



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108317206 B

(45)授权公告日 2019.12.10

(21)申请号 201710037710.5

(22)申请日 2017.01.18

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 108317206 A

(43)申请公布日 2018.07.24

(73)专利权人 香港理工大学  
地址 中国香港九龙红磡

(72)发明人 朱松晔 李锦阳

(74)专利代理机构 深圳市顺天达专利商标代理  
有限公司 44217

代理人 郭伟刚

(51)Int.Cl.

F16F 9/53(2006.01)

(56)对比文件

CN 105257750 A,2016.01.20,说明书第  
[0029]-[0100]段,附图1-5.

CN 105257750 A,2016.01.20,说明书第  
[0029]-[0100]段,附图1-5.

CN 102027683 A,2011.04.20,说明书第  
[0167]-[0174]段,附图21.

CN 104595402 A,2015.05.06,

CN 1084620 A,1994.03.30,

CN 204222577 U,2015.03.25,

US 3941402 A,1976.03.02,

审查员 王晓景

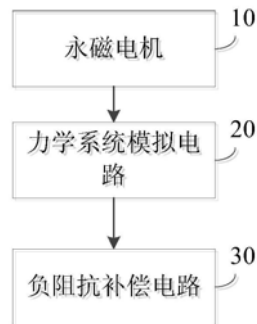
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种力学行为可变的电磁分流阻尼器系统

(57)摘要

本发明提供了一种力学行为可变的电磁分流阻尼器系统,包括:永磁电机,用于将动能转换为电能;力学系统模拟电路,用于将电能转换为等效的质量、刚度和阻尼系数;负阻抗补偿电路,用于产生补偿负电阻从而抵消电磁分流阻尼器的内阻。具体来说,通过电压反向负阻抗变换器(VNIC)形成的补偿组件产生的补偿负电阻,来抵消力学系统模拟电路的固有内阻,再由力学系统模拟电路根据机械系统和电气系统之间的模拟关系来计算得到表征阻尼性能的质量、刚度和阻尼系数达到通过调节力学系统模拟电路的电气参数即可调整响应的阻尼性能的效果。其中补偿组件的引入,可以降低电机和其他电气元件的固有内阻,从而可以使整个系统产生更好的阻尼性能。



1. 一种力学行为可变的电磁分流阻尼器系统,其特征在于,包括:

永磁电机,用于将动能转换为电能;

力学系统模拟电路,连接于所述永磁电机,用于将所述电能转换为等效的力学参数,所述力学参数包括质量、刚度和阻尼系数;

负阻抗补偿电路,连接于所述力学系统模拟电路,用于产生补偿负电阻,补偿所述力学系统模拟电路的内阻,以调整所述质量、所述刚度和所述阻尼系数的数值;所述负阻抗补偿电路为电压反向负阻抗变换器;所述电压反向负阻抗变换器包括运算放大器、第一电阻、第二电阻、第三电阻,其中,

所述第一电阻的第一端接地,所述第一电阻的第二端连接于所述第二电阻的第一端和所述运算放大器的同相输入端;

所述第二电阻的所述第一端还连接于所述运算放大器的所述同相输入端,所述第二电阻的第二端连接于所述运算放大器的输出端和所述第三电阻的滑动端;

所述第三电阻为可变电阻器,所述第三电阻的所述滑动端还连接于所述运算放大器的输出端,所述第三电阻的另一端连接于所述运算放大器的反向输入端。

2. 根据权利要求1中所述的力学行为可变的电磁分流阻尼器系统,其特征在于,所述电压反向负阻抗变换器还包括第一电源和第二电源,用于为所述运算放大器提供能量。

3. 根据权利要求1中所述的力学行为可变的电磁分流阻尼器系统,其特征在于,所述第一电阻和所述第二电阻的阻值相等。

4. 根据权利要求1中所述的力学行为可变的电磁分流阻尼器系统,其特征在于,还包括单刀双掷开关,所述单刀双掷开关的一端连接于所述力学系统模拟电路,所述单刀双掷开关的另一端接地或连接于所述电压反向负阻抗变换器,其中,所述单刀双掷开关的另一端接地时,所述电磁分流阻尼器系统为被动阻尼系统,所述单刀双掷开关的另一端连接于所述电压反向负阻抗变换器的反向输入端时,所述电磁分流阻尼器系统为半主动阻尼系统。

