

文章编号: 1001-4322(2002)06-0954-03

绝缘栅双极晶体管固体开关技术研究*

甘孔银¹, 汤宝寅¹, 王小峰¹, 王浪平¹, 王松雁¹, 朱剑豪², 武洪臣³

(1. 哈尔滨工业大学 现代焊接生产技术国家级重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150001;

2. 香港城市大学 应用物理和材料系, 香港九龙达之路; 3. 北京航天工艺研究所, 北京 100024)

摘 要: 采用二只 1.2kV, 75A 的绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 串联, 对用于加速器的 IGBT 固体开关技术进行了研究; 通过采取动态电压和静态电压平衡措施来解决 IGBT 串联中的瞬态电压平衡问题。在不同工作条件下, 串联 IGBT 开关工作性能稳定, 重复性好。在纯阻性负载上得到了上升时间约 300ns、下降时间约 1.64 μ s、峰值电压 1.8kV 的输出。

关键词: 串联; IGBT; 固体开关

中图分类号: TN602 **文献标识码:** A

高重复频率、高平均输出功率、窄脉冲开关技术一直是脉冲功率界研究的重点。对此, 脉冲功率界有不同的看法: 一种认为需要采用磁开关技术; 而另一种观点则认为只有固体开关技术才有可能满足需要。但还有一种观点认为目前这两种开关技术都不能实现上述目标, 需要对气体开关进行改进以满足工业和科研的需要。近年, LLNL 在高级闪光照相调制器 (ARM) 上取得的突破大大地推动了固体开关技术的发展。固体开关正逐渐取代传统的一些开关器件, 如真空电子管等^[1-3]。固体开关是由许多功率元件构成的, 依照具体的应用范围, 功率器件可以选用功率 MOSFET, IGBT 和 GTO 等器件。例如: LLNL 在 ARM 上就采用了功率 MOSFET 和 IGBT (绝缘栅双极晶体管), 其中在主开关中采用功率 MOSFET, 而 IGBT 则用作复位开关。

由于功率器件都有一定电压和电流限制, 要想获得大电流、高电压输出, 一般都需要将这些功率器件串联和并联以获得很高的输出电压和大的输出电流。功率器件的串联和并联会涉及到不同的技术难题, 本文以 IGBT 为例来研究功率器件的串联技术。IGBT 的串联涉及到高压隔离、动态电压平衡和同步等技术问题^[4,5]。其中动态电压平衡和同步问题是固体开关研制的关键。由于在闪光照相需要 IGBT 固体开关技术, 我们进行了双 IGBT 串联试验, 并对实验结果进行了分析, 为将来的工作打下一定基础。

1 实验安排

图 1 是双 IGBT 串联实验电路示意图。图中的 IGBT 管采用的是西安爱帕克公司封装生产的 GA75TS120U (该 IGBT 管半导体芯片是由国际镇流器公司生产的)。由于 GA75TS120U 是半桥式 IGBT 对管, 在实验中采用对管中的一只。IGBT 的门驱动电源由隔离驱动电源提供, 门驱动信号通过光耦 HP2631 来实现隔离, 根据 IGBT 的技术参数, 采用 MAX626 来驱动 IGBT。电容 C_1, C_2 ; 二极管 D_1, D_2 和压敏电阻 MOV1, MOV2 构成了 IGBT 的动态电压平衡模块, 该模块的设计是基于串联 IGBT 的导通时间差异而设计的; IGBT 导通时间的差异可以通过计算控制信号在光耦与 MAX626 中的传输时间差异以及 IGBT 的门电量来得到。

根据 HP, MAXIM 和西安爱帕克公司的产品手册, IGBT 导通时间的最大差异估计为 500ns, 因此将 C_1 和 C_2 选为 0.68nF 就可确保 IGBT 在导通时不会出现过压。电阻 R_1, R_3 的主要作用是当 IGBT 未导通时保证各 IGBT 上电压均匀分布。IGBT 的控制信号由自制的脉冲信号发生器提供, 脉冲宽度可在 10 μ s 到 200 μ s 范围内变化, 脉冲重复频率可以在几十 Hz 和几千 Hz 之间变化。试验时, 脉冲信号发生器发出不同脉冲宽度、不同频率的控制信号传送给光耦, 通过测量 R_{10} 上的电压波形即可得到 IGBT 的工作情况。

电路的工作过程如下: 2kV 直流电源通过电阻 R_{11} 向储能电容 C_{13} 充电, IGBT 管 Z_1, Z_2 在控制信号作用下导通, 电容 C_{13} 向负载 R_0 放电。由于受试验条件限制, 该电路中储能电容 C_{13} 比较小, 为了在负载上得到平顶降落比较小的脉冲波形, 因此在试验中负载取得比较大。

* 收稿日期: 2001-11-17; 修订日期: 2002-04-12

基金项目: 高能束流加工技术重点实验室基金资助课题; 香港城市大学研究基金资助课题; 中国工程物理研究院基金资助课题
作者简介: 甘孔银 (1967-), 男, 博士生, 主要从事固体开关技术和等离子体表面处理技术研究; E-mail: Tangby@hope.hit.edu.cn.

