



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107748577 A

(43)申请公布日 2018.03.02

(21)申请号 201710982166.1

(22)申请日 2017.10.19

(71)申请人 哈尔滨工业大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西  
大直街92号

(72)发明人 陈松林 孙正宣 何宗儒 邢宝祥  
李明

(74)专利代理机构 哈尔滨市松花江专利商标事  
务所 23109

代理人 宋诗非

(51)Int.Cl.

G05D 19/02(2006.01)

G05B 13/04(2006.01)

权利要求书1页 说明书7页 附图5页

(54)发明名称

基于极值搜索算法的机电伺服系统的机械  
谐振抑制方法

(57)摘要

基于极值搜索算法的机电伺服系统的机械  
谐振抑制方法，属于机电伺服系统机械谐振抑制  
领域，解决了现有基于自适应陷波滤波器的机械  
谐振抑制方法实时性差的问题。所述机械谐振抑  
制方法将极值搜索算法引入自适应陷波滤波器  
的设计，基于带通滤波器的输出信号幅值构建代  
价函数，将机械谐振频率的识别问题转化为带通  
滤波器输出信号幅值的极大值搜索问题，基于陷  
波滤波器输出信号幅值构建代价函数，将谐振抑  
制问题转化为陷波滤波器输出信号幅值的极小  
值搜索问题，将输出信号幅值最小时陷波滤波器  
的宽度参数和深度参数以及识别到的机械谐振  
频率作为控制器内增设的陷波滤波单元的宽度  
参数、深度参数和中心频率，并通过该控制器对  
机电伺服系统进行控制。

将机电伺服系统的控制器的输出电压信号或负载的位移信号作为待处理信号

将待处理信号作为带通滤波器的输入信号，采用极值搜索算法，将带通滤波器的中心频率作为待搜索变量，并不断获取带通滤波器的输出信号幅值，直至带通滤波器的输出信号幅值达到最大，此时带通滤波器的中心频率为机电伺服系统的机械谐振频率

将待处理信号作为陷波滤波器的输入信号，将所述机械谐振频率作为陷波滤波器的中心频率，采用极值搜索算法，将陷波滤波器的宽度参数和深度参数均作为待搜索变量，并不断获取陷波滤波器的输出信号幅值，直至陷波滤波器的输出信号幅值达到最小

在所述控制器内添加陷波滤波单元，将输出信号幅值最小时的陷波滤波器的宽度参数和深度参数分别作为陷波滤波单元的宽度参数和深度参数，将所述机械谐振频率作为陷波滤波单元的中心频率，并通过该控制器对机电伺服系统进行控制

1. 基于极值搜索算法的机电伺服系统的机械谐振抑制方法，其特征在于，所述机械谐振抑制方法基于带通滤波器、陷波滤波器和机电伺服系统的控制器实现；

所述机械谐振抑制方法包括：

步骤1、将所述控制器的输出电压信号或负载的位移信号作为待处理信号；

步骤2、将待处理信号作为带通滤波器的输入信号，采用极值搜索算法，将带通滤波器的中心频率作为待搜索变量，并不断获取带通滤波器的输出信号幅值，直至带通滤波器的输出信号幅值达到最大，此时带通滤波器的中心频率为机电伺服系统的机械谐振频率；

步骤3、将待处理信号作为陷波滤波器的输入信号，将所述机械谐振频率作为陷波滤波器的中心频率，采用极值搜索算法，将陷波滤波器的宽度参数和深度参数均作为待搜索变量，并不断获取陷波滤波器的输出信号幅值，直至陷波滤波器的输出信号幅值达到最小；

步骤4、在所述控制器内添加陷波滤波单元，将输出信号幅值最小时的陷波滤波器的宽度参数和深度参数分别作为陷波滤波单元的宽度参数和深度参数，将所述机械谐振频率作为陷波滤波单元的中心频率，并通过该控制器对机电伺服系统进行控制。

2. 如权利要求1所述的基于极值搜索算法的机电伺服系统的机械谐振抑制方法，其特征在于，步骤1将滤波后的控制器输出电压信号或负载位移信号作为待处理信号。

3. 如权利要求2所述的基于极值搜索算法的机电伺服系统的机械谐振抑制方法，其特征在于，步骤2在对输出信号幅值最大时带通滤波器的中心频率进行滤波后，将其作为所述机械谐振频率。

4. 如权利要求3所述的基于极值搜索算法的机电伺服系统的机械谐振抑制方法，其特征在于，步骤4在对输出信号幅值最小时的陷波滤波器的宽度参数和深度参数进行滤波后，将二者分别作为陷波滤波单元的宽度参数和深度参数。

5. 如权利要求4所述的基于极值搜索算法的机电伺服系统的机械谐振抑制方法，其特征在于，步骤2通过希尔伯特变换方式获得带通滤波器的输出信号幅值。

6. 如权利要求5所述的基于极值搜索算法的机电伺服系统的机械谐振抑制方法，其特征在于，步骤2的希尔伯特变换方式为：先通过积分环节对带通滤波器的原输出信号进行90°相移，再对积分环节引起的该原输出信号的幅值变化进行补偿。

7. 如权利要求6所述的基于极值搜索算法的机电伺服系统的机械谐振抑制方法，其特征在于，步骤3通过希尔伯特变换的方式获得陷波滤波器的输出信号幅值。

8. 如权利要求7所述的基于极值搜索算法的机电伺服系统的机械谐振抑制方法，其特征在于，步骤3的希尔伯特变换方式为：将陷波滤波器的原输出信号时延四分之一周期。

## 基于极值搜索算法的机电伺服系统的机械谐振抑制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种机电伺服系统的机械谐振抑制方法，属于机电伺服系统机械谐振抑制领域。

### 背景技术

[0002] 在机电伺服系统中，电机通常采用传动轴、齿轮或者联轴器等传动机构与负载相连。由于传动机构并非是完全刚性体，因此电机与负载之间存在柔性传动。当负载的惯量较大时，电机与负载间的柔性传动会导致机电伺服系统的输出明显滞后。进一步地说，当机电伺服系统的输出滞后时，机电伺服系统由于其传递函数上产生的两个共轭复极点而发生机械谐振。机械谐振不仅会限制机电伺服系统的闭环带宽，更是会限制机电伺服系统的控制器增益，从而导致机电伺服系统的动态性能下降、控制精度受限。另一方面，机械谐振会使机电伺服系统发出噪音、内部机械零件磨损，进而导致机电伺服系统的产热量增加、能源消耗量增加。由此，在机电伺服系统被投入使用之前，需要对其机械谐振进行有效抑制。