5. 根据权利要求1中所述的力学行为可变的电磁分流阻尼器系统,其特征在于,所述力学系统模拟电路包括电磁阻尼器和分流电路。

6. 根据权利要求5中所述的力学行为可变的电磁分流阻尼器系统,其特征在于,所述分流电路包括电阻、电感、电容器的一种或多种。

7. 根据权利要求5中所述的力学行为可变的电磁分流阻尼器系统,其特征在于,所述力学系统模拟电路通过以下公式计算所述质量、所述刚度和所述阻尼系数:

$$m = K_{em}^2 * C$$

$$c = K_{em}^2 / R$$

$$k = K_{em}^2 / L$$

其中m、c、k分别表示所述质量、所述阻尼系数和所述刚度,R、L、C代表所述力学系统模拟电路的电阻、电感和电容, $K_{em}$ 是所述电磁阻尼器的机械常数。

## 一种力学行为可变的电磁分流阻尼器系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电磁阻尼器技术领域,尤其涉及一种力学行为可变的电磁分流阻尼器系统。

### 背景技术

[0002] 结构振动控制对结构保护非常重要。各种阻尼器(被动、半主动和主动模式)已经用于抑制民用和机械结构的有害性振动,例如,粘弹性阻尼器、液体粘滞阻尼器、调谐质量阻尼器(TMD)、磁流变(MR)阻尼器、主动质量阻尼器(AMD)和调谐惯性阻尼器(TID)等。每种类型的阻尼器对应于其具有特定要求的唯一优选的应用领域。通常,主动控制阻尼器以需求外部电源和反馈系统为代价,可提供优于被动阻尼器的减振性能,但这可能导致复杂的设计和实际操作过程中可能存在的系统失稳问题。相较而言,被动阻尼器具有更高的实用性和鲁棒性,但是传统的被动阻尼器所能提供的控制效果有限。半主动型阻尼器通过增强或改变被动阻尼器性能,并使其能量消耗少于主动阻尼器的能量消耗,从而实现主动阻尼器和被动阻尼器之间的折衷。

[0003] 随着经济的快速增长和强烈的工业需求,需要一种具有优选可调力学行为的阻尼器,其可以模拟和整合上面提及的各种阻尼器。近年来发展迅速的电磁分流阻尼器(EMSD)显示了其在模拟机械系统与电气系统之间的关系方面的优势,其能够使用电气元件模拟质量、刚度和阻尼。通过用电气元件替换机械元件,EMSD具有尺寸紧凑和维护简单低成本的优势。EMSD还可以从阻尼器位置分流能量以防止在常规阻尼器中经常出现的阻尼器过热问题。

[0004] 然而,与机械阻尼器相比,现有的EMSD系统具有固有的内阻,这在实践中导致了如下所列的两个主要缺陷:(1)现有的EMSD设计的内阻通常限制了阻尼器的最佳可实现阻尼性能,换言之,内阻限制了可实现的最佳阻尼比的上限;(2)在工程范畴内,无内阻的电感和电容原件亦很难或无法实现。这限制了分流阻尼器的进一步复杂设计,例如,当EMSD模拟阻尼和刚度并联时的调谐惯性阻尼器(TID)时,电机内部电阻的存在总会形成一个串联的等效阻尼从而影响到阻尼器的设计。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种力学行为可变的电磁分流阻尼器系统以提供一种可以仿真各种常规阻尼器的多种机械性能的新型小型力学系统模拟电路。

[0006] 一方面,本发明实施例提供一种力学行为可变的电磁分流阻尼器系统,包括:永磁电机,用于将动能转换为电能;

