



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106773710 B

(45)授权公告日 2019.11.29

(21)申请号 201710023912.4

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2017.01.13

G05B 13/04(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106773710 A

(56)对比文件

CN 104993764 A, 2015.10.21, 全文.

(43)申请公布日 2017.05.31

CN 104635496 A, 2015.05.20, 全文.

(73)专利权人 东南大学

CN 105739301 A, 2016.07.06, 全文.

地址 210096 江苏省南京市四牌楼2号

CN 104201964 A, 2014.12.10, 全文.

专利权人 中国船舶重工集团公司第七一六
研究所

CN 102386835 A, 2012.03.21, 全文.

(72)发明人 李世华 吴超 沈冬冬 李奇

刘子剑.《伺服系统在线参数自整定及优化
技术研究》.《中国优秀硕士学位论文全文数据库
工程科技II辑》.2015,

曹为理 邹金欣

王崇武 等.《电动力鱼雷推进无刷直流电机
参数在线辨识研究》.《西北工业大学学报》

(74)专利代理机构 江苏永衡昭辉律师事务所

.2013, 第373-376页.

32250

审查员 耿宾

代理人 王斌

权利要求书3页 说明书6页 附图3页

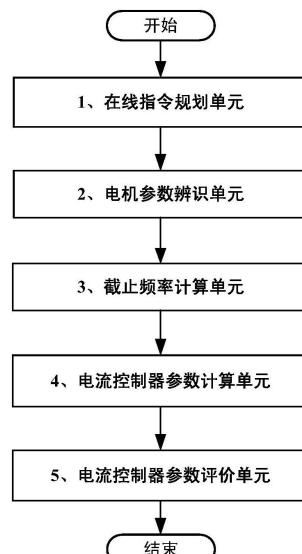
(54)发明名称

一种直流电机电流控制器参数自整定系统
及方法

(57)摘要

本发明公开了一种新型直流电机电流控制器参数自整定的方法。针对现有技术中存在的自整定过程复杂和自整定效果不足的问题，提出了分为以下五步的技术方案：步骤一，在线指令规划单元，为直流电机规划出三段电枢电压指令；步骤二，电机参数辨识单元，辨识出电机的电枢电阻、电枢电感和反电势系数之值；步骤三，截止频率估计单元，结合步骤二和截止频率估计公式估计出电机的截止频率；步骤四，电流控制器参数计算单元，根据电流控制器参数计算公式得到电流控制器参数；步骤五，电流控制器参数评价单元，给用户微调参数的空间，保证获得用户满意的电流阶跃响应。本发明自整定过程简单、容易实现，而且能够充分利用了电机机理模型，并且加入了参数评价单元，自整定效果令用户满意。

CN 106773710 B



1. 一种直流电机电流控制器参数自整定系统,其特征在于,包括:
 在线指令规划单元,为直流电机规划出三段电枢电压指令;
 电机参数辨识单元,在所述在线指令规划单元规划的三段电枢电压指令时间内,分别测试并记录电机的电枢电压、电枢电流和转速数据,按照直流电机参数辨识方程计算出电机的电枢电阻、电枢电感和反电势系数之值;
 截止频率估计单元,根据所述电机参数识别单元计算出的电机的电枢电阻和电枢电感之值,结合截止频率估计公式估计出电机的截止频率;
 电流控制器参数计算单元,根据所述电机参数识别单元计算出的电枢电阻、电枢电感参数和所述截止频率估计单元得到的电机的截止频率,根据电流控制器参数计算公式得到电流控制器参数;

三段电枢电压指令包含以下特征:三段电枢电压指令的形式都是随时间正弦变化的;三段电枢电压指令的幅值为电机的额定电流;三段电枢电压指令的频率分别为工频、两倍工频和三倍工频;

所述的直流电机参数辨识方程具体为:

$$\begin{bmatrix} R \\ L \\ C_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \int_{t_1}^{t_2} I_1 dt & \frac{d}{dt} \int_{t_1}^{t_2} I_1 dt & \int_{t_1}^{t_2} \omega_1 dt \\ \int_{t_3}^{t_4} I_2 dt & \frac{d}{dt} \int_{t_3}^{t_4} I_2 dt & \int_{t_3}^{t_4} \omega_2 dt \\ \int_{t_5}^{t_6} I_3 dt & \frac{d}{dt} \int_{t_5}^{t_6} I_3 dt & \int_{t_5}^{t_6} \omega_3 dt \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \int_{t_1}^{t_2} U_1 dt \\ \int_{t_3}^{t_4} U_2 dt \\ \int_{t_5}^{t_6} U_3 dt \end{bmatrix}$$

