

ZVZCS 三电平逆变弧焊电源

白志范， 白建国， 郑庆杰， 孔祥天
(吉林大学 材料科学与工程学院, 长春 130025)



白志范

摘 要: 分析了一种新颖的零电压零电流(ZVZCS)开关之电平变换器, 以及功率晶体管的驱动电路。分析并试验了它在弧焊电源中应用的可行性, 并用 Pspice 9.2 进行仿真, 给出了试验与仿真结果。ZVZCS—三电平变换器不仅具有传统软开关脉宽调制(PWM)变换器的优点, 还具有其它的优点。变换器的功率开关承受的电压为输入电压的一半, 因此, 它适用于有源功率因数校正或输入电压较高的场合。
关键词: 零电压零电流; 三电平直流变换器; 弧焊电源
中图分类号: TG434.4 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2004)04-123-03

0 序 言

普通的弧焊电源大多采用二极管整流, 大电容滤波。这样不仅功率因数低而且输入电流中谐波含量很高, 从而对电网产生了污染。现在国际上已充分认识到“绿色电源”的重要性, 亦颁布了相关标准, 如 IEEE 519, IEC 1000-3-2^[1]。为了抑制谐波提高功率因数, 人们引入了有源功率因数校正技术, 取得了很好的效果。尤其在焊接电源上应用价值更大, 因为焊接负载具有较大的不稳定性。三相功率因数校正(PFC)变换器的输出电压一般为760~800 V DC, 有时甚至高达1 000 V, 这就要求提高后级直流变换器开关管的电压定额。为了解决这个问题, 可以引进三电平直流变换器, 在该变换器中, 开关管的电压应力为输入直流电压的一半, 这就使得开关管的选取范围变大, 成本也大大降低^[2]。

有文献报道一种新颖的零电压零电流(ZVZCS)三电平直流变换器在其它电源中的应用情况, 效果很好^[3,4], 但还未见到成品和产品。到目前为止, 还未见到其在焊接电源上应用的相关报道, 因此作者采用该变换器设计了三电平逆变弧焊电源, 其原理图如图1所示。

1 变换器工作原理

其工作原理与以前的ZVZCS-FB-PWM逆变器基本一样, 均是移相控制。

该变换器在一个开关周期中有10种开关模式。在分析之前, 做如下假设: (1)所有开关管、二极管

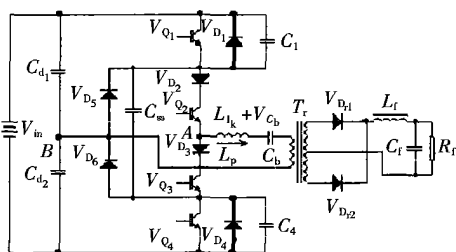


图 1 ZVZCS 三电平变换器
Fig. 1 ZVZCS three-level converter

均为理想元件; (2)电感、电容均为理想元件; (3)阻断电容 C_b 足够大; (4) $C_1 = C_4 = C_f$; (5)滤波电感 L_f 足够大, 可以认为是一个恒流源, 其输出电流为 I_0 。

各开关模式的工作情况描述如下。

(1) 开关模式 0 $[t_0]$

t_0 时刻, V_{Q1} 和 V_{Q2} 导通, 一次电流给电容 C_b 充电。阻断电容电压为 $V_{C_b}(t_0)$ 。

(2) 开关模式 1 $[t_0 - t_1]$

在 t_0 时刻关断 V_{Q1} , I_p 给 C_1 充电, 同时通过电容 C_{∞} 给 C_4 放电。由于有 C_1 和 C_4 , V_{Q1} 是零电压关断。此时变压器漏感 L_k 和滤波电感 L_f 相串联, I_p 近似不变, 其大小为 $I_{p0} = I_0/K$ (K 为变压器变比), I_p 继续给 C_b 充电, C_1 的电压线性上升, C_4 的电压线性下降。

