

适用于副边控制隔离 DC/DC 变换器的 电压前馈电路

唐 钊¹, 吴国忠^{1*}, 徐华清², 马 皓¹

(1. 浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027; 2. 伊博电源(杭州)有限公司, 浙江 杭州 310053)

摘要: 为了实现副边控制隔离 DC/DC 变换器的输入电压前馈, 讨论了解决问题的难点, 提出了两个分别基于辅助源变压器和主功率变压器的具体实现输入电压前馈的电路, 分析了每个电路的工作原理, 并指出了各自的优缺点, 然后给出了相应的实验波形, 最后在基于副边控制的低压大电流隔离 DC/DC 变换器样机上作了验证。实验结果表明, 所给电路相对简单、可靠, 都能很好地实现输入电压前馈功能, 对动态响应性能有明显的改善。

关键词: 隔离 DC/DC 变换器; 副边控制; 输入电压前馈

中图分类号: TM46

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2010)11-0091-04

Voltage feed-forward circuits adapted to secondary-side control based isolated DC/DC converter

TANG Zhao¹, WU Guo-zhong¹, XU Hua-qing², MA Hao¹

(1. College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

2. Bel Power(Hangzhou) Co., Ltd., Hangzhou 310053, China)

Abstract: In order to realize the input voltage feed-forward of the secondary-side control based on isolated DC/DC converter, the difficult points of solutions were discussed, and two specific circuits which can realize the input voltage feed-forward based on bias-power supply transformer and main power transformer respectively were shown. The operation principle of each circuit was analyzed and their merits and drawbacks were pointed out. Then the experimental waveforms were shown, and isolated DC/DC prototypes based on secondary-side control with low output voltage and high output current were made to verify the analysis. The experimental results indicate that the shown circuits are simple, reliable, and able to realize the input voltage feed-forward function very well, and improve the dynamic response obviously.

Key words: isolated DC/DC converter; secondary-side control; input voltage feed-forward

0 引 言

根据 PWM 控制器所处的位置, 隔离 DC/DC 变换器可以分为原边控制与副边控制两大类^[1-2]。PWM 控制器位于变换器的原边, 与原边电路共地就是原边控制。相应地, 副边控制就是 PWM 控制器位于变换器的副边, 与副边电路共地。与原边控制相比, 副边控制隔离 DC/DC 变换器, 有更快速的动态响应, 更高的可靠性, 且易于优化各项与输出相关的性能^[3]。由于在辅助

电源、电流电压检测等多方面存在着诸多限制, 同时又缺乏合适的控制器支持, 因而副边控制技术发展缓慢。

输入电压前馈(简称前馈)能消除或减小输入电压变化对闭环增益的影响, 改善输出电压对输入电压变化的响应, 并进一步优化动态响应性能^[4-6]。原边控制时, 由于输入电压易于检测, 前馈功能易于实现^[7-10]。但在副边控制变换器中, 位于隔离功率变压器副边的控制电路很难检测输入电压, 前馈功能难以实现, 在此, 本研究对适用于副边控制隔离 DC/DC 的

收稿日期: 2010-04-22

作者简介: 唐 钊(1976-), 男, 四川武胜人, 硕士研究生, 主要从事 DC-DC 模块电源方面的研究. E-mail: ztang@hz.belfuse.com

通信联系人: 吴国忠, 男, 教授. E-mail: wwgz@zju.edu.cn

前馈电路进行了探讨。

1 副边控制隔离 DC/DC 的前馈电路

实现副边控制隔离 DC/DC 前馈的关键是如何有效地在副边检测输入电压,下面给出了两种方案。

1.1 前馈电路(1)—通过辅助电源变压器

在由独立辅助电源供电的副边控制隔离 DC/DC 变换器中,其辅助电源通常是由多路输出微功率反激变换器来实现的,如图 1 所示:一路给原边供电;另一路与原边隔离,给副边供电。这类微功率反激变换器通常工作在断续电流模式,为此,在辅助源变压器上再增加一个前馈绕组 N_{s2} ,如图 2 所示。忽略二极管 D_3 的压降,可以在副边得到另一个输出电压 V_{in}/k , ($k = N_{p1}/N_{s2}$),利用该电压直接对谐波电容充电或者控制对谐波电容充电的电流大小,得到锯齿波 *Ramp*。如果输入电压 V_{in} 变高,锯齿波 *Ramp* 的斜率就变大;相应的, V_{in} 变低, *Ramp* 斜率就变小,从而实现前馈。

