

基于 IPM 的电法勘探发送机逆变器系统

刘石¹ 陈儒军^{1,2} 颜良¹ 陈一平¹

(1. 中南大学 信息物理工程学院 湖南 长沙 410083 ; 2. 中南大学 控制科学与工程博士后流动站, 湖南 长沙 410083)

摘要:对于高频大功率电法勘探发送机而言,最脆弱的部位——逆变器容易烧毁,究其原因,主要是因为其本身的性能不高以及保护不力。针对目前存在的这些问题,提出了一种新的逆变器系统设计。在选用新一代功率器件 IPM 的基础上,采用适当的外围驱动和保护电路,通过设定恰当的死区时间,避免由于器件关断时间影响而导致的短路问题,并且通过单片机控制来实现多种死区时间可调,可以适应不同的发送频率和供电极距。

关键词:智能功率模块(IPM) 驱动电路 缓冲电路 死区时间

中图分类号:P631 文献标识码:A 文章编号:1000-8918(2006)05-0414-06

目前采用较多的逆变器如可控硅、IGBT 等存在一些缺陷:外围附加电路较多,整机系统体积庞大;保护功能没有或者相对简单,没有过热保护,保护速度不及时等。野外条件比较复杂,其负载根据不同的供电条件有多变性,需要综合考虑负载,如大供电极距产生的大感抗负载会导致发送机自动保护,但是实际供电电流并不大,缺少死区时间保护或者死区时间大小不可调,高低频不能兼顾,供电极距影响极大。同时,大功率电法勘探发送机发送的电流一般比较大,倘若此时发送频率也较高就容易发生由于逆变器本身的关断延迟等问题而导致的误导通短路现象。轻则系统自动保护,影响正常工作;重则烧毁器件^[1-4]。而目前国内针对关断时间延迟要么不作处理,导致发送频率、电流上不去,要么靠软件实现死区时间,但大小一般都不可调。因此,要组成一个可靠的电法勘探发送机逆变器系统,在适当选择开关器件的基础上,除了正确选择驱动电路和保护吸收电路,死区时间大小的选择以及是否可调也至关重要。

1 逆变器系统的构成

电法勘探发送机是通过控制信号来控制逆变开关的通断,将加在发送机上的直流电源逆变成我们所要求的波形发送出去。简而言之,就是将直流变成交流,逆变后的交流信号波形、频率由控制信号来控制^[1-4]。

该逆变器系统由逆变开关器件及其外围辅助电路构成,其中外围辅助电路又包括驱动隔离电路和缓冲保护电路。逆变开关选用目前较新的智能功率模块 IPM,该模块的最大特点是可以承受高电压与大电流,同时内部集成了驱动和保护电路,简化了外围电路的设计,大大提高了系统的可靠性与安全性。