在 t_1 时刻, C_1 的电压上升到 $V_{in}/2$ 时, C_4 的电压下降到零, 此时 V_{D5} 自然导通, 从而结束模式 1。

(3) 开关模式 2 $[t_1 - t_2]$

当 V_{D1} 导通后, C_4 的电压被箝位在零, 因此可以

零电压开通 V_{Q_4} 。在这段时间里, V_{D_5} 和 V_{Q_2} 导通, 此时加在变压器原边和 L_{1k} 上的电压为 V_{C_b} , I_p 开始减小, 不足以提供负载电流, 因此两个整流二极管 $V_{D_{r1}}$ 和 $V_{D_{r2}}$ 同时导通, 使变压器原边和副边均为零。此时 V_{C_b} 全部加在 L_{1k} 上, I_p 减小, V_{C_b} 上升。由于 L_{1k} 较小, 而 C_b 较大, 因此可以认为在该模式中, V_{C_b} 基本不变, I_p 基本是线性减小。

在 t_2 时刻, I_p 下降到零, 该模式结束。
(4) 开关模式 3[t_2-t_3]
在该模式中, $I_p=0$, $V_B=V_{in}/2$, $V_A=V_{in}+V_{C_b}$, V_{D_3} 和 V_{D_4} 同时导通, 均分负载电流。 $V_{C_b}(t)=V_{C_b}(t_1)=V_{C_{lp}}$

(5) 开关模式 4[t_3-t_4]
在 t_3 时刻, 关断 V_{Q_2} , V_{Q_2} 零电流关断。在很小的延时后, 开通 V_{Q_3} , 由于 L_{1k} 的存在, V_{Q_3} 零电流开通。由于 I_p 不足以提供负载电流, $V_{D_{r1}}$ 和 $V_{D_{r2}}$ 依然同时导通, 变压器的原边和副边被箝在零电压。此时加在 L_{1k} 上的电压为 $-|V_{in}/2+V_{C_{lp}}|$, I_p 从零开始反向线性增加。

在 t_4 时刻, I_p 反方向增加到负载电流, 该模式结束。

(6) 开关模式 5[t_4-t_5]
从 t_4 时刻开始, 一次侧为负载提供能量, 同时给 C_b 反向充电。 $V_{D_{r1}}$ 关断, 所有负载电流均流过 $V_{D_{r2}}$ 。

在 t_5 时刻阻断电容上的电压为下一次 V_{Q_3} 零电流关断和 V_{Q_2} 零电流开通做准备。 t_5 时刻, 关断 V_{Q_4} , 开始[t_5, t_{10}] 的另一个半周期, 其工作情况类似于前面描述的[t_0, t_5]。

2 功率器件的驱动

采用移相谐振控制器 UC3875 提供四路控制信号, 再经过由 EXB841 构成的隔离驱动电路驱动四个功率器件绝缘栅极双极晶体管(IGBT)。其驱动电路如图 2 所示。

图 2 为用 EXB841 组成的驱动保护电路。当控制电路上电或过流保护动作后复位脉冲到来时, I_{C1} (CD4043) 的输入端 S 引入高电平脉冲使输出端 Q 置“1”; 则与门 I_{C2} (CD4081) 的输出信号与驱动信号同步, 只是脉冲峰值电压不同。IGBT 正常工作时,

