



[12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 99802911.4

[45] 授权公告日 2004 年 12 月 1 日

[11] 授权公告号 CN 1178048C

[22] 申请日 1999.11.26 [21] 申请号 99802911.4

[30] 优先权

[32] 1998.12.11 [33] EP [31] 98123680.5

[32] 1999.2.19 [33] US [31] 60/120,797

[86] 国际申请 PCT/EP1999/009166 1999.11.26

[87] 国际公布 WO2000/036379 德 2000.6.22

[85] 进入国家阶段日期 2000.8.11

[71] 专利权人 安德雷斯和霍瑟·弗罗泰克有限公司

地址 瑞士赖纳赫

[72] 发明人 格尔哈德·埃科特 罗曼·哈伯里

克里斯蒂安·马特

阿尔弗雷德·温格

审查员 周胜生

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所

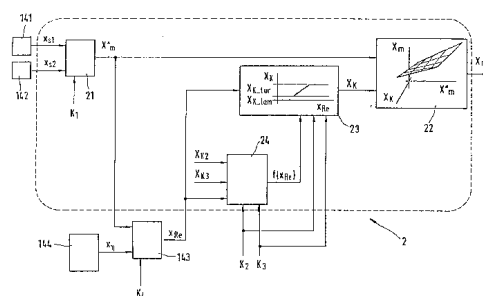
代理人 李德山

权利要求书 3 页 说明书 19 页 附图 7 页

[54] 发明名称 科里奥利质量流量/密度计

[57] 摘要

本发明的科里奥利质量流量计/密度计是一种尽可能紧致的科里奥利质量流量计/密度计,并提供高度精确的测量结果,该测量结果与要测量的介质的流速场无关。所述质量流量计/密度计包括至少一个测量管(11),介质流经该测量管,在操作过程中,该流量管振动。测量该振动的测量装置(141)被设置在测量管(11)的进口端,并提供测量信号(x_{s1})。测量该振动的测量装置(142)被设置在测量管(11)的出口端,并提供测量信号(x_{s2})。



权 利 要 求 书

1. 一种用于流经管道的介质的科里奥利质量流量/密度计, 所述科里奥利质量流量/密度计包括:

- 至少一个具有进口端和出口端的流量管, 在操作过程中, 介质流经所述至少一个流量管;

- 固定在流量管的进口端和出口端上, 从而流量管能够被振动的支承装置;

- 在操作过程中, 使流量管振动的激振器;

- 设置在流量管的进口端, 用于在操作过程中测量振动, 并输出第一测量信号的第一测量装置;

- 设置在流量管的出口端, 用于在操作过程中测量振动, 并输出第二测量信号的第二测量装置;

- 在操作过程中, 输出代表流动介质的瞬时雷诺系数的第三测量信号的第三测量装置; 及

- 求值电子线路, 用于在操作过程中, 输出

- 代表质量流率的第一测量值, 第一测量值由第一, 第二和第三测量信号得出, 及

- 代表介质的瞬时密度的第二测量值, 该第二测量值由第一和第二测量信号得出。

2. 按照权利要求 1 所述的科里奥利质量流量/密度计, 其中求值电子线路提供源于第三测量信号的校正值。

3. 按照权利要求 2 所述的科里奥利质量流量/密度计, 其中求值电子线路利用通过校准确定的层流的恒定校正值, 利用通过校准确定的湍流的恒定校正值, 以及利用根据插值函数确定的, 位于这两个恒定校正值之间的内插校正值, 提供校正值。

4. 按照权利要求 2 所述的科里奥利质量流量/密度计, 其中求值电子线路包括表格存储器, 依赖于雷诺系数的数字化校正值被存储在该表格存储器中, 借助根据第三测量信号形成的数字存储器访问地址,

该表格存储器提供校正值。

5. 按照权利要求 3 或 4 所述的科里奥利质量流量/密度计, 其中求值电子线路提供源于第一和第二测量信号的中间值, 该中间值代表未校正的质量流率。

6. 按照权利要求 5 所述的科里奥利质量流量/密度计, 其中求值电子线路响应中间值和校正值, 输出第一测量值。

7. 按照权利要求 6 所述的科里奥利质量流量/密度计, 其中科里奥利质量流量/密度计包括第四测量装置, 该测量装置测量介质的动力粘度, 并输出代表所述动力粘度的第四测量信号。

