

半导体开关在脉冲功率技术中的应用*

孟志鹏¹⁾ 张自成 杨汉武 钱宝良

(国防科技大学光电科学与工程学院 长沙 410073)

摘要 国内外脉冲功率技术的一个重要的发展趋势,即高功率、长脉冲、高重频以及小型化,由此以半导体器件为基础的全固态脉冲功率技术得到了广泛的关注和应用;文章以晶闸管(SCR)、绝缘门双极晶体管(IGBT)以及半导体断路器(SOS)的应用为例进行了说明;对用晶闸管控制的充电系统、IGBT应用于Marx发生器和脉冲变压器驱动源以及半导体断路器应用做了较为详细的原理性说明,并给出了一些实验结果.半导体开关技术的应用在一定程度上解决了传统脉冲功率发生器装置中存在的短寿命,低重复频率,稳定性差等缺点,具有广泛的应用前景.

关键词 半导体开关 全固态 脉冲功率

1 引言

由于在国防科研、高新技术研究和民用工业等领域中有着越来越广泛的重要应用,近50年来,脉冲功率技术取得了长足的发展^[1].但是,它的发展也存在诸多限制因素,比如开关技术.在常规脉冲功率技术中,常见的开关是气体开关、真空开关、液体开关和固体开关,气体开关、液体开关等填充介质的开关有一些明显的缺点,例如寿命短、损耗大、稳定性差,重频难以提高等.这些缺点严重影响脉冲功率系统的寿命、稳定性和可靠性,重频运行受到制约.近年来,半导体开关技术在开关速度、功率容量等方面的改善,使得它逐渐应用到了脉冲功率中,出现了全固态脉冲功率技术,为脉冲功率技术的发展开辟了一条崭新的道路.

2 半导体开关在脉冲功率技术中的应用

固体半导体开关发展很快,其性能日趋得到改善,例如半导体断路器(SOS)、金属氧化物场效应晶体管开关(MOSFET)和绝缘门双极晶体管开关(IGBT)等,下面就以晶闸管(SCR)、IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)和半导体断路器(SOS)在脉冲功率中的应用为例进行说明.

2.1 晶闸管在高压发生器中的应用

其典型的结构如图1所示.

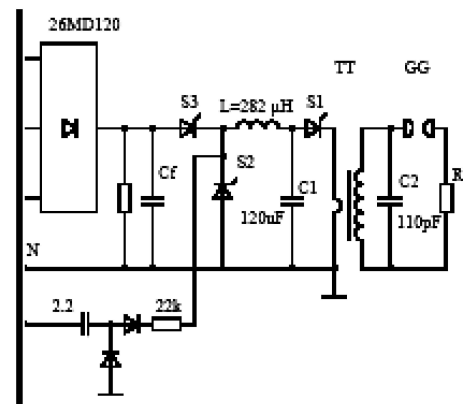


图1 电路图

由于工艺制造水平的限制,现有型号的晶闸管额定电压和额定电流都不是太高.为提高通流能力,S1由两个高速晶闸管TBI153-1000并联组成,其阴极与变压器初级线圈相连接;S2,S3为两个共阴极晶闸管,26MD120为半波整流硅堆,整个系统就是通过控制S1,S2,S3来实现对初级线圈的充电,进而在负载上得到高压输出的.其工作原理为:首先通过倍压和整流系统给 C_f 和 C_1 充电到指定值,接着S1导通, C_1 开始给变压器原边线圈谐振充电,当电流接近于零(低于晶闸管的维持电流)时S1断开,此时 C_1 上的电压与初

2008-01-07 收稿

* 国家高技术发展项目基金资助

1) E-mail: mengzhipeng@163.com

始时刻电压反向; S2 导通, C_1 与 S2, L 构成回路, 形成振荡, 当 C_1 两端电压再次反向时控制 S3 导通, C_f 再通过 L 对 C_1 充电, 直至 C_1 达到初始时的电压 (C_1 上电压的大小可以通过控制 S3 的导通时间来调节)。这样就完成了一个周期的充电过程。

