基于 DSP 的永磁无刷直流伺服电机全数字控制系统

尹 泉、余高明、万淑芸

(华中科技大学,武汉 430074)

摘要:介绍了一种全数字稀土永磁无刷直流方波电机的伺服系统。该系统以 DSP F240 为核心,采用 IR2130、 IPM 组成功率变换器与驱动电路,实现了全数字 PWM 控制,系统结构简单、有效。实验结果表明,系统调速范围 宽,控制性能好。

关键词:无刷直流电机;伺服系统;变换器/数字信号处理器

中图分类号: TP271.83; TM383.4 文献标识码:A 文章编号:1000 - 100X(2001)03 - 0051 - 02

Digital Servo System of Rare-earth PM Brushless DC Motor Controlled By DSP

YIN Quan, YU Gao-ming, WAN Shu-yun

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: A digital servo system of rare-earth permanent magnetic brushless square wave DC motor is introduced. The system is mainly made of DSP F240, IR2130 and IPM. Experiment results indicate that control system have wide range of speed regulation, good dynamic and static behavior.

Keywords: brushless DC motor; servo system; converter; DSP

引 言 1

无刷直流电机既具有交流电机的简单、运行可 靠、维护方便等优点,又具有直流电机运行效率高、 调速性能好的优点,而且由于不受机械换向限制、易 于做到大容量、高转速,在航天、军工、数控、冶金、医 疗器械等领域有着广阔的应用前景,成为研究热点。

传统无刷直流电机调速系统的控制结构多采用 速度环与电流环双闭环控制。由于电机的电气时间 常数小,因而对电流控制的实时性要求较高,在控制 上速度环采用数字调节器结构,电流内环多采用模 拟调节器。

电力电子器件及微处理器的发展为高性能伺服 系统提供了实现手段。由于 DSP 内核 20MIPS 的 高速处理能力和面向电机控制的专用外围设备,使 利用微处理器进行 PWM 信号实时调制,实现包括 电流环的全数字调速系统成为可能。

本文介绍以电机专用芯片 TMS320F240 为核 心的全数字永磁无刷直流电机控制方案,并给出实 验结果。

永磁无刷直流电机控制系统简介 2

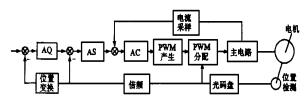
永磁无刷电机应用广泛,控制方法和运行方式 很多。本文介绍以三相 Y 联接的永磁方波无刷电 机 PWM控制方案,通电方式采用两两通方式。控

收稿日期:2000 - 12 - 05 定稿日期:2001 - 03 - 12

作者简介:尹泉(1968-),男,博士生,研究方向为交直流

传动和伺服控制系统。

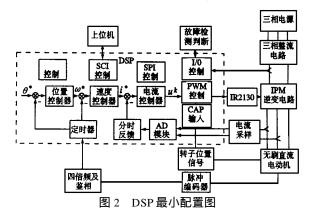
制系统原理框图如图 1 所示:



控制系统原理图

系统硬件配置 3

图 2 示出 DSP 最小配置如图。



3.1 电机及位置传感器

系统的电机采用南京力源公司的 QLS 系列永 磁无刷伺服电动机,(220V,850W,1500r/min),磁 场分布为方波。位置传感器为光电码盘。它输出 12 路信号。其中 $U \setminus U^{-} \setminus V \setminus V^{-} \setminus W \setminus W^{-}$ 为磁极 位置信号, A、A ~、B、B ~、C、C ~ 为速度信号。

3.2 功率变换器与驱动电路

功率变换器由二极管整流桥、滤波电路、逆变器 电路及相应的吸收保护电路组成。开关元件采用 IPM 智能功率模块,驱动电路采用 IR2130 芯片。

3.3 相电流检测及反馈

电流检测采用磁平衡式霍尔元件 LEM 模块进 行,电流采样电路如图3示。

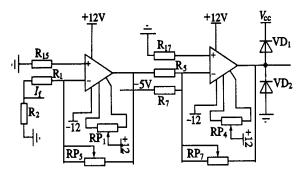


图 3 电流采样电路原理图

将采样的小电流信号转换为电压信号,并通过 电平转换、放大,将具有正负极性的电流反馈信号变 换为 0~5V 的电压信号,输入到 DSP 的两个 A/D 转换单元,其中 0V 与 5V 对应可检测的最大正负电 流。

利用 DSPF240 软件实现电流反馈与转子位置 同步的分时反馈(见图 4) 及与 PWM 周期同步的 A/ D 采样,从而测得电枢电流的平均值作为反馈电流 参与电流调节器的运算。

PWM 周期同步的 A/D 采样,将测得的电枢电 流的平均值作为反馈电流参与电流调节器的运算。

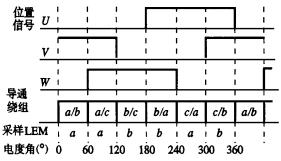


图 4 位置信号与 A/D 通道分时反馈图

3.4 位置检测

无刷直流电机的三相转子位置信号经差动放大 隔离后输入到 F240 的三个捕获单元作为位置反馈 信号,当任意一相转子信号发生变化时产生中断,在 中断处理程序中改变 ACTR 的值,产生对应的 PWM 输出信号,给对应的绕组通电,起到电子换相 器的作用。

3.5 转速检测及反馈

光电码盘输出的光电脉冲经差动放大隔离后输 入到由 GAL 构成的 4 倍频鉴相电路,后输入到 F240 的计数单元,正转时定时器增计数,反之则定 时器减计数。4倍频鉴相电路提高了速度的检测精

