



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104009680 B

(45)授权公告日 2016.08.17

(21)申请号 201410169656.6

(22)申请日 2014.04.24

(66)本国优先权数据

201410159265.6 2014.04.18 CN

(73)专利权人 中国科学院国家天文台南京天文
光学技术研究所

地址 210042 江苏省南京市板仓街188号

(72)发明人 陈丽燕 宋晓莉 张振超 汪达兴
张超

(74)专利代理机构 江苏致邦律师事务所 32230
代理人 栗仲平

(51)Int.Cl.

H02P 6/06(2006.01)

H02P 6/17(2016.01)

(56)对比文件

CN 102494599 A,2012.06.13,

WO 94/29772 A1,1994.12.22,

CN 103647493 A,2014.03.19,

常九健.基于弧形电机拼接的大型望远镜驱动技术研究.《中国博士学位论文全文数据库》.2013,(第12期),第1.4.3节、第4章、第5.3.3节.

审查员 张琪

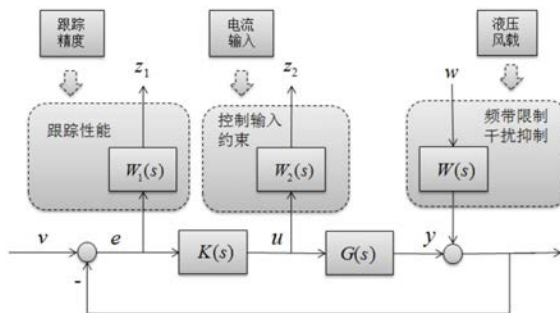
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

(54)发明名称

强风载扰动下大型望远镜永磁同步电机控制系统及其方法

(57)摘要

强风载液压扰动下望远镜永磁同步电机控制系统及其方法:大型望远镜的PC机与控制系统进行双向通讯;该控制系统接永磁同步电机控制台;该控制台运转时由液压支撑,并通过光电编码器向控制系统输送速度反馈和位置反馈信号,其特征在于,所述控制系统中的处理器采用DSP处理器,该DSP处理器采用鲁棒H ∞ 控制。本发明的设备和方法克服了传统技术的不足,并具有以下技术效果:在风载、液压等外界不确定因素干扰下,该控制器能使得控制系统具有高灵敏度和强抗干扰能力,满足望远镜长期可靠的匀速、超低速、高精度运行。



1. 一种强风载液压扰动下大型望远镜永磁同步电机控制系统,大型望远镜的PC机与控制系统进行双向通讯;该控制系统接永磁同步电机控制台;该控制台运转时由液压支撑,并通过光电编码器向控制系统输送速度反馈和位置反馈信号,其特征在于,所述控制系统中的处理器采用DSP处理器,该DSP处理器采用鲁棒 H^∞ 控制;

所述DSP处理器采用鲁棒 H^∞ 控制的具体结构是:大型望远镜的PC机与控制系统中的DSP处理器进行双向通讯;该DSP处理器的鲁棒 H^∞ 控制包括:4mPMSM建模与辨识、权函数设置及控制器参数,输送到大型望远镜的PC机;同时通过PWM控制4mPMSM电机的驱动电路;4mPMSM电机的运行信号通过光电编码器,将其位置反馈与速度反馈输送给DSP处理器。

2. 权利要求1所述的强风载液压扰动下大型望远镜永磁同步电机控制系统的工作方法,其特征在于,步骤如下:

(1). 大型望远镜的PC机开始控制DSP处理器工作;

(2). PC机进行4mPMSM建模与辨识并运算状态空间方程;

(3). 设定混合灵敏度性能;

(4). 对大型望远镜外界干扰抑制进行权函数设置,并将该权函数设置输入步骤(2)的状态空间方程的运算;

(5). 对大型望远镜的驱动控制电压进行权函数设置,并将该权函数设置输入步骤(2)的状态空间方程的运算;

(6). 运算带权函数的输出反馈LMI方程;

(7). 进行控制系统性能指标的判读;判读结果为“肯定”时进入步骤(8);判读结果为“否定”时返回步骤(3);

(8). 确定控制参数、DSP运行参数。

3. 根据权利要求2所述的强风载液压扰动下大型望远镜永磁同步电机控制系统的工作方法,其特征在于,步骤(2)4mPMSM建模与辨识的具体操作是:

(2)-1. 角位移数据采集;

(2)-2. 针对4mPMSM的建模;

(2)-3. GLS辨识;

(2)-4. 4mPMSM传递函数;

(2)-5. 建立状态空间模型。

4. 根据权利要求2或3所述的强风载液压扰动下大型望远镜永磁同步电机控制系统的工作方法,其特征在于,所述步骤(4)权函数设置的具体操作是:

(4)-1. 液压噪声频谱分析;

(4)-2. 风载噪声频谱分析;

(4)-3. 在步骤(4)-1与步骤(4)-2的基础上确定干扰抑制加权函数;

(4)-4. 确定跟踪指标;

(4)-5. 在步骤(4)-4的基础上确定跟踪性能加权函数;

(4)-6. 确定控制能量输入限制;

(4)-7. 在步骤(4)-6的基础上确定控制加权函数。

强风载扰动下大型望远镜永磁同步电机控制系统及其方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种控制系统,具体涉及一种强风载液压扰动下的大型望远镜的强鲁棒高灵敏永磁同步电机控制系统。该系统能够实现液压扰动和风载等外界不确定因素下的大型望远镜的永磁同步电机控制。本发明还涉及这种强风载液压扰动下的大型望远镜的强鲁棒高灵敏永磁同步电机控制系统的工作(运行)方法。

背景技术

[0002] 为了提高光学成像分辨率,获取高质量光学数据,望远镜口径随之增加,承载望远镜机架结构不仅庞大而且变得复杂多样,这对望远镜跟踪控制系统提出了极高的要求。

[0003] 望远镜跟踪控制系统的抗扰动能力以及高灵敏度特性对直接影响天文观测数据的质量和被观测天体的跟踪精度。望远镜跟踪控制器直接并且唯一决定控制系统的跟踪质量,对望远镜的跟踪控制起着至关重要的作用。

[0004] 对于大型望远镜的直接驱动永磁同步电机(PMSM)控制系统,由于其极大的自身重量和复杂的结构特性,转子在运转期间会生产很强的摩擦力,不仅运转困难,还极大损耗定转子材料,因此在转子与定子相接处需要通过液压支撑来减小摩擦力。但液压出油量起伏不定,即使有专门的控制系统控制出油量也未必能使液压面保持在同一水平线,起浮不定的液压噪声引起转子轴向跳动和径向圆周跳动,因此影响望远镜跟踪精度。风载等外界不确定因素干扰也影响望远镜的跟踪控制质量。强劲的风还会使望远镜一时偏离正常轨迹行驶,使观测数据质量大大降低,因此有必要设计一套能有效抑制干扰的强鲁棒高灵敏控制器。

[0005] 目前国内外大型天文望远镜的控制系统中,时常使用PMAC运动控制卡,以及UMAC控制器对望远镜进行跟踪控制。PMAC和UMAC虽然使用方便,但其控制对象没有针对性,而且控制算法采取的是传统PID控制。由于模型的不确定性、参数多变性以及各类非线性因素的影响使带PID控制器的跟踪控制系统在望远镜这一复杂工程上的应用效果并不理想,抗干扰能力较差,灵敏度较低,响应特性缓慢,在外界干扰因素较强情况下,不能有效的满足望远镜超低速、高精度的跟踪要求。

[0006] 近年来欧洲南方天文台VLT望远镜开始采用鲁棒性强的 H_{∞} 控制器策略抗风载干扰。哈勃太空望远镜改进计划中,为了改进装于哈勃望远镜上的太阳能蓄电池的热效应对控制系统的干扰,以抗干扰为首要目的研究了对应的控制器。ALMA望远镜的控制系统采用了鲁棒性强 H_{∞} 控制策略。正在拟建的30光学望远镜TMT(Thirty Meter Telescope)打算采用鲁棒性强抑制干扰为目的 H_{∞} 控制器策略。

[0007] 虽然现有技术中已经有了在大型望远镜控制系统上应用 H_{∞} 控制器的上述成果,但是由于每一架大型天文望远镜的结构、参数等基本因素都与以前的天文望远镜不同,其控制系统也都是一个全新的系统,其所面临的风载、摩擦力等因素也都是不确定的因素。所以对于一个新的大型望远镜的控制系统,要采用 H_{∞} 控制器的设计,仍然需要克服很多技术困难。例如:液压扰动频带不稳定性,可能位于低频带;风载的随机性干扰,风力大小的不稳

定性和快速性受到地理环境影响。

[0008] 中国大型望远镜的控制系统尚未使用 H^∞ 控制器策略,也缺乏对大型望远镜 H^∞ 控制关键技术的研究和应用,为了望远镜在外界不确定因素以及液压系统等干扰因素下,满足望远镜超低速、高精度等要求,有必要设计一种长期可靠的强鲁棒性和高灵敏的控制器。

