



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105190325 B

(45)授权公告日 2019.07.26

(21)申请号 201480012097.6

(72)发明人 G·P·瑞兹玛

(22)申请日 2014.03.04

(74)专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105190325 A

代理人 赵蓉民 徐东升

(43)申请公布日 2015.12.23

(51)Int.Cl.

(30)优先权数据

G01R 27/00(2006.01)

61/772,290 2013.03.04 US

H03H 3/00(2006.01)

61/772,324 2013.03.04 US

61/838,084 2013.06.21 US

61/877,759 2013.09.13 US

14/186,942 2014.02.21 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.09.02

(56)对比文件

US 2003071638 A1,2003.04.17,

US 2009267596 A1,2009.10.29,

US 2009133496 A1,2009.05.28,

US 2003071638 A1,2003.04.17,

SU 1420564 A1,1988.08.30,

US 7847539 B2,2010.12.07,

WO 2009038159 A1,2009.03.26,

US 2008197839 A1,2008.08.21,

US 4310807 A,1982.01.12,

CN 1154184 A,1997.07.09,

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2014/020305 2014.03.04

(87)PCT国际申请的公布数据
W02014/138059 EN 2014.09.12

(73)专利权人 德克萨斯仪器股份有限公司
地址 美国德克萨斯州

审查员 马佳伟

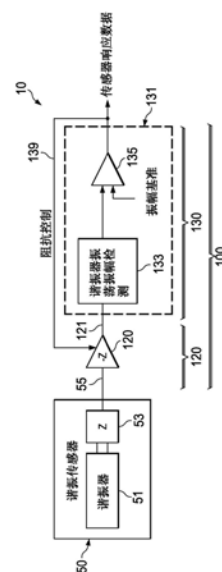
权利要求书3页 说明书8页 附图9页

(54)发明名称

基于受控负阻抗的谐振阻抗感测

(57)摘要

本申请公开一种电路(10),其可以捕获谐振传感器(50)对目标的响应。传感器(50)包括其特征是谐振阻抗Z(53)和符合谐振器振荡振幅和谐振器频率的谐振状态(包含符合稳态振荡的谐振状态)的谐振器(51)。被耦接到传感器(50)的传感器数据转换器(100)包括负阻抗级(120)和负阻抗控制级(130)。级(120)响应级(130)生成的负阻抗控制信号(139)向传感器(50)提供受控负阻抗。信号(139)基于所检测到的传感器谐振状态,从而使得受控负阻抗基本抵消传感器谐振阻抗并且传感器谐振状态符合稳态振荡。



1. 一种可操作以捕获谐振传感器对目标的响应的电路,其中所述谐振传感器包括以谐振阻抗损耗因子和符合谐振器振荡振幅和谐振器振荡频率的谐振状态表征的谐振器,所述谐振状态包含符合稳态振荡的谐振状态,所述电路包括:

D类负阻抗电路,其被配置为用负阻抗将电流驱动到所述谐振器中,所述D类负阻抗电路包括:

比较器,其被配置为接收谐振器振荡电压并且提供具有与所述谐振器振荡频率同步的频率的D类开关输出;

电流驱动电路,其被配置为基于符合受控负阻抗量值的回路控制信号输出驱动电流;以及

H桥电路,其被配置为将所述驱动电流源连接到所述谐振器;

所述比较器D类开关输出控制所述H桥电路以维持正反馈,从而用所述负阻抗来驱动所述谐振器;以及

回路控制电路,其被配置为基于所检测到的传感器谐振状态生成所述回路控制信号,从而使得所述驱动电流的时间均值符合所述受控负阻抗的量值,所述受控负阻抗基本上抵消所述传感器谐振器损耗以维持稳态振荡;

由此建立负阻抗控制回路,所述负阻抗控制回路包括作为回路滤波器的所述传感器谐振器,并且控制负阻抗,从而使得所述回路控制信号符合表示所述传感器对所述目标的所述响应的传感器响应数据。

2. 根据权利要求1所述的电路,其中检测到的谐振状态符合谐振器振荡振幅,并且其中所述负阻抗控制回路被配置为至少部分地通过控制谐振器振荡振幅来控制负阻抗。

3. 根据权利要求2所述的电路,其中所述回路控制电路被配置为基于谐振器振荡振幅相对于符合稳态振荡的基准振幅信号的差值提供所述回路控制信号。

4. 根据权利要求1所述的电路,

其中所述电流驱动电路包含被配置为向所述传感器谐振器供应至少两个电流驱动水平的多级电流驱动电路;以及

其中所述回路控制电路控制所述电流驱动水平之间的切换。

5. 一种可操作以捕获谐振传感器对目标的响应的系统,其包含:

谐振传感器,其包含以谐振阻抗损耗因子和符合谐振器振荡振幅和谐振器振荡频率的谐振状态表征的谐振器,所述谐振状态包括符合稳态振荡的谐振状态;

电感数据转换器电路,其被耦接到所述传感器谐振器,并且被配置为将所述传感器对所述目标的响应转换成传感器响应数据,其包括:

D类负阻抗电路,其被配置用负阻抗将电流驱动到所述谐振器中,所述D类负阻抗电路包括:

比较器,其被配置为接收谐振器振荡电压并且提供具有与所述谐振器振荡频率同步的频率的D类开关输出;

电流驱动电路,其被配置为基于符合受控负阻抗量值的回路控制信号输出驱动电流;以及

H桥电路,其被配置为将所述驱动电流源连接到所述谐振器;

所述比较器D类开关输出控制所述H桥电路以维持正反馈,从而用所述负阻抗来驱动所

述谐振器;以及

回路控制电路,其被配置为基于所检测到的传感器谐振状态生成所述回路控制信号,从而使得所述驱动电流的时间均值符合所述受控负阻抗的量值,所述受控负阻抗基本上抵消所述传感器谐振器损耗以维持稳态振荡;

由此建立负阻抗控制回路,所述负阻抗控制回路包括作为回路滤波器的所述传感器谐振器,并且控制负阻抗,从而使得所述回路控制信号符合表示所述传感器对所述目标的所述响应的传感器响应数据。

6. 根据权利要求5所述的系统,其中检测到的谐振状态符合谐振器振荡振幅,并且其中所述负阻抗控制回路被配置为至少部分地通过控制谐振器振荡振幅来控制负阻抗。

7. 根据权利要求6所述的系统,其中所述回路控制电路被配置为基于谐振器振荡振幅相对于符合稳态振荡的基准振幅信号的差值提供所述回路控制信号。

8. 根据权利要求5所述的系统,

其中所述电流驱动电路包括被配置为向所述传感器谐振器供应至少两个电流驱动水平的多级电流驱动电路;以及

其中所述回路控制电路控制所述电流驱动水平之间的切换。

9. 一种可用于捕获谐振传感器对目标的响应的方法,其中所述谐振传感器包括以谐振阻抗损耗因子和符合谐振器振荡振幅和谐振器振荡频率的谐振状态表征的谐振器,所述谐振状态包含符合稳态振荡的谐振状态,所述方法包含:

用D类H桥放大器生成被提供给所述传感器的受控负阻抗,所述D类H桥放大器包括:

比较器,其被配置为接收谐振器振荡电压并且提供具有与所述谐振器振荡频率同步的频率的D类开关输出;

电流驱动电路,其被配置为基于符合受控负阻抗量值的回路控制信号输出驱动电流;以及

H桥电路,其被配置为将所述驱动电流源连接到所述谐振器;

所述D类开关输出控制所述H桥以维持正反馈,从而用所述负阻抗来驱动所述谐振器;以及

生成所述回路控制信号以基于所检测到的谐振状态控制所述负阻抗,从而使得所述驱动电流的时间均值符合所述受控负阻抗的量值,所述受控负阻抗基本抵消所述传感器谐振器损耗以维持稳态振荡;

