

基于 UCC3817A 的有源功率因数校正器设计

姚志树¹, 胡建华²

(1. 盐城工学院 电气工程学院, 江苏 盐城 224051; 2. 江苏省滨海县通榆河管理所, 江苏 滨海 224500)

摘要:提高开关电源的功率因数已经成为当前电源产业的当务之急。选择 UCC3817A 作为有源功率因数校正控制芯片, 通过具体电路的设计和主要元件参数的选择, 介绍它在抑制开关电源谐波中的应用。制作实验样机进行实验验证, 结果表明该样机满足功率因数校正要求, 且电路结构简洁, 设计过程简单。

关键词:功率因数校正; 开关电源; 谐波; UCC3817A

中图分类号: TM92 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-5322(2012)04-0013-05

开关电源以其效率高、功率密度高而在电源领域中占主导地位, 但传统的开关电源存在一个致命的弱点, 功率因数低, 一般为 0.45~0.75, 而且其无功分量基本上为高次谐波, 其中 3 次谐波幅度约为基波幅度的 95%, 5 次谐波幅度约为基波幅度的 70%, 7 次谐波幅度约为基波幅度的 45%, 9 次谐波幅度约为基波幅度的 25%。大量高次谐波电流倒灌回电网, 对电网造成严重的污染。为此, IEC(国际电工委员会)制定了限制高次谐波的国际标准, 最新标准为 IEC1000-3-2D 类。美国、日本、欧洲等发达国家已制定了相应标准, 并强制执行, 对于不满足谐波标准的开关电源不允许上电网, 我国也制定了相应标准。因此提高开关电源输入端的功率因数, 抑制电流谐波是势在必行的事^[1-4]。

1 功率因数校正技术分类

从不同的角度看, 功率因数校正(PFC)技术有不同分类方法。从电网供电方式可分为单相 PFC 电路和三相 PFC 电路; 从采用的校正机理看, 可分为无源功率因数校正(PPFC)和有源功率因数校正(Active Power Factor Correction, 简称 APFC)两种。

无源功率因数校正技术(PPFC)出现最早, 通常由大容量的电感、电容组成。它只是针对电源的整体负载特性表现, 在开关整流器的交流输入

端加入电感量很大的低频电感, 以减小滤波电容充电电流尖峰。由于加入的电感体积大, 增加了开关整流器的体积, 此方法虽然简单, 但效果不理想, 适于应用到重量体积不受限制的小型设备。

有源功率因数校正(APFC)是用一个转换器串入整流滤波电路与 DC/DC 转换器之间, 基本原理如图 1 所示, 通过特殊的控制强迫输入电流跟随输入电压, 反馈输出电压使之稳定, 从而使 DC/DC 转换器的输入实现预稳。这种方法的特点是控制复杂, 但体积大大减小, 设计也易优化, 从而进一步提高了性能。由于这个方案中应用了有源器件, 故称为有源功率因数校正。

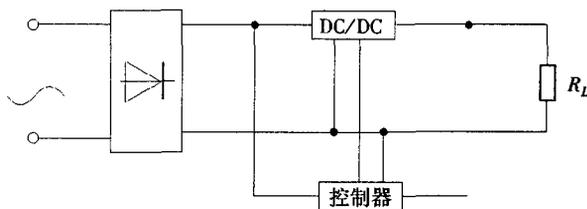


图 1 APFC 工作原理图

Fig. 1 The working principle diagram of APFC

从原理图来看, APFC 基本电路就是一种开关电源, 但它与传统的开关电源的区别在于: DC/DC 变换之前没有滤波电容, 电压是全波整流器输出的半波正弦脉动电压, 这个正弦半波脉动直流电压和整流器的输出电流与输出的负载电压都受

收稿日期: 2012-09-12

作者简介: 姚志树(1978-), 男, 江苏盐城人, 讲师, 硕士, 主要研究方向为电力电子技术、电气控制。

到实时的检测与监控,其控制的结果是达到全波整流器输入功率因数近似为 1^[5]。

设计一个有源功率因数校正电路需要考虑的因素很多,例如电路工作的可靠性、效率的高低、体积的大小和性价比等因素。为了便于研制和生产有源功率因数校正器,现在功率因数校正 PFC 的控制电路已集成化,有多种 PFC 集成控制电路芯片可供设计、研究人员选用。本文采用 TI 公司的 UCC3817A 功率因数校正控制芯片^[5],设计了一种实用有源功率因数校正器,并给出了主要电路的参数计算过程和仿真结果,而且还通过了原理样机的试验测试。

