

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2015.06.010

一种基于单级 PFC 双管正激变换器 偏磁控制技术的研究

周翔, 廖无限, 陈明

(湖南工业大学 电气信息工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 偏磁控制技术是单级 PFC 双管正激变换器领域的关键问题之一, 阐述偏磁产生的危害, 分析偏磁现象在单级 PFC 双管正激变换器上产生的原因, 提出一种合理和有效的偏磁控制电路方案, 详述其工作过程和原理, 制作一块单级 PFC 双管正激变换器测试板, 其间在主电路与偏磁控制电路设置了接通和断开的结点, 并进行了对照实验, 验证了其可行性和实效性。

关键词: 偏磁; 双管正激; PFC; 单级; 变压器

中图分类号: TM406

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2015)06-0049-04

Study on Magnetic-Bias Control Technology of Single Stage PFC Dual-Transistor Forward Converter

Zhou Xiang, Liao Wuxian, Chen Ming

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

Abstract: Magnetic-bias control technology is one of the key issues in the field of single-stage PFC dual-transistor forward converter. Expounds the damage induced by magnetic bias and analyzes the bias phenomenon causes in single-stage PFC dual-transistor forward converter. Puts forward a reasonable and effective bias control circuit scheme, explains its working process and principle, and produces a test board of the converter, in which sets the on and off nodes on the main circuit and bias control circuit. Makes contrast experiments and verifies the feasibility and effectiveness of the proposed converter.

Keywords: magnetic bias; dual-transistor forward excitation; PFC; single stage; transformer

0 引言

当前为提高供电效率和供电质量, PFC 技术 (power factor correction, PFC) 在开关电源领域中应用比较普遍。其中的单级 PFC 双管正激变换器以其拓扑结构相对简单、使用成本较低的优势, 在近些年来逐渐得到重视和应用。然而在单级 PFC 双管正激变换器发展过程中, 要解决的热点技术问题还比

较多, 其中隔离变压器偏磁的控制技术是相对困难的问题之一。隔离变压器的偏磁现象通常难以避免, 严重时会导致功率变压器铁芯饱和, 噪声上升, 加大变压器损耗, 降低功率开关管的利用效率。若变压器铁芯进入深度饱和, 使得其磁工作点进入非线性区, 变压器铁芯磁导率相对减小, 将导致励磁电流迅速增大^[1-3], 特别是单级 PFC 双管正激变换器本

收稿日期: 2015-10-10

基金项目: 湖南省教育厅基金资助项目 (13C023)

作者简介: 周翔, (1979-), 男, 江西南昌人, 湖南工业大学讲师, 硕士, 主要研究方向为电力电子技术及装置,

E-mail: 7374401@qq.com

身的开关管工作电压应力相对较大, 非常容易致使开关管因过流而损坏, 进而严重影响单级 PFC 双管正激变换器正常运行。本文提出和介绍一种新颖的偏磁控制技术, 藉以解决单级 PFC 双管正激变换器偏磁问题, 并获得了国家专利^[4-6]。

1 偏磁产生原因的分析

总体来说, 单级 PFC 双管正激变换器当中的变压器铁芯偏磁现象, 是由于一个脉冲宽度调制 (pulse width modulation, PWM) 周期内正、反 2 个方向的伏秒面积不等造成的。当偏磁严重时, 铁芯将进入单方向深度饱和, 造成单向磁化电流剧增, 如果控制不当, 通常在达到新的平衡状态前, 功率管就有可能已经损坏。图 1 为变压器在交变激励下等效图。

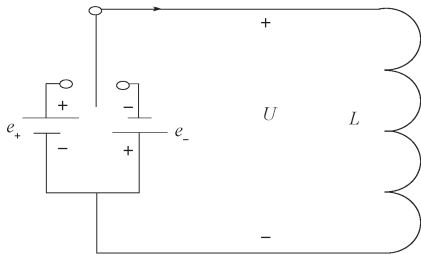


图 1 变压器在交变激励下等效图

Fig. 1 Transformer equivalent diagram under alternating excitation

如图 1 所示, 假设理想变压器的交变电压值为 U , 一次侧变化的磁链为 $d\psi$, 当理想变压器的一次侧受到交变电压 U 激励时, 则一次侧变化的磁链 $d\psi$ 所满足的方程为:

$$\frac{d\psi}{dt} = U. \quad (1)$$

为便于分析, 假设交变电压 U 是对称方波, 宽度均为 DT , 其中的 D 为占空比, T 为方波周期, 则当达到稳定状态时, 磁链和磁化电流都近似是锯齿波。正半周的磁链变化量 $|\Delta\psi_+|$ 和负半周的磁链变化量 $|\Delta\psi_-|$ 分别为:

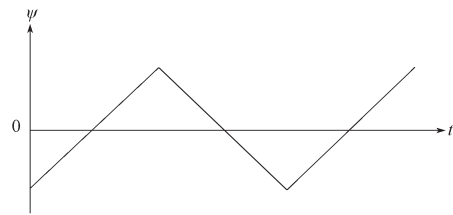
$$|\Delta\psi_+| = \left| \int_0^{DT} e_+ dt \right|, \quad (2)$$

$$|\Delta\psi_-| = \left| \int_0^{DT} -e_- dt \right|. \quad (3)$$

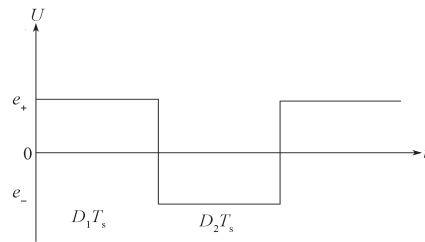
式中: e_+ 和 e_- 为交变电压为正负轴上的示值, 在正常工作情况下, $e_+ = e_-$, 若其正负轴的占空比为 D_1 和 D_2 , 当 $D_1 = D_2$ 时, 即 $|\Delta\psi_+| = |\Delta\psi_-|$ 时, 在磁化曲线上, 磁密的摆动关于零点对称。

图 2 为变压器正常工作时磁链与绕组电压关系图, 这也是变压器理想工作状态。如果正负激励电压 e_+ , e_- 不等或者激励的宽度不等, 就会造成正、反

2 方向伏秒面积不等, 即 $|\Delta\psi_+| \neq |\Delta\psi_-|$, 磁密的摆动就会产生偏移, 出现偏磁现象。



a) 磁链变化图

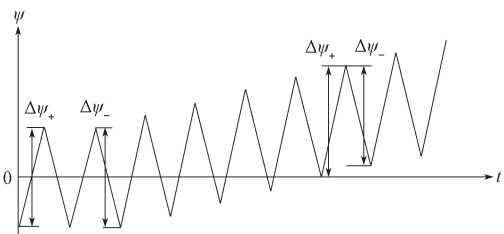


b) 绕组电压变化图

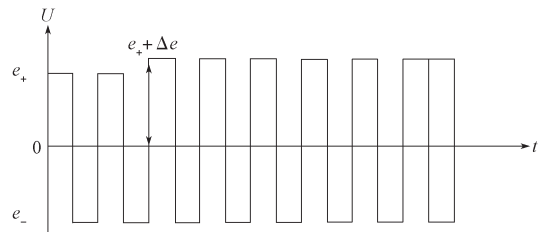
图 2 变压器正常工作时磁链与绕组电压关系图

Fig. 2 The relationship diagram of transformer magnetic chain and winding voltage in normal working

如图 3a 和图 3b 所示, 为理想变压器偏磁产生的示意图。从图中给出的情况实例可以看出, 当 $e_+ \leq e_-$ 时, 使 $|\Delta\psi_+| \leq |\Delta\psi_-|$, 从第 3 周期开始 e_+ 增加 Δe , 此时 ψ 会不断上升, 直至磁芯饱和, 进而发生偏磁现象。



a) 偏磁产生的磁链变化图



b) 偏磁产生的绕组电压变化图

图 3 理想变压器偏磁产生的示意图

Fig. 3 Schematics of magnetic bias of ideal transformer

2 偏磁控制电路的构成

图 4 为单级 PFC 双管正激变换器偏磁控制电路图。如图 4 所示, 单级 PFC 双管正激变换器偏磁控制电路由 2 部分构成, 即主要包括主电路和偏磁控制电路。主电路当中的 Q_1 和 Q_2 为主开关管, D_1 和 D_2 为

续流二极管, C_d 为储能电容, T 为正激式接法的变压器, D_3 和 D_4 分别为正激式接法的变压器二次侧整流二极管和续流二极管, L_0 为滤波电感, C_0 为滤波电容, R_L 为负载。而偏磁控制电路当中的 D_5, D_6, D_7 和 D_8 组成典型桥式整流电路, C_1 和 C_2 为滤波电容, 分别滤除高频和低频。从图中可以看出, 偏磁控制电路设置的输入端分别为 E 和 F , 而输出端分别为 G 和 H , 其中的 E 端和 F 端接法不用考虑极性, G 端和 H 端则分别接在主电路电源总线的高电位端和低电位端。