[0003] 现有的机械谐振抑制方法主要包括手动添加陷波滤波器法和自适应陷波滤波器法。其中，手动添加陷波滤波器法为：先通过机电伺服系统进行扫频以确认机械谐振频率，再人工手动添加陷波滤波器以获取机电伺服系统控制器的输入量，进而抑制机械谐振。然而，这种方法不仅过于依赖人工经验，而且自身实时性差。自适应陷波滤波器法为：将谐波检测算法与陷波滤波器相结合，设计出能够计算出机械谐振频率的自适应陷波滤波器，再将自适应陷波滤波器的相关参数作为机电伺服系统控制器的输入量，以抑制机械谐振。然而，由于这种自适应陷波滤波器法的计算量过大，导致其实时性较差。除此之外，这种自适应陷波滤波器法对相关硬件的要求过高。

[0004] 极值搜索控制作为一种不基于模型的自适应控制方法，具有结构简单和计算量小等诸多优点，当系统输出与待搜索变量之间存在最大值或最小值关系时，即系统输出可以用某种代价函数表示时，运用极值搜索算法可以在没有准确知道或者不知道代价函数的表示形式时，对待搜索变量进行极值搜索，当待搜索变量到达极值点时，即可以使系统的输出取得最大值或最小值。

[0005] 扰动极值搜索算法的原理框图如图1所示。根据图1对极值点及极值不随时间变化的静态系统进行分析：

[0006] 任何具有2阶连续导数的函数 $f(\theta)$ 均可局部地表示为如下形式：

$$[0007] f(\theta) = f^* + \frac{f''}{2} (\theta - \theta^*)^2 \quad (一)$$

[0008] 假设 $f(\theta)$ 在 $\theta^*$ 处有极小(大)值 $f^*$ ，则有 $f'' > 0 (< 0)$ 。扰动极值搜索算法的核心目的就是使 $\theta - \theta^*$ 尽可能的小，从而使 $f(\theta)$ 逐渐达到它的极值。

[0009] 图1中， $\text{asin}(\omega t)$ 为扰动信号， $\sin(\omega t)$ 为解调信号。极值搜索控制执行时，在系统中输入估计的极值点与扰动信号相加，得到函数的输入 $\theta$ ，从而得到系统的输出 $y$ 。在反馈通道上，估计的输出 $y$ 经高通滤波器滤掉信号中的直流部分，与解调信号 $\sin(\omega t)$ 相乘就得

到了近似的梯度信息 $\xi$ ,最后通过积分器的作用不断修正函数的极值点估计值并使其达到极值点。

[0010] 接下来给出扰动极值搜索算法的数学解释,并分析其收敛性:

[0011] 令 $\tilde{\theta} = \theta^* - \hat{\theta}$ 为极值点的估计误差,能够得到:

$$[0012] \theta = a \sin(\omega t) + \hat{\theta} = a \sin(\omega t) + \theta^* - \tilde{\theta}$$

[0013] 将 $\theta - \theta^* = a \sin \omega t - \tilde{\theta}$ 代入到公式(一)中,得到:

$$[0014] y = f^* + \frac{f''}{2} (\tilde{\theta} - a \sin(\omega t))^2 \quad (二)$$

[0015] 将公式(二)展开,并且利用二倍角公式 $2\sin^2(\omega t) = 1 - \cos(2\omega t)$ 得到展开式:

$$[0016] y = f^* + \frac{a^2 f''}{4} + \frac{f''}{2} \tilde{\theta}^2 - af'' \tilde{\theta} \sin(\omega t) + \frac{a^2 f''}{4} \cos(2\omega t) \quad (三)$$

[0017] 将输出的y经过高通滤波器 $\frac{s}{s+h}$ 的作用,消除直流(常)量 $f^*$ ,得到:

$$[0018] \frac{s}{s+h}[y] \approx \frac{f''}{2} \tilde{\theta}^2 - af'' \tilde{\theta} \sin(\omega t) + \frac{a^2 f''}{4} \cos(2\omega t) \quad (四)$$

[0019] 然后将信号与解调信号 $\sin(\omega t)$ 相乘进行解调:

$$[0020] \xi \approx \frac{f''}{2} \tilde{\theta}^2 \sin(\omega t) - af'' \tilde{\theta} \sin^2(\omega t) + \frac{a^2 f''}{4} \cos(2\omega t) \sin(\omega t) \quad (五)$$

[0021] 再次利用二倍角公式 $2\sin^2(\omega t) = 1 - \cos(2\omega t)$ ,得到:

$$[0022] 2\cos(2\omega t) \sin(\omega t) = \sin(3\omega t) - \sin(\omega t) \quad (六)$$

[0023] 将公式(六)代入公式(五),得到:

$$[0024] \xi \approx -\frac{af''}{2} \tilde{\theta} + \frac{af''}{2} \tilde{\theta} \cos(2\omega t) + \frac{a^2 f''}{8} (\sin(\omega t) - \sin(3\omega t)) + \frac{f''}{2} \tilde{\theta}^2 \sin(\omega t) \quad (七)$$

[0025] 经过积分环节,可以得到极值点的估计值:

$$[0026] \hat{\theta} \approx -\frac{k}{s} \left[ -\frac{af'}{2} \tilde{\theta} + \frac{af''}{2} \tilde{\theta} \cos(2\omega t) + \frac{a^2 f''}{8} (\sin(\omega t) - \sin(3\omega t)) + \frac{f''}{2} \tilde{\theta}^2 \sin(\omega t) \right] \quad (八)$$