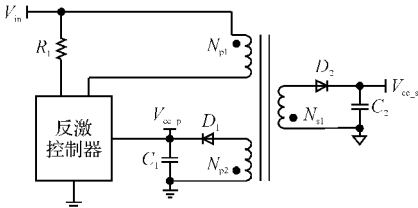


图 1 实用的独立偏置电源电路

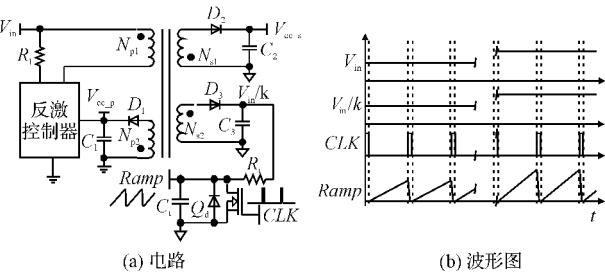


图 2 适用于副边控制的前馈电路与波形图(1)

上述方案的优点是功能简单明了,输入电压检测灵活、准确, $K \times V_{in}$ 的大小可以通过调整 N_{s2} 的匝数来

调整,相对增加 N_{s2} 的匝数,可以增大 $K \times V_{in}$,减少二级管 D_3 的压降影响。但是由于增加一个绕组,会加大辅助源变压器的绕制难度。

1.2 前馈电路(2)—通过主功率变压器

如图 3 所示,通过变换器的主功率变压器来获取 V_{in} 的信息,并实现前馈的电路与关键节点波形图。节点 Phase 为全波整流功率变压器副边的中心抽头,该点电压波形为方波,高电平为 V_{in}/n , ($n = N_p/N_{s1}$, $N_{s1} = N_{s2}$),表征了变换器输入电压 V_{in} 的大小。由于变压器漏感与副边同步整流管反向恢复的影响,Phase 的高电平前段有高频噪声,可通过合理设置 R_f 和 C_f 参数,予以滤除,在电容 C_f 上可得到正比于变换器输入电压 V_{in} 的电压 V_{cf} ,再利用该电压直接对斜波电容充电或者控制对斜波电容充电的电流大小,如同方案 1 实现前馈。

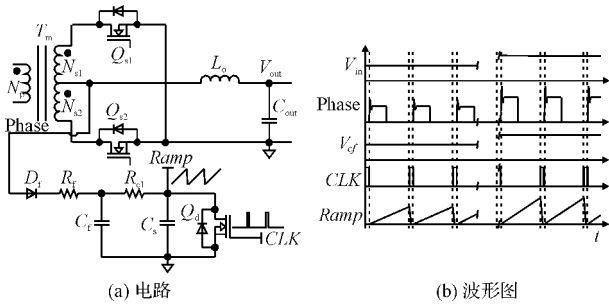


图 3 适用于副边控制的前馈电路与波形图(2)

与前述方法相比,本电路省去了额外的变压器绕组,因而更加简单。但由于 Phase 电压是由主功率变压器原、副边的匝比确定的,因而不能轻易调整,二极管 D_f 的压降影响较大,另外,尽管有滤波,但输出电流的大小对 V_{cf} 也有一定的影响。

2 实验结果

本研究对上述两个前馈电路进行了实验,图 2、图 3 的试验波形如图 4、图 5 所示(CH1,锯齿波;CH2 输入电压),可以看到,锯齿波的斜率都能较好地随输入电压的变化而变化。

