



(10)授权公告号 CN 105874339 B

(45)授权公告日 2019.05.21

(72)发明人 G·P·瑞兹玛

(74) 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245

代理人 徐东升 赵蓉民

(51) Int.Cl.

G01R 27/02(2006.01)

(56)对比文件

CN 102230948 A, 2011.11.02,

CN 102495374 A, 2012.06.13,

US 5602711 A, 1997.02.11,

US 2013314077 A1, 2013.11.28.,

US 2008074114 A1, 2008.03.27.,

US 2008197839 A1, 2008.08.21,

审查员 陈梦慧

权利要求书3页 说明书5页 附图2页

地址 美国德克萨斯州

权利要求书3页 说明书5页 附图2页

权利要求书3页 说明书5页 附图2页

权利要求书3页 说明书5页 附图2页

1. 一种电感到数字转换电路即IDC电路,其适用于谐振电感式感测,其中谐振器以谐振器振荡振幅和谐振器振荡频率为特征,并且在谐振时以响应于感测条件而变化的谐振阻抗为特征,所述电路包含:

负阻抗电路系统,其包括:D类比较器,其被配置为接收谐振器振荡电压并提供D类开关输出D_clk,所述D类开关输出D_clk具有被同步到所述谐振器振荡频率的频率;离散电流源,其被配置为基于对应于受控负阻抗的离散回路控制信号输出具有离散电流水平的离散驱动电流;和H桥电路系统,其被配置为联接所述离散电流源至所述谐振器,并由D_clk控制以同步所述离散驱动电流与所述谐振器振荡电压,使得所述离散驱动电流的时间平均值对应于谐振器振荡振幅;和

回路控制电路系统,其包含所述谐振器作为回路滤波器,并且包括:振幅采样电路系统,其由D_clk记时,并且被配置为将所述谐振器振荡振幅转换为振幅样本;以及输出比较器,其由D_clk记时,并且被配置为基于所述振幅样本和振幅基准的比较输出所述离散回路控制信号,使得所述受控负阻抗基本上抵消谐振阻抗,由此维持对应于稳态振荡的基本恒定的谐振器振荡振幅。

2. 根据权利要求1所述的电路,其中所述输出比较器是单比特比较器,其输出两级gm_低/gm_高回路控制信号,并且其中所述离散电流源基于所述gm_低/gm_高控制信号输出gm_低和gm_高驱动电流电平。

3. 根据权利要求1所述的电路,其中所述离散电流源是电流DAC。

4. 根据权利要求1所述的电路,其中所述振幅采样电路系统包括:振幅检测电路系统,其产生对应于所述谐振器振荡振幅的检测的振幅信号;和采样/维持电路系统,其对所述检测的振幅信号进行采样并提供所述振幅样本。

5. 根据权利要求4所述的电路,其中所述回路控制电路系统进一步包括缓冲电路,其被配置为缓存所述谐振器振荡振幅以便输入至所述振幅检测电路系统。

6. 根据权利要求1所述的电路,其进一步包含传感器输出电路系统,其被配置为输出对应于所述离散回路控制信号的传感器响应数据,所述离散回路控制信号表示所述受控负阻抗。

7. 根据权利要求6所述的电路,其进一步包含频率估计电路系统,其被配置为将D_clk转换为对应于谐振器振荡频率的频率信号,其中所述传感器输出电路系统被配置为输出对应于所述离散回路控制信号的传感器响应数据和所述频率信号。

8. 一种电感到数字转换电路即IDC电路,其适用于谐振电感式感测,其中谐振器以谐振器振荡振幅和谐振器振荡频率为特征,并且在谐振时以响应于感测条件而变化的谐振阻抗为特征,所述电路包含:

负阻抗电路系统,其被配置为基于对应于受控负阻抗的离散回路控制信号使用具有离散电流电平的离散驱动电流来驱动所述谐振器;和

回路控制电路系统,其包含所述谐振器作为回路滤波器,并且被配置为基于谐振器振荡振幅产生所述离散回路控制信号,使得所述受控负阻抗基本上抵消谐振阻抗,由此维持对应于稳态振荡的基本恒定的谐振器振荡振幅;

