

基于 DSC 的数字直流调速系统设计

黄良兵, 陈 富

(中国电子科技集团公司 第 20 研究所, 陕西 西安 710068)

摘要: 模拟直流调整系统具有线路复杂、通用性差、易受器件性能及环境温度影响等缺点。为克服以上不足, 设计了一种基于数字信号控制器(DSC)的数字直流调速系统。系统采用了 Microchip 公司的电机控制 DSC 芯片 dsPIC30F4011 为控制核心, 采用了电流内环、速度外环的双闭环控制策略, 环路的数字 PI 校正及脉宽调制(PWM)控制信号的产生全部由 DSC 软件完成。工程实践结果表明, 该系统具有精度高、超调小、抗扰能力强、可靠性高等优点。

关键词: 直流调速系统; 数字信号处理器; 电流环; 电压环

中图分类号: TM13

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)06-0762-04

Design of digital DC speed adjusting system based on DSC

HUANG Liang-bing, CHEN Fu

(20th Research Institute, China Electronic Technology Group Corporation, Xi'an 710068, China)

Abstract: The analogue DC speed adjusting system has the defects of complex circuitry, bad universality and susceptible to device performance and atmosphere temperature, etc. . In order to eliminate the defects, a digital DC speed adjusting system based on digital signal controller(DSC) was proposed. The dsPIC30F4011 from Microchip Technology Inc. which is oriented to motor control was used as the controller. A strategy of double closed-loop which includes the current-loop as the inner-loop and the speed-loop as the outer-loop was taken into the system. The digital PI adjusting of the loops and the generating of the pulse width modulation(PWM) control signal were all done by the DSC software. The engineering practice result shows that the system has the profits of high accuracy, small overshoot, good disturbance immunity and high reliability etc. .

Key words: DC speed adjusting system; digital signal controller(DSC); current-loop; speed-loop

0 引 言

直流调速因具有优良的动态性能, 广泛地应用于工业生产和武器装备上。现代直流调速系统主要采用直流 PWM 功放驱动永磁式直流伺服电机拖动负载转动, 根据控制电路组成可分为模拟调速系统和数字调速系统两种。模拟调速系统用运算放大器来实现控制规律, 其控制线路复杂、通用性差, 控制效果受到器件性能、温度等因素的影响, 而以数字信号处理器(DSP)、数字信号控制器(DSC)为核心的数字调速系统不受器件温度漂移的影响, 其控制软件能够进行逻辑判断和复杂运算, 可以实现不同于一般线性调节的最优化、自适应、非线性、智能化等控制规律, 系统的性能、可靠性、通用性都得到大大的提高^[1]。

本设计中的数字直流调速系统基于 Microchip 公司的专门面向电机控制的 16 位 DSC, 具有精度高、超调小、抗扰能力强、可靠性高等优点。

1 系统的组成框图及原理

数字直流调速系统组成框图如图 1 所示, 包括数字控制器电路、功率转换电路、转速及电流检测及调理电路。系统的主要功能是根据伺服计算机板的转速设定数字信号控制直流伺服电机按设定的转速拖动负载转动。系统以 MicroChip 公司的 dsPIC30F4011 为控制核心, 采用典型的速度外环、电流内环的双闭环控制策略, 用测速机检测电机转速, 用霍尔电流传感器检测电机电枢电流, 转速、电流信号经过电平转换为 0 V ~ 5 V 的电压信号后, 由 DSC 内部集成的高速 A/D 转换

器完成速度和电流的采样,用数字 I/O 完成伺服计算机的转速选择信号的读入和状态的实时反馈输出,采用软件程序实现速度环、电流环的数字 PI 校正,用内部集成的电机控制脉宽调制模块产生 PWM 控制信号,PWM 控制信号通过功率管驱动器控制 H 桥功率管导通和关断,通过调整占空比调整电机电枢的平均电压,从而控制电机电枢电流和转速。

