



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106877769 B

(45)授权公告日 2019.02.15

(21)申请号 201710232375.4

(22)申请日 2017.04.11

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106877769 A

(43)申请公布日 2017.06.20

(73)专利权人 东南大学

地址 210096 江苏省南京市玄武区四牌楼2号

专利权人 中国船舶重工集团公司第七一六研究所

(72)发明人 李世华 吴超 石珂 李奇

曹为理 张允志

(74)专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限公司

公司 32200

代理人 姜慧勤

(51)Int.Cl.

H02P 21/18(2016.01)

H02P 23/14(2006.01)

(56)对比文件

CN 101989827 A,2011.03.23,

CN 103684193 A,2014.03.26,

CN 104617845 A,2015.05.13,

JP 2002078369 A,2002.03.15,

JP H11215883 A,1999.08.06,

审查员 贾贺帅

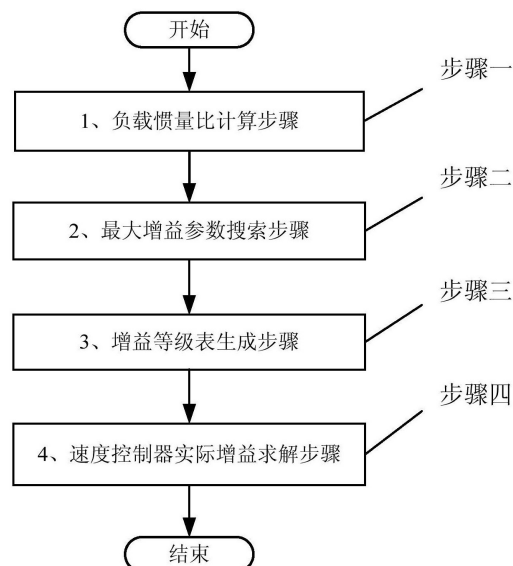
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种伺服电机速度控制器增益参数自整定的方法

(57)摘要

本发明公开了一种伺服电机速度控制器增益参数自整定的方法,该方法通过以下四步解决了现有技术自整定过程复杂和自整定效果不足的问题。具体为:首先为伺服系统规划正弦形式的电流信号,根据伺服电机速度方程的频域形式计算负载惯量比;然后根据伺服系统速度闭环特性建立比例增益和积分增益的关系,并搜索最大增益参数;在此基础上自动生成增益等级表;最后根据负载惯量比和增益等级表计算速度控制器实际增益。本发明方法具有自整定执行简单和自整定效果好的优点。



1. 一种伺服电机速度控制器增益参数自整定的方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤1,给伺服系统规划正弦形式的电流信号,得到伺服系统的转速幅值,根据伺服电机速度方程的频域形式计算负载惯量,根据负载惯量和伺服系统本体惯量得到负载惯量比;

步骤2,对伺服电机执行速度闭环控制,根据伺服系统的速度闭环特性,建立速度控制器比例增益参数和积分增益参数的关系,将比例增益参数从初始值开始,每隔固定增益时间间隔增加一个增益刻度,当比例增益参数增加到使伺服电机的转速超过震荡临界值时,记此时的比例增益参数为临界震荡比例增益;所述比例增益参数和积分增益参数的关系为:

$$\bar{K}_I = \frac{\bar{K}_P}{4\xi_b^2 J_L}$$

其中, \bar{K}_I 为积分增益参数, \bar{K}_P 为比例增益参数, ξ_b 为伺服系统的最佳阻尼比, J_L 为负载惯量;

步骤3,根据步骤2比例增益参数的初始值、固定时间间隔、增益刻度以及比例增益参数和积分增益参数的关系,生成包含增益等级-比例增益参数-积分增益参数的增益等级表;

步骤4,根据负载惯量比和增益等级表计算速度控制器的实际比例增益参数和实际积分增益参数。

2. 根据权利要求1所述伺服电机速度控制器增益参数自整定的方法,其特征在于,步骤1所述负载惯量的计算公式为:

$$J_L = \frac{K_t |I|}{2\pi f |\omega|}$$

其中, J_L 为负载惯量, K_t 为伺服系统的转矩系数, I 为电流幅值, f 为电流频率, ω 为伺服系统的转速幅值。

3. 根据权利要求1所述伺服电机速度控制器增益参数自整定的方法,其特征在于,步骤1所述负载惯量比的计算公式为:

$$R_J = \frac{J_L}{J}$$

其中, R_J 为负载惯量比, J_L 为负载惯量, J 为伺服系统本体惯量。

4. 根据权利要求1所述伺服电机速度控制器增益参数自整定的方法,其特征在于,步骤3所述增益等级具体为:将比例增益参数为初始值时的增益等级设为1级,每隔一个固定时间间隔,增益等级增加1级,直至比例增益参数到达临界震荡比例增益,临界震荡比例增益对应的增益等级为最高级max。

