

基于单周期控制的改进型无桥Boost PFC

因为基本型无桥Boost电路存在采样电路复杂、电磁干扰严重等缺点,针对这些问题,学者们提出了很多改进措施。提出了一种改进型无桥Boost PFC变换器,并对其工作过程作了详细介绍,把单周期控制算法运用到控制电路中,并利用Saber仿真软件平台搭建仿真模型,进行仿真研究,然后设计制作出了一台实验样机,功率2 000 W,并通过实验波形来说明方案的可行性。

王建华 艾 军/华东交通大学电气与电子工程学院

0 引言

随着开关器件开关频率的上升以及用电设备功率的增大,传统的Boost PFC电路的整流桥上的功率损耗问题会变得很明显,从而大大地降低了电路的电能转换效率,相应地限制了其在大功率场合的应用。基本型无桥PFC拓扑结构应运而生,因其省去了整流桥部分,整流桥所引起的损耗问题消失了,从而使得电能的利用率得以提高。无桥Boost PFC更符合大功率场合的使用要求。

因为基本型无桥Boost电路存在采样电路复杂、电磁干扰严重等缺点,针对这些问题,学者们提出了很多改进措施。本文提出了一种改进型无桥Boost PFC变换器,并对其工作过程作了详细介绍,把单周期控制算法运用到控制电路中,并利用Saber仿真软件平台搭建仿真模型,进行仿真研究,然后设计制作出了一台实验样机,功率2 000 W,并通过实验波形来说明方案的可行性。

1 改进型无桥PFC变换器原理分析

1.1 主电路拓扑结构

改进型无桥Boost PFC变换器如图

1所示。在该拓扑结构中,两个功率开关管采样无寄生二极管的IGBT, VD_1 、 VD_2 采用普通型二极管, VD_3 、 VD_4 则采用快恢复二极管,因为二极管 VD_3 和 VD_4 的阴极与输入电源端直接连接,阳极与采样电阻相连接,这样不但可以使其采样电阻上的电压波形与电感电流波形一致,大大降低采样电路的复杂度,而且电路的EMI也得到了很大改善。在电路工作过程中电阻虽然会消耗能量,但只需选取适当的电阻值,电阻的能耗相对于电路的整体损耗来说,还是非常小的。

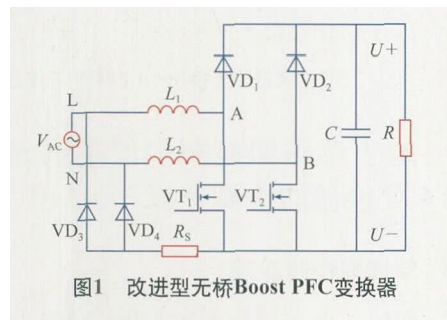


图1 改进型无桥Boost PFC变换器

1.2 电路工作阶段分析

在输入电压正半周期内,流过电感的电流为正,该阶段有两个工作阶段:当开关管 VT_1 导通时,电流回路由电感(L_1 、 L_2)、开关管 VT_1 以及二极管 VD_4 构成,电感 L_1 、 L_2 将电能转化为磁能储存起来,功率管 VT_2 关断,二极管 VD_1 、 VD_2 因承受反压而关断,电感电流线性增大,负载由输出电容供电,如图2a所示;当开关管 VT_1 关断时,二极管 VD_1 导通,因为电感电流不能突变,所以电感电压反向,输入电源与电感(L_1 、 L_2)共同向负载供电,电感将储存起来的磁能转化为电能释放出去,电感电流减



王建华/讲师

关键词/Keywords

功率因数校正·
无桥Boost变换器·
单周控制·

小,如图2b所示。在输入电压负半周期内,该阶段同样包含两个工作过程,此阶段电感电流为负极性:当开关管VT₂导通时,输入电源经过由电感(L₁、L₂)、开关管VT₂以及二极管VD₃组成的回路给两个电感储能,此阶段由电容向负载供电,如图2c所示;当开关管VT₂断开时,二极管VD₂开通,输入电源与电感共同为负载供电,电感电流减小,如图2d所示。