利用上述装置我们进行了试验, 得到了如图 2 所示的波形, 其中波形一、二分别为 S2, S3 共阴极处的电压波形和通过大电感 L 的电流波形, 并且经过变比为 1:1000 的脉冲变压器升压后在负载上得到了 390kV 的高电压脉冲。试验表明该装置性能稳定, 并实现了重频运行, 最高频率可达 1kHz 以上。

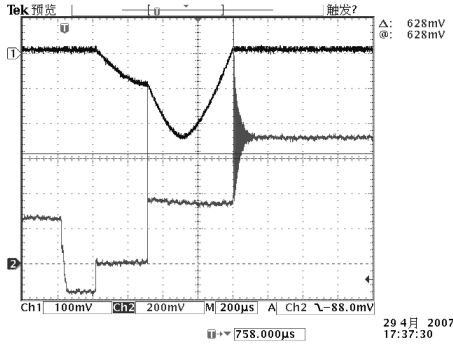


图 2 试验结果波形

2.2 IGBT 在 Marx 发生器中的应用^[2]

韩国科学家 Ju Won Baek 等人提出了如图 3 所示的 Marx 发生器结构, 其中包含了 32 个 IGBT 开关, 且采用了图 4 所示的两个 1200V, 30A 的 IGBT 并联的形式, 这种结构不但提高了开关允许的电压及电流值, 而且减小了开关自身的电感。

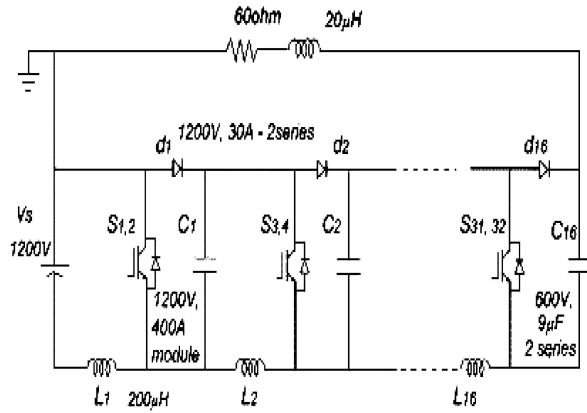


图 3 电路图

他们对上述装置进行了试验, 得到了如图 5 所示的结果。其中电压大约为 20kV, 电流大约为 300A, 脉冲上升时间小于 1µs, 并且装置重复运行频率达到了 1kHz。

可以看出, 这种基于 IGBT 的 Marx 发生器具有以下优点: 快的上升前沿, 平整的波顶, 易实现更高电压

输出, 高重频以及全固态、模块化等。

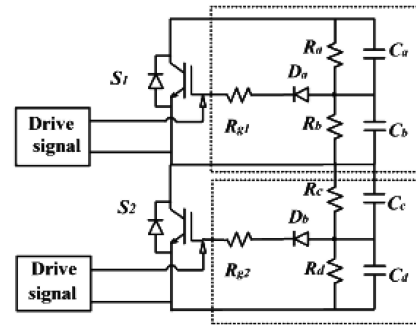


图 4 IGBT 并联驱动电路结构

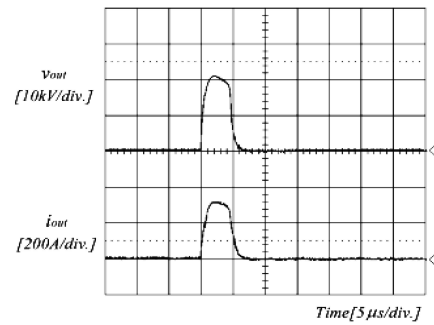


图 5 电压及电流输出波形

2.3 IGBT 在脉冲变压器型驱动源中的应用^[3]

另一种 IGBT 的典型应用是在脉冲变压器驱动源中的应用, 其典型结构如图 6, 这种结构可以避免在半导体开关两端产生高压, 从而超过开关允许的最大电压 (一般为 1kV—6kV), 将开关损坏, 另一方面它还将充电回路与负载 (高压端) 隔离开来。

