



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110879526 B

(45) 授权公告日 2022. 04. 26

(21) 申请号 201911180530.8

CN 106338913 A, 2017.01.18

(22) 申请日 2019.11.27

CN 103279034 A, 2013.09.04

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110879526 A

CN 104777746 A, 2015.07.15

(43) 申请公布日 2020.03.13

聂卓赞 等. 基于理想Bode传递函数的分数阶PID频域设计方法及其应用.《控制与决策》. 2019, 第34卷(第10期), 第2198-2202页.

(73) 专利权人 佛山科学技术学院
地址 528000 广东省佛山市南海区狮山镇
广云路33号

何一文 等. Bode理想传递函数在分数阶控制中的应用.《信息与控制》. 2010, 第39卷(第2期), 第200-206页.

(72) 发明人 郑伟佳 邓敏 李欣 罗映

Diptee S. Patil 等. Design of Fractional-order Controller for Fractional-order Systems using Bode's Ideal Loop Transfer Function Method.《2015 International Conference on Industrial Instrumentation and Control (ICIC)》. 2015, 第490-495页.

(74) 专利代理机构 广州嘉权专利商标事务所有
限公司 44205

代理人 蔡伟杰

审查员 唐捷

(51) Int. Cl.

G05B 11/42 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 103558755 A, 2014.02.05

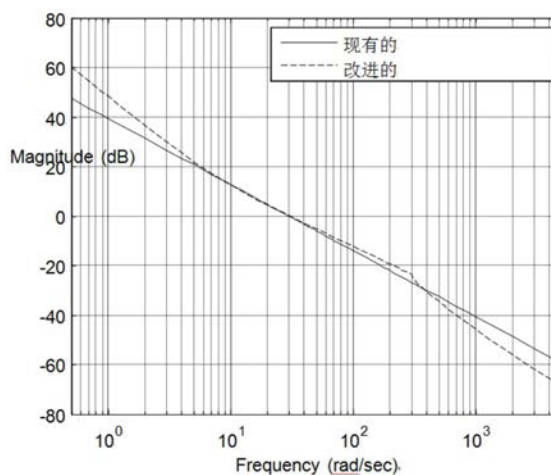
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

一种分数阶控制器以及分数阶控制器参数整定方法

(57) 摘要

本发明公开了一种分数阶控制器以及分数阶控制器参数整定方法,分数阶控制器通过改进所述分数阶控制器所应用的控制系统的开环目标传递函数,将所述分数阶控制器的传递函数为C(s)表示为如式9所示表达式,使得所述分数阶控制器所应用的控制系统的幅频特性曲线在高频段与低频段具有较高的斜率,使得所述分数阶控制器所应用的控制系统具有更好的稳态跟踪性能和抗负载扰动性能。



1. 一种分数阶控制器,其特征在于:

设所述分数阶控制器的传递函数为 $C(s)$,设所述分数阶控制器所应用的控制系统的开环目标传递函数为 $L(s)$,设所述控制系统的被控对象的传递函数为 $G(s)$,其中 s 表示拉普拉斯算子;

令所述控制系统的开环目标传递函数表示为:

$$L(s) = G_f(s) \left(\frac{\omega_c}{s} \right)^\xi G_{BICO}(s) \quad \text{式 6}$$

其中 $G_f(s)$ 表示PI控制器, ω_c 表示所述控制系统的开环截止频率, $G_{BICO}(s)$ 表示Bode理想截止滤波器, ξ 表示第一分数阶次;

所述PI控制器 $G_f(s)$ 表示为:

$$G_f(s) = 1 + \frac{1}{T_1 s} \quad \text{式 7}$$

其中 T_1 表示积分时间常数;

所述Bode理想截止滤波器 $G_{BICO}(s)$ 表示为:

$$G_{BICO}(s) = \frac{1}{\left(\sqrt{1 + \left(\frac{s}{\omega_{cutoff}} \right)^2} + \frac{s}{\omega_{cutoff}} \right)^\gamma} \quad \text{式 8}$$

其中 ω_{cutoff} 表示截断频率, γ 表示第二分数阶次,满足 $\gamma \in (0, 1)$;

令所述被控对象的传递函数为 $G(s)$ 表示为:

$$G(s) = \frac{K}{as^\alpha + bs^\beta + c} \quad \text{式 2}$$

其中 a 、 b 、 c 、 K 、 α 以及 β 均是对象模型参数;

