



全桥谐振软开关弧焊逆变器主电路 仿真分析

胡天文, 陈克选

(兰州理工大学 材料科学与工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要 采用饱和电感式全桥谐振软开关技术, 设计了逆变电路、中频变压器和输出滤波电感组合电路。采用仿真分析的方法, 研究开关管的损耗及输出负载波形。通过仿真分析可知, 软开关技术能够提高效率, 节约能源; 中频变压器和滤波电感的组合使得输出负载波形平滑稳定。

关键词 软开关; 逆变电路; 中频变压器; 滤波电感

中图分类号: TG434 文献标志码: A 文章编号: 1001-2303(2015)04-0046-04

DOI: 10.7512/j.issn.1001-2303.2015.04.10

Simulation analysis of main circuit of arc welding inverter with full-bridge resonant soft switching

HU Tianwen, CHEN Kexuan

(School of Material Science and Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: With the technology of full-bridge resonant soft switching of saturation inductance type, the combinational circuit of inverter circuit, intermediate-frequency transformer and output filter inductor is designed. The wastage of switch tubes and waveform of output load are researched by simulation analysis. It is showed that soft switching technology can improve efficiency and save energy. The combinational circuit makes the waveform smooth and steady.

Key words: soft switching; inverter circuit; intermediate-frequency transformer; filter inductor

0 前言

弧焊逆变器在中大功率焊机中需要具备高效性、抗干扰性和良好的控制性等特性, 所以在主电路中采用软开关技术及中频变压器和滤波电感的组合设计。软开关技术可以实现零电压零电流的开通和关断, 从而有效地降低功率器件开关损耗, 节约能源, 提高效率^[1]。中频变压器和滤波电感在高频工作条件下, 有效地降低了由于输出整流二极管在导通和关断时产生的尖峰而引起的高频电磁噪声^[2]。本研究采用 PSPICE 软件对所设计的软开关逆变电路和输出电路进行仿真分析, 研究软开关工作方式

和开关管损耗以及中频变压器和滤波电感组合对输出电流的影响。

1 逆变电路设计

饱和电感式全桥谐振软开关逆变电路^[3]如图 1 所示。其中 IGBT₁、IGBT₂ 为超前臂, IGBT₃、IGBT₄ 为滞后臂。与桥臂并联的电容 C₁ 和 C₂ 的作用是在开关管开通和关断时进行充放电; C_x 为隔直电容; L_s 为饱和电感; L_r 为滤波电感。IGBT₁、IGBT₂ 采用脉宽调制, 用于 PWM 输出; IGBT₃、IGBT₄ 采用强制输出, 用于控制死区。

2 中频变压器和滤波电感设计^[4]

采用三相 380 V 交流经整流滤波后得到约 540 V,

收稿日期: 2014-05-15; 修回日期: 2014-07-03

作者简介: 胡天文(1989—)男, 江西人, 在读硕士, 主要从事硬件设计和软件编程的研究。

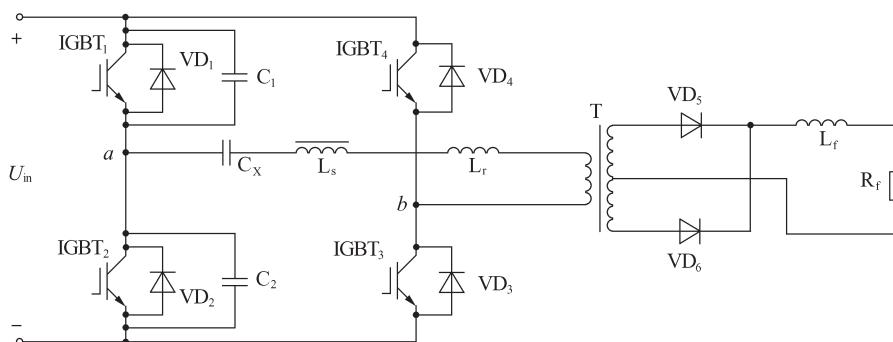


图 1 逆变电路拓扑形式

中频变压器工作频率 20 kHz。对于中频变压器来说，根据损耗、磁感应强度和热稳定性等性能，选取超微晶合金材料 ONL-1308040 作为磁芯，其内径、外径和高度分别为 80 mm、130 mm、40 mm，磁芯的有效截面积 A_c 为 7.0 cm²。利用式(1)、式(2)计算变压器一、二次绕组匝数

$$N_1 = \frac{U_1 T_{on} \times 10^{-2}}{2 B_m A_c} \quad (1)$$

$$N_2 = \frac{N_1 \times U_2}{U_1} \quad (2)$$

式中 U_1 为变压器一次输入电压 $U_1=540$ V T_{on} 为一次绕组输入电压脉冲宽度 $T_{on}=25$ μs B_m 为磁通密度 $B_m=0.4$ T U_2 为二次电压 $U_2=70$ V。计算得到变压器一次绕组匝数为 22 匝；二次绕组匝数为 2.9 匝，取值为 3 匝。