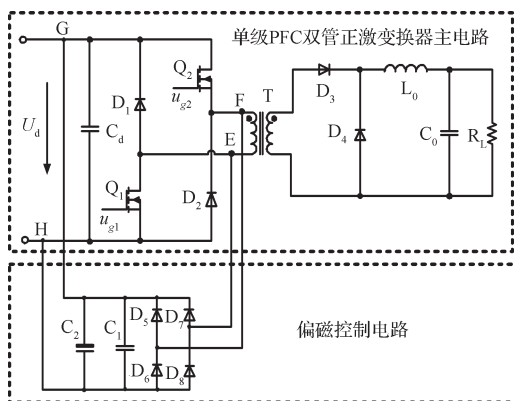


图4 单级 PFC 双管正激变换器偏磁控制电路图

Fig. 4 The control circuit diagram for single-stage PFC dual-transistor forward converter

3 工作原理

当单级 PFC 双管正激变换器工作时在变压器一次侧会产生偏磁, 其表现有可能是正方向或反方向的过电压, 这种过电压所产生的能量, 通过 E 端和 F 端进入 D_5, D_6, D_7 和 D_8 组成典型桥式整流电路, 再经由电容器 C_1 和电容器 C_2 并联组成的滤波电路, 最终输送回单级 PFC 双管正激变换器电源的输入部分, 即一方面将偏磁产生的尖峰干扰加以抑制, 有效实现隔离变压器铁芯正方向与反方向的双向抗偏磁, 另一方面将这种有害的能量进行规整后, 再回馈到电源输入端。

作为一种典型的具体实施例, 上述的全桥整流电路中的二极管建议采用快速二极管, 而非普通二极管, 这是由于单级 PFC 双管正激变换器开关频率都较高的缘故。

4 实验测试

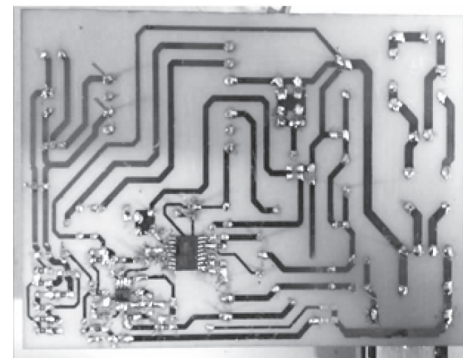
根据上述原理制作了一块单级 PFC 双管正激变换器测试板, 其间在主电路与偏磁控制电路设置了接通和断开的结点, 并进行了对照实验, 即不加偏磁控制电路和加偏磁控制电路的实验。该测试板输入

电压 400 V DC, 输出电压为 48 V DC, 功率为 100 W。

图 5 为一块单级 PFC 双管正激变换器测试板的 PCB 板正面和背面。



a) 正面



b) 背面

图5 单级 PFC 双管正激变换器测试板的 PCB 板背面

Fig. 5 PCB plate back of test board of single-stage PFC dual-transistor forward converter

如图 6 和图 7 所示, 采用在变压器二次侧整流二极管 D_3 测试其反向电压波形, 以及在其一次侧测试电流 i_p 波形进行同时对照实验, 分为未加偏磁控制电路的测试波形和加偏磁控制电路的测试波形 2 种。

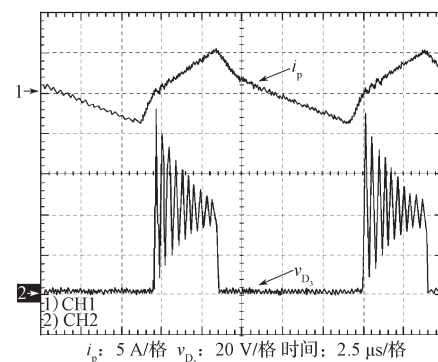


图6 未加偏磁控制电路的测试波形

Fig. 6 The test waveform of control circuit without bias

从图 6 中可以看出, 未加偏磁控制电路时, 二极管 D_3 反向电压振荡现象非常严重, 此振荡反射到原边, 影响到了原边电流, 使变压器一次侧电流 i_p 产生了相同频率的偏磁振荡现象, 其波动幅值可达 1 A