根据关系式 $L(s) = C(s)G(s)$,所述分数阶控制器的传递函数 $C(s)$ 表示为:

$$C(s) = G_f(s) \frac{b\omega_c^\xi}{K} \frac{1}{s^{\xi-\beta}} \left(1 + \frac{c}{bs^\beta} + \frac{a}{b} s^{\alpha-\beta} \right) G_{BICO}(s) \quad \text{式 9}$$

ξ 表示第一分数阶次,第一分数阶次 ξ 表达式如下所示:

$$\xi = 2 \left(1 - \frac{\varphi_m}{\pi} \right) + 2 \left(1 + \frac{\text{Arg}[G_f(j\omega_c)] + \text{Arg}[G_{BICO}(j\omega_c)]}{\pi} \right) \quad \text{式 10}$$

其中 $\text{Arg}[G_f(j\omega_c)]$ 表示所述PI控制器 $G_f(s)$ 在开环截止频率 ω_c 处的相位, $\text{Arg}[G_{BICO}(j\omega_c)]$ 表示Bode理想截止滤波器 $G_{BICO}(s)$ 在开环截止频率 ω_c 处的相位, φ_m 表示所述控制系统的相位裕度。

2. 一种对权利要求1所述的分数阶控制器进行参数整定的方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤100,设置所述被控对象的传递函数 $G(s)$ 的各个对象模型参数;

步骤200,根据所述分数阶控制器所应用的控制系统性能要求,选定PI控制器 $G_f(s)$ 的时间常数积分 T_1 ;

步骤300,根据所述分数阶控制器所应用的控制系统性能要求,选定Bode理想截止滤波器 $G_{BICO}(s)$ 的截断频率 ω_{cutoff} 以及第二分数阶次 γ ;

步骤400,设置所述分数阶控制器所应用的控制系统的开环截止频率 ω_c 以及相位裕度 φ_m ;

步骤500,将所述开环截止频率 ω_c 以及所述相位裕度 φ_m 代入下式,得到所述控制系统的第二分数阶次 ξ :

$$\xi = 2 \left(1 - \frac{\varphi_m}{\pi} \right) + 2 \left(1 + \frac{\text{Arg}[G_f(j\omega_c)] + \text{Arg}[G_{BICO}(j\omega_c)]}{\pi} \right) \quad \text{式 10}$$

其中 $\text{Arg}[G_f(j\omega_c)]$ 表示所述PI控制器 $G_f(s)$ 在开环截止频率 ω_c 处的相位, $\text{Arg}[G_{BICO}(j\omega_c)]$ 表示Bode理想截止滤波器 $G_{BICO}(s)$ 在开环截止频率 ω_c 处的相位;

步骤600,将所述被控对象的传递函数的各个对象模型参数、所述PI控制器 $G_f(s)$ 的时间常数积分 T_1 、所述Bode理想截止滤波器 $G_{BICO}(s)$ 的截断频率 ω_{cutoff} 和第二分数阶次 γ 、所述控制系统的开环截止频率 ω_c 和相位裕度 φ_m 以及所述控制系统的第二分数阶次 ξ 代入到式9中,得到所述分数阶控制器的传递函数 $C(s)$ 。

一种分数阶控制器以及分数阶控制器参数整定方法

技术领域

[0001] 本发明涉及控制器技术领域,更具体地说涉及一种分数阶控制器及其该分数阶控制器参数整定方法。

背景技术

[0002] 目前,伺服系统广泛使用的是基于输出误差的反馈控制方式,所使用的控制器主要是传统的PID控制器。PID控制具有结构简单、容易实现等优点,但对具有模型不确定性的系统容易出现超调量过大、调节时间过长等问题,无法满足高性能运动控制系统的性能指标要求。因此,有关学者在传统的PID控制器的基础上,提出了分数阶PID控制器以及以分数阶PID控制器为基础的其它控制器形式。对比传统的整数阶PID控制器,分数阶控制器具有值域更大,性能调节范围更广的优势,因此,对于实际系统采用分数阶控制器能够获得比采用整数阶PID控制器更好的控制性能。但与此同时,分数阶控制器的设计也比整数阶PID控制器的设计更加复杂。

[0003] 基于Bode理想传递函数(Bode Ideal Transfer Function,BITF)的分数阶控制器是一种基于PID控制器的新型控制器形式,Bode理想传递函数为:

$$[0004] \quad G_B(s) = \left(\frac{\omega_c}{s} \right)^\xi \quad \text{式 1}$$

[0005] 其中s表示拉普拉斯算子, ω_c 表示开环截止频率, ξ 表示分数阶次, ξ 满足 $\xi \in (1, 2)$ 。

[0006] Bode理想传递函数的频率特性具有以下特点:

[0007] 第一, $G_B(j\omega)$ 的幅频特性曲线以 -20ξ dB/dec的斜率穿过0dB线;

[0008] 第二, $G_B(j\omega)$ 的相位裕度是恒定的,其具体值为 $\pi \left(1 - \frac{\xi}{2} \right)$;

[0009] 设被控对象传递函数为:

$$[0010] \quad G(s) = \frac{K}{as^\alpha + bs^\beta + c} \quad \text{式 2}$$

[0011] 其中a、b、c、K、 α 以及 β 均是对象模型参数。

[0012] 现有技术中基于Bode理想传递函数的控制器的设计方法如下:

[0013] 首先根据控制系统的设计指标,设置开环截止频率 ω_c 以及相位裕度 φ_m ,根据下式计算分数阶次 ξ :

$$[0014] \quad \xi = 2 \left(1 - \frac{\varphi_m}{\pi} \right) \quad \text{式 3}$$

[0015] 设控制器传递函数为C(s),以Bode理想传递函数作为控制系统的开环目标传递函数,列出以下方程:

$$[0016] \quad L(s) = C(s)G(s) = \frac{C(s)K}{as^\alpha + bs^\beta + c} = \left(\frac{\omega_c}{s}\right)^\xi \quad \text{式 4}$$

[0017] 从而得到基于Bode理想传递函数的控制器传递函数为：

$$[0018] \quad C(s) = \frac{b\omega_c^\xi}{K} \frac{1}{s^{\xi-\beta}} \left(1 + \frac{c}{bs^\beta} + \frac{a}{b}s^{\alpha-\beta}\right) \quad \text{式 5}$$

[0019] 由上述表达式可知，基于Bode理想传递函数的控制器包括分数阶PID控制器以及分数阶积分器。

[0020] 目前基于Bode理想传递函数的控制器在应用于运动控制系统时，系统的抗负载扰动特性较差，比如，采用基于Bode理想传递函数的控制器作为反馈控制器控制电机转速，当系统负载产生突变时，电机转速无法在短时间内恢复到设定值。

发明内容

[0021] 本发明目的在于提供一种分数阶控制器以及该分数阶控制器参数整定方法，以解决现有技术中所存在的一个或多个技术问题，至少提供一种有益的选择或创造条件。

[0022] 为解决上述技术问题所采用的技术方案：

[0023] 一种分数阶控制器，设所述分数阶控制器的传递函数为 $C(s)$ ，设所述分数阶控制器所应用的控制系统的开环目标传递函数为 $L(s)$ ，设所述控制系统的被控对象的传递函数为 $G(s)$ ，其中 s 表示拉普拉斯算子；

[0024] 令所述控制系统的开环目标传递函数表示为：

$$[0025] \quad L(s) = G_f(s) \left(\frac{\omega_c}{s}\right)^\xi G_{BICO}(s) \quad \text{式 6}$$

[0026] 其中 $G_f(s)$ 表示PI控制器， ω_c 表示所述控制系统的开环截止频率， $G_{BICO}(s)$ 表示Bode理想截止滤波器， ξ 表示第一分数阶次；

[0027] 所述PI控制器 $G_f(s)$ 表示为：

$$[0028] \quad G_f(s) = 1 + \frac{1}{T_1 s} \quad \text{式 7}$$

[0029] 其中 T_1 表示积分时间常数；

[0030] 所述Bode理想截止滤波器 $G_{BICO}(s)$ 表示为：

$$[0031] \quad G_{BICO}(s) = \frac{1}{\left(\sqrt{1 + \left(\frac{s}{\omega_{cutoff}}\right)^2} + \frac{s}{\omega_{cutoff}}\right)^r} \quad \text{式 8}$$

[0032] 其中 ω_{cutoff} 表示截断频率， r 表示第二分数阶次，满足 $r \in (0, 1)$ ；

[0033] 令所述被控对象的传递函数为 $G(s)$ 表示为：

$$[0034] \quad G(s) = \frac{K}{as^\alpha + bs^\beta + c} \quad \text{式 2}$$

[0035] 其中a、b、c、K、 α 以及 β 均是对象模型参数；

[0036] 根据关系式 $L(s) = C(s)G(s)$ ，所述分数阶控制器的传递函数 $C(s)$ 表示为：

$$[0037] \quad C(s) = G_f(s) \frac{b\omega_c^\xi}{K} \frac{1}{s^{\xi-\beta}} \left(1 + \frac{c}{bs^\beta} + \frac{a}{b} s^{\alpha-\beta} \right) G_{BICO}(s) \quad \text{式 9}$$