滤波电感对输出电流进行滤波，防止电流突变时产生的冲击。本设计采用线性电抗器，留有间隙防止大电流时饱和。滤波电感的电感为

$$L \gg \frac{(U_2 - U_0) \cdot t_{on}}{2 I_{omin}} \quad (3)$$

式中 U_2 为中频变压器二次电压幅值 $U_2=70$ V U_0 为焊机输出电压 $U_0=63$ V t_{on} 为 IGBT 最大导通时间 $t_{on}=25$ μs I_{omin} 为最小电流 $I_{omin}=3$ A。计算得到滤波电感电感量为 50 μH。

由式(4)计算得到其绕组为 17 匝，其中 $B=0.8$ T 为铁芯最大磁感应强度 $I_L=400$ A 为滤波电感中流过的电流。

$$N = 4 \cdot 400 \times \sqrt{\frac{B \times L}{I_L}} \quad (4)$$

3 仿真设计及分析

3.1 仿真参数设置

逆变结构及输出负载的仿真电路如图 2 所示。

仿真参数有 输入直流电压 540V IGBT 选取 MUR8100；隔直电容值 50 μF，饱和电感采样普通电感与磁芯耦合而成，COUPLING 选取经验值为 0.99；开关频率 20 kHz；变压器一、二次侧匝数比为 7.6，输出滤波电感值 50 μH，输出滤波电容 2 000 μF。

3.2 仿真分析

逆变电路主要仿真波形如图 3 所示。利用瞬态分析法，任意选取 200~400 μs 的波形进行分析。 U_{C5} 是抑制环流电容的电压， I_p 是变压器一次电流。工作方式为：当 IGBT 开关管 Z_1 和 Z_4 同时导通，电流 I_p 还处于零安培，此时 Z_1 和 Z_4 在零电流的方式下开通。这时由于饱和电感并没有进入饱和状态，从而呈现大阻抗特性，阻止了电流的突变。当饱和电感进入饱和状态后，电流 I_p 开始上升，此时隔直电容 C_5 的电压也开始线性增加。在 Z_1 和 Z_4 同时导通后，IGBT 开关管的源极和漏极之间相当于一根导线，并联电容 C_1 两端的电压为零，此时，若 Z_1 关断，则为零电压关断。 Z_1 关断后， C_1 充电， C_4 放电，当 C_4 放电完成后，则为 Z_3 的零电压开通提供条件。由于隔直电容 C_5 的作用， I_p 快速降低，而 C_5 的电压却上升到最大值。当 I_p 减小为零时，由于电感的作用， C_5 的电压保持最大值，此时 Z_4 关断是零电流关断方式。同理 Z_2 和 Z_3 也是同样的开通和关断方式，在此不再详述。

在对开关管损耗的仿真分析中发现，超前臂的损耗发生在关断期间，而滞后臂的损耗发生在开通和关断期间。并联电容为 100 nF 时，IGBT 开关管 Z_1 和 Z_4 的损耗曲线如图 4 所示。每 50 μs 为一个周期，在一个周期里，开关管 Z_1 的损耗只发生在关断期间，而开关管 Z_4 的损耗则发生在开通和关断两种情形下。结合图 3 可知，损耗的发生取决于电压和电流的上升斜率。并联电容对电压上升具有决定性作用，