[0007] 力学系统模拟电路,连接于所述永磁电机,用于将所述电能转换为等效的力学参数,所述力学参数包括质量、刚度和阻尼系数;

[0008] 负阻抗补偿电路,连接于所述力学系统模拟电路,用于产生补偿负电阻,补偿所述力学系统模拟电路的内阻,以调整所述质量、所述刚度和所述阻尼系数的数值。

[0009] 优选地,所述负阻抗补偿电路为电压反向负阻抗变换器。

[0010] 优选地,所述电压反向负阻抗变换器包括运算放大器、第一电阻、第二电阻、第三电阻,其中,

[0011] 所述第一电阻的第一端接地,所述第一电阻的第二端连接于所述第二电阻的第一端和所述运算放大器的同相输入端;

[0012] 所述第二电阻的所述第一端还连接于所述运算放大器的所述同相输入端,所述第二电阻的第二端连接于所述运算放大器的输出端和所述第三电阻的滑动端;

[0013] 所述第三电阻为可变电阻器,所述第三电阻的所述滑动端还连接于所述运算放大器的输出端,所述第三电阻的另一端连接于所述运算放大器的反向输入端。

[0014] 优选地,所述电压反向负阻抗变换器还包括第一电源和第二电源,用于为所述运算放大器提供能量。

[0015] 优选地,所述第一电阻和所述第二电阻的阻值相等。

[0016] 优选地,还包括单刀双掷开关,所述单刀双掷开关的一端连接于所述力学系统模拟电路,所述单刀双掷开关的另一端接地或连接于所述电压反向负阻抗变换器,其中,所述单刀双掷开关的另一端接地时,所述电磁分流阻尼器系统为被动阻尼系统,所述单刀双掷开关的另一端连接于所述电压反向负阻抗变换器的反向输入端时,所述电磁分流阻尼器系统为半主动阻尼系统。

[0017] 优选地,所述力学系统模拟电路包括电磁阻尼器和分流电路。

[0018] 优选地,所述分流电路包括电阻、电感、电容器中的一种或多种。

[0019] 优选地,所述力学系统模拟电路通过以下公式计算所述质量、所述刚度和所述阻尼系数:

$$[0020] \quad m = K_{em}^2 * C$$

$$[0021] \quad c = K_{em}^2 / R$$

$$[0022] \quad k = K_{em}^2 / L$$

[0023] 其中m、c、k分别表示所述质量、所述阻尼系数和所述刚度,R、L、C代表所述力学系统模拟电路的电阻、电感和电容, $K_{em}$ 是所述电磁阻尼器的机械常数。

[0024] 实施本发明实施例,具有如下有益效果:本发明例通过电压反向负阻抗变换器形成的负阻抗补偿电路产生的补偿负电阻,来抵消力学系统模拟电路的固有内阻,再由力学系统模拟电路根据机械系统和电气系统之间的模拟关系来计算得到表征阻尼性能的质量、刚度和阻尼系数。负阻抗补偿电路的引入,可以降低电机和其他电气元件的固有内阻,可以使整个系统产生更好的阻尼性能;通过单刀双掷开关使得系统能够在半主动控制和被动控制之间进行选择。

## 附图说明

[0025] 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,下面描述中的附图仅仅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的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

- [0026] 图1是本发明实施例一提供的力学行为可变的电磁分流阻尼器系统的结构示意图；
- [0027] 图2是图1所示的力学行为可变的电磁分流阻尼器系统的负阻抗补偿电路的结构示意图；
- [0028] 图3是本发明实施例二提供的力学行为可变的电磁分流阻尼器系统的结构示意图；
- [0029] 图4展示了利用电感模拟出的刚度和阻尼耦合的情况；
- [0030] 图5展示了模拟纯刚度的情况；
- [0031] 图6展示了利用电容模拟出的质量和阻尼耦合的情况；
- [0032] 图7展示了模拟纯质量的情况。

### 具体实施方式

[0033] 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,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,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,都属于本发明保护的范围。