[0038] ξ 表示第一分数阶次，第一分数阶次 ξ 表达式如下所示：

$$[0039] \quad \xi = 2 \left(1 - \frac{\varphi_m}{\pi} \right) + 2 \left(1 + \frac{\text{Arg}[G_f(j\omega_c)] + \text{Arg}[G_{BICO}(j\omega_c)]}{\pi} \right) \quad \text{式 10}$$

[0040] 其中 $\text{Arg}[G_f(j\omega_c)]$ 表示所述PI控制器 $G_f(s)$ 在开环截止频率 ω_c 处的相位， $\text{Arg}[G_{BICO}(j\omega_c)]$ 表示Bode理想截止滤波器 $G_{BICO}(s)$ 在开环截止频率 ω_c 处的相位， φ_m 表示所述控制系统的相位裕度。

[0041] 本申请同时还公开了一种分数阶控制器参数整定方法，包括以下步骤：

[0042] 步骤100，设置所述被控对象的传递函数 $G(s)$ 的各个对象模型参数；

[0043] 步骤200，根据所述分数阶控制器所应用的控制系统的性能要求，选定PI控制器 $G_f(s)$ 的时间常数积分 T_1 ；

[0044] 步骤300，根据所述分数阶控制器所应用的控制系统的性能要求，选定Bode理想截止滤波器 $G_{BICO}(s)$ 的截断频率 ω_{cutoff} 以及第二分数阶次 γ ；

[0045] 步骤400，设置所述分数阶控制器所应用的控制系统的开环截止频率 ω_c 以及相位裕度 φ_m ；

[0046] 步骤500，将所述开环截止频率 ω_c 以及所述相位裕度 φ_m 代入下式，得到所述控制系统的分数阶次 ξ ：

$$[0047] \quad \xi = 2 \left(1 - \frac{\varphi_m}{\pi} \right) + 2 \left(1 + \frac{\text{Arg}[G_f(j\omega_c)] + \text{Arg}[G_{BICO}(j\omega_c)]}{\pi} \right) \quad \text{式 10}$$

[0048] 其中 $\text{Arg}[G_f(j\omega_c)]$ 表示所述PI控制器 $G_f(s)$ 在开环截止频率 ω_c 处的相位， $\text{Arg}[G_{BICO}(j\omega_c)]$ 表示Bode理想截止滤波器 $G_{BICO}(s)$ 在开环截止频率 ω_c 处的相位；

[0049] 步骤600，将所述被控对象的传递函数的各个对象模型参数、所述PI控制器 $G_f(s)$ 的时间常数积分 T_1 、所述Bode理想截止滤波器 $G_{BICO}(s)$ 的截断频率 ω_{cutoff} 和第二分数阶次 γ 、所述控制系统的开环截止频率 ω_c 和相位裕度 φ_m 以及所述控制系统的分数阶次 ξ 代入到式9中，得到所述分数阶控制器的传递函数 $C(s)$ 。

[0050] 本发明的有益效果是：本技术方案通过改进所述分数阶控制器所应用的控制系统的开环目标传递函数，将所述分数阶控制器的传递函数为 $C(s)$ 表示为如式9所示表达式，使得所述分数阶控制器所应用的控制系统的幅频特性曲线在高频段与低频段具有较高的斜率，使得所述分数阶控制器所应用的控制系统的稳态跟踪性能和抗负载扰动性能。

附图说明

[0051] 下面结合附图和实施例对本发明做进一步的说明；

[0052] 图1是本发明的分数阶控制器所应用的控制系统与现有的分数阶控制器所应用的

控制系统之间幅频特性的对比示意图；

[0053] 图2是本发明的分数阶控制器的设计方法流程示意图。

具体实施方式

[0054] 本部分将详细描述本发明的具体实施例，本发明之较佳实施例在附图中示出，附图的作用在于用图形补充说明书文字部分的描述，使人能够直观地、形象地理解本发明的每个技术特征和整体技术方案，但其不能理解为对本发明保护范围的限制。

[0055] 在本发明的描述中，需要理解的是，涉及到方位描述，例如上、下、前、后、左、右等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本发明和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本发明的限制。

[0056] 在本发明的描述中，如果具有“若干”之类的词汇描述，其含义是一个或者多个，多个的含义是两个以上，大于、小于、超过等理解为不包括本数，以上、以下、以内等理解为包括本数。