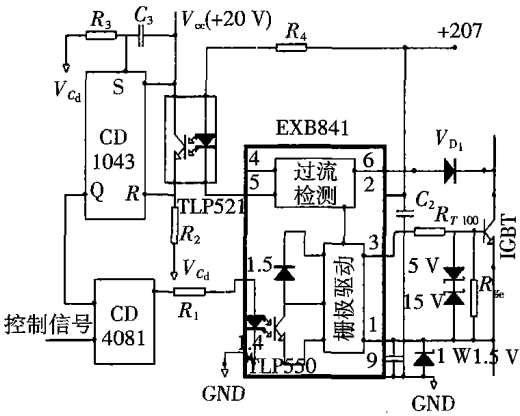


图 2 IGBT 的驱动电路
Fig. 2 Drive circuit of IGBT

EXB841 的过流信号指示端脚 5 为高电平, 光耦 TLP521 不工作, I_{C1} 的 R 端为“0”, Q 端为“1”使栅极驱动信号正常通过与门 I_{C2} (CD4081), 使 IGBT 正常工作。一旦当 IGBT 的 U_{CE} 过高(一般达 7 V) 时则出现过流信号, 其过流检测电路经 10 μ s 观察, 以滤掉虚假干扰过流信号, 确认为真过流时, 其脚 5 信号变为低电平, 光耦 TLP521 工作使 I_{C1} 的置“0”端 R 为“1”, RS 触发器状态翻转, Q 端为“0”封锁 IGBT 的驱动信号, 达到关断 IGBT 的目的, 对电路实施有效保护。在 1 脚与 9 脚之间并接一个 5.1 V / 1 W 的稳压管, 可有效防止 EXB841 内部 5.1 V 稳压管因功率不足被外界干扰所产生的尖峰信号击穿损坏, 从而也可以有效抑制因 IGBT 栅极电压波动造成的 IGBT 损坏, 经实际验证效果较好, 可对 EXB841 和 IGBT 实施有效保护^[3]。

3 整机系统

图 3 为三电平逆变弧焊电源整机系统图。控制

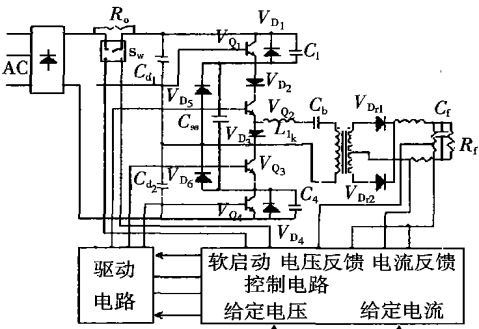


图 3 三电平逆变弧焊电源系统图
Fig. 3 Systematic diagram of three-level inverter arc welding power supply

电路采用 UC3875 为主芯片,软启动电路与 UC387 配合,当电路开启以后为防止突然导通电流过大所产生的冲击,即在主电路串接一定阻值的电阻 R_o ,开机时该电阻接入电路,延时一段时间以后再把电阻用继电器短路;调制好的四路时序信号经过完全隔离的四个驱动电路给四个开关管提供驱动信号;通过给定的电压和电流检测电流和负载两端的弧压经比较后给 UC3875 提供相应的控制信号,构成了闭环系统。

4 试验结果

4.1 仿真与实测波形

图 4 和图 5 分别是采用软件 PSPICE 仿真和实测试验波形。该试验条件是,直流输入电压 520 V;输出直流电压 65 V;变压器原副边匝数比 $K4$;漏感 L_k 为 0.2 μ H;阻断电容 C_b 为 2 μ F;开关管为 IG-BT, GT60M102;副边整流二极管为 MUR20040CT;输出滤波电感 L_f 为 350 μ H。