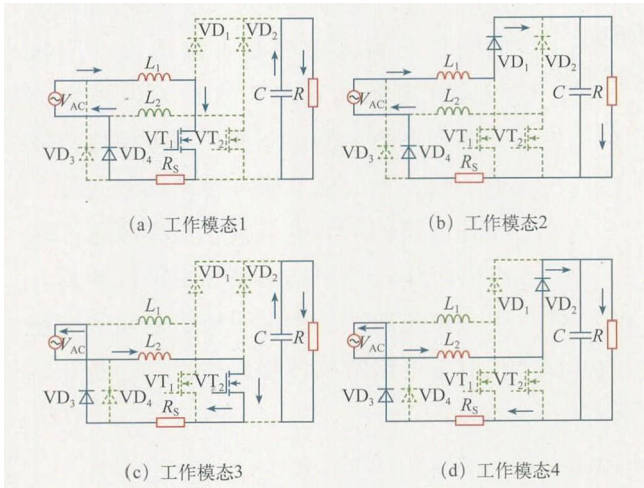


图2 改进型无桥Boost PFC的工作过程

2 基于单周期控制的改进型无桥Boost PFC变换器的仿真分析

2.1 单周期控制原理

在输入电压正负半周期内,改进型无桥Boost PFC变换器的工作过程类似于两个传统Boost PFC电路的叠加,而且这两个变换器的控制回路相同。单周期控制应用PFC电路的数学原理是:利用控制电路的控制策略使得输入电流自动与输入电压波形保持同频同相,所以,对于电网而言,变换器可以等效成一个纯电阻,用 R_c 表示,则公式为

$$R_c = \frac{V_g}{i_g} \quad (1)$$

式中, V_g 为经过整流后的输入电压的瞬时值; i_g 为电感电流的瞬时值。

在每一个开关周期内,Boost型PFC变换器的输入电压、输出电压以及占空比的关系为

$$V_o = (1-d)V_g \quad (2)$$

式中, V_o 为输出电压; d 是开关管的占空比。

把式(2)代入到式(1)可得

$$R_c i_g = (1-d)V_g \quad (3)$$

在式(2)的两边同时乘以 R_s 可以得到

$$R_s i_g = (1-d) \frac{V_o R_s}{R_c} \quad (4)$$

式中, R_s 为采样电阻。

令控制量 V_m 为

$$V_m = \frac{V_o R_s}{R_c} \quad (5)$$

将式(4)代入式(5)可得

$$V_m - i_g R_s = V_m d \text{ 或 } i_g R_s = (1-d)V_m \quad (6)$$

式(6)为单周期控制PFC变换器中最主要的数学模型。只需要输出电容的值够大,就可以把输出电压 V_o 当作常数,所以 V_m 也是与电压 V_o 成正比例关系的直流电压。只要占空比 d 能够满足式(6),则可以使得电感电流 i_g 与整流后的输入电压 V_g 波形保持同相同频,达到功率因数校正的目的。

2.2 仿真结果

为了验证原理的可行性,利用Saber软件搭建仿真模型并进行仿真,参数设置为: $L_1=L_2=0.55$ mH, $C=1\ 100$ μ F, $R_s=0.44$ Ω 。输入电压范围AC 176~264 V,输出电压为400 V,开关频率100 kHz。仿真结果如图3、图4所示。