[0057] 本发明的描述中，除非另有明确的限定，设置、安装、连接等词语应做广义理解，所属技术领域技术人员可以结合技术方案的具体内容合理确定上述词语在本发明中的具体含义。

[0058] 本申请公开了一种分数阶控制器，其第一实施例，设所述分数阶控制器的传递函数为 $C(s)$ ，设所述分数阶控制器所应用的控制系统的开环目标传递函数为 $L(s)$ ，设所述控制系统的被控对象的传递函数为 $G(s)$ ，其中 s 表示拉普拉斯算子；

[0059] 令所述控制系统的开环目标传递函数表示为：

$$[0060] \quad L(s) = G_f(s) \left(\frac{\omega_c}{s} \right)^\xi G_{BICO}(s) \quad \text{式 6}$$

[0061] 其中 $G_f(s)$ 表示PI控制器， ω_c 表示所述控制系统的开环截止频率， $G_{BICO}(s)$ 表示Bode理想截止滤波器， ξ 表示第一分数阶次；

[0062] 所述PI控制器 $G_f(s)$ 表示为：

$$[0063] \quad G_f(s) = 1 + \frac{1}{T_1 s} \quad \text{式 7}$$

[0064] 其中 T_1 表示积分时间常数；

[0065] 所述Bode理想截止滤波器 $G_{BICO}(s)$ 表示为：

$$[0066] \quad G_{BICO}(s) = \frac{1}{\left(\sqrt{1 + \left(\frac{s}{\omega_{cutoff}} \right)^2} + \frac{s}{\omega_{cutoff}} \right)^\gamma} \quad \text{式 8}$$

[0067] 其中 ω_{cutoff} 表示截断频率， γ 表示第二分数阶次，满足 $\gamma \in (0, 1)$ ；

[0068] 令所述被控对象的传递函数为 $G(s)$ 表示为：

$$[0069] \quad G(s) = \frac{K}{as^\alpha + bs^\beta + c} \quad \text{式 2}$$

[0070] 其中a、b、c、K、 α 以及 β 均是对象模型参数；

[0071] 根据关系式 $L(s) = C(s)G(s)$ ，计算得到所述分数阶控制器的传递函数为C(s)表示为：

$$[0072] \quad C(s) = G_f(s) \frac{b\omega_c^\xi}{K} \frac{1}{s^{\xi-\beta}} \left(1 + \frac{c}{as^\beta} + \frac{a}{b} s^{\alpha-\beta} \right) G_{BICO}(s) \quad \text{式 9}$$

[0073] ξ 表示第一分数阶次，第一分数阶次 ξ 表达式如下所示：

$$[0074] \quad \xi = 2 \left(1 - \frac{\varphi_m}{\pi} \right) + 2 \left(1 + \frac{\text{Arg}[G_f(j\omega_c)] + \text{Arg}[G_{BICO}(j\omega_c)]}{\pi} \right) \quad \text{式 10}$$

[0075] 其中 $\text{Arg}[G_f(j\omega_c)]$ 表示所述PI控制器 $G_f(s)$ 在开环截止频率 ω_c 处的相位， $\text{Arg}[G_{BICO}(j\omega_c)]$ 表示Bode理想截止滤波器 $G_{BICO}(s)$ 在开环截止频率 ω_c 处的相位， φ_m 表示所述控制系统的相位裕度。

[0076] 本技术方案通过改进所述分数阶控制器所应用的控制系统的开环目标传递函数，将所述分数阶控制器的传递函数为C(s)表示为如式9所示表达式，使得所述分数阶控制器所应用的控制系统的幅频特性曲线在高频段与低频段具有较高的斜率，使得所述分数阶控制器所应用的控制系统的具有更好的稳态跟踪性能和抗负载扰动性能。

[0077] 下面通过列举一个具体的控制系统，说明本申请所公开的分数阶控制器，与现有技术中的效果比较。

[0078] 现设定所述分数阶控制器所应用到的控制系统的指标参数，将所述控制系统的开环截止频率 ω_c 设定为 $\omega_c = 30\text{rad/s}$ ，将所述控制系统的相位裕度 φ_m 设定为 $\varphi_m = \pi/3$ ，按照背景技术中现有的技术方案设置所述分数阶控制器，得到的所应用控制系统的幅频特性曲线如图1中实线所示曲线，按照本实施例的技术方案设置所述分数阶控制器，得到的所应用控制系统的幅频特性曲线如图1中虚线所示曲线。