[0027] 由于我们只关心局部的分析,所以忽略最后 $\tilde{\theta}$ 的平方项,第二项和第三项是频率为 $\omega$ 的高频信号,当经过积分器时会被很大程度的减弱,所以我们也忽略掉。这样,我们可以得到近似值:

$$[0028] \hat{\theta} \approx \frac{k}{s} \left[ \frac{af''}{2} \tilde{\theta} \right] \quad (九)$$

[0029] 因为 $\tilde{\theta} = \theta^* - \hat{\theta}$ , $\theta^*$ 是常数,所以 $\dot{\tilde{\theta}} = -\dot{\hat{\theta}}$ ,将其代入公式(九),得到:

$$[0030] \dot{\hat{\theta}} \approx -\frac{kaf''}{2} \tilde{\theta} \quad (十)$$

[0031] 根据公式(十)可知:只要 $kf'' > 0$ ,系统就是稳定的。所以当搜索极小(大)值时,只需使k大(小)于零,我们就可以得到极值点估计误差 $\tilde{\theta} \rightarrow 0$ ,或者说极值点的估计值 $\hat{\theta}(t)$ 会收敛到 $\theta^*$ 的很小的邻域内。总体来说,扰动极值搜索算法的核心目的就是使 $\theta - \theta^*$ 尽可能的小,

从而使 $f(\theta)$ 逐渐达到它的极值。

## 发明内容

[0032] 本发明为解决现有基于自适应陷波滤波器的机械谐振抑制方法的实时性差的问题,提出了一种基于极值搜索算法的机电伺服系统的机械谐振抑制方法。

[0033] 本发明所述的基于极值搜索算法的机电伺服系统的机械谐振抑制方法基于带通滤波器、陷波滤波器和机电伺服系统的控制器实现;

[0034] 所述机械谐振抑制方法包括:

[0035] 步骤1、将所述控制器的输出电压信号或负载的位移信号作为待处理信号;

[0036] 步骤2、将待处理信号作为带通滤波器的输入信号,采用极值搜索算法,将带通滤波器的中心频率作为待搜索变量,并不断获取带通滤波器的输出信号幅值,直至带通滤波器的输出信号幅值达到最大,此时带通滤波器的中心频率为机电伺服系统的机械谐振频率;

[0037] 步骤3、将待处理信号作为陷波滤波器的输入信号,将所述机械谐振频率作为陷波滤波器的中心频率,采用极值搜索算法,将陷波滤波器的宽度参数和深度参数均作为待搜索变量,并不断获取陷波滤波器的输出信号幅值,直至陷波滤波器的输出信号幅值达到最小;

[0038] 步骤4、在所述控制器内添加陷波滤波单元,将输出信号幅值最小时的陷波滤波器的宽度参数和深度参数分别作为陷波滤波单元的宽度参数和深度参数,将所述机械谐振频率作为陷波滤波单元的中心频率,并通过该控制器对机电伺服系统进行控制。

[0039] 作为优选的是,步骤1将滤波后的控制器输出电压信号或负载位移信号作为待处理信号。

[0040] 作为优选的是,步骤2在对输出信号幅值最大时带通滤波器的中心频率进行滤波后,将其作为所述机械谐振频率。

[0041] 作为优选的是,步骤4在对输出信号幅值最小时的陷波滤波器的宽度参数和深度参数进行滤波后,将二者分别作为陷波滤波单元的宽度参数和深度参数。

[0042] 作为优选的是,步骤2通过希尔伯特变换方式获得带通滤波器的输出信号幅值。

[0043] 作为优选的是,步骤2的希尔伯特变换方式为:先通过积分环节对带通滤波器的原输出信号进行90°相移,再对积分环节引起的该原输出信号的幅值变化进行补偿。

[0044] 作为优选的是,步骤3通过希尔伯特变换的方式获得陷波滤波器的输出信号幅值。

[0045] 作为优选的是,步骤3的希尔伯特变换方式为:将陷波滤波器的原输出信号时延四分之一周期。

[0046] 本发明所述的基于极值搜索算法的机电伺服系统的机械谐振抑制方法,将极值搜索算法引入自适应陷波滤波器的设计。所述机械谐振抑制方法基于带通滤波器的输出信号幅值构建代价函数,将机械谐振频率的识别问题转化为带通滤波器输出信号幅值的极大值搜索问题,基于陷波滤波器输出信号幅值构建代价函数,将谐振抑制问题转化为陷波滤波器输出信号幅值的极小值搜索问题,将输出信号幅值最小时陷波滤波器的宽度参数和深度参数以及识别到的机械谐振频率作为陷波滤波单元的宽度参数、深度参数和中心频率,并通过内设陷波滤波单元的控制器对机电伺服系统进行控制,从而抑制机电伺服系统的机械

谐振。

[0047] 与现有基于谐波检测自适应陷波器的机械谐振抑制方法相比,本发明所述的机械谐振抑制方法因引入极值搜索算法而计算量小,实时性高。除此之外,由于本发明所述的机械谐振抑制方法的计算量小,使得实现本发明所述机械谐振抑制方法的功能装置的结构相对简单,因此本发明所述机械谐振抑制方法对相关硬件的要求也较低。

## 附图说明

[0048] 在下文中将基于实施例并参考附图来对本发明所述的基于极值搜索算法的机电伺服系统的机械谐振抑制方法进行更详细的描述,其中:

[0049] 图1为背景技术提及的扰动极值搜索算法的原理框图;

[0050] 图2为实施例所述的基于极值搜索算法的机电伺服系统的机械谐振抑制方法的流程图;

[0051] 图3为滤波处理后的转台伺服系统控制器的输出电压信号的波形图,在该图中,纵坐标无量纲,表能量;

[0052] 图4为将滤波后的转台伺服系统控制器的输出电压信号作为待处理信号时、辨识频率信号的波形图;

[0053] 图5为机械谐振抑制前的转台伺服系统控制器的输出电压信号波形图;

[0054] 图6为机械谐振抑制后的转台伺服系统控制器的输出电压信号波形图;

[0055] 图7为将转台伺服系统控制器的输出DA信号作为待处理信号时、辨识频率信号的波形图;

