

基于 DSP 的便携陀螺逆变电源设计

赵 丹, 赵美蓉, 李贵永, 齐永岳
(天津大学, 天津 300072)

摘要:设计了一种基于 TMS320LF2407A 的高性能陀螺逆变电源系统,采用 SPWM 技术获得了恒压恒频的三相正弦交流电输出,具有集成度高、功耗低的特点,实现了电源的便携、小巧;通过完善的故障检测和处理电路,提高了系统的可靠性;采用陷波滤波和低通滤波相结合的滤波电路,有效减少了输出电压和电流中的开关谐波分量。实验结果表明,电源的电压稳定度小于等于 0.28%,频率稳定度小于等于 0.05%,满足陀螺仪对电源的各项指标要求。

关键词:逆变电源;滤波;脉宽调制/数字信号处理;陀螺

中图分类号:TN86

文献标识码:A

文章编号:1000-100X(2008)07-0065-03

Design of Portable Inverter Power for Gyroscopes based on DSP

ZHAO Dan, ZHAO Mei-rong, LI Gui-yong, QI Yong-yue

(Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract:A high-performance power supply for gyroscopes based on TMS320LF2407A is designed, with constant 3-phase sinusoidal AC output by SPWM technology. The portability of the equipment can be achieved by the advantages of low power consumption and high integration degree. A sound failure detection and management circuit is also developed to increase the reliability of the system. With a notch filter and a low-pass filter, the switch harmonic component is effectively diminished. The experimental results show that the voltage stability is less than 0.28% and the frequency stability is less than 0.05%, which meet the requirements of the gyroscope.

Keywords:inverter power supply; filter; pulse width modulation / digital signal processor; gyroscope

1 引言

陀螺经纬仪是通过敏感地球自转的水平分量来测定仪器架设点正北方位的精密仪器。它兼具定向和测角的功能,能够根据地球自转角速度的北向分量自动寻找并跟踪地理北向,精确测定测量点的方位角^[1]。在陀螺经纬仪工作过程中,若陀螺马达的转速不稳定,将会引起测量误差。为了提高陀螺经纬仪的测量精度,对陀螺电源输出电压和频率的稳定性都提出了较高的要求^[2]。目前,实验室正在开发的全自动陀螺经纬仪采用 DT4 三相异步交流电机,电机的运行参数为:工作电压 36 V,工作频率 400 Hz,工作电流 0.75 A,启动电流 3 A,制动电流 2 A,启动时间 4 min,制动时间 1.5 min。针对该电机的需要,设计了一种基于高性能定点 DSP 芯片 TMS320LF2407A 的高精度逆变电源系统,它采用 SPWM 技术获得了恒压恒频的三相正弦交流电的输出。

2 SPWM 技术原理

正弦波脉宽调制(SPWM)^[3]是中频电源常用的一种调制技术,其思路是使每一载波周期内逆变器输出脉冲面积与在同一载波周期内希望得到的正弦波面积相等。采用不对称规则采样法来生成 SPWM 波,如图 1 所示。即以每个三角波的顶点对称轴与底

点对称轴所对应的时间作为采样时刻,也就是每个载波周期采样两次,过三角波的两对称轴与正弦波的交点,分别作平行 t 轴的平行线,平行线与三角波两个腰的交点作为 SPWM 波“开”和“关”的时刻。

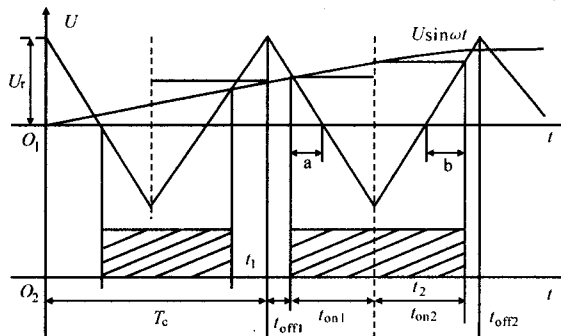


图 1 不对称规则采样法生成 SPWM 波

在三角波的顶点对称位置 t_1 时刻采样时,有

$$t_{on1} = T_c/4 + a, \quad t_{off1} = T_c/4 - a \quad (1)$$

在三角波的顶点对称轴位置 t_2 时刻采样时,有

$$t_{on2} = T_c/4 - b, \quad t_{off2} = T_c/4 + b \quad (2)$$

结合三角形相似关系式,有:

$$4a/T_c = U \sin \omega t_1 / U_c, \quad 4b/T_c = U \sin \omega t_2 / U_c \quad (3)$$