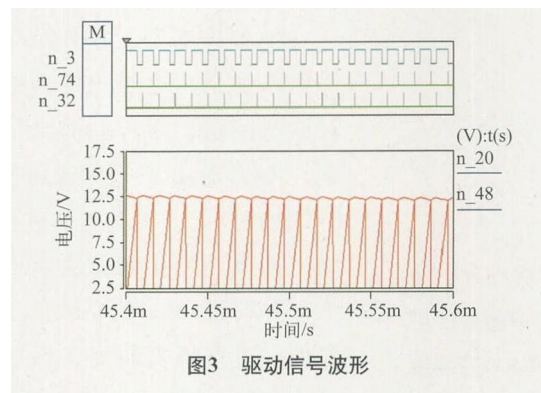


图3 驱动信号波形

图3为开关管VT₁的驱动信号波形,图中n_32是时钟脉冲信号,控制功率管的导通,当式(6)等式成立时,产生脉冲信号n_74,控制开关管的关断。

图4为在输入电压为220 V、额定负载条件下

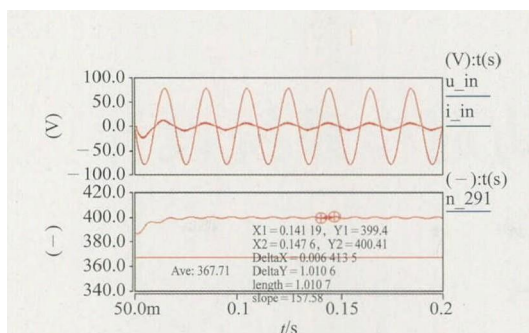


图4 输入电压、电流以及输出电压波形

测得的输入电压、电流以及输出电压的波形图。为了方便比较输入电流和输入电压波形，输入电压的值缩小到0.25倍。输出电压波形呈馒头状，频率为2倍工频，输出电压的超调值为0 V。根据超调量计算公式可知超调量 $\sigma=0$ ，直流母线电压纹波 $-1\sim 0$ V之间，通过公式可以求出电压波动率 $\delta=\pm 0.25\%$ 。从仿真结果可以看出，输入电流和输入电压波形保持同相同频，且通过仿真得出输入电流THD为4.56%。输出电压误差率为 $e=7.5\%$ 。

3 实验结果及分析

基于上述的理论分析，制作了一台额定输出功率为2 000 W的实验样机，电压输入范围为198~240 V（有效值），输出母线电压为380 V，开关频率为55 kHz。主电路参数： $L_1=L_2=0.55$ mH， $C=1$ 100 μ F， $R_s=0.44$ Ω ，VD₃、VD₄采用快恢复二极管，VD₁、VD₂采用普通二极管，两个功率开关管采用无体内二极管的IGBT，控制芯片采用国际整流器（International Rectifier，IR）公司生产的IR1150芯片。

图5为开关管VT₁的电压和电流波形，开关管电流的变化周期为18 μ s，也就是开关频率等于55 kHz。在开关管关断和开通瞬间会出现较大的尖峰电流，这样会造成开关管导通损耗加大，不利于效率的提升。为了减小电流尖峰，可以在电路中加入无源无损缓冲电路。

在输入电压有效值为220 V，输出功率为1 000 W和2 000 W条件下测得的波形如图6和图7所示。从两个波形图中能够得知，在半载和满载的情况下，输入电流能够很好地跟踪输入电压的波形，

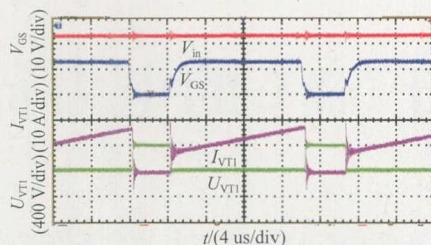


图5 开关管VT₁的电压、电流波形

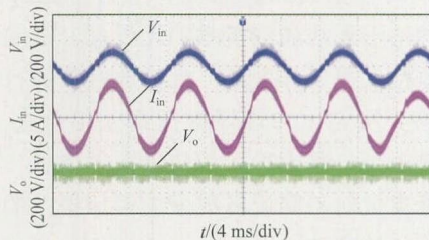


图6 负载功率为1 000 W时输入电压、电流以及输出电压波形

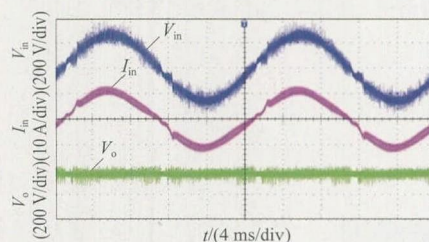


图7 负载功率为2 000 W时输入电压、电流以及输出电压波形

且输出电压纹波控制在38 V范围内。

在输入电压为220 V，不同负载功率条件下实测的功率因数其图形如图8所示。由于在控制电路设计时依据满载功率设定的，所以在低功率的情况下会使得功率因数效果不是很理想，功率因数相对较低，但随着负载功率的变大，功率因数效果会明显好转，能够满足设计要求。

