



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103135467 A

(43) 申请公布日 2013.06.05

(21) 申请号 201310038092.8

(22) 申请日 2013.01.31

(71) 申请人 杭州电子科技大学

地址 310018 浙江省杭州市下沙高教园区2  
号大街

(72) 发明人 陈德传 卢玲 郑忠杰 李江波

(74) 专利代理机构 杭州求是专利事务所有限公  
司 33200

代理人 杜军

(51) Int. Cl.

G05B 19/04 (2006.01)

权利要求书1页 说明书4页

### (54) 发明名称

带材放卷张力的非线性实时补偿控制方法

### (57) 摘要

本发明公开了一种带材放卷张力的非线性实时补偿控制方法。现有张力闭环方法系统结构复杂、成本高、维护量大、张力传感器需定期校准,同时存在着动态性能差等问题。本发明方法首先根据放卷轴转速传感器信号、放卷卷径传感器信号、带材张力期望值,及带材厚度、带材宽度、带材密度、卷轴半径、卷轴惯量等固有参数,计算带材放卷过程当前的放卷半径、放卷转速,进而计算放卷惯量,在此基础上计算当前所需的放卷转矩,最后,将放卷转矩转换成电压控制信号输出到放卷电机驱动器的转矩指令接收端,以实现对接卷张力的控制,使带材放卷张力的动、静态性能符合生产要求。本发明通用性强,实现简单,无需调试。

1. 带材放卷张力的非线性实时补偿控制方法,其特征在于该方法包括如下步骤:

步骤 1. 根据放卷卷径传感器的输出信号  $U_r(k)$ 、放卷转速传感器的输出信号  $U_n(k)$ , 分别计算放卷卷径  $R(k)$ 、放卷转速  $n(k)$ ;

所述的放卷卷径  $R(k)$  与卷径传感器输出信号  $U_r(k)$  间的函数关系  $R(k)=r\{U_r(k)\}$ , 放卷转速  $n(k)$  与放卷转速传感器输出信号  $U_n(k)$  间的函数关系  $n(k)=N\{U_n(k)\}$ , 分别由如下公式表示:

$$R(k) = \frac{U_r(k)}{k_r} \quad (1)$$

$$n(k) = \frac{U_n(k)}{k_n} \quad (2)$$

其中,  $k_r$  为卷径 - 电压变换系数,  $k_n$  为转速 - 电压变换系数;

步骤 2. 根据计算单元中事先设置的固有参数:带材宽度  $B$ 、带材密度  $\gamma$ 、卷轴半径  $R_0$ 、卷轴惯量  $J_0$ , 以及步骤 1 中计算得出的放卷卷径  $R(k)$ , 计算放卷中的料卷惯量  $J(k)$ ;

所述的放卷中的料卷惯量  $J(k)$  和放卷卷径  $R(k)$ 、带材宽度  $B$ 、带材密度  $\gamma$ 、卷轴半径  $R_0$ 、卷轴惯量  $J_0$  之间的函数关系  $J(k)=f(R, R_0, B, \gamma, J_0)$ , 由如下公式表示:

$$J(k) = 0.5\pi B\gamma\{R^4(k) - R_0^4\} + J_0 \quad (3);$$

步骤 3. 根据步骤 1 和步骤 2 计算得出的料卷惯量  $J(k)$ 、放卷转速  $n(k)$ 、放卷卷径  $R(k)$ , 以及计算单元中事先设置的固有参数带材厚度  $h$  (单位: m)、带材张力期望值  $F$ , 计算放卷转矩  $T(k)$ ;

所述的放卷轴的转矩  $T(k)$  与计算得出的料卷惯量  $J(k)$ 、放卷转速  $n(k)$ 、放卷卷径  $R(k)$ , 以及计算单元中事先设置的固有参数带材厚度  $h$ 、带材张力期望值  $F$  之间的函数关系  $T(k)=g(R, F, n, J, h)$ , 由如下公式表示:

$$T(k) = R(k) \cdot F + 2\pi \cdot R(k) \cdot J(k) \cdot \frac{n(k) - n(k-1)}{t_s} + 10\pi h \cdot J(k) \cdot n^2(k) \quad (4)$$

其中,  $n(k-1)$  是上一次计算时刻的转速值;

