

# 电流型控制半桥逆变器研究 ( ) ——直流电容电压偏差前馈控制技术

陈东华 谢少军

(南京航空航天大学自动化学院 南京 210016)

**摘要** 电流型控制半桥逆变器直流分压电容存在偏差,实际电路容易失控,限制了其实用性。针对电压电流双闭环瞬时值控制半桥逆变器提出了电容电压偏差前馈控制方案,仿真和实验结果验证了采用该技术后,分压电容的直流偏差被消除,半桥逆变电路在各种情况下都可以正常工作。本文的方法为电流型控制半桥逆变电路的实用创造了条件。

**关键词:** 逆变器 半桥电路 电流型控制 不均压 前馈控制

中图分类号: TM464

## Research on Current-Mode Control Half-Bridge Inverter ( ) ——Feed-Forward Control Strategy of Midpoint Voltage Error on Input Capacitors

Chen Donghua Xie Shaojun

(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics Nanjing 210016 China)

**Abstract** Voltage un-balance issue of input capacitors in the current-mode control half-bridge inverter will easily lead to circuit uncontrollable, so the half-bridge inverter with current-mode control is unpractical. The feed-forward control of midpoint-voltage error on input capacitors is proposed and verified by the simulation and experimental results based on the voltage and current double close-loop instantaneous control half-bridge inverter. Adopting the proposed control strategy, the dc midpoint-voltage error is eliminated and the circuit is working in order. The scheme presented in this paper Provides the application of current-mode control half-bridge inverter.

**Keywords:** Inverters, half-bridge, current-mode control, voltage un-balance, feed-forward control

### 1 引言

电流型控制半桥逆变器直流分压电容存在偏差,这种偏差会使电压中点漂移,导致输出电压和电流波形的畸变,使电路性能恶化,甚至使系统失控<sup>[1]</sup>,因而电流型控制半桥逆变电路一直未得到实际应用。文献[2]和[3]分别通过在功率电路中增加元器件基本解决了电流型控制半桥 DC/DC 变换器和 AC/DC 变换器中的直流分压电容电压偏差问题。如图 1 所示,在半桥 DC/DC 变换器中加入一个辅助变压器和两个高压二极管,利用变压器的二次侧和两

个高压二极管实现对分压电容中点电压的调节,从而达到均压目的。图 2 是在电流型控制半桥 AC/DC 变换器加入第三个功率开关和一组功率二极管,通过控制开关  $VT_3$  而控制流入电容中点的电流  $i_o$ ,从而维持两个电容电压平衡。对于电流型控制半桥逆变器虽然可以通过增大直流分压电容的电容值来减小电压偏差,或者加入功率分压电阻强制形成中点。但是这些方法都是通过在半桥变换器的基础上加入功率元器件,以达到电容电压均压的目的。这些方法增加了变换器的体积重量,成本高,而且没有体现半桥变换器结构简单,采用元器件少的特点,增加了系统的损耗,降低了效率,而且并不能从根本上保证分压电容电压均衡,实用效果不理想。本文

