



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101840064 A

(43) 申请公布日 2010. 09. 22

(21) 申请号 201010152279. 7

G02B 26/08(2006. 01)

(22) 申请日 2010. 04. 22

G05B 19/04(2006. 01)

(71) 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路
3888 号(72) 发明人 王帅 张丽敏 张斌 李洪文
阴玉梅

(74) 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所 22210

代理人 陶尊新

(51) Int. Cl.

G02B 23/02(2006. 01)

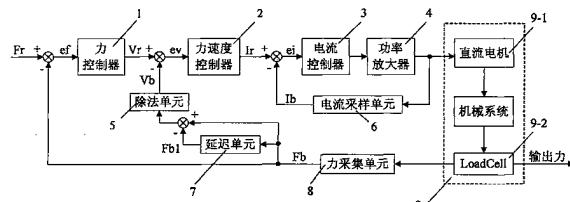
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 1 页

(54) 发明名称

一种直流电机型力促动器的控制方法及电控装置

(57) 摘要

一种直流电机型力促动器的控制方法及电控装置，涉及天文望远镜主动光学系统，为了解决现有步进电机作为力促动器时驱动电路复杂，在算法实现上采用单一的力闭环控制，采用直流电机需要配置外部位置传感器，并且输出力的精度低、稳定性差的问题。其控制方法为：控制系统获得力设定值 F_r 与力反馈值 F_b ；将 F_r 与 F_b 相减后得力误差值 ef ，对 ef 校正，得力速度设定值 V_r ；控制系统将 F_b 与力反馈值 F_{b1} 相减后除以延迟时间 T ，得力速度反馈值 V_b ；将 V_r 与 V_b 相减，得差值 ev ，对 ev 进行校正后作为电流设定值 I_r ；将 I_r 与 I_b 相减，得差值电流 ei ，采用电流控制器对 ei 校正后输出。本发明装置适用于力促动器的控制领域。



1. 一种直流电机型力促动器的控制方法,其特征是,它的具体步骤为 :

步骤一 :控制系统 (16) 获得力设定值 Fr ;

步骤二 :将力采集单元 (8) 获得力反馈值 Fb 送入控制系统 (16) ;

步骤三 :将步骤一获得的力设定值 Fr 与步骤二获得的力反馈值 Fb 进行减法操作,获得力误差值 ef,采用控制系统 (16) 中的力控制器 (1) 对所述力误差值 ef 进行校正,并将校正结果作为控制系统 (16) 中的力速度控制器 (2) 的力速度设定值 Vr ;

步骤四 :控制系统 (16) 将步骤二获得的力反馈值 Fb 与经过延迟单元 (7) 获得的力反馈值 Fb1 相减,然后将相减后的结果除以延迟单元 (7) 产生的延迟时间 T,获得力速度反馈值 Vb ;

步骤五 :将步骤三获得的力速度设定值 Vr 与步骤四获得的力速度反馈值 Vb 进行减法操作,获得差值 ev,采用控制系统 (16) 中的力速度控制器 (2) 对所述差值 ev 进行校正,并将校正结果作为直流电机 (9-1) 的电流设定值 Ir ;

步骤六 :将步骤五获得的直流电机 (9-1) 的电流设定值 Ir 与电流采样单元 (6) 获得的电流反馈值 Ib 进行减法操作,获得差值电流 ei,采用电流控制器 (3) 对所述差值电流 ei 进行校正,采用功率放大器 (4) 对校正后的结果进行放大,控制直流电机 (9-1) 的旋转,对力促动器 (9) 进行控制。

2. 根据权利要求 1 所述的一种直流电机型力促动器的控制方法,其特征在于,所述力控制器 (1)、力速度控制器 (2) 和电流控制器 (3) 采用的是比例 - 积分控制器或者纯比例控制器。

3. 一种直流电机型力促动器的电控装置,包括通信单元 (20)、电源模块 (21)、控制系统 (16)、数模转换器 (18)、传感器接口 (15)、直流电机接口 (19)、数字接口 (17) ;其特征是,它还包括力采集单元 (8)、功率放大器 (4)、电流控制器 (3) 和电流采样单元 (6) ;