可得生成 SPWM 波脉宽为:

$$t_{on} = t_{on1} + t_{on2} = (T_c/2)[1 + (M/2)(\sin \omega t_1 + \sin \omega t_2)] \quad (4)$$

以上是单相 SPWM 波生成的数学模型,如果要生成三相 SPWM 波,只需用 3 条相位差为 120°的正弦波与同一条三角波相交求出交点。

3 系统组成

为了实现系统的小型化,将电路分为主控制电路和逆变输出电路两块电路板层叠布置。陀螺电源

定稿日期:2008-04-02

作者简介:赵 丹(1984-),女,河南郑州人,硕士研究生,研究方向为逆变电源及全自动陀螺经纬仪设计。

系统的工作原理图如图 2 所示。

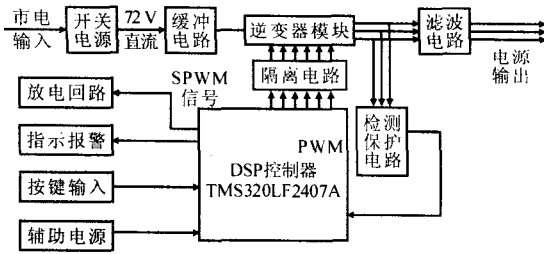


图 2 陀螺电源系统原理框图

开关电源将市电转换为 72 V 的直流电,平滑滤波后送至逆变器母线电压端口。逆变模块在 DSP 控制下,将 72 V 的直流电转换成 36 V/400 Hz 三相交流电,经过两级滤波后,接入陀螺电机的输入端。主控制电路以 TMS320LF2407A 为核心,完成 SPWM 信号生成及控制工作。一旦检测到启动键按下,电机即进入启动状态,由 DSP 送出的触发脉冲信号经驱动隔离电路接入逆变桥的 6 个控制端口,电机达到额定转速后,电源启动完毕。在电机正常运行期间,将逆变器输出的 3 路逆变信号送入检测保护单元,一旦电源出现异常情况,控制器将及时做出反馈处理。工作完毕,操作人员按下制动键,DSP 开始生成反相 SPWM 信号,使电机逐渐减速。制动完毕后,DSP 停止输出制动信号,通过放电回路迅速放电。

4 系统硬件设计

系统的硬件结构主要包括 DSP 系统、逆变模块、检测及保护电路及滤波电路。

4.1 DSP 系统

DSP 作为系统的核心控制器,负责生成 SPWM 驱动信号,接受按键操作命令,检测输出信号,判断故障信号并处理等任务。选用高性能 16 位数字信号处理器 TMS320LF2407A 作为信号发生器和控制器。

4.2 逆变模块

逆变模块在 SPWM 信号驱动下,完成由 72 V 直流电到 36 V/400 Hz 三相交流电的逆变。采用智能功率模块 PS21563,它将 6 个功率开关器件 IGBT 及其驱动电路集成在一起,具有开关速度快、功耗低的特点。模块内含过压、过流和过热等故障保护电路,并可将检测信号送到控制电路做中断处理。

4.3 检测及保护电路

检测电路包括电流检测电路和缺相检测电路。前者由电流传感器和比较器组成,时刻监测输出电流,采用硬件、软件双重保护防止过流故障时陀螺仪导线丝、逆变模块等受到损坏。图 3 示出,从线性电流传感器 ACS712 输出的采样信号为电压信号。该检测信号一路直接进入 DSP 的 A/D 单元,通过软件编程对检测信号进行处理和显示。另一路送入比较电路,与比较器的设定值进行比较,一旦超过设定值,比较电路立即输出低电平的过流信号。该信号与其

它故障信号相与锁存后送至 DSP 的 PDPINTA 端口,申请硬件保护中断。后者用于检测在电机工作过程中是否发生缺相情况^[3]。当出现缺相时,立即封锁 SPWM 驱动信号的输出,并发出缺相报警信号。

