

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.  
G05B 11/28 (2006.01)



# [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200610016765.X

[43] 公开日 2007 年 10 月 17 日

[11] 公开号 CN 101055465A

[22] 申请日 2006.4.14  
[21] 申请号 200610016765.X  
[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 130031 吉林省长春市东南湖大路 16 号  
[72] 发明人 李友一 刘 岩

[74] 专利代理机构 长春科宇专利代理有限责任公司  
代理人 王立伟

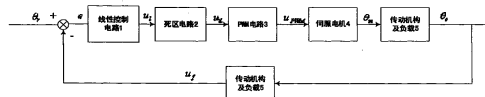
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 4 页

## [54] 发明名称

具有间隙特性传动机构的控制系统

## [57] 摘要

具有间隙特性传动机构的控制系统，本发明属于在伺服系统中带有间隙的传动机构的控制系统，该控制系统包括线性控制电路 1，死区电路 2，PWM 电路 3，伺服电机 4，传动机构及负载 5 及位置电位计 6。其特征是为了有效的改变原非线性系统的极限环，在控制系统的线性控制电路 1 后级联了死区电路 2，当传动机构固定后，其固有频率为常数，则系统稳定时允许的间隙值与死区的宽度成正比关系。因此在设计中依据间隙的大小，适当的选取死区宽度，即可有效地抑制有间隙带来的自振；提高系统的相应带宽；可以减弱系统在过渡过程中的振荡性，提高了系统的稳定性。同时具有设计科学，制作简单，成本低廉，便于推广等优点。



1、具有间隙特性传动机构的控制系统，该控制系统包括线性控制电 1，死区电路 2，PWM 电路 3，伺服电机 4，传动机构及负载 5 及位置电位计 6。其特征是为了有效的改变原非线性系统的极限环，在设计带有间隙非线性的系统中采用减小齿轮间隙和控制死区宽度并举的措施，在控制系统的线性控制电路 1 后级联了死区非线性电路 2，系统的连接关系和信号流程是：由输入角度信号  $\theta_i$  和系统位置反馈电压信号  $\theta_f$ ，经过合成电路产生偏差电压信号  $e$ ，偏差电压信号  $e$  经线性控制电路 1 产生线性控制输出电压信号  $u_1$ ，再由控制量  $u_1$  经死区电路 2，产生死区控制电压信号  $u_d$ ，通过 PWM 电路 3 调制成脉宽电压加在伺服电机 4 的两端，使伺服电机产生输出角  $\theta_m$ ，由电机带动传动机构及负载 5，使负载产生位置输出量  $\theta_o$ ，经过位置电位计 6 输出系统位置反馈电压信号  $\theta_f$ 。

2、按照权利要求 1 所述的具有间隙特性传动机构的控制系统，其特征在于由两个参数相同且对称的稳压二极管串联构成对称死区电路 2，输入端  $U_{di}$  与前级的线性控制环节的输出相连，输出端  $U_{do}$  与后级的 PWM 功率放大器相连。

## 具有间隙特性传动机构的控制系统

### 技术领域

本发明属于齿轮伺服系统稳定性的控制技术，特别涉及具有间隙特性传动机构的控制系统。

### 背景技术

在伺服系统中，由于采用高速电机、受到空间限制或者需要改变运动方式，因此需要采用齿轮、丝杠以及涡轮蜗杆等传动机构。这类传动机构从结构上都存在着间隙，而间隙对传动机构的影响比较复杂，对于系统的静态影响，会增大系统静态误差；对于动态品质的影响，会促使输出量相位滞后，使系统的稳定裕度下降，振荡加强，动态品质变坏。

为了减少间隙对传动机构的影响，提高伺服系统的稳定系性，已知中国实用新型专利 99219094 号公开了“一种减振防缓装置”其特征是由外套和减振环构成，能够减少高速运转产生的齿轮振动。另外中国发明专利 91106768 号又公开了“一种低振动、低噪声齿轮的设计方法”，其特征是齿轮的啮入点在节点之后，齿轮的啮入点在中心连线之后，齿轮的啮入冲击小于啮出冲击。未见有关基于电路控制方面的报导。

