文章编号:1004-2474(2018)06-0832-03

新型高压脉冲体声波延迟线的设计

钟 华1,汪 庆1,郑泽渔2,余军红1,邓 君1,冉汉政1

(1.中国工程物理研究院电子工程研究所,四川 绵阳 611999;2.中国电子科技集团公司第二十六研究所,重庆 400060)

摘 要:该文通过对换能器和延迟介质的优化设计,实现了一种新型高压脉冲体声波延迟线的研制。相比传统的声波延迟线,设计的延迟线具有高脉冲耐压性能,耐压高达2kV;同时,其延迟线插损小,输出功率较大(瞬态可达2W),可充当新型无源功率 MOS 管驱动器,无需额外能量供给。试验表明设计的延迟线在大电流放电干扰情况下具有高延迟稳定性。

关键词:高压脉冲;体声波延迟线;无源功率驱动器;高延迟稳定性

中图分类号:TN65 文献标识码:A DOI:10.11977/j.issn.1004-2474.2018.06.006

Design of Novel High Voltage Pulse Bulk Acoustic Wave Delay Line

ZHONG Hua¹, WANG Qing¹, ZHENG Zeyu², YU Junhong¹, DENG Jun¹, RAN Hanzheng¹

(1. Institute of Electronic Engineering, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 611999, China;

2. The 26th Institute of China Electronics Technology Corporation, Chongqing 400060, China)

Abstract: A novel high voltage pulse bulk acoustic wave delay line has been developed through optimizing the transducer and delay medium. Compared with the conventional acoustic wave delay line, the designed delay line has high pulse voltage withstand property which is up to 2 kV. At the same time, the insert loss of the delay line is low and the output power is high (transient power up to 2 W) which can act as passive power MOS tube driver without additional energy supply. The experimental results indicate that the delay line has high delay stability in the case of large current discharge interference.

Key words: high voltage pulse; bulk acoustic wave delay line; passive power driver; high delay stability

0 引言

传统实现高压脉冲延时的方法主要有集中参数 延时法、数字延时法、电缆延时法3种。集中参数延 时法(如电感电容延时)可实现高压脉冲长延迟,但其 精度不高且无法实现时延微调。数字延时法实现高 压脉冲延时,需要先降压,而后数字延时,最后升压处 理,其过程相对复杂,且抗干扰能力相对较差^[1]。电 缆延时法可实现特高压脉冲延迟,但实现长延时所需 电缆长度较长^[2]。本文在实现高精度脉冲延时的同 时,又要保证高抗扰能力和长延时、小体积,故而提 出了利用体声波(BAW)实现高压脉冲精密长延时。

由于声波速度比电磁波慢 10⁴~10⁵ 量级,实现 同等延时时间,体声波延迟线比电延迟线体积更 小^[3]。体声波延迟线已经在通信系统、雷达系统及 日常消费的电子产品中大量使用^[4-5],但其应用主要 集中在低压领域,且体声波延迟线的输出功率不 高^[6]。本文的挑战有两个:

 1)如何提升体声波延迟线的高脉冲耐压能力, 使其能应用于高压脉冲领域。

2)提高其输出功率(输入一定),确保能够导通 功率金属-氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET)。

1 高压脉冲体声波延迟线的设计

图 1 为高压脉冲体声波延迟线结构示意图。延迟线由输入换能器、延迟玻璃介质和输出换能器构成。换能器由上、下电极(金材料)和压电陶瓷(PZT)压电层构成。



收稿日期:2018-02-18

基金项目:电子工程研究所基金资助项目(S20160804)

作者简介:钟华(1989-),男,四川宜宾人,工程师,硕士,主要从事高压脉冲技术的研究。

为实现高脉冲耐压,需要对换能器压电层进行 加厚,但同时需平衡耐压与插损之间的矛盾,优化选 择压电材料 PZT,厚度为 0.25 mm。

为实现较高的温度稳定性,延迟介质选择零温 度系数(ZTC)玻璃(5×10⁻⁶ μ °C⁻¹)。折中考虑玻 璃机械强度与插损,最终优化玻璃厚为1 mm。通 过换能器优化和延迟介质选择,降低插损,提升延迟 线输出幅值;同时在延迟线输出端增加无源调理网 络,提高输出信号能量利用率,实现对功率 MOS-FET 的驱动导通。综合考虑正弦衰减脉冲的频率 和延迟线输出信号陡前沿,最终确定延迟线中心频 率 $f_0 = 4$ MHz。