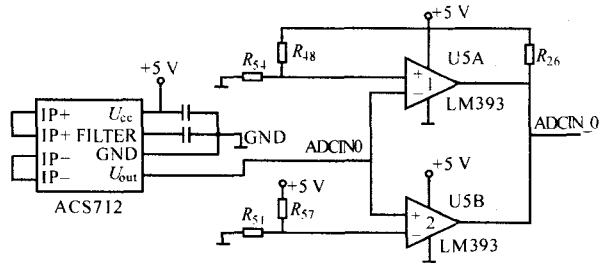


图 3 电流检测电路

4.4 滤波电路

图 4 示出滤波电路的结构图。它由陷波滤波和低通滤波组成。前者^[4]的主要作用是防止开关频率附近的谐波进入电机,陷波滤波器的转折频率与逆变器的开关频率一致,为 18 kHz。后者则用来消除与载波成整数倍的高频谐波成分,低通滤波器的转折频率为 400 Hz。图 5 示出滤波前后线电压 u_o 波形。经过这样的一种滤波拓扑结构,可以得到很好的滤波效果,电源输出的电压波形十分接近正弦波。

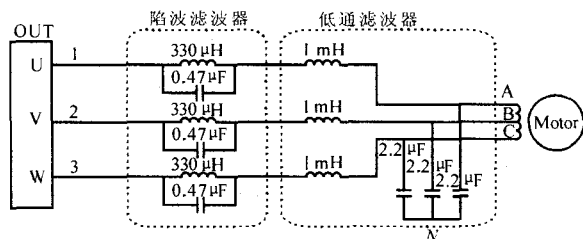


图 4 滤波电路

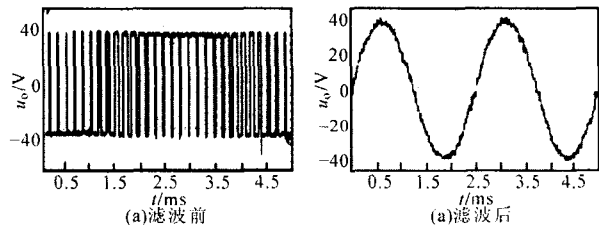


图 5 线电压波形

5 系统软件设计

控制系统软件主要由主程序、中断服务程序、SPWM 发生程序 3 大部分组成。主程序是整个程序的核心,用于完成逆变电源系统的 I/O 口初始化、事件管理器初始化、A/D 转换器初始化、运行控制及反馈信号检测等功能。中断服务程序含定时器 T_1 中断服务、定时器 T_2 中断服务及 A/D 采样中断服务等程序。当进入中断服务程序中断后,先判断中断源,根据中断向量寄存器装载的触发当前中断的中断向量值,跳转至相应中断服务子程序的入口地址处^[6]。

SPWM 发生程序的中断源为定时器 T_1 , 因该电源的输出频率固定,因此可用 C 语言离线算出 SPWM

的采样点,即相应的比较寄存器值存入 RAM 中,在定时器 T₁ 发生中断时依次更新比较寄存器的值。

6 实验结果分析

将所设计的电源样机接入陀螺经纬仪,频率和电源电压测量结果如表 1 所示。由于实验室所用陀螺经纬仪完成一次寻北的周期约需要 7 min,对陀螺电源进行了半个小时的重复测试,每隔 3 min 记一次读数,以验证整个电源系统稳定性。

表 1 线电压、频率测量实验结果

	1	2	3	4	5
u_{ab}/V	35.95	35.96	35.98	35.98	36.00
u_{bc}/V	35.98	35.98	35.98	35.98	35.99
u_{ca}/V	36.00	36.01	36.01	36.03	36.03
f/Hz	400.10	400.20	399.80	400.10	400.10

	6	7	8	9	10
u_{ab}/V	36.01	36.01	36.03	36.03	36.06
u_{bc}/V	36.03	36.03	36.03	36.04	36.04
u_{ca}/V	36.03	36.04	36.06	36.06	36.10
f/Hz	400.00	399.90	400.10	399.20	400.10

由测量结果可以看出,陀螺电源输出的线电压有效值在 35.95~36.10 V 之间,电压稳定度小于等于 0.28%;电源频率有效值在 399.8~400.1 Hz 之间,稳定度小于等于 0.05%;陀螺仪电机的启动、运行和制动均能正常执行。此外,在电动机正常运行时,人为进行了故障设置,电源系统能快速响应故障信号并及时处理,系统的安全性得到了保证。该样机的各项

