

基于 UC 3854 的高功率因数校正器设计

张厚升

(山东理工大学 电气与电子工程学院, 山东 淄博 255049)

摘要: 功率因数校正 PFC(Power Factor Correction)是治理谐波污染的一种有效方法。设计了一种带中心抽头电感的单相 Boost 高功率因数校正器,与传统型功率因数校正主电路相比,该主电路拓扑结构只是在电感磁环上增加了几匝线圈,引出一个中心抽头,能够有效地抑制电流冲击,降低纹波噪声,提高了功率因数校正主电路的可靠性。控制电路采用平均电流型功率因数校正芯片 UC 3854。分析了尖端失真、输出电压飘升以及重载下输出电压参数调整等实际问题,并给出了相应的解决方案。仿真与试验结果表明,该 Boost 功率因数校正器设计合理、性能可靠,功率因数可达 0.99,而且与流行的 PFC 控制电路兼容。

关键词: 功率因数校正; 校正器; UC 3854

中图分类号: TM 92

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2007)01-0080-04

0 引言

电力电子设备的输入电路普遍采用二极管整流和电容滤波组成整流环节。由于整流二极管的非线性和滤波电容的储能作用,使输入电流波形发生畸变而成为脉冲状波形,其中含有大量的谐波分量。这些谐波分量注入电网,引起严重的谐波“污染”。一方面产生“二次效应”,即电流流过线路阻抗造成谐波电压降,反过来使电网电压(正弦波)也发生畸变,另一方面会造成电路故障,使用电设备损坏^[1-2]。因此,对电力电子设备进行功率因数校正已成必然趋势。

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(Power Factor Correction)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 Unitrode 公司的 UC 3854N 平均电流型控制芯片^{①②}[3-4],设计了一种带中心抽头电感的 Boost 功率因数校正器,并给出了相应的理论分析和仿真结果,而且还通过了原理样机的试验测试。

1 系统工作原理

图 1 给出了所设计的新型带中心抽头电感的 Boost 功率因数校正电路的原理图,控制电路使用平均电流型控制芯片 UC 3854N,基本 PFC 电路的核心是电流调节器,它由线性乘法器、电流误差放大器和 PWM 比较器组成。在电流调节器的作用下,输入电流跟踪输入电压呈正弦波形,且与输入电压同相^[2]。

正比于输入全波整流电压的电流 I_{AC} 和误差放大器输出电压 U_{VEA} 及前馈电压 U_{FF} 在乘法器中相乘,产生基准电流信号 I_{MO} , I_{MO} 在电阻 R_{MO} 上所产生的

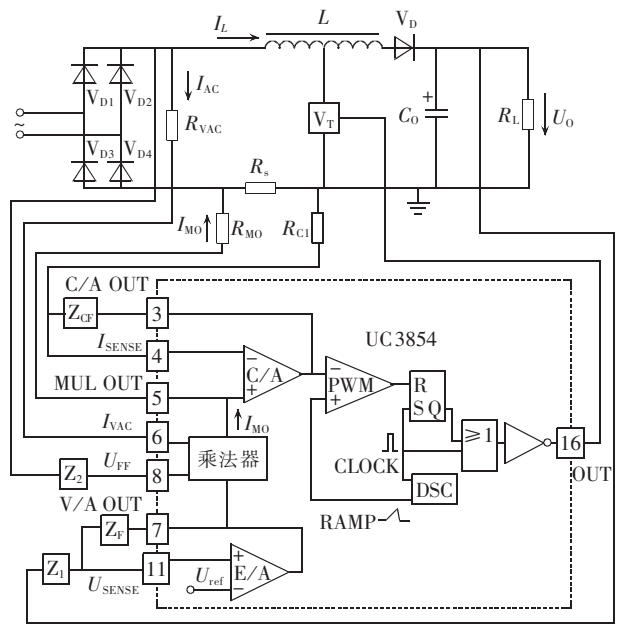


图 1 带中心抽头电感的 Boost 功率因数校正电路
Fig.1 Main circuit of Boost PFC with centrally tapped inductor