发明内容

[0009] 本发明的目的:是设计一种强风载液压扰动下大型望远镜永磁同步电机控制系统,在风载、液压等外界不确定因素干扰下,该控制系统能使得控制系统具有高灵敏度和强抗干扰能力,满足望远镜长期可靠的匀速、超低速、高精度运行。本发明还将提供这种强风载液压扰动下的大型望远镜的强鲁棒高灵敏永磁同步电机控制系统的工作方法。

[0010] 本发明专利的技术方案是:一种强风载液压扰动下大型望远镜永磁同步电机控制系统,其中,大型望远镜的PC机与控制系统进行双向通讯;该控制系统接永磁同步电机控制台;该控制台运转时由液压支撑,并通过光电编码器向控制系统输送速度反馈和位置反馈信号,其特征在于,所述控制系统中的处理器采用DSP处理器,该DSP处理器采用鲁棒 H^∞ 控制。

[0011] 所述DSP处理器采用鲁棒 H^∞ 控制的具体结构是:大型望远镜的PC机与控制系统中的DSP处理器进行双向通讯;该DSP处理器的鲁棒 H^∞ 控制包括:4mPMSM建模与辨识、权函数设置及控制器参数,输送到大型望远镜的PC机;同时通过PWM控制4mPMSM电机的驱动电路;4mPMSM电机的运行信号通过光电编码器,将其位置反馈与速度反馈输送给DSP处理器。

[0012] 完成本申请第二个发明任务的技术方案是,上述强风载液压扰动下的大型望远镜的强鲁棒高灵敏永磁同步电机控制系统的工作方法,其特征在于,步骤如下:

[0013] (1).大型望远镜的PC机开始控制DSP处理器工作;

[0014] (2).PC机进行4mPMSM建模与辨识并运算状态空间方程

[0015] (3).设定混合灵敏度性能;

[0016] (4).对大型望远镜外界干扰抑制进行权函数设置,并将该权函数设置输入步骤(2)的状态空间方程的运算;

[0017] (5).对大型望远镜的驱动控制电压进行权函数设置,并将该权函数设置输入步骤(2)的状态空间方程的运算;

[0018] (6).运算带权函数的输出反馈LMI方程;

[0019] (7).进行控制系统性能指标的判读;判读结果为“肯定”时进入步骤(8);判读结果为“否定”时返回步骤(3)

[0020] (8).确定控制参数,DSP运行参数。

[0021] 其中,步骤(2)4mPMSM建模与辨识的具体操作是:

[0022] (2)-1.角位移数据采集;

[0023] (2)-2.针对4mPMSM的建模;

[0024] (2)-3. GLS辨识;

[0025] (2)-4. 4mPMS传递函数;

[0026] (2)-5. 建立状态空间模型。

[0027] 所述步骤(4)权函数设置的具体操作是:

- [0028] (4)-1. 液压噪声频谱分析;
- [0029] (4)-2. 风载噪声频谱分析;
- [0030] (4)-3. 在步骤(4)-1与步骤(4)-2的基础上确定干扰抑制加权函数;
- [0031] (4)-4. 确定跟踪指标;
- [0032] (4)-5. 在步骤(4)-4的基础上确定跟踪性能加权函数;
- [0033] (4)-6. 确定控制能量输入限制;
- [0034] (4)-7. 在步骤(4)-6的基础上确定控制加权函数。
- [0035] 所述步骤(8)确定控制参数的具体操作是:
- [0036] (8)-1. 确定系统性能指标;
- [0037] (8)-2. 进行线性矩阵不等式计算;
- [0038] (8)-3. 确定控制器参数。
- [0039] 本技术方案的特征在于:
- [0040] 1. 在 H^∞ 控制器设计时,针对望远镜建立模型,通过系统辨识方法得到模型具体参数。在望远镜工作频段设定不同加权函数,有效保证实际工作频段控制器性能的优化,限制控制输入加权函数矩阵和跟踪性能加权函数矩阵,使得控制器性能在跟踪控制区域的频段最优。液压噪声、风载噪声干扰带加权函数的设置,使望远镜抗干扰能力更具针对性。综合考虑跟踪性能、控制输入以及干扰抑制的混合灵敏度的选取。这加权特性的设置见图1,是目前市场上生产的所有控制器未曾有的功能特性。图2(a)是哈勃望远镜权函数设置图,哈勃望远镜权函数只涉及到干扰抑制和跟踪性能,并没有对控制输入加以限制,其结果有可能会产生控制性能无限好但需要的输入能量无限制大的结果。图2(b)是欧洲南方天文台的极大望远镜的权函数设置,同样没有对控制能量进行限制。在欧洲南方天文台公开的资料中表明,望远镜的硬件设备性能跟不上 H^∞ 控制器增益要求,只能退而求其次的修改控制算法。因此对于控制输入的能量限制的权函数是必要条件。权函数的设置位置的不同代表控制目的的不同。
- [0041] 2. 鲁棒控制器是以 H^∞ 控制理论为基础,使用 H^∞ 的线性矩阵不等式(LMI)方法设计控制器参数,相比欧洲南方天文台的VLT望远镜使里卡蒂方法(Riccati Equation)得到的参数更具稳定性。因为里卡蒂方程中有两个耦合的未知数求解 H^∞ 控制器参数,其中一个未知数的变化会引起另一个未知数的改变,而LMI方法则把里卡蒂方程化为线性不等式的形式求控制器参数,参数具有独立性。目前中国还未曾公开有 H^∞ 控制器用于实际控制项目,也未应用于望远镜跟踪控制系统。
- [0042] 3. 与PID控制器和基于PMAC和UMAC的控制器相比,具更强有抗风载效应,抗液压扰动能力和快速动态响应特性。并且可靠灵活,能根据需要改动控制器算法和控制步骤。
- [0043] 本发明的设备和方法克服了传统技术的不足,并具有以下技术效果:在风载、液压等外界不确定因素干扰下,该控制器能使得控制系统具有高灵敏度和强抗干扰能力,满足望远镜长期可靠的匀速、超低速、高精度运行。