2 UCC3817A 内部结构及工作原理

UCC3817A 控制集成电路具有有源功率因数

校正所需的所有控制功能,可以完成使交流市电输入电流的波形和交流市电输入电压波形一致的控制功能,由于采用了平均电流控制方法,所以控制电路的工作稳定性高,交流市电输入电流的波形畸变小。

由于 UCC3817A 芯片采用了 Bi - MOS 生产工艺,所以 UCC3817A 具有启动电流小、功耗低、输出过电压保护(OVP)、并联 UVLO 检测电路、利用脉冲前沿调制技术(LEM)降低了 APFC 电路的输出纹波电压和电流放大器的失调电压低(±2 mV)等一系列特点,降低了 APFC 电路在轻负载的工作条件下交流市电输入电流的畸变。

UCC3817A 功率因数校正用集成电路的工作原理框图如图 2 所示。

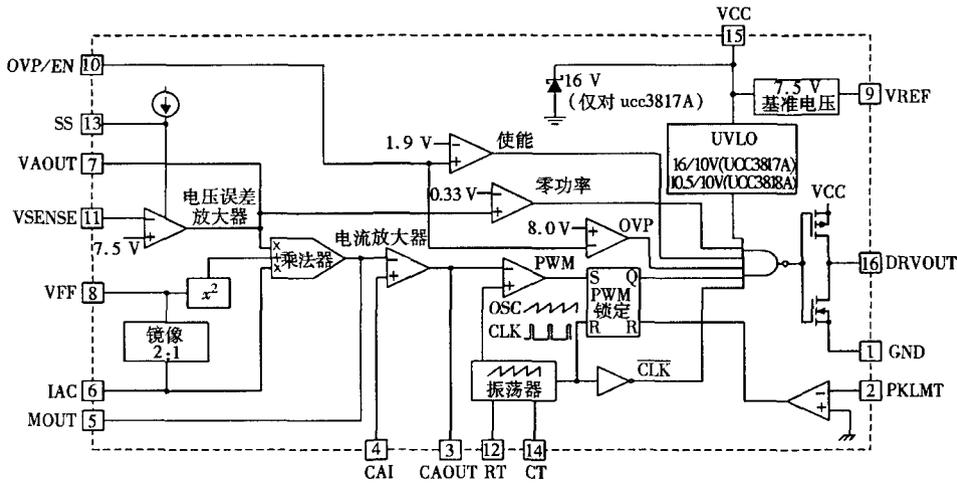


图 2 UCC3817A 的工作框图

Fig. 2 The principle block diagram of IC UCC3817A

UCC3817A 内部有一个启动电流很小的并联稳压电路,比较适用于升压供电的应用场合,UCC3817A 的封装形式有 16 引脚 D、N 和 PW 的封装形式。其引脚功能分别是:1 脚(GND)为接地端;2 脚(PKLMT)为 APFC 的峰值电流限制端,它的峰值电流限制阈值电压为 0 V,当该引脚的电位低于 0 V 时,峰值限电流控制功能开始工作;3 脚(CAOUT)为电流运放输出端;4 脚(CAI)为电流运放的同相输入端;5 脚(MOUT)为乘法器的输出端和电流运放的反相输入端;6 脚(IAC)为正比于输入电压的乘法器电流输入端,使交流输入电流的波形畸变要尽量小,IAC 的推荐最大电流值为 500 μA;7 脚(VAOUT)为电压放大器的输出端,为了避免输出电压过冲,该引脚的输出电压

被内部电路钳位于 5.5 V;8 脚(VFF)为前馈电压输入端;9 脚(VREF)为 7.5 V 精密基准电压源的输出端;10 脚(OVP/EN)为过压保护端/使能端,如果 APFC 升压输出的电压高于标称值或 SS 引脚的电位低于 1.9 V(典型值)时,可利用该引脚来关断驱动输出信号;11 脚(VSENSE)为电压放大器反相输入端;12 脚(RT)为外接振荡电阻端,电阻值的取值范围为 10 ~ 100 kΩ;13 脚(SS)为软启动控制端;14 脚(CT)为外接振荡电容端,振荡频率的计算公式为: $f \approx \frac{0.6}{R_T C_T}$;15 脚(VCC)为电源端;16 脚(DRVOUT)为功率开关管 MOSFET 驱动端。