的压降具有与输入整流电压相同的波形,输入电流 I_L 通过电流取样电阻 R_s 产生取样电压 U_s ,它与 R_{MO} 上的电压相减后加在电流误差放大器的输入端。由于电流环是无差的,因此, R_{MO} 和 R_s 上的电压差等于零,迫使主回路电流跟踪输入整流电压的波形呈正弦波形。这一结果的实现是靠 PWM 开关电路完成的,电流误差放大器输出电压与一个三角波电压在 PWM 比较器中比较后产生一个 PWM 触发脉冲驱动 MOSFET,脉宽调制的高频开关电流在升压电感 L

① Philip C Todd. UC 3854 Controlled Power Factor Correction Circuit Design. Application note. U-134, Unitrode Product and Applications Handbook, 1993-1994.
② Unitrode. Product & Applications Handbook. Unitrode, 1993-1994.

的作用下全周期向负载提供电能,而不是像普通整流电路那样,只在电压尖峰时提供电能。

与传统型单相功率因数校正主电路相比,该主电路拓扑结构没有很大变化,只是在电感磁环上增加了几匝线圈,引出一个中心抽头。新型带中心抽头的三点式电感主电路能够抑制二极管反向恢复产生的电流冲击,同时降低了在输入电压和输入电流侧引入的尖刺纹波噪声^[5-6]。这是因为 V_T (V_T 采用 MOSFET, 47N60S5) 导通时,二极管 V_D 处在反向恢复状态,直流侧的高压通过接近“短路”二极管 V_D 而加在电感 L 的右半部和开关管 V_T 的两端,由于电感上电流不能突变,所以开关管 V_T 在开启瞬间不会产生很大的峰值电流。则 V_D 的结温不会增加,反向恢复时间也不会增加,这样就不会进入恶性循环, V_D 和 V_T 就不至于损坏,提高了功率因数校正主电路的可靠性。

2 Boost 斩波电感的设计

由于斩波电感工作于电流连续模式,需要能通过较大的直流电流而不饱和,并要有一定的电感量,即所选磁性材料应具有一定的直流安匝数。可选用的磁性材料有加气隙铁氧体、加气隙非晶或微晶、铁镍钼 (FeNiMo) 磁环、铁粉芯磁环等材料。铁镍钼磁环机械抗震性能好、高频损耗较小(可工作于 100 kHz),但比较昂贵,而且直流安匝数略显不足。铁氧体、非晶或微晶均需加气隙,使斩波电感漏磁通增加,这样会产生较大的电磁干扰噪声。铁粉芯磁环内部均匀分布着微小气隙,通过调节气隙密度,可得到不同直流安匝数的磁环。这种具有分布气隙结构的铁粉芯磁环漏磁通较小。随着开关频率增加(大于 50 kHz),铁粉芯磁环损耗明显增加。从成本、电磁干扰噪声、直流安匝数、高频损耗等方面综合考虑,铁粉芯磁环是 50 kHz 以下开关频率的 PFC 斩波电感磁性材料的适宜选择。

实际选用的是国产 $\Phi 64 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 32 \text{ mm}$ 铁粉芯磁环,电感系数为 $290 \text{ nH}/N^2$ (N 为线圈匝数)。电感值的计算以低输入电压 $U_{in,peak}$ 及对应的最大占空比 D_{max} 时保证电感电流连续为依据^[7],计算公式为

$$L = \frac{U_{in,peak} D_{max}}{f_s \Delta I} \quad (1)$$

式中 $U_{in,peak}$ 为低输入交流电压对应的正弦峰值电压; D_{max} 为 $U_{in,peak}$ 对应的最大占空比; f_s 为开关频率; ΔI 为纹波电流值。