控制策略

本系统采用全数字三闭环控制,电流环采用 PI 调节器.速度环采用遇限削弱积分的积分分离 IP 控 制算法,如图 5 所示,速度环的输出极性决定正反转 方向,以实现电机的四象限运行。位置环采用 P 调 节器,逆变器采用全桥型 PWM 调制。

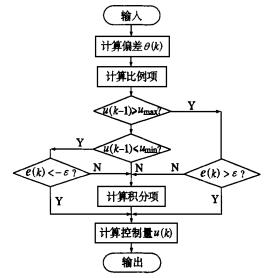


图 5 遇限削弱积分的积分分离 PI 控制算法框图

实验结果及结论

实验系统的 PWM 频率为 8kHz,软件死区时间 为 0 µs, 电流环的采样周期为 1 2 5 µs, 速度环为 1.0ms,速度环的输出限幅值为额定电流的 1.5 倍, 电流环的输出限幅为额定电压的 1.2 倍。电机参数 为 850W ,1500r/ min。

在上述条件下,对系统进行了初步实验。

实验结果: 当给定速度为 0.1r/min 时,速度、电 枢电流稳态曲线如图 6a 示。当给定速度从 - 800r/ min 到 800r/min 时,速度、电枢电流响应曲线如图 6b 示。

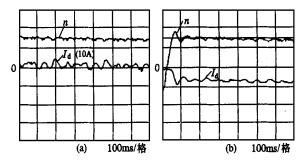


图 6 速度、电枢电流曲线图 实验结果表明所采用的控制方案正确可行,控 (下转第58页)

另外,为了实现 UPS 的智能化,让用户能够在 微机/ 计算机网络的各个节点实时监视 UPS 电源的 运行参数,如输入/ 输出电压、电流和频率,电池组的 充放电电压和电流,UPS 的输出功率以及相关报警信息等。这样就需要设计相应的上下位机软件,以建立 UPS 电源和微机/ 计算机网络之间的双向通讯调控功能。将下位机(DSP) 软件通讯设计成被动式的,即只有在收到上位机发出的取数命令时,才向上位机送出相应的参数。这个过程用 F240 的 SCI 中断来实现,其中断优先级被设为低于 T_1 和 T_2 的相应中断。

4.2 波形控制技术

为了产生高质量的输出波形,采用了输出电压 和电流的瞬时值反馈控制。这种方法和传统的平均 值控制相比,速度更快,能更好地抵御非线形负载的 扰动并抑制各种谐波干扰。由于 PI 调节器的滞后 特征.所以在瞬时控制方案中不宜采用 PI 和 PID 调节器。PWM 逆变器波形控制技术实际上是一个 伺服系统,基于内模控制的原理,可以重复控制作为 外环辅助调节来实现系统的无静差;而用无差拍控 制方法作为内环来快速跟踪指令基波正弦。和积分 控制机理相似,重复信号发生器的输出是对输入信 号的逐周期累加。当指令波形与反馈波形不一致 时,控制量幅度会逐周期无限制地增加。若系统是 稳定的,则可以使得稳态时波形误差为零,即反馈波 形和指令波形重合,既没有幅值偏差也没有相位滞 后[5]。无差拍控制则是以参考给定作为理想输出, 进而回推所需 PWM 的控制方法。这种方法能快速 地响应电压的变化,并且无相位滞后。相关实施请 参阅相关文献[6]。

5 实验结果

根据以上原理,初步设计了一个实验系统,并获得了比较好的实验效果,图5为加电阻负载时的输

出波形。1) 为经分压后的电压波形;2) 为感应电流波形。

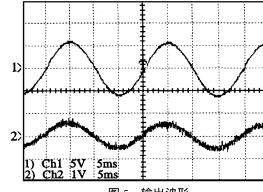


图 5 输出波形

总之,全数字化的实现大大减少了在线式 UPS 所需要的元器件,降低了生产成本,提高了在线式 UPS 的集成度,使实现系统智能模块化成为可能,并增加了系统的可靠性;全数字化还使得系统具有很强的可编程性,这样使系统更易于更新和升级。

参考文献:

- [1] 李成章. 智能化 UPS 供电系统原理与维修[M]. 北京:电子工业出版社,1993.
- [2] TMS320F24X DSP 控制器参考手册[M]. 武汉:武汉力源电子股份有限公司发行,1998.
- [3] 肖化,胡广莉. 智能化交流不间断电源(UPS)的设计 [J]. 电力电子技术,1997,31(2):31~34.
- [4] 高曾辉. MCS-8098 单片机控制的三端口不间断电源系统[J]. 四川师范学院学报(自然科学版),1998(3):276~281.
- [5] Tzou Y. Y. etc. High-performance Programmable AC Power Source with Low Harmonic Distortion Using DSPbased Repetitive Control Technique [J]. IEEE Transaction on Power Electrolnics, 1997, 12(4):715 ~ 725.
- [6] Hua Chihchiang. Two-level Switching Pattern Deadbeat DSP Controlled PWM Inverter[J]. IEEE Transaction on Power Electronics, 1995, 10(3): 310 ~ 317.

(上接第 52 页)

制系统有较好的动态性能、稳态精度和较宽的调速范围(1:15000)。

采用 DSP 实现无刷直流电机控制系统,结构简单,易于实现复杂的控制规律,且系统性能得以提高。采用方波和 PWM 方式有利于减少力矩波动,改善低速性能。

参考文献:

- [1] 许镇琳等. 无刷直流伺服电机换相最优控制[J]. 自动 化学报,1996(4):428~434.
- [2] 孙明迪等.单片机控制无刷直流电动机速度伺服系统[J]. 北京航空航天大学学报,1997(4):492~496.