5. 根据权利要求1所述伺服电机速度控制器增益参数自整定的方法,其特征在于,步骤4所述实际比例增益参数和实际积分增益参数的计算公式分别为:

$$K_P = \bar{K}_P \cdot R_J$$

$$K_I = \bar{K}_I \cdot R_J$$

其中, K_P 、 K_I 分别为实际比例增益参数、实际积分增益参数, \bar{K}_P 、 \bar{K}_I 分别为比例增益参

数、积分增益参数, R_J 为负载惯量比。

一种伺服电机速度控制器增益参数自整定的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种参数自整定的方法,具体涉及一种伺服电机速度控制器增益参数自整定的方法,属于伺服控制技术领域。

背景技术

[0002] 伺服电机作为一种机械执行机构,广泛应用于机械制造、工业机器人、航空航天等工程领域。以伺服电机为基本部件的伺服系统作为现代工业生产设备的重要驱动部件之一,是工业自动化不可缺少的重要基本技术。

[0003] 在工程应用中,一个产品化的伺服驱动器会固化一组调节器参数提供给用户使用。但是针对不同电机,不同供电环境,这组参数适应性不同,很有可能不能正常工作或达不到理想的性能指标。这种情况下用户要自行调试或者工程人员要出差现场。现在考虑能不能采用一种方法,使得伺服驱动器能够根据工况,包括电源、电机的信息自动整定出一组合适参数,这样将大大减少劳动的成本,为用户使用提供方便。众所周知,闭环调节系统的参数整定是保证系统性能指标的重要环节,该过程需要耗费很多时间与精力的工作。如果伺服单元可以通过几次试运行,自动将系统的参数整定为满足当前工作环境要求的相对最优的参数,对于使用伺服单元的用户来说,这是新型伺服系统最具吸引力的特点之一。

[0004] 伺服系统现有自整定技术中,对于速度控制器参数的自整定方法可分为两种:第一种是基于经验的自整定方法,具体是模拟工程师调节参数的思路,让伺服驱动器按照某种遍历规律自动寻找评价最优的参数;另一种是基于模型的自整定方法,具体是建立伺服电机的理论模型,然后基于时域或者频域的方法,由模型计算速度控制器参数。第一种方法的优点是思路简单、易于实现,较容易获得一组较优的速度控制器参数,缺点是整定时间过长,很难找到适用于各种工况的参数评价标准;第二种方法的优点是在精确建模的前提下能够精确获得使得伺服系统获得高性能的控制参数,缺点是难以建立伺服系统各场合时的精确模型,在建模不准时,自整定参数的控制性能会受到很大的影响。

发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题是:提供一种伺服电机速度控制器增益参数自整定的方法,改善了现有伺服系统参数自整定技术的整定效果,缩短了自整定技术的整定时间。

[0006] 本发明为解决上述技术问题采用以下技术方案:

[0007] 一种伺服电机速度控制器增益参数自整定的方法,包括如下步骤:

[0008] 步骤1,给伺服系统规划正弦形式的电流信号,得到伺服系统的转速幅值,根据伺服电机速度方程的频域形式计算负载惯量,根据负载惯量和伺服系统本体惯量得到负载惯量比;

[0009] 步骤2,对伺服电机执行速度闭环控制,根据伺服系统的速度闭环特性,建立速度控制器比例增益参数和积分增益参数的关系,将比例增益参数从初始值开始,每隔固定增益时间间隔增加一个增益刻度,当比例增益参数增加到使伺服电机的转速超过震荡临界值

时,记此时的比例增益参数为临界震荡比例增益;

[0010] 步骤3,根据步骤2比例增益参数的初始值、固定时间间隔、增益刻度以及比例增益参数和积分增益参数的关系,生成包含增益等级-比例增益参数-积分增益参数的增益等级表;

[0011] 步骤4,根据负载惯量比和增益等级表计算速度控制器的实际比例增益参数和实际积分增益参数。

[0012] 作为本发明的一种优选方案,步骤1所述负载惯量的计算公式为:

$$[0013] \quad J_L = \frac{K_t |I|}{2\pi f |\omega|}$$

[0014] 其中, J_L 为负载惯量, K_t 为伺服系统的转矩系数, $|I|$ 为电流幅值, f 为电流频率, $|\omega|$ 为伺服系统的转速幅值。