#### [0034] 实施例一

[0035] 本发明实施例提供了一种力学行为可变的电磁分流阻尼器系统,参见图1,该力学行为可变的电磁分流阻尼器系统可以包括:

[0036] 永磁电机10,用于将动能转换为电能;

[0037] 力学系统模拟电路20,连接于所述永磁电机10,用于将所述电能转换为等效的的力学参数,所述力学参数包括质量、刚度和阻尼系数;

[0038] 负阻抗补偿电路30,连接于所述力学系统模拟电路20,用于产生补偿负电阻,补偿所述力学系统模拟电路的内阻,以调整所述质量、所述刚度和所述阻尼系数的数值。

[0039] 在本实施例中,永磁电机10负责将动能转换为电能,其进一步传送到相邻的力学系统模拟电路20;负阻抗补偿电路30产生补偿负电阻,以消除力学系统模拟电路20内部的电阻;之后力学系统模拟电路20根据机械系统与电器系统之间的模拟关系,将电能转换为等效的质量、刚度和阻尼系数。由于引入了负阻抗补偿电路30来消除力学系统模拟电路内部的固有电阻,因此与传统的阻尼器相比,该电磁分流阻尼器系统可以达到更高的阻尼性能。

[0040] 具体地,参见图2,负阻抗补偿电路30为电压反向负阻抗变换器,可以包括运算放大器310、第一电阻320、第二电阻330、第三电阻340、第一电源350以及第二电源360。通过该电压反向负阻抗变换器可以产生一个负电阻(-R),以消除力学系统模拟电路20内部产生的固有电阻R。

[0041] 如图2所示,所述第一电阻320的第一端接地,所述第一电阻320的第二端连接于所述第二电阻330的第一端和所述运算放大器310的同相输入端;所述第二电阻330的所述第一端还连接于所述运算放大器310的所述同相输入端,所述第二电阻330的第二端连接于所述运算放大器310的输出端和所述第三电阻340的滑动端;所述第三电阻340为可变电阻器,所述第三电阻340的所述滑动端还连接于所述运算放大器310的输出端,所述第三电阻340

的另一端连接于所述运算放大器310的反向输入端。

[0042] 进一步地,第一电阻320和第二电阻330的阻值相等。因此,通过调节第三电阻340的阻值,可以使整个电压反向负阻抗变换器产生一个负电阻(-R),以消除力学系统模拟电路20内部产生的固有电阻R。

[0043] 进一步地,所述电压反向负阻抗变换器还包括第一电源350和第二电源360,用于为所述运算放大器310提供能量。

[0044] 在本实施例中,所述力学系统模拟电路20包括电磁阻尼器和分流电路。其中,所述力学系统模拟电路通过以下公式计算所述质量、所述刚度和所述阻尼系数:

$$[0045] \quad m = K_{em}^2 * C$$

$$[0046] \quad c = K_{em}^2 / R$$

$$[0047] \quad k = K_{em}^2 / L$$

[0048] 其中m、c、k分别表示所述质量、所述阻尼系数和所述刚度,R、L、C代表所述力学系统模拟电路的电阻、电感和电容, $K_{em}$ 是所述电磁阻尼器的机械常数。调节力学系统模拟电路的电气参数即可调整响应的阻尼性能。可选的,所述分流电路包括电阻、电感、电容器、电感中的一种或多种。

[0049] 本实施例通过电压反向负阻抗变换器形成的负阻抗补偿电路产生的补偿负电阻,来抵消力学系统模拟电路的固有内阻,再由力学系统模拟电路根据机械系统和电气系统之间的模拟关系来计算得到表征阻尼性能的质量、刚度和阻尼系数。负阻抗补偿电路的引入,可以降低永磁电机和其他电气元件的固有内阻,可以使整个系统产生更好的阻尼性能。调节力学系统模拟电路的电气参数即可调整阻尼器的阻尼性能。