式中R为电枢电阻,L为电枢电感,C_e为反电势系数, $\frac{d}{dt}$ 为求导数运算算子,[]⁻¹为求逆矩阵算子,U₁、I₁和ω₁分别表示在t₁~t₂时间内记录的电枢电压、电枢电流和转速数据;U₂、I₂和ω₂分别表示在t₃~t₄时间内记录的电枢电压、电枢电流和转速数据;U₃、I₃和ω₃分别表示在t₅~t₆时间内记录的电枢电压、电枢电流和转速数据;

所述的截止频率估计公式为:

$$\omega_c = \frac{R}{2\pi L} ;$$

所述的电流控制器参数计算公式为:

$$\text{比例参数 } K_p : K_p = \frac{\omega_c L}{K_{cf} K_{PWM}}$$

$$\text{积分参数 } K_I : K_I = K_p \frac{L}{RT_s}$$

式中,K_{cf}为所用驱动器的电流反馈系数,K_{PWM}为所用驱动器的开关频率,T_s为所用驱动器的电流采样时间。

2. 根据权利要求1所述的直流电机电流控制器参数自整定系统,其特征在于,还包括一电流控制器参数评价单元,将驱动器按照所述电流控制器参数计算单元得到的控制参数执行一次额定电流的电流阶跃响应结果显示给用户,通过与设定的满意度指标比较,在所述

电流控制器参数计算单元得到的电流控制器参数的基础上微调参数；所述满意度指标为超调量不大于15%，稳态波动不大于5%。

3. 一种直流电机电流控制器参数自整定方法，其特征在于，步骤为：

步骤一：在线指令规划步骤，为直流电机规划出三段电枢电压指令；

步骤二：电机参数辨识步骤，在步骤一所述的三段电枢电压指令时间内，分别测试并记录电机的电枢电压、电枢电流和转速数据，对记录的数据进行处理，然后按照直流电机参数辨识方程计算出电机的电枢电阻、电枢电感和反电势系数之值；

步骤三：截止频率估计步骤，根据步骤二计算出的电机的电枢电阻和电枢电感之值，结合截止频率估计公式估计出电机的截止频率；

步骤四：电流控制器参数计算步骤，根据步骤二得到的电枢电阻、电枢电感参数和步骤三得到的电机的截止频率，根据电流控制器参数计算公式得到电流控制器参数；

步骤一所述的三段电枢电压指令包含以下特征：三段电枢电压指令的形式都是随时间正弦变化的；三段电枢电压指令的幅值为电机的额定电流；三段电枢电压指令的频率分别为工频、两倍工频和三倍工频；

步骤二所述的直流电机参数辨识方程具体为：

$$\begin{bmatrix} R \\ L \\ C_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \int_{t_1}^{t_2} I_1 dt & \frac{d}{dt} \int_{t_1}^{t_2} I_1 dt & \int_{t_1}^{t_2} \omega_1 dt \\ \int_{t_3}^{t_4} I_2 dt & \frac{d}{dt} \int_{t_3}^{t_4} I_2 dt & \int_{t_3}^{t_4} \omega_2 dt \\ \int_{t_5}^{t_6} I_3 dt & \frac{d}{dt} \int_{t_5}^{t_6} I_3 dt & \int_{t_5}^{t_6} \omega_3 dt \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \int_{t_1}^{t_2} U_1 dt \\ \int_{t_3}^{t_4} U_2 dt \\ \int_{t_5}^{t_6} U_3 dt \end{bmatrix}$$

式中R为电枢电阻，L为电枢电感，C_e为反电势系数， $\frac{d}{dt}$ 为求导数运算算子，[]⁻¹为求逆矩阵算子，U₁、I₁和ω₁分别表示在t₁～t₂时间内记录的电枢电压、电枢电流和转速数据；U₂、I₂和ω₂分别表示在t₃～t₄时间内记录的电枢电压、电枢电流和转速数据；U₃、I₃和ω₃分别表示在t₅～t₆时间内记录的电枢电压、电枢电流和转速数据；

步骤三所述的截止频率估计公式为：

$$\omega_c = \frac{R}{2\pi L} ;$$

步骤四所述的电流控制器参数计算公式为：

$$\text{比例参数 } K_p : K_p = \frac{\omega_c L}{K_{cf} K_{PWM}}$$

$$\text{积分参数 } K_I : K_I = K_p \frac{L}{RT_s}$$

式中，K_{cf}为所用驱动器的电流反馈系数，K_{PWM}为所用驱动器的开关频率，T_s为所用驱动器的电流采样时间。

4. 根据权利要求3所述的直流电机电流控制器参数自整定方法，其特征在于，还包括：步骤五：电流控制器参数评价步骤，将步骤四得到的电流控制器参数显示给用户，并让驱动器按照该控制参数执行一次额定电流的电流阶跃响应，将电流阶跃响应结果显示给用户；