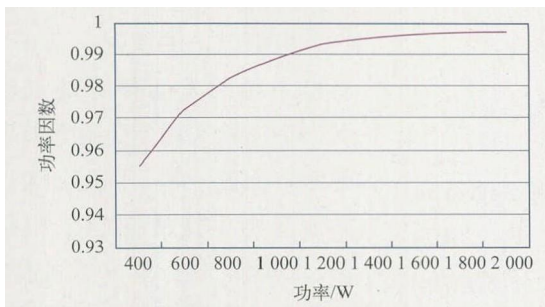


图8 实测功率因数变化曲线图

4 结束语

本文首先介绍了改进型无桥Boost PFC变换器
(下转第78页)

巡检。

通过巡检提醒功能,保证及时高效地完成巡检工作;通过非巡检点记录功能,保证巡检内容的全面性和完整性。

(3) 巡检异常记录

记录巡检过程中的异常信息,包括巡检过程中修改手持终端时间的记录。

(4) 巡检排班

巡检排班为巡检工作提供人员保障。排班主要是对巡检工作人员的日常调度手段,而值班则是对巡检人员工作的监督,交接班保障巡检工作的顺利交接。

(5) 巡检报表

设备运行报表提供了机房设备运行的巡检数据统计,方便机房管理人员对机房的稳定性作出评估和决策。

巡检工作绩效报表提供了巡检工作人员执勤的量化统计信息,方便机房巡检管理人员对巡检工作的按时、按质执行情况作出评估。

(6) 巡检用户

用户管理按照组织结构管理巡检人员的信息,包括用户名、密码和用户角色。

4 结束语

本系统建立一套旨在提高机房巡检质量和加强巡检统筹管理力度的移动巡检管理系统,用NFC智能终端作为巡检终端,实现无纸化作业、智能化管理,总部相关管理单位可以清晰直观地了解掌握各分机房的巡检情况,实现机房巡检的统一监督和指导,实现巡检工作的可跟踪性,实现总部数据中心对各区域、各分机房巡检工作的全面监督指导。有效提高机房巡检管理工作水平,优化巡检流程,减轻巡检工作量,提高巡检效率,实现对巡检问题的跟踪管理。通过对巡检数据的汇总分析,实现各地机房、巡检人员工作绩效的量化,协助进行内部绩效考核工作。可广泛地应用于电力行业安全巡检管理领域。

(收稿日期:2015-02-10) **EA**

(上接第75页)

主电路的工作原理,然后采用单周期控制策略作为主电路的控制部分,通过Saber仿真平台搭建仿真模型并加以仿真。最后制作了一台功率为2 000 W的实验样机,并在不同负载的情况下进行测试,通过测试波形可以知道,基于单周期控制的改进型无桥Boost PFC电路能很好地实现功率因数校正目的。

参考文献

- [1] 刘桂花. 无桥PFC拓扑结构及控制策略研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.
- [2] Smedley K M, Cuk S. One-cycle control of swithing converters [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 1995, 10 (6): 625-633.
- [3] Jang Y, Jovanovic M M. A bridgeless PFC boost rectifier with optimized magnetic utilization [J].

IEEE Transactions on Power Electronics, 2009, 24

(1).

- [4] 温向宇, 赵丽平, 李健华, 等. 新型单周期控制的无桥Boost PFC变换器 [J]. 电源学报, 2014, (1): 91-95.
- [5] Deepshikha Jaiswal, Singh K P, Tiwari A N. Analysis of bridgeless PFC boost converter [J]. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 2012, 1 (5): 2278-2285.
- [6] Abrahan I Pressman. 开关电源设计 [M]. 王志强, 译. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [7] 许黎. 新型无桥升压功率因数校正器的研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2009.
- [8] 羊绛军, 王立伟, 王书强, 等. 基于单周期控制策略的高效率无桥PFC电路 [J]. 电力电子技术, 2009 (3): 13-14, 29.

(收稿日期:2015-12-08) **EA**