附图说明

- [0044] 图1 为控制系统权函数设置位置示意图;
- [0045] 图2a为哈勃望远镜控制系统权函数设置;图2 b为欧洲南方天文台的LVT(极大望

远镜)控制系统加权函数设置示意图;

[0046] 图3为本发明控制系统功能结构总图;

[0047] 图4为高灵敏度抗干扰的鲁棒 H^∞ 控制器设计详细说明图;

[0048] 图5为本发明 H^∞ 控制器算法流程图。

具体实施方式

[0049] 实施例1,

[0050] 1、强风载液压扰动下的大型望远镜的强鲁棒高灵敏永磁同步电机控制系结构

[0051] 框架见图3。

[0052] 2、触屏式上位机系统向液压控制发送指令,通过液压泵向控制转台注入液压,分8个直径为5mm的液压出油小孔浮起口径 $\Phi 4.2\text{m}$ 的PMSM控制转台,浮起高度为8um。小孔一侧有凹槽使得液压能够回流到液压箱内,循环使用液压,见图3 的执行机构模块。可视化PC机中启动控制系统,通过串口通讯与F2812DSP处理器进行数据传输。导入鲁棒 H^∞ 控制算法到F2812DSP处理器,DSP事件管理器输出信号到驱动电路,经驱动电路转后的驱动电流发送到PMSM电机。

[0053] 对图4的高灵敏度抗干扰的鲁棒 H^∞ 控制的五个模块以及相互之间的联系作如下说明:(见图4),

[0054] 3.1针对4.2m永磁同步电机建立模型,通过DSP采集永磁同步电机在恒定转速下的速度数据值,通过GLS方法辨识具体确定模型参数大小,得到永磁同步电机的传递函数和状态空间下的模型方程。

[0055] 3.2 针对4.2m永磁同步电机确定广义性能的设置跟踪性能 z_1 ,控制输入 z_2 ,干扰抑制 z_3 ,见图1。针对这三个广义性能设定三个加权函数,分别对应望远镜的跟踪精度加权函数,电流控制量的输入加权函数,液压、风载的干扰频带的加权函数。对图4中的权函数模块做如下说明:针液压浮起后的4m永磁同步电机,测得永磁同步电机转子转动时轴向跳动的数据,针对跳动数据进行频率谱分析,针对分析的结果确定噪声频带,针对噪声带设计权液压干扰的加权函数。对周围环境做一个近似地表的分析,对受力面积和受力方向做分析,根据瞬时风速和平均风速的计算方法,通过频谱分析得到风载的干扰频带,针对干扰带设计风载加权函数。保证电流输入量在最大电流约束下,兼顾对液压和风载的干扰情况,保证系统的跟踪精度要求。

[0056] 3.3针对以上两个步骤的内容,加上控制系统性能指标,对加入权函数的状态空间使用线性矩阵不等式方法求解 H^∞ 控制器参数,见图5 H^∞ 控制器算法流程图。通 H^∞ 控制器输入是指定的速度与测量速度的差值,也就是与实际运转的速度差值。 H^∞ 控制器的作用是通过调整电流强度,使得测量速度与指定速度的误差极小化。即包含了超低速运转情况下,满足控制系统高精度性能。经调整后的电流信号,经驱动电路输入给永磁同步电机。PMSM运行角速度和角位移将显示到PC机,即图3 中的PC机。控制系统的PC机和液压系统的上位机相互独立。