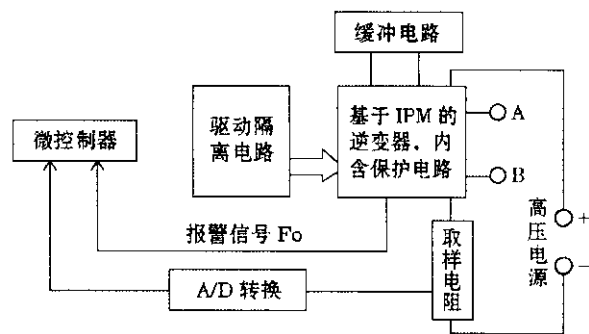


图1 逆变系统的构成框图

2 逆变器开关

2.1 IPM 的特点

IPM 是智能功率模块的简称,它以低饱和压降 IGBT 芯片为基本功率开关元件,集功率变换、驱动及保护电路于一身^[5-6]。

2.1.1 完善、快速的保护功能

从图2中可以看出,IPM 主要有过流、短路、欠压和过热保护。

(1)过电流保护。如果IGBT集电极电流超过

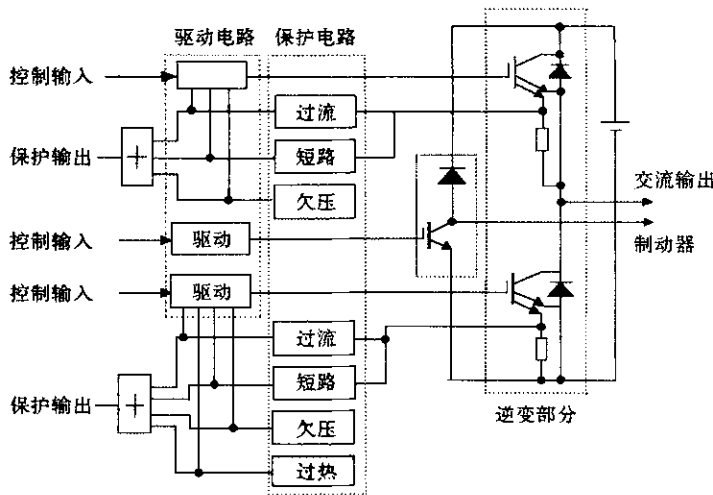


图2 IPM 的内部结构

过流断开阈值(OC)且持续时间大于 t_{off} (OC ,6 ~ 8 μ s) ,IGBT 就会被关断。电流在 OC 以上但时间小于 t_{off} (OC)的短路脉冲电流不会有危险 ,过流保护电路将不予理睬。在保护闭锁期间 ,即使有控制信号输入 ,IGBT 也不工作。约 13 ms 后 ,下一个有效输入时 ,IPM 恢复正常运行。

(2)短路保护。过电流保护动作时 ,短路保护将联动 ,IPM 内部的短路保护电路就会关断 IGBT。如果流过 IGBT 的电流超过短路断开阈值(SC) ,就会立即进行软关断 ,同时产生 1 个故障信号。约 13 ms 后 ,下一个有效输入时 ,IPM 恢复正常运行。

(3)控制电源欠压保护。IPM 的内部控制电路由 15 V 的直流电源供电 ,只要该电源电压下降到指定的欠压断开阈值(UV ,约为 12.5 V)以下 ,且输入信号为 ON(低电平) ,IPM 就会软关断 ,同时会产生 1 个故障信号。如果小毛刺干扰时间小于指定的延迟时间 t_{dov} ,则控制电路不会受到影响 ,欠压保护电路也不予理睬。为了恢复到正常的运行状态 ,电源电压必须超过欠压复位阈值(UV_r) ,且输入信号为 OFF(高电平)。在控制电源上电和掉电期间 ,欠压保护电路都有可能起作用 ,这是正常现象。

(4)过热保护。在靠近 IGBT 芯片的绝缘基板上安装有温度传感器。如果基板的温度超过过热断开值(OT ,约为 110℃) ,IPM 内部的保护电路就会截止门极驱动 ,不响应控制输入信号 ,直到过热根源被排除 ,从而保护了功率模块。当温度下降到过热复位阈值(OT_r)以下 ,同时控制输入为高电平(断态)时 ,功率芯片将恢复操作 ,当下一个低电平输入信号(通态)来临时就恢复正常运行。

2.1.2 报警输出

当以上任何一种保护电路工作时 ,IPM 都会自动封锁驱动信号 ,并同时输出一个固定宽度低电平故障

信号 F_o ,但是由于 IPM 的保护动作能自动复位 ,即 IPM 的内置保护功能仅针对非重复异常现象。如过流保护动作持续 13 ms 后 ,下一个有效输入时 ,IPM 恢复正常运行 ,此时过流保护将再次动作 ,如此重复。因此 ,当有 F_o 输出时 ,外围保护电路应当能完全封锁输入控制信号 ,避免在 IPM 内部保护功能自动复位后再次启动 IPM 而导致保护失效 ,造成 IPM 的损坏。