所述控制系统 (16) 输入端分别与通信单元 (20) 的输出端、数字接口 (17) 的输出端、功率放大器 (4) 的输入端和力采集单元 (8) 的输出端连接;控制系统 (16) 分别通过通信单元 (20) 读取力设定值,通过力采集单元 (8) 读取力反馈值进行操作,通过数字接口 (17) 读取力促动器的输出力的限位状态信息;数模转换器 (18) 的输入端与控制系统 (16) 的输出端连接,所述数模转换器 (18) 将控制系统 (16) 输出的电流设定值由数字信号转换为模拟信号,以提供给电流控制器 (3);所述电流控制器 (3) 的输出端与功率放大器 (4) 的输入端连接,功率放大器 (4) 的输出端分别与直流电机接口 (19) 和电流采样单元 (6) 连接;所述电流采样单元 (6) 用来采集电流控制器 (3) 提供的电流反馈值,所述电流控制器 (3) 用来控制直流电机的电枢电流,功率放大器 (4) 用来将电流驱动信号放大,以驱动直流电机的转动;数字接口 (17) 的输出端与功率放大器 (4) 的另一个输入端连接,数字接口 (17) 用来接入力促动器的限位状态信息;所述力采集单元 (8) 的输入端与传感器接口 (15) 连接,力采集单元 (8) 通过传感器接口 (15) 获得力促动器的输出力;传感器接口 (15) 与电源模块 (21) 连接。

4. 根据权利要求 3 所述的一种直流电机型力促动器的电控装置,其特征在于,所述力采集单元 (8) 由模数转换器 (8-2) 和模拟信号调理单元 (8-1) 组成;所述模数转换器 (8-2) 的输入端与模拟信号调理单元 (8-1) 的模拟信号输出端连接;所述模拟信号调理单元 (8-1) 的模拟信号输入端作为力采集单元 (8) 的信号输入端,模数转换器 (8-2) 的输出

端作为力采集单元 (8) 的信号输出端 ; 所述模拟信号调理单元 (8-1) 将测 LoadCell 输出的微弱电压信号放大, 模数转换器 (8-2) 对放大后的电压信号进行采样, 提供给控制系统 (16) 作为力反馈值。

5. 根据权利要求 4 所述的一种直流电机型力促动器的电控装置, 其特征在于, 所述模拟信号调理单元 (8-1) 采用仪表放大器 AD620。

6. 根据权利要求 3 所述的一种直流电机型力促动器的电控装置, 其特征在于, 所述控制系统 (16) 包括力控制器 (1)、延迟单元 (7)、除法单元 (5) 和力速度控制器 (2); 所述力控制器 (1) 的输出端与力速度控制器 (2) 的输入端连接, 力控制器 (1) 的输入端分别与延迟单元 (7) 的输入端和除法单元 (5) 的输入端连接, 延迟单元 (7) 的输出端与除法单元 (5) 的另一个输入端连接, 延迟单元 (7) 用来保存力采集单元 (8) 采集的力反馈值, 除法单元 (5) 用来计算力速度反馈值, 除法单元 5 的输出端与力速度控制器 (2) 的另一个输入端连接, 所述力速度控制器 (2) 的输出端作为控制系统 (16) 的输出端。

7. 根据权利要求 3 所述的一种直流电机型力促动器的电控装置, 其特征在于, 控制系统 (16) 是微处理器或者工控机。

8. 根据权利要求 7 所述的一种直流电机型力促动器的电控装置, 其特征在于, 所述微处理器是 DSP 或者单片机。

9. 根据权利要求 3 所述的一种直流电机型力促动器的电控装置, 其特征在于, 所述电流控制器 (3) 是由 NPO 电容、电阻和放大器 OPA277 组成的模拟式比例 - 积分控制器。

10. 根据权利要求 3 所述的一种直流电机型力促动器的电控装置, 其特征在于, 所述电流采样单元 (6) 由电阻和运算放大器组成。

一种直流电机型力促动器的控制方法及电控装置

技术领域

[0001] 本发明涉及天文望远镜主动光学系统,具体涉及一种力促动器的控制系统。

背景技术

[0002] 力促动器作为大型天文望远镜主动光学系统中的重要组成部分,它通过施加压力或拉力实时改变主镜镜面的形状,以修正由于重力、温度和风力等因素造成的镜面形变。为了达到所需要的面形精度,每个力促动器对镜面施加力的精度要求达到毫牛顿级 (mN),并且要求的输出力在几分钟甚至十几分钟的时间内具有很高的稳定性。这种技术解决了大型天文望远镜主镜面的制造难题,但对控制系统提出了非常高的要求。