[0057] 3.4光电编码器器安装于转子中心,将检测到的电平信号发送至DSP处理器,根据高低电平信号数计算角位移,并通过测频方法完成转子角速度计算,DSP通过串口通信发送至PC机软件,并绘制为可视化曲线,实时显示转子运行情况。通过可视化软件可以操控转子

的运行情况。见图3中反馈模块和控制模块。

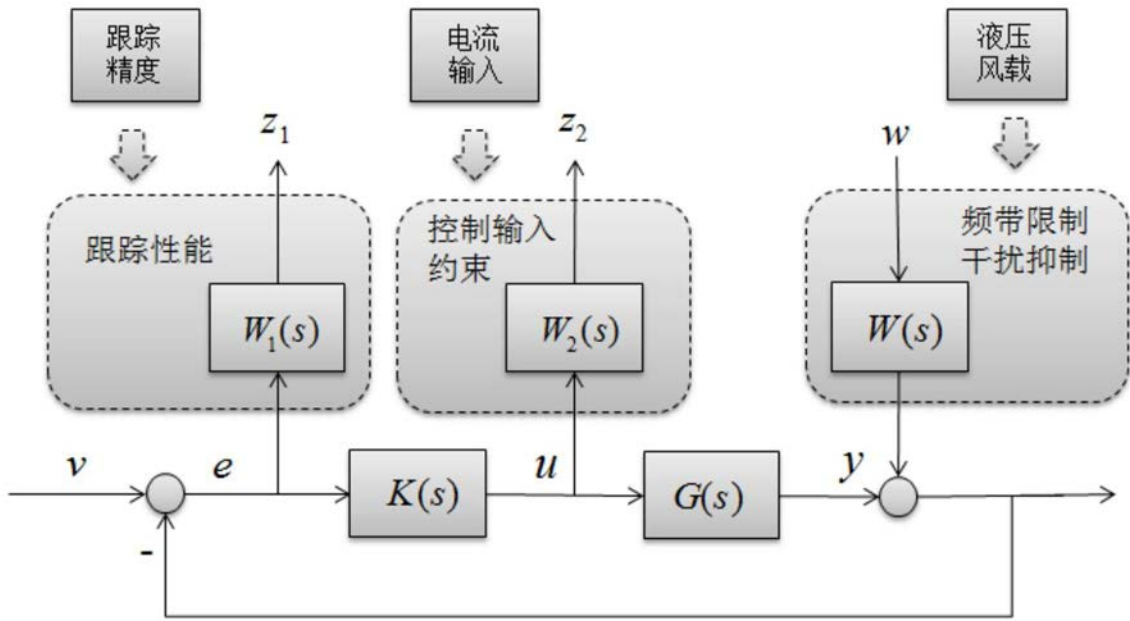


图1