[0079] 由图1中的两个曲线可以看出，在中频段附近，按照现有技术设置的分数阶控制器所应用的控制系统的，与按照本实施例设置的分数阶控制器所应用的控制系统的，两个系统的幅频特性十分相近，而在低频段和高频段，按照本实施例设置的分数阶控制器所应用的控制系统的幅频特性的斜率较大；在低频段时，按照本实施例设置的分数阶控制器所应用的控制系统的幅频特性曲线斜率为 $-20(\xi+1)\text{dB/dec}$ ，而按照现有技术设置的分数阶控制器所应用的控制系统的幅频特性曲线斜率为 $-20\xi\text{dB/dec}$ ，增加了 -20dB/dec ；在高频段时按照本实施例设置的分数阶控制器所应用的控制系统的幅频特性曲线斜率为 $-20(\xi+\gamma)\text{dB/dec}$ ，而按照现有技术设置的分数阶控制器所应用的控制系统的幅频特性曲线斜率为 $-20\xi\text{dB/dec}$ ，增加了 $-20\gamma\text{dB/dec}$ 。因此按照本实施例设置的分数阶控制器所应用的控制系统的具有更好的稳态跟踪性能和抗负载扰动性能。

[0080] 参照图2，本申请同时还公开了一种分数阶控制器参数整定方法，其第一实施例，包括以下步骤：

[0081] 步骤100，设置所述被控对象的传递函数G(s)的各个对象模型参数；

[0082] 步骤200，根据所述分数阶控制器所应用的控制系统的性能要求，选定PI控制器 $G_f(s)$ 的时间常数积分 T_1 ；

[0083] 步骤300,根据所述分数阶控制器所应用的控制系统的性能要求,选定Bode理想截止滤波器 $G_{BICO}(s)$ 的截断频率 ω_{cutoff} 以及第二分数阶次 γ ;

[0084] 步骤400,设置所述分数阶控制器所应用的控制系统的开环截止频率 ω_c 以及相位裕度 φ_m ;

[0085] 步骤500,将所述开环截止频率 ω_c 以及所述相位裕度 φ_m 代入下式,得到所述控制系统的第一分数阶次 ξ :

$$[0086] \quad \xi = 2 \left(1 - \frac{\varphi_m}{\pi} \right) + 2 \left(1 + \frac{\text{Arg}[G_f(j\omega_c)] + \text{Arg}[G_{BICO}(j\omega_c)]}{\pi} \right) \quad \text{式 10}$$

[0087] 其中 $\text{Arg}[G_f(j\omega_c)]$ 表示所述PI控制器 $G_f(s)$ 在开环截止频率 ω_c 处的相位, $\text{Arg}[G_{BICO}(j\omega_c)]$ 表示Bode理想截止滤波器 $G_{BICO}(s)$ 在开环截止频率 ω_c 处的相位;

[0088] 步骤600,将所述被控对象的传递函数的各个对象模型参数、所述PI控制器 $G_f(s)$ 的时间常数积分 T_1 、所述Bode理想截止滤波器 $G_{BICO}(s)$ 的截断频率 ω_{cutoff} 和第二分数阶次 γ 、所述控制系统的开环截止频率 ω_c 和相位裕度 φ_m 以及所述控制系统的第一分数阶次 ξ 代入到式9中,得到所述分数阶控制器的传递函数 $C(s)$ 。

[0089] 下面以机床用永磁同步电机伺服系统为例对本实施例的所述分数阶控制器参数整定方法的具体步骤进行介绍。

[0090] 按照所述分数阶控制器参数整定方法中步骤100,首先根据伺服系统的被控对象设置被控对象的传递函数 $G(s)$ 如下:

$$[0091] \quad G(s) = \frac{4.74}{s(0.0127s+1)}$$

[0092] 步骤200,根据所述分数阶控制器所应用的控制系统的性能要求,选定PI控制器 $G_f(s)$ 的时间常数积分 $T_1=0.2s$,PI控制器 $G_f(s)$ 表示如下:

$$[0093] \quad G_f(s) = \frac{0.2s+1}{0.2s}$$

[0094] 步骤300,根据所述分数阶控制器所应用的控制系统的性能要求,选定Bode理想截止滤波器 $G_{BICO}(s)$ 的截断频率 $\omega_{cutoff}=300\text{rad/s}$ 以及第二分数阶次 $\gamma=0.6$,因此得到Bode理想截止滤波器 $G_{BICO}(s)$ 如下:

$$[0095] \quad G_{BICO}(s) = \left(\sqrt{1 + \left(\frac{s}{300} \right)^2} + \frac{s}{300} \right)^{-0.6}$$

