

电流模式控制零电压软开关弧焊逆变器

薛家祥¹, 余文松¹, 罗卫红²

(1. 华南理工大学 机械工程学院, 广州 510640; 2. 广州同诚焊接设备技术有限公司, 广州 510730)

摘 要: 采用具有电流模式的 UC3879 移相控制芯片, 研究了一种新型全桥软开关电路的拓扑结构。研究了电流模式移相控制下的驱动电路、过流检测电路和主电路变压器输出波形特点。结合大功率弧焊逆变器的设计, 分析了领先桥臂和滞后桥臂实现零电压软开关的条件。试验表明, 无论占空比为何值, 当功率变压器初级电压为零时, 初级电流基本维持最大值不变; 领先桥臂中点电压变换期间, 变压器初级电流基本保持最大值, 使得领先桥臂容易实现软开关; 由于激磁电感参与了滞后桥臂换流, 滞后桥臂中两只 IGBT 也实现了零电压软开关。

关键词: 电流模式; 零电压软开关; 弧焊逆变器

中图分类号: TG434.4 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2002)04-35-03



薛家祥

0 序 言

近 10 多年来, 脉宽调制软开关电路拓扑的问世, 推动了大功率逆变技术的研究与应用水平又上一个新的台阶。该电路巧妙地将脉宽调制硬开关电路和频率调制谐振电路的优点综合在一起, 同时又克服了两者的缺点。近 10 年来, 脉宽调制软开关在大功率逆变器的研制中逐渐占据愈来愈重要的地位^[1,2]。脉宽调制软开关电路的基本特征是, 仅在短暂的功率器件换流期间, 应用谐振原理, 实现零电压或零电流自然导通和自然关断, 而在其它大部分时间采用恒频脉宽调制方式, 完成对电源输出电压或电流的控制。

电流模式软开关控制技术是电力电子学领域中又一个重要的进步。这种控制方法同时解决了逆变电源的众多难题, 优点十分突出^[3], 能够对网压的变化立即进行补偿, 对负载变化的干扰也能进行快速反应; 具有内在的瞬时限流调整能力, 可以最迅速地对比较脆弱的电力电子器件进行过流保护; 自动保持高频功率变压器动态磁平衡; 在多电源模块并联时, 可提供自动均流功能。

采用 UC3879 作为弧焊逆变器电流模式移相控制芯片, 它具有的特点是, 新的振荡器电路结构提高了振荡器的线性度、稳定性和对控制模式的适应性; 恒定的逐脉冲限流功能; 欠压锁定的电压可以方便地选择为两种不同值, 简化了第一代移相控制器设

置欠压锁定所需的多个外接元件。

1 软开关电路拓扑结构

图 1 给出了采用磁开关器件实现主电路软开关的原理图。其中, E_s 为输入直流电压源。 Q_1 和 Q_3 分别在 Q_4 和 Q_2 之前关断, 因此 Q_1 和 Q_3 为领先桥臂, Q_2 和 Q_4 为滞后桥臂。 $D_1 \sim D_4$ 分别是与 $Q_1 \sim Q_4$ 反并联的二极管, $C_1 \sim C_4$ 分别是 $Q_1 \sim Q_4$ 的寄生电容与对应的外接谐振电容之和, 设 $C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C$ 。 L_k 、 L_m 分别为高频功率变压器的漏感和激磁电感, 设变压器的初次级匝数之比 $N_p/N_s = N$ 。磁开关 L_{a1} 、 L_{a2} 分别与整流二极管 D_{r1} 、 D_{r2} 串联。 L_o 、 C_o 组成输出滤波环节, D_w 是续流二极管, R_o 为负载电阻。

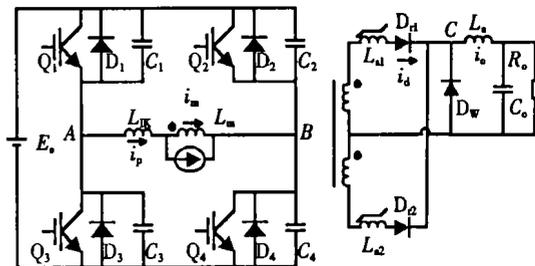


图 1 新型变换器的主电路原理图

Fig. 1 Schematic power circuit of converter

2 试验结果分析

2.1 驱动电路

图 2a 给出了驱动电路 EXB841 的输入电压和输

出电压的实测波形。在输入光电耦合器工作电流为 10 mA, IGBT 栅极驱动电阻为 5 Ω 的条件下, 驱动电路信号延迟时间的实测值为 0.92 μs。其中, 图 2b 说明, IGBT 模块的栅极开启电压的实测值为 9.1 V, 而驱动信号开通电压的实测值为 15 V, 关断电压的实测值为 -5 V, 故栅极正偏压和负偏压符合 IGBT 的应用要求, 同时, 栅极驱动脉冲没有振荡产生。

