[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G01F 1/84 (2006.01)
G01F 25/00 (2006.01)

[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 01813172.7

[45] 授权公告日 2008 年 12 月 17 日

[11] 授权公告号 CN 100443863C

[22] 申请日 2001.7.20 [21] 申请号 01813172.7

[30] 优先权

[32] 2000.7.21 [33] US [31] 09/620,750

[86] 国际申请 PCT/US2001/022995 2001.7.20

[87] 国际公布 WO2002/008703 英 2002.1.31

[85] 进入国家阶段日期 2003.1.21

[73] 专利权人 微动公司

地址 美国科罗拉多州

[72] 发明人 T·D·沙普

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 郑立柱 梁 永

[56] 参考文献

EP0926473A2 1999.6.30

CN1166199A 1997.11.26

WO99/02945A1 1999.1.21

审查员 钱凌影

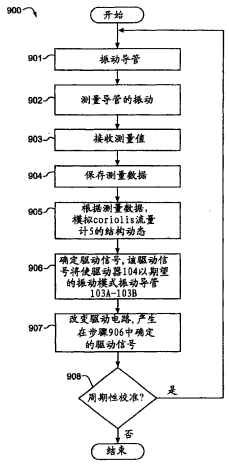
权利要求书 4 页 说明书 22 页 附图 9 页

[54] 发明名称

一种用于校准 Coriolis 流量计的驱动信号的系统

[57] 摘要

一种系统，用于校准施加给固定在导管上的驱动器的驱动信号，该驱动信号使驱动器提供一个以期望的振动模式振动导管的力。首先是推导一个设备的数学模型，然后是利用这个模型从数学上计算一个合适的驱动信号电压，由此实现校准。动态模型的推导和驱动信号电压的计算是通过以下来实现：振动导管、测量导管的振动、根据经过测量的振动来检测设备的物理特征、和确定一个驱动信号，该驱动信号会使驱动器对确定设备的物理特征作出响应，以期望的振动模式振荡导管。



1. 一种用来校准施加给驱动器的驱动信号的方法，该驱动信号使所述驱动器振荡流量测量设备里的至少一个流量管，该流量测量设备用于测量在所述至少一个流量管里流动的物质的特性，该方法包括以下步骤：

利用所述驱动器振动所述至少一个流量管；

对振动所述流量管作出响应，测量所述至少一个流量管的振动；其特征在于，包括下列步骤：

根据所述已测量的所述至少一个流量管的振动来检测所述设备和所述驱动器的物理特性；根据所述物理特性的检测结果来确定用于所述驱动器的驱动信号，和

将所述已确定的驱动信号用于所述驱动器，使其以所要求的振动模式来振荡所述至少一个流量管。

2. 根据权利要求 1 的方法，其中所述流量测量设备是一个流量计，并且该方法用来校准将要施加给所述流量计的驱动器的驱动信号，所述方法的特征在于，包括以下步骤：

施加一个第一信号给所述驱动器以便振动所述至少一个流量管；

当对所述驱动器施加所述第一信号时，对振动所述至少一个流量管作出响应，测量所述至少一个流量管和所述驱动器的振动；

当对所述驱动器施加所述第一信号时，根据对所述至少一个流量管的所述振动测量值，确定物理振动特性，该物理振动特性包括了所述流量计的任何不期望的物理特性，该流量计具有所述流量管和所述驱动器；

确定所述已确定的物理振动特性的校正因子；

利用所述已确定的物理振动特性和所述校正因子，确定将要施加给所述驱动器的驱动信号；和

给所述驱动器施加所述已确定的驱动信号以便以期望的振动模式振荡所述至少一个流量管，该振动模式会补偿所述不期望的物理特性。

3. 根据权利要求 1 的方法，还包括步骤：

存储所述至少一个流量管的所述振动的测量值。

4. 根据权利要求 3 的方法，其中检测所述设备的所述物理特性的

所述步骤还包括步骤：

结合当前的振动测量值和所述已存储的振动测量值以便确定所述物理特性。

5. 根据权利要求 1 的方法，还包括步骤：响应于确定的所述驱动信号，在驱动信号电路中设置参考电压，以使所述驱动信号电路产生所述驱动信号。

6. 根据权利要求 1 的方法，还包括步骤：周期性的重复用于校准所述驱动信号的所述方法。

7. 根据权利要求 1 的方法，其中检测所述驱动器和设备的物理特性的所述步骤包括步骤：根据所述已测量的振动来模拟所述驱动器和设备的动态。

8. 根据权利要求 1 的方法，还包括步骤：改变驱动电路以便产生所述驱动信号。

9. 根据权利要求 1 的方法，其中确定所述驱动信号的所述步骤包括以下步骤：

计算表示驱动信号和对所述至少一个流量管施加的力之间关系的函数多项式的系数；

确定表示所述驱动信号和所述力之间关系的所述函数的反函数多项式的系数；和

将所述驱动信号的命令信号加入所述反函数中以便确定所述驱动信号。

10. 用于测量物质特性的流量测量设备的电子测量仪，所述设备有至少一个用于接收物质的流量管，一个用于振动所述至少一个流量管的驱动器，多个用于在沿所述流量管的各点处测量所述至少一个流量管振动的传感器，所述电子测量仪包括用于给所述驱动器施加驱动信号以使所述驱动器振荡至少一个流量管的驱动电路，和用于测量流过所述至少一个流量管的物质的特性的电路，所述电子测量仪还包括：

第一电路，用于接收从所述传感器输出的信号，并根据所述已测量的所述至少一个流量管的振动来检测所述设备和所述驱动器的物理特性；和

响应收到所述信号的第二电路，用于根据所述设备和所述驱动器

的物理特性来确定使所述驱动器以期望的振动模式振荡所述至少一个流量管的驱动信号。

11. 根据权利要求 10 的电子测量仪，还包括：一个用于存储所述至少一个流量管的振动测量值的存储器。

12. 根据权利要求 11 的电子测量仪，其中所述第一电路还包括：用于结合当前的振动测量值和所述已存储的振动测量值以用来确定所述物理特性的电路。

13. 根据权利要求 10 的电子测量仪，还包括：在驱动信号电路中设置的参考电压，该参考电压被设置成一个用来产生所述驱动信号的电平作为对确定所述驱动信号的响应，以使所述驱动信号电路产生所述驱动信号。

14. 根据权利要求 10 的电子测量仪，还包括：用于周期性重复所述驱动信号的校准的定时电路。

15. 根据权利要求 10 的电子测量仪，其中所述第一电路包括：用于根据所述已测量的振动来模拟所述设备和驱动器的动态的模拟电路。

16. 根据权利要求 10 的电子测量仪，其中所述第二电路包括：

用于计算表示驱动信号和对所述至少一个流量管施加的力之间关系的函数多项式的系数的电路；

用于确定表示所述驱动信号和所述力之间关系的所述函数的反函数多项式的系数的电路；和

用于将所述当前驱动信号的命令信号加入所述反函数中以便确定所述驱动信号的电路。

17. 一种用于校准施加给驱动器以使所述驱动器振荡一个流量测量设备中的至少一个流量管的驱动信号的产品，其中流量测量设备用来测量流经所述至少一个流量管的物质的特性，所述产品包括：

用于接收从固定在所述至少一个流量管的传感器输出的、测量所述至少一个流量管振动的信号的模块，

用于根据所述已测量的所述至少一个流量管的振动来检测所述设备和驱动器的物理特性的模块，和

用于根据所述设备和所述驱动器的物理特性来确定使所述驱动器以期望的振动模式振荡所述至少一个流量管的驱动信号的模块。

18. 根据权利要求 17 的产品，还包括:

用于将所述驱动信号施加给所述驱动器使之以期望的振动模式振荡所述至少一个流量管的模块。

19. 根据权利要求 17 的产品，还包括:

用于将所述至少一个流量管的所述振动测量值存储在存储器中的模块。

20. 根据权利要求 19 的产品，其中所述用于检测所述设备和驱动器的所述物理特性的所述模块还包括:

用于指示处理器从所述存储器读取所述测量值，并且指示处理器结合当前的振动测量值和所述已存储的振动测量值以用来确定所述物理特性的装置。

21. 根据权利要求 17 的产品，还包括:

用于响应确定的所述驱动信号而给出驱动信号电路的参考电压来使所述驱动信号电路产生所述驱动信号的模块。

22. 根据权利要求 17 的产品，还包括:

用于周期性重复所述驱动信号的校准的模块。

23. 根据权利要求 17 的产品，其中用于检测所述设备和驱动器的所述物理特性的所述模块包括:

用于根据所述已测量的振动来模拟所述设备和驱动器的动态的装置。

24. 根据权利要求 17 的产品，其中所述用于确定所述驱动信号的模块包括:

用于计算表示驱动信号和对所述至少一个流量管施加的力之间关系的函数多项式的系数，确定表示所述驱动信号和所述力之间关系的所述函数的反函数多项式的系数，和将所述驱动信号的命令信号加入所述反函数以确定所述驱动信号的装置。

一种用于校准 Coriolis 流量计的驱动信号的系统

技术领域

本发明涉及一种设备，它用于测量流例如 Coriolis 质量流量计设备的物质的特性。尤其是，本发明涉及校准一种固定在导管上的驱动器以便使其只以期望的振动模式来激励导管。而且还特别是，本发明涉及确定一种使驱动器以期望的振动模式来振动导管的驱动信号。

背景技术

使用 Coriolis 效应流量计对通过流量计内的导管流动的物质进行测量质量流量和其它信息是从所周知的。典型的 Coriolis 流量计在由 J.E.Smith 等人在美国于 1978 年 8 月 29 日申请的专利 4，109，524，于 1985 年 1 月 1 日申请的专利 4，491，025，和于 1982 年 2 月 11 日申请的专利 Re.31.450 中得以揭示。这些流量计都有一个或多个直的结构或弯曲的结构的导管。在 Coriolis 质量流量计中的每一个导管都有一套固有振动模式，这种振动模式可以是一种简单的弯曲类型、扭曲类型，或是相结合的类型。驱动每一个导管使之在与多个固有振动模式中的其中一个的谐振处振荡。物质从在流量计入口测的连接管线流进流量计，径直通过一个或多个导管，从流量计的出口侧流出流量计。振动填满系统的物质的固有振动模式在本领域内可以通过结合导管质量和在导管内流动的物质来确定。

当没有物质流经流量计时，由于施加的驱动力，沿导管的所有点都以同一相位或以可被矫正的小的初始固定相位偏移来振荡。当物质流动时，Coriolis 力使得沿振动的导管的每一点都有不同的相位。导管入口侧的相位滞后于驱动器，同时导管出口侧的相位超前于驱动器。将传感器放置在导管（或多个导管）上以便产生表示导管（或多个导管）动作的正弦信号。处理从传感器输出的信号以便确定在这些信号之间的相位差。在两个传感器信号之间的相位差与经过导管（或多个导管）的物质的质量流率成比例。

每个 Coriolis 流量计和每个振动管密度计的主要部件是驱动或激励系统。驱动系统工作时会对导管施加周期性的物理力，这使得

导管振荡，驱动系统包括安装在导管（或多个导管）上的驱动机构和用于产生驱动信号以操作驱动机构的驱动电路。典型的驱动机构包括许多已知装置之一，例如安装在一个导管上的磁铁和以与该磁铁成相反关系的方式安装在另一个导管上的线圈。

