰值电流模式。在图 2 的基础上, 通过 Saber 仿真软件加以辅助设计, 同时对相关参数进行详细计算, 构建其他功能电路<sup>[4]</sup>, 最终得到本文样机的电路原理图, 如图 4 所示。由于篇幅有限, 在此仅对 PWM 产生及控制电路和驱动电路进行详述。UC3846 的 2 脚产生 5.1 V 的基准电压, 1 脚通过电阻  $R_4$  和  $R_5$  分压 ( $R_5$  与电容  $C_{11}$  并联), 得到 2.5 V 左右的电压, 以实现电路的软启动功能; 3, 4 脚分别作为电流采样比较器的反、正相输入端, 其中 3 脚接地 (GND), 4 脚接主开关管  $Q_1$  (流过  $Q_1$  的电流作为电流采样信号), 同时通过电阻  $R_3$  和电容  $C_8$  接至振荡器 CT 端, 进行斜坡补偿; 5 脚通过电阻  $R_6$  和  $R_7$  分压, 得到 2.5 V 的电压, 作为电压误差放大器正相输入端的基准; 6 脚接输出电压的采样信号 (该采样信号需经过光耦 PC817 隔离); 7 脚作为误差放大器的输出端, 通过电阻  $R_8$  和电容  $C_{10}$  与 6 脚相连, 构成 PI 调节器; 8, 9 脚作为振荡器的震荡电容电阻端, 分别接电容  $C_7$  和电阻  $R_2$ , 实现系统开关频率  $f=50$  kHz; 10 脚悬空; 11 脚和 14 脚产生两路互补方波信号 (有一定的死区时间), 分别输入到高压浮动驱动集成模块 IR2113 输入端的 14 脚和 12 脚; 经自举电路后 (自举二极管  $D_8$ 、自举电容  $C_{13}$ ), IR2113 的输出端 1 脚和

8脚输出15V左右的互补信号,分别驱动主开关管 $Q_1$ 和辅助开关管 $Q_2$ 。

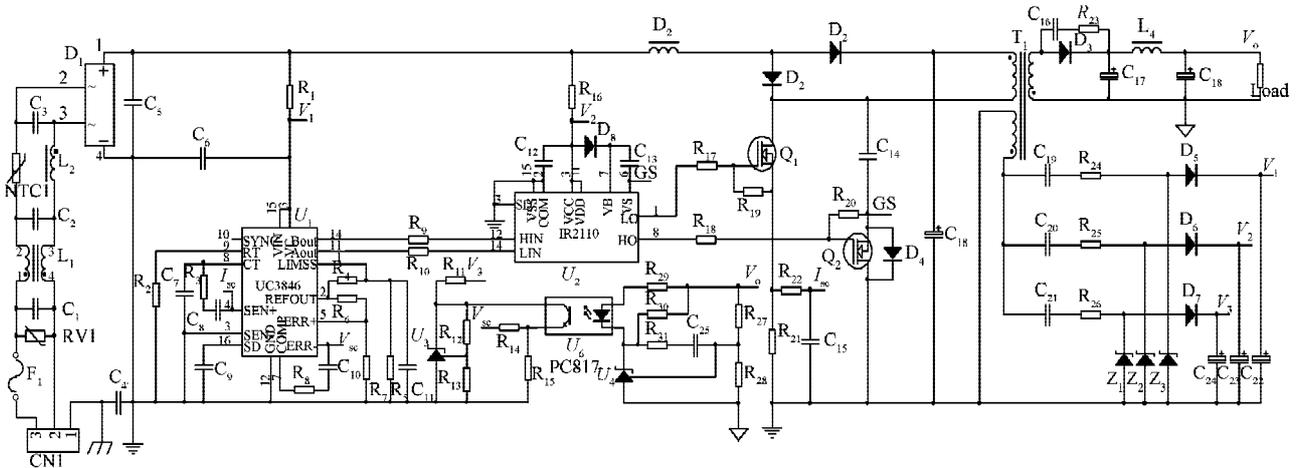


图4 电路设计原理图

Fig. 4 The circuit design schematic diagram

### 2 系统主要器件参数

本文设计的开关电源系统参数如下:开关频率 $f=50\text{ kHz}$ ,额定输出电压 $U_o=24\text{ V}$ ,输出的最大电流 $I_o=2\text{ A}$ 。经Saber仿真辅助设计和相关计算,系统主要器件参数如下。