3 主要元件参数的选取

电路设计要求如下,输入电压:85 VAC ~ 265 VAC;输出电压:380 VDC;输出功率:600 W;开关频率:100 kHz;功率因数: >99%。

整个功率因数校正电路分为两个部分组成: APFC 功率级电路和 APFC 级控制环路^[6-9]。

3.1 APFC 功率级电路的主要参数计算

3.1.1 升压电感 L_{Boost}

升压电感 L_{Boost} 的参数可以利用公式(1)计算。

$$L_{\text{Boost}} = \frac{V_{\text{in}(\text{min})} \times D}{\Delta I \times f_s} \quad (1)$$

式(1)中, D 为脉冲占空比; ΔI 为通过 APFC 电感的纹波电流; f_s 为 APFC 电路的开关工作频率。根据设计要求可知,开关频率 f_s 为 100 kHz,最大输出纹波电流 ΔI 为 875 mA,最大脉冲占空比 D 为 0.688,交流市电输入电压的最低值为 85 V,这样 L_{Boost} 应取 1 mH。

3.1.2 输出滤波电容 C_{out}

在选择 APFC 电路的输出滤波电容 C_{out} 时,主要考虑的参数有它的电容量和耐压值,电容量的选取应考虑到 APFC 电路输出电压的保持时间这个因素,保持时间选 16 ms,这个保持时间和电容 C_{out} 参数的选取、APFC 电路的输出功率和输出电压这几个因素有关,可以利用公式(2)计算。

$$C_{\text{out}} = \frac{2 \times P_{\text{out}} \times \Delta t}{V_{\text{out}}^2 - V_{\text{out}(\text{min})}^2} \quad (2)$$

由于 C_{out} 的 ESR 和 APFC 电路输出纹波电压限制的原因,公式(2)计算出的 C_{out} 不合适,为了降低 C_{out} 的 ESR 通常采用容量更大的 C_{out} ,在设计中影响 C_{out} 参数的主要因素是保持时间,所以可取 C_{out} 为 220 $\mu\text{F}/450$ V 的电解电容。

3.1.3 功率开关管的选择

功率开关器件的选择需要考虑电路的开关工作频率和功率开关管的功耗等因素。功率开关器件的损耗主要由关断损耗和导通损耗两部分组成,而功率开关管的损耗又和功率开关管的栅极充、放电损耗,输出电容上的损耗和开关损耗等因素有关,有关损耗可以利用公式(3)、(4)、(5)计算。

$$P_{\text{GATE}} = Q_{\text{GATE}} \times V_{\text{GATE}} \times f_s \quad (3)$$

$$P_{\text{COSS}} = \frac{1}{2} \times C_{\text{OSS}} \times V_{\text{off}}^2 \times f_s \quad (4)$$

$$P_{\text{on}} + P_{\text{off}} = \frac{1}{2} \times V_{\text{off}} \times I_L \times (t_{\text{on}} + t_{\text{off}}) \times f_s \quad (5)$$

式中, Q_{GATE} 为功率开关管栅极上的总电量; V_{GATE} 为栅极驱动电压; C_{OSS} 为功率开关管 MOSFET 的漏-源电容; t_{on} 和 t_{off} 为开关管通断时间; V_{off} 为功率开关管在关断工作期间加到漏源极之间的电压,在本设计中 $V_{\text{off}} = V_{\text{out}}$ 。

功率开关管 MOSFET 的导通损耗可以利用公式(6)计算。

$$P_{\text{导通}} = R_{\text{DS(on)}} \times K \times I_{\text{RMS}}^2 \quad (6)$$

式(6)中, K 是和 $R_{\text{DS(on)}}$ 与结温有关的一个温度系数数值。

选用型号为 IRFD450 的功率开关管,这主要考虑到它的 V_{DSS} 电压额定值和低导通电阻 $R_{\text{DS(on)}}$ 值的工作范围,IRFD450 的 $R_{\text{DS(on)}}$ 为 0.4 Ω 、 V_{DSS} 为 500 V。