驱动电路给驱动机构持续施加周期性的驱动信号。驱动信号是典型的正弦波或方波。在典型的磁性线圈驱动机构中，周期性的驱动信号使线圈产生一个交替的磁场。线圈的交替磁场和由磁力产生的恒定磁场使流量导管以正弦曲线图形的方式振动。本领域的技术人员都明白任何可将电信号转换成机构力的装置都适用于如驱动器这样的应用(见由 Carpenter 发表并转让给 Micro Motion,Inc 的美国专利 4，777，833）。同时，不必非要使用正弦信号。任何周期性的信号作为驱动器信号也是很适合的。（见由 Kalotay 等人发表并转让给 Micro Motion, Inc 的美国专利 5，009，109）。

对于双管流量计，一个可典型驱动 Coriolis 流量计使之振动的典型模式，尽管这不是唯一的模式，是一个第一异相的弯曲模式。第一导相的弯曲模式是基本的谐振弯曲模式，在该模式中双管 Coriolis 流量计的两个导管以相位相反的方式振动。然而，目前这在 Coriolis 流量计的振动结构中并不是唯一的振动模式。在一些导管中也可以激励更高的振动模式。例如，可以激励第一异相的扭曲模式作为流经振动导管的物质和随后由流动的物质引起 Coriolis 力的结果。其它更高的可被激励的振动模式包括同相弯曲和横向振动模式。

在以第一异相弯曲模式驱动的 Coriolis 流量计中可以激励数百个振动模式。即使在相对窄的靠近第一异相弯曲模式的频率范围内，也存在至少数个额外的可由驱动系统激励的振动模式。除了可由驱动器激励的多个模式外，由于流量计的外部振动，不希望的振动模式也能够被激励。例如，生产线中的机械附近可能产下振动，该振动可以在 Coriolis 流量计中激励不想要的振动模式。

驱动系统能够激励额外的和不希望的振动模式，因为驱动器机制不是理想的。驱动系统包括产生命令信号的驱动电路和将收到的命令信号转换成力的驱动器机制。理想到驱动器机制是线性的，并且该机制将产生与命令信号线性相关的力。然而，由于各种原因，在对驱动器施加的命令信号和由驱动器产生的力之间的关系是非线

性的。制造公差要求将驱动器元件对称地放置在导管上。任何最终的非线性在驱动力下引起失真，该驱动力是作为在原始驱动信号的谐波处对该结构施加的力出现。配置驱动系统，对驱动器施加驱动信号，驱动器对一个导管（或多个导管）施加足够的力以使它们以期望的振动模式振动。然而，当驱动器不是理想的情况下，对一个导管（或多个导管）施加的力不是理想的，并且力可在更高的频率处产生。这些高频率力可以激励其它不想要的结构模式。

实施的偏心力可以在一些导管内激励多个振动模式。这样，驱动 Coriolis 流量计，使其以期望的振动模式，例如第一异相弯曲模式，振荡或谐振，该流量计实际上有除了以期望的模式外还以许多其它模式振荡的一个导管（或多个导管）。驱动仪表，使其以除第一异相弯曲模式外的不同模式振荡，产生具有包括预期的振动模式在内的多个被激励的振动模式的相同现象。

如果诸如 Coriolis 流量计等设备不是均衡的，由导管施加到驱动器上的偏心力就是一个特殊的问题。当设备内的振动相互抵消，生成零和的设备振动时，该设备是均衡的。当振动没有相互抵消时，设备就不是均衡的。这会对系统施加一个力。一个典型的双导管的设备，例如双导管的 Coriolis 流量计，是均衡的，因为两个导管彼此以相位相反的方式振动，这就会抵消相对振动。然而，非均衡的设备缺少这样的一个导管：它是以相对方向振动以便可以抵消来自该导管的振动力。

非均衡性能够在周围环境和导管之间引起显著的耦合。该耦合增加了周围环境的结构动态碰撞，并且可以引起由驱动器对导管施加的谐波力所激励的不期望的振动模式。因此，期望在非均衡的设备中有一个驱动器，它施加仅激励需要的振动模式的力。

基于上述原因，需要一个用于振动设备里的导管的驱动电路系统以减少由驱动器振荡导管所激励的不期望的振动模式，而该设备用于测量驱动流量计中振动的导管。

发明内容

本发明的目的是通过提供一个用于校准驱动信号的系统来解决上述的问题及其他问题，并且可在本领域内获得进步。为测量流经导管的物质的特性，本发明的校准系统确定了用于固定在导管上的

驱动器的合适的驱动信号。该驱动信号使驱动器施加一个力，该力以期望的振动模式振动导管。通过确定合适的驱动信号，将减少由驱动器施加给导管的谐波力。这会增加以期望的振动模式振动的量，并减少以不期望的振动模式振动的量。以不期望的振动模式的振动的减少会大幅度减少使流量计易遭受的噪声层。放大期望的响应并减少噪音会更加精确的进行例如质量流率等特性的测量。而且，会提高测量的可重复性。

为了校准合适的驱动信号，将例如加速计的传感器贴近驱动器固定在导管上。计算机或数字处理器用宽频带的噪音信号来激励该驱动器。这会使驱动器施加一个限带噪声力给导管和传感器，以用来测量驱动器处的振动结构的动作。数字处理器则接收从传感器输出的关于结构动作的数据。数字处理器利用数据产生一个该结构和驱动器的动态模式。数字处理器利用动态模式确定驱动信号，该信号将使驱动器施加一个力给导管，这个力将以期望的振动模式来振动该导管。

在一个实施例中，数字处理器输出结果给显示器等，配置与驱动器连接的常规模拟驱动电路使之可以产生合适的驱动信号。在这个优选的实施例中，可以通过在驱动电路中设置参考电压来配置常规的驱动电路。

在一个替换的实施例中，电子测量仪包含一个数字信号处理器，该处理器控制施加给驱动器的驱动信号。当在电子测量仪中使用数字信号处理器时，通过数字信号处理器周期性的进行校准以便随着设备的结构动态变化来调整驱动信号。这是通过周期性振动驱动器的导管来进行的。然后将振动数据存储在存储器中。将存储的数据和当前的振动数据一起使用，检测新的设备结构动态，确定新的驱动信号。

根据本发明，提供了一种用来校准施加给驱动器的驱动信号的方法，该驱动信号使所述驱动器振荡流量测量设备里的至少一个流量管，该流量测量设备用于测量在所述至少一个流量管里流动的物质的特性，该方法包括以下步骤：利用所述驱动器振动所述至少一个流量管；对振动所述流量管作出响应，测量所述至少一个流量管的振动；其特征在于，包括下列步骤：根据所述已测量的所述至少一个流量管

的振动来检测所述设备和所述驱动器的物理特性；根据所述物理特性的检测结果来确定用于所述驱动器的驱动信号；和将所述已确定的驱动信号用于所述驱动器，使其以所要求的振动模式来振荡所述至少一个流量管。

另一个方面是存储所述至少一个流量管的所述振动的测量值的步骤，其中检测所述设备的所述物理特性的所述步骤还包括以下步骤：

结合当前的振动测量值和所述已存储的振动测量值以便确定所述物理特性；

另一方面包括为了响应确定的所述驱动信号，在驱动信号电路中设置参考电压，以使所述驱动信号电路产生所述驱动信号的步骤；

另一个方面还包括周期性的重复用于校准所述驱动信号的所述方法的步骤；

另一个方面是其中所述检测所述驱动器和设备的物理特性的步骤包括根据所述已测量的振动来模拟所述驱动器和设备的动态的步骤。

另一方面还包括改变驱动电路以便产生所述驱动信号的步骤。

另一方面是确定所述驱动信号的步骤包括以下步骤：

计算表示驱动信号和对所述导管施加的力之间关系的函数多项式的系数；

确定表示所述驱动信号和所述力之间关系的所述函数的反函数多项式的系数；和

将所述驱动信号的命令电平加入所述反函数以便确定所述驱动信号。

本发明还提供了一种用于测量物质特性的流量测量设备的电子测量仪，所述设备有至少一个用于接收物质的流量管，一个用于振动所述至少一个流量管的驱动器，多个用于在沿所述流量管的各点处测量所述至少一个流量管振动的传感器，所述电子测量仪包括用于给所述驱动器施加驱动信号以使所述驱动器振荡至少一个流量管的驱动电路，和用于测量流过所述至少一个流量管的物质的特性的电路，所述电子测量仪还包括：第一电路，用于接收从所述传感器输出的信号，并根据所述已测量的所述至少一个流量管的振动来检测所述设备和所述驱动器的物理特性；和响应收到所述信号的第二电路，用于根据所

述设备和所述驱动器的物理特性来确定使所述驱动器以期望的振动模式振荡所述至少一个流量管的驱动信号。

另一个方面还包括一个用于存储所述至少一个流量管的振动测量值的存储器。

另一个方面是所述第一电路还包括用于结合当前的振动测量值和所述已存储的振动测量值以用来确定所述物理特性的电路。

另一个方面包括在驱动信号电路中设置的参考电压，该参考电压被设置成一个用来产生所述驱动信号的电平作为对确定所述驱动信号的响应，以使所述驱动信号电路产生所述驱动信号。

另一个方面包括用于周期性重复所述驱动信号校准的定时电路。

另一个方面是所述第一电路包括用于根据所述已测量的振动来模拟所述设备和驱动器的动态的模拟电路。

另一个方面是所述第二电路包括:

用于计算表示驱动信号和对所述导管施加的力之间关系的函数多项式的系数的电路;

用于确定表示所述驱动信号和所述力之间关系的所述函数的反函数多项式的系数的电路; 和

用于将所述当前驱动信号的命令信号加入所述反函数以便确定所述驱动信号的电路。

本发明还提供了一种用于校准施加给驱动器以使所述驱动器振荡一个流量测量设备中的至少一个流量管的驱动信号的产品，其中流量测量设备用来测量流经所述至少一个流量管的物质的特性，所述产品包括: 指令，用于指示处理器作以下动作: 接收从固定在所述至少一个流量管的传感器输出的测量所述至少一个流量管振动的信号，和根据所述已测量的所述至少一个流量管的振动来检测所述设备和驱动器的物理特性，和根据所述设备和所述驱动器的物理特性来确定使所述驱动器以期望的振动模式振荡所述至少一个流量管的驱动信号; 和可由所述处理器读取的媒介，用于存储所述指令。

另一个方面是所述指令还包括用于指示所述处理器施加所述驱动信号给所述驱动器使之以所述期望的振动模式振荡所述至少一个流量管的指令。

另一个方面是所述指令还包括用于指示所述处理器将所述至少一个流量管的所述振动测量值存储在存储器中的指令。

另一个方面是使处理器检测所述设备和驱动器的所述物理特性的所述指令还包括:

用于指示所述处理器从所述存储器读取所述测量值，并且指示处理器结合当前的振动测量值和所述已存储的振动测量值以用来确定所述物理特性的指令。

另一个方面是所述指令还包括:

用于指示所述处理器给出一个响应于确定的所述驱动信号的驱动信号电路参考电压，使所述驱动信号电路产生所述驱动信号的指令。

另一个方面是所述指令还包括用于指示所述处理器周期性重复所述驱动信号校准的指令。

另一个方面是用于检测所述设备和驱动器的所述物理特性的所述指令包括用于指示所述处理器根据所述已测量的振动来模拟所述设备和驱动器的动态的指令。

另一个方面是用于指示所述处理器确定所述驱动信号的指令包括:

用于指示所述处理器计算表示驱动信号和对所述导管施加的力之间关系的函数多项式的系数，确定表示所述驱动信号和所述力之间关系的所述函数的反函数多项式的系数，和将所述驱动信号的命令信号加入所述反函数以确定所述驱动信号的指令。

附图说明

驱动信号的校准系统的上述及其它特征可以根据阅读详细的说明和附图来加以理解:

图 1 示出结合本发明的驱动信号校准系统的 Coriolis 质量流量计;

图 2 示出在本发明的驱动信号校准系统中使用的电子测量仪;

图 3 示出用于产生由驱动信号校准系统确定的用于激励期望的振动模式的驱动信号的驱动电路;

图 4 示出用于进行驱动信号校准的处理单元;

图 5 示出使用数字发送器的电子测量仪 20 的第二实施例的框

图；

图 6 示出由理想驱动系统振荡的导管振动的曲线图；

图 7 示出由典型的非理想驱动系统振荡的导管振动的曲线图；

图 8 示出由具有已校准的驱动信号的驱动系统振荡的导管实际振动的曲线图；

图 9 示出一种用于校准驱动信号的方法的流程图；

图 10 示出了由数字处理器完成的处理以便进行驱动信号校准的流程图；和

图 11 示出单元 906&1007 的其它细节。

具体实施方式

总的 Coriolis 流量计-图 1

图 1 示出了包括 Coriolis 测量计部件 10 和电子测量仪 20 的典型 Coriolis 流量计 5。电子测量仪 20 与测量计部件 10 经过导线 100 连接，用于在路径 26 上提供密度、质量流率、体积流率和合计的质量流量信

息。说明了 Coriolis 流量计的结构，尽管本领域的技术人员都明白本发明可以结合任何具有振动的导管用以测量流经该导管的物质的特性的设备来实现。这种设备的第二个例子是振动管密度计，它没有可由 Coriolis 质量流量计提供的额外的测量能力。

测量计部件 10 包括一对处理连接，例如法兰 101 和 101'，歧管 102 和导管 103A 和 103B。与导管 103A 和 103B 连接的是驱动器 104、加速计 190 和传感器 105 和 105'。撑杆 106 和 106'用于确定每个导管振荡的轴 W 和 W'。

当将流量计 5 插进用于传输正被测量的处理物质的管道系统(未示出)时，该物质经过法兰 101 进入测量计部件 10，穿过歧管 102(在这里物质直接进入导管 103A 和 103B)，流经导管 103A 和 103B，并返回歧管 102，物质从这里经由法兰 101'流出测量计部件 10。

选择导管 103A 和 103B 并将它们恰当地安装在歧管 102 上，使之实际上各自有相同的质量分布、关于弯曲轴 W-W 和 W'-W'的惯性和弹性瞬时模量。导管 103A－103B 从歧管向外以基本平行的方式伸出。

导管 103A－103B 由驱动器 104 以关于它们各自的弯曲轴 W 和 W'的相位相反的方式和以被称为流量计的第一异相谐振弯曲模式驱动。驱动器 104 包括许多众所周知的装置中的任何一个，例如安装在导管 103A 上的磁铁和安装在导管 103B 上的反作用线圈，交流电流过磁铁和线圈用于振动这两个导管。电子测量仪 20 通过导线 110 施加合适的驱动信号给驱动器 104。

将传感器 105 和 105'放置在至少一个导管 103A 和 103B 的相对两端上用以测量导管的振荡。当导管 103A－103B 振动时，传感器 105 和 105'产生第一和第二速率信号。将第一和第二速率信号施加给导线 111 和 111'。加速传感器 105''贴近驱动器 104 固定在导管上，产生响应导管 103A 和 103B 振荡的加速信号。将加速信号施加给导线 111''来表示流量管 103A 和 103B 的振动。

电子测量仪 20 接收分别在导线 111，111'和 111''上出现的第一和第二传感器速率信号和驱动器速率信号。电子测量仪 20 处理第一和第二速率信号用以计算质量流率、密度，或是通过测量计部件 10 的物质的其它特性。电子测量仪 20 在路径 26 上将经过计算的信息施加给利用装置（未示出），例如数字信号处理单元（见图 4）。

本领域的技术人员都知道Coriolis流量计5在结构上要比振动管密度计小。振动管密度计也使用振动管，其中液体流过振动管，或是在简单类型的密度计的情况下，液体在振动管中保持。振动管密度计同样使用用来激励导管振动的驱动系统。典型的振动管密度计仅利用一个反馈信号，因为密度测量只需要测量频率，而不需要测量相位。在这里，本发明的说明同样适用于振动管密度计。本领域的技术人员都明白 Coriolis 流量计有两个可用的反馈信号，而振动管密度计仅有一个典型的可用反馈信号。因此，为了使本发明适用于振动管密度计，只需要在振动管密度计中提供附加的反馈信号即可。而且，本领域的技术人员都明白下面的发明的步骤和方法可以在通过振动导管来测量物质特性的任何设备中使用。

电子测量仪－图 2

图 2 进一步示出了电子测量仪 20 的细节。电子测量仪 20 包括特性测量电路 30，和流动管驱动电路 40。特性测量电路 30 是许多已知的用于根据振动导管的两点之间的相位不同来计算物质特性的电路之一，该物质特性如当物质通过振动导管 103A－103B 时的质量流率。特性测量电路 30 在导线 26 上产生输出用于使用装置(未示出)。使用装置可以是例如显示器和图 4 所示的数字处理单元。特性测量电路 30 的细节对于本领域的技术人员来说是众所周知的，并没有成为本发明的一部分。关于用于确定物质的质量流率的特性测量电路 30 的典型信息见由 Smith 于 1983 年 11 月 29 日公开并转让给 Micro Motion,Inc 的美国专利 RE31,450,或是 Zolock 于 1989 年 11 月 14 日公开并转让给 Micro Motion,Inc 的美国专利 4，879，911，或是 Zolock 于 1993 年 8 月 3 日公开并转让给 Micro Motion,Inc 的美国专利 5，231，884。

在流量计驱动电路系统中，驱动电路 40 在路径 41 上接收来自左边传感器 105 的反馈信号。正如结合图 3 所作的更加详细地描述，驱动电路系统在路径 110 上施加驱动信号给驱动线圈 104。本领域的技术人员都明白现有的驱动系统可以选择使用右边传感器作为用于驱动电路 40 的反馈。同时，一些现有的驱动系统可以使用两个传感器信号的和作为用于驱动电路 40 的反馈信号。

驱动电路 40－图 3

图 3 进一步示出了驱动电路 40 的细节。驱动电路 40 在路径 41 上

接收来自流量计的许多传感器之一的反馈信号，并调节传感器信号的幅度以便在路径 110 上施加驱动信号给驱动器 104。注意，一些现有的驱动系统合计两个传感器的信号并处理经合计的信号用以生成驱动信号。驱动电路 40 在路径 41 上接收来自传感器 105 的信号。传感器信号要经过整流器 300 和积分器 301。从积分器 301 输出的信号表示传感器信号 105 的平均幅度。平均幅度信号被施加给幅度控制 302。幅度控制 302 比较来自积分器 301 的平均幅度信号和参考电压 V_{ref}。如果平均幅度低于参考电压，乘法器 303 放大传感器信号并且将经过幅度调节的传感器信号施加给路径 305。功率放大器 304 放大经过幅度调节的传感器信号 105 以便产生要在路径 110 上反馈给驱动器 104 的最后驱动信号。因此，驱动电路 40 维持幅度相对恒定的驱动信号。现有的控制电路 40 的细节对于 Coriolis 电子流量计领域的技术人员来说是众所周知的，并没有成为本发明的一部分。关于驱动电路 40 的更多实施例的更详细的论述见美国专利 5 009 109。

数字处理单元－图 4

图 4 示出了用于执行指令的数字处理单元 400，该指令提供了本发明的驱动信号校准。数字处理单元 400 有处理器 401，用于执行存储在存储器里的指令以便完成例如本发明的驱动信号校准的应用。处理器 401 可以是常规处理器、微处理器或连接在一起工作以便完成一连串指令的串联处理器。

处理器 401 与存储器总线 402 连接以便从存储器中读取指令和数据，和往存储器中写入数据。随机读取存储器(RAM)412 是一个通过路径 411 与存储器总线 402 连接的易失存储器。RAM412 存储由处理器 401 当前执行的指令和完成指令所需要的数据。只读存储器(ROM)414 通过路径 413 与存储器总线 402 连接。ROM414 存储处理器 401 所需的配置和操作系统信息以便执行用于允许处理器 400 实现应用的系统例行程序。

处理器 401 也连接输入/输出("I/O")总线 403。I/O 总线 403 将处理器 401 和外围设备连接以用于允许处理器 401 发送数据给外围设备和从外围设备接收数据。一些与 I/O 总线连接的典型设备包括存储器 422、显示器 424、I/O 设备 426、和 I/O 设备 428，但并不局限于此。存储器 422 通过路径 421 连接 I/O 总线 403，存储能够由处理器 401 执

行的数据和应用指令。存储器 422 的一个例子是磁盘，可以从磁盘读取数据和往磁盘写入数据。显示器 424 通过路径 423 连接 I/O 总线 403，它是连接驱动器的设备，能够接收从处理器 401 输出的数据并以用户理解的方式显示数据。例如，显示器 424 可以是监视器和与总线连接的视频卡。显示器 424 也可以是用于根据接收的数据来提供可听声音的设备。

I/O 设备 426 通过路径 425 连接 I/O 总线 403。I/O 设备 426 是用于接收输入数据或是输出数据给用户或其它机器的设备。I/O 设备 426 的一些例子包括键盘、鼠标、局域网(LAN)连接、调制解调器、或是同类设备，但并不局限于此。I/O 设备 428 通过路径 413 连接 I/O 总线 403，并在优选实施例中是一个通过路径 26 接收从电子测量仪 20 输出的数据的 I/O 设备。I/O 设备 428 将通过路径 26 接收到的数据转换成能被处理器 401 识别的数据。

电子测量仪 20 的数字信号处理器 - 图 5

可选择的、取代有数字处理单元 400 与电子测量仪 20 连接的电子测量仪可以是数字信号处理器。图 5 示出了电子测量仪 20 的元件，其中电子测量仪 20 是数字信号处理器。路径 111 和 111'从流量计部件 10 发送左右两边的速率信号到电子测量仪 20 上。电子测量仪 20 里的模拟 - 数字(A/D)转换器 503 接收速率信号。A/D 转换器 503 将左右两边的速率信号转换成可由处理器 501 使用的数字信号，并且在路径 513 上发送数字信号给 I/O 总线 510。I/O 总线 510 将数字信号传输给处理器 501。在 I/O 总线 510 和路径 512 上发送驱动信号给数字 - 模拟(D/A)转换器 502。来自 D/A 转换器 502 的模拟信号通过路径 110 被发送给驱动器 104。路径 26 与 I/O 总线 510 连接，传送信号给输入和输出装置(未示出)，该装置允许电子测量仪 20 从操作者接收数据，和传送数据给操作者。