针对电压电流双闭环瞬值控制半桥逆变器提出了电容电压偏差前馈控制方案。

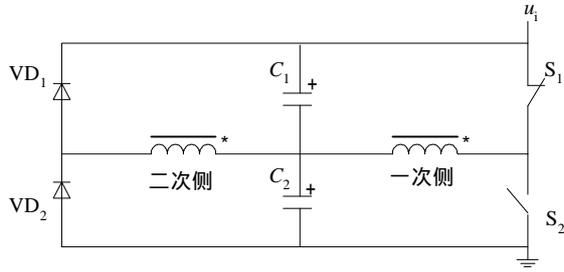


图1 DC/DC变换器电路拓扑<sup>[2]</sup>

Fig.1 DC/DC converter topology proposed<sup>[2]</sup>

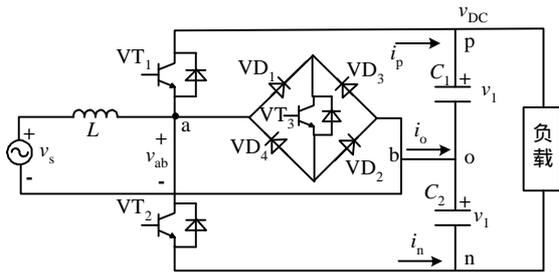


图2 半桥AC/DC变换器电路拓扑<sup>[3]</sup>

Fig.2 DC/AC converter topology proposed<sup>[3]</sup>

## 2 电容中点偏差电压前馈控制原理

通过分析可以知道电容中点电压偏差 $\Delta u$  (其中 $\Delta u = \bar{u}_{C1} - \frac{U_d}{2}$ ) 是由于电容电流 $i_{C1}$ 和 $i_{C2}$ 的周期性变化引起的，而 $i_{C1}$ 和 $i_{C2}$ 可以由 $i_L$ 表示，所以可以在控制电路的电流给定信号中加入反映电容中点电压偏差量的信号，以此来调节电感电流，使其中产生一部分电流用于平衡电容中点电压。图3为电流型控制半桥逆变器控制电路框图，虚线框中是加入的电容中点电压偏差前馈电路。

电容电压偏差前馈的工作原理为：电压反馈与

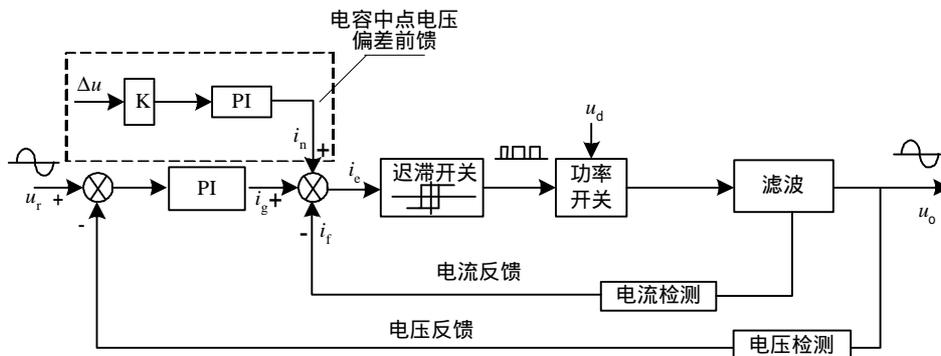


图3 电流型控制半桥逆变器控制电路框图

Fig.3 Block diagram of the proposed control strategy of current-mode control half-bridge inverter

电压基准比较后经过电压调节器得到信号 $i_g$ ，电容中点电压的偏差经过PI调节后的信号 $i_n$ 与 $i_g$ 的和作为电感电流的给定信号，与电感电流的反馈比较后得到的误差信号 $i_e$ 经过迟滞开关产生PWM波，控制功率器件的开关。

加入电容中点电压偏差前馈控制后，半桥逆变器中由于电容电压的安秒值不平衡而引起的分压电容中点电压的偏移量通过比例积分后作为电感电流的一部分给定，使电感电流值产生了一部分直流分量，从而使分压电容电压的安秒值得到平衡，电容中点电压直流偏差被彻底消除。

## 3 电路实现

图4是电流型控制半桥逆变器采用电容偏差电压前馈控制电路原理图。从电路图可以看出，在控制电路中加入一个差动放大器，通过PI调节器对电容中点电压进行调节，该PI调节器的输出和输出电压调节器的输出一起构成电流的给定信号。

本方法不需要改变功率电路，仅在控制回路中增加一个小电路，简便易行，而且由于对电容电压偏差进行了闭环控制，可以实现很好的均压效果。

## 4 仿真分析

图5、图6、图7、图8分别为额定功率为6kVA电流型控制逆变器在空载，额定负载 ( $\cos j = 1$ ,  $\cos j = 0.75$ )，过载150%，9kVA ( $\cos j = 0.75$ )以及纯感性负载1kVA ( $\cos j = 0$ )时仿真得到的分压电容电压和输出电压电流波形。仿真逆变器的参数为：输入电压：360VDC，输出电压：115V/400Hz，额定功率：6kVA， $C_1=C_2=1000\mu F$ ，滤波电感： $L=0.12mH$ ，滤波电容： $C=30\mu F$ 。仿真结果显示，在采用电容中点电压偏差前馈后，分压电容的直流偏差值为0，逆变器在各种情况下均能正常工作。