[0003] 现有力促动器按执行机构的不同,可分为直流电机型和步进电机型两种。一般直流电机型力促动器需要配置位置传感器,以便进行电机位置、速度调节,例如 VST 望远镜主动光学系统中的力促动器安装有 LVDT 位置传感器, VLT 望远镜中的力促动器安装有编码器,这两种方式无疑增加了系统的成本和复杂度;所述步进电机型力促动器充分利用步距角可细分控制的优点,无需外部位置传感器即可实现力促动器输出力的平稳调节,但由于步进电机本身的控制及驱动方式,也决定了该系统具有连线多、驱动电路复杂的缺点,例如在中国发明专利申请号为 01113669.3,公开号(公告号):CN1343898,专利名称《大型天文望远镜中力促动器的电控系统》的说明书中,提出了一种大型天文望远镜中力促动器的电控系统,该系统采用的就是步进电机驱动,并且该步进电机型力促动器的控制采用开环控制,或者是简单的力闭环控制,另外,在中国发明专利申请号为 200510094193.2,公开号(公告号):CN1752791,专利名称《大型天文望远镜中力促动器的智能控制系统》的说明书中,提出了一种包括控制系统软件在内的大型天文望远镜中力促动器的控制系统,该系统仍采用的步进电机驱动,在算法实现上采用的也是单一的力闭环控制,且使用简单的比例控制器,但是采用这种控制策略对系统中存在的非线性以及外界扰动的抑制是有限的。

发明内容

[0004] 本发明为了解决现有步进电机作为力促动器时驱动电路复杂,在算法实现上采用单一的力闭环控制,采用直流电机需要配置外部位置传感器,并且输出力的精度低、稳定性差的问题,提供一种直流电机型力促动器的控制方法及电控装置。

[0005] 一种直流电机型力促动器的控制方法,该方法由以下步骤实现:

[0006] 步骤一:控制系统获得力设定值 Fr ;

[0007] 步骤二:将力采集单元输出的力反馈值 Fb 送入控制系统;

[0008] 步骤三:将步骤一获得的力设定值 Fr 与步骤二获得的力反馈值 Fb 进行减法操作,获得力误差值 ef ,采用控制系统中的力控制器对所述力误差值 ef 进行校正,并将校正结果作为控制系统中的力速度控制器的力速度设定值 Vr ;

[0009] 步骤四:控制系统将步骤二获得的力反馈值 Fb 与经过延迟单元获得的力反馈值 $Fb1$ 相减,然后将相减后获得的结果除以延迟单元产生的延迟时间 T ,获得力速度反馈值

Vb；

[0010] 步骤五：将步骤三获得的力速度设定值 V_r 与步骤四获得的力速度反馈值 V_b 进行减法操作，获得差值 e_v ，采用控制系统中的力速度控制器对所述差值 e_v 进行校正，并将校正结果作为直流电机的电流设定值 I_r ；

[0011] 步骤六：将步骤五获得的直流电机的电流设定值 I_r 与电流采样单元获得的电流反馈值 I_b 进行减法操作，获得差值电流 e_i ，采用电流控制器对所述差值电流 e_i 进行校正，采用功率放大器对校正后的结果进行放大，控制直流电机的旋转，对力促动器进行控制。

[0012] 实现本发明的直流电机型力促动器的电控装置，包括通信单元、通信单元、控制系统、数模转换器、传感器接口、直流电机接口、数字接口；它还包括力采集单元、功率放大器、电流控制器和电流采样单元；

