

MOSFET 高频感应加热电源的研究

王生德¹, 翟玉²

(1 郑州大学电子工程系 郑州 450052; 2 河南省交通学校 郑州 450052)

摘要: 以功率 MOSFET 为开关元件, 采用多管并联的方式研制出 10kW 高频感应加热电源, 对该电源的逆变电路、控制电路、多管并联驱动等问题做了研究和实验。实验结果表明: 采用 MOSFET 多管并联时, 正的温度系数能够自动均流, 串联谐振电路简单、启动容易、谐振频率高, 适用于小功率感应加热电源系统。

关键词: 感应加热; 功率 MOSFET; 高频电源; 谐振

中图分类号: TM 921.1

文章编号: 1001-8212(2001)03-0054-04

0 引言

高频感应加热是利用电磁感应原理对工件进行加热的, 其功率密度在被加热工件内的分布可方便地通过频率的选择和感应圈的合理设计而得到。过去因受电子开关元件的制约, 高频感应加热电源一直采用电子管振荡结构, 不仅效率低、体积大、成本高, 而且存在高压危险。

近些年来, 随着电力电子器件的发展, MOSFET, IGBT, SIT 等新型自关断器件相继出现, 为高频感应加热电源的小型化、高效率提供了元件基础。MOSFET 功率场效应管以其工作频率高、易于并联、电压控制易于实现等优点, 是高频感应加热电源最有前途的半导体器件。

我们自 1997 年开始研究 MOSFET 串联谐振高频感应加热电源^[1,2], 已制出样机, 并在现场经过半年多的试用, 效果良好。本文对该样机的工作原理、控制、驱动等几个问题进行讨论。

1 串联谐振逆变器的工作原理

串联谐振逆变器也称电压型逆变器, 其原理图如图 1 所示。串联谐振型逆变器的输出电压为近似方波。由于电路工作在谐振频率附近, 使振荡电路对于基波具有最小阻抗, 所以负载电流 i_a 近似正弦波。同时, 为避免逆变器上、下桥臂间的直通, 换流必须遵循先关断后导通的原则, 在关断与导通间必须留有足够的死区时间。图 2 分别示出容性负载和感性负载的输出波形。

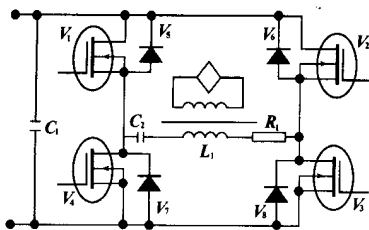
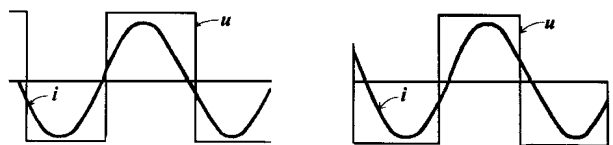


图 1 串联逆变器结构



(a) 容性负载

(b) 感性负载

图 2 负载输出波形

收稿日期: 2001-04-16

基金项目: 河南省自然科学基金(961120311)资助项目

作者简介: 王生德(1962-), 男, 讲师, 主要从事电力电子技术应用研究

当串联谐振逆变器在低端失谐时(容性负载),它的波形见图 2(a).由图可见,工作在容性负载状态时,输出电流的相位超前于电压相位,因此在负载电压仍为正时,电流先过零,上、下桥臂间的换流则从上(下)桥臂的二极管换至下(上)桥臂的 MOSFET.由于 MOSFET 寄生的反并联二极管具有慢的反向恢复特性,使得在换流时会产生较大的反向恢复电流,而使器件产生较大的开关损耗,而且在二极管反向恢复电流迅速下降至零时,会在与 MOSFET 串联的寄生电感中产生大的感生电势,而使 MOSFET 受到很高电压尖峰的冲击.当串联谐振型逆变器在高端失谐状态时(感性负载),它的工作波形见图 2(b).由图可见,工作在感性负载状态时,输出电流的相位滞后于电压相位,其换流过程是这样进行的,当上(下)桥臂的 MOSFET 关断后,负载电流换至下(上)桥臂的反并联的二极管中,在滞后一个死区时间后,下(上)桥臂的 MOSFET 加上开通脉冲等待电流自然过零后从二极管换至同桥臂的 MOSFET.由于 MOSFET 中的电流是从零开始上升的,因而基本实现了零电流开通,其开关损耗很小.另一方面, MOSFET 关断时电流尚未过零,此时仍存在一定的关断损耗,但是由于 MOSFET 关断时间很短,预留的死区不长,并且因死区而必须的功率因数角并不大,所以适当地控制逆变器的工作频率,使之略高于负载电路的谐振频率,就可以使上(下)桥臂的 MOSFET 向下(上)桥臂的反并联的二极管换流.其瞬间电流也是很小的,即 MOSFET 关断和反并联二极管开通是在小电流下发生的,这样也限制了器件的关断损耗.从上述分析可知,串联谐振型逆变器在适当的工作方式下,开关损耗很小.因而,可以工作在较高的工作频率下.这也是串联谐振型逆变器在半导体高频感应加热电源中受到更多重视的主要原因之一.