若用户对结果满意，则整定结束；若用户不满意，则在步骤四得到的电流控制器参数的基础上微调参数；以用户微调的参数再次执行额定电流的电流阶跃响应，并显示给用户；步骤五以用户对电流阶跃响应满意为结束标准。

5. 根据权利要求4所述的直流电机电流控制器参数自整定方法，其特征在于，所述工频为50Hz。

6. 根据权利要求4所述的直流电机电流控制器参数自整定方法，其特征在于，步骤五中用户如果对额定电流的电流阶跃响应不满意，微调参数的标准为：如果电流阶跃响应的调节时间过长，则适当增大比例参数 K_p ；如果电流阶跃响应的超调偏大，则适当减小比例参数 K_p ；如果电流阶跃响应的稳态误差较大，则适当增大积分参数 K_I ；如果电流阶跃响应的稳态震荡较严重，则适当减小积分参数 K_I 。

一种直流电机电流控制器参数自整定系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种电机参数自整定的方法,具体涉及应用于直流电机电流控制器的参数自整定方法。

背景技术

[0002] 智能化和高性能化是当今伺服技术发展的两个重要特征。智能化是指用户在使用伺服时,不需要或尽量少地进行参数设置、参数调节等工作,伺服驱动器产品能够自行完成参数设置和参数调节。如果没有智能化的相关技术,用户需要自行调试驱动器或者由产品生产公司的工程人员去现场调试,其中耗费不少的时间和人力成本;而且手动整定的过程十分繁琐复杂,速度哦伺服系统的控制参数在没有进行良好的整定就投入用户运行,导致伺服系统的性能没有得到完整的发挥。如果能提升伺服产品的智能化技术,这样将大大减少时间成本和劳动成本,为用户使用伺服产品提供很大的方便。

[0003] 在伺服系统参数自整定的技术领域内,目前比较成熟的现有技术主要有两大类:第一类是基于经验的自整定方案,具体是模拟工程师进行参数调节的过程,用一个参数寻优的过程和若干性能评价标准来完成自整定;第二类是基于模型的自整定方案,具体是先对电机进行机理建模,然后按照控制理论里的频域校正相关方法来确定电机的具体控制参数。

[0004] 第一类自整定方案的优点是自整定效果较好,表现为自整定得到的参数对应的电机性能较好,缺点是自整定耗费的时间过长,给用户的使用体验欠佳;第二类自整定方案的优点是自整定过程较快,不容易给用户较差的使用体验,缺点是自整定参数受电机模型的准确性影响很大,当电机模型的精度下降时,自整定得到的参数会与最佳性能对应的参数有较大的差距。

[0005] 当今伺服产品的不断发展要求电流控制器自整定技术能同时拥有自整定效果好和自整定过程较快的优点,使得用户不仅能获得较好的使用体验,也能得到满意的参数自整定效果。

发明内容

[0006] 技术问题:

[0007] 本发明提供了一种直流电机电流控制器参数自整定的方法,可大范围应用于当今直流伺服产品的电流控制器参数自整定功能,与现有技术相比具有自整定过程简单和自整定效果好的优点。

[0008] 技术方案:

[0009] 本发明所要解决的技术问题是改善现有伺服系统参数自整定技术的整定效果,缩短自整定技术的整定时间,提出了一种新型直流电机电流控制器参数自整定系统及方法。