所述负阻抗电路系统包括:D类比较器,其被配置为接收谐振器振荡电压,并且提供D类开关输出D_clk,所述D类开关输出D_clk具有被同步到所述谐振器振荡频率的频率;离散电

流源,其被配置为将所述离散回路控制信号转换为所述离散驱动电流;以及H桥电路系统,其被配置为联接所述离散电流源至所述谐振器,并且由D_clk控制以将所述离散驱动电流与所述谐振器振荡电压同步,使得所述离散驱动电流的时间平均值对应于所述谐振器振荡振幅;并且

所述回路控制电路系统包括:振幅采样电路系统,其由D_clk记时并且被配置为将所述谐振器振荡振幅转换为振幅样本;以及输出比较器,其由D_clk记时并且被配置为基于所述振幅样本和振幅基准之间的比较输出所述离散回路控制信号。

9.根据权利要求8所述的电路,其中所述输出比较器是单比特比较器,其输出两级gm_低/gm_高回路控制信号,并且其中所述离散电流源基于所述gm_低/gm_高控制信号输出gm_低和gm_高驱动电流电平。

10.根据权利要求8所述的电路,其中所述离散电流源是电流DAC。

11.根据权利要求8所述的电路,其中所述振幅采样电路系统包括:振幅检测电路系统,其根据所述谐振器振荡振幅产生检测的振幅信号;以及采样/维持电路系统,其对所述检测的振幅信号进行采样并且提供所述谐振器振荡振幅样本。

12.根据权利要求11所述的电路,其中所述回路控制电路系统进一步包括缓冲电路,其被配置为缓存所述谐振器振荡振幅以便输入至所述振幅检测电路。

13.根据权利要求8所述的电路,其进一步包含传感器输出电路系统,其被配置为输出对应于所述离散回路控制信号的传感器响应数据,所述离散回路控制信号表示所述受控负阻抗。

14.根据权利要求13所述的电路,其进一步包含频率估计电路系统,其被配置为将D_clk转换为对应于所述谐振器振荡频率的频率信号,其中所述传感器输出电路系统被配置为输出对应于所述离散回路控制信号的传感器响应数据和所述频率信号。

15.一种适用于谐振感应式感测的感应式感测系统,其包含:

谐振器,其以谐振器振荡振幅和谐振器振荡频率为特征,并且在谐振时以响应于感测条件而变化的谐振阻抗为特征;和

电感到数字转换单元,其耦合到所述谐振器,所述电感到数字转换单元包括负阻抗电路系统和回路控制电路系统;

其中所述负阻抗电路系统包括:D类比较器,其被配置为接收谐振器振荡电压,并且提供D类开关输出D_clk,所述D类开关输出D_clk具有被同步到所述谐振器振荡频率的频率;离散电流源,其被配置为基于对应于受控负阻抗的离散回路控制信号输出具有离散电流电平的离散驱动电路;以及H桥电路系统,其被配置为联接所述离散电流源至所述谐振器,并且由D_clk控制以将所述离散驱动电流与所述谐振器振荡电压同步,使得所述离散驱动电流的时间平均值对应于所述谐振器振荡振幅;并且

其中所述回路控制电路系统包含所述谐振器作为回路滤波器,并且包括:振幅采样电路系统,其由D_clk记时并且被配置为将所述谐振器振荡振幅转换为振幅样本;以及输出比较器,其由D_clk记时并且被配置为基于所述振幅样本和振幅基准的比较输出所述离散回路控制信号,使得所述受控负阻抗基本上抵消谐振阻抗,由此维持对应于稳态振荡的基本恒定的谐振器振荡振幅。

16.根据权利要求15所述的系统,其中所述输出比较器是单比特比较器,其输出两级

gm_低/gm_高回路控制信号,并且其中所述离散电流源包含电流DAC,其基于所述gm_低/gm_高控制信号输出gm_低和gm_高驱动电流电平。

17.根据权利要求15所述的系统,其中所述振幅采样电路系统包括:振幅检测电路系统,其根据所述谐振器振荡振幅产生检测的振幅信号;以及采样/维持电路系统,其对所述检测的振幅信号进行采样并且提供所述谐振器振荡振幅样本。