### 发明内容

需要解决的问题：为了克服间隙对传动机构的影响，提高伺服系统的稳定系性，本发明提供了具有间隙特性传动机构的控制系统，在设计带有间隙非线性的系统中采用减小齿轮间隙和加入适当宽度死区并举的措施，

解决了间隙对传动机构的不良影响，提高了系统的动态品质。

应用现有技术，系统在阶跃输入下，其输出量跟随输入量而变化，传动会产生相位滞后，因此，系统易出现超调。当系统出现超调时，电机反向转动，由于间隙的存在，输出角度在某一区间内不变，直到消除间隙后，输出量才反向逼近输入量。这时电机反向已具有一定速度，电机电枢已贮存了一定的动能，并将带动输出轴更快的反转，从而造成反向超调。当反向超调与正向超调相同时，系统保持自振。大大地影响了系统的稳定精度。根据奈奎斯特定理，推导出加入死区环节增大了控制系统对传动机构间隙的容许范围。根据传动机构产生极限环的条件为

$$A(\omega_n) \cdot \left[ \frac{1}{\sqrt{(1-\lambda_n^2)^2 + (2\xi\lambda_n)^2}} - \frac{a_s}{K_G\theta_l} + \frac{\Delta}{2\theta_l} \right] = 1$$

其中， $\lambda_n = \omega_n$ ， $p$  是传动机构的固有频率， $\xi$  是机械阻尼比， $A(\omega) = |G(\omega)|$ 。可推导出机电伺服系统稳定条件为

$$\Delta < [\Delta] = 2a_s f(\lambda)$$

当传动机构固定后， $f(\lambda)$  为常数，所以系统稳定时允许的传动机构间隙值与死区的宽度成正比关系。

因此在设计中依据传动机构的间隙大小，适当的选取死区宽度，在一定范围内有效地抑制了传动机构的间隙给系统带来的影响，提高了系统的稳定性和稳定精度。

采用的技术方案：对于存在间隙非线性的位置稳定系统，系统的开环增益较大时，会使系统进入周期运动，出现自振现象。在系统中加入死区可以有效地抑制有间隙带来的自振，但由于死区会使系统的稳态误差加大，

在设计带有间隙非线性的系统中采用减小齿轮间隙和加入适当宽度死区并举的措施。

在具有间隙传动机构的位置控制系统中加入了死区非线性，有效的改变了原非线性系统的极限环。其系统结构框图如图 1 所示，其中  $\theta_i$  为输入位置电压信号， $\theta_f$  为系统位置反馈电压信号， $e$  为系统偏差电压信号， $u_l$  为线性控制输出电压信号， $u_d$  为死区控制输出电压信号， $u_{PWM}$  为 PWM 电路的脉宽调制电路， $\theta_m$  为伺服电机输出角度， $\theta_o$  传动机构输出的位置量。在控制系统的线性控制环节后级联了死区非线性环节。系统信号流程如下，由输入位置信号  $\theta_i$  和系统位置反馈电压信号  $\theta_f$ ，经过有运算放大器构成的合成电路产生偏差电压信号  $e$ ，偏差电压信号  $e$  经线性控制电路 1 产生线性控制输出电压信号  $u_l$ ，再由控制量  $u_l$  经死区电路 2 后，产生死区控制电压信号  $u_d$  经过 PWM 电路 3 调制成脉宽信号  $u_{PWM}$  加在伺服电机 4 两端，使电机产生伺服电机输出角  $\theta_m$ ，由电机带动传动机构和负载 5，使负载输出位置量  $\theta_o$ ，经过位置电位计 6 将负载的位置量  $\theta_o$  变换成位置反馈电压信号  $\theta_f$ 。死区环节的特性曲线如图 2 所示，其中  $u_l$  表示死区电路的输入电压信号， $u_d$  表示死区电路的输出电压信号， $\Delta$  为死区宽度。其输入输出关系是：当输入电压  $|u_l| \leq \Delta$  时，输出电压  $u_d=0$ ，当输入电压  $|u_l| \geq \Delta$  时，输出电压  $u_d=u_l$ 。死区电路如图 3 所示，由两个参数相同的稳压二极管  $Z_1$  和  $Z_2$  对称串联构成。其中一端作为输入  $U_{di}$ ，一端作为输出  $U_{do}$ 。