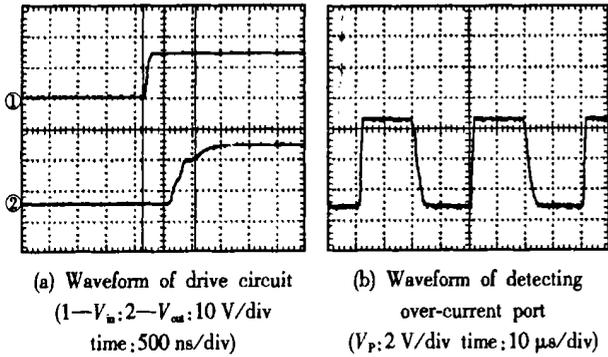


图 2 驱动电路和过流检测端波形
Fig. 2 Waveforms of drive circuit and over-current detecting port

图 2b 给出了 EXB841 的过流检测输入端的电压实测波形。由图可见, 过流检测输入端的电压为一脉冲信号。由于电流注入控制具有快速、准确的自动过流保护功能, 可以令过流检测端无效。试验表明, 处理的方法应该是通过快速二极管与参考地连接, 而既不能悬空, 也不能直接短接。

2.2 功率主变压器

图 3 为软开关弧焊逆变器中功率变压器初级电压和电流的实测波形。无论占空比为何值, 当初级电压(见波形②)等于零时, 移相控制的零电压软开关弧焊逆变器中功率变压器初级电流(见波形①)

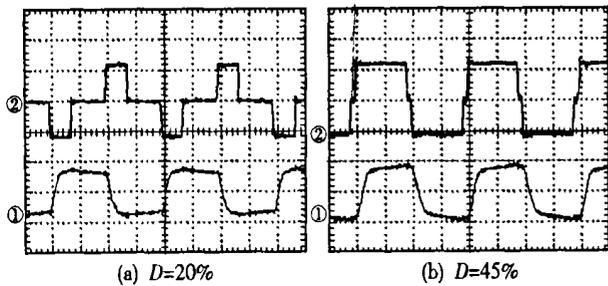


图 3 变压器初级电压和电流波形
Fig. 3 Primary voltage and current waveforms of transformer

基本维持最大值不变, 而不是下降到零。这一结果

与传统对角线同步控制的全桥式硬开关弧焊逆变器完全不同。其原因是移相控制的驱动指令使得变压器初级电流在任何时候都存在低阻回路, 即使变压器初级电压为零, 但初级电流将在低阻回路中循环。当占空比 D 从 20% 变化为 45% 时, 弧焊逆变器的工作频率均为 25 kHz, 移相控制不改变逆变频率, 而是直接调节了变压器初级电流的环流时间。

2.3 零电压软开关电路的换流

图 4 给出了领先桥臂和滞后桥臂中点电压的实测波形。由图 4a 可见, 领先桥臂中点电压(波形②)变换期间, 变压器初级电流基本保持最大值, 使得领先桥臂容易符合零电压换流的能量条件和时间条件。因此, 领先桥臂容易实现软开关。

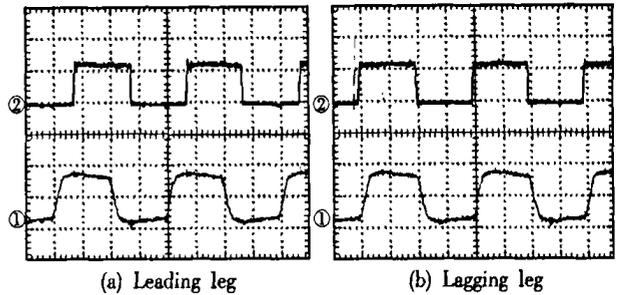


图 4 桥臂中点电压波形及其相位
Fig. 4 Leg midpoint voltage and its phase

而由图 4b 可见, 滞后桥臂中点电压(波形②)变换期间, 变压器初级电流急速减小, 滞后桥臂相对领先桥臂实现软开关是比较困难的。由于激磁电感参与了滞后桥臂换流, 从滞后桥臂中点电压波形②可以看到, 电压脉冲前沿上升并维持了直流母线电压, 因此, 滞后桥臂中两只 IGBT 实际上也都实现了零电压软开关。

图 5 是正常负载时滞后桥臂下部 IGBT 的驱动

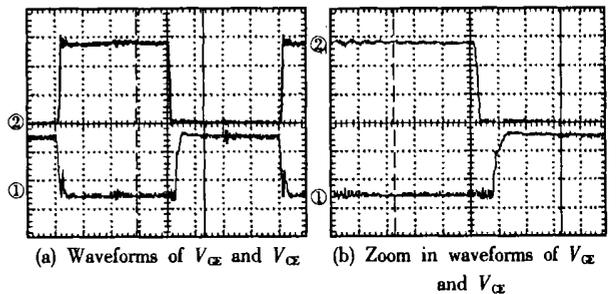


图 5 正常负载时滞后桥臂的软开关
Fig. 5 Soft switching of lagging leg at normal load

与焊件间的面接触改变为线接触(例如采用滚轮架)来实现。

参考文献:

- [1] Michelenis P, Dantzig J, Tortorelli D. Minimization of welding residual stress and distortion in large structure [J]. *Welding Journal*, 1999, 78(11): 361s ~ 365s.
- [2] Guan Q. A survey of development in welding stress and distortion controlling in aerospace manufacturing engineering in China [J]. *Welding in the World*, 1999, 43(1): 64 ~ 74.
- [3] 田锡唐. 焊接结构[M]. 北京: 机械工业出版社, 1997.
- [4] 王者昌. 关于焊接残余应力消除原理的探讨 [J]. *焊接学报*, 2000, 21(2): 55 ~ 58.
- [5] 焦馥杰. 焊接结构分析基础[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1991.
- [6] 游敏, 王福德, 付建科. 焊缝固态收缩对残余应力形成过程的作用 [J]. *武汉水利电力大学(宜昌)学报*, 1997, 19(2): 28 ~ 32.
- [7] 游敏, 付建科, 郑勇. 对接焊缝横向收缩机理研究 [J]. *葛洲*

坝水电工程学院学报, 1996, 18(2): 51 ~ 56.

- [8] 游敏, 张萍, 王福德. 对接焊缝横向残余应力的调节与控制 [J]. *水利电力机械*, 1998, (6): 31 ~ 33.
- [9] 唐慕尧. 焊接测试技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1988.
- [10] 游敏, 郑小玲, 王福德, 等. 盲孔法测定焊接残余应力适宜时间研究 [J]. *武汉水利电力大学(宜昌)学报*, 1999, 21(2): 54 ~ 57.

作者简介: 游敏, 男, 1958 年出生, 工学硕士, 教授, 硕士生导师。现从事材料成形及控制工程专业的教学和科研工作, 先后进行了提高热加工件的表面质量、金属结构胶接接头性能研究、焊接残余应力调控技术等方面的研究工作。作为主要研究人员参加完成国家自然科学基金项目 3 项, 主持完成省(部)级科研项目 4 项, 获电力工业部科技进步奖 1 项; 发表论文 40 余篇, 被 EI、ISTP、CA 检索收录 15 篇; 出版《金属结构胶接》、《焊接结构工程》等专著、教材 3 部。湖北省普通高校跨世纪学科带头人, 1999 年享受国务院政府特殊津贴, 现任湖北省机械工程学会理事。

Email: youmin@ctgu.edu.cn

[上接第 36 页]

电压 V_{CE} 和集电极与发射极之间电压 V_{CE} 的实测波形。在 IGBT 的驱动电压(见波形①)转变为栅极正偏压之前, 由于功率主电路的谐振换流作用, IGBT 的集射极间电压 V_{CE} (见波形②)已经下降至零。为了更清晰地观测零电压开通的细节, 图 5b 给出了滞后桥臂换流过程的局部放大波形图。由图 5b 可见, 波形②所示的集射极间电压 V_{CE} 在波形①所示的驱动电压达到 IGBT 开启电压之前 1.08 μ s 的时刻下降至零并维持零电压。此试验表明, 滞后桥臂实现零电压软开关。

3 结 论

作者采用 UC3879 移相控制芯片研究了一种基于磁开关器件实现主电路软开关换流的电路拓扑结构, 通过试验测试分析, 得到如下结论。

(1) 无论占空比为何值, 当初级电压等于零时, 移相控制的零电压软开关弧焊逆变器中功率变压器初级电流基本维持最大值不变, 而不是下降到零。

(2) 领先桥臂中点电压变换期间, 变压器初级电流基本保持最大值, 使得领先桥臂容易实现软开关。

(3) 由于激磁电感参与了滞后桥臂换流, 滞后桥臂中两只 IGBT 也实现了零电压软开关。

参考文献:

- [1] Cho J G, Sabate J A, Hua G C, *et al.* Zero-voltage and zero-current-switching full bridge converter for high power applications [J]. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 1996, 11(4): 622 ~ 627.
- [2] Hua Guichao, Lee Fred C, Jovanovic Milan M. An improved full bridge zero-voltage-switched PWM converter using a saturable inductor [J]. *IEEE Transactions on Power Electron*, 1993, 8(4): 530 ~ 534.
- [3] Cho Jung-goo, Baek Ju-won, Jeong Chang-yong, *et al.* Novel zero-voltage and zero-current-switching full bridge PWM converter using a simple auxiliary circuit [J]. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 1999, 35(1): 15 ~ 20.

作者简介: 薛家祥, 男, 1962 年出生, 工学博士, 副教授。主要从事弧焊过程小波分析、神经网络模糊控制及新型弧焊逆变器的研究, 发表论文 56 篇。

Email: meia@scut.edu