3.1.4 软启动电路

软启动电路的作用是用以避免电路在启动过程中出现输出电压的过冲,这是通过使电压放大器的输出电压 (V_{AOUT}) 缓慢上升来使 PWM 控制电路输出的脉冲占空比缓慢上升来实现的,可以利用公式(7)来计算接至 UCC3817A 软启动引脚的电容值。

$$C_{\text{SS}} = \frac{10 \mu\text{A} \times t_{\text{软启动}}}{7.5 \text{ V}} \quad (7)$$

取软启动时间 $t_{\text{软启动}} = 7.5$ ms,则可得 C_{SS} 为 10 nF。

3.2 APFC 控制级主要环路参数的计算

3.2.1 乘法器

乘法器的输出信号是一个能反映交流市电输入电流波形的信号,乘法器的这个输出信号被送到了电流放大器的输入端,由于电流控制环路的控制作用,使交流市电输入电流的波形跟踪交流市电输入电压的波形,从而完成功率因数校正控制作用,所以乘法器的性能对功率因数校正的控制效果有很重要的影响。乘法器的输入信号有:①电压放大器的输出信号 V_{AOUT} ;②反映交流市电输入电压波形的电流信号 I_{IAC} 和输入前馈电压 V_{VFF} 。

电流信号 I_{AC} 是通过一个接至交流输入市电整流后输出的电压与 UCC3817A 的 I_{AC} 引脚之间的一只电阻得到的,电阻 R_{IAC} 的选取原则是在交流市电输入电压的最大值时, I_{AC} 取得它的最大值,对 UCC3817A 而言,这个最大电流值大约为 500 μA ,如果电流大于 500 μA ,有可能使乘法器超出它的线性工作区,但是如果电流值太小,噪声

又会对乘法器的工作有影响。对于在 85 ~ 265 V 的交流市电输入电压范围,电阻 R_{IAC} 取 750 k Ω 。为了便于电阻的功耗和耐压值的选取,对于这个电阻我们用两只 380 k Ω 的电阻串联实现。

3.2.2 电压控制环路

对电压控制环路的补偿不仅要满足电路稳定工作的要求,同时也要满足对输出纹波电压成分的衰减要求,电压控制环路的补偿电路原理如图 3 所示。

所需的滤波电路应由输入电阻 R_{in} , 反馈元件 C_f 、 C_z 和 R_f 组成,电阻 R_{in} 是和 APFC 输出电压的电阻分压取样分压电阻的参数有关,根据设计要

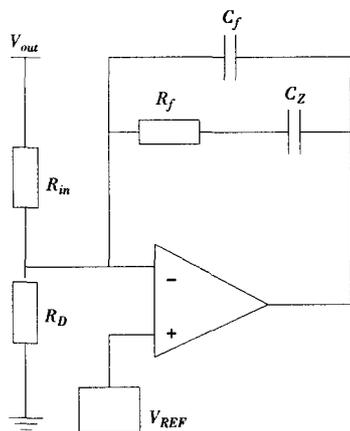


图 3 电压控制环路的补偿电路原理

Fig.3 The compensation circuit principle of voltage control loop

求, $R_{in} = 1 \text{ M}\Omega$, 它是输出电压取样电路阻值的 1/2。在实际应用过程中考虑到它的耐压和功耗的因素,把这个 1 M Ω 的电阻用两只 500 k Ω 的电阻串联实现。电容 C_f 的参数计算如式(8)。

$$C_f = \frac{1}{2\pi \times f_r \times G_{VA} \times R_{in}} = 150 \text{ nF} \quad (8)$$

电阻 R_f 用来设定误差放大器的直流增益,从而决定误差放大器的极点频率,极点频率的位置可以通过使控制环路的增益为 1 的情况下来求解这个交越极点频率,如果这个频率用输入功率来表示,则有式(9):

$$f_{v1}^2 = \frac{P_{in}}{(2\pi)^2 \times \Delta V_{VAOUT} \times R_{in} \times C_{out} \times C_f} \quad (9)$$

