

零开关逆变电焊机

Zero Switch Inverter Welding Machine

成都科技大学(610065) 黄念慈 高心

Chengdu University of Science and Technology Huang Nianci et al

[摘要] 介绍一种零电压开关逆变电焊机, 介绍了它的工作原理和设计要点。其输出电流范围 75-600A, 最高工作频率达 400kHz。

关键词: 电焊机 零开关 逆变焊机 电弧焊, 节能

[Abstract] A Zero Voltage Switch inverter welding machine, its operating principle and key points for design have been introduced in the present paper. The welding current range is 75-600A and the highest operating frequency is 400KHz.

Key words: welder zero-switch inverter

逆变型电焊机由于具有节能、省材、小而轻等特点, 正成为电焊机大家族中的佼佼者。目前的逆变电焊机, 其功率开关管工作在硬开关状态, 开关损耗较大, 限制了其工作频率的进一步提高。例如目前一般使用的 IGBT 管, 其开通和关断时间在数百纳秒, 但其开关工作频率却很难超过 20kHz, 一个重要原因就是开关损耗大, 导致芯片温度升高、性能指标和可靠性下降。采用零开关技术, 使功率管在零电压或零电流的条件下导通和关断, 可令开关损耗降到最小, 理论上为零。因而使开关工作频率提高近一个数量级。可制造出更小更轻的电焊机。要实现零开关, 一般用附加电容、电感等储能元件的办法, 加上合适的控制策略, 使电路谐振, 为功率管的“零开关”制造条件。因此, 也称为“谐振交流技术”或“软开关”技术, 是 80 年代中期以来发展最快的电力电子技术的热门领域之一。出现了数百种电路拓扑形式。由于不同程度、不同方面地存在各种各样诸如电压电流应力较大, 控制策略复杂, 调节范围不够宽, 工艺难度大等不尽人意之处, 尚未建立起标准的电路拓扑型式。下面介绍一种全桥零电压开关脉冲频率调制型逆变电焊机。其电流调节范围 75-600A, 最高工作频率达 400kHz。

1 零开关逆变电焊机的工作原理

图 1 为逆变器的主电路拓扑。可等效为图 2 的电路。功率开关管为 S_1-S_4 , D_1-D_4 为开关上的反并联的二极管, C_1-C_4 为开关上并联的电容 (包括寄生电容), L_r 为增加的谐振电感, C_f 为滤波电容, R_f, L_f 分别为滤波电阻和电感。图 3 分别为加在开关 S_1-S_4 上的驱动脉冲, 以及全桥两臂中心之间电压 $V_{(2,5)}$ 的理论波形。与传统的桥式开关电路相对比, 一个明显的区别在于 S_1, S_2 或 S_3, S_4 不是同时导通和关断, 而是错开一个时间间隔以实现零电压导通。下面我们按时间间隔顺序来分析其工作原理。