8. 按照权利要求 7 所述的科里奥利质量流量/密度计, 其中第三测量装置响应未校正的中间值和第四测量信号, 输出第三测量信号。

9. 按照权利要求 7 所述的科里奥利质量流量/密度计, 其中第四测量装置测量介质的运动粘度, 并输出代表所述运动粘度的第五测量信号。

10. 按照权利要求 9 所述的科里奥利质量流量/密度计, 其中第四测量装置响应第二测量值和第五测量信号, 输出第四测量信号。

11. 按照权利要求 9 所述的科里奥利质量流量/密度计, 其中激振器包括被供给激发能的线圈, 根据该线圈的电流和/或电压, 第四测量装置得出第四测量信号和/或第五测量信号。

12. 按照权利要求 9 所述的科里奥利质量流量/密度计, 其中第四测量装置根据沿着管道测得的压差, 得出第四测量信号和/或第五测量信号。

13. 一种对于流经管道的介质, 用科里奥利质量流量/密度计产生代表质量流率的第一测量值的方法, 所述科里奥利质量流量/密度计包括:

- 至少一个具有进口端和出口端的流量管, 在操作过程中, 介质流经所述至少一个流量管;

- 固定在流量管的进口端和出口端上, 从而流量管能够被振动的支承装置;

-在操作过程中，使流量管振动的激振器；

所述方法包括下述步骤：

-检测流量管的振动，并产生代表进口端振动的第一测量信号和代表出口端振动的第二测量信号，用于形成代表未校正的质量流率的中间值；

-利用中间值，并利用代表介质的动力粘度的第四测量信号，产生代表流动介质的雷诺系数的第三测量信号；及

- 利用源于第三测量信号的校正值，校正中间值。

14. 按照权利要求 13 所述的方法，其中根据提供给激振器的激发能的电流和/或电压，得出第四测量信号。

15. 按照权利要求 13 所述的方法，其中根据沿着管道测得的压差得到第四测量信号。

科里奥利质量流量/密度计

本发明涉及用于流过管道的介质的科里奥利质量流量/密度计，以及涉及产生代表质量流率的测量值的方法。

在用于流经管道的介质的科里奥利质量流量/密度计中，质量流率的测量以使介质流过插入管道中的流量管，并在操作过程中振动，从而使介质受到科里奥利力的原理为基础。科里奥利力使流量管的进口端部分和出口端部分相对于彼此异相振动。这些相差的量值是质量流率的量度。于是用沿着流量管彼此间隔给定距离放置的两个振动传感器检测流量管的振动，并由这些传感器转换为测量信号，根据这些测量信号的相差，得出质量流率。