有益效果如下：

- 1、可以有效地抑制传动机构中间隙带来的自振；
- 2、可以提高系统的相应带宽；

3、可以减弱系统在过渡过程中的振荡性，提高了系统的稳定性；

#### 4、同时设计科学，制作简单，成本低廉，便于推广。附图说明

图 1 位置控制系统结构框图，其中线性控制电路 1、死区电路 2、PWM 电路 3、伺服电机 4、传动机构及负载 5、位置电位计 6；

图 2 死区特性曲线；

图 3 死区电路图；

图 4 实施例结构图；其中 PID 控制电路 1、死区电路 2、SG1731PWM 调制模块 7、LM18245PWM 功率放大模块 8、伺服电机 4、传动机构及负载 5、位置电位计 6，SG1731PWM 调制模块 7 和 LM18245PWM 功率放大模块 8 构成了 PWM 电路 3；

图 5 PID 控制电路图；

#### 具体实施方式

该稳定控制系统如图 4 所示，采用线性控制电路 1、死区电路 2、PWM 电路 3 包括 SG1731PWM 调制模块 7 和 LM18245PWM 功率驱动模块 8、伺服电机 4、齿轮传动机构 5 以及位置电位计 6 构成。传动机构是由多级齿轮构成的减速机构，电机轴直接与主动齿轮轴刚性连接，从动齿轮与转台刚性连接，经过多级齿轮减速，减速比为 1384：1。转台的角度值是通过安装与转台上的位置电位计 6 测得的。本发明包括 PID 控制电路 1、SG1731 PWM 调制模块 LM18245 PWM 功率驱动模块组成 PWM 电路 3、伺服电机(4)、上述齿轮传动机构 5 以及位置侧角电位计 7。同时设计采用了 PID 控制电路如图 5 所示由 LM324 集成放大器及电阻、电容构成的二阶

**PID** 控制电路。死区电路的设计是根据该传动机构的间隙特性，通过实验测得传动机构在极限环中的固有频率值，由于上述的系统容许间隙正比于死区的关系，经试验计算出系统中加入的最小死区。并根据电机特性得出加入的稳压二极管的稳压值为 2.6V，选取相应参数的稳压二极管 1N5221，构成死区电路，如图 4 所示。死区电路由两个参数相同的稳压二极管串联构成，其中， $Z_1$  和  $Z_2$  参数为 1.9V 稳压二极管。输入端电压  $U_{di}$  与前级的线性控制环节的输出相连，输出端  $U_{do}$  与后级的 PWM 电路相连。当输入的电压信号  $u_{di}$  的绝对值小于 2.6V 时，则输出电压信号  $u_{do}$  为零；当输入的电压信号  $u_{di}$  的绝对值大于 2.6V 时，则输出电压信号  $u_{do}$  等于输入的电压信号  $u_{di}$ 。实施例信号流程如下，给定转角位置电压信号  $\theta_v$  与位置电位计反馈电压信号  $\theta_f$  之差  $e$  为 PID 控制电路的输入信号，将 PID 控制电路的输出  $u_{di}$  经死区电路输出  $u_{do}$ ，再经过 SG1731PWM 调制模块及 LM18245 PWM 功率放大模块将其输出的调宽波加在伺服电机两端，经齿轮传动机构减速使转台输出实际转角值  $\theta_o$ 。