1) PFC电感 $L_3$ :选用电感量 $1\text{ mH}$ 、线径 $0.045\text{ cm}$ 的贴片电感。

2) 储能滤波电容 $C_{18}$ :通过计算得到 $C_{18}$ 容量为 $60\text{ }\mu\text{F}$ ,而在实际电路中,采用 $100\text{ }\mu\text{F}/450\text{ V}$ 的铝电解电容。

3) 最大占空比 $D_{\text{max}}$ :分析电路得

$$\frac{V_{\text{in,DC}}}{(1-D)^2} = \frac{V_{\text{in,DC}}}{1-D} + V_{\text{AD}}, \quad (1)$$

式中: $V_{\text{in,DC}}$ 为整流后的直流电压; $V_{\text{AD}}$ 为截止状态下开关管承受电压 $V_{\text{DS}}$ 的增加值,该值的大小主要参照直流母线电压 $V_c$ ,本文取 $100\text{ V}$ 。代入相关数据,可得 $D_{\text{max}} \approx 0.29$ 。

4) 功率开关管 $Q_1, Q_2$ :选用英飞凌公司生产的 $900\text{ V}/8\text{ A}$ 的FQA8N90C。

5) 钳位电容 $C_{14}$ :选用 $0.1\text{ }\mu\text{F}/1000\text{ V}$ 的贴片电容;也可选用相同容量的CBB电容。

6) 输出滤波电感 $L_4$ :选用 $3.5\text{ mH}$ 、线径 $0.1\text{ cm}$ 的工字电感。

7) 输出滤波电解 $C_{18}$ :通过计算得到 $C_{18}$ 容量为 $116\text{ }\mu\text{F}$ ,为降低输出电压纹波,选用 $220\text{ }\mu\text{F}/50\text{ V}$ 的铝电解电容。

8) 变压器 $T_1$ :磁芯选用ETD29<sup>[5]</sup>;初级绕组采用26号线(线径 $\phi=0.045\text{ cm}$ ),单股绕制130匝;次级绕组采用22号线(线径 $\phi=0.070\text{ cm}$ ),3股并绕22匝;辅助