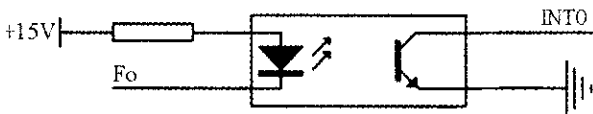


图3 报警输出外围电路

如图 3 所示 ,当 IPM 正常工作时 , F_o 输出为高电平 ,光耦截止 ,INT0 为高电平 ;一旦 IPM 报警 , F_o 输出为低电平 ,光耦导通 ,INT0 被拉低 ,产生外中断 ,进入中断服务程序 ,保护 IPM。

值得一提的是虽然 IPM 的上下桥臂都有过流、短路、和欠压保护 ,但过热保护仅在下桥臂 ,同时 ,上下桥臂任何一个管子发生故障 ,保护动作都将启动 ,但上桥臂仅有动作但无 F_o 输出 ,因此仅当下桥臂发生故障时 ,故障输出端才有 F_o 输出。实际上大多数异常情况 ,如过载 ,短路等最终都将通过下桥臂的故障反应出来。

2.2 IPM 在电法勘探发送机上的应用

如图 4 所示 ,该型号 IPM 引脚分为控制端(脚 1 ~ 脚 15)和功率转换输入输出(脚 16 ~ 脚 20)两部分 ,或者可分为 3 相 ,每相有上下 2 个桥臂 ,其中上桥臂 3 个单元由 3 组 15 VDC 隔离电源供电 ,它们是 V_{up1} 、 V_{upc} ; V_{VPI} 、 V_{VPC} 以及 V_{WPI} 、 V_{WPC} ,下桥臂只需 1 组隔离电源即可 ,它的输入端是 V_{NI} 和 V_{NC} 。具体各个引脚功能见表 1。