在本设计中 f_{v1} 取 10 Hz, 电阻 R_f 的参数计算如式(10)。

$$R_f = \frac{1}{2\pi \times f_{v1} \times C_f} = 100 \text{ k}\Omega \quad (10)$$

由于电压放大器的输出阻抗很小,这里利用电容 C_z 和电阻 R_f 相串联的方法来减小电压分压电路对输出电压取样电路的影响,为了确保电压控制环路的交越频率为 f_{v1} , 这里增加电容 C_z 的目的是用以在 $10 f_{v1}$ 的频率处再增加一个零点,电容 C_z 的参数计算如式(11):

$$C_z = \frac{1}{2\pi \times \frac{f_{v1}}{10} \times R_f} = 2.2 \text{ }\mu\text{F} \quad (11)$$

整个功率因数校正电路如图 4 所示。

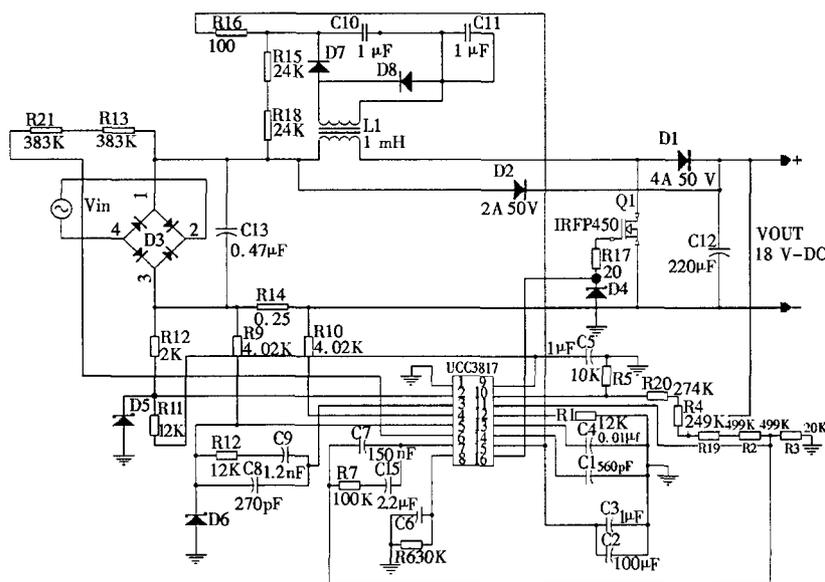
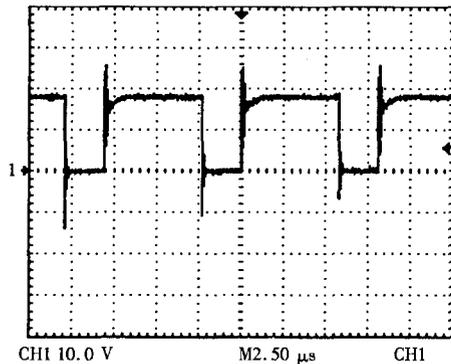


图 4 UCC3817A 构成的功率因数校正电路

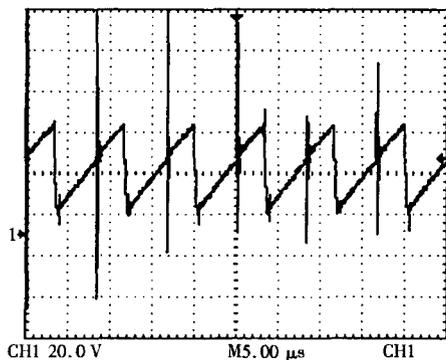
Fig.4 The power factor correction circuit constituted by UCC3817A

4 实验研究

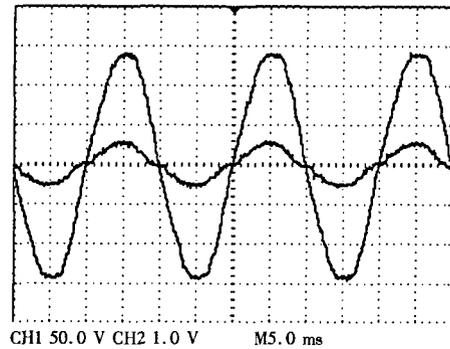
采用图4所示电路,研制了一台样机。样机中功率管采用IRFD450,续流二极管采用MBR20100。输出滤波电感1 mH,输出滤波电容为220 μ F,输出功率600 W。用0~250 VAC的交流调压器作为APFC电路的输入,对APFC电路分别测量3817A芯片16脚的输出PWM波形、14脚的锯齿波波形以及输入电压和输入电流的波形。实验波形分别如图5所示。