绕组采用27号线(线径 $\phi=0.040\text{ cm}$ ),单股绕制14匝<sup>[6]</sup>。

### 3 样机测试结果与分析

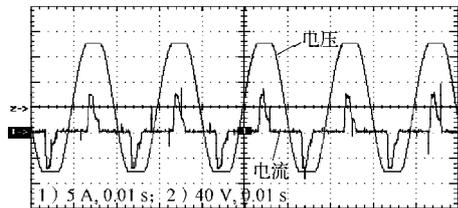
样机实物图如图5所示。



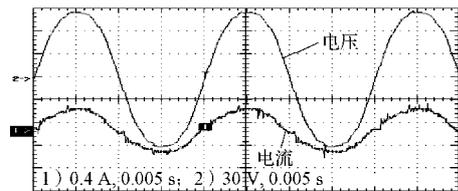
图5 样机实物图

Fig. 5 Sample physical photo

输入交流市电 $220\text{ V}$ ,对不加PFC部件与PFC部件正常工作的2种情况对样机进行测试,其输入电压、电流波形如图6所示。



a) 不加PFC时



b) PFC部件正常工作时

图6 2种情况下的输入电压、电流波形图

Fig. 6 The waveforms for input voltage and current under two conditions

由图 6 可知, 与不加 PFC 部件的输入电压、电流波形相比, PFC 部件正常工作时的输入电流波形没有发生畸变, 且与输入电压的相位差几乎为零。

利用 Fluke 43B 电能质量分析仪对样机进行实测, 系统的功率因数达到了 0.992。这也说明了本系统实现了功率因数校正的功能。

PFC 部件正常工作时的电压和电流采样波形如图 7 所示。

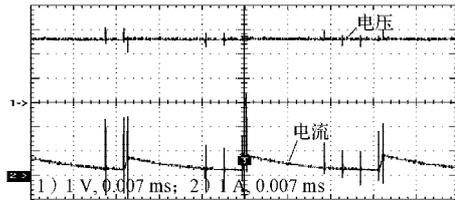


图 7 电压与电流采样波形

Fig. 7 The sampling waveform of voltage and current

由图 7 可知, PFC 部件工作在断续模式, 采用峰值电流模式控制, 电压采样波形较为平稳, 这也间接反映了输出电压是稳定的。

输出电压波形如图 8 所示。

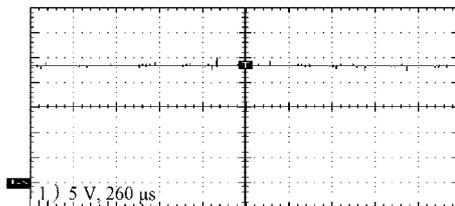


图 8 输出电压波形

Fig. 8 The output voltage waveform

由图 8 可知, 系统的输出电压始终恒定在 24 V, 除示波器探头引起的杂波干扰外<sup>[7]</sup>, 其自身纹波很小, 达到了预期的效果。

输入电压  $U_i=220\text{ V}$  且满载时, 测得输入电流有效值  $I_i=0.247\text{ A}$ , 计算得到输入功率  $P_i=U_i I_i \approx 54.4\text{ W}$ , 输出功率  $P_o=U_o I_o=48\text{ W}$ , 整机效率  $\eta=P_o/P_i \approx 0.88$ , 因此, 对于 50 W 功率级的电源而言, 该值满足设计要求。

## 4 结语

本文设计了一款基于 PWM 控制芯片 UC3846 的单级 PFC 开关电源。介绍系统整体方案的同时, 详细剖析了系统电路原理。针对变压器参数的设计难题, 给出了较为详尽地推导和选取原则。通过样机测试表明了, 功率因数、满载效率和输出电压纹波

均满足设计要求。可见, 单级 PFC 技术能够有效地提高系统的功率因数; 有源嵌位软开关技术可以降低开关管的损耗, 从而提高电源效率。

## 参考文献:

- [1] 刘凤君. 现代高频开关电源技术及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008: 54-56.  
Liu Fengjun. Technology and Application of Modern High-Frequency Switching Power Supply[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2008: 54-56.
- [2] 李定宣. 开关稳定电源设计与应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006: 25-31.  
Li Dingxuan. Design and Application of Switching Power Supply[M]. Beijing: China Electric Press, 2006: 25-31.
- [3] 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.
- [4] 李中启, 肖强晖, 廖无限. 新型双 BUCK 恒流源的研究[J]. 湖南工业大学学报, 2011, 25(4): 70-72.  
Li Zhongqi, Xiao Qianghui, Liao Wuxian. Research on the New Double-BUCK Constant Current Source[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2011, 25(4): 70-72.
- [5] 徐强, 董威, 田俊杰, 等. 反激式开关电源变压器的设计[J]. 中国测试, 2009, 35(3): 74-77.  
Xu Qiang, Dong Wei, Tian Junjie, et al. Design of Single-Ended Flyback Transformers of Switching Power Supply[J]. China Measurement & Test, 2009, 35(3): 74-77.
- [6] Mclyman C M T. 变压器与电感器设计手册[M]. 龚绍文, 译. 北京: 中国电力出版社, 2008: 127-129, 294-303.  
Mclyman C M T. Transformer and Inductor Design Handbook[M]. Gong Shaowen, Translated. Beijing: China Power Press, 2008: 127-129, 294-303.
- [7] 马洪涛, 沙占友, 周芬萍. 开关电源制作与调试[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010: 75-76.  
Ma Hongtao, Sha Zhanyou, Zhou Fenping. Switching Power Supply Production and Commissioning[M]. Beijing: China Power Press, 2010: 75-76.

(责任编辑: 邓彬)