[0010] 为解决上述技术问题,本发明采用的技术方案是。

- [0011] 一种直流电机电流控制器参数自整定系统,其特征在于,包括:
- [0012] 在线指令规划单元,为直流电机规划出三段电枢电压指令;
- [0013] 电机参数辨识单元,在所述在线指令规划单元规划的三段电枢电压指令时间内,分别测试并记录电机的电枢电压、电枢电流和转速数据,按照直流电机参数辨识方程计算出电机的电枢电阻、电枢电感和反电势系数之值;
- [0014] 截止频率估计单元,根据所述电机参数识别单元计算出的电机的电枢电阻和电枢电感之值,结合截止频率估计公式估计出电机的截止频率;
- [0015] 电流控制器参数计算单元,根据所述电机参数识别单元计算出的电枢电阻、电枢电感参数和所述截止频率估计单元得到的电机的截止频率,根据电流控制器参数计算公式得到电流控制器参数。
- [0016] 还包括一个电流控制器参数评价单元,将驱动器按照所述电流控制器参数计算单元得到的控制参数执行一次额定电流的电流阶跃响应结果显示给用户,通过与设定的满意度指标(超调量不大于15%,稳态波动不大于5%)比较,在所述电流控制器参数计算单元得到的电流控制器参数的基础上微调参数。
- [0017] 一种直流电机电流控制器参数自整定方法,其特征在于,步骤为:
- [0018] 步骤一:在线指令规划步骤,为直流电机规划出三段电枢电压指令;
- [0019] 步骤二:电机参数辨识步骤,在步骤一所述的三段电枢电压指令时间内,分别测试并记录电机的电枢电压、电枢电流和转速数据,对记录的数据进行处理,然后按照直流电机参数辨识方程计算出电机的电枢电阻、电枢电感和反电势系数之值;
- [0020] 步骤三:截止频率估计步骤,根据步骤二计算出的电机的电枢电阻和电枢电感之值,结合截止频率估计公式估计出电机的截止频率;
- [0021] 步骤四:电流控制器参数计算步骤,根据步骤二得到的电枢电阻、电枢电感参数和步骤三得到的电机的截止频率,根据电流控制器参数计算公式得到电流控制器参数。
- [0022] 还包括:步骤五:电流控制器参数评价步骤,将步骤四得到的电流控制器参数显示给用户,并让驱动器按照该控制参数执行一次额定电流的电流阶跃响应,将电流阶跃响应结果显示给用户。若用户对结果满意,则整定结束;若用户不满意,则在步骤四得到的电流控制器参数的基础上微调参数。以用户微调的参数再次执行额定电流的电流阶跃响应,并显示给用户。步骤五以用户对电流阶跃响应满意为结束标准。
- [0023] 进一步的,步骤一所述的三段电枢电压指令包含以下特征:三段电枢电压指令的形式都是随时间正弦变化的;三段电枢电压指令的幅值为电机的额定电流;三段电枢电压指令的频率分别为工频、两倍工频和三倍工频。
- [0024] 所述工频为50Hz。
- [0025] 进一步的,步骤二所述的直流电机参数辨识方程具体为:

$$[0026] \begin{bmatrix} R \\ L \\ C_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \int_{t_1}^{t_2} I_1 dt & \frac{d}{dt} \int_{t_1}^{t_2} I_1 dt & \int_{t_1}^{t_2} \omega_1 dt \\ \int_{t_3}^{t_4} I_2 dt & \frac{d}{dt} \int_{t_3}^{t_4} I_2 dt & \int_{t_3}^{t_4} \omega_2 dt \\ \int_{t_5}^{t_6} I_3 dt & \frac{d}{dt} \int_{t_5}^{t_6} I_3 dt & \int_{t_5}^{t_6} \omega_3 dt \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \int_{t_1}^{t_2} U_1 dt \\ \int_{t_3}^{t_4} U_2 dt \\ \int_{t_5}^{t_6} U_3 dt \end{bmatrix}$$

[0027] 式中R为电枢电阻,L为电枢电感,C_e为反电势系数, $\frac{d}{dt}$ 为求导数运算算子,[]⁻¹为求逆矩阵算子,U₁、I₁和ω₁分别表示在t₁~t₂时间内记录的电枢电压、电枢电流和转速数据;U₂、I₂和ω₂分别表示在t₃~t₄时间内记录的电枢电压、电枢电流和转速数据;U₃、I₃和ω₃分别表示在t₅~t₆时间内记录的电枢电压、电枢电流和转速数据;

[0028] 进一步的,步骤三所述的截止频率估计公式为:

$$[0029] \omega_c = \frac{R}{2\pi L} \quad .$$

[0030] 进一步的,步骤四所述的电流控制器参数计算公式为:

$$[0031] \text{比例参数 } K_p: K_p = \frac{\omega_c L}{K_{cf} K_{PWM}}$$

$$[0032] \text{积分参数 } K_I: K_I = K_p \frac{L}{RT_s}$$

[0033] 式中,K_{cf}为所用驱动器的电流反馈系数,K_{PWM}为所用驱动器的开关频率,T_s为所用驱动器的电流采样时间。

[0034] 进一步的,步骤五中用户如果对额定电流的电流阶跃响应不满意,微调参数的标准为:如果电流阶跃响应的调节时间过长,则适当增大比例参数K_p;如果电流阶跃响应的超调偏大,则适当减小比例参数K_p;如果电流阶跃响应的稳态误差较大,则适当增大积分参数K_I;如果电流阶跃响应的稳态震荡较严重,则适当减小积分参数K_I。