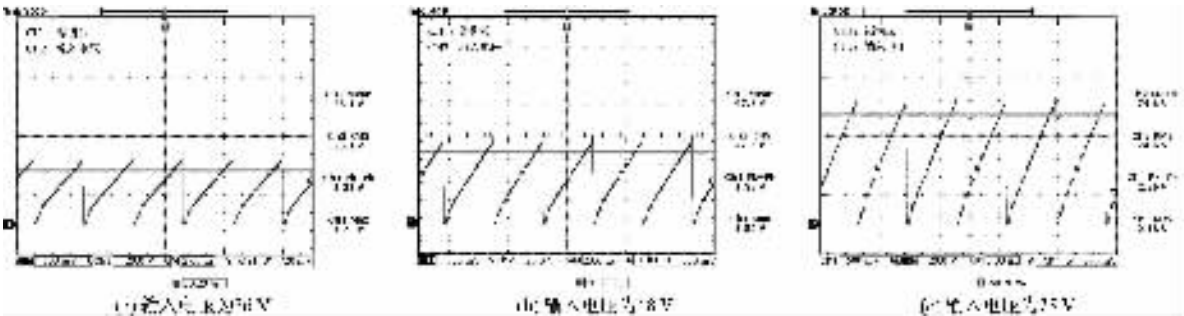


图 4 输入电压与锯齿波波形图

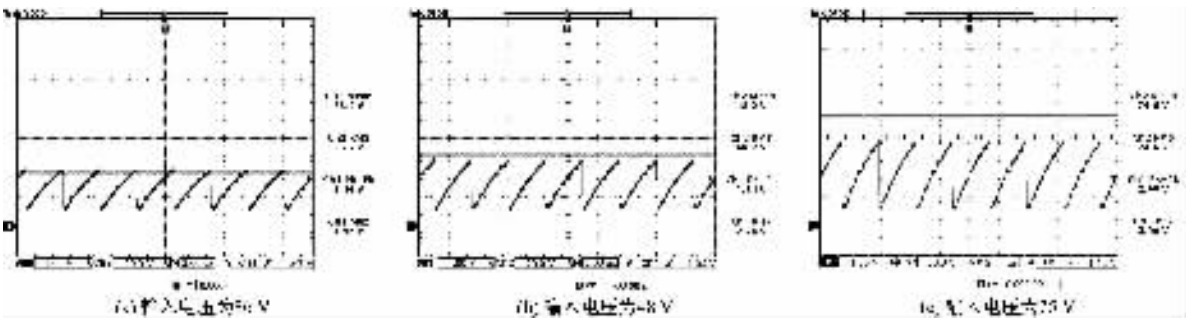


图 5 输入电压与锯齿波波形图

前馈电路(1)与前馈电路(2)分别被应用于两款基于副边控制的低压大电流隔离 DC/DC 样机上,前者规格为 36 V~75 V 输入、1.2 V/50 A 输出、1/8 砖工业标准封装,后者规格为 36 V~75 V 输入、1.8 V/30 A 输出、1/16 砖工业标准封装。样机的动态波形分

别如图 6、图 7 所示(CH1,输出电压;CH2 输出电流)。从图 6、图 7 可以看到:对于每个模块,最大输出过冲电压约为 50 mV,恢复时间约为 20 μ s;并且在不同输入电压条件下,动态响应较为一致,说明电压前馈很好地改善了变换器的动态响应性能。