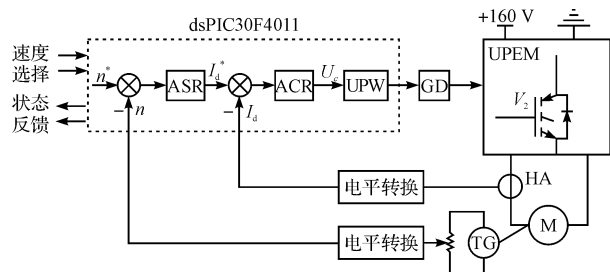


图1 系统组成框图

ASR—转速环校正;ACR—电流环校正;UPW—PWM 波发生器;UPEM—全桥可逆电力电子变换器;GD—功率驱动;TG—测速机;HA—霍尔电流传感器

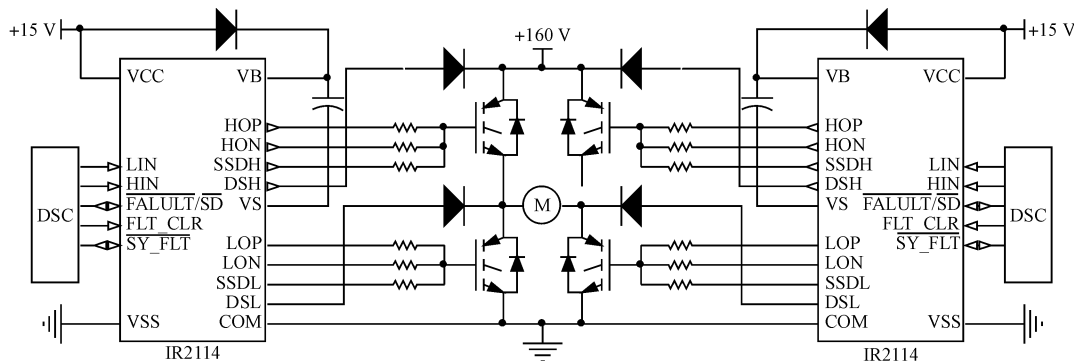


图2 功率转换电路原理图

2.2 PWM 控制电路

2.2.1 控制器介绍

该设计中选用 MicroChip 公司的 16 位 DSC,它集成了单片机的控制功能和 DSP 的快速计算功能。最高速度为 30 MIPS,CPU 采用改进的哈佛结构,使程序总线和数据总线相分离,取指令和运行指令并行,极大提高了工作速度^[5]。内部集成了较大容量的存储器、10 位精度转换速率高达 500 Ksps 的模/数转换器、电动机控制模块,非常适合电机的数字控制。

2.2.2 PWM 模式选择

现代直流电机驱动大多采用 H 桥可逆 PWM 模式,可逆 PWM 模式有单极性可逆、受限单极性可逆、双极性可逆等几种模式。受限单极性 PWM 相对双极性 PWM 电流纹波减小一半,同时功率控制切换可靠性高,同桥臂的功率管之间不需附加死区延时,因而开关频率可相对提高,在大功率系统中应用广泛^[6]。该

2 主要电路设计

2.1 功率转换电路

由大功率管构成的功率转换电枢是整个调速系统的核心部分,其原器件的性能、质量直接影响整个调速系统的性能和可靠性^[2]。IGBT 综合了 GTR 和 PMO-SEET 的优点,具有容量大、开关速度快、传导特性好等优点,在大容量、高电压电机驱动中占主导地位^[3]。笔者在设计中选用 IR 公司的 IGBT 功率管 IRGP30B-60KD-E,其主要参数为:最大集射极电压 600 V,最大集电极电流 30 A,@ 100 °C,集射极饱和压降 1.95 V。IGBT 驱动电路选用 IR 公司的半桥驱动芯片 IR2114,其使用内部集成的自举电路产生隔离电源,减小了电路的体积,并节约了成本,具有完善的保护功能,如欠电压保护、发射极-集电极欠饱和保护、软关断功能^[4],具体电路原理如图 2 所示。

系统考虑电机发热、可靠性等因素选用了受限单极性模式。

2.2.3 PWM 控制信号的产生

该系统采用 dsPIC30F4011 内部集成的电机控制 PWM 模块产生 PWM 控制波形,用两组互补的 PWM 输出引脚控制 H 桥的两对桥臂,通过设置 PWM 时基控制寄存器、死区时间控制寄存器的值设定 PWM 开关周期、互补死区,并通过更改占空比寄存器来改变 PWM 脉宽,用同步手动更改实现正、反转 PWM 波的切换。由于本研究使用软件来产生 PWM 波形,因而具有精度高、可靠、控制灵活、易于实现产生复杂的 PWM 波形^[7]。