[0056] 图8为机械谐振抑制前的转台伺服系统控制器的输出DA信号波形图,在该图中,纵坐标无量纲,表能量;

[0057] 图9为机械谐振抑制后的转台伺服系统控制器的输出DA信号波形图,在该图中,纵坐标无量纲,表能量。

## 具体实施方式

[0058] 下面将结合附图对本发明所述的基于极值搜索算法的机电伺服系统的机械谐振抑制方法作进一步说明。

[0059] 实施例:下面结合图2至图9详细地说明本实施例。

[0060] 本实施例所述的基于极值搜索算法的机电伺服系统的机械谐振抑制方法基于带通滤波器、陷波滤波器和机电伺服系统的控制器实现;

[0061] 所述机械谐振抑制方法包括:

[0062] 步骤1、将所述控制器的输出电压信号或负载的位移信号作为待处理信号;

[0063] 步骤2、将待处理信号作为带通滤波器的输入信号,采用极值搜索算法,将带通滤波器的中心频率作为待搜索变量,并不断获取带通滤波器的输出信号幅值,直至带通滤波器的输出信号幅值达到最大,此时带通滤波器的中心频率为机电伺服系统的机械谐振频率;

[0064] 步骤3、将待处理信号作为陷波滤波器的输入信号,将所述机械谐振频率作为陷波滤波器的中心频率,采用极值搜索算法,将陷波滤波器的宽度参数和深度参数均作为待搜

索变量，并不断获取陷波滤波器的输出信号幅值，直至陷波滤波器的输出信号幅值达到最小；

[0065] 步骤4、在所述控制器内添加陷波滤波单元，将输出信号幅值最小时的陷波滤波器的宽度参数和深度参数分别作为陷波滤波单元的宽度参数和深度参数，将所述机械谐振频率作为陷波滤波单元的中心频率，并通过该控制器对机电伺服系统进行控制。

[0066] 本实施例的步骤1将滤波后的控制器输出电压信号或负载位移信号作为待处理信号。

[0067] 本实施例的步骤2在对输出信号幅值最大时带通滤波器的中心频率进行滤波后，将其作为所述机械谐振频率。

[0068] 本实施例的步骤4在对输出信号幅值最小时的陷波滤波器的宽度参数和深度参数进行滤波后，将二者分别作为陷波滤波单元的宽度参数和深度参数。

[0069] 本实施例的步骤2和步骤3通过希尔伯特变换方式分别获得带通滤波器的输出信号幅值和陷波滤波器的输出信号幅值。

[0070] 本实施例的步骤2采用的希尔伯特变换方式为：先通过积分环节对带通滤波器的原输出信号进行90°相移，再对积分环节引起的该原输出信号的幅值变化进行补偿，以模拟理想的90°相移。

[0071] 由于步骤3将机电伺服系统的机械谐振频率作为陷波滤波器的中心频率，因此该步骤采用的希尔伯特变换方式为：将陷波滤波器的原输出信号时延四分之一周期，以模拟理想的90°相移。

[0072] 下面详细说明本实施例的步骤2的原理：

[0073] 带通滤波器的传递函数为：

$$[0074] G_1(s) = \frac{2\xi\omega_b s}{s^2 + 2\xi\omega_b s + \omega_b^2} \quad (1)$$

[0075] 式中， $\omega_b$ 为带通频率中心点，是带通滤波器增益最高点， $\xi$ 为高度参数，表示中心频率处的幅频增益。一个确定的单一频率的信号通过带通滤波器，只有当带通滤波器的中心频率等于该信号的频率时，带通滤波器输出信号的幅值最大。

[0076] 应用极值搜索算法对机电伺服系统的谐振频率进行辨识：将获得的待处理信号输入带通滤波器，该带通滤波器的中心频率为极值搜索算法的待搜索变量，该带通滤波器的输出信号幅值为极值搜索算法的输出。所述极值搜索算法根据预定的调整参数对变量进行搜索。当带通滤波器的中心频率与机电伺服系统的机械谐振频率一致时，带通滤波器输出信号的幅值将达到最大，输出信号幅值最大时的带通滤波器的中心频率为机电伺服系统的机械谐振频率。

[0077] 下面详细说明本实施例的步骤3的原理：

[0078] 利用陷波滤波器的零点抵消机电伺服系统传递函数上的两个共轭复极点以消除机械谐振。陷波滤波器具有非常好的频率特性，只在陷波中心频率附近提供较大的幅值衰减，而对其他的频率点影响较小。

[0079] 陷波滤波器的传递函数为：

$$[0080] \quad G_2(s) = \frac{s^2 + 2\pi\xi_1 k_1 s + (2\pi f)^2}{s^2 + 2\pi k_1 s + (2\pi f)^2} \quad (2)$$

[0081] 式中,  $f$  为陷波频率中心点, 是陷波滤波器增益最低点。 $k_1$  为宽度参数, 是指陷波滤波器幅值衰减到  $-3\text{dB}$  时前后两个频率点的差值。 $\xi_1$  为深度参数, 表示中心频率处的幅频增益衰减, 在中心频率处可提供  $-20\lg|\xi_1| \text{dB}$  的幅值衰减。陷波滤波器就是通过调节这三个参数实现的。

[0082] 为了实现抑制机械谐振的目的, 将获得的待处理信号输入陷波滤波器, 该陷波滤波器的中心频率  $f$  直接采用步骤2获得的机电伺服系统的机械谐振频率。该陷波滤波器的深度参数  $\xi_1$  和宽度参数  $k_1$  均作为待搜索变量, 选取陷波滤波器的输出信号幅值作为代价函数, 当陷波滤波器的输出信号幅值达到最小时, 待搜索变量  $\xi_1$  和  $k_1$  整定完成。

[0083] 本实施例所述的基于极值搜索算法的机电伺服系统的机械谐振抑制方法能够在  $1\text{s}$  内完成对机电伺服系统的机械谐振频率的识别且识别误差在  $1\text{Hz}$  以内。