由此建立包括作为回路滤波器的所述传感器谐振器的负阻抗控制回路;以及

基于所述受控负阻抗提供传感器响应数据,从而使得所述传感器响应数据符合所述传感器对所述目标的响应。

10. 根据权利要求9所述的方法,其中检测到的谐振状态符合谐振器振荡振幅,并且其中所述负阻抗控制回路被配置为至少部分地通过相对于稳态振荡控制谐振器振荡振幅来控制负阻抗。

11. 根据权利要求9所述的方法,

其中所述电流驱动电路包括被配置为向所述传感器谐振器供应至少两个电流驱动水平的多级电流驱动电路;并且

其中生成所述回路控制信号包括生成多级回路控制信号以控制所述电流驱动水平之

间的切换。

基于受控负阻抗的谐振阻抗感测

技术领域

[0001] 本公开总体涉及到传感器和感测,诸如可以被用于测量或检测传感器对目标的响应,例如,基于位置、接近度或物理状态或条件。

背景技术

[0002] 谐振传感器包括谐振器,其被配置为以谐振频率和振幅进行稳态(非感测)操作。谐振感测基于传感器谐振状态的变化,该传感器谐振状态的变化是通过例如由响应目标的传感器/谐振器谐振阻抗的变化而造成的谐振器振荡振幅和频率的变化来表现的。例如,通过相对于传感器的目标的接近度或位置,或者一些感测到的目标的物理状态,可以引起对目标的传感器响应。

[0003] 例如,在感应感测的情况下,传感器(谐振器)阻抗受到从LC谐振器的感应感测线圈输出的磁通量的存储或损耗的影响,诸如,所述磁通量的存储或损耗可以由与传导目标相关的涡流效应造成。在传感器具有基于可变电容器的谐振器的情况下,谐振器阻抗受到电场能量的存储或损耗的影响。在压电谐振器的情况下,传感器阻抗受到压电晶体上力学应力变化的影响。

发明内容

[0004] 提供了使用谐振传感器的谐振阻抗感测的装置和方法,该谐振传感器包含谐振器,其特征是谐振阻抗和谐振频率,以及符合谐振器振荡振幅和谐振器频率的谐振状态,所述谐振状态包含符合稳态振荡(稳态谐振)的谐振状态,其中谐振阻抗和谐振状态两者响应目标而变化。

[0005] 谐振阻抗感测方法的各个所述实施例可以包括:(a)生成被提供(present)给传感器的受控负阻抗;(b)基于检测到的谐振状态控制负阻抗以便基本抵消传感器谐振阻抗,从而使传感器谐振状态与稳态振荡对应,其中负阻抗由负阻抗控制回路控制,负阻抗控制回路包括作为回路滤波器的传感器谐振器,以及(c)基于受控负阻抗提供传感器响应数据,从而使传感器响应数据表示传感器对目标的响应。

[0006] 一个装置的实施例,其被配置为实施谐振阻抗感测方法,该装置可以包括:(a)被配置耦接到传感器并且被配置为响应于负阻抗控制信号向传感器提供受控负阻抗的负阻抗电路;以及(b)阻抗控制电路,其被配置为基于所检测到的传感器谐振状态生成负阻抗控制信号,从而使得受控负阻抗基本抵消传感器谐振阻抗进而使传感器阻抗状态符合稳态振荡。负阻抗控制回路包括作为回路滤波器的传感器谐振器,并且控制负阻抗从而使负阻抗控制信号符合表示传感器对目标的响应的传感器响应数据。

附图说明

[0007] 图1A是具有受控负阻抗的谐振阻抗感测的示例功能图示,根据本发明各个方面,其包括谐振传感器(用与谐振阻抗并联的谐振器来表示)和传感器数据转换器,传感器数据

转换器包括负阻抗级和负阻抗控制级,负阻抗级和负阻抗控制级建立了负阻抗控制回路,其中受控负阻抗被提供给传感器以维持稳态振荡。

[0008] 图1B示出了基于LC谐振器的用于感应感测的示例谐振传感器,其中谐振阻抗可以通过(a)串联电阻 R_s 和(b)表示并联电阻 R_p 的等效电路来表征。

[0009] 图1C根据本发明的各个方面示出了基于LC谐振器的用于感应感测的谐振传感器,其中并联电阻 R_p (阻抗)被耦接到受控负电阻 R_{res} ,其中 $R_{res} = -R_p$ 符合稳态振荡。

[0010] 图2示出了谐振阻抗感测的示例功能实施例,其中使用感应谐振传感器(LC谐振器),将受控负阻抗耦接到传感器数据转换器,传感器数据转换器包括负阻抗级和负阻抗控制级,其中负阻抗级由具有可变(可控)跨导纳(trans-admittance)(g_m)的跨导纳放大器来实施,并且阻抗(导纳)控制级提供 g_m 控制信号以调制/调谐 g_m (导纳),并且进而控制负阻抗。

[0011] 图3示出了谐振阻抗感测的示例功能实施例,其中使用感应谐振传感器(LC谐振器),将受控负阻抗耦接到传感器数据转换器,传感器数据转换器包括负阻抗级和负阻抗控制级,其中负阻抗级由被配置为可在两个离散的跨导纳水平(例如 $g_{m_低}$ /高)之间切换的跨导纳放大器来实施,并且负阻抗控制级被配置为提供相应的 $g_{m_低}$ /高控制信号。

[0012] 图4示出了具有受控负阻抗的谐振阻抗感测的示例实施例,其中负阻抗级采用基于A或AB类放大器配置的跨导纳放大器来实施。

[0013] 图5示出了具有受控负阻抗的谐振阻抗感测的示例实施例,其中负阻抗级采用基于D类放大器配置的连接(interface)到具有接地参考的H桥的谐振传感器的跨导纳放大器来实施。

[0014] 图6示出了具有受控负阻抗的谐振传感器系统的示例实施例,其包括用基于接地参考的H桥D类跨导纳放大器的D类负阻抗级来实施的电感数字转换器(LDC)。

[0015] 图7A和图7B根据本发明的各方面示出了用于谐振阻抗感测的示例应用,其包括(7A)轴向位置感测,其中传感器对目标的响应符合相对于目标的传感器的轴向(z 轴)位置和/或取向,和(7B)横向位置感测,其中传感器响应符合传感器和目标的相对横向(xy)位置并且取决于被暴露给由传感器生成的磁通量的一小部分的目标区域。

具体实施例

[0016] 示例实施例通常在感应感测的背景下被给出,其中感应谐振传感器(LC谐振器)被用于与传导目标连接,以使得谐振传感器对目标的响应符合感应谐振传感器输出的磁通量能量的存储或损耗。实施例不局限于应用到感应感测,而其通常可应用到谐振阻抗感测(例如,包括电容和机械谐振阻抗感测)。

[0017] 图1A是具有受控负阻抗的谐振阻抗感测的示例功能性图示。谐振阻抗感测系统10包含谐振传感器50和传感器数据转换器100。

[0018] 谐振传感器50包含谐振器51,其特征可以是谐振阻抗53和以谐振器振荡振幅和频率为特征的谐振状态。谐振传感器50可以通过将能量充分地注入谐振器51以克服谐振阻抗53的损耗来以符合于稳态振荡的谐振状态来操作。

[0019] 目标的存在(与目标的交互)被反映为传感器/谐振阻抗和频率的变化,传感器/谐振阻抗和频率的变化进而导致了谐振状态的变化。根据本发明的各个方面,通过将谐振器

51维持在稳态振荡所需的受控负阻抗提供给谐振传感器,捕获谐振传感器50(谐振器51)对目标的响应并且将其转换成传感器响应数据。即,传感器响应数据量化维持稳态振荡所需的负阻抗。例如,可以将这种传感器响应数据提供给处理器或控制器以便检测、测量或进行其他的处理。