18.根据权利要求17所述的系统,其中所述回路控制电路系统进一步包括缓冲电路,其被配置为缓存所述谐振器振荡振幅以便输入至所述振幅检测电路系统。

19.根据权利要求15所述的系统,其进一步包含传感器输出电路系统,其被配置为输出对应于所述离散回路控制信号的传感器响应数据,所述离散回路控制信号表示所述受控负载阻抗。

20.根据权利要求19所述的系统,其进一步包含频率估计电路系统,其被配置为将D_clk转换为对应于谐振器振荡频率的频率信号,其中所述传感器输出电路系统被配置为输出对应于所述离散回路控制信号的传感器响应数据和所述频率信号。

利用负阻抗控制回路的谐振阻抗感测

技术领域

[0001] 本发明总体涉及感应式传感器,并且具体涉及谐振感应式传感器和感测,例如其能够被用在感测位置、邻近性或者物理状态或条件中。

背景技术

[0002] 谐振传感器包括被配置为在谐振状态(谐振频率和振幅)下操作的谐振器。传感器电子设备通过与谐振器振荡电压同步的AC励磁电流来驱动谐振器以维持谐振(稳态谐振),从而克服由谐振器阻抗(例如串联/并联电阻 R_s/R_p)表示的谐振器损耗因子。例如,在感应式感测的情况下,谐振器包括感应式感测线圈,其在谐振下操作时发射磁感测场。

[0003] 谐振感测基于谐振状态的变化,该谐振状态的变化由诸如谐振器振幅和频率的变化来表示,该谐振器振幅和频率的变化是谐振器阻抗响应于传导性目标而变化所产生的。例如,在感应式感测的情况下,谐振受到从感应式感测线圈输出的发射磁通量能量的存储或损失的影响,该存储或损耗诸如由与传导性目标相关联的涡流效应引起。该传感器响应表现为谐振器阻抗(损耗因子 R_s/R_p)的变化。

发明内容

[0004] 所描述的示例涉及使用谐振传感器的感测的问题,例如用于感测位置、邻近性或物理状态或条件。所描述的示例包括用于通过负阻抗控制回路进行谐振阻抗感测的装置和方法,该负阻抗控制回路包含谐振器作为回路滤波器,并且包括利用D类比较器实现的D类负阻抗级和利用由D类比较器同步的输出比较器实现的控制回路级。

[0005] 根据示例方面,一种谐振阻抗感测系统包括谐振器和电感到数字转换(IDC)单元。谐振器以谐振器振荡振幅和频率为特征,并且在谐振时以响应于感测条件而变化的谐振阻抗(损耗因子)为特征。IDC电路包括负阻抗电路系统和回路控制电路系统。

[0006] 负阻抗电路系统包括D类比较器和通过H桥电路系统联接到谐振器的离散电流源。D类比较器被配置为接收谐振器振荡电压并且提供D类开关输出 D_clk ,该D类开关输出 D_clk 具有被同步到谐振器振荡频率的频率。离散电流源被配置为基于对应于受控负阻抗的离散回路控制信号输出具有离散电流电平的离散驱动电流。H桥电路系统由 D_clk 控制,以同步离散驱动电流和谐振器振荡电压,使得离散驱动电流的时间平均值对应于谐振器振荡振幅。

[0007] 回路控制电路系统包含谐振器作为回路滤波器,并且包括振幅采样电路系统和输出比较器,其均由 D_clk 记时。振幅采样电路系统被配置为将谐振器振荡振幅转换为振幅样本。输出比较器被配置为基于振幅样本和振幅基准的比较输出离散回路控制信号,使得受控负阻抗基本上抵消谐振阻抗,由此维持对应于稳态振荡的基本恒定的谐振器振荡振幅。

附图说明

[0008] 图1图示说明了谐振感应式传感器系统的示例实施例,其包括由电感到数字转换

器 (IDC) 驱动的 LC 谐振器, 该电感到数字转换器 (IDC) 包括 D 类负阻抗级并且具有同步控制回路, 该 D 类负阻抗级利用负阻抗驱动励磁电流, 该同步控制回路响应于谐振器振荡振幅并且包括谐振器作为回路滤波器。