[0015] 作为本发明的一种优选方案,步骤1所述负载惯量比的计算公式为:

$$[0016] \quad R_J = \frac{J_L}{J}$$

[0017] 其中, R_J 为负载惯量比, J_L 为负载惯量, J 为伺服系统本体惯量。

[0018] 作为本发明的一种优选方案,步骤2所述比例增益参数和积分增益参数的关系为:

$$[0019] \quad \bar{K}_I = \frac{\bar{K}_P}{4\xi_b^2 J_L}$$

[0020] 其中, \bar{K}_I 为积分增益参数, \bar{K}_P 为比例增益参数, ξ_b 为伺服系统的最佳阻尼比, J_L 为负载惯量。

[0021] 作为本发明的一种优选方案,步骤3所述增益等级具体为:将比例增益参数为初始值时的增益等级设为1级,每隔一个固定时间间隔,增益等级增加1级,直至比例增益参数到达临界震荡比例增益,临界震荡比例增益对应的增益等级为最高级max。

[0022] 作为本发明的一种优选方案,步骤4所述实际比例增益参数和实际积分增益参数的计算公式分别为:

$$[0023] \quad K_P = \bar{K}_P \cdot R_J$$

$$[0024] \quad K_I = \bar{K}_I \cdot R_J$$

[0025] 其中, K_P 、 K_I 分别为实际比例增益参数、实际积分增益参数, \bar{K}_P 、 \bar{K}_I 分别为比例增益参数、积分增益参数, R_J 为负载惯量比。

[0026] 本发明采用以上技术方案与现有技术相比,具有以下技术效果:

[0027] 1、本发明方法结合了传统基于经验和基于模型的自整定方法,可大范围应用于当今伺服产品的速度控制器增益参数自整定功能,与现有技术相比具有自整定执行简单和自整定效果好的优点。

[0028] 2、本发明方法自整定执行简单:四个步骤在实现上都很简单,很方便在驱动器的软件代码中实现,无需硬件上的改变。按照增益等级最大值max=15来计算,自整定过程的时间仅为7.5s。

[0029] 3、本发明方法自整定效果好:首先,本发明中的负载惯量比计算是基于伺服电机速度方程的频域形式计算得到的,且比例增益和积分增益的关系是基于伺服系统速度闭环

特性建立的,这两个技术特征都拥有基于模型自整定方法的精度高的优点;其次,本发明中搜索最大增益参数和自动生成增益等级表这两个技术特征又有基于经验自整定方法的整定思路简单的优点。由于结合了基于经验和基于模型的自整定方法二者的技术优点,采用本发明技术方案整定出来的速度控制器增益参数效果较好。

附图说明

[0030] 图1是本发明伺服电机速度控制器增益参数自整定的方法的步骤流程图。

[0031] 图2是本发明伺服电机速度控制器增益参数自整定的方法的控制结构框图。

具体实施方式

[0032] 为了使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述。显然,所描述的实施例是本发明的一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明所保护的范围。

[0033] 本发明是为了改善现有伺服系统速度控制器参数自整定技术的整定效果,缩短自整定技术的整定时间,提出了一种新型速度控制器增益参数自整定方法。为了说明本发明的具体实施方式,下面结合某市售电机进行说明。该直流电机的参数具体为:电枢电阻R为 1.73Ω ;极对数 n_p 为3;电枢电感L为 0.26mH ;额定电流为 2.4A ;本体惯量为 0.16Kgcm^2 ;电机转矩系数为 0.56Nm/A ;速度环控制周期为 $150\mu\text{s}$ 。

[0034] 如图1所示,为本发明伺服电机速度控制器增益参数自整定的方法的步骤流程图,具体步骤如下:

[0035] 步骤一:负载惯量比计算步骤。伺服系统接好负载后工作在转矩控制模式,给伺服系统规划一个幅值为 $|I|$,频率为 f 的正弦形式的电流信号,记此时伺服系统的转速幅值为 $|\omega|$,根据伺服电机速度方程的频域形式,建立如下的负载惯量计算公式计算负载惯量 J_L :

$$[0036] \quad J_L = \frac{K_t |I|}{2\pi f |\omega|}$$

[0037] 其中, K_t 为伺服系统的转矩系数。

[0038] 按照本步骤的说明,比如可以选择幅值为 $|I|=0.5\text{A}$,频率为 $f=100\text{Hz}$ 的正弦形式的电流信号,假设此时伺服系统的转速幅值对应为 $|\omega|=50\text{rpm}$,再结合电机转矩系数 $K_t=0.56\text{Nm/A}$,计算得到负载惯量为 $J_L=0.85\text{Kgcm}^2$ 。