[0020] 图1B示出了基于LC谐振器51的感应传感的示例谐振传感器50,所述LC谐振器51由感应器感测线圈和并联电容器组成,其中谐振阻抗53被表示为串联电阻 R_s 。同样说明了具有被表示为电阻 R_p 的并联阻抗53的等效LC谐振器51电路,其中 $R_p=L/(C R_s)$ 。在本说明书及附图中,根据 $R_p=L/(C R_s)$ 可互为交换使用 R_s 和 R_p 。

[0021] 图1C示出了谐振传感器50,其具有LC谐振器51和表示为电阻 R_p 的并联谐振阻抗53。根据本发明的各个方面,传感器数据转换器100将被表示为传感器电阻 R_{res} 的受控负阻抗55提供给谐振传感器,从而建立稳态振荡的条件为 $R_{res}=-R_p$,以便抵消传感器电阻 R_p 。

[0022] 参考图1A和图1C,传感器数据转换器100被配置为转换/捕获谐振传感器50对目标的响应。根据本发明的各个方面,通过将受控负阻抗55提供给谐振传感器50,传感器数据转换器100实施了谐振阻抗感测方法,从而基本抵消谐振阻抗53进而维持谐振状态符合稳态振荡。结果,维持稳态振荡所需的受控负阻抗可以被量化为传感器响应数据。传感器数据转换器可以被配置为提供与谐振阻抗并联的受控负阻抗,如图1A所说明的,或者提供与谐振阻抗串联的受控负阻抗。

[0023] 传感器数据转换器100被耦接到谐振传感器50。转换器100包括负阻抗级120,之后是负阻抗控制级130。负阻抗级120被配置为响应于由于感测目标的存在或与感测目标的交互而造成的谐振状态(谐振器振荡振幅和频率)的变化向谐振传感器提供受控的负阻抗。

[0024] 通过将额外的电抗组件连接到谐振传感器(谐振器51),例如,并联或串联电容器,或者并联或串联电感,或者两者的组合,可以配置/优化谐振阻抗感测系统10以便以规定的谐振器频率操作。这种系统配置可以使传感器数据转换器100独立于谐振传感器50的设计/配置而被设计/配置。于是,通过并入额外的电抗组件,并且然后将传感器数据转换器耦接到具有添加的电抗组件的谐振传感器,而可以针对现有的谐振传感器50来配置/优化谐振阻抗感测系统10,所述添加的电抗组件被用于调节谐振阻抗和频率范围。

[0025] 负阻抗级120和负阻抗控制级130建立了负阻抗控制回路,该回路控制由传感器数据转换器100提供给谐振传感器50的负阻抗55。响应于目标,谐振阻抗53变化,这导致了谐振状态的相应变化。根据本发明的各个方面,负阻抗控制回路通过控制负阻抗级120所提供的负阻抗做出响应以基本抵消谐振阻抗,并且维持谐振状态使之符合稳态振荡。谐振阻抗53的变化(谐振状态)被表示为负阻抗级120的输出121的变化。作为响应,负阻抗控制级130生成负阻抗控制信号139以便控制由负阻抗级120所提供的负阻抗从而维持稳态振荡。该负阻抗控制信号符合传感器响应数据,所述传感器响应数据量化维持稳态振荡所需的受控负阻抗并且表示传感器对目标的响应。

[0026] 一般,负阻抗控制回路的带宽将基本上低于谐振频率。闭合阻抗控制回路实现对于任何非零谐振状态的控制并且维持恒定的振荡振幅,这有利于低压应用。

[0027] 对于图1A中的示例功能性实施例,负阻抗控制回路被说明为控制谐振器振荡振幅。具体来说,传感器数据转换器100可以被配置为基于谐振器振荡振幅的变化来控制被提供给谐振传感器50的负阻抗55。即,由响应于目标的谐振阻抗53的变化而造成的谐振器51

谐振状态的变化被反映为谐振器振荡振幅的变化。

[0028] 传感器数据转换器100和负阻抗控制回路进行操作以便根据谐振阻抗变化的测量值来检测谐振器振荡振幅(谐振状态)的变化。响应于谐振器振荡振幅的变化来控制负阻抗级120以调节被提供给谐振器51的负阻抗55,并且进而调节谐振器振荡振幅以维持稳态振荡。

[0029] 负阻抗控制级130可以被功能性地实施为谐振器振幅检测和控制方块131,所述控制方块131包含谐振器振幅检测133和负阻抗控制135。谐振器振幅检测133检测被表示为负阻抗级120的输出121的谐振器振荡振幅。负阻抗控制135基于(a)由谐振器振幅检测133检测出的谐振器振荡振幅与(b)符合稳态振荡下得谐振器振荡振幅的基准振幅信号间的差值来生成负阻抗控制信号139。

[0030] 谐振器振幅检测和控制方块131的输出将负阻抗控制信号139回路地返回负阻抗级120以便控制负阻抗,所述负阻抗符合由传感器转换器100输出的传感器数据。具体来说,负阻抗被控制以便当谐振阻抗响应于目标而变化时基本抵消谐振阻抗,进而维持谐振器振荡振幅基本恒定以实现符合稳态振荡的谐振状态。结果,与稳态振荡相关联的受控负阻抗被量化为传感器响应数据,所述传感器响应数据表示了传感器对目标的响应。

[0031] 因此,根据本发明的方面,谐振阻抗感测包含:(a)生成被提供给传感器的受控负阻抗;(b)基于检测到的谐振状态控制负阻抗以基本抵消传感器谐振阻抗,从而使传感器谐振状态符合稳态振荡,其中负阻抗被包括作为回路滤波器的传感器谐振器的负阻抗控制回路控制;以及(c)基于受控负阻抗提供传感器响应数据,从而使得传感器响应数据表示了传感器对目标的响应。

[0032] 图2示出与谐振传感器50连接的谐振阻抗感测的示例功能性实施例,谐振传感器50被配置为具有LC谐振器51和由串联电阻 R_s 表示的谐振阻抗53的感应感测。被耦接到谐振传感器50的传感器数据转换器200包括负阻抗级220和负阻抗控制级230。

[0033] 负阻抗级220被功能性地实施为跨导纳放大器223,其控制电流源225,电流源225提供励磁电流驱动给谐振传感器(谐振器51)。跨导纳放大器223被实施为具有可变(连续)可控 g_m ,具有正反馈回路以产生负阻抗/电阻。阻抗控制级230被配置以提供作为 g_m 控制信号的负阻抗控制信号239, g_m 控制信号调制(调谐)跨导纳 g_m ,进而用结合图1A如上所述的方式控制负阻抗。所述 g_m 控制信号符合表示了传感器响应的传感器响应数据,传感器响应由传感器数据转换器200捕获/转换。在替换的功能性实施例中,负阻抗级220可以被实施为具有恒定 g_m 和可变可控电流源的跨导纳放大器,所述可变可控电流源被负阻抗控制信号(正反馈)控制。

[0034] 图3示出了与LC谐振传感器连接的谐振阻抗感测的示例功能性实施例,LC谐振传感器包括LC谐振器和由串联电阻 R_s 表示的谐振阻抗53。被耦接到谐振传感器50的传感器数据转换器300包括负阻抗级320和负阻抗控制级330。

[0035] 负阻抗级320使用跨导纳放大器323和提供励磁电流驱动给谐振传感器(谐振器51)的电流源325来实施。跨导纳放大器323被配置为在两个离散的跨导纳水平($g_{m_低}$ 和 $g_{m_高}$)之间切换,并且具有正反馈回路以产生负阻抗。阻抗控制级330被配置为提供负阻抗控制信号339,如 $g_{m_低}$ /高控制信号,其通过在跨导纳水平之间切换来调制(调谐)跨导纳 g_m ,进而用结合图1A在上文所述的方式控制负阻抗。在该示例实施例中, $g_{m_低}$ /高控制信号的