[0009] 图 2 图示说明了谐振感应式传感器系统的示例实施例, 其包括由电感到数字转换器 (IDC) 驱动的 LC 谐振器 (具有损耗因子为 R_s), 该 IDC 包括 D 类负阻抗级和回路控制级, 该 D 类负阻抗级具有通过接地基准 H 桥被联接至谐振器的电流 DAC, 该接地基准 H 桥由 D 类比较器基于谐振器振荡电压来控制, 该回路控制级具有由 D 类比较器同步的输出比较器并且基于检测的谐振器振荡振幅提供离散回路控制信号, 从而控制负电阻以平衡谐振器阻抗 (损耗因子 R_s) 并维持恒定的谐振器振荡振幅。

具体实施方式

[0010] 示例实施例和应用通过负阻抗控制回路实现谐振阻抗感测的各种特点和优势, 该负阻抗控制回路包含谐振器作为回路滤波器, 并且其包括通过 D 类比较器 D 类比较器实现的 D 类负阻抗级和通过由 D 类比较器记时的输出比较器实现的控制回路级。术语“D 类比较器”意味着实现 D 类功能所使用的比较器, 并不意味着以驱动 MOSFET 开关的 D 类模式操作的比较器。

[0011] 简要概述, 谐振阻抗感测系统的示例实施例包括电感到数字转换单元 (inductance-to-digital conversion unit), 其包括 D 类负阻抗级和回路控制级。D 类比较器接收谐振器振荡电压并且产生与谐振器振荡频率同步的 D 类开关输出。离散电流源 (例如电流 DAC) 通过由 D 类开关输出切换的 H 桥来驱动谐振器, 因此离散驱动电流的时间平均值对应于谐振器振荡振幅。基于谐振器振荡振幅, 输出比较器向离散电流源提供离散回路控制信号, 使用平衡谐振阻抗的负阻抗来驱动谐振器, 因此维持对应于稳态振荡的恒定的谐振器振荡振幅。

[0012] 在示例实施例中, 谐振感应式感测系统包括 IDC 单元和传感器/谐振器, 该传感器/谐振器以谐振器振荡振幅和频率为特征, 并且在振荡时以响应于感测条件而变化的谐振阻抗 (损耗因子) 为特征。IDC 单元包括负阻抗电路系统和回路控制电路系统。负阻抗电路系统被配置基于对应于受控负阻抗的离散回路控制信号利用具有离散电流电平的离散驱动电流来驱动谐振器。回路控制电路系统包含谐振器作为回路滤波器, 并且其被配置为基于谐振器振荡振幅产生离散回路控制信号, 因此受控负阻抗基本上抵消谐振阻抗, 从而维持对应于稳态振荡的基本恒定的谐振器振荡振幅。

[0013] 在示例实施例中, 负阻抗电路系统包括 D 类比较器和通过 H 桥电路系统联接至谐振器的离散电流源。D 类比较器被配置为接收谐振器振荡电压, 并且提供具有被同步到谐振器振荡频率的频率的 D 类开关输出 D_clk 。离散电流源被配置为将离散回路控制信号转换为离散驱动电流。H 桥电路系统由 D_clk 控制以同步离散驱动电流与谐振器振荡电压, 因此离散驱动电流的时间平均值对应于谐振器振荡振幅。回路控制电路系统包括振幅采样电路系统和输出比较器, 两者均由 D_clk 记时。振幅采样电路系统被配置为将谐振器振荡振幅转换为振幅样本。输出比较器被配置为基于振幅样本和振幅基准的比较来输出离散回路控制信号。

[0014] 在示例实施例中, 输出比较器可以是单比特比较器, 其输出两级 $gm_低/gm_高$ 回路

控制信号,并且离散电流源是电流DAC,其基于 $g_{m_低}$ / $g_{m_高}$ 控制信号输出 $g_{m_低}$ 和 $g_{m_高}$ 驱动电流电平。振幅采样电路系统可以利用振幅检测电路系统和采样/维持电路系统来实现,该振幅检测电路系统根据谐振器振荡振幅产生检测的振幅信号,该采样/维持电路系统对检测的振幅信号进行采样,并提供谐振器振荡振幅样本。回路控制电路系统可以进一步包括缓冲电路,其被配置为缓存谐振器振荡振幅以便输入到振幅检测电路系统。