[0035] 自整定最终结束以用户对额定电流的电流阶跃响应的结果满意为标准,最终得到的电流控制器参数为精确自整定后的电流控制器参数。

[0036] 本发明的优点:

[0037] 1、自整定过程简单。本发明的整定方法步骤简单,所有步骤都很方便在驱动器的软件代码中实现,无需硬件上的工作。具体表现为本发明的步骤一至五都在电机驱动器中通过软件的方式实现,无需软件以外的更改,从而避免了复杂性的提高,方便现有的产品采用本发明中的自整定技术。

[0038] 2、自整定效果好。本发明首先将直流电机的机理模型准确建立出来,然后根据所建立的机理模型计算得到粗略自整定后的电流控制器参数,在此基础上经过电流控制器参数评价单元可以得到令用户满意的精确自整定后的电流控制器参数。本发明通过在线指令规划和电机参数辨识得到精确的电机参数,然后计算得到电机截止频率,进而自整定出理论上可靠的电流环参数,然后经过电流环参数评价步骤,确保电流环参数对应的自整定效果。

附图说明:

[0039] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍。显而易见地,下面描述中的附图是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

- [0040] 图1:本发明的系统结构图;
- [0041] 图2:本发明的步骤流程图;
- [0042] 图3:本发明的控制结构框图;
- [0043] 图4:本发明的电枢电压指令示意图。
- [0044] 图中标记说明如下。
- [0045] I^* :电枢电流给定值;
- [0046] K_t :直流电机转矩系数;
- [0047] J :直流电机的转动惯量;
- [0048] B :直流电机的阻尼系数;
- [0049] 电流PI调节器:直流电机所采用的比例(P)积分(I)控制器。

具体实施方式:

[0050] 为了使本发明实施例的目的、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,本领域普通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。

[0051] 本发明是为了改善现有伺服系统参数自整定技术的整定效果,缩短自整定技术的整定时间,提出了一种新型直流电机电流控制器参数自整定方法。为了说明本发明的具体实施方式,下面结合某市售的直流电机进行说明。

[0052] 该直流电机的参数具体为:电枢电阻 R 为 1.53Ω ;极对数 n_p 为4;电枢电感 L 为 $0.2mH$;额定电流为 $3A$;电流环控制周期为 $50\mu s$ 。具体的,电机所用的控制结构可以参考说明书附图2。

[0053] 步骤一:在线指令规划单元。为直流电机规划出三段电枢电压指令。

[0054] 所规划的三段电枢电压指令是随时间正弦变化的;三段电枢电压指令的幅值为直流电机的额定电流 $3A$;三段电枢电压指令的频率分别为工频、两倍工频和三倍工频,即为 $50Hz$ 、 $100Hz$ 和 $150Hz$;三段电枢电压指令之间可以留有时间间隔,具体时间间隔的值由用户自行确定,也可以不留时间间隔,比如可以留有 $1s$ 的间隔时间。

[0055] 为方便起见,工频、两倍工频和三倍工频的三段电枢电压指令可分别由 (ω, I_n) 、 $(2\omega, I_n)$ 和 $(3\omega, I_n)$ 表示,式中 ω 表示工频, I_n 表示电机的额定电流。更具体的,三段电枢电压指令具体可以参考说明书附图3的示意。

[0056] 步骤二:电机参数辨识单元。在步骤一三段电枢电压指令时间内,分别测试并记录电机的电枢电压、电枢电流和转速数据,对记录的数据进行处理,然后按照直流电机参数辨识方程计算出电机的电枢电阻、电枢电感和反电势系数之值。

[0057] 令三段电枢电压指令 (ω, I_n) 、 $(2\omega, I_n)$ 和 $(3\omega, I_n)$ 作用于直流电机的时间分别为 $t_1 \sim t_2$ 、 $t_3 \sim t_4$ 和 $t_5 \sim t_6$ 。在 $t_1 \sim t_2$ 、 $t_3 \sim t_4$ 和 $t_5 \sim t_6$ 这三段时间内,测试将电枢电压指令输入电机时的电枢电压、电枢电流和转速数据。

[0058] 为阐述方便,在 $t_1 \sim t_2$ 时间内记录的电枢电压、电枢电流和转速数据可以分别表示为 U_1 、 I_1 和 ω_1 ;在 $t_3 \sim t_4$ 时间内记录的电枢电压、电枢电流和转速数据可以分别表示为 U_2 、 I_2