时间均值构成传感器响应数据,传感器响应数据表示由传感器数据转换器300捕获/转换的传感器响应(量化维持稳态振荡所需的受控负阻抗)。

[0036] 对于该示例实施例,其中负阻抗级320被实施为两级($g_{m_低/高}$)跨导纳放大器,并且其中负阻抗控制回路基于谐振器振荡振幅,如结合图1A所述的,其设计目的是作为根据由传感器/目标的交互作用而产生的谐振器电阻(阻抗) $R_p=L/(C R_s)$ 的变化的测量来测量谐振器振荡振幅(谐振状态)的变化。控制负阻抗(电阻)的方法是根据 $g_m * R_s = 1$ 来调谐 g_m ,从而使得 $-1/g_m$ 表示将谐振器振荡振幅维持在基本恒定的稳态振荡所需的负电阻(阻抗): (a) 当 $g_m = g_{m_高}$ 时,谐振器振荡振幅增加,以及(b) 当 $g_m = g_{m_低}$ 时,谐振器振荡振幅减小,从而使得(c) 在稳态振荡下, g_m 有效地等于 $1/R_p$ 并且谐振器振荡振幅基本上恒定(注意,一般负阻抗控制回路带宽将基本小于谐振频率)。即,对于该示例实施例,负阻抗(谐振器振荡振幅)控制回路在离散的 $g_{m_低/高}$ 之间切换以保持谐振器振荡振幅基本恒定在稳态状态振荡。

[0037] 在替换的功能性实施例中,负阻抗级320可以用具有恒定 g_m 的跨导纳放大器和提供两个或多个离散电流驱动水平的离散励磁电流源来实施,其中离散电流驱动水平在由负阻抗控制信号(正反馈)控制的离散电流驱动水平之间切换。图5和图6一起描述了示例实施例,其中基于离散电流驱动从而实施了受控负阻抗。

[0038] 离散 g_m 控制信号339可以被转化成与传感器响应对应的数字传感器读数,诸如通过对离散 $g_{m_低/高}$ 控制比特流的数字滤波。即,负阻抗控制回路基于生成在时间上连续地施加的预定数量的离散负阻抗,基于负阻抗($g_{m_低/高}$)控制信号139,从而使得传感器响应数据符合被提供给谐振传感器50的时间平均负阻抗。

[0039] 对于图3中的示例实施例,离散 g_m 控制被示出为两级 g_m 控制, $g_{m_低/高}$,与图2中示出的实施例内可变的 g_m 控制形成对比。通过设计改进,离散 g_m 控制可以被实施为大于两个的数个水平,例如,以增加准确度并且减小量化噪声。

[0040] 图4示出了负阻抗级420的示例实施例,负阻抗级420被实施为基于线性A或AB类放大器配置的跨导纳放大器423。跨导纳放大器423包括离散 $g_{m_低/高}$ 控制。对于负阻抗级来说,A或AB类实施例的优点是其高线性度,避免了生成更高的谐波。在用线性放大器实施负阻抗级的设计考虑是功率消耗,考虑到跨导纳放大器423中使用的放大器肯定具有比谐振频率大体上更高的带宽。

[0041] 图5示出了包括负阻抗级520和负阻抗控制级530的传感器数据转换器500的示例功能性实施例。负阻抗级520被实施为通过接地参考H桥(ground-referenced H-bridge) S1/S2连接到谐振传感器50的D类跨导纳放大器521。D类跨导纳放大器521包括比较器523和提供电流驱动给谐振传感器50(谐振器51)的电流源525。

[0042] 对于该示例实施例,通过在由来自负阻抗控制级530的离散 $g_{m_低/高}$ 控制信号539控制的离散电流驱动水平(I_{min}/I_{max})之间切换,电流源525通过接地参考H桥S1/S2提供离散(I_{min}/I_{max})励磁电流驱动。比较器523对H桥整流,以将传感器谐振器51的正侧(positive side)连接到励磁电流源525,并且将谐振器51的负侧(negative side)接地。当谐振器51改变极性时,比较器相应地改变H桥的S1/S2的状态以将谐振器51的正侧维持为比较器523的非反相输入(正反馈),其中反相输入在地处。

[0043] 当被施加给比较器523的输入端(反相/非反相)时,离散电流源525的电流脉冲输

出的时间均值符合从谐振器51输出的谐振器振荡振幅。当电流源525输出 I_{max} 电流驱动时,谐振器振荡振幅增加,并且当电流源525输出电流驱动 I_{min} 时,谐振器振荡振幅减小。

[0044] 因此,控制谐振器极性控制正反馈(比较器523的非反相输入),这导致被提供给谐振器51的受控负阻抗。该受控负阻抗抵抗(counter)谐振阻抗53(R_s)以便维持稳态振荡。总之, I_{min}/I_{max} 表示D类跨导纳放大器的增益。

[0045] 对于跨导纳放大器来说,D类放大器实施例的优点包括低功率的D类操作。接地参考H桥驱动器的优点包括通过消除主动共模调节节省了功率。

[0046] 图6示出了被配置为感应感测的谐振传感器系统60的示例实施例,其包括被连接到电感数字转换器(LDC)600的LC谐振传感器50。LC谐振传感器包含LC谐振器51和由 R_s 表示的谐振阻抗53。

[0047] LDC 600用受控负阻抗实施谐振阻抗感测,根据传感器响应数据捕获/转换谐振传感器50对目标的响应。LDC 600包括负阻抗级620和负阻抗控制级630。如结合图1A所述的,负阻抗级620、负阻抗控制级630以及负阻抗控制信号639建立了负阻抗控制回路,该负阻抗控制回路控制被提供给谐振传感器50(谐振器51)的负阻抗。该负阻抗控制回路包括谐振传感器50(谐振器51)。

[0048] LDC 600根据谐振状态的变化(谐振器振荡振幅)检测由于目标交互作用而产生的谐振阻抗(R_s)的变化,并且通过控制被提供给谐振传感器的负阻抗使谐振阻抗感测发生以抵消谐振器振荡振幅的变化且维持稳态振荡。即,受控负阻抗基本抵消了谐振阻抗53,这维持了符合稳态振荡的谐振状态(谐振器振荡振幅和谐振频率)。抵消谐振阻抗以维持稳态振荡的受控负阻抗被量化为符合传感器对目标的响应的传感器响应数据。

[0049] LDC 600被配置为检测由谐振传感器50与目标的交互作用所引起的谐振状态的谐振器振荡振幅分量(component)的变化。负阻抗级620被实施为D类H桥(接地参考)放大器配置。D类跨导纳放大器621包括比较器623和离散的DAC电流驱动625。D类跨导纳放大器621和负阻抗控制回路被配置为提供负电阻 $-R_p = -L/(C R_s)$ 给传感器50,所述负电阻被控制以基本抵消传感器电阻(阻抗) R_s ,从而通过抵消由于目标交互作用而产生的谐振器振荡振幅的变化,将谐振器振荡振幅(谐振状态)维持在稳态振荡。

[0050] 此外,参考图5和相关描述,包括离散电流源DAC 623的D类跨导纳放大器621被控制以向LC谐振器51提供离散的 I_{min}/I_{max} 励磁电流驱动。DAC电流源625响应于来自负阻抗控制级630内的量化器637的离散 g_m 低/高控制信号639,通过接地参考H桥S1/S2提供离散(I_{min}/I_{max})励磁电流驱动。比较器623对H桥整流以提供正反馈,进而将传感器谐振器51的正侧连接到DAC电流源625,并且将谐振器51的负侧接地。