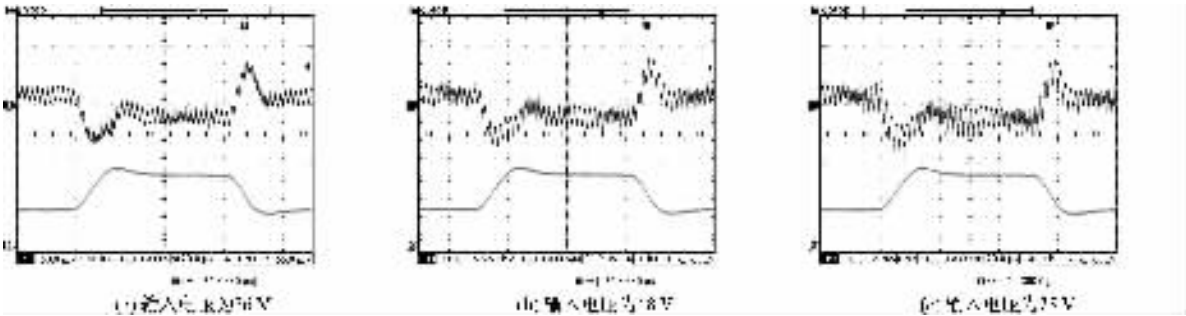


图 6 采用前馈电路(1)的样机输出动态波形图(12.5 A→25 A→12.5 A,斜率 1 A/ μ s)

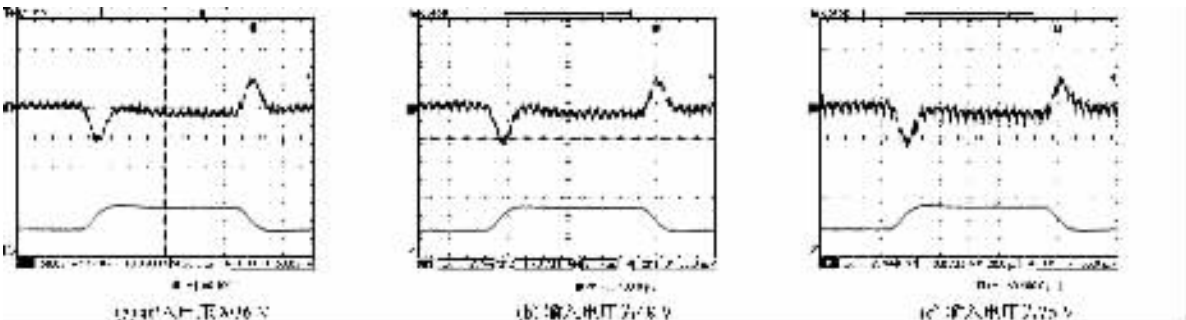


图 7 采用前馈电路(2)的样机输出动态波形图输出(7.5 A→15 A→7.5 A,斜率 1 A/ μ s)

3 结束语

与成熟的原边控制技术相比,副边控制技术,特别是在 DC/DC 模块电源上实现副边控制的技术还有待于发展。本研究对适用于副边控制隔离 DC/DC 的前馈电路进行了探讨,提出了两个适用于基于副边控制隔离 DC/DC 变换器的前馈电路,并进行了实验验证。实验结果表明,这两个电路都能很好地实现电压前馈功能,有助于副边控制隔离 DC/DC 变换器动态性能的改善。尤其是在对 DC/DC 模块电源功率密度要求较高的通讯电源领域中,本研究所提出的电压前馈电路

具有结构简单、功能可靠的优点,并具有很好的应用价值,对副边控制技术的发展也有一定的推动作用。

参考文献 (References):

[1] MAMMANO B. Isolated power conversion: making the case for secondary-side control[J]. EDN,2003(7):123-130.
[2] MADIGAN M, DENNIS M. 50 W Forward Converter with Synchronous Rectification and Secondary Side Control[M]. Texas Instruments,1999.
[3] HUA Lei, LUO Shi-guo. Design Comparisons between Primary-Side Control and Secondary-Side Control Using Peak Current Mode Controlled Active Clamp Forward Topology