仿真和试验波形如图 4 和图 5 所示。

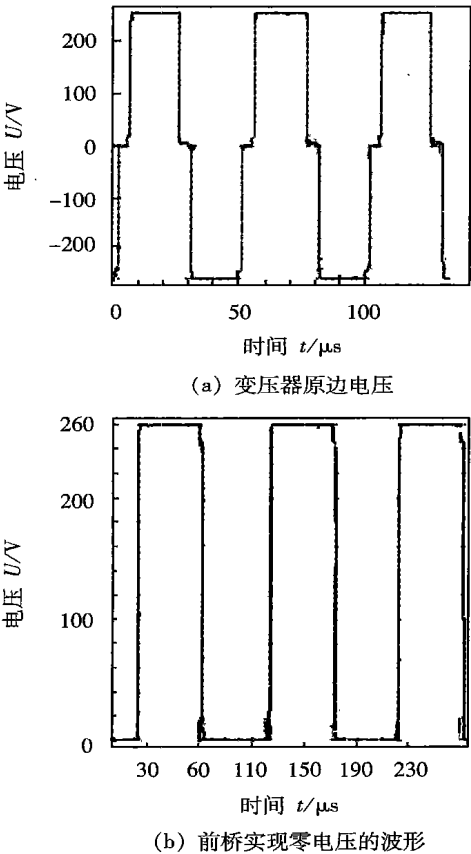


图 4 仿真波形

Fig. 4 Simulation waveform

4.2 实测电源外特性

弧焊电源工作在负载状态时具有恒流特性,在

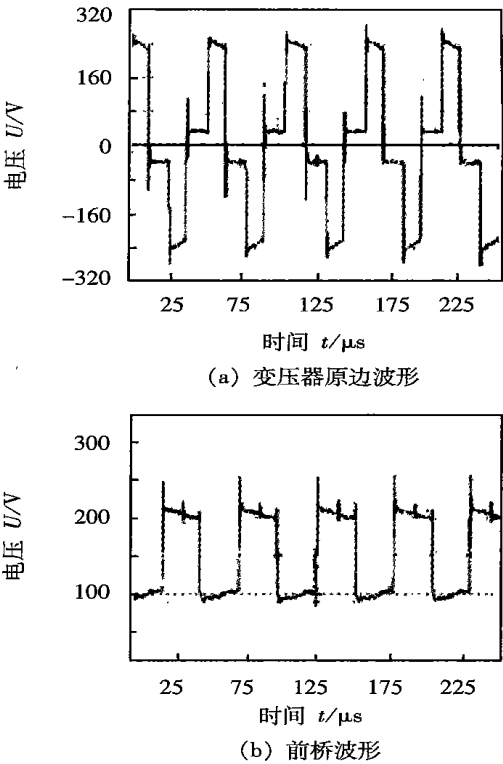


图 5 电路相关实测波形

Fig. 5 Experiment results waveform

低压时转为外拖,在空载时要有一定的空载电压。图 6 给出了实测的三条恒流带外拖外特性,可以用于手工电弧焊。由图可以看出在恒流段的恒流效果较好,低压时外拖特性也得到了极好的满足。实际焊接时所测电流值也很稳定,焊接质量较好。

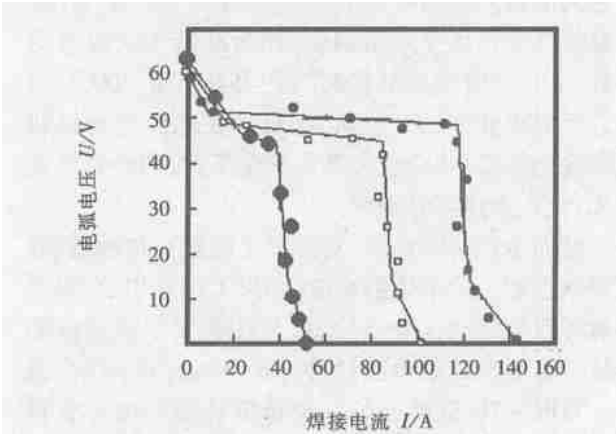


图 6 实测焊接电源外特性

Fig. 6 Out characteristic of welding power supply

5 结 论

(1) 对目前较为先进的 ZVZCS—三电平逆变技术进行了分析,该变换器的显著优点就是开关管实际承受的电压为输入电压的一半。用PSPICE对

[下转第 128 页]

的铬含量为 12% 以上, 如果晶界上产生了含铬量为 23% 的化合物, 其周围晶粒内的含铬量必然降低, 若降至 12% 以下, 其防锈性能便会丧失。有试验表明, 高铬化合物临近处的铬含量可低达 6%^[3]。这样, 因贫铬无法形成钝化膜而发生了晶间腐蚀。既然晶间腐蚀与碳原子和铬原子的集聚相联系, 而铬原子因体积较大难于移动, 那么, 加速碳原子扩散的因素就是加速晶间腐蚀的因素。在文中试验和单晶炉炉盖成形过程中发生塑性的变形, 为原子扩散创造了条件。