美国专利 4187721 公开了一种科里奥利质量流量计，包括：

- 具有进口端和出口端的单个 U 形流量管，在操作过程中，介质流经流量管；

- 固定在流量管的进口端和出口端上，从而使流量管能够被振动的支承装置；

- 在操作过程中，使流量管振动的激振器；

- 设置在流量管的进口端，用于在操作过程中测量振动，并输出第一测量信号的第一测量装置；

- 设置在流量管的出口端，用于在操作过程中测量振动，并输出第二测量信号的第二测量装置；及

- 用于在操作过程中，输出代表质量流率的第一测量值的求值电子线路，质量流率由第一和第二测量信号得出。

另外 EP-A 849568（对应于美国序列号 08/940644，申请日 1997 年 9 月 30 日）公开了一种科里奥利质量流量计，包括：

- 具有进口端和出口端的单个直通流量管，在操作过程中，介质流经流量管；

-固定在流量管的进口端和出口端上，从而流量管能够被振动的的
支承装置；

-在操作过程中，使流量管振动的激振器；

-设置在流量管的进口端，用于在操作过程中测量振动，并输出第
一测量信号的第一测量装置；

-设置在流量管的出口端，用于在操作过程中测量振动，并输出第
二测量信号的第二测量装置；及

-用于在操作过程中，输出代表质量流率的测量值的求值电子线
路，质量流率由第一和第二测量信号得出。

另外，美国专利 4660421，美国专利 4733569 都公开了一种科里
奥利质量流量计，包括：

-具有进口端和出口端的螺旋形流量管，在操作过程中，介质流经
流量管；

-固定在流量管的进口端和出口端上，从而流量管能够被振动的的
支承装置；

-在操作过程中，使流量管振动的激振器；

-设置在流量管的进口端，用于在操作过程中测量振动，并输出第
一测量信号的第一测量装置；

-设置在流量管的出口端，用于在操作过程中测量振动，并输出第
二测量信号的第二测量装置；及

-在操作过程中，用于输出代表质量流率的测量值的求值电子线
路，质量流率由第一和第二测量信号得出。

此外，美国专利 4491025，美国专利 4660421 和美国专利 5218873
都公开了一种具有两个连通流量管的科里奥利质量流量计，在操作过
程中，介质流过这两个连通流量管。这些流量管由具有进口端第一端
部的进口端第一歧管和具有出口端第二端部的出口端第二歧管互连，
并由支承装置固定，从而该流量管能够被振动。

开头提及的美国专利 4187721 和提及科里奥利质量流量计的 EP-A
849568 还可用于测量流动介质的瞬时密度。对于本发明，于是假定上

面称为科里奥利质量流量计的设备还测量流动介质的瞬时密度，即使通常在各个文献中没有对此进行说明，因为这是不言而喻的。

就科里奥利质量流量计和科里奥利质量流量/密度计而言，流量管的宽度 D 与流量管的长度的比率（ D/L 比率）对于测量精度非常重要。如果使用单个流量管，则宽度 D 实质上等于管道的标称直径。

在大于约 0.05 的 D/L 比率下，流量管中的介质的瞬时流速场会影响测量精度，以致最后得到的增大的测量误差不再可被忽略。测量已表明在大于 0.05 的 D/L 比率下，流速场的这种影响可能导致千分之几~百分之一的额外误差。

但是，由于对科里奥利质量流量/密度计设计的制限，即，一方面，由具体应用中规定的标称管道直径，另一方面，由要求科里奥利质量流量/密度计尽可能短和紧致的事实，限制了 D/L 比率的极小化。

本发明的一个目的是提供一种科里奥利质量流量/密度计，该科里奥利质量流量/密度计提供独立于瞬时流速场的高精度测量结果，同时在结构上尽可能地紧致。本发明的另一目的是提供一种产生这种测量结果的方法。