占空比的计算公式为

$$D_{max} = \frac{U_{dc} - U_{in,peak}}{U_{dc}} \quad (2)$$

其中, U_{dc} 为输出直流电压。

若输入交流电压为 80~120 V,输出直流电压为 200 V,开关频率为 40 kHz, ΔI 取为 2.5 A,则可计算得到 $D_{max} = 0.43$, $L = 491 \mu\text{H}$ 。实际上左段电感 L 为 0.5 mH,右段电感 L_1 为 60 μH ,全部电感 0.56 mH。

3 尖端失真问题

尖端失真正好出现在交流线路输入越过零伏以后^[8],在该点上,调整信号所需要的电流总量,越过可能的电流转换速率。当输入电压接近于零时,电感器上有一个很小的电压,此时开关闭合,因此电流上升的速率不会非常迅速,能得到的转换速率太低,在短时间内输入电流也将滞后于预期值。一旦输入电流同调节相配,则控制环返回工作,输入电流将跟随调节信号^①。电流不跟踪调整值的时间长度是电感值的函数,电感值越小,跟踪越好,失真也越小。但较小的电感值会有较高的纹波。由该条件产生的失真总量通常很小,而且大多数是更高次谐波。这个问题会由足够高的开关频率来尽量减小。

4 输出电压飘升问题的解决方案

实际应用中经常会发生这种现象:当轻载或者空载时,变换器的输出电压往往缓慢飘升,如果没有过压保护电路,输出电压可飘升至相当高的水平,甚至击穿功率开关管^[9]。发生这种现象的基本原因在于电流运放的输入电压失调上,更确切地讲,是运放输入电压 ($U_{+IN} \sim U_{-IN}$) 的正失调电压,因为这个正电压可能造成 UC 3854 系列 IC 输出脉冲宽度不能为零。另一方面,由于布线的原因,UC 3854 的地与 Boost 功率电路的地之间也难免存在着微小的电位差,这在效果上也相当于电压失调;如果功率地的位置选择不当,就会产生等效正失调电压,那么即便是 UC 3854 没有失调电压,也可能产生空载电压飘升的问题。最简单的解决办法是在电流放大器的 3 脚、4 脚间并联一个大电阻,即加上一点直流反馈,将输出的正电平送一点到反相输入端以补偿失调。

但是,这种简单方法也有缺点:本来电流运放在轻载时需要正电平补偿,重载时不需要补偿,可是直流反馈偏置的结果却是负载越重,电流运放输出越高,因而补偿更重。当反馈过大时,将限制电流运放的输出高电平幅度,从而限制了 PWM 调制器的最大输出脉宽,这样将影响整个 PFC 电路的输入电压调节能力,即当输入交流较低、同时负载也较重时,输出电压可能达不到额定值。较好的办法如图 2 所

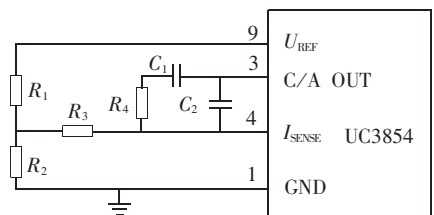


图 2 电流运算放大器的附加偏置
Fig.2 Bias circuit of current amplifier

① Bill Andreycaak. Optimizing Performance in UC 3854 Power Factor Correction Applications. Unitorde Design Note, DN-39E, 1994.

示,图中 R_1 为兆欧级数值的电阻, R_2 可根据情况适当加以调整,通过分压电路给反相端 4 脚加一个固定的偏置,这样就解决了上述反馈偏置的缺点。

5 重载下恒定输出电压参数的调整

当 Boost PFC 的主电路加重负载时,因线路阻抗的关系,输入正弦电压下跌,必须适当调整参数,增加乘法器的正弦波形输入电流值,并增加前馈电压的输入比例,使 I_{MO} 相应增加,以保证输出电压重载不下跌。具体可减小与 UC 3854N 脚 6 (I_{VAC}) 串联的电阻值,增加电流输入信号 I_{AC} 的幅度;改变输入至 UC 3854N 脚 8 (U_{FF}) 的阻容分压网络的电阻值,使主电路输入正弦电压变化能在脚 8 产生更大变化。