2 高频感应加热电源系统的研制

2.1 锁相环和相角锁定

根据前面的分析,在感应加热的过程中,串联逆变器总是工作在感性状态下,即工作频率总是略高于负载的谐振频率.由于工作温度和负载电参数的变化,将使逆变器偏离最佳工作点,因而,不仅使逆变桥上 MOSFET 的关断电流值增加,引起关断损耗增大,而且,当逆变器工作点高于负载谐振点较远时,在一定 Q 值下,还会使负载阻抗增大,使逆变器的功率容量不能充分利用.因此,需要设置锁相控制电路,以实现频率的自动跟踪.串联谐振型感应加热电源系统框图见图 3.

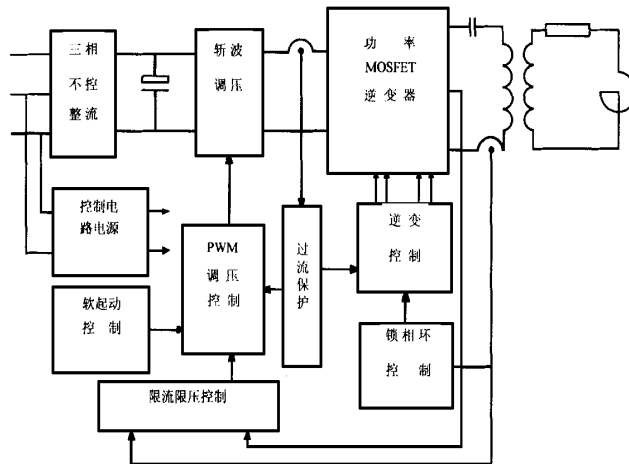


图 3 电源系统框图

图 4 示出逆变控制的原理框图.由逆变器输出反馈电压.根据电压电流的相位关系,电流信号经相位检测电路,对应于输出一定占空比的高低电平信号,滤波后得到直流电平,以反映输出电压电流的基波相移.根据设定的相角锁定值,调节器输出控制电平,调节压控振荡器的输出频率,以达到频率自动跟

踪的目的

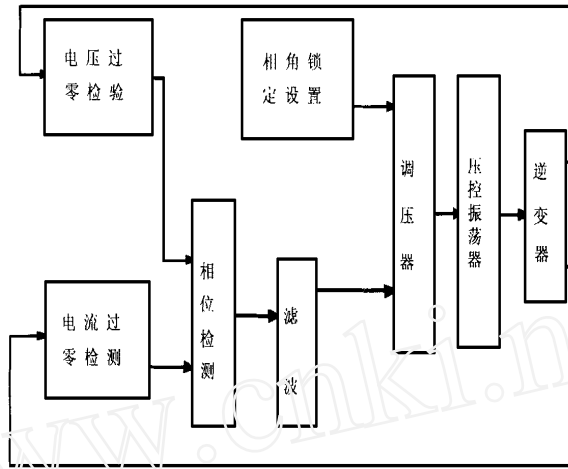


图4 逆变控制原理框图

2.2 驱动电路及开关过程中寄生振荡的抑制

虽然MOSFET是电压控制器件,但由于输入电容 C_{iss} 的存在,特别是较大容量的MOSFET,其输入电容 C_{iss} 已达到10 000pF以上而且,由于目前MOSFET的功率容量不够大,每个桥臂需多个管子并联因而,实际上要求驱动电路有相当大的驱动能力以图5为基础的驱动电路^[1]经适当改进后能满足大容量MOSFET驱动的两个基本要求:(1)脉冲前沿陡峭;(2)触发脉冲后沿来到时,栅源电容上的电荷迅速泄放在图5的驱动电路中, V_1 为脉冲放大器件; B 为激励变压器; V_2 提供激磁回馈通路; C_1 为所驱动的MOSFET等效输入电容 C_{iss} MOSFET的开通过程,实际上就是MOSFET输入电容的充电过程,开通脉冲前沿的陡峭程度取决于 C_{iss} 的充电速度因此,要求驱动电路的输出电流要足够大,内阻应尽可能小

MOSFET的关断过程,也就是MOSFET输入电容的放电过程 V_4 为 C_{iss} 放电提供了一条低阻回路当 V_1 关断时,激励脉冲变压器 B 的次级变为上负下正, V_4 处于正偏,迅速饱和和导通,使MOSFET的 C_{iss} 上的储存电荷快速放掉,可靠关断MOSFET;而 V_3 的存在,则使 C_{iss} 在充电过程中, V_4 可靠截止,以避免对充电过程的影响