处理器 501 通过路径 521 从只读存储器(ROM)520 中读取用于完成流量计的各种功能的指令，其中的各种功能包括计算物质的质量流率，计算物质的体积流率，和计算物质的密度，但并不局限于此。执行各种功能的数据和指令存储在随机存取处理器(RAM)530 中。处理器 501 通过路径 531 进行 RAM 存储器 530 的读取和写入操作。

驱动信号校准的基本原理

本发明是一种用于校准例如Coriolis流量计5的设备里的驱动信号的系统。将经校准的驱动信号用于驱动器，这样驱动器会给导管施加一个力，使导管以期望的振动模式振动。可以在管线中的设备开始工作之前完成驱动信号的校准，或是当设备测量流经管线的物质的特性时，周期性地进行驱动信号的校准。

为校准驱动信号，必须产生 Coriolis 流量计 5 的数学模型。出于讨论的目的，假设 Coriolis 流量计 5 的系统是非线性，且时间不变性。在这样的系统中，输入和输出之间的关系并不随时间变化。下面的等式给出了从数学上模拟非线性、时间不变性系统的最通用方法：

$$\dot{x} = f(x,r) \qquad (1)$$

$$y = g(x,r); \qquad (2)$$

其中：

$\dot{x}$ = 所有已测量的振动；

x = 系统状态；

r = 系统的输入（驱动信号）；

y = 系统的输出；和

f 和 g 是描述系统功能的函数。

等式 1 和 2 太笼统，以至于不能用于确定可以产生所期望输出的所要求的输入，其中所期望输出可以是例如导管 103A－103B 以期望的振动模式振动。在使用有关 Coriolis 流量计 5 的系统的信息中，选择更具体的数学模型的形式。将流量计模型分成两个子系统，一个代表流量计的机械结构，另一个代表在该结构上放置的驱动器。已知可以由理想的线性系统来精确模拟机械结构。非理想的驱动器给该结构施加驱动力。将驱动器子系统模拟成非线性函数。对于 Coriolis 流量计 5，选择下面标准的状态空间等式来模拟该系统：

$$\dot{x} = Ax + Bf_a(r); \qquad (3)$$

$$y = Cx + Df_a(r); \qquad (4)$$

其中：

A，B，C，D＝是模拟 Coriolis 流量计部件 10 的结构动态的矩阵；

$f_\alpha(r)$＝模拟驱动命令信号和由驱动器产生的力之间关系的函数；

r＝驱动器信号。

从等式 3 和 4 中，可以看出 $f_\alpha(r)$的反函数（$f_\alpha^{-1}(r)$）将补偿系统的非线性，使得施加给导管 103A 和 103B 的力在期望的范围内的期望的振动模式中是线性的。$f_\alpha(r)$的精确形式是未知的。近似 $f_\alpha^{-1}(r)$的一种方法是关于假设的多项式，如下面的等式 5 所示。

$$f_a^{-1}(r) = \alpha_0 + \alpha_1 r + \alpha_2 r^2 + \alpha_3 r^3 + \alpha_4 r^4 + \cdots \quad (5)$$

其中 $\alpha_0 \ldots \alpha_4$ 是未知的常数。

用作近似 $f_\alpha^{-1}(r)$的多项式的阶数在驱动流量计时所采用 r(命令信号)值的范围内由系统给出的非线性的特性来确定。为了校准驱动信号，确定 $f_\alpha^{-1}(r)$，驱动信号被设为 $f_\alpha^{-1}(r)$；最后的动态系统变成：

$$\dot{x} = Ax + B f_\alpha(f_\alpha^{-1}(r)) \approx Ax + Br ; \quad (6)$$

其中（$f_\alpha^{-1}(r)$）是校正因子； (7)

因此，为校准驱动信号，必须为特殊的驱动器确定 $\alpha_0, l \in \{0,1,2,3,\ldots\}$。出于当前讨论的目的，由下面的多项式来近似 $f_\alpha(r)$：

$$f_a(r) = \beta_0 + \beta_1 * r + \beta_2 * r^2 + \beta_3 * r^3 + \ldots \quad (8)$$

为了清晰明确，调整示出的三阶多项式，若需要的话，可以调整不同阶的多项式使之适合数据。因此，等式 3 和 4 可以重新写成：

$$\dot{x} = Ax + B\left(\beta_0 + \beta_1 r + \beta_2 r^2 + \beta_3 r^3\right) \quad (9)$$

$$y = Cx + D(\beta_0 + \beta_1 * r + \beta_2 r^2 + \beta_3 r^3) \quad (10)$$

和最后，

$$\dot{x} = Ax + \left[B\beta_1; B\beta_2; B\beta_3\right] \bullet \left[r, r^2 \ldots r^3\right]^T \quad (10A)$$

$$y = Cx + \left[D\beta_1; D\beta_2; D\beta_3\right] \bullet \left[r, r^2 \ldots r^3\right]^T \quad (10B)$$

等式 10A 和 10B 可以看作多端输入动态系统的动态方程，其中输

入相当于多项式的每一项，$[r,r^2,r^3]$。标准的多端输入系统识别方法可以用于确定与动态系统相关的所有变量。1987 年，新泽西州，Englewood Cliffs，PTR Prentice Hall，Lennart Lijung 的系统识别的部分 2：用户理论，包含了对用于估计等式 10A 和 10B 中的参数的技术的详细说明。

一旦确定下来动态系统的变量，就必须确定反函数（校正因子）$f_\alpha^{-1}(r)$。因为驱动器 104 具有在例如 Coriolis 流量计 5 的设备的正常工作范围内呈单调的非线性，所以存在反函数。确定反函数 $f_\alpha^{-1}(r)$的一种方法是使多项式适合于反函数，使得等式 $f_\alpha(r)\cdot f_\alpha^{-1}(r)=1$。然而，也可以使用其它方法来确定反函数。

下面是一个对施加给驱动器 104 使得驱动器 104 以期望的振动模式来振动导管 103A－103B 的驱动信号进行校准的例子。假设由下面的等式来模拟驱动器 104:

$$f_\alpha(r) = r + .5r^2 + .3r^3 \qquad (11)$$

在这个例子中的 Coriolis 流量计 5 的离散结构模型是一个由等式 12，13，14 和 15 中的下面各项来定义的二阶系统:

$$A=\begin{bmatrix} 1.403 & -.9844 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \qquad (12)$$

$$B=\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad (13)$$

$$C=\begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \qquad (14)$$

$$D=0 \qquad (15)$$

第一步是利用信号发生器给 Coriolis 流量计 5 驱动器施加限制杂乱噪声命令信号的频带，并读取来自加速计 190 的输出数据。接着，估计用于调整非线性的多项式的阶数。在选定的多项式的阶数中有许多自由项。假如选定的阶数太高了，则与高阶相关的项将会很小，可以被忽略。这样就选择五阶多项式。对于多项式中的每一项，产生一个系统模型的输入，将这个单一输入的系统变成具有多个虚拟输入的系统(物理驱动器命令与所有单个元素的和一致)。

每个输入都与多项式的一个不同项一致，如等式 8。这些输入是向量[r,r^2,r^3,r^4,r^5]。使用标准的 MIMO 识别技术来估计模型参数。B 矩阵中的项是非线性多项式的系数。见参考文献 1，它论述了估计这些参数的各种技术。

一旦确定了模型，就检查 B 矩阵。正如在等式 10A 所看到的，B 矩阵将组成与多项式的系数成比例的列向量。通过第一列 β 完全分开等式(10A)，产生多项式系数估计值 β。

在本例中，噪声发生器的信号被设为信噪比 40dB。那么五阶多项式用于同驱动信号一致的 $f_\alpha(r)$，产生下面的结果:

$$f_\alpha(r) = .9987*r + .5002*r^2 + .2998*r^3 - .0003*r^4 + 0.0000 * r^5 \quad (16)$$

当比较等式 11 和 16 时，明显的看出，该系统精确的表征驱动器的非线性。下一步骤是处理等式 16 这个已调整的函数 $f_\alpha(r)$，确定反函数（校正因子）$f_\alpha^{-1}(r)$。有可以找出校准因子的多种不同方法。这里所用的方法是在 r 值范围内估计已调整的函数，等式 16。r 值和 $f_\alpha(r)$值是颠倒的，使用一个最小平方法使得另外一个多项式适合它的反向关系式。1980 年，加利福尼亚州，Monterey，Brooks/Cole Publishing Company，Ward Cheney 和 David Kincaid，Numerical Mathematics and Computing，讨论了所用的最小平方的方法。在一个优选实施例中，10 阶多项式适合于该反函数。

使用校正因子来确定等式(5)中已校准的驱动信号，用以施加给驱动器 104。根据在没有校准的命令信号上估计反函数来确定已校准的驱动信号。然后，将已校准的命令信号用于驱动器 104。图 7 示出了在 Coriolis 流量计中的导管振动，在该流量计中驱动信号没有校准。在大约 125Hz 处的第一尖峰 701 表示在第一弯曲振动模式中的振动。第一尖峰 701 表示在本发明的一个优选实施例中的期望的振动模式。702 和 703 表示由非线性激励器所引起的振动部分。这些部分分别处于 250 和 375Hz。图 6 是表示在优选的典型实施例中当已将理想驱动信号施加给驱动器 104 时，导管 103A－103B 振动的曲线图。可以看到，在振动频率范围内，只有尖峰 601 出现在大约 125Hz 处，该尖峰是第一弯曲振动模式，该振动模式是本发明的优选实施例中的期望的振动模式。

图 8 示出了在第二实施例中由施加给驱动器 104 的已校准的驱动

信号引起的导管 103A－103B 振动的曲线图。在这个实施例中，已校准驱动信号没有使期望振动模式的所有谐波消失。替代的，已校准的驱动信号使最终的谐波信号减少大于 50dB 的因子。

尖峰 801 是表示以期望的振动模式即第一弯曲振动模式振动的尖峰。尖峰 802－807 表示在期望振动模式的谐波处的振动。比较图 8 和图 6，很明显，已校准的驱动信号使导管在多个谐波处振动，和没有经校准的信号驱动导管相比，该谐波的数目要多。然而，每个谐波的水平减少大于 50dB，这与多于 100dB 因子的减少相一致，并且能很容易的从接收到的信号中滤掉。

振动用于 Coriolis 流量计 5 的驱动信号的方法－图 9

图 9 示出了完成用于 Coriolis 流量计 5 的驱动信号的校准步骤的方法 900 的流程图。方法 900 开始于振动导管 103A－103B 的步骤 901。正如上面提到的，在解释校准过程的内容中，在优选的典型实施例中，通过将杂乱噪声施加给驱动器 104 来振动导管 103A－103B。在步骤 902 中，根据振动的导管来测量导管 103A－103B 的振动。在步骤 903 中接收测量值。测量值包括来自加速计 190 和传感器 105－105'的数据。在步骤 904 中将测量数据存储在存储器或其它存储装置中，用于以后的驱动信号的校准。

在步骤 905 中根据步骤 903 中获得的测量值来生成 Coriolis 流量计 5 的动态模型。可以仅使用来自步骤 903 的测量值来生成动态模型，或者使用在步骤 903 中接收到的和已存储的测量数据来生成动态模型。在步骤 906 中，在步骤 905 中生成的 Coriolis 流量计 5 的动态模型用来确定施加给驱动器 104 的合适的驱动信号，以便以期望的振动模式来振动导管。在步骤 907 中，配置驱动电路使得将期望的驱动信号用于驱动器 104。改变驱动信号的一种方法是改变驱动电路中的参考电压。换句话说，数字信号处理器能够给存储器存储适当的电压，并在需要时将该电压用于驱动器 104。