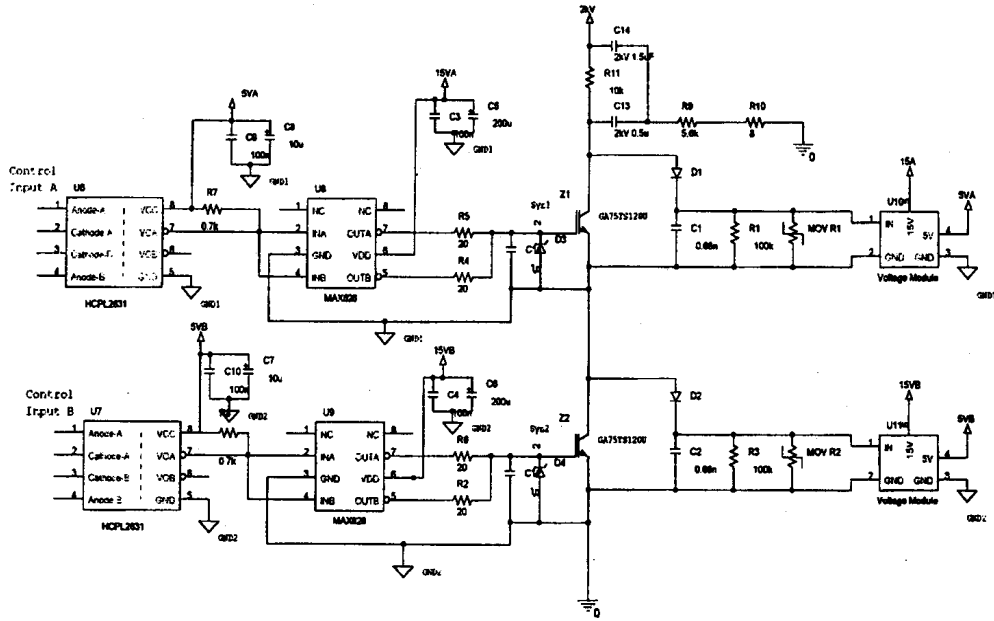


Fig. 1 Circuit of the two series IGBT solid state switch

图 1 双 IGBT 串联开关试验电路示意图

2 实验结果

通过调节脉冲信号发生器的输出,试验了不同脉冲宽度、不同脉冲频率情况下双 IGBT 的工作情况。图 2 是重复频率为 200Hz、峰值电压 1.8kV、脉冲宽度为 10, 20, 60, 150μs 时,负载上的电压波形。根据示波器测量结果,上述波形的上升时间约为 300ns,下降时间约为 1.64μs。

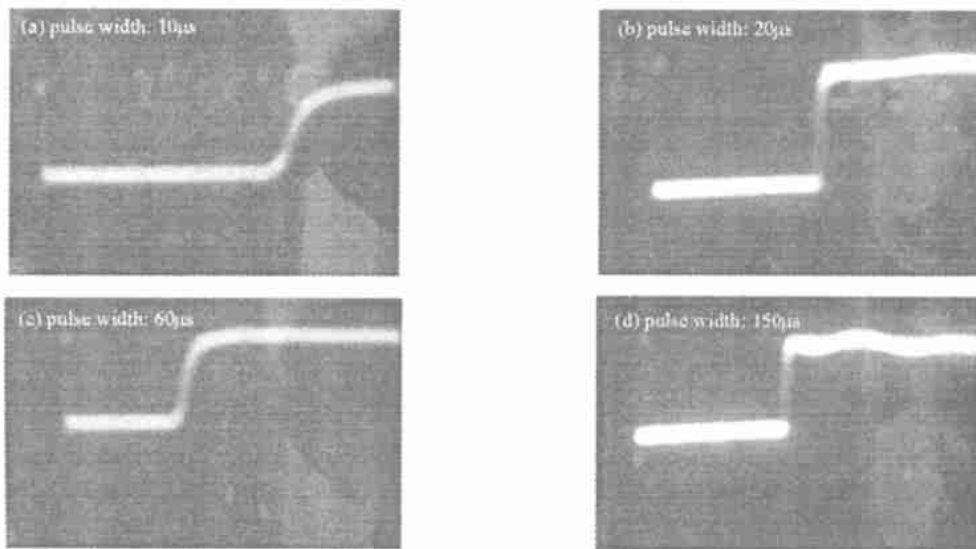


Fig. 2 Voltage waveforms on the load

图 2 负载 R₉ 上的电压波形

3 模拟结果

为了对实验结果和 IGBT 串联工作有更好的理解,采用脉冲功率界比较流行的 OrCAD 对实验进行模拟。由于目前还没有 PSPICE 模型来描述 GA75TS120U 的行为,因此首先要根据厂家提供的 GA75TS120U 的技术数据来建立 PSPICE 模型;借助于 OrCAD,建立了如下的 GA75TS120U 的 SPICE 模型。模型如下:

```
.MODEL GA50TS120U NIGBT
+ TAU = 324.14E - 9
```