[0084] 本实施例所述的基于极值搜索算法的机电伺服系统的机械谐振抑制方法能够在  $2\text{s}$  内识别机电伺服系统的机械谐振频率和抑制其机械谐振, 能够将谐振峰大幅衰减, 获得平滑的对象特性曲线。

[0085] 与现有的机械谐振抑制方法相比, 本实施例所述的基于极值搜索算法的机电伺服系统的机械谐振抑制方法对人工经验的依赖性弱。作为一种自适应谐振抑制方法, 本实施例所述的机械谐振抑制方法能够自动调节各环节参数, 并且由于极值搜索算法结构简单, 计算量小, 能够很好地保证系统的实时性。

[0086] 采用本实施例所述的基于极值搜索算法的机电伺服系统的机械谐振抑制方法对转台伺服系统进行机械谐振抑制仿真实验:

[0087] 根据转台伺服系统的结构建立带有谐振的机电伺服系统模型, 进而获得该机电伺服系统模型的谐振传递函数:

$$[0088] \quad G_3(s) = \frac{s^2 + as + \omega_a^2}{s^2 + bs + \omega_n^2} \quad (3)$$

[0089] 式中,  $\omega_a$  为机械谐振频率,  $\omega_n$  为反机械谐振频率。

[0090] 由于转台伺服系统的剪切频率通常低于  $50\text{Hz}$ , 超过  $120\text{Hz}$  的频率点增益非常小, 即便有谐振, 幅值也会非常低。因此仿真实验只关注所述剪切频率至  $120\text{Hz}$  之间的频率点。

[0091] 在计算出这些关键频率点的频谱后, 确定幅值最高的频率点为谐振点。如果该谐振点的幅值高于阈值, 说明系统谐振需要抑制。

[0092] 假设  $\omega_n = 300\text{rad/s}$ ,  $\omega_a = 300\text{rad/s}$ ,  $a = 200$ ,  $b = 2$ , 得到

$$[0093] \quad G_4(s) = \frac{s^2 + 200s + 90000}{s^2 + 2s + 90000} \quad (4)$$

[0094] 取转台伺服系统的开环传函为:

$$[0095] \quad G_5(s) = \frac{K_m}{s(T_e t + 1)(T_m t + 1)} \quad (5)$$

[0096] 其中  $T_e t$ 、 $T_m t$ 、 $K_m$  分别为电气时间常数、机械时间常数和比例系数。

[0097] 设定  $T_e t = 0.0027\text{s}$ ,  $T_m t = 0.1326\text{s}$  和  $K_m = 96.15$ , 获得带有谐振的转台伺服系统的

开环传递函数:

$$[0098] \quad G_6(s) = G_4(s)G_5(s) = \frac{96(s^2 + 200s + 90000)}{s(0.1326t+1)(0.0027t+1)(s^2 + 2s + 90000)} \quad (6)$$

[0099] 在控制回路中,取转台伺服系统控制器的输出电压信号进行滤波后得到待处理信号,该信号的波形图如图3所示。

[0100] 应用极值搜索算法对转台伺服系统的机械谐振频率进行辨识,辨识到的频率信号波形如图4所示,根据图4可知,在本次仿真在1.5s内辨识到机械谐振频率,辨识误差在1Hz以内。

[0101] 在仿真实验中,需要设计一定规则调整多变量极值搜索算法的参数,分别选取不同频率的扰动作为不同变量的激励,以防止不同变量间的相互干扰。

[0102] 图5为机械谐振抑制前的转台伺服系统控制器的输出电压信号波形图。

[0103] 图6为机械谐振抑制后的转台伺服系统控制器的输出电压信号波形图。

[0104] 通过将图5与图6可知,本实施例所述的机械谐振抑制方法获得了较好的抑制效果。

[0105] 本实施例还将转台伺服系统控制器的DA信号作为待处理信号进行了仿真实验:

[0106] 将转台的输入斜坡指令设置为 $10^\circ/\text{s}$ ,采集闭环状态下转台伺服系统控制器输出DA信号。

[0107] 应用极值搜索算法对该转台伺服系统谐振频率进行辨识的结果如图7所示,根据图7可知:在1s内辨识到谐振频率。通过对原信号进行FFT分析可知谐振峰约在80Hz,因此,仿真实验的辨识误差在1Hz以内。

[0108] 图8为机械谐振抑制前的转台伺服系统控制器的输出DA信号波形图。

[0109] 图9为机械谐振抑制后的转台伺服系统控制器的输出DA信号波形图。

[0110] 通过对图8和图9可知:在进行机械谐振抑制后,图8中80Hz左右处的谐振峰在图9中消失,进而说明了本实施例所述的机械谐振抑制方法获得了较好的抑制效果。

[0111] 虽然在本文中参照了特定的实施方式来描述本发明,但是应该理解的是,这些实施例仅是本发明的原理和应用的示例。因此应该理解的是,可以对示例性的实施例进行许多修改,并且可以设计出其他的布置,只要不偏离所附权利要求所限定的本发明的精神和范围。应该理解的是,可以通过不同于原始权利要求所描述的方式来结合不同的从属权利要求和本文中所述的特征。还可以理解的是,结合单独实施例所描述的特征可以使用在其他所述实施例中。