在决定步骤 908 中，确定方法 900 是否周期性的重复。假如没有周期性的重复方法 900 以用于重新校准驱动信号，则方法 900 结束。否则，又从步骤 901 开始重复方法 900。周期性的重复方法 900 的想法是要周期性的校准驱动信号，目的是调整驱动信号用于补偿由 Coriolis 流量计 5 内的元件损耗而在系统的动态中引起的任何变化。

由数字处理器完成校准的过程－图 10

图 10 示出了由例如处理单元 400 或数字信号处理器 500 的处理器为完成图 9 所示方法 900 而进行的步骤的过程 1000。在与处理器连接的存储器中存储的指令包括由处理器执行的用于完成过程 1000 的步骤的指令。编写用于完成过程 1000 的步骤的可执行应用程序留给本领域的技术人员。

过程 1000 从生成驱动信号的步骤 1001 开始。正如上面提到的，在优选实施例中，产生的驱动信号是杂乱噪声。在步骤 1002 中，存储生成的信号，用来在产生 Coriolis 流量计 5 的结构动态模型中使用。随后，在步骤 1003 中发送生成的驱动信号给驱动器 104。驱动器 104 根据收到的驱动信号振动导管 103A－103B。加速计 190 和传感器 105－105' 根据驱动器 104 振动流量管来测量导管 103A－103B 的振动，并将测量的数据发给发送器。

在步骤 1004 中，处理器接收来自加速计 190 和传感器 105－105' 的测量数据。在步骤 1005 中，处理器响应接收的测量数据，将数据存储在与之连接的存储器中。Coriolis 流量计 5 的结构动态的一个模型是根据在步骤 1004 中接收到的测量数据在步骤 1006 中生成。可以仅根据在步骤 1004 中接收到的数据来生成动态模型，或者可以根据在步骤 1004 中接收到的数据和在存储器中存储的先前测量的数据来生成动态模型。

在步骤 1006 中，在步骤 1005 中生成的动态模型被用来确定用于驱动器 104 的合适的驱动信号，使得驱动器 104 以期望的振动模式振动导管 103A－103B。下面提供一种用于确定合适的驱动信号的可能的典型过程。在步骤 1007 中改变驱动电路，用于提供如在步骤 1006 中确定的合适的驱动信号。一种能够改变驱动信号的方法是改变驱动电路中的参考电压。换句话说，数字信号处理器能够给存储器存储适当的电压，并在需要时将该电压用于驱动器 104。

在决定步骤 1008 中，确定过程 1000 是否周期性的重复。假如没有周期性的重复过程 1000 以用于重新校准驱动信号，则过程 1000 结束。否则，在步骤 1010 中处理器启动计数器，并等待达到预定的时间量。在预定的时间量到达之后，过程 1000 又重新从步骤 1001 开始。周期性的重复过程 1000 的想法是要周期性的校准驱动信号，目的是调整驱

动信号用于补偿由于Coriolis流量计5内的元件损耗而在系统的动态中引起的任何变化。

确定合适的驱动信号的典型过程或方法－图11

图11进一步揭示了元件906和1007的细节，并且示出了一个正如上面描述的确定合适的驱动信号的典型过程1100或方法，这个合适的驱动信号用于驱动器104，使之以期望的振动模式来振动导管103A－103B。过程1100开始于步骤1101，在该步骤中，根据振动测量数据生成的动态模型用于计算多项式函数的系数，该函数根据驱动信号模拟施加给导管103A－103B的力。一旦确定了多项式函数的系数，就可以在步骤1102中使用在步骤1101中确定的力的系数来确定反函数的系数。在步骤1103中将驱动命令信号加入表示反函数的多项式中以便确定适当的驱动命令用于驱动器104。在步骤1103之后结束过程1100。

总结

正如所描述的，本发明涉及对Coriolis流量计的校准，尤其是，涉及对相关的驱动信号的校准。

Coriolis流量计包括至少一个导管，图1所示的Coriolis流量计的例子包括了两个导管，如导管103A和103B。由施加给固定在导管上的驱动器的驱动信号来振动导管。驱动器是可以包括磁铁和反作用线圈的物理结构。驱动信号110是例如正弦波的周期波形状，并且是由电子测量仪20提供的，也见图1。尽管也可以使用驱动信号的其它周期波形状，但所描述的实施例的驱动信号是频率为125赫兹(Hz)的正弦波。关于流经流量计的物质的测量值，例如质量流率、质量密度、和其它等，是从导管发出的传感器信号中得到的。当物质流经流量计时，根据驱动信号的频率偏差和相位偏差来确定测量值。

对于要被校准的驱动信号来说，对流经流量计的物质作精确测量是必需的。然而，由于导管中的和穿过单个流量计的驱动器中的结构变化，使得存在不精确测量。结构变化产生不想要的、非线性的响应，例如驱动信号谐波。驱动信号谐波提高了噪声层，并且以不曾预料的方式振动导管，这样产生了不精确的测量。

所描述的发明通过将输出的先验信息用于驱动信号的新颖方法解决了不想要的驱动信号谐波的问题。首先，通过给Coriolis流量计的驱动器施加一个测试驱动信号来表征Coriolis流量计，这是一个实际的物

理结构。然后，加速计收集关于由测试驱动信号在流量管中产生振动的数据。这个系统可以被表征为一个单一输入—单一输出系统，有一个等同于输入分配输出的传递函数。Coriolis 流量计系统的状态空间等式可以被写成包括输入、输出、和每一单个流量计的结构特征。这个状态空间等式可以写成：

$$\dot{x} = Ax + Bf_a(r)$$

$$y = Cx + Df_a(r),$$

其中 A，B，C 和 D 是构成表示每一单个流量计结构参数的系数的状态空间矩阵，$f_A(r)$是表示驱动信号的多项式函数，正如前面的等式 1 和 2 所示。

可以通过从原始信号构造多个输入为预定数目的多项式的项来形成从单一输入—单一输出系统到多输入—单一输出系统的转换。例如，从例如正弦形式的单信号中产生包括高阶部分的多输入信号，

$$f_A(r) = a\sin(2\pi f t),$$

其中 α 是标量，f 是频率，t 是时间，多项式的阶数必须是预先确定。该系统的多个输入是由所需多项式的项的数目来产生，例如

$$f_A(r) = a\sin(2\pi f t) + a^2\sin(2\pi f t)^2 + a^3\sin(2\pi f t)^3 + \ldots + a^n\sin(2\pi f t)^n.$$

尽管可以选择任何多项式的阶数，但是对于本发明的目的来讲，可以确定，五阶多项式就足够了，因为更高阶的部分对整个系统的影响可以忽略。因为现在，由多个输入信号所表征的输入和 Coriolis 流量计系统的输出信号是已知的，所以该系统可由它的传递函数来表征。可以通过将传递函数转换成它的可控制的规范形式来解决状态空间矩阵 A，B，C 和 D。类似的技术对本领域的技术人员来讲是众所周知的，并且可以在如早先提到的 Lennart Lijing 的参考资料等这样的参考资料中找到。

一旦系统被它的传递函数表征，状态空间矩阵 A，B，C 和 D 被构造成可控制的规范形式，这对本领域的技术人员来讲是众所周知的。从可控制的规范形式中，B 矩阵的系数用作构造一个信号补偿器。这个信号补偿器被重新写成如下的形式：

$$\dot{x} = Ax + B\left(\beta_0 + \beta_1 r + \beta_2 r^2 + \beta_3 r^3 + \beta_3 r^4 + \beta_3 r^5\right)$$
$$y = Cx + D\left(\beta_0 + \beta_1 r + \beta_2 r^2 + \beta_3 r^3 + \beta_3 r^4 + \beta_3 r^5\right),$$

其中，现在，β系数是由先前提到的可控制的规范形式的B矩阵的系数来表示，r仍然是输入信号。

一旦确定了β系数，驱动信号就被输入到系统中。输出产生了一套新的数据。新的输出数据是使用最小平方算法所拟合的曲线，这对本领域的技术人员来讲也是众所周知的。最小平方曲线拟合产生一个预定阶数的多项式。一旦产生多项式，就可以计算该多项式的反向式，并且对反向的多项式估计一个非测试驱动信号。

为了说明，对Coriolis流量计输入一个由宽带噪声组成的测试信号。预先确定一个二阶系统，这对一个例子来说足够了。当将传递函数写成可控制的规范形式时，可以产生状态空间矩阵A，B，C和D:

$$A = \begin{bmatrix} 1.403 & -.9844 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$D = 0$$

将由具有信噪比(SNR)40分贝(dB)的125Hz正弦波组成的驱动信号用于系统中。将驱动信号安排成多项式函数的格式，形式如下:

$$f_A(r) = r + 0.5r^2 + 0.3r^3$$

其中r是驱动信号，如等式11所示。信号的系数是在具有非线性谐波部分的实际流量计输出的试探数据的基础上，并且在这里仅作为一个例子使用。将上述函数用于已知的Coriolis流量计的状态空间结构参数，如等式1和2所示。表示加速计的输出数据的功率谱显示(PSD)

揭示了最终的驱动信号谐波，如图 7 所示。输出数据是使用五阶多项式函数形式的最小平方算法所拟合的曲线。最小平方算法生成多项式函数：

$$f_A(r) = .9987*r + .5002*r^2 + .2998*r^3 - .0003*r^4 + 0.0000 * r^5$$

如等式 8 所示。计算上述拟合曲线 $f_A(r)$的多项式反函数。多项式反函数存储在位于电子测量仪里的存储器中，例如图 1 中的电子测量仪 20。通过用驱动信号的采样值估算多项式反函数，将多项式反函数用于驱动信号。例如，将驱动信号的采样输入到多项式反函数中，结果是一个表示已经补偿的驱动信号采样的输出样值。整个过程使得驱动信号谐波的幅度减少，正如图 8 的 PSD 所示。

先前，驱动信号谐波有足够的幅度，以致可以无法预料的振动 Coriolis 流量管。而这个如所教导的新颖方法基本上减少了对几乎可忽略的点处的驱动信号谐波的幅度。尽管结果可以不同，但上面的例子有效的减少驱动信号谐波大于 20dB，并且没有谐波大于 0dB。