[0051] 来自DAC电流源625的离散 I_{max}/I_{min} 电流驱动被谐振传感器50在时间上均分,这在负阻抗控制回路中起到回路滤波器的作用。即,当被施加到比较器623的输入端(反相/非反相)时,DAC电流源625的电流脉冲输出的时间均值符合来自谐振器51的输出的谐振器振荡振幅。

[0052] R_{pmin} 和 R_{pmax} 可以被用于规定谐振传感器50的操作范围。作为示例设计改进, g_m 量化控制可以被增加到多于两个水平,其中相应地增加对于 g_m 控制信号639的量化。

[0053] 谐振传感器50在求和节点处被包含在负阻抗控制回路内,其中传感器的正谐振阻抗与LDC 600的控制回路的负阻抗对比。这种配置的优点包含:(a)实现谐振阻抗的直接测

量而不是测量与之相关的参数；(b) 例如，因为传感器的恒定谐振器振荡振幅表明了由传感器生成的磁通量的恒定振幅，所以可以基本消除与磁芯的非线性度；(c) 因为控制回路的瞬态响应跟踪传感器的瞬态响应，所以可以为传感器优化LDC的瞬态响应；以及(d) 通过传感器来减弱来自LDC (D类) 的量化噪音。

[0054] D类放大器621可以通过具有接地参考H桥输入接口的D类OTA(操作跨导放大器) 来实施。将负阻抗级实施为跨导纳放大器允许通过电阻器来定义负阻抗，其相对于晶体管具有低温系数，进而减轻了温度漂移。

[0055] 负阻抗控制级630使用积分器631来实施，积分器631包括积分 R_{int}/C_{int} 。积分器631为由DAC电流源625施加的谐振器电流驱动提供额外的过滤。这种额外的过滤不仅是设计选择，而且具有减小量化噪音的优点。

[0056] 谐振器振荡振幅电压632被输入到负阻抗控制级630和积分器631，通过缓冲器633以避免加载谐振器51。该检测到的谐振器振荡振幅电压被 R_{int} 转换成电流，并且减去基准电流633(相当于图1A中的 V_{ref})。所产生的谐振器振荡振幅电流被积分器631和 R_{int}/C_{int} 积分。

[0057] 稳定控制电路635被包括以便通过将来自谐振振幅电压输入的零配置到积分器来增强稳定性，这可用于补偿由谐振传感电容器和积分电容器 C_{int} 引入的电极。

[0058] 来自积分器631积分输出加上636稳定控制电路635的前馈输出，并且结果被量化器637量化为 $g_{m_低/高}$ (阻抗)控制信号639。量化后的 $g_{m_低/高}$ 控制信号被输入到DAC电流驱动625以生成被注入到谐振传感器50内励磁电流 I_{min}/I_{max} 。

[0059] 量化器637输出离散 $g_{m_低/高}$ 控制信号639。量化器637被实施为比较器，其中比较器输出水平符合 $g_{m_低/高}$ 阻抗水平，所述 $g_{m_低/高}$ 阻抗水平针对跨导纳放大器621而被配置，即，针对 I_{min}/I_{max} 被注入谐振器电流。

[0060] 从量化器637输出的阻抗($g_{m_低/高}$)控制信号639是由负阻抗控制级630基于检测到的谐振器振荡振幅而生成的，从而使得负阻抗级620的受控负阻抗基本抵消谐振传感器50的谐振阻抗(R_p) 53，并且维持输出谐振器振荡振幅基本恒定。结果，因为其表示了维持谐振器振荡振幅基本恒定(稳态振荡振幅)所需的负阻抗，所以阻抗控制信号639符合谐振传感器50对目标的响应。

[0061] D类跨导纳放大器621内的比较器623的输出624与谐振器频率(稳态振荡时的谐振频率)一致，其中该输出624被用于对H桥S1/S2整流，且。即，比较器输出624提供谐振器频率的测量值(开环)。并且，如上指出的，传感器谐振器的谐振状态的特征是谐振器振荡振幅和频率。

[0062] 将谐振状态维持在稳态振荡所需的受控负阻抗，其来源于传感器/目标交互作用所产生的谐振器振荡振幅的变化，且符合作为负阻抗控制回路的输出的从LDC 600可以得到的传感器响应数据。即，控制由负阻抗级620提供给谐振传感器的负阻抗的负阻抗控制信号639构成了量化受控负阻抗的传感器响应数据。

[0063] 谐振频率624提供额外的传感器响应数据，其可以被用于处理并且确定谐振传感器响应(例如，进行温度补偿)。

[0064] 根据本发明，针对谐振阻抗感测实施例的应用可以包括：(a) 轴向位置感测，其中传感器对目标的响应符合目标相对于传感器的轴向位置和/或取向；(b) 横向位置感测，其

中传感器响应取决于暴露给由传感器生成的磁通量的部分目标区域;以及(c)磁阻抗调制,其中传感器响应基于磁路磁阻抗的调制。

[0065] 根据本发明,谐振阻抗感测的优点包括:(a)准确度,因为传感器/谐振器谐振阻抗被直接测量,而不是与之相关的参数,所以可以得到更高的准确度;(b)温度独立性,因为匹配的负阻抗是温度独立的,所以只保持谐振传感器的漂移;以及(c)高密度CMOS的集成-传感器/谐振器阻抗感测方法可以通过使用低恒定谐振振幅而被应用,从而实现高密度CMOS的集成,并且允许谐振传感器的高级信号处理和温度修正,这尤其有利于感应(涡流)感测应用。

[0066] 图7A和7B根据所声明发明的各个方面示出了谐振阻抗感测的示例应用。图7A示出了示例谐振阻抗感测应用,其中谐振传感器50对目标701的响应基于传感器相对于目标的轴向(z轴)位置。图7B示出了示例谐振阻抗感测应用,其中具有一个或多个传感器(线圈)50a和50b的谐振传感器50对一个或多个相应目标703a和703b的响应基于谐振传感器相对于各个目标的横向(xy轴)位置。在每种应用中,当传感器相应数据与由转换器生成的受控负阻抗一致且因此表示了传感器对目标的响应时,通过传感器数据转换器(诸如,图6内示出的LDC600)可以捕获/转换谐振传感器对目标的响应。