为防止逆变桥上、下桥臂的直通短路,除了驱动器本身要求抗干扰能力强以外,对电压型逆变器上下桥臂的驱动信号,必须保证两臂先关断后导通因而,要求开通时刻应滞后于关断时刻,即存在一个死区时间图6示出上下桥臂的驱动信号由图可见,开通脉冲约滞后关断时刻250ns,从而保证了足够的死区时间

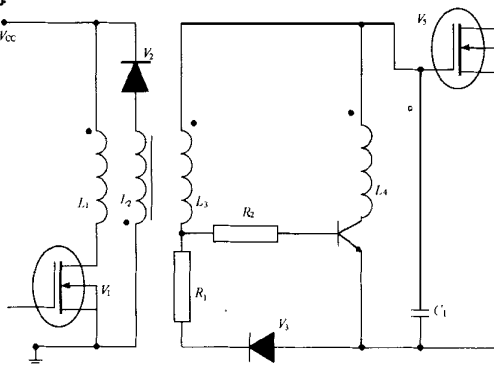


图5 驱动电路原理图

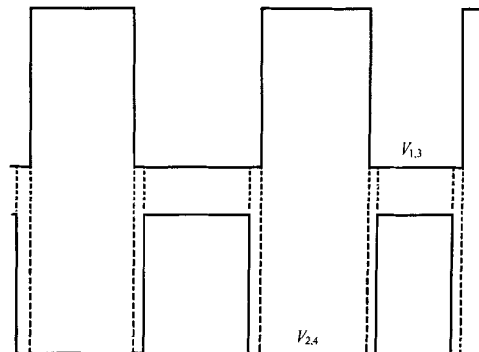


图6 上、下桥臂的驱动信号

MOSFET 除了存在输入电容 C_{iss} 外, 其漏-源及漏-栅极间都存在着寄生电容。同时, 逆变桥连接到各 MOSFET 及直流端与逆变桥间的连线都存在有寄生电感。由于 MOSFET 的开关速度较快, 在开关瞬间线路的寄生电感将与 MOSFET 的寄生电容产生极高频的寄生振荡, 若不采取补偿措施, 必将使 MOSFET 在关断时产生很大的过电压, 而降低 MOSFET 的有效工作电压。更严重的是, 在开关瞬间, 主电路中的高频寄生振荡电压会通过漏-栅极间的寄生电容耦合到 MOSFET 的输入端。由于驱动信号幅值只有十几伏, 因此, 主电路中很小的高频寄生振荡, 经密勒效应耦合到输入端时, 就会造成关断管的误导通, 导致上下桥臂的直通。这里采取的措施是, 第一, 直流端加上高频吸收电容; 第二, MOSFET 漏-源并联补偿电容; 第三, 高频主线穿过阻尼磁环。多种措施使高频寄生振荡基本得以抑制。

3 实验结果及结论

本文研制的样机是在大量试验的基础上完成的, 该样机能适应高频感应加热的工作要求。图 7 示出样机在某负载条件下, 逆变器工作在直流 280V, 直流电流 35A 时的输出电压电流波形。此时功率超过 10kW, 工作频率为 70kHz。

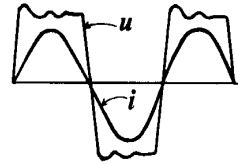


图 7 样机输出波形

实验结果表明, 串联逆变器较适合高频工作, 但在高频工况下, 应特别注意寄生参数在线路中的影响。随着廉价、大容量功率 MOSFET 的推出, 半导体高频感应加热电源将很快替代电子管高频电源。

参考文献:

- [1] 郑春龙 功率场效应晶体管及其在高频加热电源中的应用 浙江大学学报(自然科学版), 1998, (3): 21~ 25
- [2] 吴兆麟 串联逆变式高频感应加热电源 电力电子技术, 1994, 28: 18~ 22

MOSFET High Frequency Induction Heating Supply

Wang Shengde¹, Zhai Yu²

(1. Department of Electronic Engineering, Zhengzhou University;

2. The Traffic School of Henan Province, Zhengzhou)

Abstract: With multidevices parallel connected and power MOSFETs as power switch, a 10 kW HF induction heating power supply is completed. The research and experiment are implemented for the inverters circuit, control circuit and multidevices parallel drive. The experiment results verify that MOSFET multidevices parallel can automaticly balance current as positive temperature characteristics. The series resonance circuit is simple, its start easy and resonance-frequency high. It is suitable in small power induction heating supply.

Key words: induction heating; power MOSFETs; high-frequency power supplies; resonance