(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106681172 A
(43)申请公布日 2017.05.17

(21)申请号 201611158296.5

(22)申请日 2016.12.15

(71)申请人 哈尔滨工程大学
地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区南通大街145号哈尔滨工程大学科技处知识产权办公室

(72)发明人 赵新华 孙尧 叶秀芬 彭秀艳 孙毅

(51)Int.Cl.
G05B 17/02(2006.01)
G05B 11/42(2006.01)

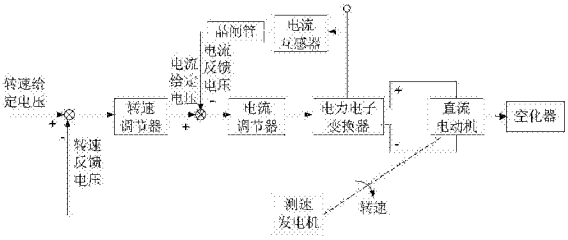
权利要求书1页 说明书3页 附图2页

(54)发明名称

一种空化器抗饱和PID传动半物理仿真系统

(57)摘要

本发明涉及一种空化器抗饱和PID传动半物理仿真系统。具体包括转速调节器、电流调节器、测速发电机、电流互感器、电力电子变换器、角度传感器，空化器转角角度给定角度电压信号，转速调节器输出限幅电压信号；限幅电压信号确定电流给定的最大值，电流调节器输出的限幅电压限制电力电子变换器的最大输出电压；转速调节部分采用双闭环结构，其中外面的闭环起到转速的反馈及调节作用，相应的调节器采用带限幅的PI调节器。本发明体积小、结构简单、成本低且易于实现，可以安装在水下超高速航行体的模型之内，可作为试验装置批量生产，向研究人员及学习者演示水下超高速航行体空化器运动对航行体运动特性及航行姿态的影响。



CN 106681172 A

1.一种空化器抗饱和PID传动半物理仿真系统，包括转速调节器、电流调节器、测速发电机、电流互感器、电力电子变换器、角度传感器，其特征在于：空化器转角角度给定角度电压信号，转速调节器输出限幅电压信号；限幅电压信号确定电流给定的最大值，电流调节器输出的限幅电压限制电力电子变换器的最大输出电压；转速调节部分采用双闭环结构，其中外面的闭环起到转速的反馈及调节作用，相应的调节器采用带限幅的PI调节器；内环为电流调节环，对电动机电枢电流起到限制作用，同时能对执行电机起到保护作用，电流调节器采用带限幅的PI调节器；在系统中设置两个调节器，分别引入转速负反馈和电流负反馈以调节转速和电流，两个调节器之间串级连接；把转速调节器的输出当作电流调节器的输入，再用电流调节器的输出去控制电力电子变换器，电流环为内环，转速环为外环，系统将输出的转速进行积分运算，并将积分运算的结果反馈到角度给定端，与给定角度电压信号进行比较，将比较结果作为转速调节器的输入端。

一种空化器抗饱和PID传动半物理仿真系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种空化器抗饱和PID传动半物理仿真系统。

技术背景

[0002] 水下超高速航行体以其极高的航行速度和精确的打击能力，远远超越了其他常规航行体，而水下超高速航行体运动控制一直是国家的重要课题。对水下超高速航行体运动控制仿真可以采用半物理仿真来实现。半物理仿真是利用水下超高速航行体模型来代替实际航行体进行各种控制实验，比如空化器控制、尾舵控制、俯仰控制等等。水下超高速航行体半物理仿真系统采用实物与数学模型相结合的仿真方式，可以有效节省人力物力资源，为水下超高速航行体的实际航行提供科学的依据。

[0003] 传动装置通常有机械式和自动控制式，而自动控制式有开环式和闭环式。机械式和开环式对控制量进行控制时，不能将被控量进行检测，从而控制精度较低。本发明采用自动控制式的闭环方式，能够有效地克服闭环控制中的电流饱和问题，提高控制精度，方便进一步对水下超高速航行体进行运动特性及控制特性的学习与研究。