(上接第 56 页)互感器探头也具有一定的滤波作用。由带和不带平衡电抗器的试验可知,平衡电抗器不但会对输入电流造成不良的影响,同时使系统的体积和成本增加,致使系统效率的降低。

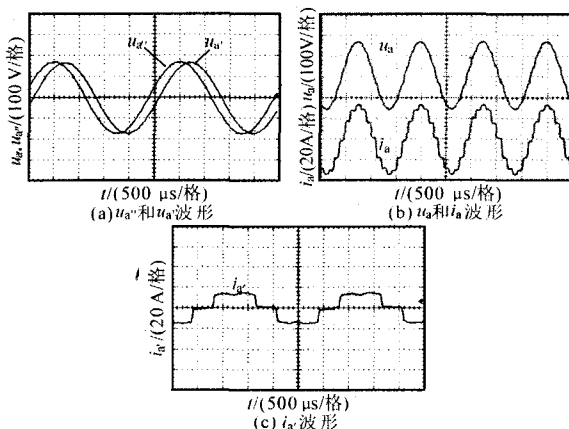


图 6 试验结果

6 结论

分析了 12 脉冲多边形自耦变压整流器的工作原理、自耦变压器设计以及整流器特性。研制了 2kVA 12 脉冲多边形自耦变压器,并进行系统实验。通过两个试验证明,平衡电抗器中的环流会影响输入电流的质量。实验结果表明,这种整流器结构简单,体

指标均满足陀螺电机的要求,目前正在实验室投入使用,取得了理想的效果。

7 结论

所设计系统的硬件电路均采用低功耗高集成度的器件,大大减小了系统的体积和功耗,实现了电源的小型化,而且提高了系统的可靠性;克服了传统电源体积大,不便于携带,调试维护比较困难的缺点;电源电压幅值和频率精度高,正弦波的相位偏差小,各项指标均满足陀螺电机的要求,对提高全自动陀螺经纬仪的性能有非常重要的实际意义。

参考文献

- [1] 郭素云.陀螺仪原理及应用[M].哈尔滨:哈尔滨工业出版社,1985.
- [2] 煤炭科学研究院唐山分院陀螺经纬仪组.陀螺经纬仪基本原理、结构与定向[M].北京:煤炭工业出版社,1982.
- [3] 吴守箴.电气传动的脉宽调制控制技术[M].北京:机械工业出版社,2002.
- [4] 杨军武.三相异步电动机的缺相故障分析与缺相保护电路的研究[J].青海大学学报,2005,23(6):63-65.
- [5] 王崇武,任章,李宏,等.三相逆变电路输出波滤波器的分析与设计[J].西安工程科技学院学报,2002,16(3):15-19.
- [6] 王晓明.电动机的 DSP 控制:TI 公司 DSP 应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2004.

积小,效率高,具有良好的输入特性。

参考文献

- [1] Kaz Furmanczyk.Challenges of Designing High Power Converter for Aerospace Applications [EB/OL].ELDEC Corporation, [2003-10-8].http://www.ansoft.com/workshops/aeroee/ELDEC_Kaz_Furmanczyk.pdf.
- [2] Girish R.Kamath,Bruce Runyan,Richard Wood.A compact autotransformer based 12-pulse rectifier circuit [A].The 27th Annual Conference of the IEEE [C].2001,2:1344-1349.
- [3] S Choi,P Enjeti,I Pitel.Polyphase Transformer Arrangements with Reduced kVA Capacities for Harmonic Current Reduction in Rectifier Type Utility Interface[J].IEEE Trans. on Power Electronics,1997,11(5):680-689.
- [4] Dudi A Rendusara,Annette von Jouanne,Prasad N Enjeti, et al.Design Considerations for 12-Pulse Diode Rectifier Systems Operating under Voltage Unbalance and Pre-Existing Voltage Distortion with Some Corrective Measures[J].IEEE Trans. on Industry Applications,1996,32(6):1293-1303.
- [5] D Rendusara,K J Slater,B S Lee.Design Considerations for 12/24-Pulse Auto-Connected Rectifiers for Large VA, PWM Drive Systems [A].IEEE APEC'99 [C].1999:903-909.