[0067] 本领域技术人员将会意识到可以对所述实施例做出修改,并且也意识到在所声明的发明的范围内的许多其他实施例是可能的。

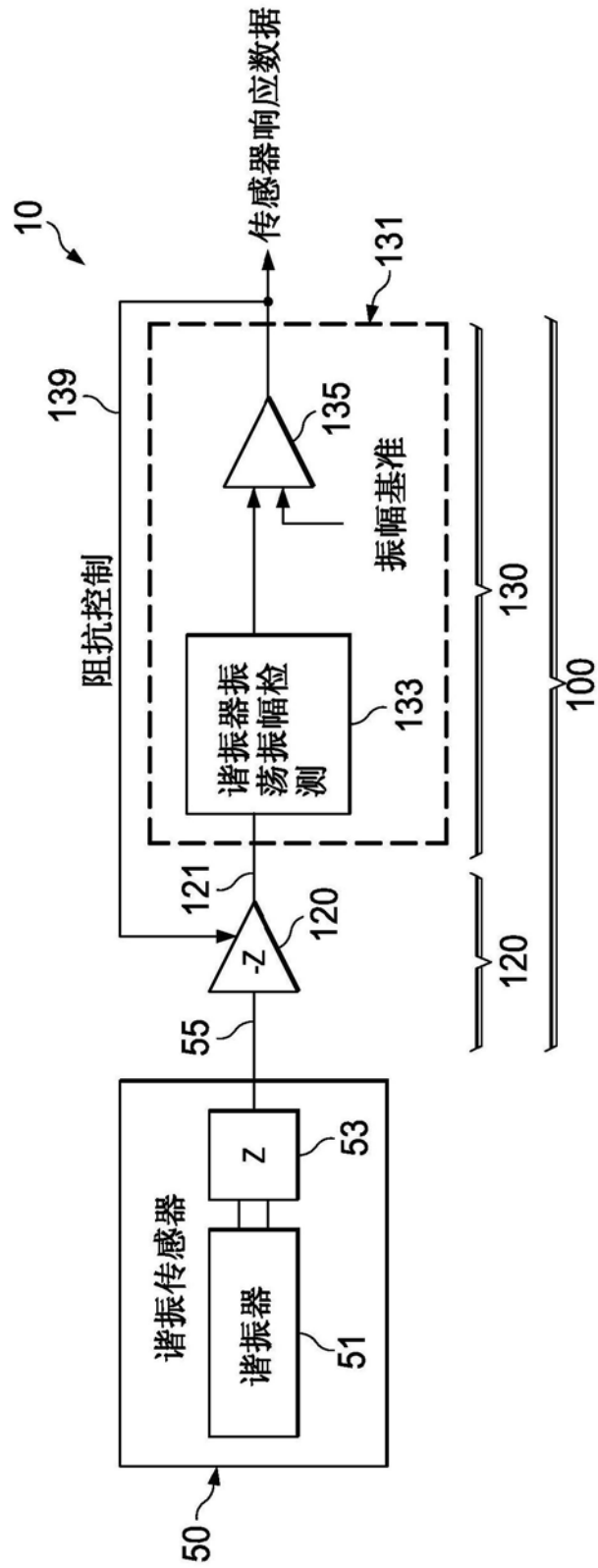


图1A

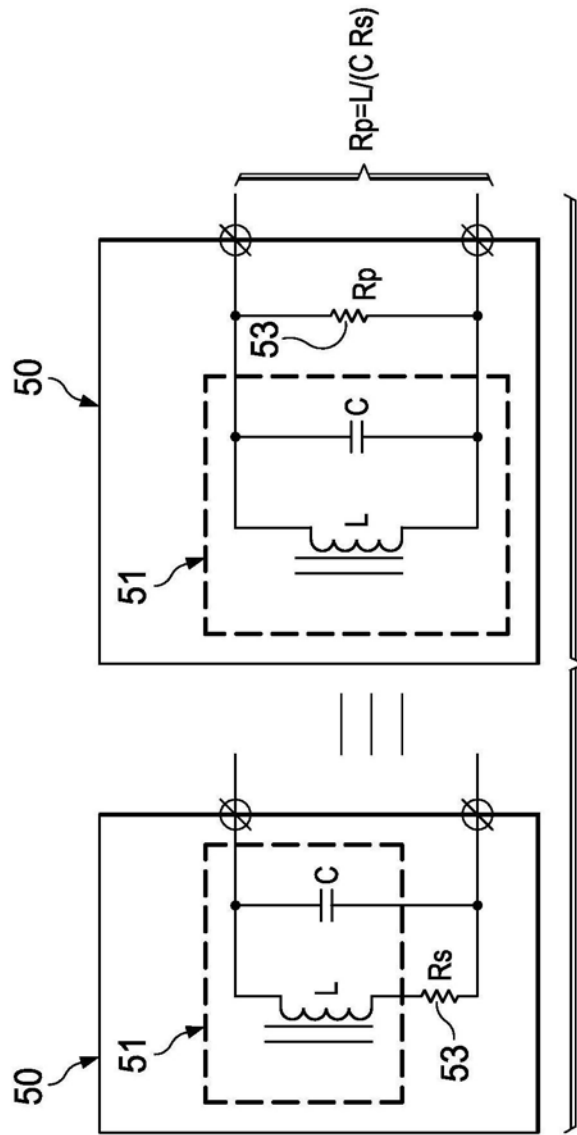


图1B