以上。

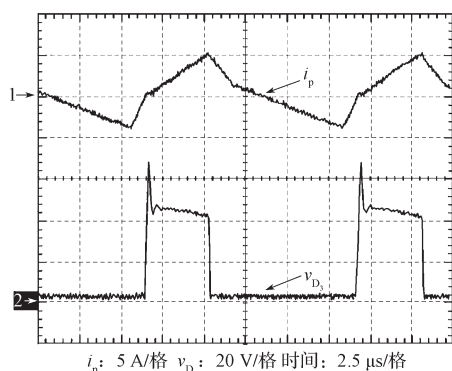


图7 加偏磁控制电路的测试波形

Fig. 7 The test waveform of control circuit with bias

从图7中又可以看出来,加了偏磁控制电路时,二极管 D_3 反向电压及变压器一次侧电流 i_p 的偏磁振荡现象得到很明显的改善。

5 结语

单级PFC双管正激变换器应用在电源领域当中,其输入侧和输出侧的电源能量在进行变换时,正因为采用了变压器实现信号隔离和能量传递,或多或少会产生偏磁现象。有偏磁的存在,特别是当工作的开关频率调制在听觉范围时,其变压器的机械噪声会增大。另外,无视偏磁的后果是十分严重的,轻则会使变压器和全控型变换器模块的功耗增加,温升加剧,严重时还会损坏功率器件,使得变换器不能正常工作。采用本文提供的一种应用于单级PFC双管正激变换器的偏磁抑制电路,不仅设计简单、结构合理、构建方便、通用性好,能有效实现隔离变压器铁芯正方向与反方向的双向抗偏磁,还能实现偏磁能量的回馈。

参考文献:

- [1] 尹凤杰,林守权.全桥逆变弧焊电源中高频变压器偏磁的抑制方法[J].沈阳建筑工程学院学报,1998,14(1):42-46.
Yin Fengjie, Lin Shouquan. New Method Solving Magnetic Bias of High Frequency Transformer in Full Bridge Reversible Arc Welding Power Source[J]. Journal of Shenyang Architectural and Civil Engineering Institute, 1998, 14(1): 42-46.
- [2] 许峰,王健强,徐殿国,等.全桥软开关PWM变换器中变压器偏磁机理及抑制方法的研究[J].电子器件,2002,25(2):121-126.
Xu Feng, Wang Jianqiang, Xu Dianguo, et al. Study of Transformer Magnetic Bias and Eliminating Method in Full-Bridge Soft Switching PWM Converter[J]. Journal of Electron Devices, 2002, 25(2): 121-126.
- [3] 刘先锋,王连群,赵培均,等.开关电源电磁干扰抑制方法探讨[J].通信电源技术,2011,28(3):53-55.
Liu Xianfeng, Wang Lianqun, Zhao Peijun, et al. Discussion of the Suppression Measures of EMI in Switching Mode Power Supply[J]. Telecom Power Technologies, 2011, 28(3): 53-55.
- [4] 廖无限,肖强晖,刘明超,等.用于全控型变换器的二极管型偏磁抑制与能量回馈器:中国,CN201420498776[P]. [2015-01-07].
Liao Wuxian, Xiao Qianghui, Liu Mingchao, et al. Diode Type Bias Inhibition and Energy Feedback Device for Full Control Converter: China, CN201420498776 [P]. [2015-01-07].
- [5] 廖无限,肖强晖,刘明超,等.用于全控型变换器的单相全桥型偏磁抑制与能量回馈器:中国,CN201420498520[P]. [2015-01-07].
Liao Wuxian, Xiao Qianghui, Liu Mingchao, et al. Single-Phase Full Bridge Bias Inhibition and Energy Feedback Device for Full Control Converter: China, CN201420498520[P]. [2015-01-07].
- [6] 廖无限,肖强晖,刘明超,等.用于全控型变换器的晶闸管型偏磁抑制与能量回馈器:中国,CN201420498395[P]. [2015-01-21].
Liao Wuxian, Xiao Qianghui, Liu Mingchao, et al. Thyristor Type Bias Inhibition and Energy Feedback Device for Full Controlled Converter: China, CN201420498395 [P]. [2015-01-21].
- [7] 吕健.不对称半桥变换器偏磁问题的研究[D].秦皇岛:燕山大学,2012.
Lü Jian. Research on Transformer Magnetic Bias of Asymmetrical Half Bridge[D]. Qinghuangdao: Yanshan University, 2012.
- [8] 刘伟晗.600W 28VDC/360VDC推挽正激变换器的研制及偏磁研究[D].南京:南京航空航天大学,2006.
Liu Weihang. Development of 600W 28VDC/360VDC Push-Pull Forward Converter and Research on Bias-Magnetic[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2006.
- [9] 文立群,肖强晖.基于UC3846的有源钳位单级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.
- [10] 陈明,肖强晖.UC3842双管正激式单级PFC变换器研究[J].湖南工业大学学报,2014,28(2):46-51.
Chen Ming, Xiao Qianghui. Design of Dual-Transistor Forward Single Stage PFC Converter Based on UC3842[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2014, 28(2): 46-51.