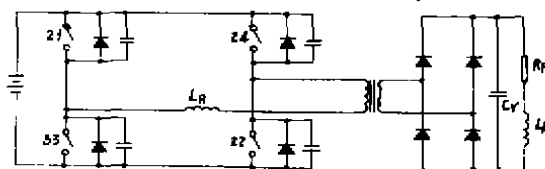


图 1 ZVS 逆变电焊机主电路拓扑

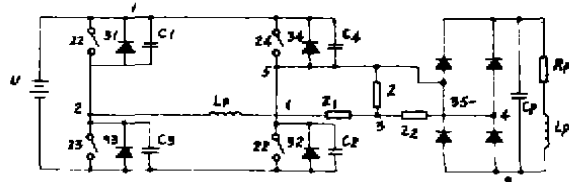


图 2 ZVS 逆变电焊机等效电路拓扑

$t=t_0$, S_1 、 S_2 导通, $V_{(2,5)}$ 保持电源电压 V_s , 谐振电感电流 i_{Lr} 持续上升, $t=t_1$ 时, S_1 关断。由于 S_1 的关断, 在谐振电感 L_r 中的电流 i_{Lr} 将使 C_3 放电。当 VC_3 放电到零时, 与开关 S_3 反并联的二极管 D_3 导通, 在 $t=t_2$ 时刻, S_3 零电压导通。此时 S_2 、 S_3 同时导通。谐振电感电流 i_{Lr} 续流, $V_{(2,5)}$ 保持零电压, 直到 $t=t_3$ 时, S_2 关断。假如储存在电感中的能量足够大, 那么电感电流将使 C_4 完全放电, 当 VC_4 放电到零时, D_4 导通, 在 $t=t_4$ 时, S_4 零电压导通。此时 S_3 、 S_4 同时导通, 故电感电流 i_{Lr} 减少到零后反向流通, $V_{(2,5)}$ 保持负电源电压 ($-V_s$), 直到 $t=t_5$ 时, S_3 关断为止。

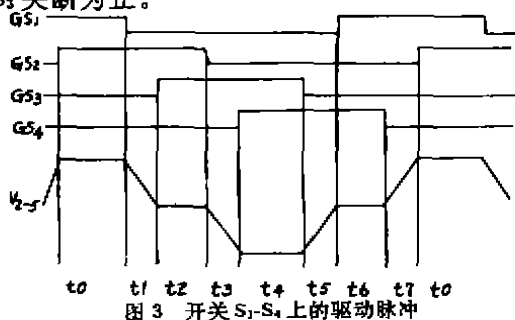


图3 开关 S_1 — S_4 上的驱动脉冲
及 $V_{(2,5)}$ 的理论波形

以下工作过程与前述类似, 不再赘述。

2 电路设计与计算机仿真

在开关管两端并联电容 (C_1 C_4), 利用其电压不能突变的性质, 可顺利实现零电压关断。另一方面还必须采取措施, 使电容上的电压, 也就是开关管上的电压, 在开关导通前降到零, 即实现零电压导通, 否则, 并联电容上的能量将在开关导通时通过开关管消耗掉, 反而增加了导通损耗和开关管的电流应力, 这里是通过使 S_1 、 S_3 或 S_2 、 S_4 错开切换时间, 以及增加一反并联二极管 D_1 、 D_4 来实现零电压导通的。在换流时, 左臂上的开关 S_1 和 S_3 总是比右臂上的开关 S_2 和 S_4 先切换, 为了确保右臂上的开关 S_2 和 S_4 在零电压导通, 那么储存在电感中的能量就必须大于并联在两个开关上的电容所储存的能量, 即:

$$\frac{1}{2} I_{Lr}^2 \cdot L_r > \frac{1}{2} (C_1 + C_2) V_s^2 \quad (1)$$

式(1) I_{Lr} — S_2 关断瞬间储存在电感中的电流

(1)式也是保证开关 S_2 和 S_4 零电压导通的条件。

另一个需考虑的是从 S_2 关断到 S_4 导通 (或 S_1 关断到 S_3 导通) 的延迟时间 (裕量) T_d 的问题。该延迟时间 T_d 可分为两个过渡过程。一是 S_2 关断开始, 电感电流 i_{Lr} 分别对 C_2 充电、对 C_4 放电的过程, 其等效电路如图4所示; 二是电感电流 i_{Lr} 下降至零, S_4 导通的过程。其等效电路如图5所示。

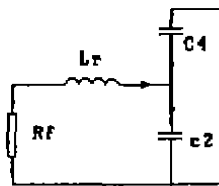


图4 $[t_0, t_1]$

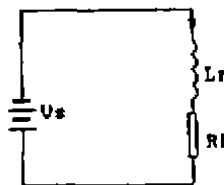


图5 $[t_1, t_2]$

利用图4和图5的等效电路, 可推导出计算延迟时间 (裕量) T_d 的表达式:

$$T_d = \sqrt{2L_r C} + L_r \cdot \ln \left[V_s + R_f \cdot I_{Lr} \right] \cdot \frac{1}{V_s} \cdot \frac{1}{R_f} \quad (2)$$