[0013] 所述控制系统输入端分别与通信单元的输出端、数字接口的输出端、功率放大器的输入端和力采集单元的输出端连接；控制系统分别通过通信单元读取力设定值，通过力采集单元读取力反馈值对其进行操作，通过数字接口读取力促动器的输出力的限位状态信息；数模转换器的输入端与控制系统的输出端连接，所述数模转换器将控制系统输出的电流设定值由数字信号转换为模拟信号，以提供给电流控制器；所述电流控制器的输出端与功率放大器的输入端连接，功率放大器的输出端分别与直流电机接口和电流采样单元连接；所述电流采样单元用来采集电流控制器提供的电流反馈值，所述电流控制器用来控制直流电机的电枢电流，保证电流的快速、稳定输出，提高力矩刚度，同时抑制外界扰动；功率放大器用来将电流驱动信号放大，以驱动直流电机的转动；数字接口的输出端与功率放大器的另一个输入端连接，数字接口用来接入力促动器的限位状态信息，保证力促动器在到达限位位置后，及时停止直流电机的转动，避免力促动器的输出力超出规定的安全范围；所述力采集单元的输入端与传感器接口连接，力采集单元通过传感器接口获得力促动器的输出力；传感器接口与电源模块连接。

[0014] 本发明的有益效果：本发明针对直流电机型力促动器采用的控制方法及电控装置，无需使用额外的位置传感器，同时降低了力促动器电控系统的复杂度，有效的提高了力促动器的控制精度和稳定性，本发明采用三闭环的控制策略对力促动器本身具有的非线性及外界扰动起到了抑制作用。

附图说明

[0015] 图 1 是本发明控制方法原理图；

[0016] 图 2 为本发明电控装置的结构示意图。

[0017] 图中：1、力控制器，2、力速度控制器，3、电流控制器，4、功率放大器，5、除法单元，6、电流采集单元，7、延迟单元，8、力采集单元，8-1、模拟信号调理单元，8-2、模数转换器，9、力促动器，9-1、直流电机，9-2、LoadCell（力传感器），10、通信接口，11、电源接口，12、串行通信转换器，13、电源滤波器，14、稳压电源，15、传感器接口，16、控制系统，17、数字接口，18、数模转换器，19、直流电机接口，20、通信单元，21、电源模块。

具体实施方式

[0018] 具体实施方式一：结合图 1 说明本实施方式，一种直流电机型力促动器的控制方

法,该方法由以下步骤实现:

- [0019] 步骤一:控制系统 16 获得力设定值 Fr;
- [0020] 步骤二:将力采集单元 8 输出的力反馈值 Fb 送入控制系统 16;
- [0021] 步骤三:将步骤一获得的力设定值 Fr 与步骤二获得的力反馈值 Fb 进行减法操作,获得力误差值 ef,采用控制系统 16 中的力控制器 1 对所述力误差值 ef 进行校正,并将校正结果作为控制系统 16 中的力速度控制器 2 的力速度设定值 Vr;
- [0022] 步骤四:控制系统 16 将步骤二获得的力反馈值 Fb 与经过延迟单元 7 获得的力反馈值 Fb1 相减,然后将相减后获得的结果除以延迟单元 7 产生的延迟时间 T,获得力速度反馈值 Vb;
- [0023] 步骤五:将步骤三获得的力速度设定值 Vr 与步骤四获得的力速度反馈值 Vb 进行减法操作,获得差值 ev,采用控制系统 16 中的力速度控制器 2 对所述差值 ev 进行校正,并将校正结果作为直流电机 9-1 的电流设定值 Ir;
- [0024] 步骤六:将步骤五获得的直流电机 9-1 的电流设定值 Ir 与电流采样单元 6 获得的电流反馈值 Ib 进行减法操作,获得差值电流 ei,采用电流控制器 3 对所述差值电流 ei 进行校正,采用功率放大器 4 对校正后的结果进行放大,控制直流电机 9-1 的旋转,对力促动器 9 进行控制。
- [0025] 本实施方式所述力控制器 1、力速度控制器 2 和电流控制器 3 采用的是比例 - 积分控制器或者纯比例控制器;所述的电流采样单元 6 由高精度电流采样电阻和运算放大器组成;所述的力采集单元 8 用来采集 LoadCell 9-2 输出的力信号,电流采样单元 6 用来测量直流电机 9-1 的电枢电流。
- [0026] 本实施方式中的力控制、力速度控制和电流控制均通过闭环控制的方式自动完成,其中,力控制器 1、力速度控制器 2 和电流控制器 3 可以在数字控制器中通过软件编程实现,其中,电流控制器 3 可以通过硬件电路实现;所述的力速度反馈值 Vb 不需要额外的传感器,只需要一个产生固定延迟时间的延迟单元 7,将当前力反馈值 Fb 与延迟采集的力反馈值 Fb1 相减,再除以延迟时间 T,获得力速度反馈值 Vb,这种方法省却了现有技术中的位置型传感器,同时便于数字实现。
- [0027] 具体实施方式二:结合图 2 说明本实施方式,用于实现本实施方式的一种直流电机型力促动器的控制方法的电控装置,包括通信单元 20、电源模块 21、控制系统 16、数模转换器 18、传感器接口 15、直流电机接口 19、数字接口 17;它还包括力采集单元 8、功率放大器 4、电流控制器 3 和电流采样单元 6;
- [0028] 所述控制系统 16 输入端分别与通信单元 20 的输出端、数字接口 17 的输出端、功率放大器 4 的输入端和力采集单元 8 的输出端连接;控制系统 16 分别通过通信单元 20 读取力设定值,通过力采集单元 8 读取力反馈值对其进行操作,通过数字接口 17 读取输出力的限位状态信息;控制系统 16 的输出端与数模转换器 18 的输入端连接,所述数模转换器 18 将控制系统 16 输出的电流设定值由数字信号转换为模拟信号,以提供给电流控制器 3;所述电流控制器 3 的输出端与功率放大器 4 的输入端连接,功率放大器 4 的输出端分别与直流电机接口 19 和电流采样单元 6 连接;所述电流采样单元 6 用来采集电流控制器 3 提供的电流反馈值,所述电流控制器 3 还用来控制直流电机的电枢电流,功率放大器 4 用来将电流驱动信号放大,以驱动直流电机的转动;功率放大器 4 的另一个输入端与数字接口 17 的