3 环路的设计和仿真

该系统中电流环的校正周期取 PWM 开关周期 10 kHz,速度环的校正周期取 500 Hz,均远远大于各自环路的带宽,可以把它们近似地看成是模拟系统,先按

模拟系统理论来设计调节器的参数,然后数字化得到控制算法^[8]。

3.1 电流环设计和仿真

调速系统中电流环作为内环,其作用是跟随速度外环的输出设定,限制电枢电流,保证电枢电流在突加控制作用时不超过允许值,同时实现对电压波动抗扰作用,因此本研究将电流环校正为 I 型系统,采用 PI 校正。在实际系统中,由于电机的电磁时间常数一般都远小于机电时间常数,因此电动机电枢电流的变化速度远远快于转速的变化速度,反电势对电流环来说,只是

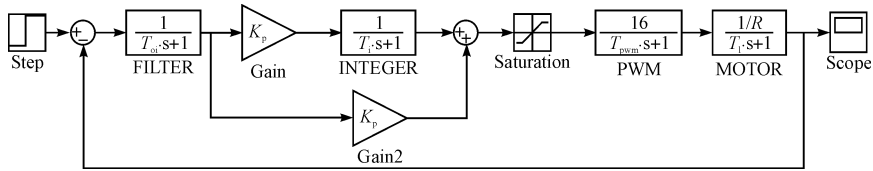


图 3 电流环 Simulink 仿真模型

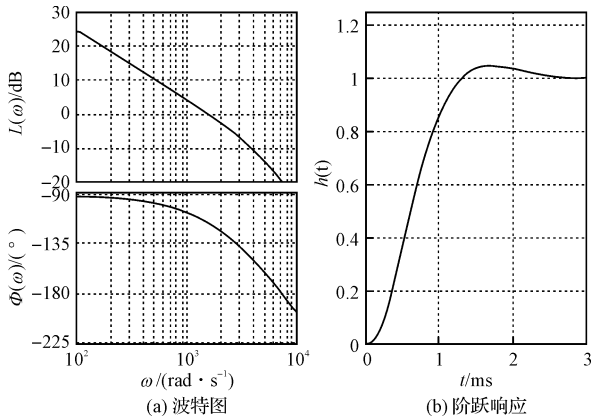


图 4 电流环波特图及阶跃响应曲线

3.2 速度环设计和仿真

速度环是为了提高调速系统范围和抗干扰能力。为实现转速无静差,转速环设计成典型的 II 型系统,仍采用 PI 校正^[9]。速度环由 PWM 电流环、伺服电机、测速机和校正装置组成,其中校正环传递函数 $W_2(s) = K_2(1 + T_2s)/T_2s$,电流环传递函数 $\Phi_I(s) = 1/(K_I s + 1)$,反电动势常数 $C_e = 0.0509 \text{ V} \cdot \text{min/r}$,机电时间常数 $T_m = 0.085 \text{ s}$ 。

3.2.1 转速环调节器参数计算

转速环时间常数 $T_{\Sigma n} = T_1 + T_{on} = 0.0066 \text{ s}$ (其中, T_1 为电流环时间常数, T_{on} 为转速滤波时间常数)。按跟随和抗扰性能都好的原则,取 $h = 5$,则 ASR 超前时间常数为 $T_2 = 5 \times 0.0066 = 0.033 \text{ s}$,转速环开环增益 $K_N = (h + 1)/2h^2 T_{\Sigma n} = 2754.8 \text{ s}^{-2}$,ASR 的比例系数 $K_n = [(h + 1)\beta C_e T_m]/2h\alpha R T_{\Sigma n} = 155$,转速环的开环截止频率 $\omega_{cn} = K_N \times T_2 = 90.9 \text{ s}^{-2}$ 。