和 ω_2 ;在 $t_5 \sim t_6$ 时间内记录的电枢电压、电枢电流和转速数据可以分别表示为 U_3 、 I_3 和 ω_3 。所记录的各个数据都是连续变化的。

[0059] 在 $t_1 \sim t_2$ 、 $t_3 \sim t_4$ 和 $t_5 \sim t_6$ 这三段时间内分别对记录的各数据进行数学上的积分运算。在 $t_1 \sim t_2$ 时间内对记录的电枢电压 U_1 、电枢电流 I_1 和转速数据 ω_1 分别进行数学上的积分运算得到第一段的电枢电压积分值 $\int_{t_1}^{t_2} U_1 dt$ 、第一段的电枢电流积分值 $\int_{t_1}^{t_2} I_1 dt$ 和第一段的转速积分值 $\int_{t_1}^{t_2} \omega_1 dt$;仿照此操作,得到第二段的电枢电压积分值 $\int_{t_3}^{t_4} U_2 dt$ 、第二段的电枢电流积分值 $\int_{t_3}^{t_4} I_2 dt$ 和第二段的转速积分值 $\int_{t_3}^{t_4} \omega_2 dt$;以及得到第三段的电枢电压积分值 $\int_{t_5}^{t_6} U_3 dt$ 、第三段的电枢电流积分值 $\int_{t_5}^{t_6} I_3 dt$ 和第三段的转速积分值 $\int_{t_5}^{t_6} \omega_3 dt$ 。

[0060] 然后利用直流电机参数辨识方程:

$$[0061] \begin{bmatrix} R \\ L \\ C_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \int_{t_1}^{t_2} I_1 dt & \frac{d}{dt} \int_{t_1}^{t_2} I_1 dt & \int_{t_1}^{t_2} \omega_1 dt \\ \int_{t_3}^{t_4} I_2 dt & \frac{d}{dt} \int_{t_3}^{t_4} I_2 dt & \int_{t_3}^{t_4} \omega_2 dt \\ \int_{t_5}^{t_6} I_3 dt & \frac{d}{dt} \int_{t_5}^{t_6} I_3 dt & \int_{t_5}^{t_6} \omega_3 dt \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \int_{t_1}^{t_2} U_1 dt \\ \int_{t_3}^{t_4} U_2 dt \\ \int_{t_5}^{t_6} U_3 dt \end{bmatrix}$$

[0062] 式中R为电枢电阻,L为电枢电感,C_e为反电势系数, $\frac{d}{dt}$ 为求导数运算算子,[]⁻¹为求逆矩阵算子。

[0063] 通过直流电机参数辨识方程就可以计算出电机的电枢电阻、电感和反电势系数之值。

[0064] 步骤三:截止频率估计单元。根据步骤二计算出的电机的电枢电阻和电感之值,结合截止频率估计公式估计出电机的截止频率。

[0065] 根据直流电机的物理模型特征,近似把直流电机看成一阶低通滤波环节。结合一阶低通滤波环节的截止频率公式,直流电机的截止频率可以估计为:

$$[0066] \omega_c = \frac{R}{2\pi L}$$

[0067] 将实施例中的电枢电阻 $R=1.53 \Omega$ 和电枢电感 $L=0.2mH$ 代入即可得到实施例中直流电机的截止频率。

[0068] 步骤四:电流控制器参数计算单元。根据步骤二得到的电枢电阻、电枢电感参数和步骤三得到的电机的截止频率,根据电流控制器参数计算公式得到电流控制器参数。

[0069] 步骤四电流控制器参数计算公式具体特征为:为了获得更快速的电流响应,按照自动控制领域内的典型I型系统设计电流控制器的比例参数K_p和积分参数K_I。电流控制器参数计算公式具体为:

$$[0070] K_p = \frac{\omega_c L}{K_{cf} K_{PWM}}$$

$$[0071] K_I = K_p \frac{L}{R T_s}$$

[0072] 式中, K_{cf} 为所用驱动器的电流反馈系数, K_{PWM} 为所用驱动器的开关频率, T_s 为所用驱动器的电流采样时间。比如实施例中的直流电机对应的电流反馈系数为 $K_{cf} = 20$, $K_{PWM} = 10000\text{Hz}$, $T_s = 50\mu\text{s}$ 。