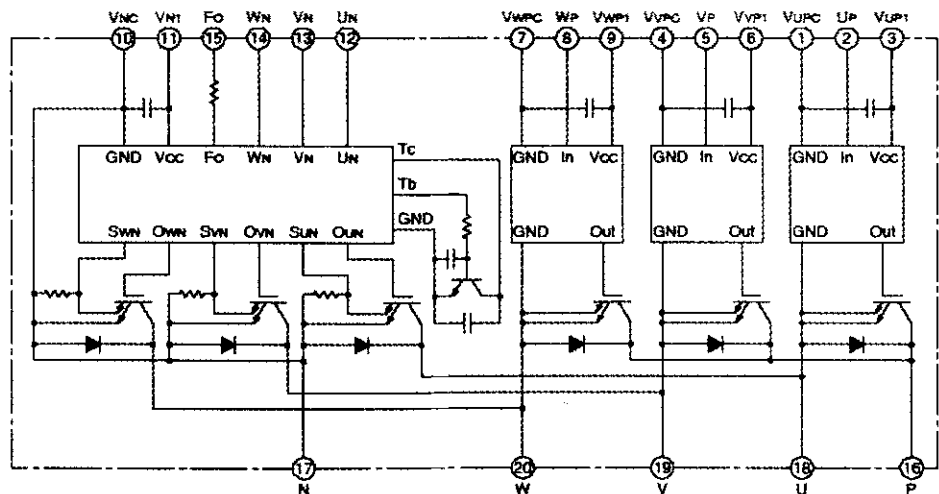


图 4 PM20CTM060-3 内部电路及管脚图

表 1 IPM 管脚功能

引脚	功能	备注
V_{UPI} 3	4 组 15VDC 隔离电源输入 其中 V_{NI} 为下桥臂三单元共用	4 路控制电源要求比较高, 电压范围 $15\text{ V} \pm 10\%$, 还应尽量降低纹波电压, 使电源附加噪声降到最小, 避免误导通
V_{VPI} 6		
V_{WPI} 9		
V_{NI} 11		
V_{UPC} 1	四组隔离电源对应地线 (GND) 彼此隔离, 互不干扰。下桥臂三单元共用 V_{NC}	
V_{VPC} 4		
V_{WPC} 7		
V_{NC} 10		
U_P 2	上桥臂三单元对应控制输入端, 低电平有效	输入高电平时, 对应的功率单元截止, 低电平导通
V_P 5		
W_P 8		
U_N 12	下桥臂三单元对应控制输入端, 低电平有效	
V_N 13		
W_N 14		
F_O 15	故障信号, 输出低电平	平时为 15VDC
P 16	直流电源输入端	600V 系列工作在 400V 以下, 最大不超过 500V, 1200V 在 800V 以下, 最大不超过 900V
N 17	直流电源输出端	
U 18	三相逆变输出	与负载相连, 提供负载转换后的电流
V 19		
W 20		

由表 1 可见, 该 IPM 共有三相输出, 而发送机只需由 2 路输出即可, 剩下不用的一相上下桥臂应当保持关断状态, 即控制输入信号为保持高电平, 对应输出管脚悬空。

图 5 为发送机使用 IPM 时相应的外围连接示意。如图所示, 当控制信号 Q1 有效、Q2 截止时, 供电电流走向: 电源 + $\rightarrow$ P $\rightarrow$ 管 1 $\rightarrow$ U $\rightarrow$ 负载(大地) $\rightarrow$ V $\rightarrow$ 管 5 $\rightarrow$ N $\rightarrow$ 电源 -。当 Q2 有效、Q1 截止时, 供电电流走向: 电源 + $\rightarrow$ P $\rightarrow$ 管 2 $\rightarrow$ V $\rightarrow$ 负载(大地) $\rightarrow$ U $\rightarrow$ 管 4 $\rightarrow$ N $\rightarrow$ 电源 -。这样, 通过适当的控制, 即可满足发送机发送足向下发送不同频率波形的要求。

3 外围辅助电路

3.1 隔离电路

驱动隔离电路必须具备 2 个功能: 一是实现弱

电的控制电路和强电的供电主回路电气上的隔离, 避免控制部分受到影响甚至破坏; 二是提供适当的驱动信号以确保 IPM 正常工作^[7]。

图 6 给出了 1 种典型的光耦隔离驱动电路。如图所示, 当控制信号输入高电平时, 光耦截止, 15 V 电压通过 R2 加在 U_p 上, 即 IPM 的控制输入端为高电平 (由于 IPM 控制端内部存在阻抗及稳压管, 此时 U_p 电压大约为 8 V 左右。)IPM 相应的开关器件关断 (IPM 为低电平有效); 当控制信号为低电平时, 光耦导通, U_p 直接和地相连, 即 IPM 的控制输入端为低电平, IPM 相应的开关器件导通。

3.2 死区时间产生电路

各种开关器件不可避免的存在关断时间, 也就是说从控制器发出关断控制信号到 IPM 开关器件彻底关断会有一定的延迟时间, 这就需要在发送控制信号的同时把这个时间考虑进去, 避免上下两相开关同时导通而导致发送回路短路烧毁器件, 这个时间通常称之为死区时间或空载时间。

对于电法勘探而言, 负载的情况很复杂, 不同的供电电极距及大地构造等现实因素都会造成发送机的负载阻抗、感抗、容抗的不同, 其中感抗值的大小会影响到逆变开关的关断时间, 也就是说, 感抗值越大, 所需要的关断时间就越大。如果发送机所提供的关断时间不够, 就可能造成供电回路的短路。

图 7 是正确的 t_d 选择^[8], 其中 Q1 控制上桥臂管 1 和下桥臂管 5, Q2 控制上桥臂管 2 和下桥臂管 4, 在 Q1 低电平有效期间, Q2 无效, 在 t_d 期间, Q1、Q2 一直无效, 同时 t_d 的大小正好满足管 1、5 的完全关断 t_d 之后, 管 2、4 才导通, 完全避开了同一桥臂上下 2 个管子同时导通的情况。