+ KP = 24.791
 + AREA = 25.000E - 6
 + AGD = 10.000E - 6
 + WB = 117.00E - 6
 + VT = 5.1972
 + BVF = 2
 + KF = 0.9621
 + CGS = 83.250E - 9
 + COXD = 180.26E - 9
 + VID = - 5

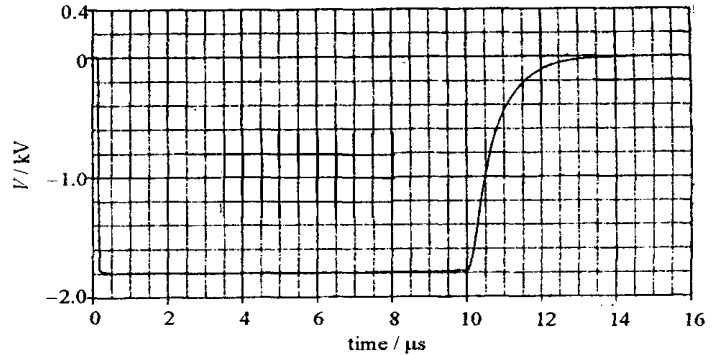


Fig. 3 Voltage waveforms on the load in the Fig. 1 given by computer simulation

经过我们在其它 IGBT 上的试验工作

图 3 双 IGBT 串联开关实验的模拟结果,图中的波形是负载上的电压波形

和模拟结果表明^[6],采用上述方法所建立的 GA75TS120U 模型是比较真实地反应 GA75TS120U 的工作特性。因此可以在 OrCAD 中采用该模型。图 3 是图 1 电路的模拟结果,仅给出了脉冲宽度为 10 μ s 的电压波形,从模拟结果来看,上升时间为 30ns,与实验结果相差很大;下降时间为 1.50 μ s,与实验结果吻合得比较好。造成上升时间模拟值与实验值相差比较大的原因可能有:建模时采用的门电量与真实样品的门电量相差比较大;没有考虑实验电路中的电感对上升时间的影响;实验测量上的误差;GA75TS120U IGBT 建模方面可能有不适当之处。究竟是哪一种原因造成上述结果,还需要更进一步工作。

4 总 结

采用二只 1200V,75A,GA75TS120U 设计的固体开关可以输出峰值电压 1.8kV、上升时间 300ns、下降时间为 1.64 μ s、脉冲宽度可调节、脉冲重复频率可调的电压波形。除上升时间外,OrCAD 给出的模拟结果与实验结果都比较接近,上述工作将为闪光照相中的复位 IGBT 开关和 RF 加速器新型调制器提供技术基础。

参考文献:

- [1] Chu P K, Tang B Y, Wang L P, et al. Third-generation plasma immersion ion implanter for biomedical materials and research[J]. *Review of Scientific Instruments*, 2001, 72(3):1660—1665.
- [2] Kirbie H, Saethre R, Heino M, et al. MHz repetition rate solid state driver for high current induction accelerators[]. Proceeding of 1999 Particle Accelerator Conference (PAC99) [C]. New York, 1999. 1:625—627.
- [3] Myers M C, et al. Pulsed microwave source utilizing an all solid state driver for the generation of time-modulated ECR plasmas[J]. *IEEE International Pulsed Power Conference*, 1999, 2:803—806.
- [4] Saethre R, Kirbie H, Heino M, et al. Optical control, diagnostic and power supply system for a solid state induction modulator[R]. DE98058828.
- [5] Heino M, Kirbie M. Optical isolation transformer for pulsed power applications[J]. *IEEE International Pulsed Power Conference*, 1999, 1:250—252.
- [6] 甘孔银, 汤宝寅, 王浪平, 等. 等离子体浸没离子注入调制器机理研究[R]. 2001 年国防科技报告. (Gan K Y, Tang B Y, Wang L R, et al. Research on the modulator for plasma immersion ion implantation. National Defense Science and Technology Reports. 2001.

Research on IGBT solid state switch

GAN Kong-yin¹, TANG Bao-yin¹, WANG Xiao-feng¹, WANG Lang-ping¹,
 WANG Shong-yan¹, Chu Paul K², WU Hong-chen³

(1. National Key Laboratory of Advanced Welding Production and Technology,
 Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;

2. The Department of the Applied Physics and Material Science, City University of Hong Kong,
 Tat Chee Avenue, Kowloon, Hong Kong;

3. Beijing Aeronautic Techniques Institute, P. O. Box 340-104, Beijing 100024, China)

Abstract: The experiments on the IGBT solid state switch for induction accelerator was carried out with two series 1.2kV, 75A IGBT (GA75TS120U). The static and dynamic balancing modules were carried out with metal oxide varistors, capacities and diodes in order to suppress the over-voltage during IGBT on and off. Experimental results show that IGBT solid state switch works very stable under the different conditions. It can output peak voltage 1.8kV, rise time 300ns, fall time 1.64 μ s waveforms on the loads. The simulation data using OrCAD are in accord with experimental results except the rise time.

Key words: series; IGBT; solid state switch