[0096] 步骤400,设置所述分数阶控制器所应用的控制系统的开环截止频率 $\omega_c=35\text{rad/s}$ 以及相位裕度 $\varphi_m=55\text{deg}$;

[0097] 步骤500,将所述开环截止频率 ω_c 以及所述相位裕度 φ_m 代入下式,得到所述控制系统的第一分数阶次 ξ :

$$[0098] \quad \xi = 2 \left(1 - \frac{\varphi_m}{\pi} \right) + 2 \left(1 + \frac{\text{Arg}[G_f(j\omega_c)] + \text{Arg}[G_{BICO}(j\omega_c)]}{\pi} \right) = 1.248$$

[0099] 步骤600,将所述被控对象的传递函数的各个对象模型参数、所述PI控制器 $G_f(s)$ 的时间常数积分 T_1 、所述Bode理想截止滤波器 $G_{BICO}(s)$ 的截断频率 ω_{cutoff} 和第二分数阶次 γ 、所述控制系统的开环截止频率 ω_c 和相位裕度 φ_m 以及所述控制系统的第一分数阶次 ξ 代入到式9中,得到所述分数阶控制器的传递函数 $C(s)$ 如下:

$$[0100] \quad C(s) = \frac{0.2s+1}{0.2s} \left[\frac{17.9}{s^{0.248}} (1+0.0127s) \right] \left[\sqrt{1 + \left(\frac{s}{300} \right)^2} + \frac{s}{300} \right]^{-0.6}$$

[0101] 以上对本发明的较佳实施方式进行了具体说明,但本发明创造并不限于所述实施例,熟悉本领域的技术人员在不违背本发明精神的前提下还可作出种种的等同变型或替换,这些等同的变型或替换均包含在本申请权利要求所限定的范围内。