一个变化缓慢的扰动。在设计电流环时,可以暂不考虑反电势变化的动态影响^[8]。该调速系统中选用的电机具体参数为:额定电压 160 V,额定转速 3 000 r/min、额定转矩 3.6 N·m,电枢电阻 0.76 Ω ,电枢电感 3.3 mH,滤波时间常数 $T_{oi} = 0.0002 \text{ s}$,开关频率取 10 kHz,等效滞后时间常数 $T_{PWM} = 0.0001 \text{ s}$,PI 校正 $k_p = 0.34$, $T_i = 0.0043 \text{ ms}$ 。电流环 Simulink 仿真模型如图 3 所示,仿真开环波特图和阶跃响应曲线如图 4 所示,开环截止频率为 1 570 rad/s,阶跃响应调整时间为 2.29 ms,超调为 4.54%,取得比较满意的性能。

3.2.2 调节器的数字化

电流环和转速环均采用 PI 调节。PI 调节器的传递函数为:

$$W_{PI} = \frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_p T_i s + 1}{T_i s} \quad (1)$$

式中: K_p —比例系数, T_i —积分时间常数。

$u(t)$ 、 $e(t)$ 的时域表达式为:

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt \right] \quad (2)$$

离散化为差分方程:

$$u_k = K_p e_k + TK_1 \sum_{j=0}^k e_j \quad (3)$$

式中: k —采样序号; K_1 —积分系数, $K_1 = K_p/T_i$; T —采样周期。

在速度调节中,如果调节器没有进行饱和限幅,则过渡过程的超调较大,但若使用饱和限幅,速度上升时间比没限幅时要长,积分累计值增大,积分退饱和也带来明显的超调,为减小超调,常采用各种克服积分饱和的算法,常见的有遇限削弱积分法、积分分离法、有效偏差法^[10]。该设计中采用遇限削弱积分法,其思想是:一旦控制量饱和,将只执行削弱积分项的运算而停止进行增大积分项的运算。

3.2.3 转速环仿真

速度环的 Simulink 仿真模型如图 5 所示,其仿真波特图和从停止到额定转速的时间响应如图 6 所示。由图可得为 85.5 rad/s,相位裕度为 40.4°,起动到额定转速时间为 2.8 s,由于对 PI 调节器采取了饱和限幅及遇限削弱积分法抗积分饱和,超调较小。由仿真结果可看出速度环响应速度快、精度较高、超调较小、

风扰波动小,性能比较满意。

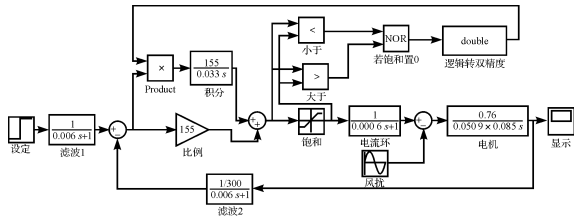


图5 速度环 Simulink 仿真模型

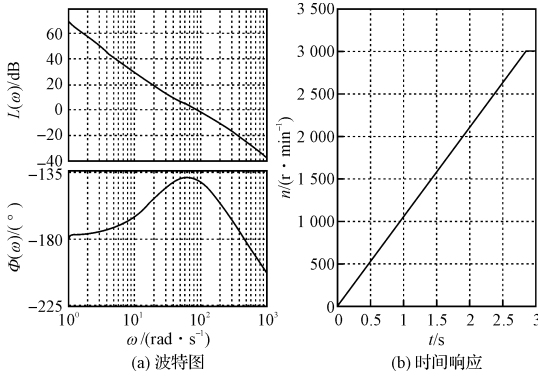


图6 速度环波特图及时间响应

4 结束语

本研究提出的基于DSC的数字直流调速系统采用电流环、速度环的双闭环控制策略,用DSC内部集成数/模转换器完成电流、速度的实时采样,用软件算

法完成环路的数字校正,用集成的电机控制模块完成PWM控制信号的产生,大大地缩短了各环节的时间常数和采样周期,并可实现一些较复杂的控制算法。工程实践结果表明,该系统具有精度高、超调小、抗扰能力强、可靠性高等优点。

参考文献(References):