[0015] 在示例实施例中,IDC可以包括传感器输出电路系统,其被配置为输出对应于离散回路控制信号的传感器响应数据,该离散回路控制信号表示受控负阻抗。此外,IDC可以进一步包括频率估计电路系统,其被配置为将 D_clk 转换为对应于谐振器振荡频率的频率信号,并且传感器输出电路系统可以被配置为输出对应于离散回路控制信号的传感器响应数据和频率信号。

[0016] 图1图示说明谐振感应式传感器100的示例实施例。传感器100包括具有由 R_s 表示的损耗因子的LC谐振器110和电感到数字转换器(IDC)120。损耗因子 R_s 等同于等效并联电阻/阻抗 R_p 。

[0017] 在示例应用中,传感器100可以被用于传导性目标的邻近性/位置感测。邻近的传导性目标(在传感器100的感测范围内)将会引起谐振阻抗(损耗因子 R_s/R_p)的变化,其被IDC 120检测。

[0018] IDC 120利用与谐振器的振荡频率同步的AC励磁电流来驱动谐振器110。IDC 120包括负阻抗级121和回路控制级123,从而建立负阻抗控制回路,该负阻抗控制回路包括谐振器110作为低通回路滤波器。IDC负阻抗控制回路利用负阻抗来驱动谐振器110,以便维持谐振器振荡振幅恒定(稳态振荡)。

[0019] 负阻抗级121利用回路受控负阻抗与谐振器振荡电压同步地驱动谐振器励磁电流。回路控制级123监测谐振器振荡振幅(115)并向负阻抗级121提供控制负阻抗的反馈回路控制信号129,以维持谐振器振荡振幅恒定。恒定的谐振器振荡振幅对应于稳态振荡,其中负阻抗/电阻平衡谐振器阻抗/电阻(R_s/R_p 损耗因子)。

[0020] 负阻抗级121可以被实现为具有受控跨导纳(g_m)的跨导纳放大器122。跨导纳放大器122利用与谐振器振荡电压(到跨导纳放大器的输入)同步的励磁/驱动电流来驱动谐振器110,其中负阻抗由来自回路控制级123的反馈 g_m 跨导纳回路控制信号129控制。

[0021] 回路控制级123可以由放大器124和整流器126表示。放大器124基于整流的谐振器振荡振幅115A和振幅基准124A来提供 g_m 导纳回路控制信号129。也就是说,回路控制123响应于谐振器振荡振幅115/115A,产生 g_m 振幅控制信号129以调制/调谐放大器122的 g_m (导纳),从而控制负阻抗以维持谐振器振幅恒定。

[0022] IDC 120输出对应于控制负阻抗($1/R_p$,其中 $R_p=L(C*R_s)$)的 g_m 振幅回路控制信号129的传感器响应数据。传感器响应数据量化对应于(例如由邻近的传导性目标产生的)谐振阻抗(R_s/R_p)的变化的负阻抗的变化。

[0023] 图2图示说明了谐振感应式传感器200的示例实施例。传感器200包括具有由 R_s 表示的损耗因子的LC谐振器210和电感到数字转换器(IDC)220。损耗因子 R_s 等同于等价并联电阻/阻抗 R_p 。

[0024] 在示例实施中,传感器200被用于传导性目标的邻近性/位置感测。邻近的传导性目标(在传感器100的感测范围内)将会引起谐振阻抗(损耗因子 R_s/R_p)的变化,该变化被

IDC 220检测。

[0025] IDC 220利用与谐振器振荡电压同步(即,被同步到在谐振状态下操作的谐振器的振荡频率)的AC励磁电流驱动谐振器210。IDC 220建立负阻抗控制回路,其包括谐振器210作为低通回路滤波器,该负阻抗控制回路检测由(例如由邻近的传导性目标所产生的)谐振阻抗(R_s/R_p)的变化引起的谐振器210的谐振状态的变化。

[0026] IDC 220包括D类负阻抗级221和回路控制级223。D类负阻抗级221利用D类比较器232来实现。回路控制级223利用与来自D类比较器232的D类开关输出(D_clk)同步的输出比较器224(输出比较器由D_clk计时)来实现。