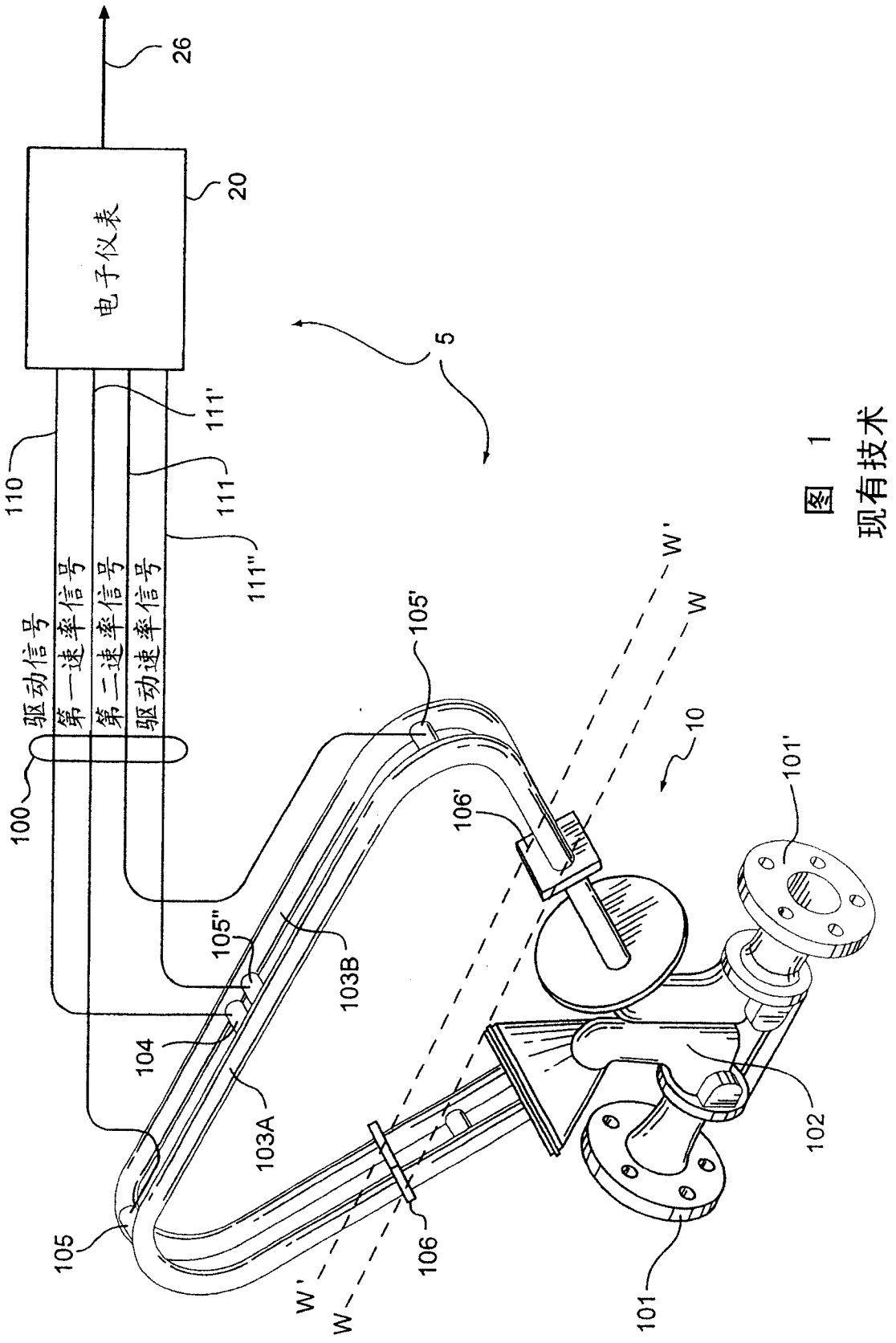

26
20
电子仪表
5
111'
111
111"
110
驱动信号
第一速率信号
第二速率信号
驱动速率信号
100
105'
W'
W
10
101'
106'
105"
103B
104
103A
105
106
W'
W
101
102

图 1
现有技术

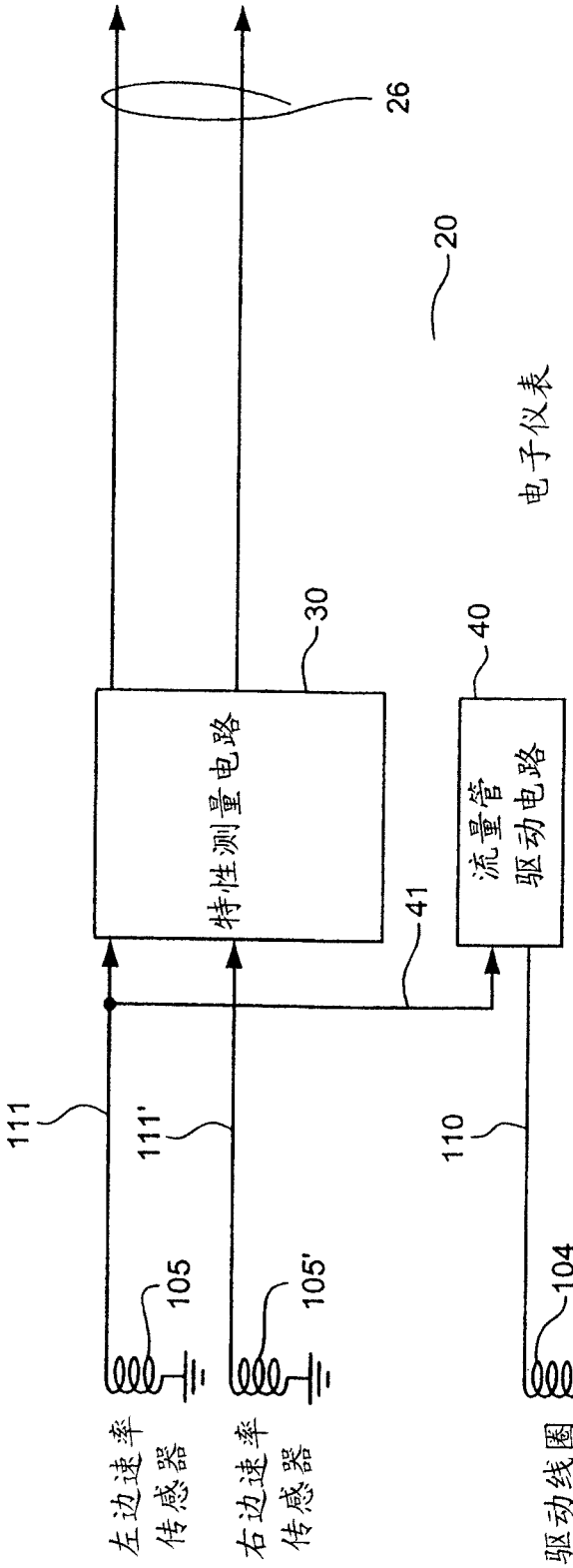

26
20
电子仪表
30
40
特性测量电路
流量管
驱动电路
41
111
111'
110
105
105'
104
左边速率
传感器
右边速率
传感器
驱动线圈
测量计部件
10

图 2
现有技术

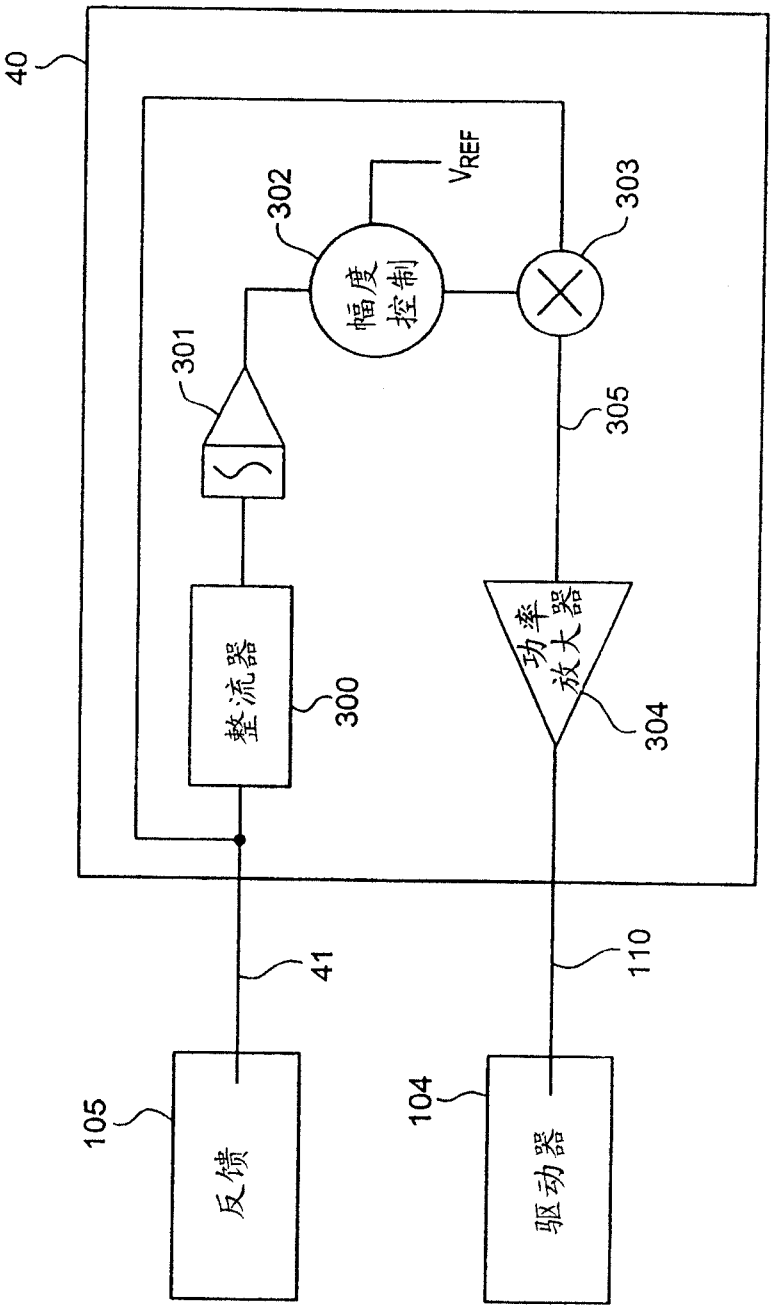

40
302
V_{REF}
303
幅度控制
301
305
整流器
300
功率放大器
304
41
110
105
反馈
104
驱动器

图 3
现有技术

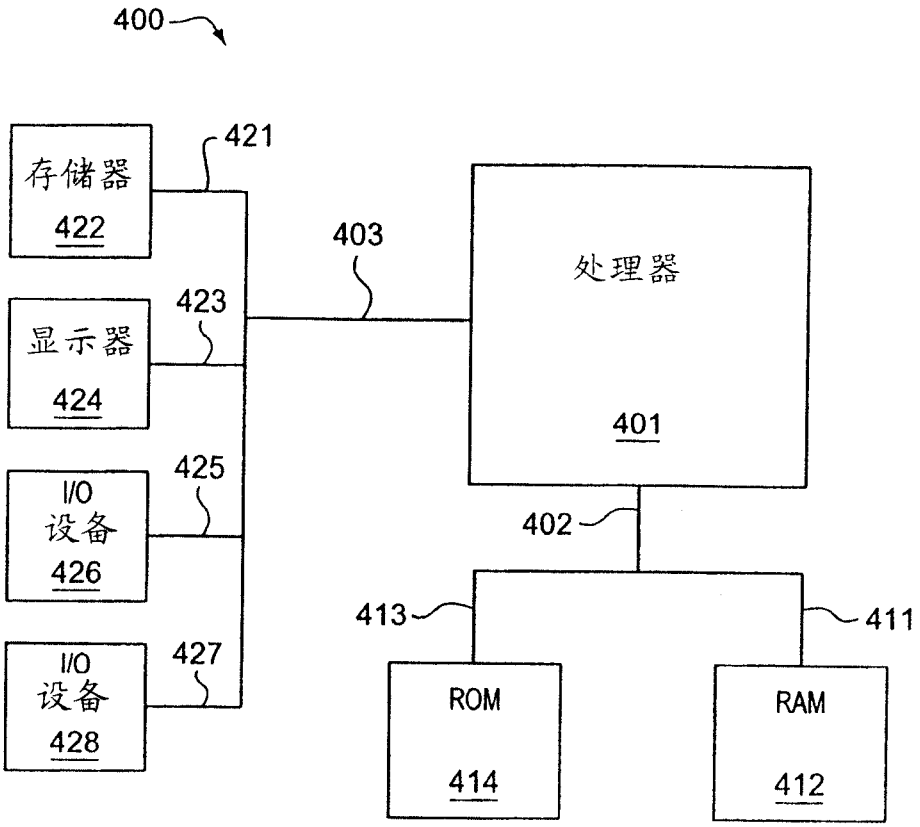

400
存储器
422
421
显示器
424
423
I/O
设备
426
425
I/O
设备
428
427
403
处理器
401
402
413
411
ROM
414
RAM
412