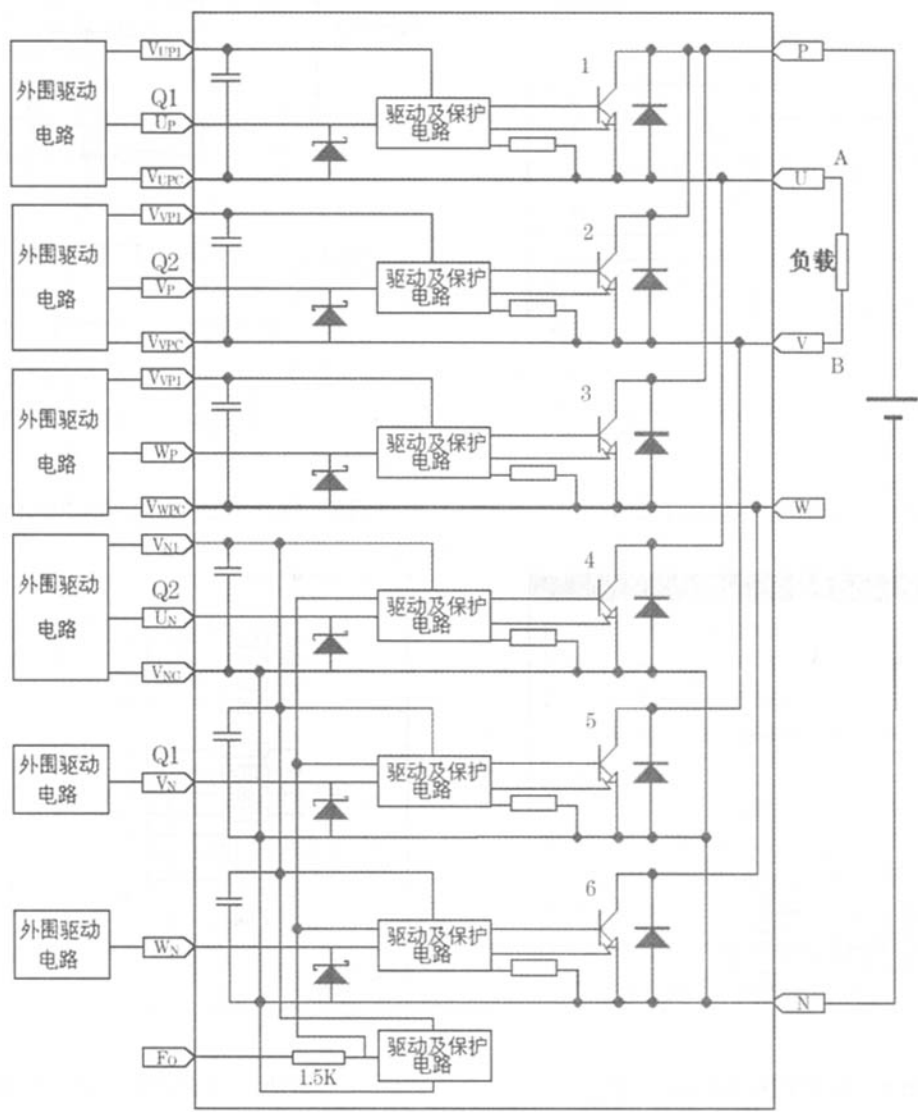


图5 IPM 的引脚连接示意

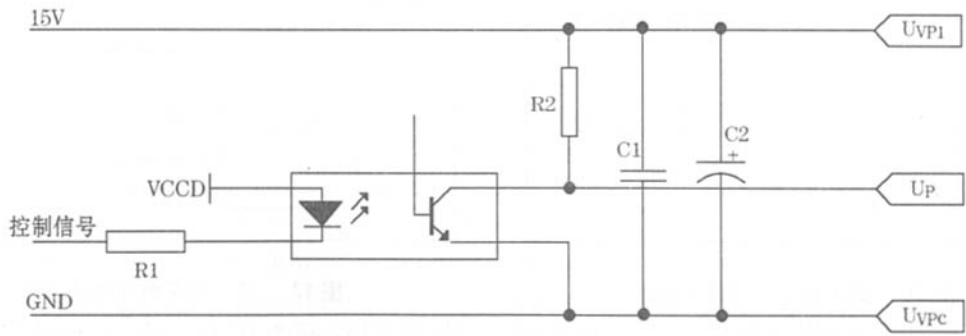


图6 外围驱动电路示意

无论硬件和软件都能生成死区时间,图 8 是一种较简单但实用的硬件产生死区时间的电路^[9]。如图所示,当控制输入由低变高时,OR1 的管脚 1 输入信号瞬间变为高电平,因此, Q1 输出为高, OR2 虽然管脚 1 瞬间输入为低,但是管脚 2 由于电阻电容存在放电过程,所以需要延时一段时间才会变成低电平,导致 Q2 相对控制输入的延迟。这段时间就是死区时

间 t_d 。可以看出,加入死区时间后的控制波形相对原始控制信号有所失真,但是当死区时间大小远远小于原始控制信号周期时,这种影响可忽略不计。其供电输出 Multisim 仿真波形如图 9 所示。