[0027] D类负阻抗级221被实现为D类跨导纳放大器,包括D类比较器232和通过以接地为基准的H桥S1/S2联接到谐振器210的电流DAC 233。谐振器振荡电压被输入到D类比较器232,该D类比较器232输出使H桥S1/S2换向的D类开关脉冲序列(pulse train),从而使来自电流DAC 233的驱动/励磁电流(通过H桥被输入)与谐振器振荡电压(被输入到D类比较器)同步。

[0028] D类比较器232和H桥提供D类开关以同步驱动电流与谐振器振荡电压(谐振器振荡频率)。D类比较器232使H桥换向以提供正反馈,从而将谐振器210的正侧连接到电流DAC 233,并且将谐振器的负侧连接到地。

[0029] D类比较器232的开关输出也被输出作为用来同步回路控制级223(与谐振器振荡频率同步)的D_clk。

[0030] 电流DAC 233利用离散驱动/励磁电流电平($gm_{\text{低}}$ 和 $gm_{\text{高}}$)(通过H桥)驱动谐振器201。电流DAC 233由来自回路控制级223(输出比较器244)的离散的两级 $gm_{\text{低}}$ / $gm_{\text{高}}$ 反馈控制信号229控制。来自DAC 233的离散驱动电流由谐振器210进行时间平均,该谐振器210在IDC控制回路中充当低通回路滤波器。也就是说,从电流DAC 233到谐振器210中的离散电流电平(由D类比较器232同步到谐振器振荡频率)的时间平均值对应于被输入到回路控制级223的谐振器振荡振幅215A。

[0031] D类负阻抗级221可以利用接地基准H桥接口由D类OTA(运算跨导纳放大器)来实现。将D类负阻抗级221实现为跨导纳放大器允许由电阻器限定负阻抗,电阻器相对于晶体管具有低的温度系数,从而减缓温度漂移。同样地,D类功能最小化谐振器210的功率消耗。

[0032] 回路控制级223接收来自D类负阻抗级221的谐振器振荡振幅215A和D类比较器232的D_clk输出。谐振器振幅215A通过1x缓冲器被输入至回路控制级223以避免加载谐振器210。

[0033] H桥S1/S2有效地整流被输入到回路控制级223的谐振器电压215A(即,提供如图1中的126所示的整流)。D_clk被用来同步回路控制级223与D类负阻抗级(两者均被同步到谐振器振荡频率)。

[0034] 回路控制级223包括由D_clk计时的输出比较器244,并且产生控制电流DAC 233的离散反馈控制信号229。输出比较器244可以是驱动单比特或多比特电流DAC的单比特或多比特输出比较器。对于示例实施例,输出比较器244是单比特比较器,其输出离散的两级 $gm_{\text{低}}$ / $gm_{\text{高}}$ 回路(振幅)控制信号229,该控制信号229控制(通过H桥)供应离散的 $gm_{\text{低}}$ 和 $gm_{\text{高}}$ 高电流电平到谐振器210的两级电流DAC 233。

[0035] 输出比较器244基于谐振器振荡振幅215A产生离散两级 $gm_{\text{低}}$ / $gm_{\text{高}}$ 控制信号

229。振幅检测器246检测谐振器振幅215A,该谐振器振幅215A由通过D_clk记时的采样/维持247进行采样。处于D_clk频率的谐振器振幅样本被输入至输出比较器244。振幅检测器246和采样/维持247(和1x缓冲器245)可以被实现为积分-清除滤波器。

[0036] 被同步到D_clk的输出比较器244将谐振器振幅样本215A和振幅电压基准VRef进行比较,并且产生离散的两级gm_低/gm_高回路(振幅)控制信号229,该回路控制信号229被反馈到D类负阻抗级221中的电流DAC 233。也就是说,输出比较器244的输出电平对应于被电流DAC 233转换为谐振器210的驱动电流的gm_低/gm_高导纳水平。

[0037] gm_低/gm_高回路(振幅)控制信号229对应于用来抵消谐振器阻抗(损耗因子Rs/Rp)并维持恒定的谐振器振荡振幅所需的负阻抗。也就是说,回路控制信号229对应于谐振传感器210的感测响应(例如,对应于目标邻近性/位置),因为其表示用来维持谐振器振荡振幅(215A)基本恒定所需的负阻抗(1/Rp)。这样,回路控制信号229提供从IDC 220输出的传感器响应数据。