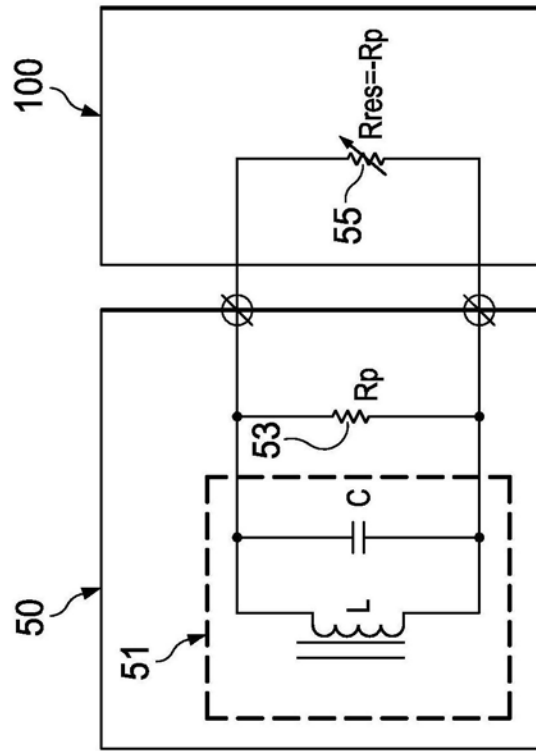


图1C

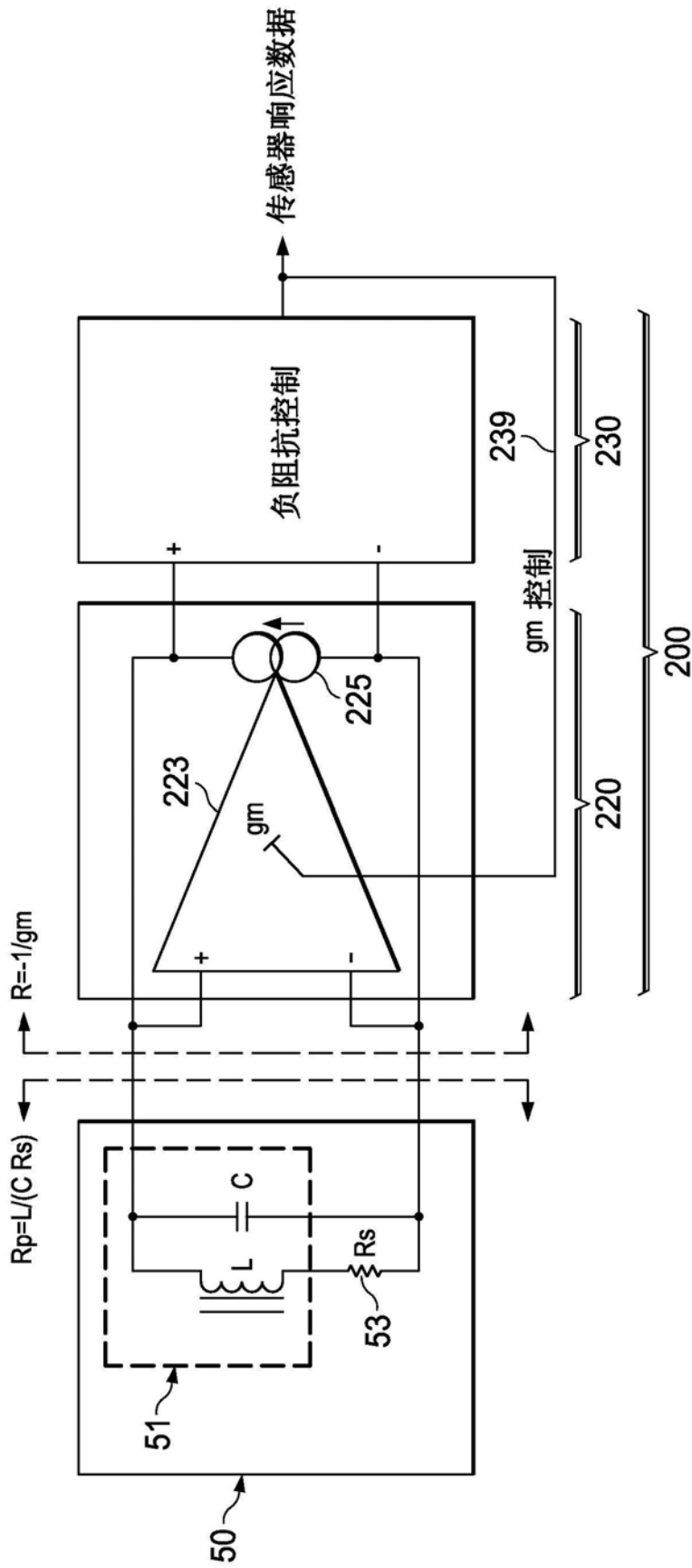


图2

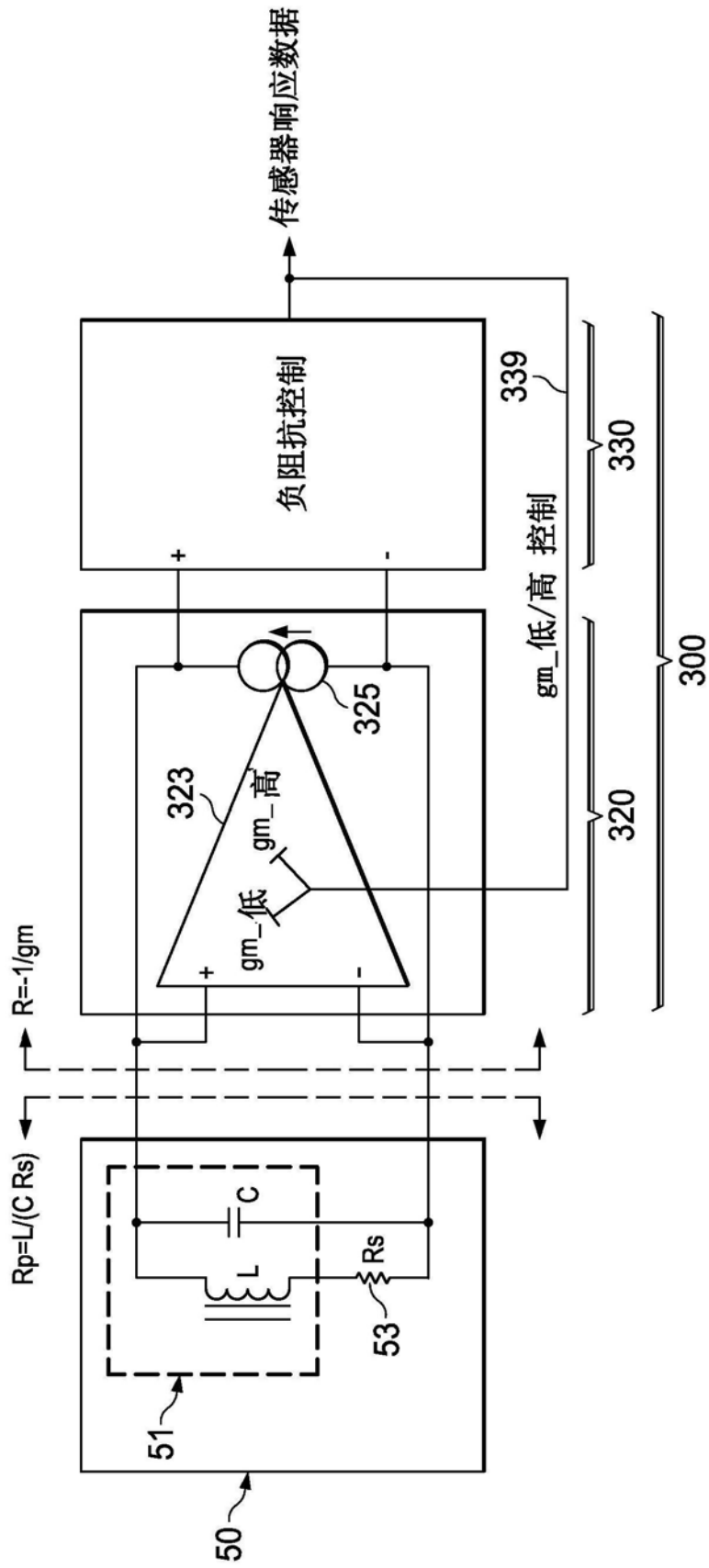


图3

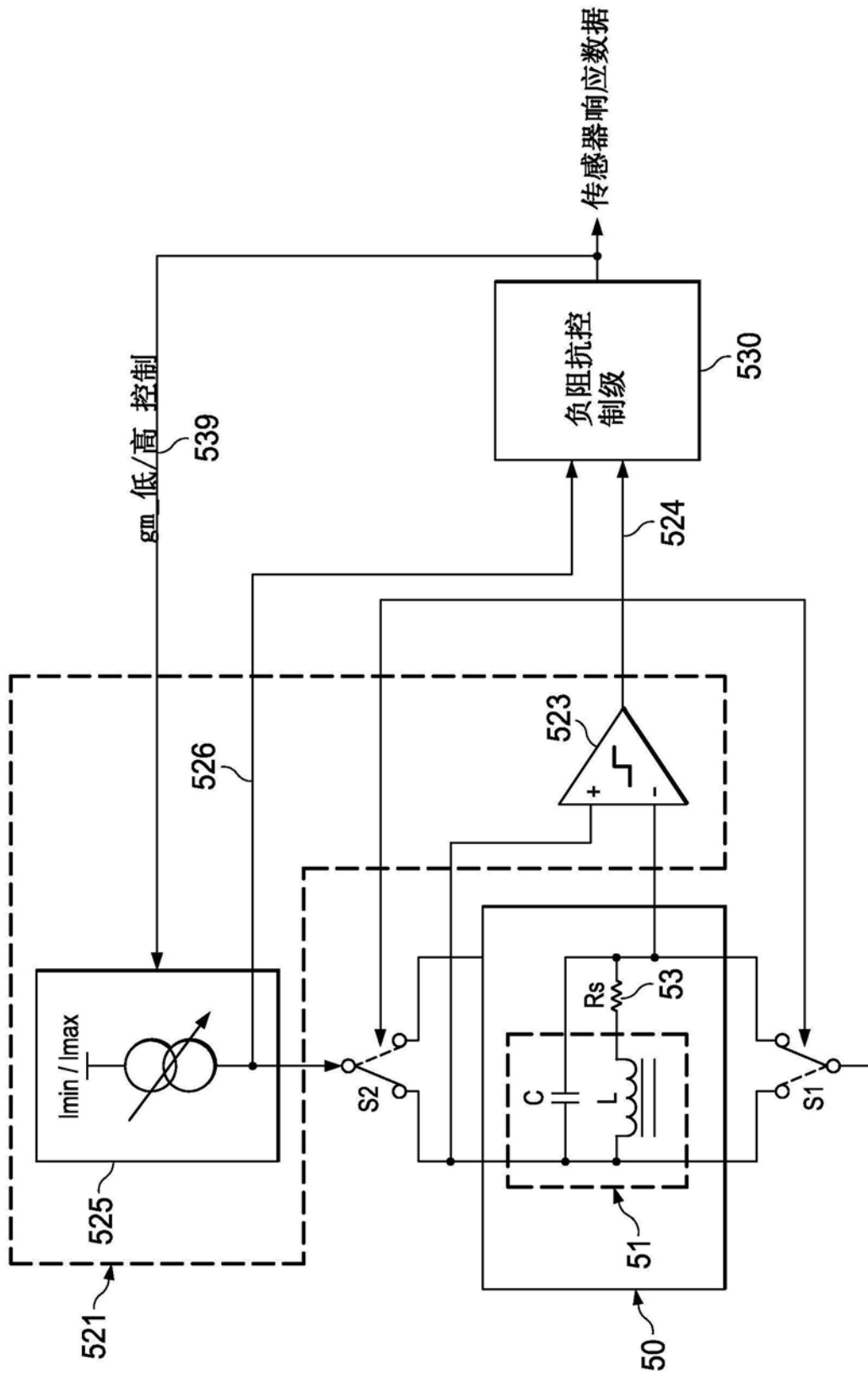