发明内容

[0004] 本发明的目的是为了提供一种能够精确进行空化器转角控制仿真的空化器抗饱和PID传动半物理仿真系统。

[0005] 本发明的目的是这样实现的：

[0006] 一种空化器抗饱和PID传动半物理仿真系统，包括转速调节器、电流调节器、测速发电机、电流互感器、电力电子变换器、角度传感器，空化器转角角度给定角度电压信号，转速调节器输出限幅电压信号；限幅电压信号确定电流给定的最大值，电流调节器输出的限幅电压限制电力电子变换器的最大输出电压；转速调节部分采用双闭环结构，其中外面的闭环起到转速的反馈及调节作用，相应的调节器采用带限幅的PI调节器；内环为电流调节环，对电动机电枢电流起到限制作用，同时能对执行电机起到保护作用，电流调节器采用带限幅的PI调节器；在系统中设置两个调节器，分别引入转速负反馈和电流负反馈以调节转速和电流，两个调节器之间串级连接；把转速调节器的输出当作电流调节器的输入，再用电流调节器的输出去控制电力电子变换器，电流环为内环，转速环为外环，系统将输出的转速进行积分运算，并将积分运算的结果反馈到角度给定端，与给定角度电压信号进行比较，将比较结果作为转速调节器的输入端。

[0007] 本发明的有益效果在于：

[0008] 所述的转速调节器、电流调节器、测速发电机、电流互感器、电力电子变换器是设计安装在一块电路板上的。与现有技术相比，本发明使用转速调节器、电流调节器、测速发电机、电流互感器、电力电子变换器和空化器实现空化器的角度设置变化，可以根据水下超高速航行体的航行状态合理调整空化器角度，进而改变超高速航行体的水动力参数，实现航行体航行状态的改变，提高机动运动的灵活性；本发明采用转速电流双闭环控制转速，电

枢电流以及转角的控制，既能够保证控制精度又很大程度上降低了成本；本发明能实现电流及转速的抗饱和控制，对执行电机提供了有效的保护；本发明体积小、结构简单、成本低且易于实现，可以安装在水下超高速航行体的模型之内，可作为试验装置批量生产，向研究人员及学习者演示水下超高速航行体空化器运动对航行体运动特性及航行姿态的影响。本发明的使用方法简单，只需将本发明固定在航行体的前端内部，可以实现真实的模型仿真。

附图说明

[0009] 图1是本发明的转速、电流反馈控制直流调速系统原理图。

[0010] 图2双闭环直流调速系统的稳态结构图。

[0011] 图3为本发明方法流程图。

具体实施方式

[0012] 下面结合附图对本发明做进一步描述。

[0013] 本发明包括转速调节器、电流调节器、测速发电机、电流互感器、电力电子变换器、角度传感器。空化器转角角度给定角度电压信号，转速调节器输出限幅电压信号。限幅电压信号决定了电流给定的最大值，电流调节器输出的限幅电压限制了电力电子变换器的最大输出电压。当调节器饱和时，输出达到限幅值，输入量的变化不再影响输出，除非有反向的输入信号使调节器退出饱和。转速调节部分采用双闭环结构，其中外面的闭环起到转速的反馈及调节作用，相应的调节器采用带限幅的PI调节器。内环为电流调节环，对电动机电枢电流起到限制作用，同时能对执行电机起到保护作用，电流调节器也采用带限幅的PI调节器。

[0014] 为了使转速和电流两种负反馈分别起作用，在系统中设置了两个调节器，分别引入转速负反馈和电流负反馈以调节转速和电流，二者之间实现串级连接。把转速调节器的输出当作电流调节器的输入，再用电流调节器的输出去控制电力电子变换器。从闭环结构上看，电流环为内环，转速环为外环。为了最终实现空化器转角的控制，将输出的转速进行积分运算，并将积分运算的结果反馈到角度给定端，与给定角度电压信号进行比较，将比较结果作为转速调节器的输入端。

[0015] 结合图1至图2，本发明包括转速调节器、电流调节器、电力电子变换器、直流电动机、测速发电机、晶闸管、电流互感器。

[0016] 为了防止转速和电流突变，采用双闭环结构，采用转速调节器和电流调节器分别对转速和电流进行反馈调节。转速给定电压与转速反馈电压进行比较，将结果输出给转速调节器，转速调节器对电压进行运算输出电流给定电压，该电流给定电压信号与电流负反馈电压信号进行比较运算，之后将运算结果输入到电流调节器中按照控制规律进行计算，将计算的结果输入到电力电子变换化器中，电力电子变换器将信号进行适当的变换后加到电动机两端，驱动直流电动机转动。直流电动机与直流测速发电机同轴连接，因此通过直流测速发电机测得直流电动机的转速并以电压信号反馈到转速给定端。

[0017] 本发明还包括以下结构特征：

[0018] 两个调节器均采用带限幅作用的PI调节器。转速调节器输出的限幅电压决定了电流给定的最大值，电流调节器输出的限幅电压限制了电力电子变换器的最大输出电压。当

调节器饱和时，输出达到限幅值，输入量的变化不再影响输出，饱和的调节器暂时隔断了输入与输出间的关系，相当于使该调节环开环。当调节器不饱和时，PI调节器工作在线性调节状态，其作用是使输入偏差电压在稳态时为零。