步骤 4. 根据放卷轴的转矩  $T(k)$ , 计算转矩控制信号  $U_t(k)$ ;

所述的转矩控制信号  $U_t(k)$  与卷轴的转矩  $T(k)$  之间的函数关系  $U_t(k)=t(T)$ , 由如下公式表示:

$$U_t(k) = \frac{T(k)}{k_t} \quad (5)$$

其中,  $k_t$  为电压 - 转矩关系系数;

步骤 5. 将上述计算得到的转矩控制信号  $U_t(k)$  输出给放卷电机驱动器;

所述的转矩控制信号  $U_t(k)$  输出给放卷电机的驱动器, 是将由上述计算得到的当前转矩控制信号  $U_t(k)$ , 经上述计算单元中的 D/A 接口输出到放卷电机驱动器的转矩指令接收端, 以实现放卷张力的控制。

## 带材放卷张力的非线性实时补偿控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于工业控制领域,涉及一种带材放卷张力的非线性实时补偿控制方法,使带材的放卷张力不受卷径与料卷惯量变化的影响。

### 背景技术

[0002] 在各类带材的加工生产过程中,因带材的放卷卷径与料卷惯量大范围变化导致放卷张力不稳定,严重影响了后续工序的产品质量与生产速度。目前,带材放卷张力常用的控制方法是:一是放卷张力闭环控制方法:采用基于PID(比例P+积分I+微分D)调节方法的张力闭环控制,其中的张力检测点需用两个张力传感器分别安装在一个浮动辊的两端,并需在该浮动辊的前后安装前邻辊和后邻辊,使带材在浮动辊上形成一定的包绕角度,该方法存在的主要问题是:系统结构复杂、成本高、维护量大、张力传感器需定期校准等,且在生产过程中,放卷卷径与料卷惯量均从大到小大范围变化,对此,PID控制难以使放卷张力控制性能保持稳定;二是基于放卷转矩按带材层厚递减的开环控制方法:根据放卷转轴的转矩约等于放卷半径与张力乘积的关系,在设置好初始放卷半径与带材层厚、期望张力值后,每当转轴转过一圈就将转矩减掉一个带材层厚对应的转矩当量,使放卷转矩随放卷半径线性变化,进而使放卷张力的稳态值基本不变,该方法在实施中的成本很低,但存在的主要问题是:因只考虑了放卷半径变化的影响,而没有考虑放卷惯量变化等其他因素的影响,所以,张力控制精度低且动态性能不好。

### 发明内容

[0003] 本发明的目的是针对现有技术的不足,提供一种带材放卷张力的非线性实时补偿控制方法。该方法利用放卷轴转速信号、放卷卷径信号,在计算料卷惯量的基础上,根据带材放卷系统的机理方程,计算放卷转矩控制信号并输出给放卷电机驱动器,在无需张力传感器条件下可使放卷张力的动、静态性能符合生产要求,且无需调试。

[0004] 本发明方法包括以下步骤:

步骤1. 根据放卷卷径传感器的输出信号  $U_r(k)$  (单位:V)(注: $k$ :代表当前时刻,全文同)、放卷转速传感器的输出信号  $U_n(k)$  (单位:V),分别计算放卷卷径  $R(k)$  (单位:m)、放卷转速  $n(k)$  (单位:r/s);

步骤2. 根据计算单元中事先设置的固有参数:带材宽度  $B$  (单位:m)、带材密度  $\rho$  (单位:kg/m<sup>3</sup>)、卷轴半径  $R_0$  (单位:m)、卷轴惯量  $J_0$  (单位:kg·m<sup>2</sup>),以及步骤1中计算得出的放卷卷径  $R(k)$ ,计算放卷中的料卷惯量  $J(k)$  (单位:kg·m<sup>2</sup>);

步骤3. 根据步骤1和步骤2计算得出的料卷惯量  $J(k)$ 、放卷转速  $n(k)$ 、放卷卷径  $R(k)$ ,以及计算单元中事先设置的固有参数带材厚度  $h$  (单位:m)、带材张力期望值  $F$  (单位:N),计算放卷转矩  $T(k)$  (单位:N·m);

步骤4. 根据放卷轴的转矩  $T(k)$ ,计算转矩控制信号  $U_t(k)$  (单位:V);