[0073] 通过电流控制器参数计算公式即可得到粗略自整定后的电流控制器参数。

[0074] 步骤五: 电流控制器参数评价单元。将步骤四得到的电流控制器参数显示给用户, 并让驱动器按照该控制参数执行一次额定电流的电流阶跃响应, 将电流阶跃响应结果显示给用户。若用户对结果满意, 则整定结束; 若用户不满意, 则在步骤四得到的电流控制器参数的基础上微调参数。以用户微调的参数再次执行额定电流的电流阶跃响应, 并显示给用户。步骤五以用户对电流阶跃响应满意为结束标准。

[0075] 用户如果对额定电流的电流阶跃响应不满意, 微调参数的标准为: 如果电流阶跃响应的调节时间过长, 则适当增大比例参数 K_p ; 如果电流阶跃响应的超调偏大, 则适当减小比例参数 K_p ; 如果电流阶跃响应的稳态误差较大, 则适当增大积分参数 K_I ; 如果电流阶跃响应的稳态震荡较严重, 则适当减小积分参数 K_I 。

[0076] 自整定最终结束以用户对额定电流的电流阶跃响应的结果满意为标准, 最终得到的电流控制器参数为精确自整定后的电流控制器参数。

[0077] 以上所述仅是本发明的优选实施方式, 应当指出, 对于本技术领域的普通技术人员来说, 在不脱离本发明原理的前提下, 还可以做出若干改进和润饰, 这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