a 3817A 输出 PWM 波形图



b 3817A 产生的锯齿波波形图



c 输入电流和输入电压波形

图5 实验波形

Fig. 5 Experimental waveforms

图5c为输入电压220 V时的人端电压和电流波形,通道1为电压波形,通道2为电流波形,其中电压的比例约为1:2,电流的比例约为1:4。输入电流跟踪输入电压呈正弦化而且相位相同,Boost变换器近似为纯电阻,输入电流总谐波量为4.5%。功率因数达到0.999以上,满足预期的设计要求。

5 结论

低功率因数的开关电源所带来的危害是很严重的,这是因为输入电流有很高的峰值,含有大量的高次谐波,不但产生严重电磁干扰,还使供电变压器产生大的电磁应力,噪音增大,铁损严重,温升剧增。因此,在整流器设计中,认真设计好功率因数校正电路是至关重要的。基于UCC3817A控制芯片来实现开关电源的有源功率因数校正,可以得到很好的功能实现。通过实验可以看出后弦电路向电网注入的谐波电流大大降低,输入功率因数达到0.99以上,具有比较广泛的应用价值。

参考文献:

- [1] 周志敏,周纪海,纪爱华. 开关电源实用技术—设计与应用[M]. 2版. 北京:人民邮电出版社,2007.
- [2] 张占松,蔡宣三. 开关电源的原理与设计[M]. 修订版. 北京:电子工业出版社,2005.
- [3] 曲学基,王增福,曲敬铠. 新编高频开关稳压电源[M]. 北京:电子工业出版社,2005.
- [4] 岳云涛,李英姿,韩永萍. 一种新型高功率因数软开关电源[J]. 电力自动化设备,2008,28(5):87-90.
- [5] 路秋生. 功率因数校正技术与应用[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
- [6] 徐云中,熊鑫. 单相桥式整流电路输入功率因数分析及其改进滤波方法分析研究[C]. 第14届全国电源技术年会论文集,2001:431-432.
- [7] 王学芝,王永初. 新型功率因数校正电路的开关电源设计方案[J]. 华侨大学学报,2007,28(1):15-18.
- [8] 张凯,石俊杰. 基于Boost结构下不连续导电模式的PFC电路[J]. 通信电源技术,2002(1):5-8.
- [9] 倪志红. 开关电源功率因数校正技术的研究[D]. 南京:南京理工大学,2003.

(下转第52页)

Design for an Embedded Small – scale GUI System

ZAN Jian-qiu, BAO Bing-ying

- (1. Yancheng City Earthquake Network Center, Yancheng Jiangsu 224005, China;)
(2. School of Integrated Circuit, Southeast University, Wuxi Jiangsu 214000, China)

Abstract: Graphical User Interface system is an important part of embedded systems. There have been a lot of mature embedded GUI system so far. But most of them are too complex. According to the characteristics of the embedded systems, this paper proposes a lightweight embedded Graphics User Interface (GUI) system by using the idea of hierarchical, modular and object-oriented. Test results show that the system is suitable for small embedded products.

Keywords: embedded Graphics User Interface; message-driven; widget management

(责任编辑:张英健)

(上接第 17 页)

Design of Power Factor Corrector Based on UCC3817A

YAO Zhi-shu¹, HU Jian-hua²

- (1. Department of Electrical Engineering, Yancheng Institute of Technology, Yancheng Jiangsu 224051, China;)
(2. Tong-yu River Management of Binhai, Yancheng Jiangsu 224500, China)

Abstract: It is now urgent for power industry to increase the power factor of switching power supply. UCC3817A is chosen as active PFC IC, and its application in harmonic suppression is introduced by analyzing the circuit design and by selecting the parameters of the main components. The experimental prototype is designed for verification, and the results demonstrate that it meets the requirements of power factor correction and that the circuit structure and the design process are simple.

Keywords: PFC (power factor correction); switching power supply; harmonic; UCC3817A

(责任编辑:张振华)