- [1] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统—运动控制系统[M]. 3版. 北京:机械工业出版社,2004.
- [2] 刘胜,彭侠夫,叶瑰昀. 现代伺服系统设计[M]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2001.
- [3] 姚锐,王兵树,李娜. IGBT驱动器在高压电机调速系统中的应用研究[J]. 微型机与应用,2010,29(15):25-28.
- [4] 刘剑飞,王富洲. 新型IGBT半桥驱动芯片IR22141应用研究[J]. 微电机,2008,41(4):49-51.
- [5] 王晓明,刘瑶,周青山,等. 电动机的DSC控制—微芯公司dsPIC应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2009.
- [6] 秦继荣,沈安俊. 现代直流伺服控制技术及其系统设计[M]. 北京:机械工业出版社,2002.
- [7] 王桂林,张为公,庞罕,等. 基于DSP的自适应电机控制方法研究[J]. 测控技术,2008,27(11):76-79.
- [8] WU Jian-hua, PU Dong-lin, HAN Ding. Adaptive robust motion control of SISO nonlinear implementation on linear motor[J]. *Mechatronics*,2007,17(4):263-270.
- [9] 高志宏. 直流调速数字控制系统的仿真设计与参数优化[J]. 机电工程,2008,25(8):98-101.
- [10] 冯勇. 现代计算机控制系统[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2003.

[编辑:张翔]

(上接第752页)

换延时;②光纤传送需要串行数据,在接收端数据完整读取上需要一帧的延时。所以选用性能更好的A/D转换器和提高时钟频率可很大地提高整个采样系统速度,增加控制实用性,并满足高速系统的要求。

6 结束语

本研究提出了一种新型的光纤隔离通讯装置,适用于复杂电力电子模块的采样系统。其通过数字传输信号,可以减少电磁干扰所引起的误差,具有隔离电压高、反应速度快、通讯带宽宽等特点。该装置主要分为发送单元和接收单元两部分,本研究以此为依据分别对二者硬件结构作了详细的描述,然后介绍软件框图及信号流程,最后给出了实验波形,通过对系统延时的分析,得出了本装置适用于复杂电力电子采样应用的结论,并且对其改进方向作出了展望及说明。

参考文献(References):

- [1] 胡宗波,张波,邓卫华. PWM直流变换器中一种新型的零电压零电流转换软开关单元[J]. 中国电机工程学报,2004,24(3):126-134.
- [2] 钱照明,陈恒林. 电力电子装置电磁兼容研究最新进展

- [J]. 电工技术学报,2007,22(7):1-11.
- [3] 董新伟,吴国忠,赵荣祥,等. 电力电子标准模块通讯接口分析与设计[J]. 浙江大学学报:工学版,2007,41(11):1857-1861.
- [4] Instrument transformers Co., Ltd.. IEC60044-7 IEC/TC38 electronic voltage transformers[S]. Instrument transformers Co., Ltd.,1999.
- [5] 李九虎,郑玉平,古世东,等. 电子式互感器在数字化变电站的应用[J]. 电力系统自动化,2007,31(7):94-98.
- [6] 殷志良,刘万顺,秦应力,等. 一种基于FPGA技术的电子式互感器接口实现新方法[J]. 电力系统自动化,2004,28(14):93-99.
- [7] RICHTER F, SOURKOUNIS C. Precise Current Sensor for Power Electronic Devices[C]//Power Electronics Specialists Conference, 2008. Rhodes: [s. n.],2008:4786-4789.
- [8] KUROSAWA K, SHIRAKAWA K. Development of Optical Fiber Current Sensors and Their Applications[C]//Transmission and Distribution Conference and Exhibition: Asia and Pacific. Dalian: [s. n.],2005:1-6.
- [9] 胡海兵,吕征宇,钱照明. 浮点协处理器设计及其在电力电子数字控制平台的应用[J]. 中国电机工程学报,2008,28(3):29-33.
- [10] 张小平,赵不贿. Altera新型FPGA器件的配置方式[J]. 微处理机,2006(4):93-95.
- [11] MILOSAVLJEVIC I, YE Zhi-hong, et al. Analysis of converter operation with phase-led control in daisy-chained or ring-type structure[C]//Power Electronics Specialists Conference. South Carolina, USA. 1999. PESC99, 30th Annual IEEE. Charleston: [s. n.],1999:1216-1221.

[编辑:张翔]