不同的器件和不同的勘探环境要求 t_d 取值长短不一。因此,固定的空载时间设定必将不能满足复杂的勘探环境需求。由图 8 可知,通过设置不同

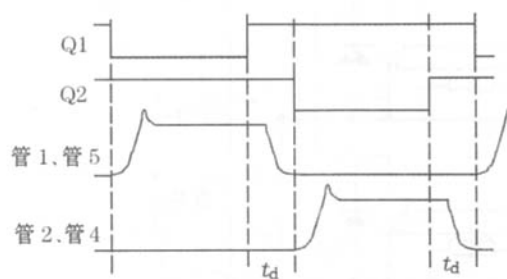


图 7 恰当的死区时间选择

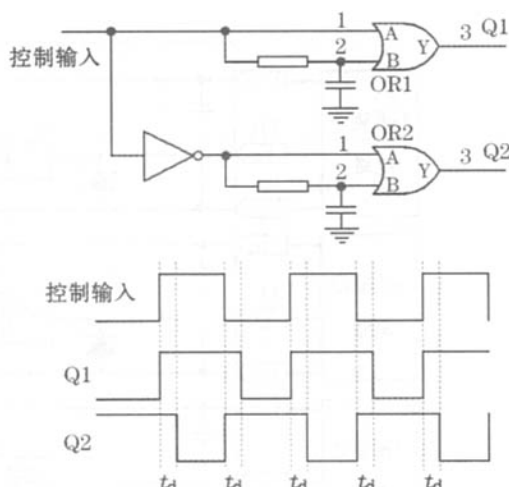


图 8 硬件产生死区时间的电路示意

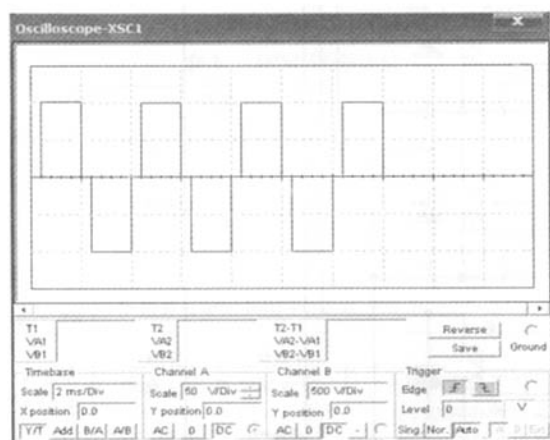


图 9 死区效果 Multisim 仿真

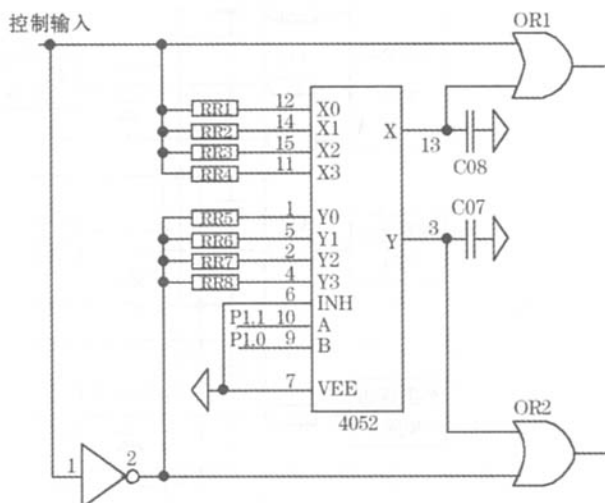


图 10 智能控制死区时间电路

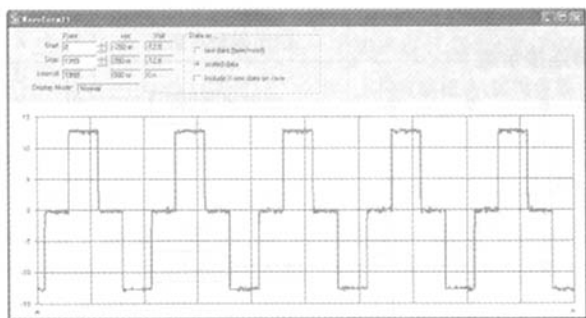


图 11 最大死区时间效果波形

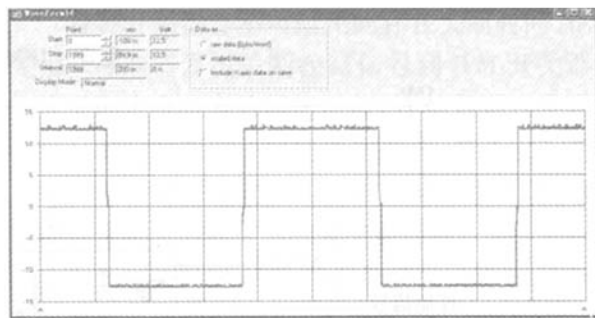


图 12 最小死区时间效果波形

的阻容值可以设定不同的死区时间大小,具体来说用 4052 或者 4051 加接不同参数的电阻或电容就可以设定多组大小不一的死区时间,由单片机来控制,根据需要来自动选择,即可达到死区时间智能控制的目的。由于电阻值相对电容来说更加丰富,图 10 就是采用 4 对不同阻值电阻来实现 4 组可调死区时间的电路。当然,用 2 片 4051 就可以实现 8 组选择。