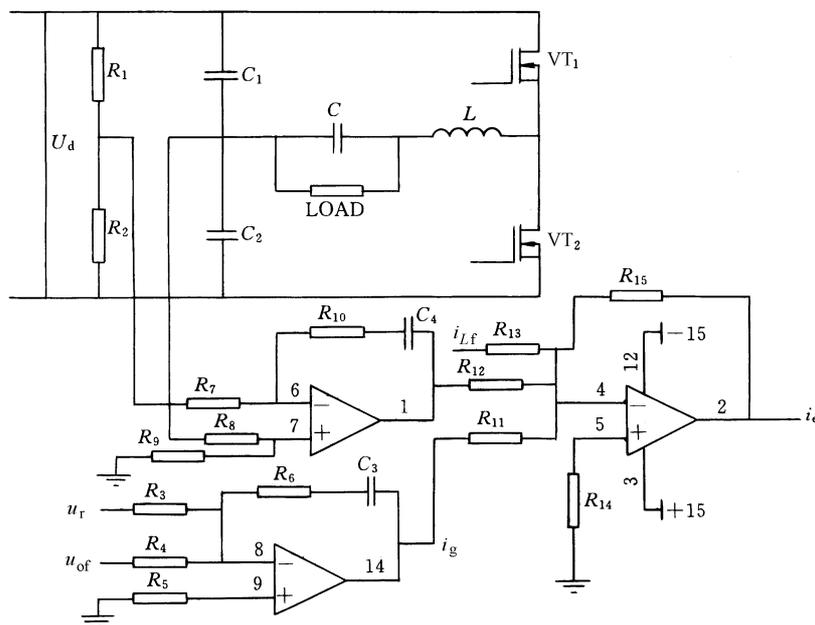
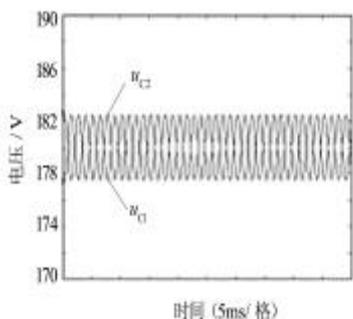
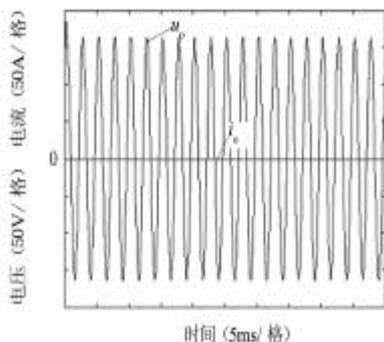


图 4 电容偏差电压前馈控制电路原理图

Fig.4 Feed-forward control circuit of voltage error on DC-link capacitors



(a) 分压电容电压仿真波形



(b) 输出电压电流仿真波形

图 5 空载时逆变器分压电容电压和输出电压电流仿真波形

Fig.5 Simulation waveforms of the voltage on DC-link capacitor and output voltage and current under no load condition

### 5 实验结果

图 9 是在 360V 直流输入 输出为 115V/400Hz, 采用电容中点电压偏差前馈控制分压电容分别为 940μF 和 470μF 时空载条件下电流型控制半桥逆变器分压电容电压和输出电压波形。

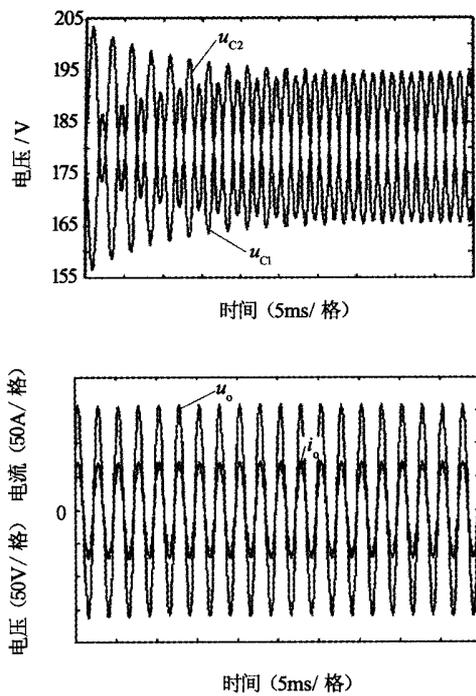
实验结果验证了采用电容电压偏差前馈控制技术后,分压电容电压偏差被有效消除。由于直流分压电容电压没有偏差,可以在保证输出波形质量的条件下减小直流分压电容量。