[0050] 图4展示了利用电感模拟出的刚度和阻尼耦合的情况。类似的,图6展示了利用电容模拟出的质量和阻尼耦合的情况。图4和图6中的阻尼由电路内阻产生。通过图4和图5,图6和图7的比较可发现,负阻抗补偿电路的引进(图5,图7)可以抵消电路的内阻从而将内阻产生的等效阻尼与设计指标分离开来,这使最优电路控制成为可能。图5展示了成功模拟纯刚度的情况。图7展示了模拟纯质量的情况。

[0051] 实施例二

[0052] 图3是本发明实施例二提供的力学行为可变的电磁分流阻尼器系统的结构示意图。图3所示的实施例二与图1所示的实施例一的区别在于,还包括单刀双掷开关40。具体地,参见图3,力学行为可变的电磁分流阻尼器系统包括:

[0053] 永磁电机10,用于将动能转换为电能;

[0054] 力学系统模拟电路20,连接于所述永磁电机10,用于将所述电能转换为等效的质量、刚度和阻尼系数;

[0055] 负阻抗补偿电路30,用于产生补偿负电阻,补偿所述力学系统模拟电路的内阻,以调整所述质量、所述刚度和所述阻尼系数;

[0056] 单刀双掷开关40,一端连接于所述力学系统模拟电路20,另一端接地或连接于所述负阻抗补偿电路30。

[0057] 在本实施例中,所述单刀双掷开关40的另一端接地时,所述电磁分流阻尼器系统为被动阻尼系统,所述负阻抗补偿电路30没有与所述力学系统模拟电路20相连,永磁电机

10负责将动能转换为电能,其进一步传送到相邻的力学系统模拟电路20;力学系统模拟电路20根据机械系统与电器系统之间的模拟关系,将电能转换为等效的质量、刚度和阻尼系数。

[0058] 进一步地,所述单刀双掷开关40的另一端连接于所述负阻抗补偿电路30时,所述电磁分流阻尼器系统为半主动阻尼系统。具体地,如图3所示,负阻抗补偿电路30为电压反向负阻抗变换器,可以包括运算放大器310、第一电阻320、第二电阻330、第三电阻340、第一电源350以及第二电源360。所述第一电阻320的第一端接地,所述第一电阻320的第二端连接于所述第二电阻330的第一端和所述运算放大器310的同相输入端;所述第二电阻330的所述第一端还连接于所述运算放大器310的所述同相输入端,所述第二电阻330的第二端连接于所述运算放大器310的输出端和所述第三电阻340的滑动端;所述第三电阻340为可变电阻器,所述第三电阻340的所述滑动端还连接于所述运算放大器310的输出端,所述第三电阻340的另一端连接于所述运算放大器310的反向输入端。单刀双掷开关40的另一端连接于电压反向负阻抗变换器的反向输入端,这样,负阻抗补偿电路30与所述力学系统模拟电路20相连,永磁电机10负责将动能转换为电能,其进一步传送到相邻的力学系统模拟电路20;负阻抗补偿电路30产生补偿负电阻,以消除力学系统模拟电路20内部的电阻;力学系统模拟电路20根据机械系统与电器系统之间的模拟关系,将电能转换为等效的质量、刚度和阻尼系数。通过负阻抗补偿电路,可以降低永磁电机和其他电气元件的固有内阻,可以使整个系统产生更好的阻尼性能。

[0059] 本实施例通过单刀双掷开关使得系统能够在半主动控制和被动控制之间进行即时的阻尼器参数调整和模式选择。当单刀双掷开关另一端接地时,整个系统为被动控制系统。当单刀双掷开关接于运算放大器的反向输入端时,电压反向负阻抗变换器形成的负阻抗补偿电路产生的补偿负电阻,来抵消力学系统模拟电路的固有内阻,再由力学系统模拟电路根据机械系统和电气系统之间的模拟关系来计算得到表征阻尼性能的质量、刚度和阻尼系数。由此,可以降低永磁电机和其他电气元件的固有内阻,可以使整个系统产生更好的阻尼性能。

[0060] 以上所揭露的仅为本发明一种较佳实施例而已,当然不能以此来限定本发明之权利范围,本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例的全部或部分流程,并依本发明权利要求所作的等同变化,仍属于发明所涵盖的范围。