源 15 VDC, 频率 10 Hz。图 11 和图 12 是用 Agilent 54622D 混合信号示波器看到的供电波形。由于开关器件 IPM 存在饱和压降,所以输出电压略低于 15 V,但也只有 2 V 左右。其中图 11 是最大死区时间设置,可以看出发送机从正向供电到反向供电时存在明显的空载时间,在这段时间内发送机不对外供电。图 12 是最小死区时间(微秒级)设置,从图中可以看出对于供电周期 100 ms 而言,空载时间的影响极小。

系统组装完成后的供电实验情况如下:供电电

3.3 缓冲电路

IPM 具有极短的关断时间 ,所以它能够工作在更高的频率下 ,但是与此同时又意味着更大的 dv/dt 和 dI/dt ,在供大电流、负载为大电感的极其苛刻条件下 ,容易引起过高的瞬间电压 ,倘若保护不力就容易烧毁 IPM^[8] ,所以 ,设计一个优秀的缓冲吸收电路至关重要。目前已经存在多种缓冲电路 ,有注重吸收效果但是功耗相对较大的 ,有功耗较小但缓冲效果一般的 ,也有零功耗但是电路庞杂的。有些是适用于 IPM 的 ,有些却有反效果 ,比如有些缓冲电路上串有电感是为了防止瞬时大电流 ,但是用在电法勘探发送机上就不妥。由于 IPM 的功率转换软件就是 IGBT ,一些应用于 IGBT 上的吸收电路经过些许变动可以移植到 IPM 上。(IGBT 有专用的保护芯片 ,如 EXB841 ,但 IPM 本身已经集成了保护电路。)考虑到各种因素选取恰当的参数 ,能确保发送机能稳定工作在高供电电压、高发送频率状态下。