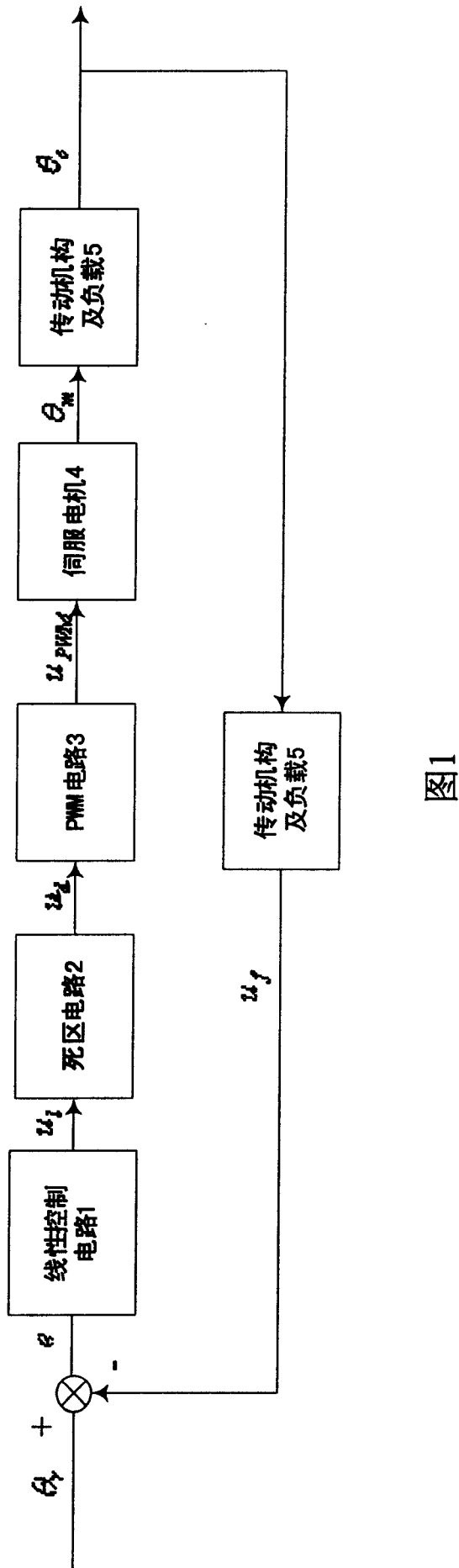


图1



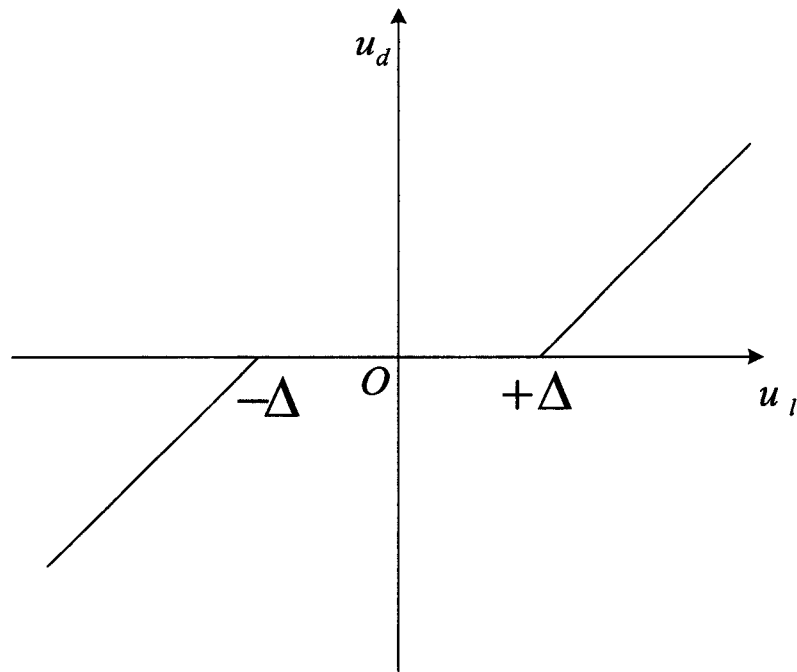


图 2

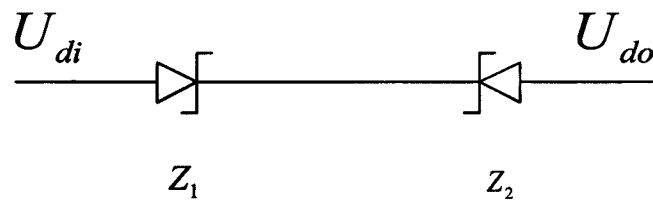