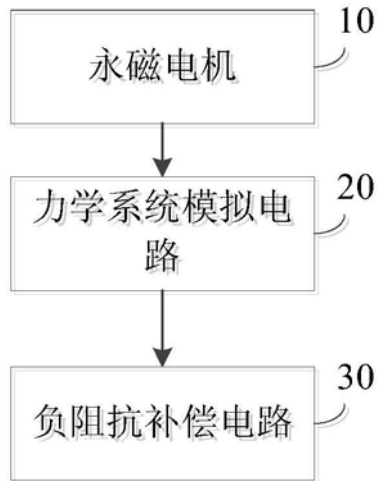


图1

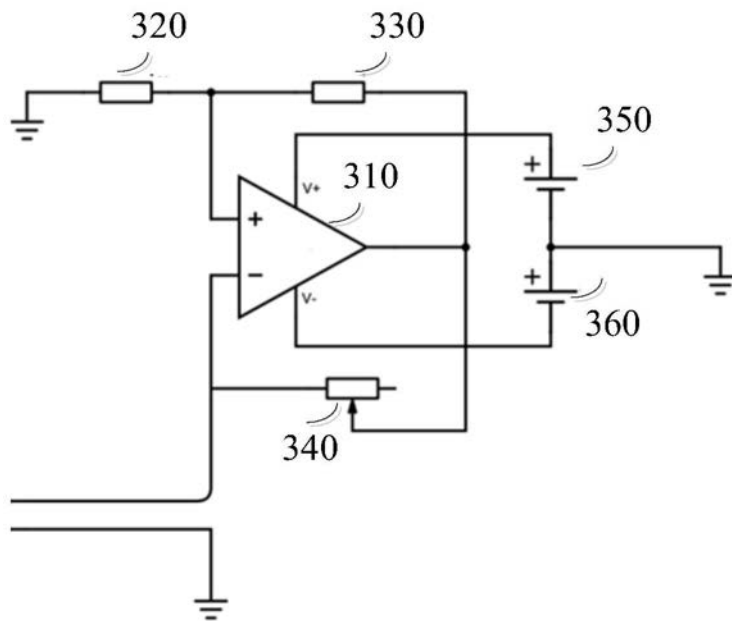


图2



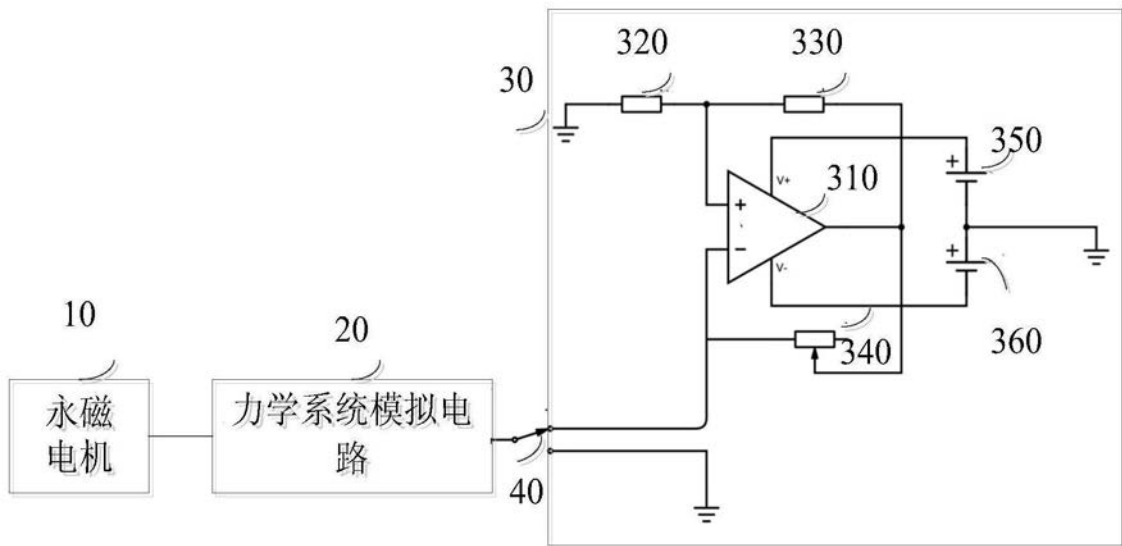


图3