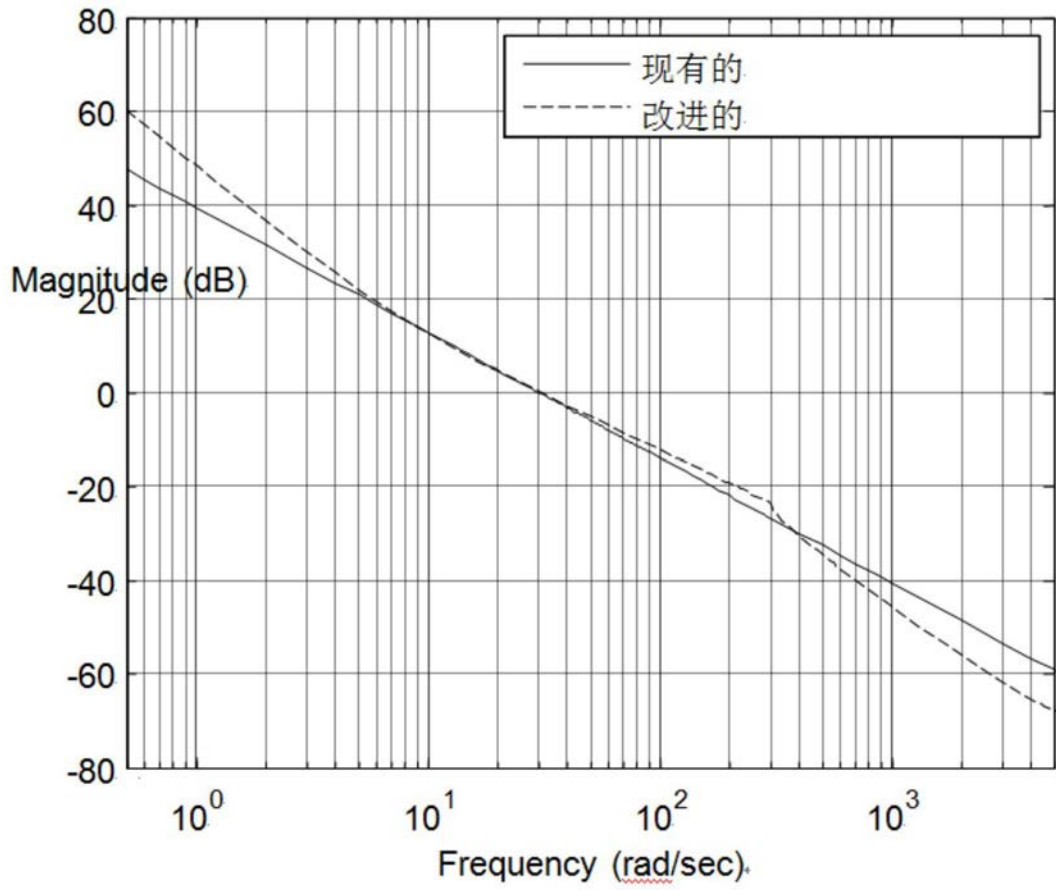


图1

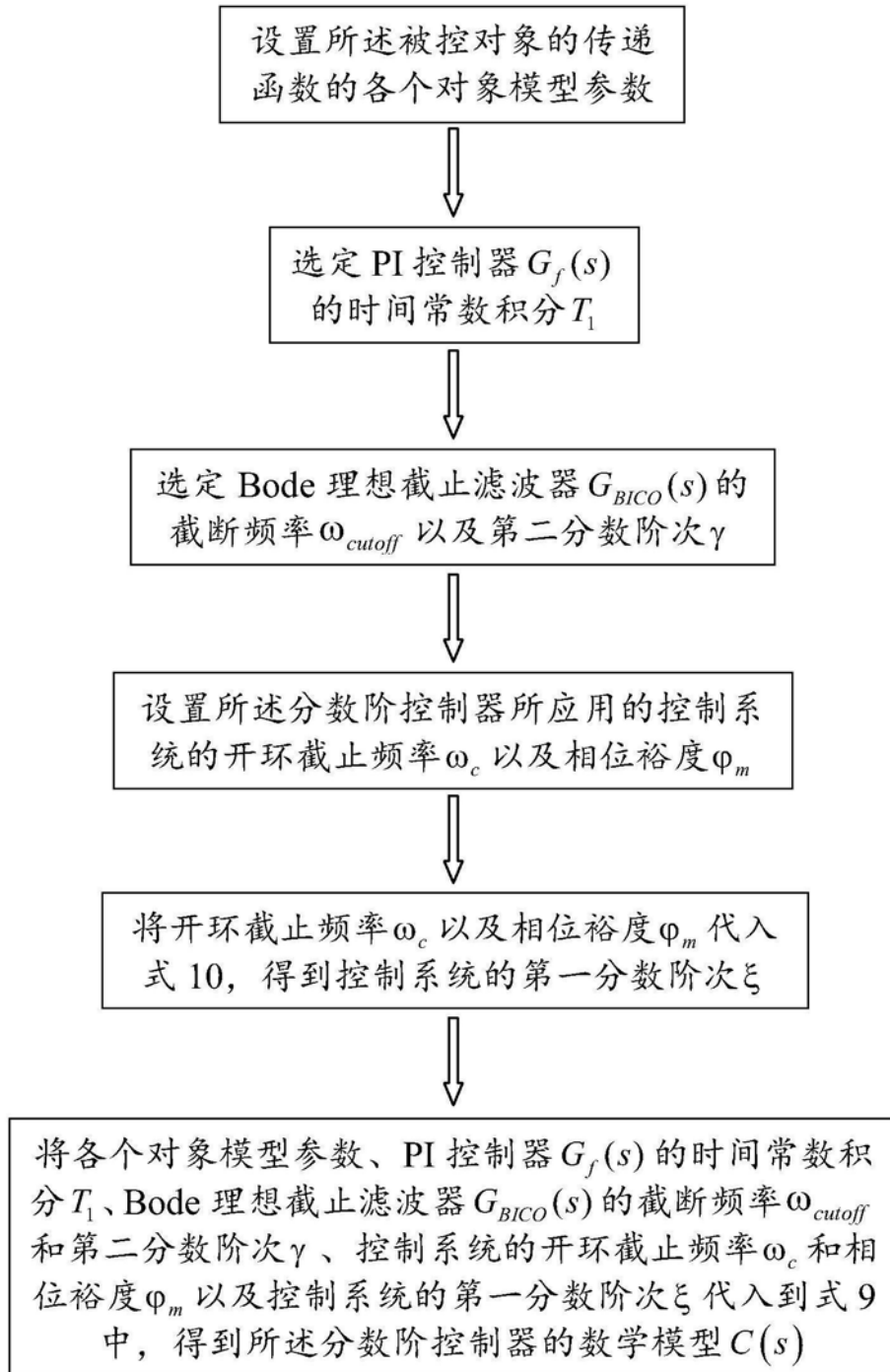


图2