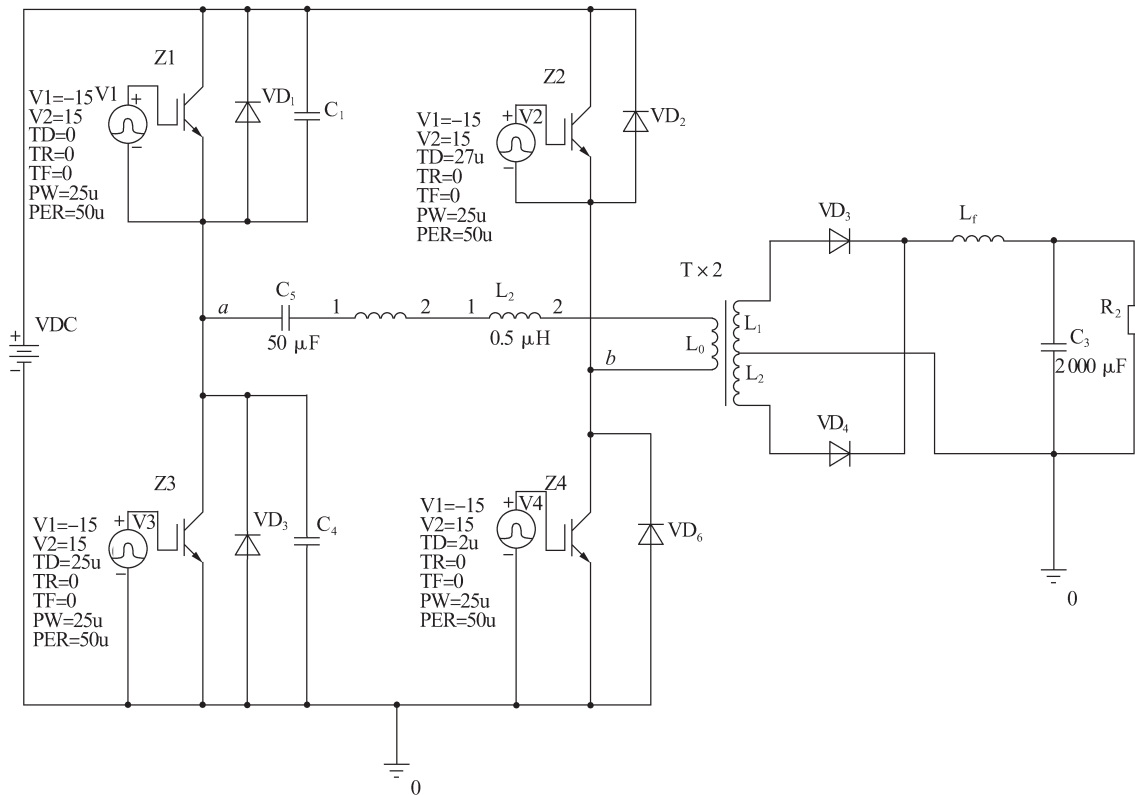


图 2 逆变结构及输出的仿真电路

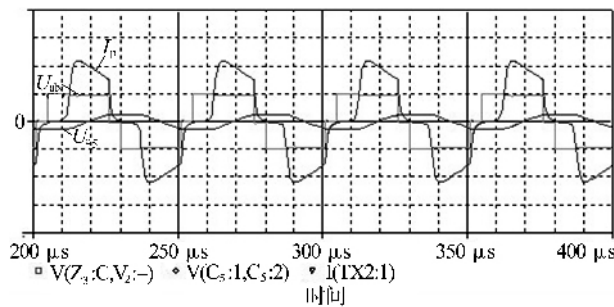


图 3 逆变电路主要仿真波形

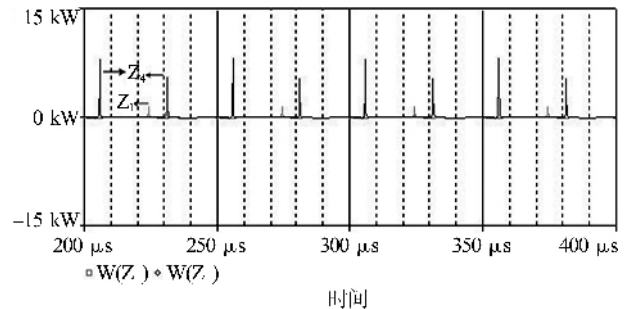


图 4 并联电容为 100 nF 的开关管损耗关系

而谐振电感 L_2 则对电流起着重要的作用。因此 本设计对并联电容进行仿真分析,如图 5 所示,随着电容 C_1 的增大,开关管 Z_1 的损耗减小,可以选择电容值大的电容,同时考虑到充放电的响应过程,因此电容不能选的太大,经过综合考虑和多次仿真分析,选取电容值在 210 nF (± 20 nF) 时,损耗较小且符合设计要求,210 nF 时的损耗如图 6 所示。谐振电感越大,电流下降就越慢,开关管损耗减小,如图 7 所示。但电感越大,环流增加,通路损耗增加,综合考虑且对电感 L_2 进行仿真分析发现,其电感值在 2 μ H 时,其曲线与 0 轴所包含的面积明显小于图 6,此时设置的参数对应的损耗较小,如图 8 所示。

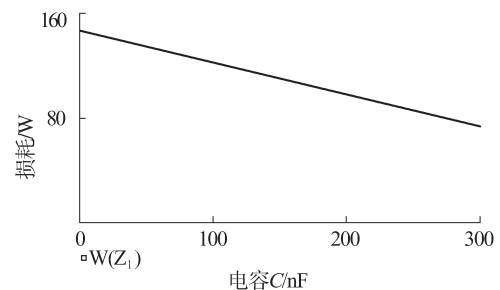


图 5 并联电容与开关管平均损耗关系

输出滤波电感两端的仿真波形如图 9 所示。由图 9 可知,经过输出整流器后的电压是一系列脉冲尖峰,这种脉冲尖峰严重影响焊接质量,接入滤波电感后的电压波形变得平滑稳定。