[0019] 转速调节器能使转速很快地跟随给定电压的变化，稳态时能够减小转速误差，本系统可以实现无差控制；对负载变化能起到抗扰作用；转速调节器的输出限幅值决定了电动机允许的最大电流值。在转速外环的调节过程中，电流调节器使电流跟随电流给定电压的变化。对电网电压的波动起实时抗扰的作用。在转速动态过程中，保证获得电动机允许的最大电流，从而加快动态过程。当电动机发生堵转时，电流调节器能够限制电枢电流的最大值，起快速的自动保护作用。当故障消失，系统自动恢复正常。

[0020] 该系统的闭环结构采用三闭环形式，最内环限制电流的突变，中间环对转速进行跟随与调节，最外环对空化器的转角进行监测与调节。由于两个调节器均采用PI调节，所以均可以实现无差调节。

[0021] 本发明主要工作过程及原理如下：

[0022] 为了实现电流的实时控制和快速跟随，电流调节器应处于不饱和状态，因此系统的工作过程只有转速调节器饱和与不饱和两种情况。

[0023] 当转速调节器不饱和时，两个调节器都处于不饱和状态，稳态时，它们的输入偏差电压都是零。当转速调节器饱和时，转速调节器达到限幅值，转速环呈开环状态，转速的变化对转速环不再产生影响。双闭环的转速电流调节系统变成了一个电流无静差的单电流闭环调节系统。最大电流取决于电动机的容许过载能力和系统要求的最大加速度。

[0024] 在系统的输入端为空化器转角的电压给定信号U_θ^*，转角电压给定信号与直流测速发电机测得的空化器转角电压信号U_θ进行比较输出为转速电压给定信号U_n^*，该给定信号与测得的转速信号U_n进行比较，比较后输入到限幅PI调节器1，即转速调节器。在转速调节器中进行运算，输出为电流给定的电压信号U_i^*，该给定信号与电流电压信号U_i进行比较，比较结果输入到限幅PI调节器2中，即电流调节器。经过电流调节器进行运算，运算结果经过比例放大器Ks运算之后得到的电压信号U_{d0}与等效电流与等效电阻的乘积I_dR进行运算后加到直流电动机的两端，直流电动机等效为一个常数环节$\frac{1}{C_e}$。直流电动机的转速n乘以转速反馈系数α反馈到转速给定电压端。直流电动机的转速信号经过积分运算转化为角度信号，经过角度反馈系数γ反馈到角度给定电压端，从而形成三闭环控制系统。

[0025] 该传动系统及装置的工作流程为初始化开始环节，判断转速电压与转速反馈电压之差是否等于零，如果等于零直接进入下一判断环节；如果不等于零，信号经过转速调节器进行处理，而后判断电流给定电压与电流反馈电压之差是否等于零，如果等于零，电压信号直接加到直流电动机两端；如果不等于零，信号进入电流调节器运算而后经过电力电子变换器，加到直流电动机两端，直流电动机带动直流测速发电机转动，测量直流电动机两端的电压得到空化器的转速，对转速进行积分得到空化器的转动位移。

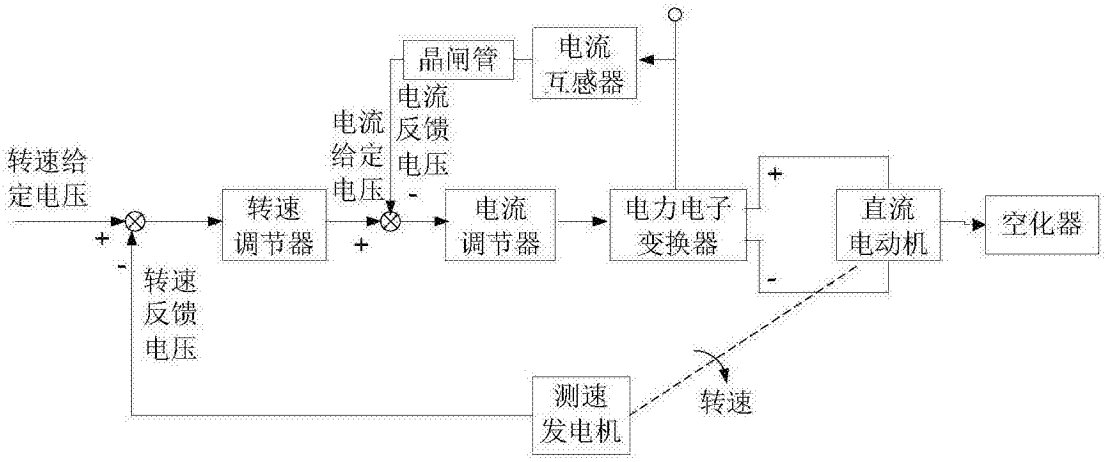

晶闸管
电流
互感器
电流
反馈
电压
电流
给定
电压
转速给
定电压
转速
调节器
电流
调节器
电力电子
变换器
直流
电动机
空化器
转速
反馈
电压
测速
发电机
转速