### 6 结论

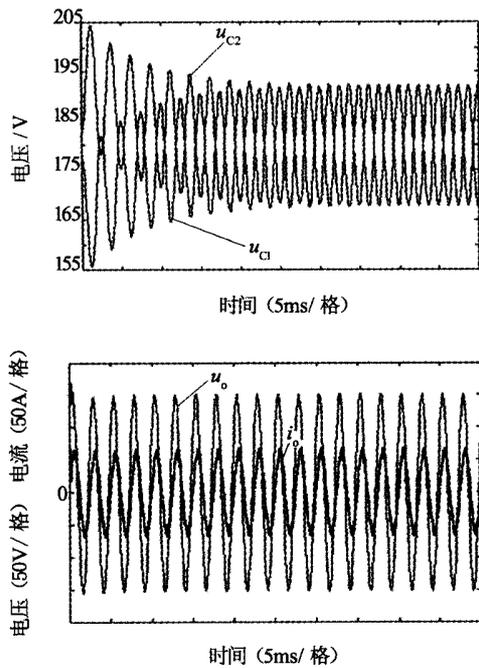
(1) 本文提出电容中点电压偏差前馈方案来控制电感电流,使其产生一定直流分量,从而使分压电容两端的平均电压相等,仿真和实验证明了该方案的有效性,该方案不需变化功率电路,简便易行。

(2) 采用电容中点电压偏差前馈技术后,在交流脉动电压不影响输出波形的前提下,可以采用较小的直流分压电容,有利于减小变换器的体积和成本。

(3) 电容中点电压偏差前馈方案解决了半桥电流型控制逆变器直流分压电容不均压的问题,为半桥电流型控制逆变器的实际应用奠定了基础,具有重要的理论和实用价值。



(a)  $\cos\varphi=1$



(b)  $\cos\varphi=0.75$

图6 额定功率时逆变器分压电容电压和输出电压电流仿真波形

Fig.6 Simulation waveforms of the voltage on DC-link capacitor and output voltage and current under rated load condition

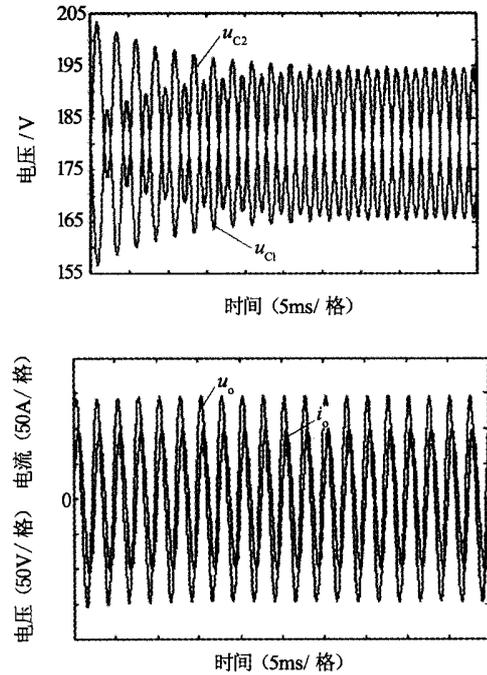


图7 过载150% ( $\cos\varphi=0.75$ ) 条件下分压电容电压和输出电压电流波形

Fig.7 Simulation waveforms of the voltage on DC-link capacitor and output voltage and current under 150% rated load

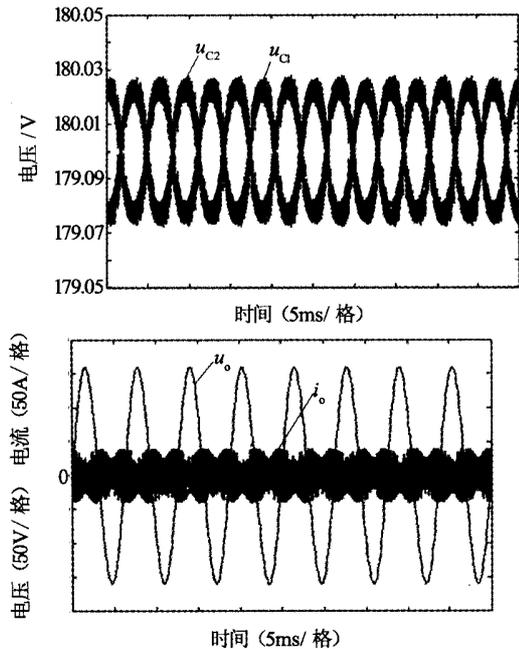


图8 纯感性负载(1kVA)条件下分压电容电压和输出电压电流波形

Fig.8 Simulation waveforms of the voltage on DC-link capacitor and output voltage and current under pure inductive load