输出端连接,数字接口 17 用来接入力促动器的限位状态信息,保证力促动器在到达限位位置后,及时停止直流电机的转动,避免力促动器的输出力超出规定的安全范围;所述力采集单元 8 的输入端与传感器接口 15 连接,力采集单元 8 通过传感器接口 15 获得力促动器的输出力;传感器接口 15 与电源模块 21 连接。

[0029] 本实施方式所述的电流控制器 3 是由 NPO 电容、电阻和放大器 OPA277 组成的模拟式比例 - 积分控制器。

[0030] 本实施方式所述的数模转换器 18 采用 AD7656,所述数模转换器 18 的分辨率为十六位。

[0031] 本实施方式所述控制系统 16 作为电控装置的控制核心,主要包括力控制器 1、延迟单元 7、除法单元 5 和力速度控制器 2;所述力控制器 1 的输出端与力速度控制器 2 的输入端连接,力控制器 1 的输入端分别与延迟单元 7 的输入端和除法单元 5 的输入端连接,延迟单元 7 的输出端与除法单元 5 的另一个输入端连接,延迟单元 7 用来保存力采集单元 8 上一时刻采集的力反馈值,除法单元 5 用来计算力速度反馈值,除法单元 5 的输出端与力速度控制器 2 的另一个输入端连接,所述力速度控制器 2 的输出端作为控制系统 16 的输出端;所述控制系统 16 主要完成控制算法校正。

[0032] 本实施方式所述的控制系统 16 可以是微处理器或者工控机;所述微处理器是 DSP 或者单片机。

[0033] 本实施方式所述的力采集单元 8 由模数转换器 8-2 和模拟信号调理单元 8-1 组成;所述模数转换器 8-2 的输入端与模拟信号调理单元 8-1 的模拟信号输出端连接;所述模拟信号调理单元 8-1 的模拟信号输入端作为力采集单元 8 的信号输入端,模数转换器 8-2 的输出端作为力采集单元 8 的信号输出端;所述模拟信号调理单元 8-1 用来将测 LoadCell 输出的微弱电压信号放大,模数转换器 8-2 对放大后的电压信号进行采样,最终提供给控制系统 16 作为力反馈值。