[0038] IDC 220包括频率估计器251,其接收对应于谐振器振荡频率的D_clk。频率估计器251将D_clk转换为从IDC 220输出的频率。

[0039] IDC 220输出提供关于传感器谐振器的量化信息的数据和频率。例如,对于与传导性目标一起使用的谐振感应式传感器200(涡流感测),该数据和/或频率输出可以被用来确定目标邻近性/位置。

[0040] 由具有D类和输出比较器232和244的D类负阻抗级221和回路控制级233提供的IDC控制回路不需要积分或其他滤波。相反地,其包含谐振器210作为第一阶低通滤波器以对输出比较器的离散输出进行平均。D类/输出比较器232/244是仅有的有源组件,由此降低在传感器谐振器中耗散的功率的功率损耗。

[0041] 谐振器210在求和结点处被包括在IDC控制回路中,其中谐振器的正谐振阻抗与IDC控制回路(D类负阻抗级221)的负阻抗相比较。这种配置的优势包括:(a)直接测量谐振阻抗而不是测量与其相关的参数;(b)抑制磁芯体的非线性,例如,因为传感器的恒定的谐振器振荡振幅暗示着由传感器产生的磁通量的恒定的振幅;(c)优化传感器的IDC瞬态响应,因为控制回路的瞬态响应跟踪传感器的瞬态响应;和(d)由传感器衰减来自IDC的量化噪声。