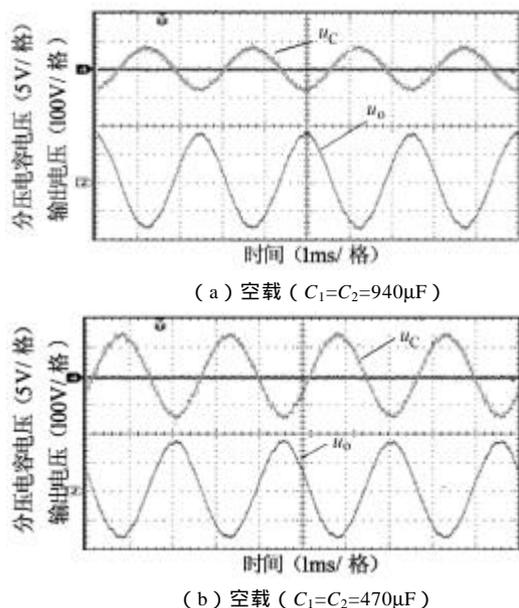


图 9 采用电容中点电压偏差前馈后分压电容电压和输出电压波形

Fig.9 Experimental results of the voltage on DC-link capacitor and output voltage with the proposed feed-forward control

## 参考文献

- 1 陈东华, 谢少军. 电流型控制半桥逆变器研究 ( ) ——直流分压电容不均压问题. 电工技术学报, 2004, 19 ( 4 ) : 85 ~ 88
- 2 Roger Adair. Design Review:300W, 300kHz Current-mode Half-bridge Converter with Current Multiple Outputs Using Coupled Inductors. <http://focus.ti.com/lit/misc/slup083/slup083.pdf>
- 3 Lin B R ,Hung T L. Single-phase half-bridge converter topology for power quality compensation. IEE Proceedings Electric Power Applications, 2002,149 ( 5 ) : 351 ~ 359

## 作者简介

陈东华 男, 1979 年生, 博士研究生, 主要从事功率变换研究。

谢少军 男, 1968 年生, 副教授, 主要从事功率变换和航空电源研究。

# 2004 全国荷电粒子源、粒子束学术会议联合征文通知

《2004 全国荷电粒子源、粒子束学术会议》由中国电工技术学会电子束离子束专业委员会、粒子加速器学会离子源专业组、中国电子学会焊接专业委员会和北京电机工程学会加速器专业委员会联合主办, 北京机械工业自动化研究所承办, 兰州近代物理研究所和北京电子电器协会协办。现将有关征文事项通知如下。

## 一、征文内容

1. 电子枪、离子源、电子束设备、离子束设备及低能加速器的理论、技术和装置的研究成果。
2. 荷电粒子束的相关技术的研究成果 ( 包括各种气相沉积技术、高能束材料表面改性、等离子体喷涂及激光焊接、切割等 )。
3. 上述各类设备的关键部件 ( 包括靶室、镀膜蒸发源、检测、控制、电源和真空技术等 ) 的新成就。
4. 上述各种技术在各领域的应用研究成果 ( 包括在材料表面改性、焊接、熔炼、辐照、镀膜、无损探伤、农业育种、医药、生物、半导体器件、集成电路以及其他方面的应用 )。

## 二、论文要求

1. 会议文集将直接采用您寄来的版面, 统一制版胶印, 装订成册。请作者将稿件仔细校对, 文责自负。
2. 论文版面格式同一般的学术论文, 主标题为 3 号黑体字, 二级标题 4 号黑体字, 正文 5 号宋体。采用标准的 B5 复印纸。篇幅不得超过 5 页。
3. 本次学术会议将评选优秀论文, 并将优秀论文推荐给《核技术》杂志, 出一辑“粒子源粒子束论文专辑”。
4. 论文的“电子版”请于 7 月 31 日以前作为电子邮件的附件寄至 dianwuli-04@163.com 或者将论文的打印稿(附图排入贴好)于 7 月 25 日以前寄出(以邮戳日期为准)。寄至北京市德外教场口街 1 号 北京机械工业自动化研究所 电物理中心 刘艳收。邮编: 100011