

基于 DSP 的星载小型化斯特林制冷机控制器设计

李元明, 于秀明, 贾旭鹏

(兰州物理研究所, 真空低温技术与物理国家级重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 斯特林制冷机控制器对制冷机性能有很大影响。介绍了基于 DSP 系统的斯特林制冷机控制器设计, 主要包括硬件、软件设计, 为进一步实现斯特林制冷机的自适应控制打下较好的基础。

关键词: 斯特林制冷机; 控制器; DSP; SPWM 波

中图分类号: TB651

文献标识码: A

文章编号: 1006-7086(2007)01-0035-03

CONTROLLER OF STIRLING CRYOCOOLER BASED ON DSP SYSTEM

LI Yuan-ming, YU Xiu-ming, JIA Xu-peng

(National Key Lab of Vacuum & Cryogenice, Lanzhou Institute of Physics, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Stirling cryocooler controller has a strong impact on capability of Stirling cryocooler machine. A design of Stirling cryocooler controller based on DSP system was introduced. A good base for realizing self adapt control to Stirling cryocooler machine was provided.

Key word: Stirling cryocooler; controller; DSP; spwm wave

1 引言

早期的斯特林制冷机控制器多以单片机(INTEL 的 80C196) 为核心来实现, 由于集成度低, 外围器件较多, 导致控制器体积大; 其次由于其运行速度低, 导致以 PWM 或 SPWM 方式驱动电机时载波频率较低, 致使电机电流波形失真加大, 谐波含量高, 影响制冷机性能。采用 DSP(TI 公司的 TMS320LF2407) 为控制器核心。它的集成度高, 其指令周期为 25 ns(40 MHz 时), 速度远高于 80C196(8 MHz 时指令周期为 250 ns) [1], 这将明显提高系统的控制性能。

2 硬件电路

2.1 CPU 周围电路

系统框图如图 1 所示。

TMS320LF2407 的内部集成了 32 K 的 FLASH 和 2 K 的 SRAM, 程序和数据

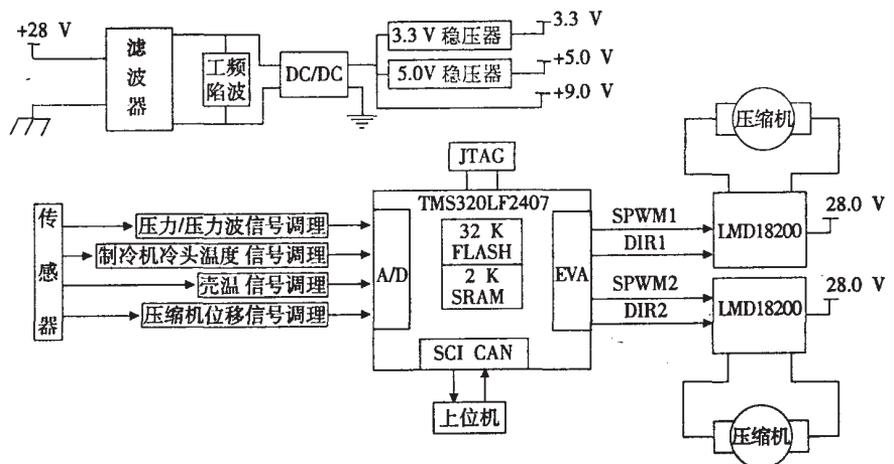


图 1 斯特林制冷机控制器框图

收稿日期: 2006-08-18.