[0039] 根据计算得到的负载惯量 $J_L=0.85\text{Kgcm}^2$ 和伺服系统本体惯量 $J=0.16\text{Kgcm}^2$ 得到负载惯量比 R_J 为:

$$[0040] \quad R_J = \frac{J_L}{J} = 5.31$$

[0041] 步骤二:最大增益参数搜索步骤。如图2所示,伺服电机执行速度闭环控制,给定转速 ω_r 为0,速度控制器的比例增益参数 \bar{K}_p 从比例增益初始值开始每隔一段的增益时间间隔的时间增加一个增益刻度。同时,由于伺服系统的速度闭环是一个二阶的控制系统,根据伺服系统的速度闭环特性,速度控制器的积分增益参数 \bar{K}_i 可以设计为 \bar{K}_i 随着 \bar{K}_p 的变化而变

化,具体关系如下式所示,定义此关系为比例-积分增益关系式:

$$[0042] \quad \bar{K}_I = \frac{\bar{K}_P}{4\xi_b^2 J_L}$$

[0043] 其中, ξ_b 定义为伺服系统的最佳阻尼比,其值为0.707。将步骤一的负载惯量 $J_L=0.85\text{Kgcm}^2$ 代入本步骤,得到 $\bar{K}_I = \bar{K}_P \times 8.5 \times 10^{-5}$ 。

[0044] 在比例增益参数 \bar{K}_P 增大的过程中,由于伺服闭环控制系统的闭环增益不断增大,伺服电机的转速 ω 将会趋于震荡。当伺服电机的转速 ω 开始超过震荡临界值时,记此时的比例增益参数 $\bar{K}_P = 20 \times \max$ 为临界震荡比例增益, \bar{K}_P 停止增大。 \max 为最大增益步数。

[0045] 进一步的,上述伺服系统的速度闭环特性表现为闭环特征方程为:

$$[0046] \quad J_L s^2 + \bar{K}_P s + \bar{K}_I = 0$$

[0047] 式中, s 为频域算子。

[0048] 在本实施例中,比例增益初始值取为20Hz,时间间隔为500ms,增益刻度为20Hz,震荡临界值为10rpm。

[0049] 进一步的,根据伺服控制领域的产品特征,上述比例增益初始值可以取为20Hz,也可以由技术方案的使用者在20Hz附近略微调整。类似地,500ms的时间间隔也可以由技术方案的使用者在此附近略微调整;20Hz的增益刻度也可以由技术方案的使用者在此附近略微调整。伺服电机转速的震荡临界值可以在10rpm附近略微调整,一般在5rpm~20rpm取值都比较合理。

[0050] 略微调整本步骤的比例增益参数初始值、时间间隔、增益刻度和伺服电机转速的震荡临界值都不影响本发明技术方案的实施。

[0051] 步骤三:增益等级表生成步骤。根据步骤二所述的比例增益初始值、增益时间间隔和一个增益刻度,生成一个表示增益等级-比例增益参数-积分增益参数的增益等级表。

[0052] 增益等级表是增益等级从1到 \max 递增排列,比例增益参数的大小是增益刻度乘以增益等级,相应的积分增益参数根据比例-积分增益关系式计算得到。

[0053] 取增益刻度为20Hz,将增益等级从1到 \max 与对应的比例增益参数和积分增益参数排列。假设本实施例中 \max 值为15,将步骤一的负载惯量 $J_L=0.85\text{Kgcm}^2$ 代入本步骤,可以绘制增益等级表如下表所示。

[0054]	增益等级	比例增益参数 \bar{K}_P /Hz	积分增益参数 \bar{K}_I /Hz
	1	20	235.4
	2	40	470.7

	15	3000	3530.5

[0055] 步骤四:速度控制器实际增益求解步骤。用户根据步骤三得到的增益等级表选定一个增益等级,分别将该增益等级对应的比例增益参数 \bar{K}_P 和积分增益参数 \bar{K}_I 乘以负载惯量比 R_J 得到最终的速度控制器实际增益,即实际比例增益参数 K_P 和实际积分增益参数 K_I 分别为:

$$[0056] \quad K_p = \bar{K}_p \cdot R_J$$

$$[0057] \quad K_I = \bar{K}_I \cdot R_J$$

[0058] 用户可以根据实际需求选定增益等级,对于高刚性响应需求则可以选择较高的增益等级;低刚性响应需求则可以选择较低的增益等级。

[0059] 比如用户需要的中等刚性的响应需求,选定的增益等级为7,即对应的比例增益参数为 $\bar{K}_p=1400\text{Hz}$,积分增益参数为 $\bar{K}_I=1647.8\text{Hz}$;再结合步骤一的负载惯量比 $R_J=5.31$,得到实际比例增益参数 K_P 和实际积分增益参数 K_I 分别为:

$$[0060] \quad K_P=1400 \times 5.31=7434\text{Hz}$$

$$[0061] \quad K_I=1647.8 \times 5.31=8749.8\text{Hz}$$

[0062] 以上实施例仅为说明本发明的技术思想,不能以此限定本发明的保护范围,凡是按照本发明提出的技术思想,在技术方案基础上所做的任何改动,均落入本发明保护范围之内。

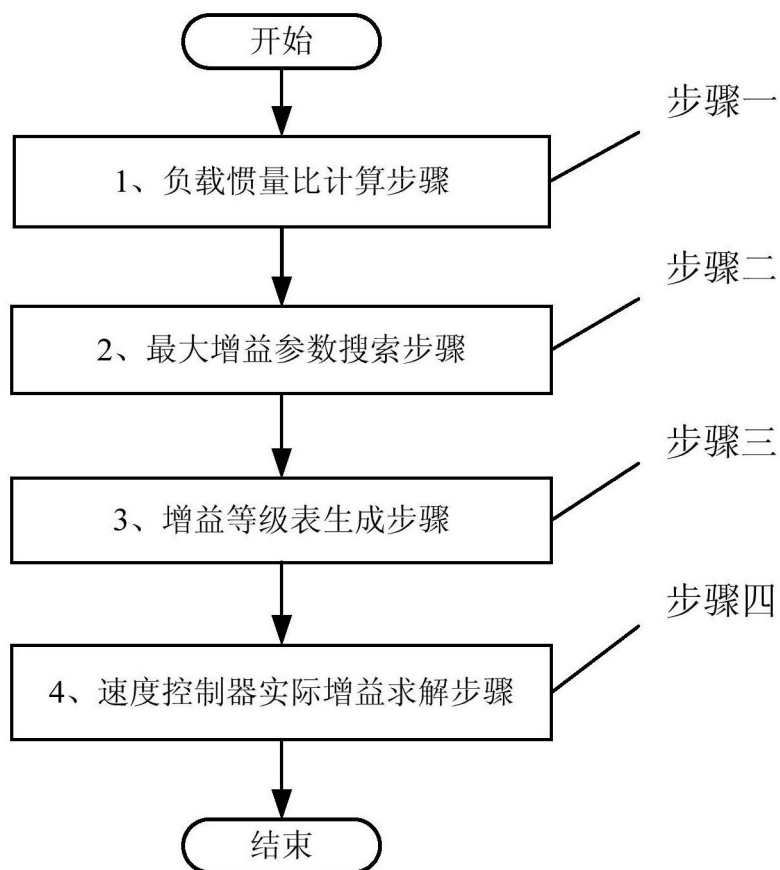


图1

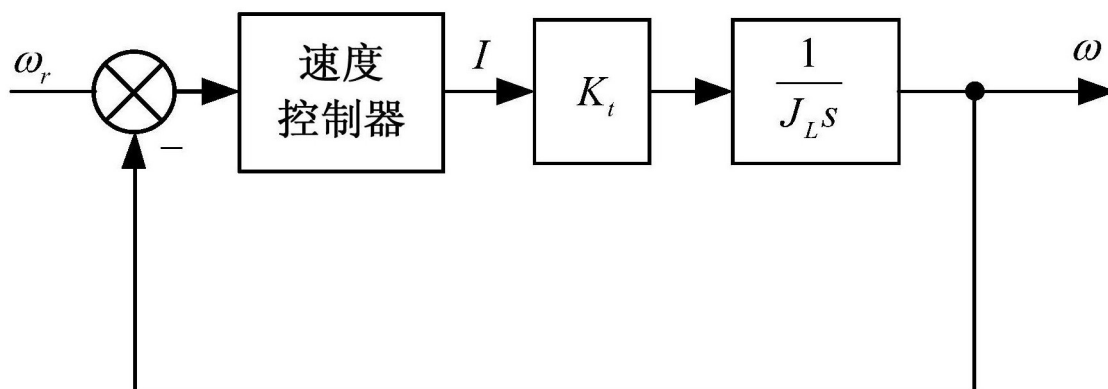


图2