6 仿真与试验研究

6.1 仿真结果

运用 PSIM 仿真软件,对提出的设计电路进行了建模^[10]与仿真验证。

图 3 给出了输入电压 U 和输入电流 I 的仿真波形,仿真参数为:输入电压为 115 V/50 Hz,升压电感为 0.5 mH,后级电感为 60 μ H,输出滤波电容为 680 μ F,输出电压为 200 V。另外,图 4 给出了未解决尖端失真问题时的输入电流 I_d 的仿真波形,由图 3 和图 4 也可以看出,该设计电路较好地解决了尖端失真问题。

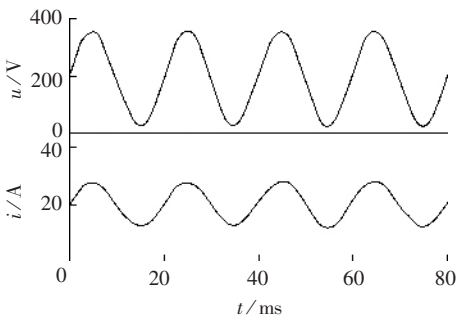


图 3 输入电压和输入电流的仿真波形
Fig.3 Simulation waveforms of input voltage and input current

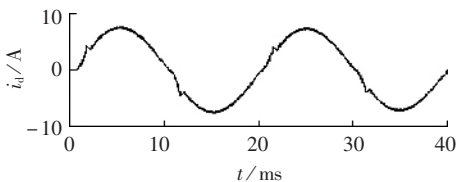


图 4 具有尖端失真的电流仿真波形
Fig.4 Simulation waveform of current with cusp distortion

6.2 试验研究

采用图 1 所示的电路,研制了一台样机。试验时的输入电压为 115 V/50 Hz,样机的输出电压为 200 V,试验用电源仍使用自耦调压器,主开关管采用 47N60S5, V_D 采用 STTA1206 D 型快恢二极管,前级电感 0.5 mH,后级电感为 60 μ H,控制电路采用

UC 3854N,电流检测为无感电阻,开关频率为 40 kHz。测得的输入电压 U_{in} 和输入电流 I_{in} 的波形图如图 5 所示,从图中可以看出输入电流能很好地跟踪输入电压。图 6 给出了输入电流的谐波分析图,对输入电压和输入电流的前 40 次谐波进行分析可得:在电网畸变率为 4.414% 时,输入电流总谐波畸变率(THD)仅为 6.815%,功率因数可以达到 0.99。

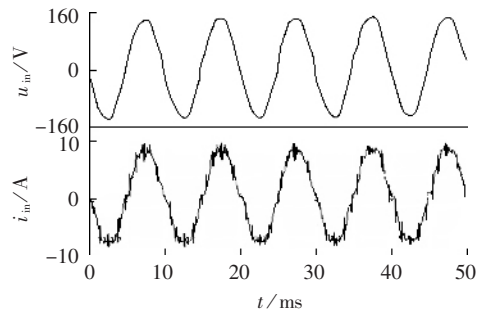


图 5 输入电压和输入电流的试验波形
Fig.5 Experiment waveforms of input voltage and input current

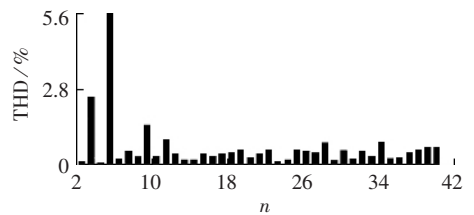


图 6 输入电流谐波分析图
Fig.6 Harmonic analysis of input current

7 结论

设计了一种 UC 3854N 控制的 Boost 功率因数校正器,解决了尖端失真和输出电压飘升等实际问题,通过理论分析、仿真和试验验证,采用带中心抽头的三点式电感 Boost 功率因数校正电路,拓扑结构简单、实用而且性能可靠,并与流行的 PFC 控制电路兼容,整体性能良好。

