

功率 MOSFET 开关电路的吸收回路实验研究*

Experimental Development of the Snubber Circuit for Power MOSFET Switch Circuit

西安交通大学 曹建章 宋建平 唐天同 (西安 710049)

摘要:介绍由 MOSFET 管构成的全桥开关电路在感性负载下大电流工作时两种吸收回路的实验研究结果。

Abstract: This paper introduces the experimental results of two snubber circuits for the full bridge switch circuit constituted by MOSFETs in case of the inductive load and large current operation.

叙词:实验/金属-氧化物-半导体场效应晶体管 开关电路 吸收回路

Keywords: experiment/ MOSFET; switch circuit; snubber circuit

1 前言

图 1 示出由 MOSFET(简称 MOS)管构成最基本的全桥开关电路及其输入、输出波形。在图 1a 的 x 输入端 x_{in} 和 y 输入端 y_{in} 加上图 1b 所示的方波信号,则负载两端可获得图 1c 所示的电压或电流波形。如果是纯电阻性负载,输出波形线性好、失真度很小,上升沿和下降沿的延迟时间仅为几纳秒^[1];如果是感性负载,输出方波,尤其是正幅值下降沿和负幅值上升沿的邻近会出现严重的衰减振荡,时间延迟可达几百微秒^[2],最大幅值可超出方波幅值的几倍。通常情况下,为了使 MOS 管安全有效地工作,在 MOS 管上跨接图 2 所示的几种 RC 吸收回路^[1,3],以减轻 MOS 管消耗关断能量的负担,从而改变了输出波形的非线性特性。

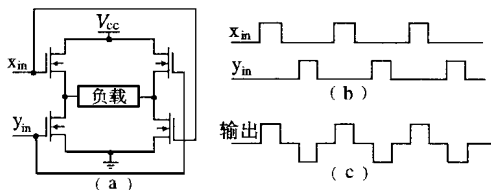


图 1 基本的全桥开关电路及输入、输出波形
(a) 全桥开关电路 (b) 输入、输出波形

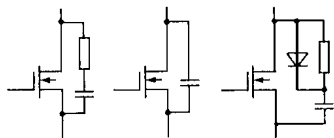


图 2 三种常见的吸收电路

实验的研究结果表明,图 2 示出的三种吸收电路,在感性负载大电流工作时,改变吸收回路中的 RC 值,输出方波的正幅值下降沿和负幅值上升沿的邻近可归纳为三种波形,见图 3。波形特征是幅值近似为指数衰减,衰减延迟随电流大小、感抗强弱而变化,且振荡与延迟是不可调和的矛盾。振荡小,延迟长;延迟小,振荡厉害。

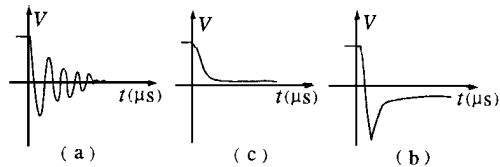


图 3 方波正幅值下降沿和负幅值上升沿的邻近点波形特征

在实际应用中,除考虑保护器件不受损坏外,还必须考虑衰减特性的细节。对用于地球物理瞬变电磁信号检测的发射装置,采用功率 MOS 管或 IGBT 管构成全桥开关电路,负载为大回线(半径约为 50m),电流大于 10A(甚至 100A 以上)。为了有效抑制观测系统中直流偏移和超低频噪声的干扰,用周期性重复的双极性方波序列作为激励信号^[2],见图 1c。地球介质中导体的涡流衰变过程反映在地表接收线圈中的电压变化,这种衰变过程很快,动态范围很大,关断效应严重影响了测量精度^[2]。在电流关断期间测量,若采样起始点选在晚期,则激