作者简介: 李元明(1966-), 男, 甘肃省临洮县人, 高级工程师, 从事斯特林控制器研究。

空间完全满足系统需要, 无需外部扩展, 省去了锁存、译码电路及 ROM/RAM 存储器等器件, 使控制器外围电路特别简洁。事件管理器模块 (EVA 或 EVB) 可以很方便地实现 SPWM 驱动。

2.2 电机驱动电路

为减小振动, 星载斯特林制冷机采用双压缩机对置的“牛津型”结构^[2], 控制器需要驱动 2 只直线电机相向运动, 功率驱动主要由 LMD18200 实现。LMD18200 为直流电机驱动集成电路, 内有 4 个 MOS 管、泵电路、逻辑电路及死区电路等, 额定输出电流 3 A, 电压 30 V。可以接受 TTL 或 CMOS 输入控制信号, 它与 DSP 结合可以很方便地实现双极性 SPWM 驱动功能。DIR 为电机转向的控制信号。TMS320LF2407 提供两路 SPWM 和 DIR 信号, 分别控制 2 只 LMD18200, 实现制冷机的驱动与控制。

2.3 信号测量电路

为了监测制冷机的运行状态, 对主要参数进行测量。

压力传感器输出的压力及压力波信号, 位移传感器输出的压机位移信号范围均为 0~5.0 V, 先将其变换为 0~3.3 V 后再送到 DSP 的 10 位 A/D 转换器 (共 16 通道)。

制冷机冷头及外壳温度采用铂电阻作传感器, 输出信号幅度较小, 经运放放大为 0~3.3 V 信号后再进行测量。

2.4 串行通信

TMS320LF2407 具有 CAN 网络接口和 SCI 串行通信接口, 可以根据星载计算机的要求建立相应的通信方式, 实现制冷机的遥测遥控。

2.5 供电及 EMC 设计

由卫星平台提供 28.0 V 一次电源, DC/DC 电路产生 +9.0 V, 将 +9.0 V 再分别经稳压器产生 +5.0 V 和 +3.3 V。+9.0 V 用于测量电路, +5.0 V 用于外围数字电路, +3.3 V 给 DSP 供电,

DC/DC 电路、SPWM 波以及 H 桥切换等在电路中产生很多的尖峰干扰, 为此在 28.0 V 电源中加入共模及差模滤波器, 滤出较高频率的干扰。另外逆变产生的电机工频对一次电源形成严重的干扰, 其频率低, 峰值大, 若采用一般电容滤波, 则容值必须很大, 体积也很大。为此, 电路中采用了 LC 串联陷波电路吸收工频干扰, 较好地解决了这一问题。

2.6 混合电压逻辑设计

TMS320LF2407 采用 3.3 V 供电, 许多外围器件采用 5.0 V 供电, 系统中存在 3.3 V 和 5.0 V TTL 电平的匹配问题。LMD18200 的控制信号为 5.0 V TTL 电平, U_{IH} 、 U_{IL} 分别是 2.0 V、0.8 V。DSP 的 U_{OH} 为 2.4 V, U_{OL} 为 0.4 V (U_{OH} 表示输出高电平的最低电压, U_{IH} 表示输入高电平的最低电压; U_{IL} 表示输入低电平的最高电压; U_{OL} 表示输出低电平的最高电压), 二者完全兼容, 因此 TMS320LF2407A 的输出可以直接驱动 LMD18200。由于 LMD18200 内有功率电路及高电压, 为保证 DSP 的安全, 在 DSP 和 LMD18200 之间最好采用光耦隔离。其他输入到 DSP 的信号都应使其最高电平小于 3.3 V, 以保证 DSP 的安全。

2.7 其他电路

系统关机采用软关断方式, 即只切断控制信号 SPWM 波, 28.0 V 依然供电, DSP 进入休眠状态。这样电路在关断时只存在很小的静态损耗, 可以省去继电器等较大体积的器件。系统开机采用 SCI 串口命令遥控完成。

3 软件设计

软件是斯特林制冷机控制器的核心, 为保证实时控制, 采用汇编语言编程。

在开启或关断电机时采取逐渐递增或递减电机振幅方式, 运行过程中由于意外而使程序复位时, 应恢复运行参数以保证电机运行的平稳。

SPWM 波的算法采用三角波规则采样法, 为了提高运行速度, 对于一些计算 (如脉宽系数等) 以表格列出, 通过查表来实现。SPWM 波和方向控制信号 DIR 由 TMS320LF2407 的事件管理器 EVA 模块在中断程序中生成, 通过串行通信传送制冷机的运行参数 (压缩机的工作频率 f 、SPWM 波的载波频率 N 、压缩机的幅度