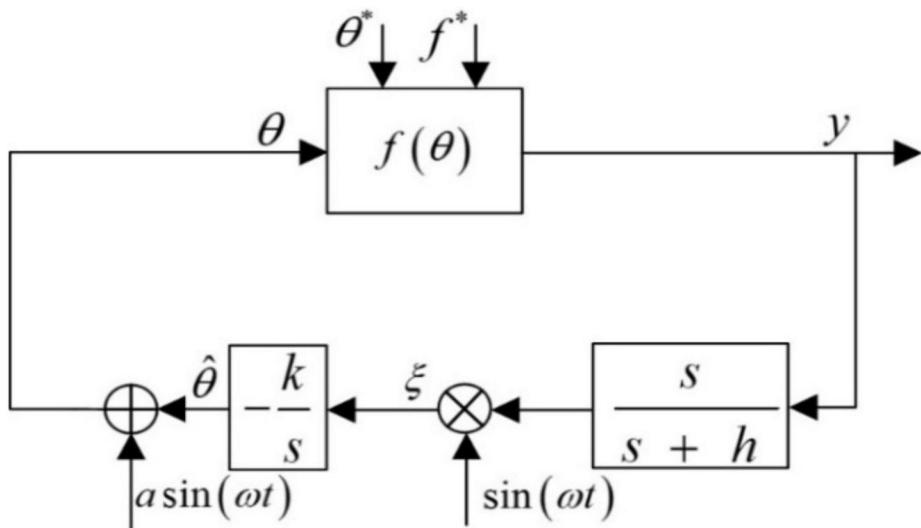


图1

将机电伺服系统的控制器的输出电压信号或负载的位移信号作为待处理信号

将待处理信号作为带通滤波器的输入信号，采用极值搜索算法，将带通滤波器的中心频率作为待搜索变量，并不断获取带通滤波器的输出信号幅值，直至带通滤波器的输出信号幅值达到最大，此时带通滤波器的中心频率为机电伺服系统的机械谐振频率

将待处理信号作为陷波滤波器的输入信号，将所述机械谐振频率作为陷波滤波器的中心频率，采用极值搜索算法，将陷波滤波器的宽度参数和深度参数均作为待搜索变量，并不断获取陷波滤波器的输出信号幅值，直至陷波滤波器的输出信号幅值达到最小

在所述控制器内添加陷波滤波单元，将输出信号幅值最小时的陷波滤波器的宽度参数和深度参数分别作为陷波滤波单元的宽度参数和深度参数，将所述机械谐振频率作为陷波滤波单元的中心频率，并通过该控制器对机电伺服系统进行控制