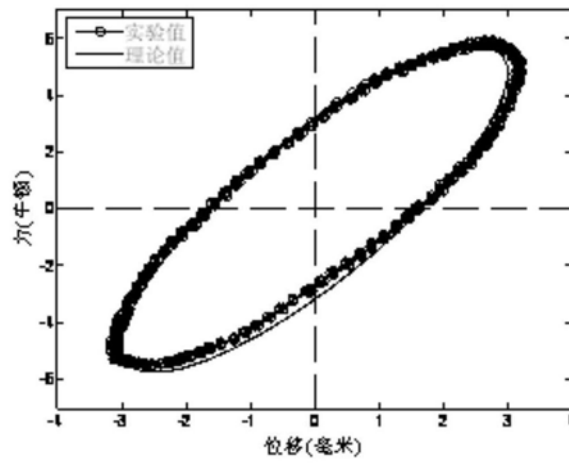


图4

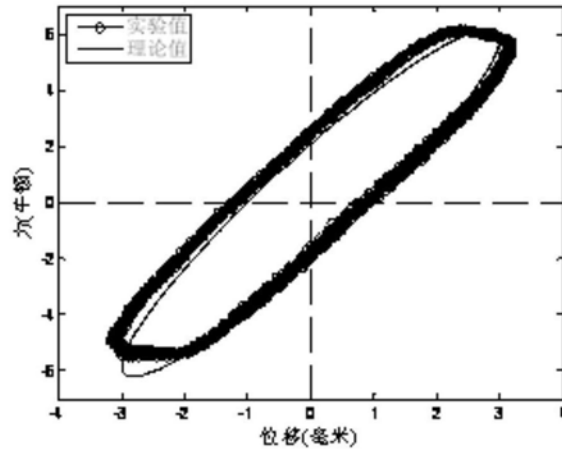


图5

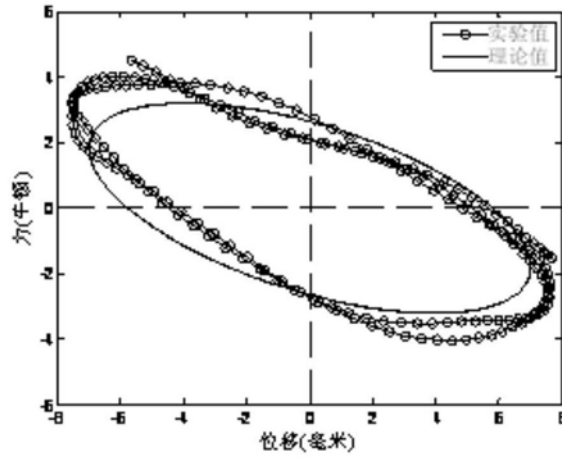


图6

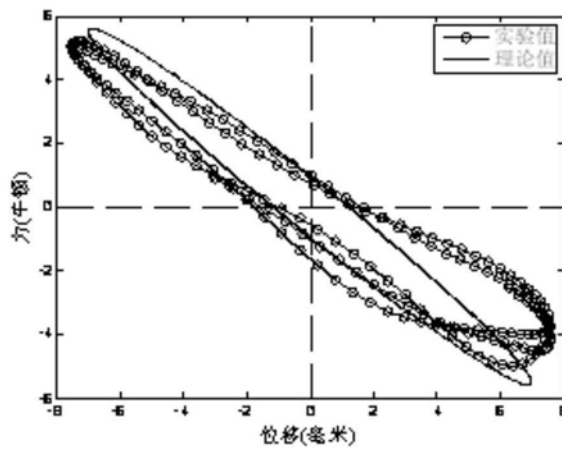


图7