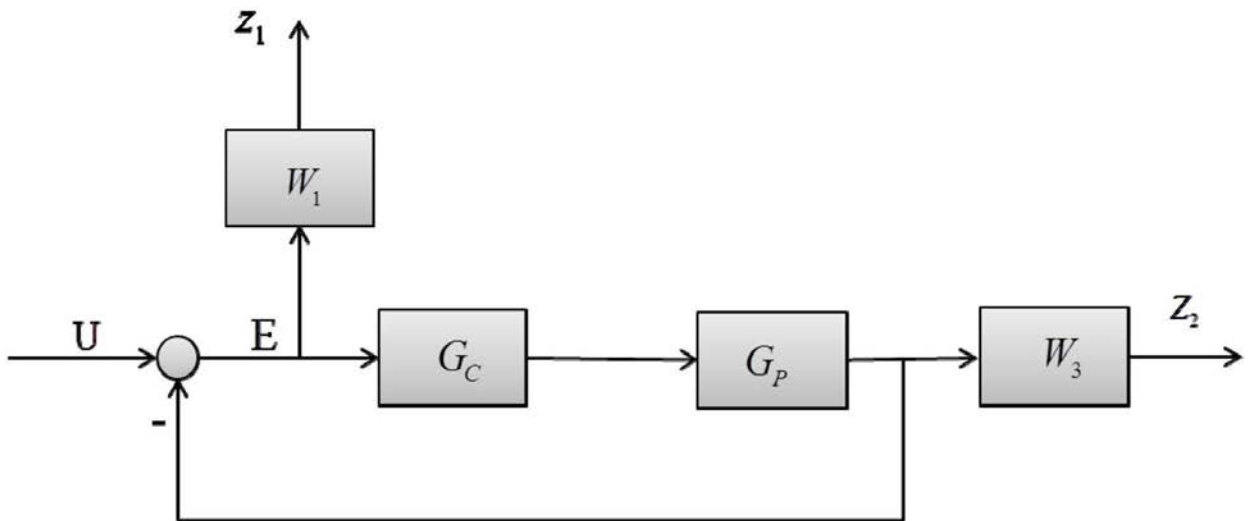


图2a

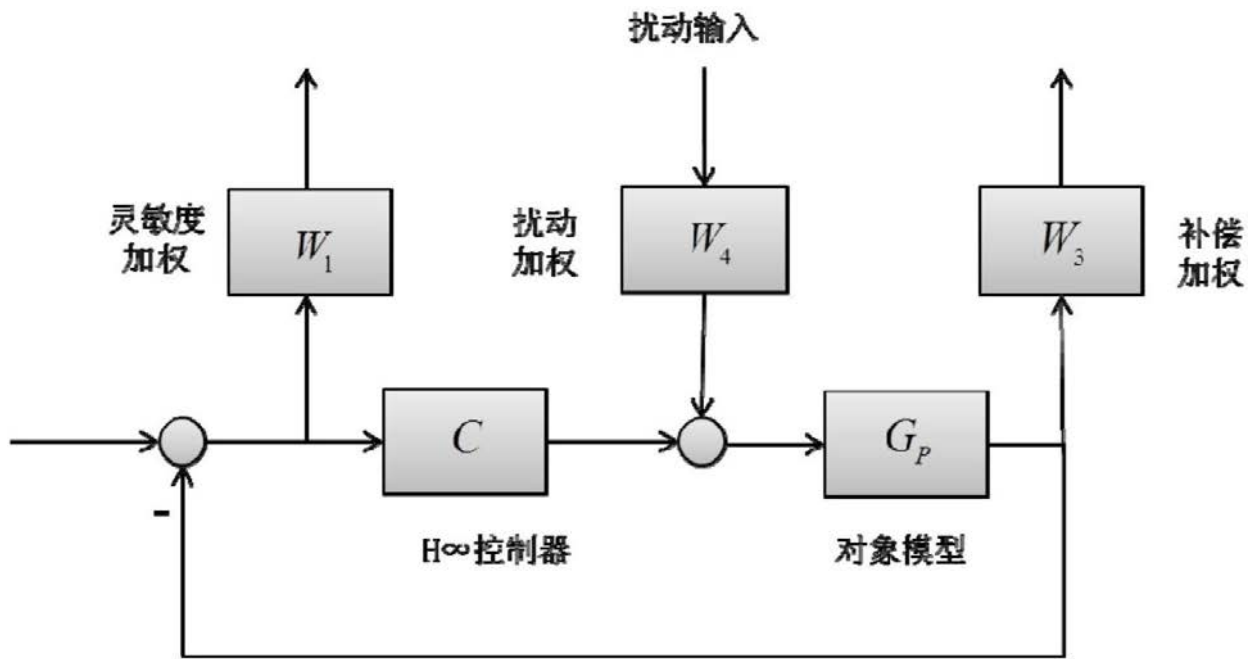


图2b

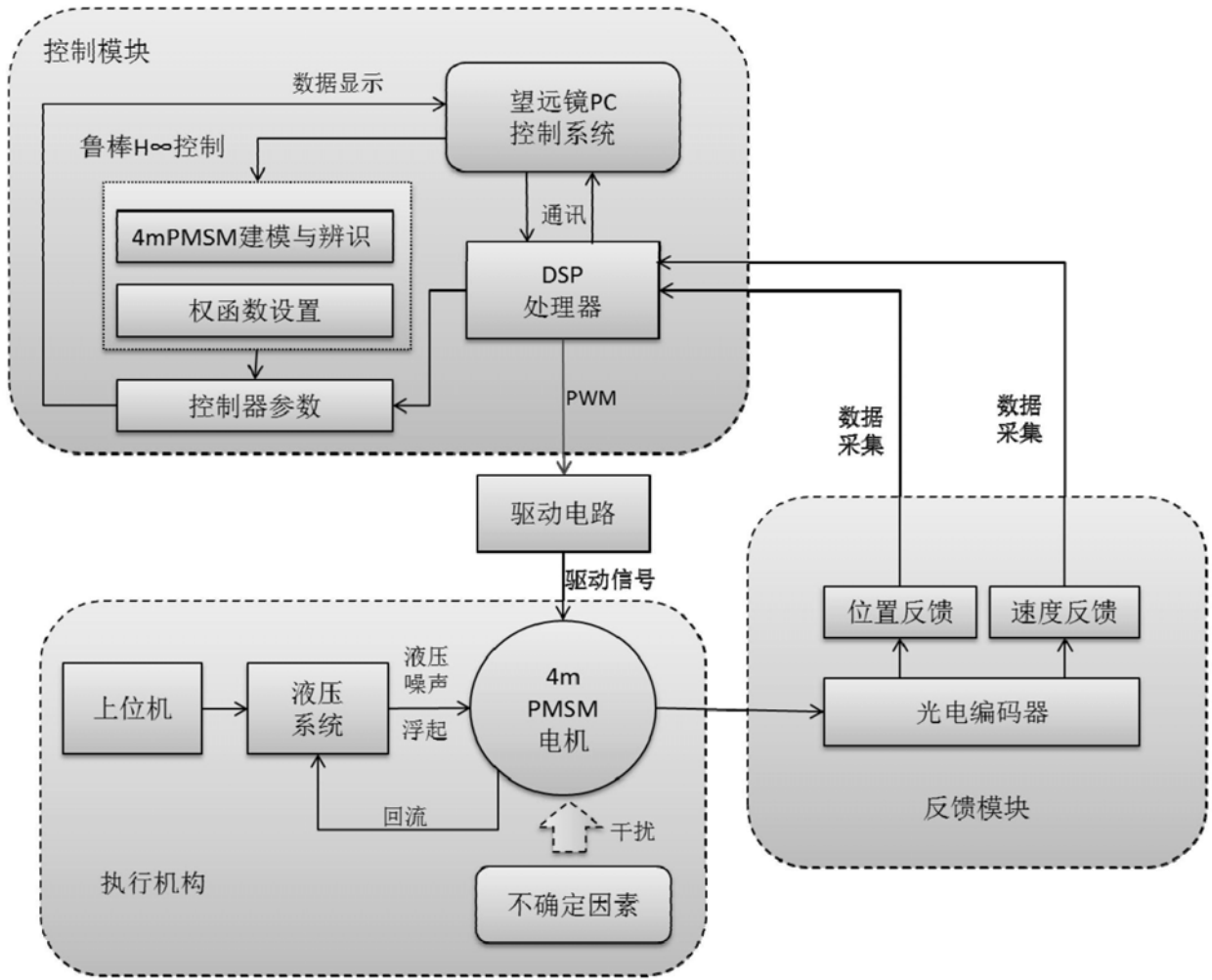