参考文献:

- [1] 张占松,蔡宣三. 开关电源的原理与设计[M]. 北京:电子工业出版社,1998.
- [2] 刘胜利. 现代高频开关电源实用技术[M]. 北京:电子工业出版社,2001.
- [3] 张万峰,阮立飞,叶芑生. 基于 Boost 电路功率因数预调节器的设计[J]. 上海交通大学学报:自然科学版,2001,35(8):1238-1241. ZHANG Wan-feng, RUAN Li-fei, YE Peng-sheng. Design of power factor pre-regulator based on boost circuit[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University: Natural Science edition, 2001, 35(8): 1238-1241.
- [4] 詹桦,韩雁. 功率因数校正器芯片电路 UC 3854 的分析[J]. 微电子学,2002,32(2):136-141. ZHAN Hua, HAN Yan. An analysis of power factor corrector chip UC 3854[J]. Microelectronics, 2002, 32(2): 136-141.
- [5] QIAO C, SMEDLEY K M. A topology survey of single-stage power factor correction with a Boost type input current shaper[J]. IEEE

Transactions on Power Electronics, 2001, 16(3):360-368.

- [6] 华伟. 3 kW 新型带中心抽头电感功率因数修正电路[J]. 电力电子技术, 1998, 32(3):1-3.
HUA Wei. Study of a novel 3 kW power factor correction circuit with center-tapped inductor[J]. Power Electronics, 1998, 32(3):1-3.
- [7] 穆斯塔法·克契卡兹, 康勇, 刘平. 单相 Boost 功率因数校正电路的参数设计[J]. 电力电子技术, 1998, 32(4):37-40, 48.
KCHIKACH M, KANG Yong, LIU Ping. Design of single phase Boost power factor correction circuit[J]. Power Electronics, 1998, 32(4):37-40, 48.
- [8] 穆新华, 孟小利, 刘闯. Boost 功率因数校正器中输入电流波形失真分析与抑制[J]. 数据采集与处理, 2001, 16(4):435-439.
MU Xin-hua, MENG Xiao-li, LIU Chuang. Input current harmonic distortion of Boost Power Factor Correction(PFC) and its attenuation[J]. Journal of Data Acquisition & Processing, 2001, 16(4):435-439.

- [9] 孙良华, 陈亚宁, 赵国凤. UC 3854 的最小输出脉宽问题[J]. 国外电子元器件, 2000(6):23-25.
SUN Liang-hua, CHEN Ya-ning, ZHAO Guo-feng. The minimum pulse width of UC 3854[J]. International Electronic Elements, 2000(6):23-25.
- [10] 王玉峰, 肖永江. 单相 Boost 功率因数校正主电路模型的建立[J]. 电气传动自动化, 2002, 24(1):34-36.
WANG Yu-feng, XIAO Yong-jiang. Modeling of Boost converter using for single phase PFC[J]. Electric Drive Automation, 2002, 24(1):34-36.

(责任编辑: 康鲁豫)

作者简介:

张厚升(1976-), 男, 山东临沂人, 讲师, 研究方向为电气自动化、电力电子与电力传动(E-mail:zhaseda@163.com)。

Design of Boost power factor corrector based on UC 3854

ZHANG Hou - sheng

(Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

Abstract: PFC (Power Factor Correction) is an effective method to reduce harmonic currents in power grids. A single - phase Boost power factor corrector with centrally tapped inductor is proposed. Compared with the main circuit of traditional PFC, only several windings are added on magnetic ring and tapped, which effectively suppresses the impact current, reduces the ripple noise and improves the reliability of PFC main circuit. The average current mode PFC chip UC 3854 is used in the control circuit. Problems of cusp distortion, output voltage shifting and output voltage regulation with heavy load are analyzed and solutions are given respectively. The simulation and experiment show that, the proposed PFC design is rational, reliable and compatible with popular PFC control circuit, while its power factor reaches 0.99.

Key words: power factor correction; corrector; UC3854