* 本文为西安交通大学校基金资助和陕西省自然科学基金资助项目。

励信号的衰减部分对响应信号的影响不大,但响应信号弱;若采样起始点选在早期,则激励信号的衰减部分直接和间接与响应信号叠加,使有效信号减弱且造成严重干扰,并且很难把两者分离。目前,国内外仪器普遍存在这样的问题^[2]。鉴于此,通过实验研究,我们提出两种吸收回路,它可大大改进全桥开关电路在感性负载大电流工作时的衰减特性,减小激励信号对观测结果的影响,提高测量精度。

2 由二极管和 MOS 管构成双向吸收电路

在图 1a 全桥开关电路的 4 个 MOS 管的漏-源极间跨接图 2 所示的吸收电路,构成图 4a 所示的开关电路;在感性负载的两端再接图 4b 所示的双向吸收电路。图 4c 为控制吸收电路 MOS 管导通的栅极信号电路。吸收延时由控制电路芯片 4098 的 RC 值确定。实际上,此电

路起一种波形变换的作用,把衰减振荡变换为直流。

实际中,首先调节图 4a 中的 RC 参数,使方波正幅值下降沿和负幅值上升沿具有图 3b 的慢衰减特性,然后再跨接图 4b 的双向吸收电路。这样,在电流关断期间,可保证在 MOS 管的双向吸收电路导通时,感性负载两端保持 0.5V 大小的直流压降,这对于瞬变信号的检测不会受到任何影响。另外,负载两端输出方波的正幅值下降沿和负幅值上升沿延迟只有几纳秒,且没有任何振荡,电流和感抗的变化不会对吸收性能产生任何影响。由此可解决振荡与延迟的矛盾。

若仅在图 1a 的负载两端跨接图 4b 的吸收回路,则在电流关断的早期会出现最大幅值约为 0.5V 的双极性梯形波序列,晚期似为小于 0.5V 的振荡,这对测量精度的影响是不大的。

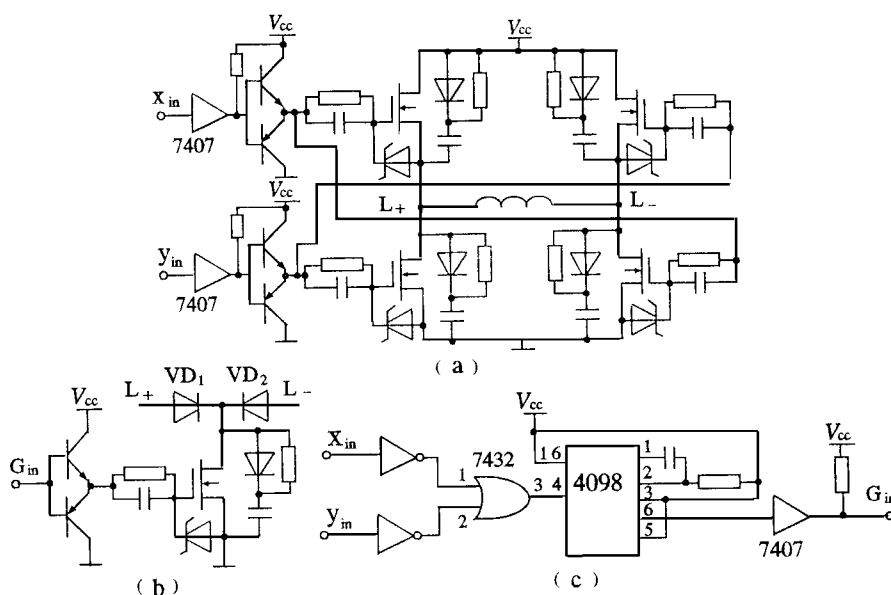


图 4 全桥开关电路及其吸收电路和控制电路

(a) 全桥开关电路 (b) 吸收电路 (c) 吸收电路的控制电路

3 改进的 RC 吸收电路

如前所述,图 2 所示的三种 RC 吸收回路构成的全桥开关电路,在感性负载大电流工作时,输出方波在正幅值下降沿和负幅值上升沿

出现严重失真。若 C 的取值太小,出现振荡的指数衰减;若 C 的取值较小,出现振荡的指数慢衰减。能否改变 RC 吸收回路的性能,既保证衰减很快,又不发生振荡,我们在图 2 的基础