图2

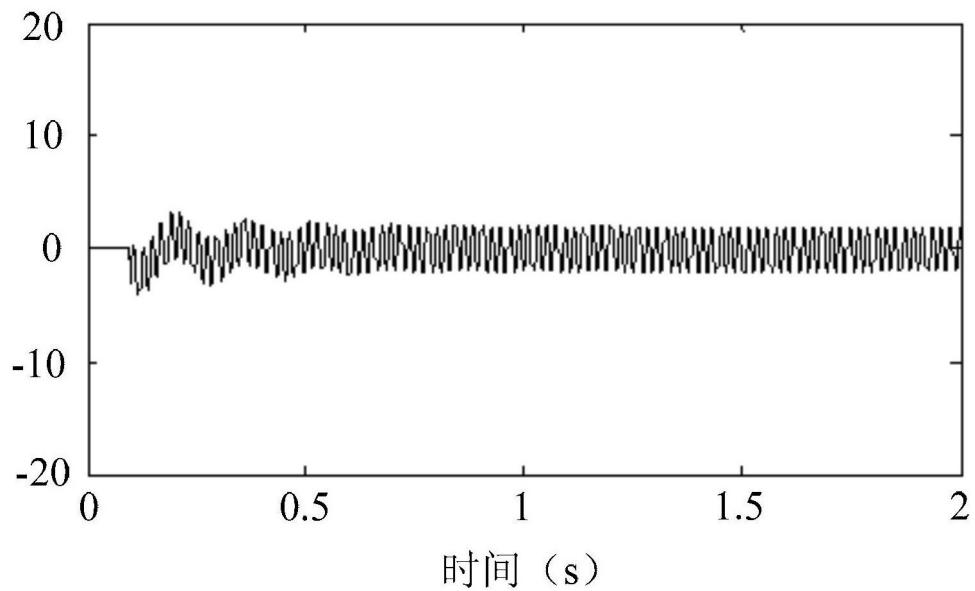


图3

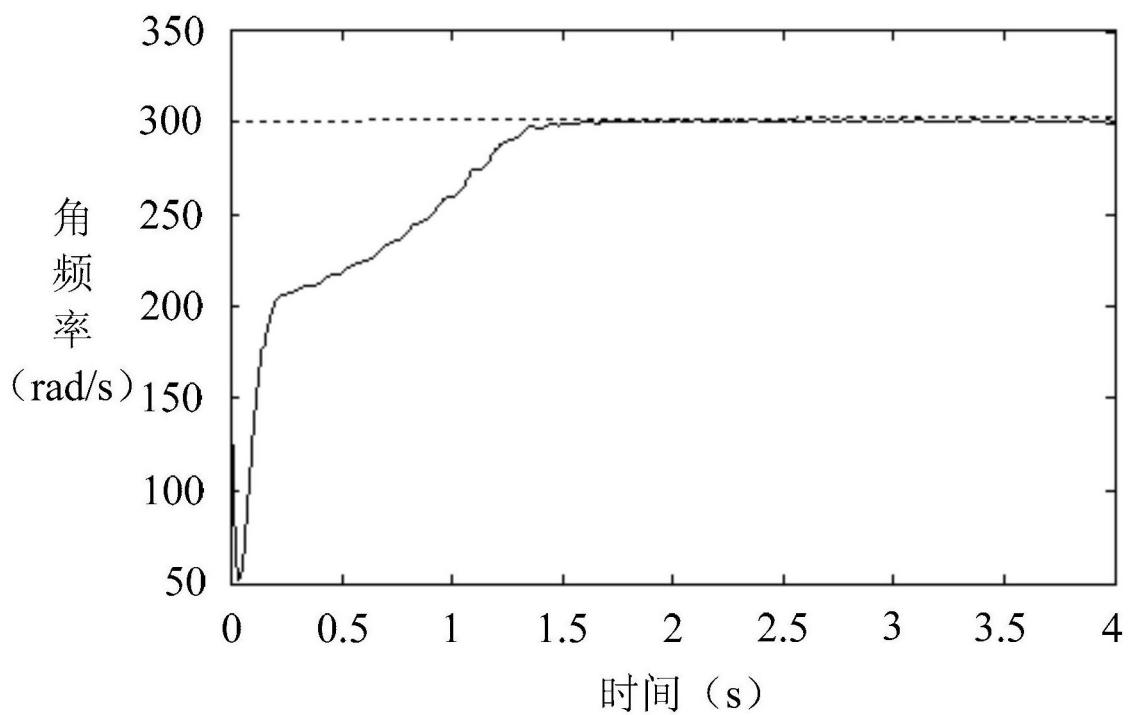


图4

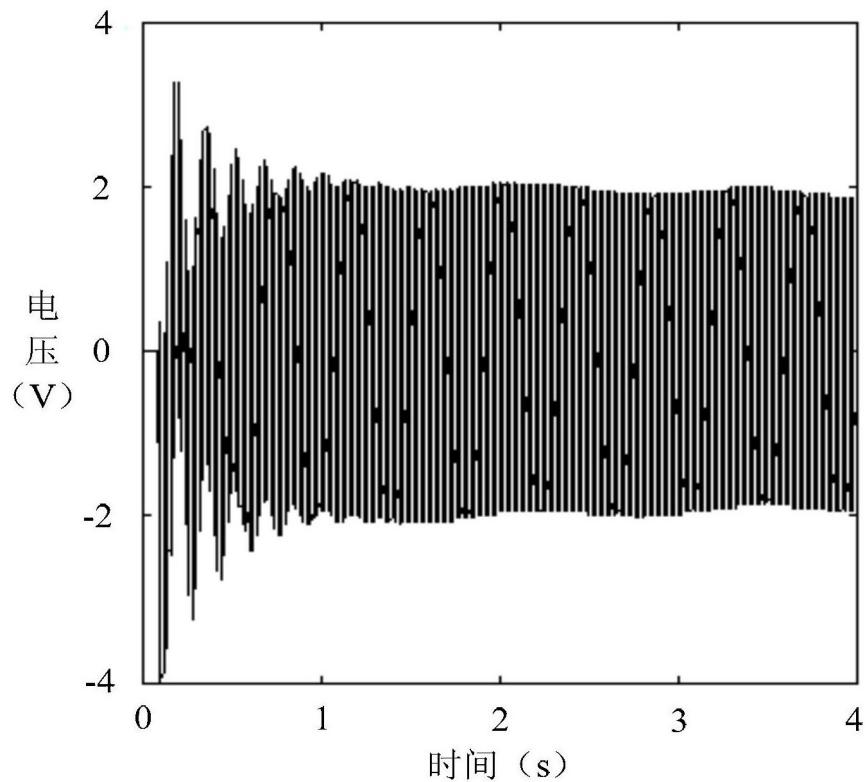


图5