图3

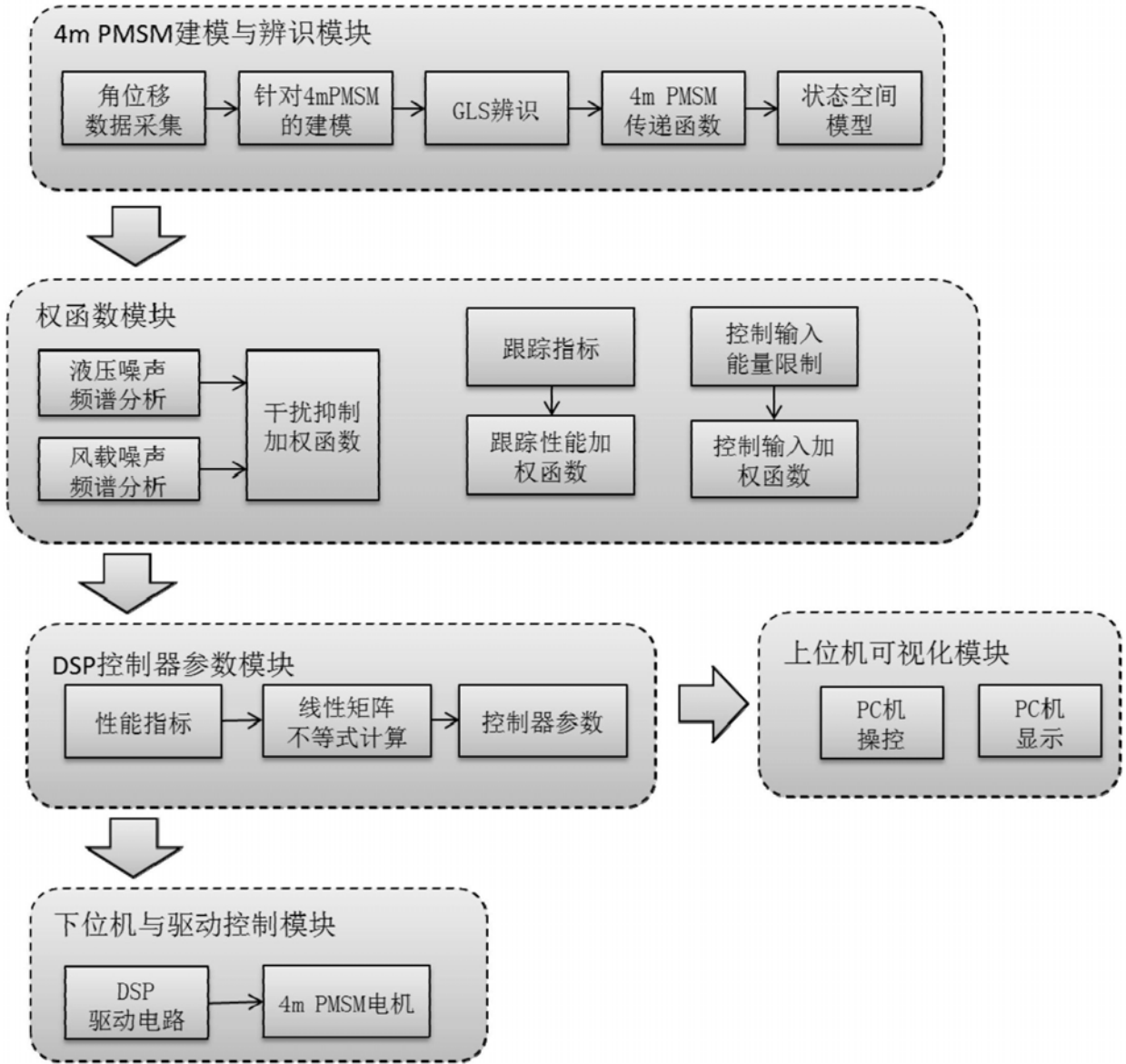


图4

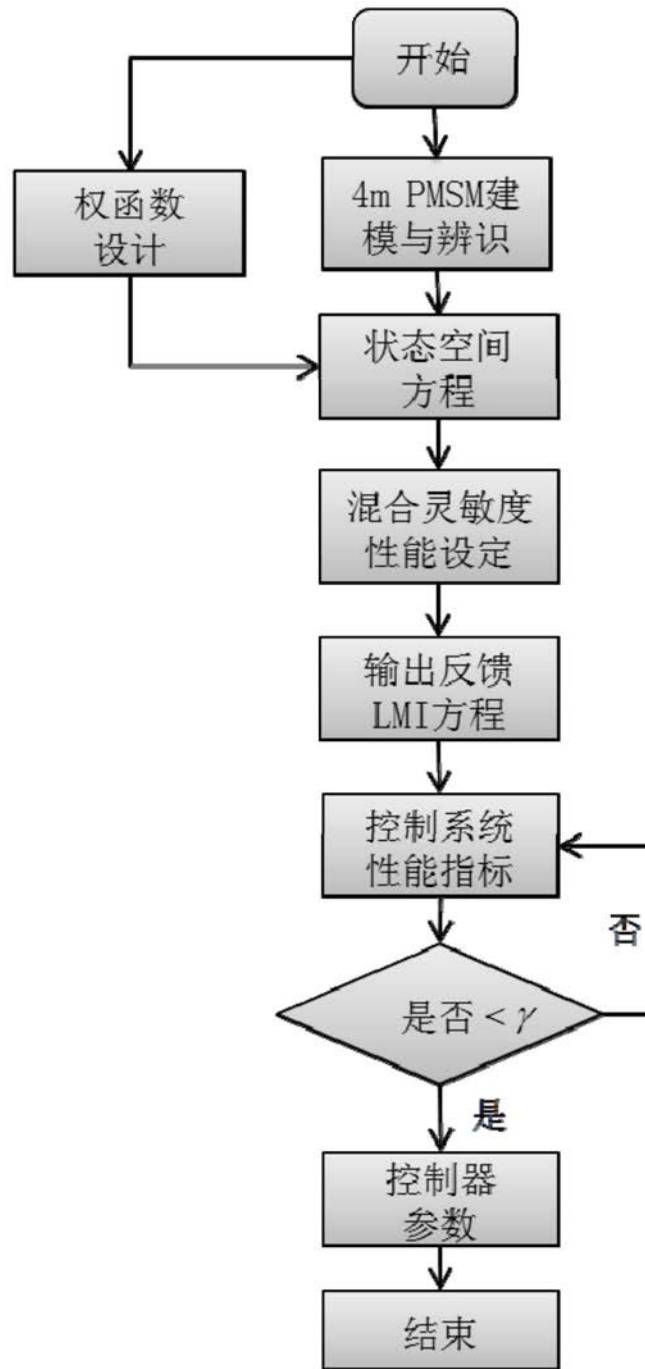


图5