从(2)式可见, T_d 与 V_s 、 R_f 、 I_{Lr} 、 C 等有关。

我们把图1电路的数学模型输入计算机, 进行了仿真分析。得出各有关波形曲线见图6~8。结果表明, 本变流器已实现了零电压导通和关断。

开关频率为 400kHz 时, R_f 上的电流为 12.5A, 折合到变压器副边, 输出焊接电流为 75A。图6是开关 S_1 — S_4 的驱动波形及两桥臂中点的电流电压波形, 图7开关上的平均功耗 (单只开关的平均功耗仅为 1W 左右), 输出电流, 开关管上的电压、电流波形曲线。从图可见, 开关是在零电压下导通和关断的, 切换时均未出

现尖峰。

在保证切换时间间隔不变的条件下,改变变流器的工作频率,即改变各开关的导通时间,可调节变流器的输出。当开关频率为 40kHz, R_t 上的输出电流为 100A,折合到变压器副边,输出焊接电流为 600A。输出电流调节范围达到 8 倍,图 8 分别是开关频率为 40kHz 时开关管上的电压、电流波形和开关上的平均功耗波形。开关上的平均功耗仅为 80W 左右。

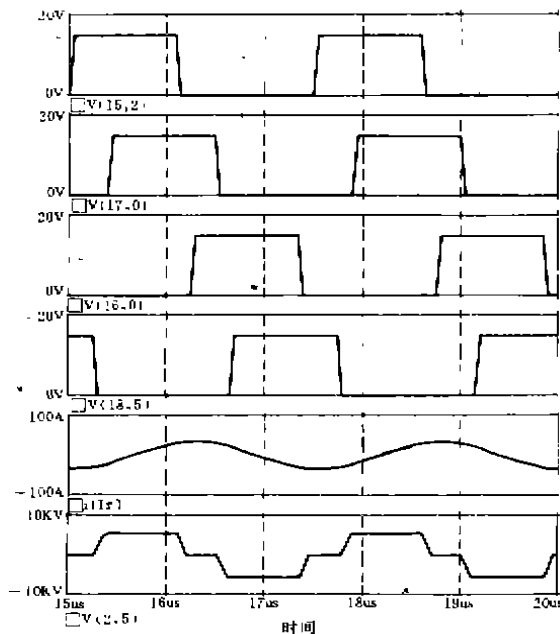


图 6 开关 S_1 - S_4 的驱动脉冲及电流 $V(2,5)$ 的波形

3 结论

本文介绍一种全桥零电压开关脉冲频率调制式准谐振变流型逆变电焊机以及它的工作原理和设计要点,并进行了计算机仿真,其电气参数见附。结果表明,其输出电流为 75-600A,调节范围达到 8 倍,而开关功率管上的电压应力仅等于电源电压,功率开关上的平均功耗仅为 80W(输出 600A 时)或 1W(输出 75A 时)。

附:图 2 电路主要电气参数: C_1 - C_4 为 2.2nF,谐振电感 L_r 为 10 μ H,滤波电容 C_f 为 20nF,滤波电感 L_f 和电弧等效电阻(折合到原边) R_f 分别为 100 μ H 和 21 Ω (75A)或 2.6 Ω