4 结论

目前基于 IPM 的电法勘探发送机已组装完毕 ,各项实验证实该逆变器系统切实可行。由于 IGBT 具有高转换功率的特点 ,所以 IPM 可以承受较高的电压和电流 ,同时其本身就已经集成了驱动和保护电路 ,大大减少了外围器件 ,提高了集成度和系统的可靠性 ,搭配单片机的智能控制以及恰当的驱动电

路和缓冲电路 ,即组成了一套高安全系数的电法发送机系统。针对各种野外环境选择适当的死区时间 ,使得该系统适用性大大增强。而一旦出现各种突发情况 ,IPM 在切断自身控制信号的同时迅速向控制器发出报警信号 ,使模块工作在关断状态 ,保护系统免受损坏。在排除故障后 ,模块即可恢复工作。由于外接电路简单 ,故障识别更轻松 ,故障排除更简单 ,可有效提高工作效率。

参考文献 :

[1] 何继善. 双频道激电法研究 [M]. 长沙 :湖南科学技术出版社 , 1989.
[2] 傅良魁. 电法勘探教程 [M]. 北京 :地质出版社 ,1987.
[3] 白宜诚,左桓. WDD 型伪随机多功能电法发送机研制[J]. 物探与化探 ,2004 ,28(6) :536.
[4] 张友山,何继善. DF-1 微机程控大功率发送机得研制 [J]. 物探与化探 ,1995 ,19(2) :142.
[5] 李树良,张杰,尹放. 新一代智能功率模块(IPM)基本原理及其控制 IC 原理分析[J]. 微处理器 ,2001 (2) :5.
[6] 三菱电机. 用于变频空调器的智能功率模块 IPM[J]. 世界电子元器件 ,1997 (6) :54.
[7] 李广海,叶勇,蒋静坪. IPM 驱动和保护电路研究[J]. 电子技术运用 ,2003 (12) :#3.
[8] Agrawal ,Jai P. Power Electronic System Theory And Design[M]. New Jersey :Prentice Hall ,Upper Saddle River ,2001 ,73.
[9] 刘德立,苟玉杰,王世武. 一种延迟电路在变频控制中的运用 [J]. 电子设计应用 ,2004 (4) :88.

THE INVERTER OF THE TRANSMITTER FOR ELECTRICAL EXPLORATION BASED ON IPM

LIU Shi¹ ,CHEN Ru-jun^{1 2} ,YAN Liang¹ ,CHEN Yi-ping¹

(1. School of InFO – physical and Geomatic Engineering , Central South University , Changsha 410083 ,China 2 . Postdoctor Station of Controlling Science and Engineering , Central South University , Changsha 410083 ,China)

Abstract : Inverter , the weakest part of a high frequency and high power transmitter for electrical exploration , is liable to be destroyed. The reason is that the performance of the inverter is not good enough and the inverter protection is not satisfactory. Aiming at solving these problems , this paper presents a new inverter system which bases itself on a new power module – IPM and adopts right driver circuit and buffer circuit. It fits different transmitting frequencies and polar distances with proper settings of dead time , which is adjustable under the control of a micro controller.

Key words : intelligent power module(IPM) ;driver circuit ;buffer circuit ;dead time

作者简介 : 刘石(1982 –) ,男 ,湖南邵阳人 ,硕士研究生 ,从事物探仪器研究。