为了实现上述第一发明目的，本发明提供了一种用于流经管道的介质的科里奥利质量流量/密度计，所述科里奥利质量流量/密度计包括：

- 至少一个具有进口端和出口端的流量管，在操作过程中，介质流经所述至少一个流量管；

- 固定在流量管的进口端和出口端上，从而流量管能够被振动的支承装置；

- 在操作过程中，使流量管振动的激振器；

- 设置在流量管的进口端，用于在操作过程中测量振动，并输出第一测量信号的第一测量装置；

- 设置在流量管的出口端，用于在操作过程中测量振动，并输出第二测量信号的第二测量装置；

- 在操作过程中，输出代表流动介质的瞬时雷诺系数的第三测量信

号的第三测量装置；及

- 求值电子线路，用于在操作过程中，输出

- 代表质量流率的第一测量值，第一测量值由第一，第二和第三测量信号得出，及

- 代表介质的瞬时密度的第二测量值，该第二测量值由第一和第二测量信号得出。

此外，本发明包括一种对于流经管道的介质，用科里奥利质量流量/密度计产生代表质量流率的第一测量值的方法，所述科里奥利质量流量/密度计包括：

- 至少一个具有进口端和出口端的流量管，在操作过程中，介质流经所述至少一个流量管；

- 固定在流量管的进口端和出口端上，从而流量管能够被振动的支承装置；

- 在操作过程中，使流量管振动的激振器；

所述方法包括下述步骤：

- 检测流量管的振动，并产生代表进口端振动的第一测量信号和代表出口端振动的第二测量信号，用于形成代表未校正的质量流率的中间值；

- 利用中间值，并利用代表介质的动力粘度的第四测量信号，产生代表流动介质的雷诺系数的第三测量信号；及

- 利用源于第三测量信号的校正值，校正中间值。

在根据本发明的科里奥利质量流量/密度计的第一实施例中，求值电子线路提供源于第三测量信号的校正值。

在根据本发明的科里奥利质量流量/密度计的第二实施例中，利用由校准确定的层流的恒定校正值，利用由校准确定的湍流的恒定校正值，以及利用根据插值函数确定的，位于这两个恒定校正值之间的内插校正值，求值电子线路提供校正值。

在根据本发明的科里奥利质量流量/密度计的第三实施例中，求值电子线路包括表格存储器，依赖于雷诺系数的数字化校正值被存储在

该表格存储器中，借助根据第三测量信号形成的数字存储器访问地址，该表格存储器提供校正值。

在根据本发明的科里奥利质量流量/密度计的第四实施例中，求值电子线路提供源于第一和第二测量信号的中间值，该中间值代表未校正的质量流率。

在根据本发明的科里奥利质量流量/密度计的第五实施例中，求值电子线路响应中间值和校正值，输出第一测量值。

在根据本发明的科里奥利质量流量/密度计的第六实施例中，科里奥利质量流量/密度计包括第四测量装置，该测量装置测量介质的动力粘度，并输出代表所述动力粘度的第四测量信号。

在根据本发明的科里奥利质量流量/密度计的第七实施例中，第三测量装置响应未校正的中间值和第四测量信号，输出第三测量信号。

在根据本发明的科里奥利质量流量/密度计的第八实施例中，第四测量装置测量介质的运动粘度，并输出代表所述运动粘度的第五测量信号。

在根据本发明的科里奥利质量流量/密度计的第九实施例中，第四测量装置响应第二测量值和第五测量信号，输出第四测量信号。

在根据本发明的科里奥利质量流量/密度计的第十实施例中，激振器包括被供给激发能的线圈，并且根据该线圈的电流和/或电压，第四测量装置得出第四测量信号和/或第五测量信号。

在根据本发明的科里奥利质量流量/密度计的第十一实施例中，第四测量装置根据沿着管道测得的压差，得出第四测量信号和/或第五测量信号。

在根据本发明的方法的第一实施例中，根据提供给激振器的激发能的电流和/或电压，得出第四测量信号。

在根据本发明的方法的第二实施例中，根据沿着管道测得的压差得到第四测量信号。

本发明的优点之一是即使在大于 0.05 的 D/L 比率下，科里奥利质量流量/密度计也可提供其中已补偿了瞬时流速场对测量精度的影响的

质量流率。

结合附图，根据下面的实施例说明，本发明将变得显而易见。在附图中，相同的部件由相同的附图标记表示；为了清楚起见，在后续附图中省略了已介绍的参考字符。其中：

图 1 是科里奥利质量流量/密度计的质量流量传感器的垂直纵向图，部分以剖视图的形式给出。

图 2 是用于增大测量精度的科里奥利质量流量/密度计的求值电子线路的子电路的示意方框图；

图 3 是用于使用校正值，根据未校正的质量流量值，得出精度足够的质量流量值的子电路的示意方框图；

图 4 是根据测量的雷诺系数，得出质量流量校正值的子电路的示意方框图；

图 5 是根据插值函数，产生质量流量校正值的子电路的示意方框图；

图 6a 是根据介质的实测动力粘度，确定雷诺系数的子电路的示意方框图；

图 6b 是根据介质的实测运动粘度，确定雷诺系数的子电路的示意方框图；

图 7 是根据激振器的实测激发能，确定介质的运动粘度的子电路的示意方框图；

图 8a 是根据沿流动方向测得的压差，得出层流情况下运动粘度的实测值的子电路的示意方框图；

图 8b 是根据沿流动方向测得的压差，得出湍流情况下运动粘度的实测值的子电路的示意方框图；及

图 9 是确定介质的瞬时运动粘度的子电路的示意方框图。

现在参见图 1，图 1 表示了具有单个直通流量管 11 的科里奥利质量流量/密度计的质量流量传感器 1 的垂直纵向图，部分以剖视图形式给出，流量管 11 具有进口端第一端部和出口端第二端部。