[0034] 本实施方式所述的模数转换器 8-2 采用 AD7744,所述模数转换器 8-2 的分辨率为十六位;所述的模拟信号调理单元 8-1 采用仪表放大器 AD620。

[0035] 本实施方式所述的通信单元 20 由串行通信转换器、通信接口组成,可以实现所述的控制系统 16 的串口控制,以及多台电控装置的组网控制。

[0036] 本实施方式所述的通信单元 21 由电源接口 10、电源滤波器 13 和稳压电源 14 组成,电源接口 10 接入外部供电电源,经电源滤波器 13 处理,为所述的电控装置提供稳定的直流供电电源,稳压电源 14 与传感器接口 15 连接,输出高精度的 10V 电压信号,用于给测 LoadCell 提供激励电压。

[0037] 具体实施方式三:结合图 1 和图 2 说明本具体实施方式,本实施方式为具体实施方式一的实施例:

[0038] 本实施例所述的控制系统 16 为 DSP;

[0039] 具体的实现过程为:一、DSP 通过串行通信转换器 12 读取上位机发送的力设定值 Fr;二、DSP 通过力采集单元 8 以 1ms 为固定采样周期采集力反馈值 Fb;三、DSP 将力设定值 Fr 与力反馈值 Fb 作差,并将力误差值 ef 送入力控制器 1 校正,校正结果作为力速度控制器 2 的力速度设定值 Vr;四、DSP 将已获得的力反馈值 Fb 与经过延迟单元 7 获得的力反馈值 Fb1 相减,其差值除以采样周期 T,获得力速度反馈值 Vb;五、DSP 将力控制器 1 的校正

结果,即力速度设定值 V_r 与力速度反馈值 V_b 相减,其差值 e_v 送入力速度控制器 2 校正,校正结果作为电流控制器 3 的电流设定值 I_r ;六、电流设定值 I_r 与电流反馈值 I_b 相减,其差值电流 e_i 送电流控制器 3 校正,最终通过功率放大器 4 的放大,控制直流电机 9-1 的旋转,从而产生所需要的输出力。

[0040] 本实施例所述的 DSP 具有限位保护功能,所述 DSP 通过数字接口 17 读取限位状态信息,控制功率放大器 4 的输出,保证力促动器在到达限位位置后,及时停止直流电机 9-1 的转动,避免力促动器的输出力超出规定的安全范围。

[0041] 本实施例中所述的调整过程,包括力控制、力速度控制、电流控制全部通过闭环控制的方式自动完成,当力促动器 9 输出力满足设定力要求时,即力误差值 e_f 小于一定阈值时,关断功率放大器 4 的输出,从而降低直流电机 9-1 和功率放大器 4 本身的发热量,减少力促动器对光学系统的影响,本系统阈值实际选取 5mN,在保证力控制精度和稳定性的同时,有效地避免了力促动器的频繁调节。

[0042] 本实施例的装置与具体实施方式二所述装置及装置的连接方式相同;

[0043] 所述电源接口 11 接入 ±15V 或 +5V 供电电源,经电源滤波器 13 处理,为所述的控制系统 16 提供稳定的直流供电电源;DSP 作为系统控制核心,其型号为 TMS320F2812,主要完成与外部通信、读取力反馈值 F_b 、控制算法校正、模拟电压输出,并且可以通过数字接口 17 读取限位状态;其中,控制算法通过软件实现,(力控制器 1 和力速度控制器 2),从而使力促动器成为一个三闭环控制系统 16;所述的模数转换器 8-2 和数模转换器 18 分别采用 AD7656 和 AD7744,均为 16 位分辨率;力采集单元 8 为所述的控制系统 16 提供力反馈信号,其中,模拟信号调理单元 8-1 主要采用仪表放大器 AD620,所述传感器接口 15 用于连接外部 LoadCell 9-2;稳压电源 14 选用 LT1764,要求输出高精度的 10V 电压信号,以便用于给 LoadCell 9-2 提供激励电压;所述电流控制器 3、电流采样单元 6、功率放大器 4 构成硬件电流环,驱动直流电机 9-1 的运转,其中,电流控制器 3 用于实现电流误差信号的校正,选择合适的电阻、电容值,可以实现电流信号的快速稳定输出;所述的电流采样单元 6 主要通过电流采样电阻将电流信号转换为电压信号,并经过运算放大器进行放大处理,为所述的电流控制器 3 提供电流反馈信号;所述的功率放大器 4 采样线性功率放大器 4,具有线性好、死区小、无高频谐波等优点;DSP 通过数模转换器 18 输出模拟电压信号,所述模拟电压信号作为电流控制器 3 的输入信号,直接反映了直流电机 9-1 电枢电流的大小;串行通信转换器 12 采用 VP485 芯片,主要实现 RS485 协议,DSP 通过串行通信转换器 12 的 VP485 芯片与外部进行数据通信,主要接收来自上位机的命令信息,以及向上位机发送所述的控制系统 16 的当前状态信息,如当前输出力值、限位状态值等。