图 4

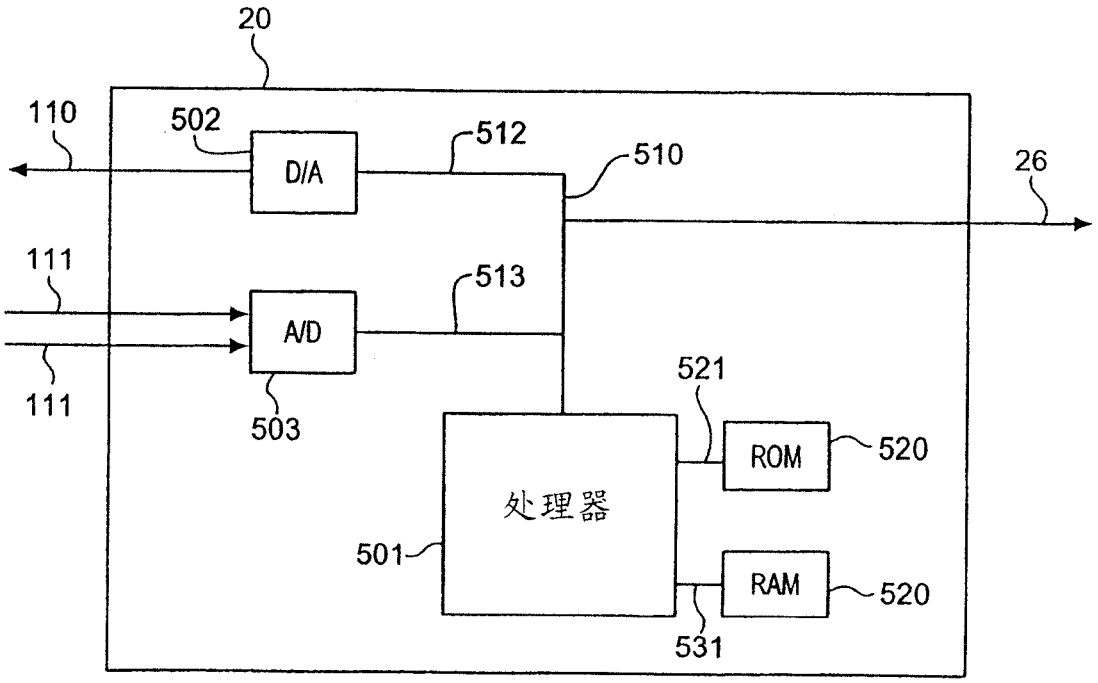

20
110
502
D/A
512
510
26
111
513
A/D
111
503
521
ROM
520
处理器
501
RAM
520
531

图 5

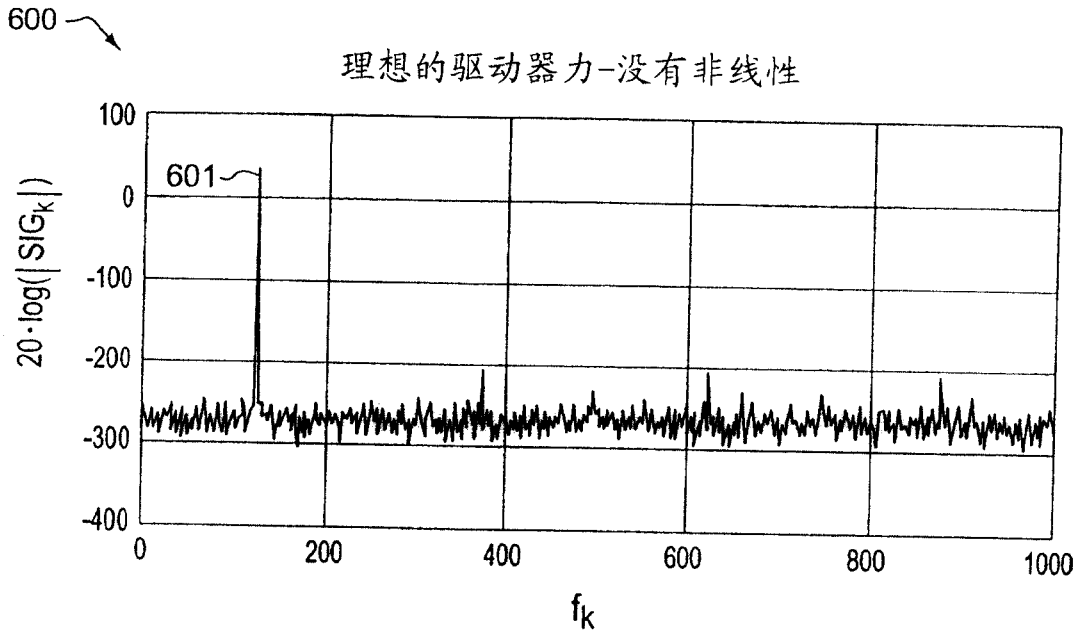

600
理想的驱动器力-没有非线性
601
100
0
-100
-200
-300
-400
0
200
400
600
800
1000
20·log(|SIG_k|)
f_k

图 6

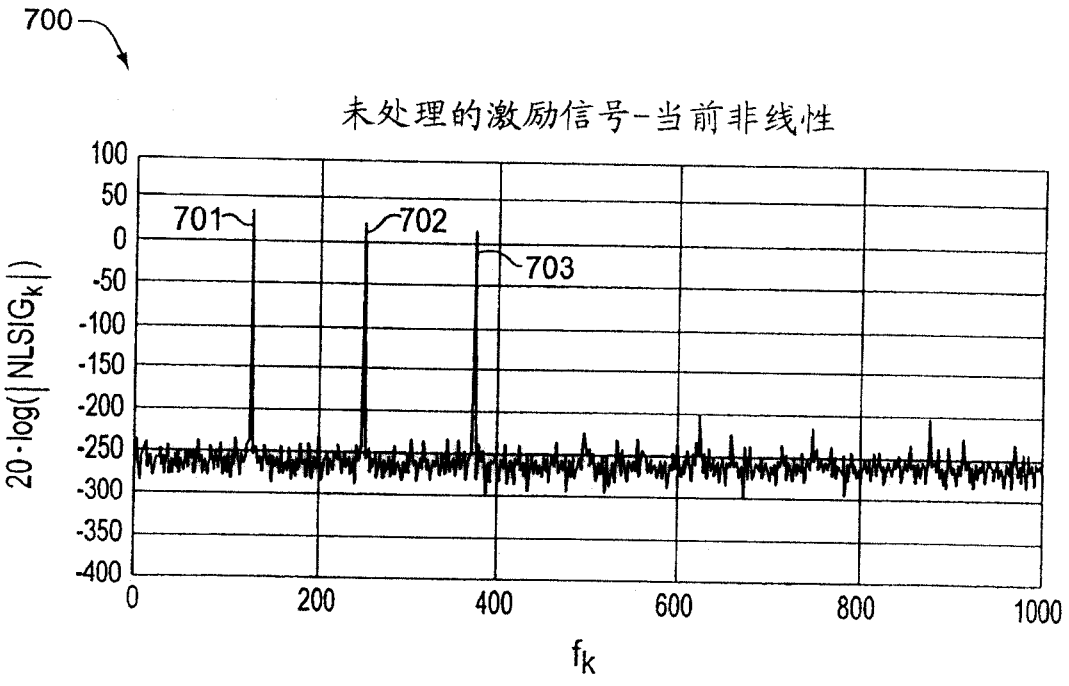

700
未处理的激励信号-当前非线性
701
702
703
100
50
0
-50
-100
-150
-200
-250
-300
-350
-400
0
200
400
600
800
1000
20·log(|NLSIG_k|)
f_k

图 7

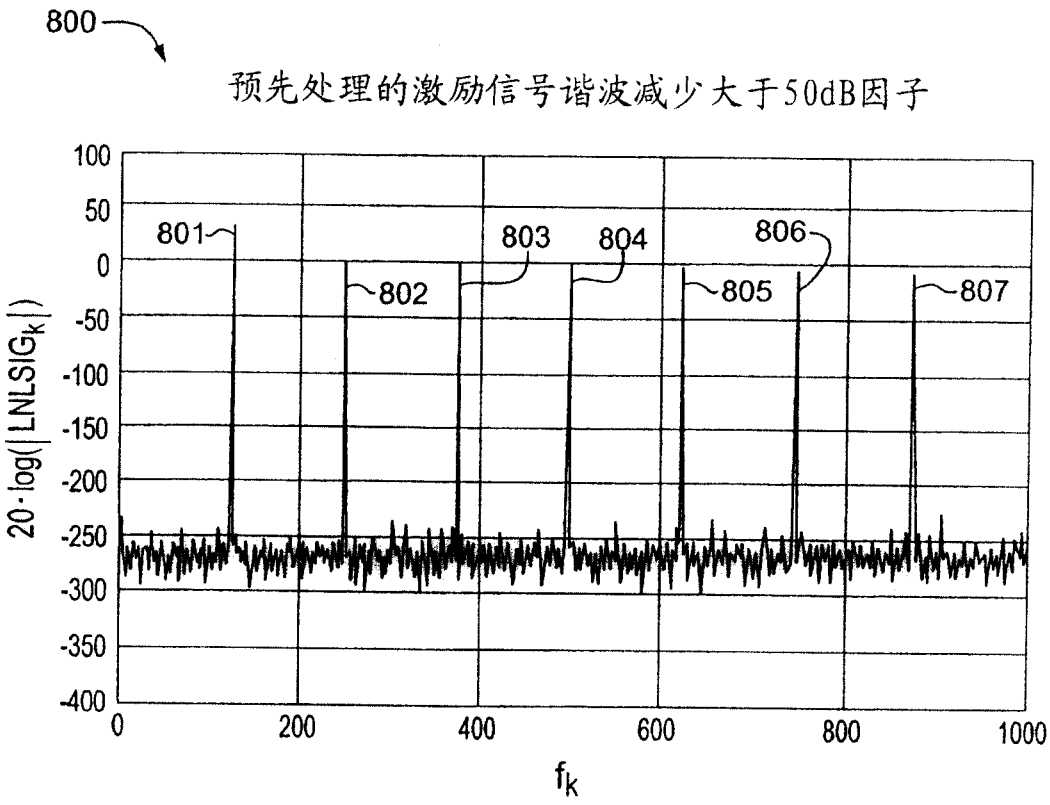

800
预先处理的激励信号谐波减少大于50dB因子
801
802
803
804
805
806
807
100
50
0
-50
-100
-150
-200
-250
-300
-350
-400
0
200
400
600
800
1000
20·log(|LNLSIG_k|)
f_k