图 3

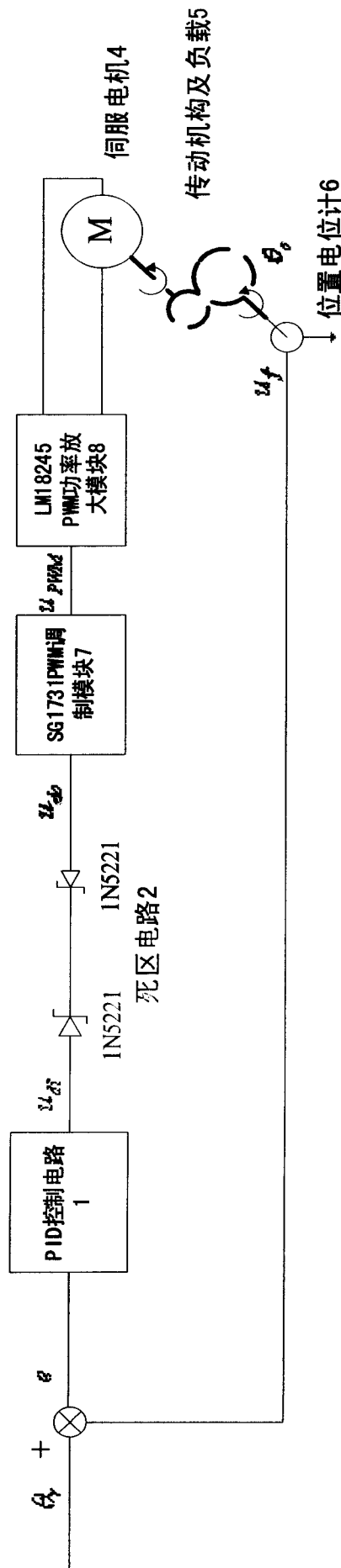


图4

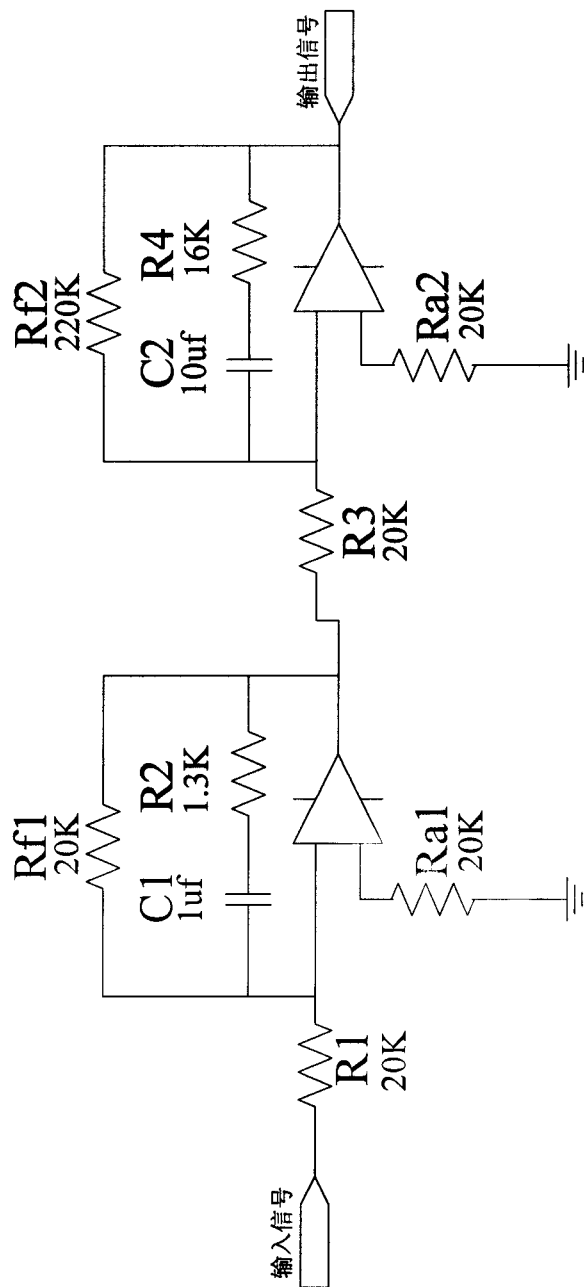


图5