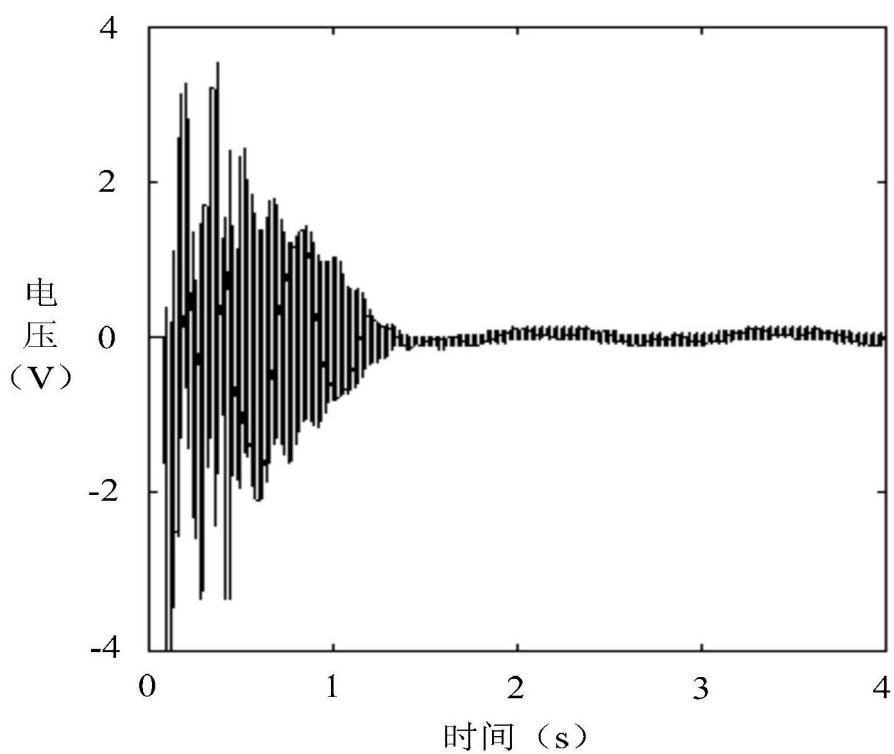


图6

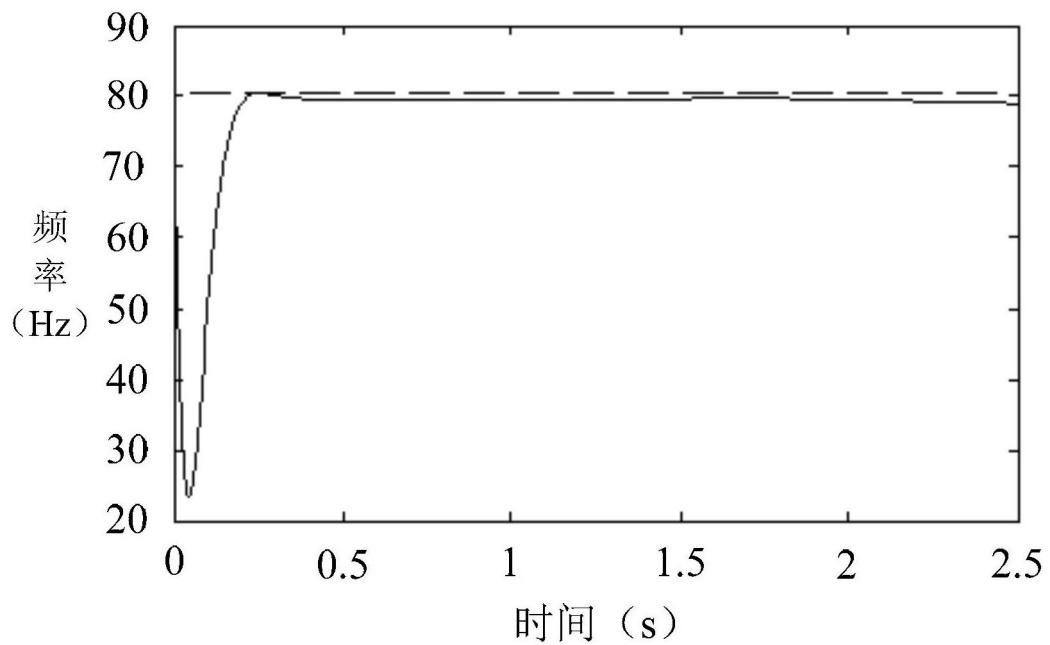


图7

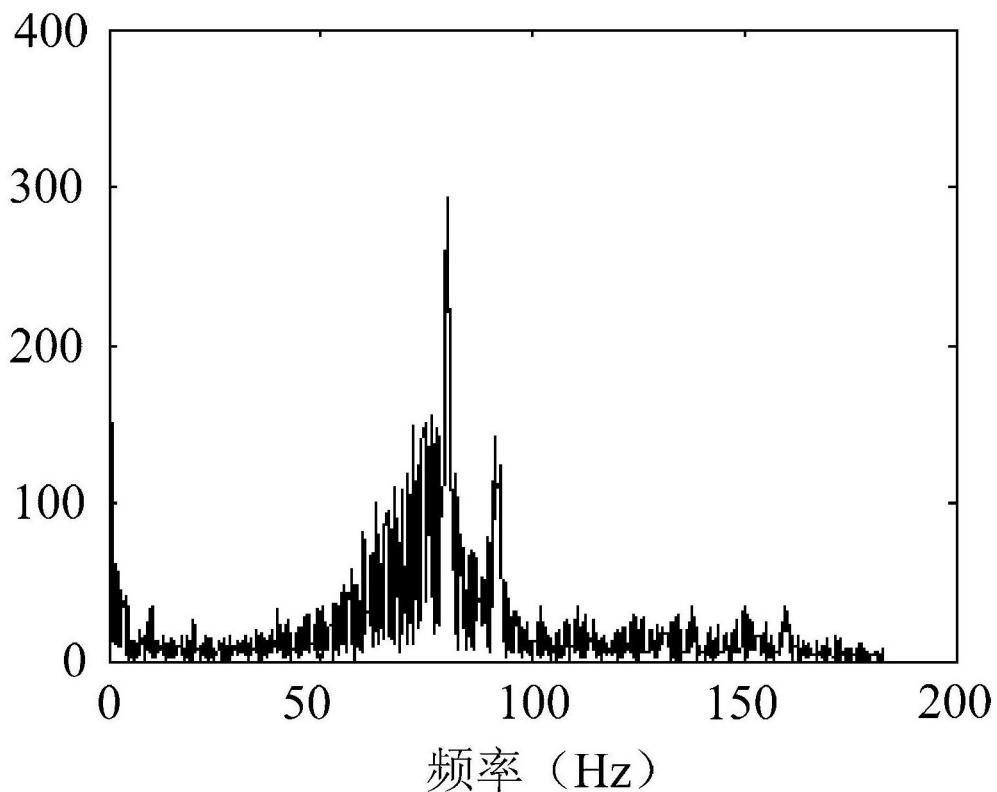


图8

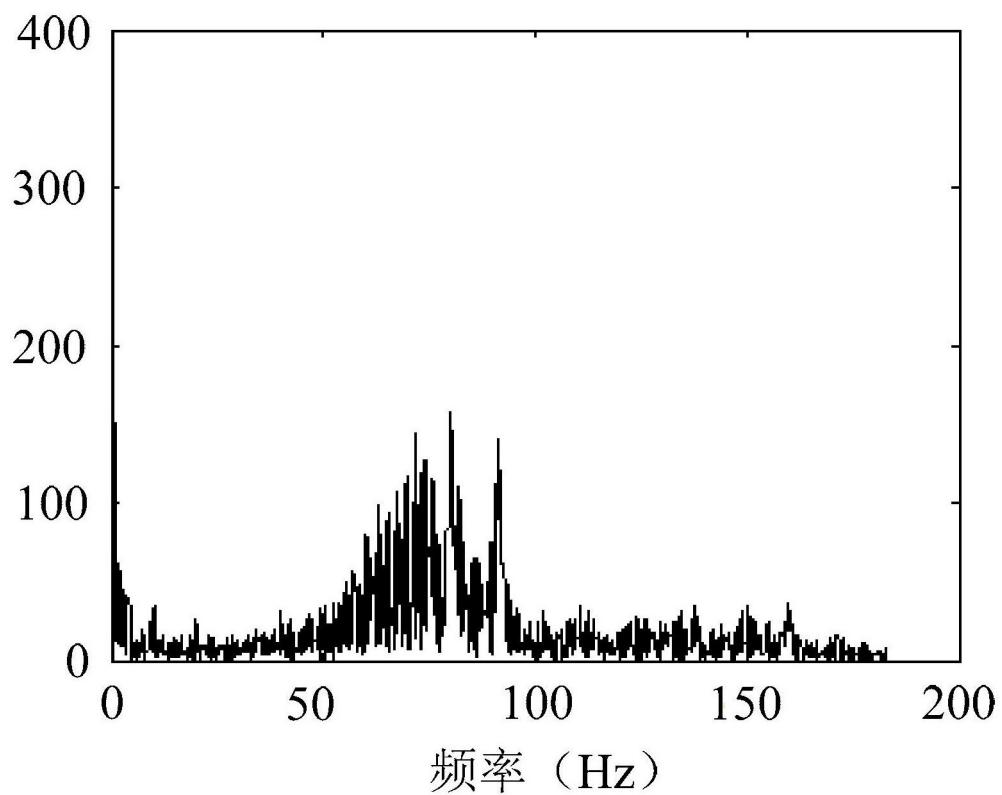


图9