[0042] 在权利要求的范围内,对上述实施例的修改是可能的,并且其他实施例是可能的。

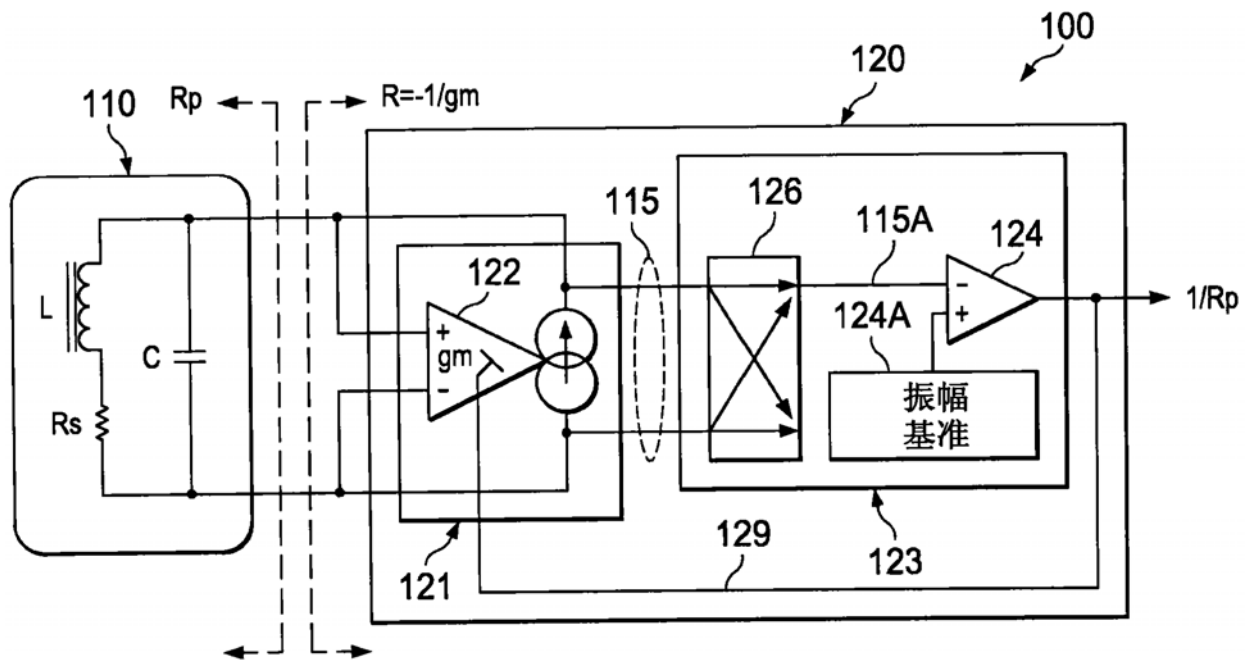


图1

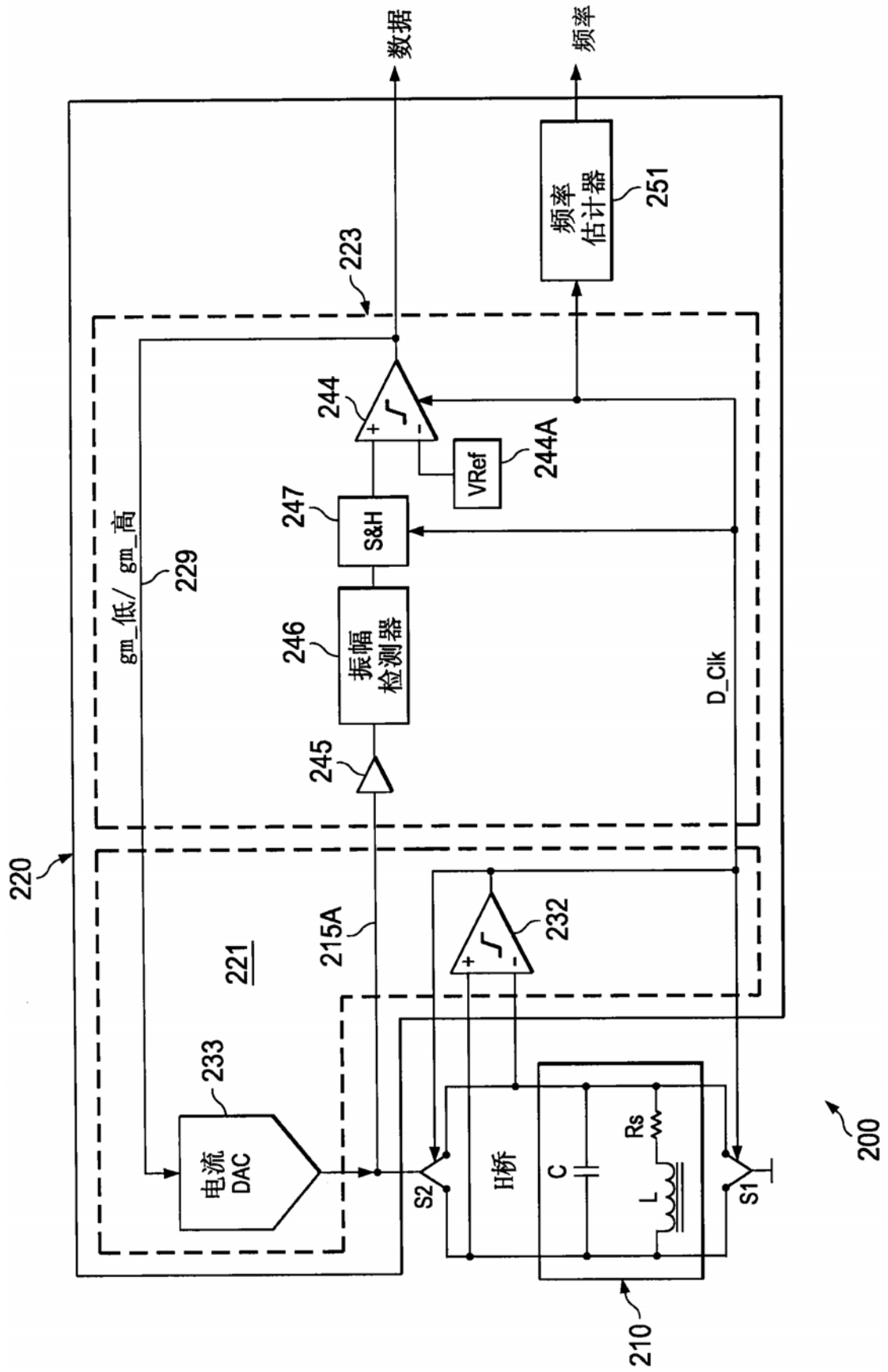


图2