[0044] 本发明的原理:本发明采用三闭环控制方式,分别为内环、中间环和外环,所述内环为电流环,主要由电流控制器 3、功率放大器 4,电流采样单元 6 组成,电流环的控制方式采用硬件电路实现;中间环为力速度环,主要由力速度控制器 2、除法单元 5、延迟单元 7、力采集单元 8 组成,外环为力控制环,主要由力控制器 1 和力采集单元 8 组成,其中,力控制器 1、力速度控制器 2、除法单元 5 和延迟单元 7 均在控制系统 16 内通过软件实现。所述力速度环的设计在于使输出力按照指定的要求变化,避免过快运动给系统带来冲击,或者过慢调整达不到系统的控制要求;电流环用来控制直流电机的电枢电流,保证电流的快速、稳定输出,提高力矩刚度,同时抑制外界扰动;力控制环的作用在于保证输出力的快速、准确和

稳定。

[0045] 本发明具体按照先电流环,后力速度环,最后是力控制环的顺序依次整定。其中,选择电流控制器3的比例系数和积分系数时,要和直流电机9-1的电枢电阻、电感值相匹配,目的在于保证电流环的快速稳定跟踪;力速度控制器2选择合适的比例系数和积分系数,目的在于保证力促动器输出力的变化要快速平稳;力控制器1选择合适的比例系数,目的在于保证力促动器输出力的准确性和稳定性。在实现上,控制系统16通过力采集单元8以1kHz采样频率采集力反馈值Fb,延迟单元7由存储器实现,存储上一采样周期获得的力反馈值Fb1,力速度反馈值Vb是由当前力反馈值Fb和上一采样周期的力反馈值Fb1进行后向差分运算获得,力速度环在控制上采用PI控制算法。考虑到力速度环到力环存在一个积分环节,采用一个比例控制器就可以实现对阶跃响应的无静差跟踪,因此,力控制环可以采用简单的比例控制器,也可以采用比例-积分控制算法,本发明实际采用的是比例控制器;当力促动器输出力满足设定力要求时,可关断功率放大器4的电流输出,从而降低直流电机9-1和功率放大器4本身的发热量,以减少力促动器对光学系统的影响;当改变设定力要求或者力促动器受到外界扰动时,力促动器的输出力会偏离设定值,控制系统16将开启功率放大器4,同时通过力控制器1、力速度控制器2和电流控制器3进行自动调节,保证输出力的准确性和稳定性。