步骤5. 将上述计算得到的转矩控制信号  $U_t(k)$  输出给放卷电机驱动器。

[0005] 步骤 1 中所述的放卷卷径  $R(k)$  与卷径传感器输出信号  $U_r(k)$  间的函数关系  $R(k) = r\{U_r(k)\}$ , 放卷转速  $n(k)$  与放卷转速传感器输出信号  $U_n$  间的函数关系  $n(k) = N\{U_n(k)\}$ , 分别由如下公式表示:

$$R(k) = \frac{U_r(k)}{k_r} \quad (1)$$

$$n(k) = \frac{U_n(k)}{k_n} \quad (2)$$

其中,  $k_r$  为卷径 - 电压变换系数(单位: V/m),  $k_n$  为转速 - 电压变换系数(单位: V·s/r)。

[0006] 步骤 2 中所述的放卷中的料卷惯量  $J(k)$  和放卷卷径  $R(k)$ 、带材宽度  $B$ 、带材密度  $\gamma$ 、卷轴半径  $R_0$ 、卷轴惯量  $J_0$  之间的函数关系  $J(k) = f(R, R_0, B, \gamma, J_0)$ , 由如下公式表示:

$$J(k) = 0.5\pi B\gamma\{R^4(k) - R_0^4\} + J_0 \quad (3)$$

步骤 3 中所述的放卷轴的转矩  $T(k)$  与计算得出的料卷惯量  $J(k)$ 、放卷转速  $n(k)$ 、放卷卷径  $R(k)$ , 以及计算单元中事先设置的固有参数带材厚度  $h$ 、带材张力期望值  $F$  之间的函数关系  $T(k) = g(R, F, n, J, h)$ , 由如下公式表示:

$$T(k) = R(k) \cdot F + 2\pi \cdot R(k) \cdot J(k) \cdot \frac{n(k) - n(k-1)}{t_s} + 10\pi h \cdot J(k) \cdot n^2(k) \quad (4)$$

其中,  $n(k-1)$  是上一次计算时刻的转速值。

[0007] 步骤 4 中所述的转矩控制信号  $U_t(k)$  与卷轴的转矩  $T(k)$  之间的函数关系  $U_t(k) = t(T)$ , 由如下公式表示:

$$U_t(k) = \frac{T(k)}{k_t} \quad (5)$$

其中,  $k_t$  为电压 - 转矩关系系数(单位: Nm/V)。

[0008] 步骤 5 中所述的转矩控制信号  $U_t(k)$  输出给放卷电机的驱动器, 是将由上述计算得到的当前转矩控制信号  $U_t(k)$ , 经上述计算单元中的 D/A 接口输出到放卷电机驱动器的转矩指令接收端, 以实现放卷张力的控制, 使带材放卷张力符合生产要求。

[0009] 本发明的有益效果:

- (1) 不需要在现有测控系统基础上增加额外传感器及其他硬件;
- (2) 不需要张力传感器, 能使动、静态张力符合生产要求;
- (3) 该方法容易实现、通用性好、使用简便、无需调试;
- (4) 特别适于对各类带材的加工、生产过程中要求无需张力传感器而能对放卷张力进行控制的场合, 大大提高了此类系统的生产控制性能与性价比。

## 具体实施方式

[0010] 下面对本发明作进一步说明。

[0011] 带材放卷张力的非线性实时补偿控制方法,其具体实施步骤如下:

步骤 1. 根据放卷卷径传感器的输出信号  $U_r(k)$  (单位:V) (注: $k$ :代表当前时刻,全文同)、放卷转速传感器的输出信号  $U_n(k)$  (单位:V),分别计算放卷卷径  $R(k)$  (单位:m)、放卷转速  $n(k)$  (单位:r/s);

步骤 2. 根据计算单元中事先设置的固有参数:带材宽度  $B$  (单位:m)、带材密度  $\gamma$  (单位:kg/m<sup>3</sup>)、卷轴半径  $R_0$  (单位:m)、卷轴惯量  $J_0$  (单位:kg·m<sup>2</sup>),以及步骤 1 中计算得出的放卷卷径  $R(k)$ ,计算放卷中的料卷惯量  $J(k)$  (单位:kg·m<sup>2</sup>);