图 8

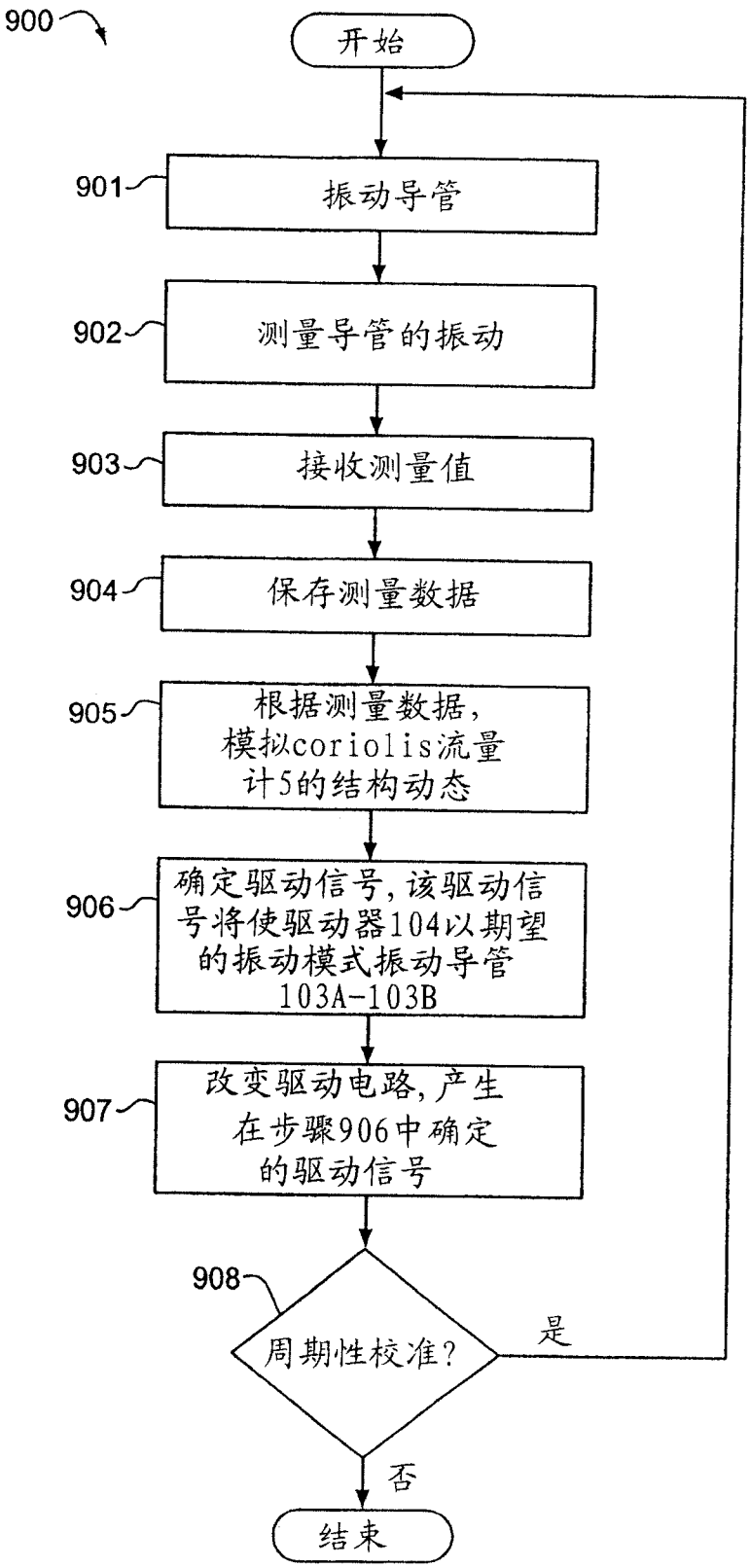

900
开始
901
振动导管
902
测量导管的振动
903
接收测量值
904
保存测量数据
905
根据测量数据，模拟coriolis流量计5的结构动态
906
确定驱动信号，该驱动信号将使驱动器104以期望的振动模式振动导管103A-103B
907
改变驱动电路，产生在步骤906中确定的驱动信号
908
周期性校准？
是
否
结束

图 9

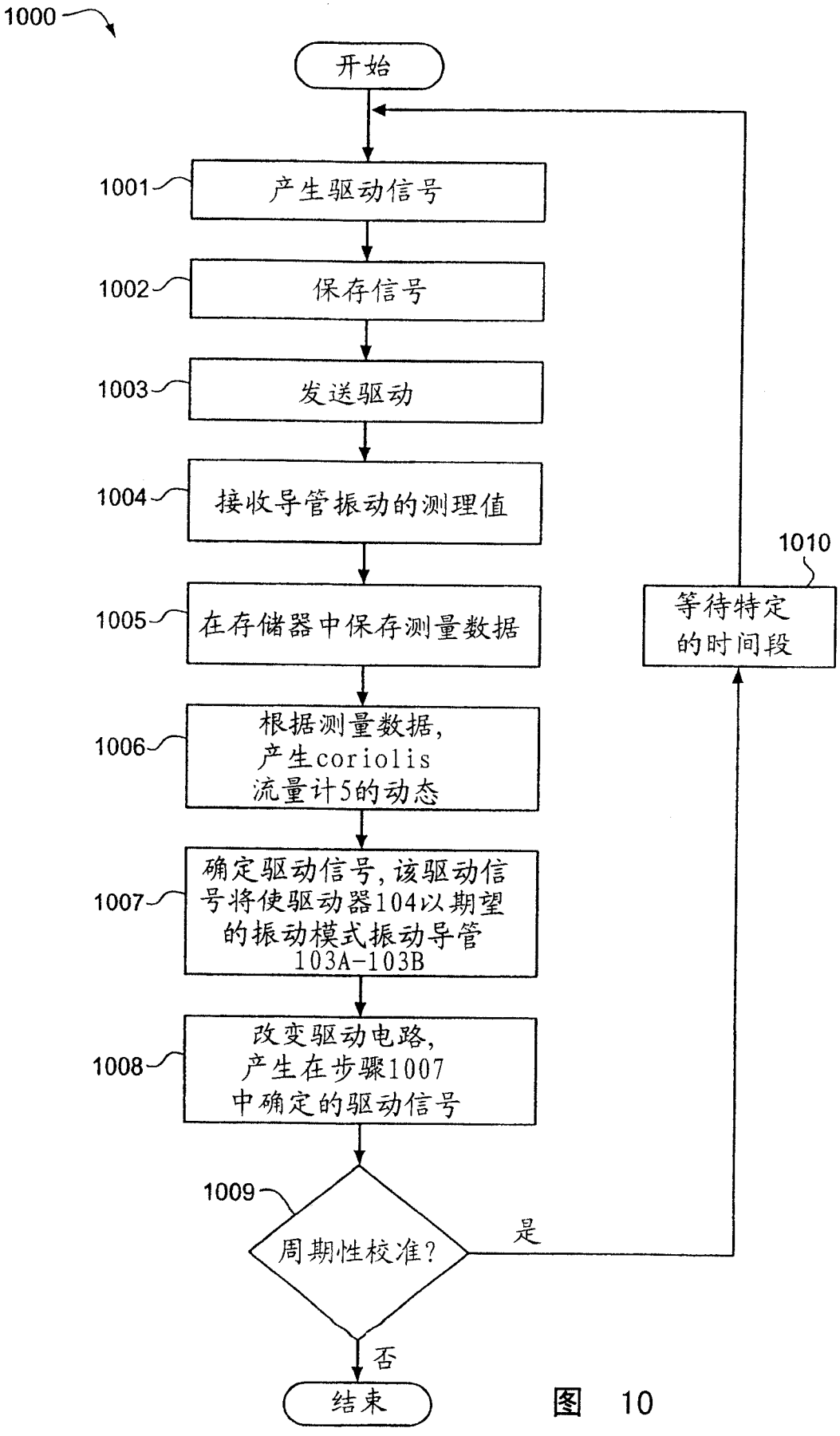

1000
开始
1001
产生驱动信号
1002
保存信号
1003
发送驱动
1004
接收导管振动的测理值
1005
在存储器中保存测量数据
1006
根据测量数据，
产生coriolis
流量计5的动态
1007
确定驱动信号，该驱动信
号将使驱动器104以期望
的振动模式振动导管
103A-103B
1008
改变驱动电路，
产生在步骤1007
中确定的驱动信号
1009
周期性校准？
是
否
结束
1010
等待特定
的时间段

图 10

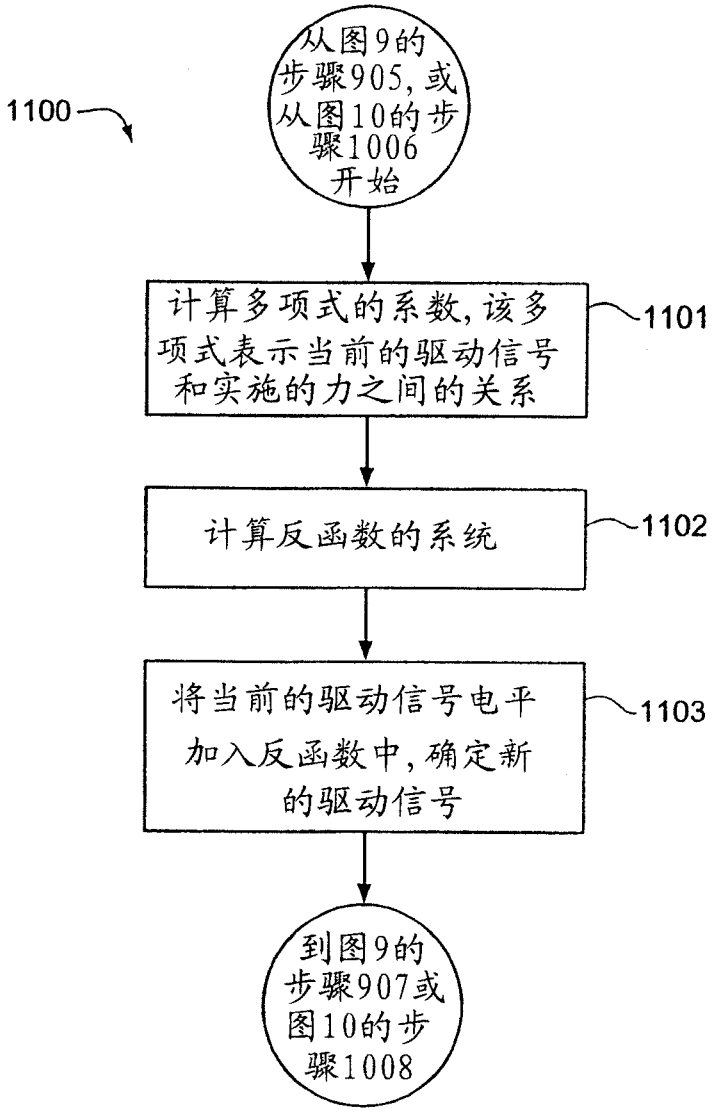

1100
从图9的步骤905，或从图10的步骤1006开始
计算多项式的系数，该多项式表示当前的驱动信号和实施的力之间的关系
1101
计算反函数的系统
1102
将当前的驱动信号电平加入反函数中，确定新的驱动信号
1103
到图9的步骤907或图10的步骤1008

图 11