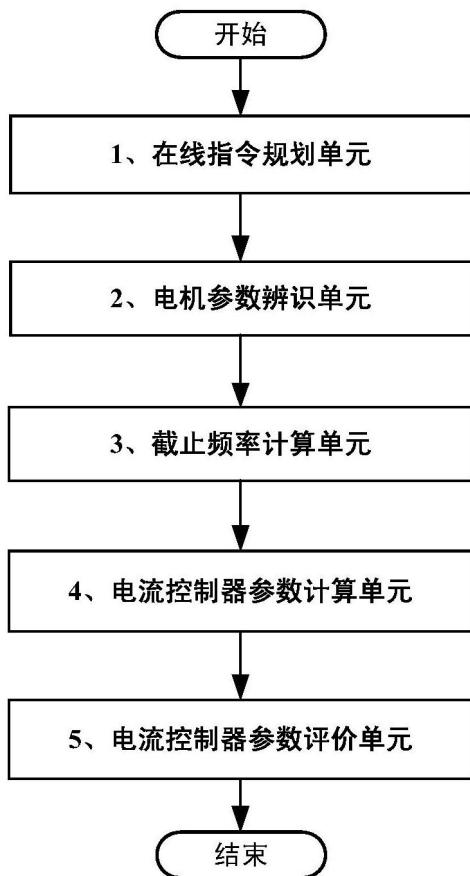


图1

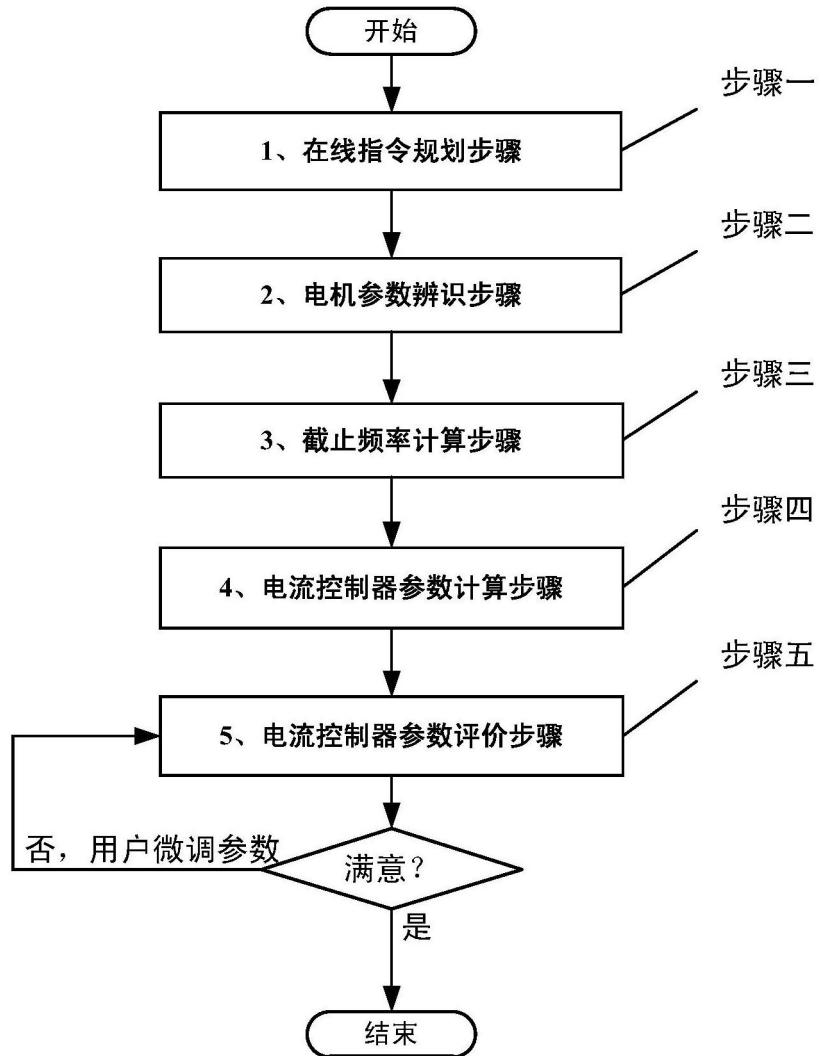


图2

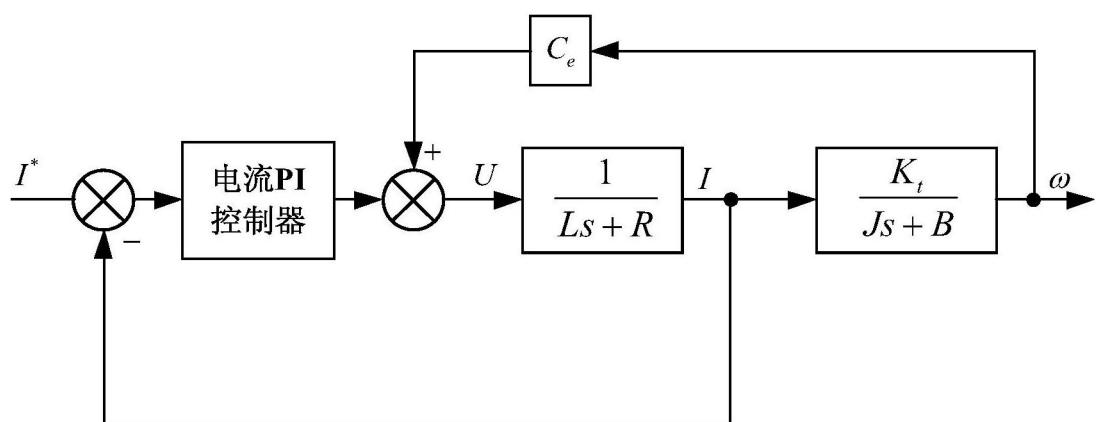


图3

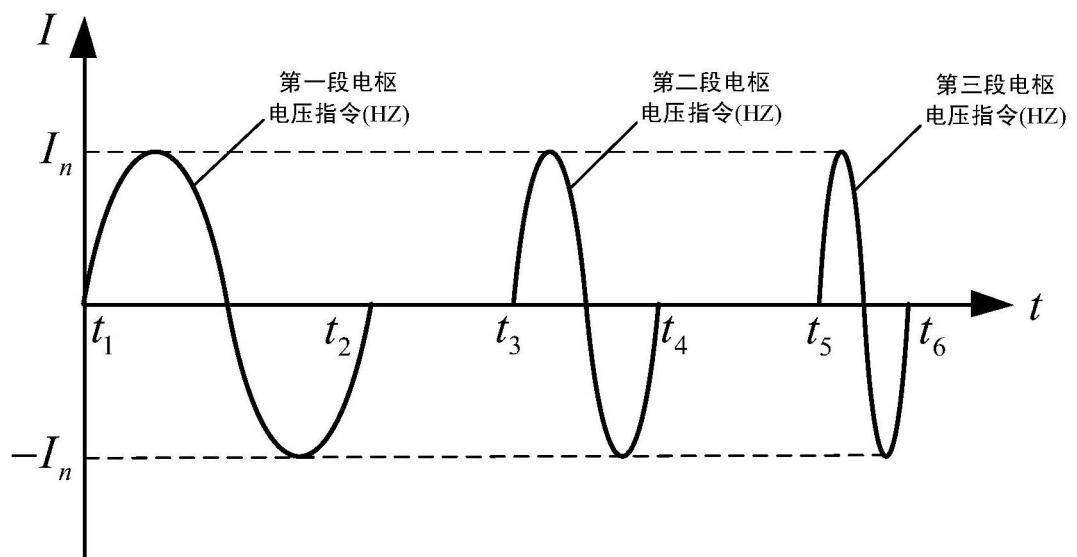


图4