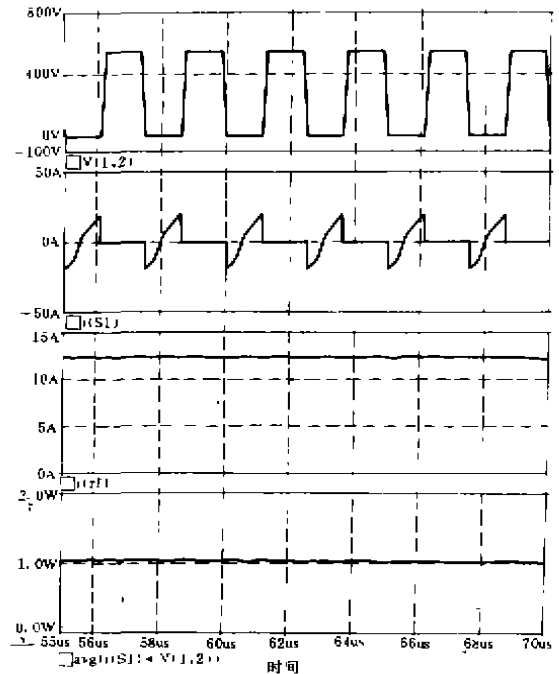


图 7 开关上的电压电流及平均功耗、输出电流波形

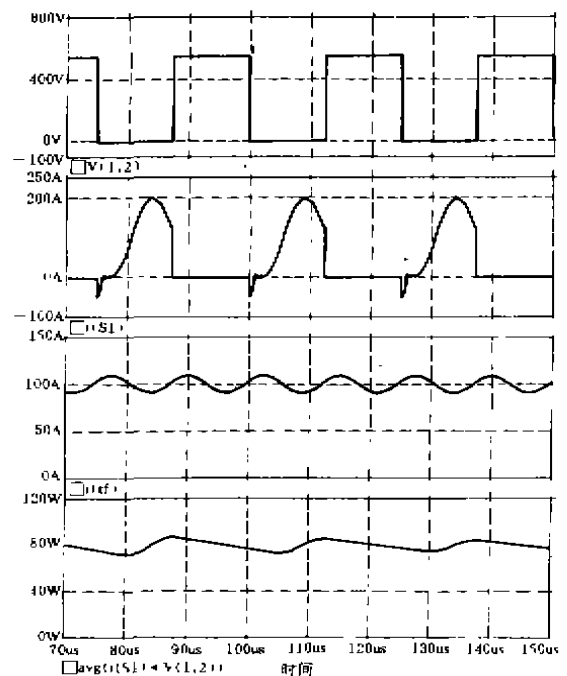


图 8 开关上的电压电流及平均功耗、输出电流波形

(600A), 变压器原副边漏感 L_1, L_2 为 $0.5\mu\text{H}$, 原副边电阻 R_1, R_2 为 0.01Ω , 变压器激磁电感 L_m 为 $150\mu\text{H}$, 变压器变比 $6:1$ 。

参考文献

- 1 K. H. Liu & F. C. Lee. Zero-Voltage Switching Techniques in DC-DC converter. IEEE Transactions On Power Electronics, 1990. 5 (3)
- 2 黄念慈, 卢小辉. 谐振变流技术. 四川省电工技术学会电力电子专委会学术年会论文集, 1993.
- 3 P. M. Sable and F. C. Lee. The operation of a Full-Bridge Zero-Voltage-Switching PWM Converter. Proceedings of the Virginia power electronics center seminar. 1989; 225-230
- 4 R. B. Ridley, J. A. Sabate. Design considerations for High-Voltage, High-Power. Full-Bridge Zero-Voltage-Switched PWM converter. IEEE APEC' 90 Proc., 1990; 275-284

云南省红河州自动焊剂厂 向您提供优质价廉的埋弧自动焊焊剂

本厂是云南省的国有专业焊剂生产厂, 生产工艺先进, 检测手段齐全, 质量稳定可靠。厂址位于云南省开远市。开远是滇南明珠, 这里有较丰富的适合于生产优质焊剂的锰矿等矿产资源; 电力充足; 交通运输方便, 在昆河铁路、昆河公路主干道上。能以整车或另担随时向全国各地发运焊剂。本厂生产的“HJ431 系列”埋弧焊剂各项性能指标均符合 GB5293-85 的要求, 1995 年 2 月通过省级质量鉴定, 并获得云南省“省级新产品证书”。本厂拥有年产各型焊剂 5000 吨的能力。并可按用户要求提供不同型号的焊剂。

本厂竭诚为广大用户服务。我们的宗旨是: 质量上乘, 售价合理, 服务周到, 供货及时。

厂址: 云南省开远市东风路 50 号(红河州汽车公司内) 邮编: 661000

电话: (08844) 23639 22885 传真: 22911 电挂: 7525

厂长: 冯起先 副厂长(高级工程师): 谭素珍 联系人: 张进军

开户行: 开远市建行 帐号: 26114690

成都总代理: 成都永丰路 4*(610041)

成都大中华焊接材料公司研究所 联系人: 胥德光

电话: [028] 5187294—3639、3626