上做了改进,提出了图5所示的吸收回路(栅极控制电路略),其中 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 取值大于 $10k$,电容的取值根据电流的大小和感抗的强弱由实验确定。对于特定范围内的电流变化($I < 5A$),在感性负载大电流工作时,只要RC取值合适,此电路就可保证基本上不影响正幅值下降沿和负幅值上升沿的陡度,且衰减延迟为 $1\mu s$ 左右,不发生振荡。

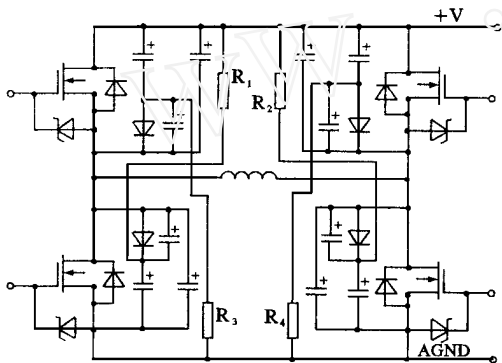


图5 改进的RC吸收电路

图6示出我们研制的3J-1型多功能瞬变电磁仪的发射装置采用图5电路得到的负载两端的电压波形,其电压幅值约为 $38.7V$ (蓄电池三节)、线圈电阻约为 6.7 ,电流大于 $5A$ 。由于发射频率低,示波器难以稳定波形。图6波形是利用计算机高速数据采集动态显示的结果,其采样速度小于 $10\mu s$ 。可见,对于图6a、b、c方波下降沿的延迟约为 $10\mu s$,且没有振荡现象。计算机采样结果比示波器显示的波形下降沿延迟大的原因是外接了衰减电路,且有 $5m$ 的传输隔离和其它电路的影响。另外,还有室内实验选择的负载电感太大的原因。为了便于

比较,图6d给出了数字信号采集结果。需说明的是,此电路在方波频率达到 $250Hz$ 时,已出现明显的衰减振荡,所以仅适应于方波频率小于 $250Hz$ 时。

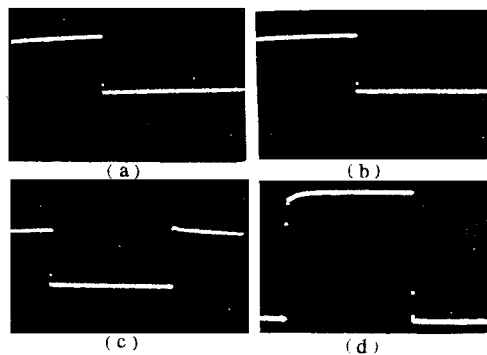


图6 不同频率下的方波下降沿实验照片

- (a) 2.5 Hz (b) 6.25 Hz
(c) 25 Hz (d) 数字信号采集结果

4 结束语

本文提出的两种吸收电路用于瞬变电磁信号检测的发射装置,可避免一次场量对观测二次场的影响,从而大大提高了测量精度。

参考文献

- 1 李中江. VMOS功率场效应晶体管及其应用. 北京:人民邮电出版社,1988.
- 2 牛之璉. 时域电磁法原理. 长沙:中南工业大学出版社,1992.
- 3 胡存生,胡鹏. 集成开关电源的设计制作测试与维修. 北京:人民邮电出版社,1995.
- 4 吴雄. 绝缘栅双极晶体管(IGBT)及其应用. 电子与自动化,1994(2):26~29

收到初稿日期:1996-11-18

收到定稿日期:1997-08-01

作者简介

曹建章:男,1957年3月生,博士生,讲师。主要从事电路设计和近代电磁场的研究。

宋建平:男,1948年5月生,教授。主要从事STM的研究与教学。

唐天同:男,1942年8月生,教授。主要从事电子光学及电磁场理论的科研与教学。