图5

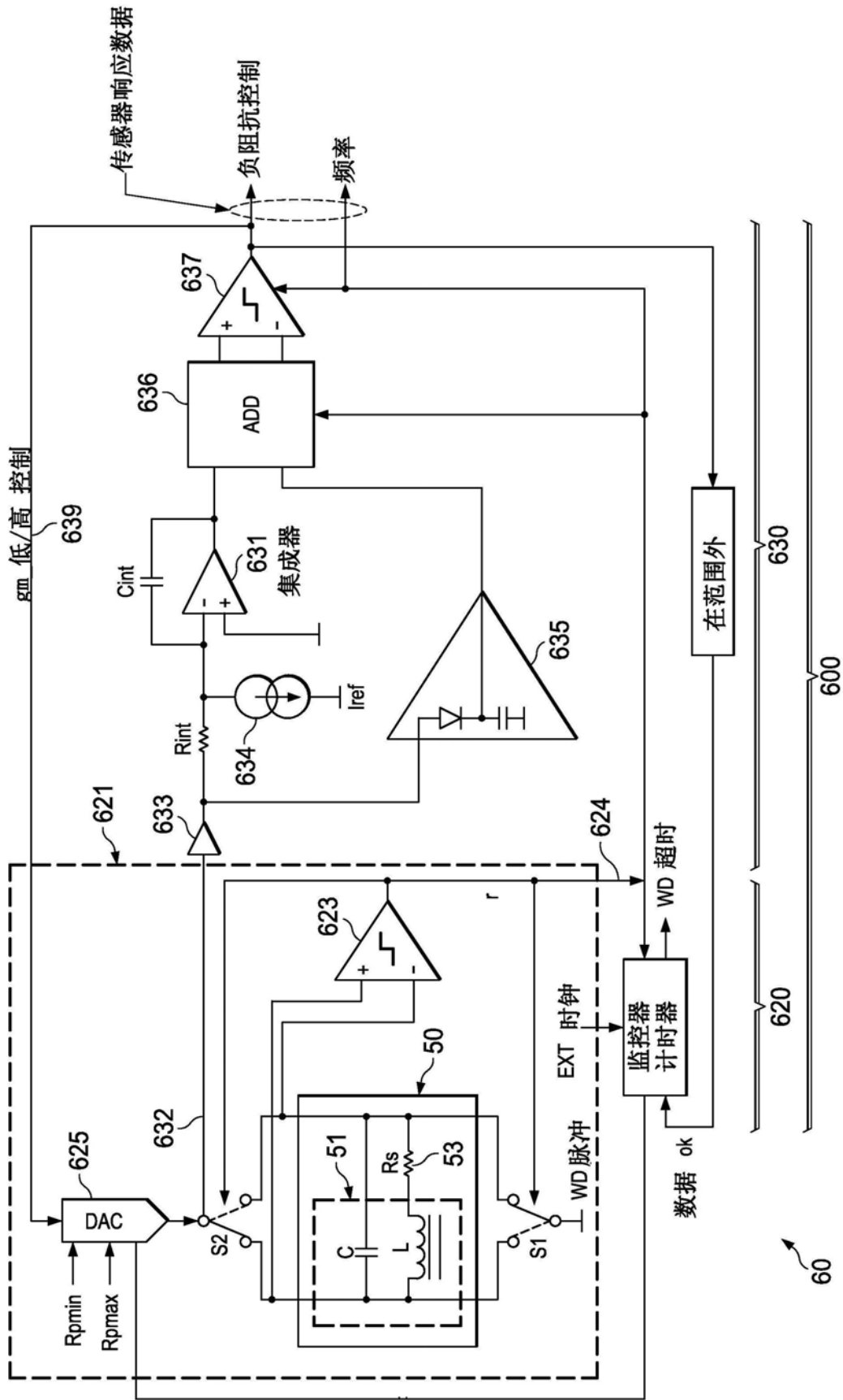


图6

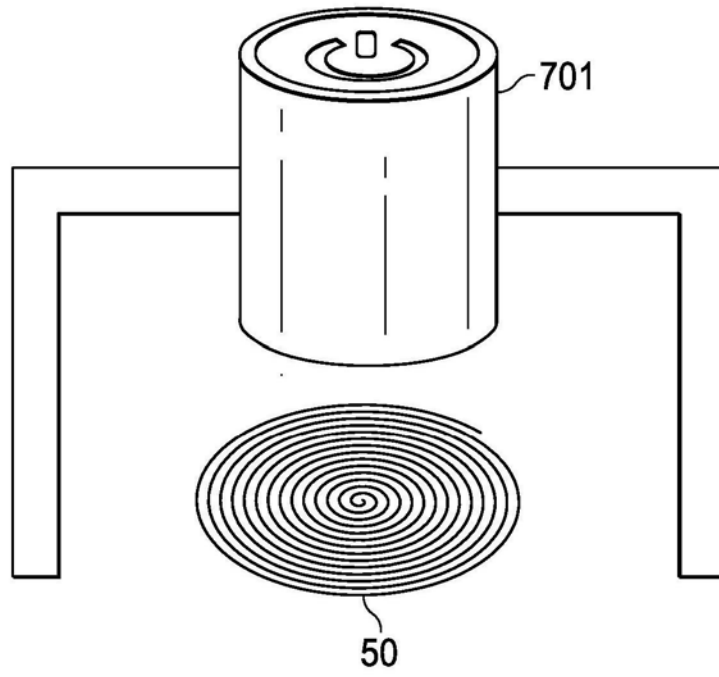


图7A

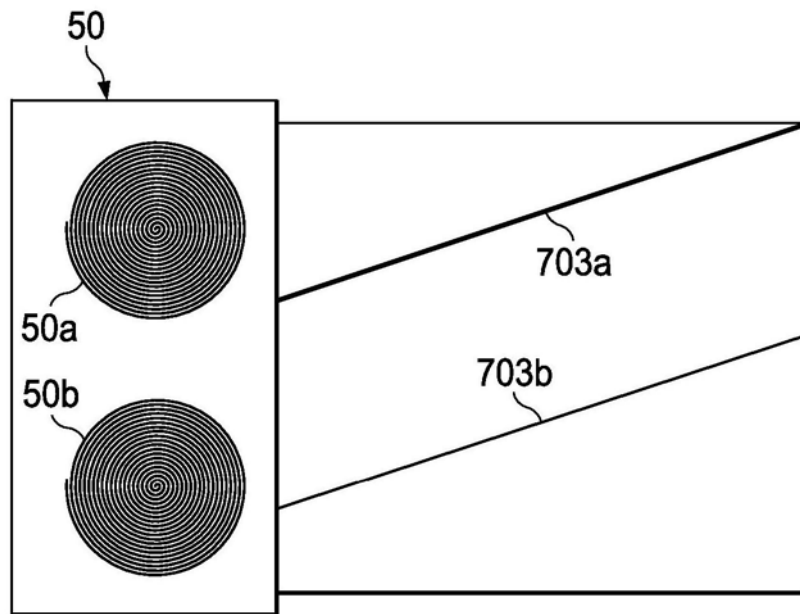


图7B