2 高脉冲耐压

为实现高脉冲耐压,需要对换能器压电层进行 加厚,但同时兼顾插损,最终确定压电层厚为 0.25 mm。耐压试验框图如图 2 所示,输入信号 S_{in} 为正弦脉冲衰减信号,峰值电压约 2 kV;延迟线两 端的地进行隔离,使输入端高压地与输出端低压地 不直接相连,避免电磁干扰影响输出信号 S_{out};输出 端口接 50 Ω 负载电阻。



图 2 耐压试验框图

通过一个 RLC 放电电路实现高压脉冲的产生, 并加载在延迟线输入端。图 3 为延迟线针对不同幅 值高压正弦衰减脉冲的输入响应,输入脉冲最大幅 值分别为 1 kV、1.6 kV 和 2.2 kV。延迟线的耐压 达 2.2 kV,且输出电压幅值由输入信号幅值和主频 共同决定。



图 3 延迟线针对不同高压脉冲的响应

此部分试验主要验证了延迟线具有高脉冲耐压 能力和宽信号输入适应能力。

3 高驱动能力

在工程应用中,延迟线需要连接负载,如电阻、 电容等。本文为简化电路结构,需要将 MOSFET 作为延迟线的输出负载,试验框图如图 4 所示。延 迟线输入信号由 RLC 放电电路提供,最高电压达 1.6 kV。



图 4 延迟线驱动试验框图

在实际工程应用中,MOSFET 的门源极之间需 要串接一个保护电阻^[7],图 5 是负载为典型 MOS-FET 电路时的响应,门源极保护电阻分别选择2 kΩ 和 16 kΩ。在 RLC 放电时刻,延迟线输出信号受到 一定程度的干扰。由图可知,保护电阻为16 kΩ时 为较佳的选择,能确定延迟线输出信号可快速导通 功率 MOSFET。



图 5 延迟线驱动 MOSFET 试验曲线

这部分主要验证了延迟线的高输出驱动能力。 相关试验结果表明延迟线输出信号能够导通功率 MOSFET,且能应用于高压触发电路。

4 延时稳定性

图 6 为延迟稳定性试验框图。延迟时间为信号 S_{in} 到 MOS 管门极电压 V_g ,共做了 30 次延迟稳定 性试验,均值为 10.39 μ s,偏差小于 10 ns。结果表 明在大电流干扰情况下,延迟线仍具有较高的延迟 稳定特性,且延迟精度比一些高频晶振更高。图 7 为相关的电压信号,正弦衰减脉冲的幅值为 1.6 kV。当延迟脉冲给 MOSFET 的门极电容充电 后, V_g 快速增长到 10 V 来导通 MOSFET,瞬态最 高功率可达 2 W。MOSFET 导通后,漏极电压 V_d 为 27 V~0。MOSFET 的导通时间约为 390 ns。



5 结束语

本文提出了一种全新的高压脉冲延时方法, 即利用声波设计了全新的高压体声波脉冲延迟 线。与传统低压声波延迟线相比,设计的延迟线 耐压高达2.2 kV,同时延迟线具有高输出驱动能 力(瞬态功率高达 2 W),能作为新型无源功率 MOSFET驱动器,直接驱动导通功率 MOSFET, 即使在大电流放电干扰下,延迟线也具有较高的 延迟稳定性。

(上接第 831 页)

的成像面范围大,操作简单,在对精度要求不高的偏振轴角度调整中具有良好的实用前景。

参考文献:

[1] 王晓新,陈华志,吴中超,等.利用双晶体实现的低频保 偏光纤声光移频器[J]. 压电与声光,2016,38(3): 394-397.