M 及开/关机命令等),在主程序中对这些参数重新进行计算变换,刷新事件管理器 EVA 设置,实现对制冷机的运行频率、幅度、相位等参数的调控。

运行参数的测量是在 A/D 转换子程序中完成,加入了软件滤波,以防止干扰。

控制器的主程序流程如图 2 所示。

4 工艺结构设计

控制器的功率驱动电路和其他电路在空间上隔离。测量信号线和驱动线通过不同的电缆输入或输出。DSP 及周围电路采用 4 层板设计,尽可能选用贴片器件。控制器采用金属外壳整体屏蔽。

5 结论

采用新方案设计的斯特林制冷机控制器体积较单片机方案减少约 1/3。由于波形的改善,使系统的功效也有所改善。由于集成度提高,大量减少了元器件,所以有助于提高控制器可靠性指标。

斯特林制冷机是一个精密复杂的系统,控制器的优劣对系统的性能影响很大。采用 DSP 作为控制器核心,在改善电机电流波形,减少损耗的同时,由于其计算能力强、存储空间大、对相关控制算法更易实现,因而为进一步实现斯特林制冷机的自适应控制打下较好的基础。

参考文献:

- [1] 何苏勤,王忠勇. TMS320C2000 系列 DSP 原理及实用技术[M].北京:电子工业出版社,2003.
- [2] 朱建炳,潘雁频. 星载斯特林制冷技术研究进展[J].真空与低温,2005,11(3):131~134.

(上接第 27 页)

$f=0.65$ 表明在本系统中可逆的磁化机制所占的比例较高。这也是图 5 中所示在相同温度下耗散场(矫顽场)分布的平均值 $\bar{h}_c(T)$ 比实验测量得到的矫顽力 h_c 大的原因。

参考文献:

- [1] BERTOTTI G. Hysteresis in Magnetism [M]. New York: Academic, 1998.
- [2] SONG T, ROSHKO R M. Preisach model for systems of interacting superparamagnetic particles [J], IEEE Trans Magn, 2000, 36: 223~225.
- [3] SONG T, ROSHKO R M, DAHLBERG E D. Modelling the irreversible response of magnetically ordered materials: a Preisach-based approach [J]. J Phys Condens Matter, 2001, 13: 3 443~3 448.
- [4] ROSHKO R M, XI L, Modeling the irreversible response within the ferromagnetic phase of $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ [J]. J Appl Phys, 2003, 93: 6 653~6 555.

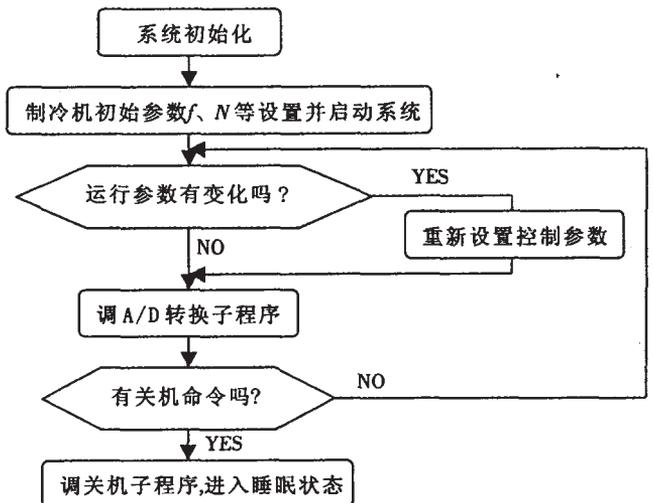


图 2 主程序流程图