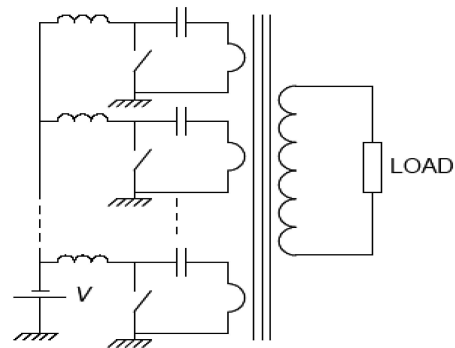


图 6 结构图

但是它也存在一些缺点, 比如变压器自身存在的剩磁、漏磁损耗, 上升前沿慢以及对开关同步性控制要求较高等缺点。

近年来不断提出了一些改进型的结构, 有效地弥补了上述的缺点。

2.4 半导体断路器 SOS 在全固态脉冲功率中的应用

俄罗斯人在这方面做了大量的工作. 例如电物理研究所的技术路线见图 7.

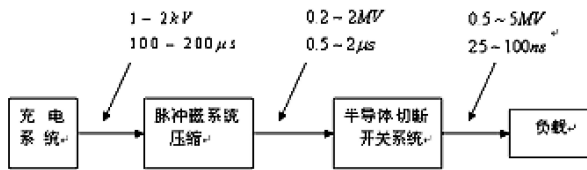


图 7 流程图

图 7 可以在负载上产生 0.6—1MV, 1.0—2.5kA, 脉宽在 40—60ns 的电流, 重复频率可达 500Hz. 这种技术路线主要应用于工业的环境处理和驱动 BWO.

3 半导体开关的应用前景

从上面的讨论可以看出, 半导体开关技术在脉冲功率技术中, 已经得到了相当广泛的应用, 它解决了常规开关 (如气体开关、液体开关等填充介质的开关) 固有的一些缺点: 寿命短、损耗大、稳定性差、重频难以提高等, 显示了其优越性. 但同时不可避免的是它也存在一些缺点, 例如控制的同步性、功率容量、散热等方面问题.

为了克服以上缺点, 我们需要在以下几个方面有所突破: (1) 发展高质量的半导体开关, 提高其各项性能指标; (2) 新颖的散热技术; (3) 半控和全控半导体系统的控制和保护; (4) 系统效率的优化和小型化.

参考文献(References)

- LIU X S. High Pulsed Power Technology. Beijing: National Defense Industry Press, 2005 (in Chinese)
(刘锡三. 高功率脉冲功率技术. 北京: 国防工业出版社, 2005)
- Ju Won Baek, Member, IEEE, Dong Wook Yoo, Geun Hie Rim, Member, IEEE, and Jih-Sheng(Jason)Lai, Senior Member, IEEE, "Solid State Marx Generator Using Series-Connected IGBTs", IEEE Transactions on Plasma Science, 2005, 33(4)
- Dr. Stephan Roche. Solid State Pulsed Power Systems, Physique & Industrie, 17 rue de la rente Logerot, 21160 Marsannay la cote, France

Applications of Semiconductor Switches in Pulsed Power Technology*

MENG Zhi-Peng¹⁾ ZHANG Zi-Cheng YANG Han-Wu QIAN Bao-Liang

(College of Photoelectric Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract Pulsed power technology has an important trend in the world, which has high power, long pulse, high operating frequency and miniaturization. Thus all-solid-state pulsed power technologies based on semiconductor devices have drawn more attention and widely used. This article introduces several kinds of semiconductor switches, such as SCR, IGBT, and SOS. The charging system based on SCR, the Marx generator, and pulsed transformer topology using IGBTs, and the system using SOS are described in detail. Some experimental results are also given. The use of semiconductor switches technology in solid state Marx generate can solve the disappointments such as short life time, low operating frequency, low reliability of conventional pulsed power equipments and has extensive perspective.

Key words semiconductor switch, all-solid-state, pulsed power

Received 7 January 2008

* Supported by National High Technology Research and Development Program of China

1) E-mail: mengzhipeng@163.com