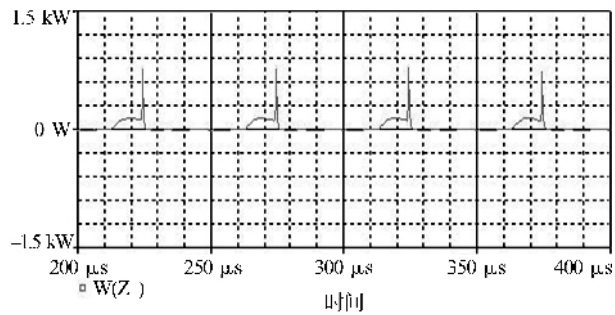


图 6 并联电容值为 210 nF 时开关管损耗关系

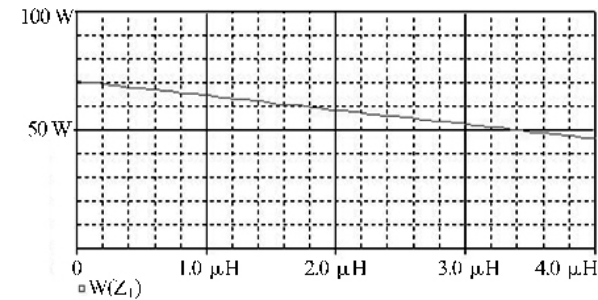


图 7 谐振电感与开关管平均损耗关系

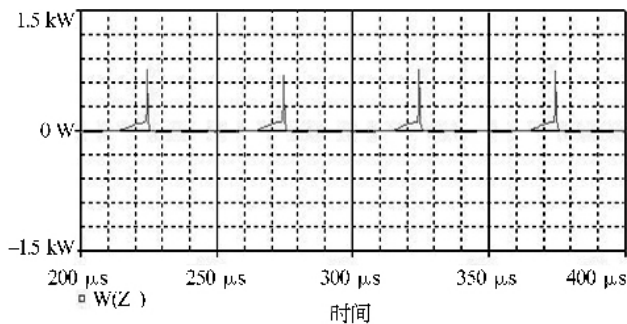


图 8 $L_2=2 \mu\text{H}$ 时开关管损耗关系

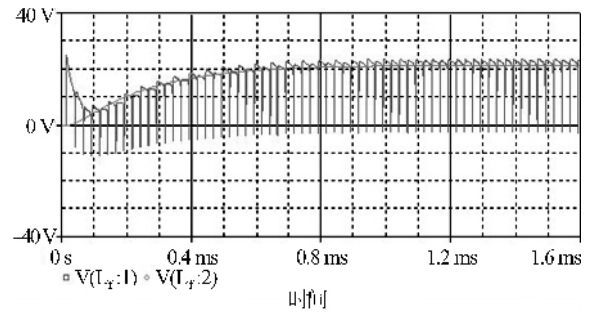


图 9 输出滤波电感两端仿真波形

5 结论

通过仿真逆变电路可知,采用软开关技术加上合理地设置并联电容和谐振电感的参数能够有效减少开关管的损耗,节约了能量,提高了效率。选取合适的磁芯材料及计算出中频变压器一、二次绕组的匝数,根据中频变压器二次电压幅值和 IGBT 开通时间等参数计算出滤波电感的电感值,中频变压器二次侧接整流二极管,然后再接滤波电感,中频变压器和滤波电感的这种组合设计使得输出负载波形平滑稳定。

参考文献:

- [1] 刘胜利.现代高频开关电源实用技术[M].北京:电子工业出版社,2001.
- [2] 钱金川,朱守敏.全桥逆变电源主电路设计[J].电工电气,2010(4):12-20.
- [3] 温永平,方臣富.基于单片机控制的软开关逆变焊接电源平台的研制[J].电焊机,2006,36(9):54-57.
- [4] 李承文.基于 DSC 的数字化逆变式多功能脉冲 TIG 焊机研制[D].甘肃:兰州理工大学,2013.

更正

2015 年第 3 期《TiNi 合金/不锈钢异种材料微激光焊缝组织性能》一文,作者单位变动,进行如下更正。

作者:刘兰胜¹,陈怀防²,王兆强²

单位:1.山东三金玻璃机械有限公司,山东 淄博 255000 2.兖矿集团大陆机械有限公司,山东 兖州 272109