(1) 塑性变形使材料内晶粒拉长, 晶界面积增加, 位错大量增殖。晶界和位错是碳原子扩散的快速通道。

(2) 塑性变形使材料内的空位等点缺陷增多, 有利于直径较大的铬原子通过空位和置换进行短程扩散。

(3) 塑性变形促使材料晶格结构发生畸变, 甚至在局部出现由较密集的 Fcc 向较疏松的 Bcc 结构转变, 降低了原子扩散的能垒。

在以上因素的综合影响下, 原子扩散的能垒得以降低, 从而使得在无塑性变形条件下激活晶间敏化过程的临界温度值下降。在文中试验条件下, 这一临界值由正常情况下的 450 °C 降到 275 °C。于是按传统规范在 275 ~ 450 °C 进行旨在消除部分地区焊接应力的低温时效, 实际上将会引致材料的晶间腐蚀。在拉应力场中, 晶间腐蚀借助晶格畸变而快速进行, 与应力腐蚀协同作用, 加剧了材料的腐蚀破坏过程。与此不同的是, 1 号和 2 号试样未经敏化处理, 没有晶间腐蚀发生, 潜在的应力腐蚀趋向因得不到晶间腐蚀的协同配合而孕育期延长, 早期只出现点蚀锈斑。对比结果意味着, 经过冲压或卷制等大变形量塑性加工的奥氏体不锈钢焊接构件, 已不允许进行 275 ~ 450 °C 范围内低温时效处理。考虑到低于 275 °C 的退火所能消除的应力极其有限, 由

此可知对此类奥氏体不锈钢焊接构件来说, 低温时效的有益性和有效性事实上并不存在。

除此之外, 塑性变形还会引起其它腐蚀。

(4) 塑性变形使材料化学活性增加, 电位势提高, 引起电化学腐蚀^[4]。

(5) 除了材料内部组织上的变化之外, 塑性变形加工过程中还不可避免地会划伤钢板表面, 造成宏观表面缺陷, 如果不加以消除, 就会成为腐蚀裂纹的启裂源。

4 结 论

(1) 大比例弹塑性变形使得晶间敏化温度区间的下限降低至 300 °C 以下, 实际上也就基本排除了对此类不锈钢焊接构件进行低温时效的可能性。

(2) 对工作在高温、高应力条件下的奥氏体不锈钢容器壳体, 若非特殊需要, 应尽量避免使用冲压成形的钢板作为内壁。

参考文献:

- [1] 陈立功. 不锈钢焊接构件的振动时效与热时效[J]. 机械工业标准化与质量, 2002, (3): 37—40.
- [2] 张其枢, 堵耀庭. 不锈钢焊接[M]. 北京, 机械工业出版社, 2000. 64—66.
- [3] 华保定, 沈行素, 周德瑞, 等. 铬在 18 铬镍型不锈钢晶粒边界的贫铬层中的分布[J]. 金属学报, 1965, 8(1): 98—102.
- [4] 胡庚祥, 钱苗根. 金属学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1980. 291—292.

作者简介: 许 扬, 男, 1955 年出生, 高级工程师。主要从事金属材料热加工、焊接构件残余应力消除和晶体生长设备制造管理研究。完成大中型焊接构件振动时效课题 9 项, 参加起草国家机械行业标准《焊接构件振动时效工艺参数选择及技术要求》, 发表论文 20 余篇。

Email: xjlggeh@pub.xaonline.com

[上接第 125 页]

其进行仿真, 确认符合弧焊电源要求。

(2) 经过整机安装和试验以后确认 ZVZCS 三电平直流变换器在逆变弧焊电源上应用的可行性, 并给出了实测波形。

参考文献:

- [1] 徐德鸿. 三相高功率因数整流器的发展与现状[A]. 第一届中国电源新技术研讨会论文集[C]. 1994. 126—130.
- [2] Pinheiro J Renes, Baibi Ivo. Wide load range the three-level ZVS PWM dc-to-dc converter[C]. IEEE, PESC, 1993. 171—177.

- [3] Pinheiro J Renes, Baibi Ivo. The three-level ZVS PWM converter: A new concept in high-voltage dc-to-dc conversion[C]. IEEE, IECON, 1992. 173—178.

- [4] 阮新波, 林 泉, 严仰光. 一种新颖的零电压零电流开关 PWM 三电平直流变换器[J]. 电工技术学报, 2001, 37(2): 41—46.
- [5] 施涛昌. 功率 IGBT 的驱动保护及其应用技术[J]. 电子技术, 1996, (7): 12—14.

作者简介: 白志范, 男, 1956 年 9 月出生, 工学硕士, 副教授。主要研究方向为弧焊电源及焊接自动化, 完成国家“九五”重点攻关项目 1 项, 吉林省科委科研项目 2 项, 发表论文 31 篇。

Email: bzf21@21cn.com