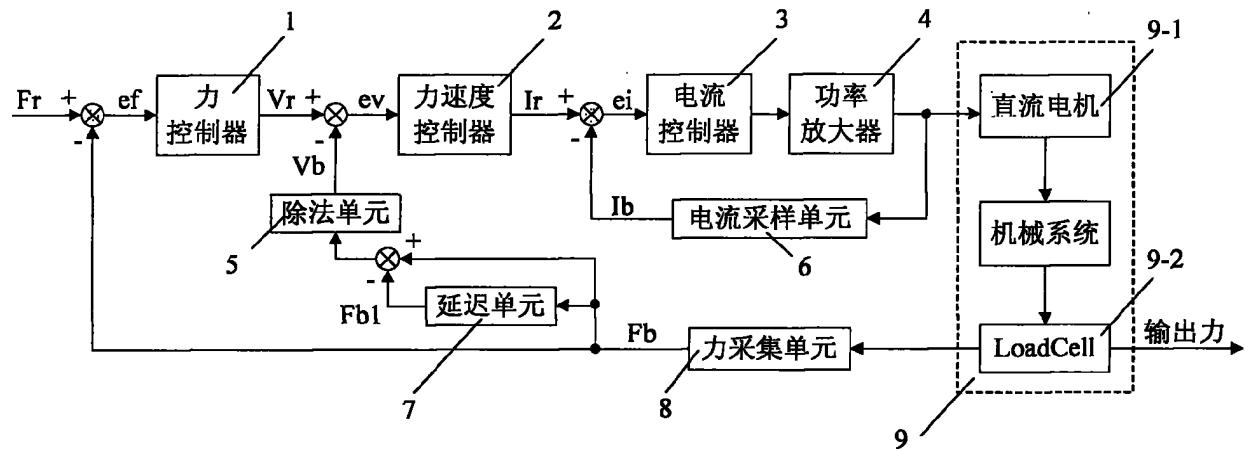


图 1

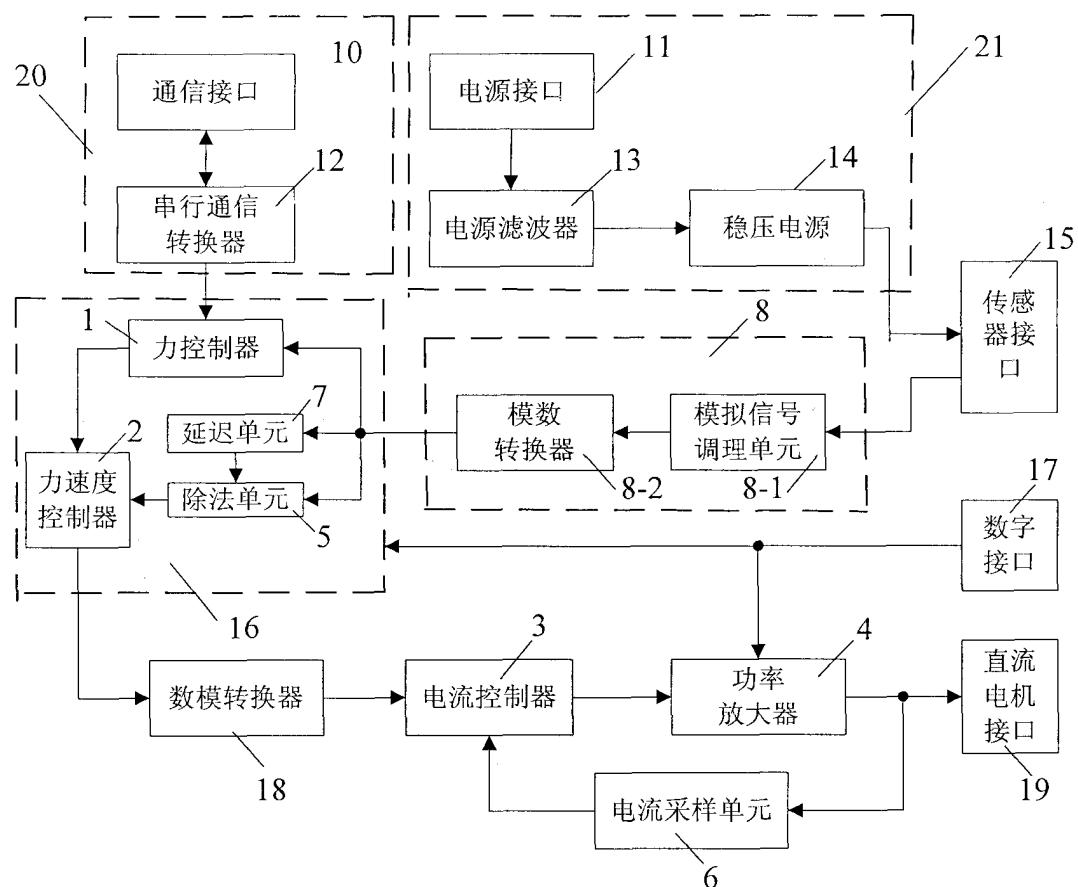


图 2