- [C]//IEEE APEC 2003, Miami; [s. n.], 2003: 886 – 892.
- [4] REDL R, SOKAL N O. Near-optimum dynamic regulation of DC-DC converters using feed-forward of output current and input voltage with current-mode control[J]. **IEEE Trans. on Power Electronics**, 1986, 1(3): 181 – 192.
- [5] CALDERONE L, PINOLA L, VAROLI V. Optimal feed-forward compensation for PWM DC/DC converters with ‘linear’ and ‘quadratic’ conversion ratio[J]. **IEEE Trans. on Power Electronics**, 1992, 7(2): 349 – 355.
- [6] KAZIMIERCZUK M K, STARMAN L A. Dynamic performance of PWM DC-DC boost converter with input voltage feed-forward control[J]. **IEEE Transactions on Circuits and Systems**, 1999, 46(12): 1473 – 1481.
- [7] ARBETTER B, MAKSIMOVIC D. Feedforward pulse width modulators for switching power converters [J]. **IEEE Trans. on Power Electronics**, 1997, 12(2): 361 – 368.
- [8] YANG Huan-jen, CHEN Ke-horng, LEE Yung-pin. Feed-Forward Pulse Width Modulation for High Line Regulation Buck or Boost Converters[C]//ISCAS 2007, New Orleans, LA: [s. n.], 2007: 785 – 788.
- [9] LEE Young-joo, KHALIGH A, EMADI A. A Compensation Technique for Smooth Transitions in Non-inverting Buck-Boost Converter[C]//IEEE APEC 2009, Washington, DC: [s. n.], 2009: 608 – 614.
- [10] TAN S C, LAI Y M, TSE C K, et al. Adaptive feedforward and feedback control schemes for sliding mode controlled power converters[J]. **IEEE Transactions on Power Electronics**, 2006, 21(1): 182 – 192.

[编辑: 柴福莉]

(上接第 81 页)

无线传输模块制造商也提供了不同接口的模块,如基于以太网接口的无线网络网关模块较之串口接口的模块能大大提高数据吞吐量,降低因短时间内大量数据的传入造成的冲突和数据溢出的可能性。

4 结束语

总体而言 ZigBee 可以胜任持续高波特率的无线传输工作。但在实际应用中,传输可能会更加繁重,出现误码的情况也会比实验结果更多。合理的通讯协议以及校验机制对大数据量传输至关重要,能够在提升系统效率的同时将误码带来的影响降到最低,但这只是弥补措施。所以对 ZigBee 持续高波特率传输以及如何更好地降低误码率的进一步研究非常有必要,有利于提高传输的效率和可靠性,拓宽 ZigBee 技术的应用范围。

参考文献 (References):

- [1] ZigBee Alliance. ZigBee Specification Version 1.0 [M]. ZigBee Standards Organization, 2004.
- [2] FUKUI K, PUKUNAGA S, TANIMOTO K. ZigBee technology for low-cost and low-power radio communication systems [J]. **Journal Institute of Electronics Information and Communication Engineers**, 2005, 88(1): 40 – 45.
- [3] 王静霞. 一种与 ZigBee/802.15.4 协议兼容的 RF 模块 XBee/XBeePro 及其应用[J]. 电子工程师, 2007, 3(3): 24 – 26.
- [4] 尹航, 张奇松, 程志林. 基于 ZigBee 无线网络的温湿度监测系统[J]. 机电工程, 2008, 11(11): 20 – 23.
- [5] 侯俊, 吴成东, 袁中甲, 等. 基于 ZigBee 的智能家居安全监控系统研究[J]. 机电工程, 2009, 1(1): 67 – 70.
- [6] 范国伟, 杨刚. 基于 ZigBee 技术的 XBee Pro 模块在智能公交系统中的应用[J]. 电子元器件应用, 2009, 5(5): 18 – 20.
- [7] MaxStream Inc.. XBee/XBee-PRO OEM RF Modules Product Manual v1. xAx-802.15.4 Protocol [M]. MaxStream, Inc., 2007.
- [8] 刘骊, 江虹, 吕杨. 基于 ZigBee 技术的嵌入式无线网络平台的研究[J]. 昆明理工大学学报, 2007, 1(2): 40 – 44.
- [9] ATMEL Inc.. AT91SAM9261 Preliminary, 6062F-ATARM-05-Dec [M]. ATMEL Inc., 2006.
- [10] 王新辉, 王志和, 王东光, 等. 无线传感器网络系统中循环冗余校验码算法分析和实现[J]. 科学技术与工程, 2008, 24(12): 6486 – 6489.
- [11] 龙伟, 周瑞研. 无线通信系统误码率分析[J]. 大气与环境光学学报, 2007, 5(9): 396 – 400.

[编辑: 李辉]