WANG Xiaoxin, CHEN Huazhi, WU Zhongchao, et al. A polarization maintaining fiber coupled acousto optical frequency shifter via double crystals for low frequency shifting[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2016, 38 (3):394-397.

[2] 徐曜,裴丽,李卓轩,等.全光纤保偏声光调制器的研究与应用[J].压电与声光,2013,35(4):496-499.
XU Yao, PEI Li, LI Zhuoxuan, et al. The research and application of polarization all fiber acoustooptic modulator[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2013, 35(4): 496-499.

参考文献:

- [1] SEFERIADIS G, POUCHET M, GOUGH M P. FP-GA implementation of a delay-line readout system for a particle detector[J]. Measurement, 2006, 39: 90-99.
- [2] 邵英斌.高压脉冲延迟线设计[J].爆轰波与冲击波, 2001,4:139-142.
 SHAO Yingbin. High voltage pulse delay line design [J]. Detonation and Shock Waves, 2001, 4:139-142.
- [3] 朱昌安,郑泽渔,李世红,等.2 μs 低损耗声体波微波 延迟线[J]. 压电与声光,2010,32(4):521-523.
 ZHU Chang'an, ZHENG Zeyu, LI Shihong, et al. 2 μs low loss BAW microwave delay line[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2010, 32(4):521-523.
- [4] 王宁,汤劲松.声体波延迟线在电子战中的应用[J]. 压电与声光,1999,21(1):1-3.
 WANG Ning, TANG Jingsong. The application of BAW delay line in EW system[J]. Piezoelectrics &. Acoustooptics, 1999, 21(1):1-3.
- [5] 周小平,王宗富,陈运祥,等. 倍频程宽带声体波微波 延迟线[J]. 压电与声光,2004,26(5):345-347.
 ZHOU Xiaoping, WANG Zongfu, CHEN Yunxiang, et al. Octave band BAW microwave delay line [J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2004, 26(5):345-347.
- [6] YIN Ruocheng, YU Siyuan, HE Cheng, et al. Bulk acoustic wave delay line in acoustic superlattices [J]. Applied Physics Letter, 2010, 97(9): 1-3.
- [7] 张朕滔,张雷,谭宇航,等.脉冲电压下压力对交联聚乙烯-硅橡胶界面电痕破坏的影响[J].重庆理工大学学报(自然科学),2016(10):141-146.
 ZHANG Zhentao, ZHANG Lei, TAN Yuhang, et al. Influence of pressure on destruction of crosslinked polyethylene-silicone rubber interface electric mark under pulse voltage[J]. Journal of Chongqing University of Technology(Natural Science),2016(10):141-146.
- [3] 刘振华,冯迪,杨德伟,等. Panda 型保偏光纤偏振轴 检测技术[J]. 红外与激光工程,2014,43(10): 3388-3393.
- [4] 翁晓泉,冯迪,黄怀波,等. 基于光强互相关的保偏 光纤定轴仿真[J]. 光子学报,2015,44(6):0606003.
- [5] 翁晓泉,冯迪,黄怀波,等. 保偏光纤侧视光强相关峰 锐度的定轴方法[J]. 红外与激光工程,2016,45 (11):1122001.
- [6] YASUYKI K. Fusion splicing of polarization preserving fiber [J]. Applied Optics, 1985, 24 (15): 2346-2350.
- [7] ZHENG W. Auto-aligning and splicing PM-fibers of different types with a passive method[C]//Denver:Fiber Optic Gyro: 20th Anniversary Conference SPIE, 1996,2837:356-376.
- [8] 王金娥,林哲辉,吴宇列,等.匹配型保偏光纤自动对轴 技术[J].应用光学,2005,26(5):37-40.
- [9] 王金娥.熔锥型保偏光纤耦合器制造理论与关键技术 研究[D].长沙:国防科学技术大学,2007.
- [10] 陈少英,狄红卫,陈哲,等. 基于五指型光强分布的保 偏光纤定轴方法[J].应用激光,2006,26(1):35-38.