图1

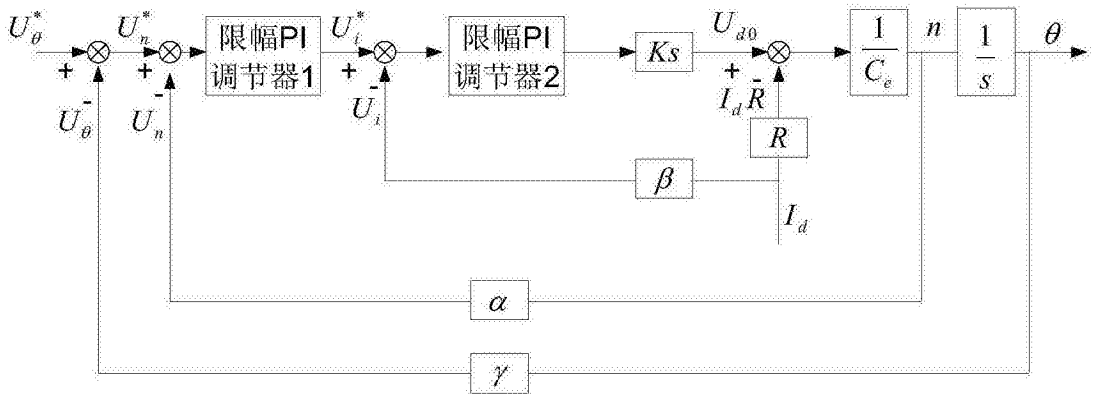

限幅PI
调节器1
限幅PI
调节器2
Ks
R
β
α
γ

图2

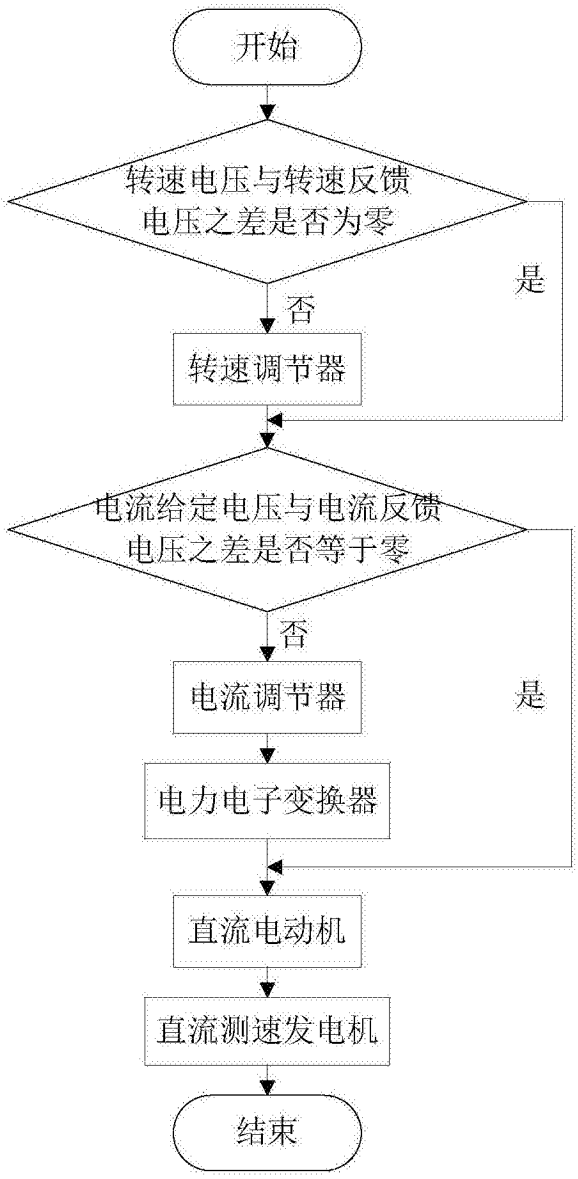

开始
转速电压与转速反馈电压之差是否为零
是
否
转速调节器
电流给定电压与电流反馈电压之差是否等于零
否
是
电流调节器
电力电子变换器
直流电动机
直流测速发电机
结束

图3