步骤 3. 根据步骤 1 和步骤 2 计算得出的料卷惯量  $J(k)$ 、放卷转速  $n(k)$ 、放卷卷径  $R(k)$ ,以及计算单元中事先设置的固有参数带材厚度  $h$  (单位:m)、带材张力期望值  $F$  (单位:N),计算放卷转矩  $T(k)$  (单位:N·m);

步骤 4. 根据放卷轴的转矩  $T(k)$ ,计算转矩控制信号  $U_t(k)$  (单位:V);

步骤 5. 将上述计算得到的转矩控制信号  $U_t(k)$  输出给放卷电机驱动器。

[0012] 步骤 1 中所述的放卷卷径  $R(k)$  与卷径传感器输出信号  $U_r(k)$  间的函数关系  $R(k) = r\{U_r(k)\}$ ,放卷转速  $n(k)$  与放卷转速传感器输出信号  $U_n$  间的函数关系  $n(k) = N\{U_n(k)\}$ ,分别由如下公式表示:

$$R(k) = \frac{U_r(k)}{k_r} \quad (1)$$

$$n(k) = \frac{U_n(k)}{k_n} \quad (2)$$

其中, $k_r$  为卷径-电压变换系数(单位:V/m), $k_n$  为转速-电压变换系数(单位:V·s/r)。

[0013] 步骤 2 中所述的放卷中的料卷惯量  $J(k)$  和放卷卷径  $R(k)$ 、带材宽度  $B$ 、带材密度  $\gamma$ 、卷轴半径  $R_0$ 、卷轴惯量  $J_0$  之间的函数关系  $J(k) = f(R, R_0, B, \gamma, J_0)$ ,由如下公式表示:

$$J(k) = 0.5\pi B\gamma\{R^4(k) - R_0^4\} + J_0 \quad (3)$$

步骤 3 中所述的放卷轴的转矩  $T(k)$  与计算得出的料卷惯量  $J(k)$ 、放卷转速  $n(k)$ 、放卷卷径  $R(k)$ ,以及计算单元中事先设置的固有参数带材厚度  $h$ 、带材张力期望值  $F$  之间的函数关系  $T(k) = g(R, F, n, J, h)$ ,由如下公式表示:

$$T(k) = R(k) \cdot F + 2\pi \cdot R(k) \cdot J(k) \cdot \frac{n(k) - n(k-1)}{t_s} + 10\pi h \cdot J(k) \cdot n^2(k) \quad (4)$$

其中, $n(k-1)$  是上一次计算时刻的转速值。

[0014] 步骤 4 中所述的转矩控制信号  $U_t(k)$  与卷轴的转矩  $T(k)$  之间的函数关系  $U_t(k) = t(T)$ ,由如下公式表示:

$$U_t(k) = \frac{T(k)}{k_t} \quad (5)$$

其中, $k_t$  为电压-转矩关系系数(单位:Nm/V)。

[0015] 步骤 5 中所述的转矩控制信号  $U_t(k)$  输出给放卷电机的驱动器, 是将由上述计算得到的当前转矩控制信号  $U_t(k)$ , 经上述计算单元中的 D/A 接口输出到放卷电机驱动器的转矩指令接收端, 以实现对接卷张力的控制, 使带材放卷张力符合生产要求。

[0016] 带材加工、生产测控系统中的计算单元 CPU 根据从其 A/D 接口输入的来自卷径传感器输出信号  $U_r(k)$  与转速传感器信号  $U_n(k)$ , 及事先在计算单元的人机操作界面中设置的带材张力期望值  $F$ 、带材厚度  $h$ 、带材宽度  $B$ 、带材密度  $\rho$ 、卷轴半径  $R_0$ 、卷轴惯量  $J_0$  等固有参数, 计算带材放卷过程当前的放卷半径  $R(k)$ 、放卷转速  $n(k)$ , 进而计算放卷惯量  $J(k)$ , 在此基础上计算当前所需的放卷转矩  $T(k)$ , 最后, 将放卷转矩  $T(k)$  转换成电压控制信号  $U_t(k)$  并经计算单元中的 D/A 接口输出到放卷电机驱动器的转矩指令接收端, 以实现对接卷张力的控制, 使带材放卷张力的动静态性能符合生产要求。