流量管 11 的第一端部配有第一凸缘 111，第二端部配有第二凸缘

112, 从而可以压力密闭方式把质量流量传感器 1 插入操作过程中介质流经的管道中。

质量流量传感器 1 还包括支承装置 12, 支承装置 12 具有固定在流量管 11 的第一端部的第一端板 121, 固定在流量管 11 的第二端部的第二端板 122, 以及插在第一和第二端板 121, 122 之间的支承管 123。端板 121, 122 以刚性并且压力密闭方式, 尤其是真空密闭方式与流量管 11 相连。从而流量管 11 以自承方式被安装在端板 121, 122 之间的支承管 123 的内腔中, 从而可使之振动。

流量管 11 和端板 121, 122 及凸缘 111, 112 之间的接合点, 以及端板 121, 122 与支承管 123 之间的接合点可以是, 例如焊接接头或者焊接接缝; 端板 121, 122 还可借助螺丝被固定在支承管 123 上, 图 1 中表示了其中一个螺丝 124。还可以和支承管 123 整体地形成这两个端板 121, 122。

除了图 1 中所示的那种类型的质量流量传感器外, 通常还使用具有两个直通流量管的质量流量传感器。

但是代替直通流量管, 可使用关于科里奥利质量流量/密度计描述的所有其它形式的流量管, 尤其是 U 形或者 Ω 形或者螺旋形流量管。可相对于介质的流动, 并联或串联连接两个或多个流量管, 最好是两个流量管。如果流量管被并联连接, 则端部要装配上适当的歧管, 以便分隔和混合流动介质。

介质可以是任意流体物质, 尤其是液体, 气体或蒸气。

流量管最好由钛, 锆或优质钢制成。

图 1 还表示了激振器 13, 在流量管 11 和支承管 123 之间, 最好在第一和第二端板 121, 122 之间的中间位置, 把激振器 13 设置在支承装置 12 内。操作中, 该激振器 13 使流量管 11 以机械谐振频率振动, 机械谐振频率本身又是介质的瞬时密度的量度。

激振器 13 可以是例如, 螺线管组件, 它包括固定在流量管 11 上的软磁铁芯, 可在流量管 11 中移动的永磁体, 及固定在支承管 123 上, 并在操作中通过时变励磁电流的线圈。永磁体在时变励磁电流的作用

下被移动，从而使流量管 11 振动，同时当介质流过流量管 11 时，进口端部分和出口端部分相对于彼此异相振动。

对于激励激振器 13 的励磁电子线路，参见美国专利 4801897。

在直通流量管的情况下，振动通常是弯曲振动，该弯曲振动与弦线的振动相差不大。这些弯曲振动可具有叠加在其上的扭转振动，参见 EP-A 849568。除了弯曲/扭转振动之外，通常激发环箍模式振动，这种情况下流量管蠕动移动，参见美国专利 4949583。

在 U 形或者 Ω 形流量管的情况下，振动是悬臂振动，该悬臂振动与音叉的振动相差不大，参见美国专利 4187721。

第一测量装置 141 和第二测量装置 142 沿着流量管 11 彼此间隔给定距离被设置在支承装置 12 内，用于测量振动。测量装置 141，142 最好位于间隔流量管 11 中部相同距离的位置处，并提供代表振动的第一测量信号 x_{s1} 和第二测量信号 x_{s2} 。

为此，测量装置 141，142 包括振动传感器，振动传感器最好以如美国专利 5736653 中公开的电动振动传感器的形式实现，不过也可被设计为光学振动传感器，参见美国专利 4801897。

质量流量传感器 1 由传感器外壳 15 保护，免受环境影响。传感器外壳 15 被设计成把支承装置 12 和与质量流量传感器 1 相连的所有电导线都放置在其中，为了清楚起见，图中没有表示出电导线。

传感器外壳 15 具有颈状过渡部分 16，电子仪器壳体 17 被固定在颈状过渡部分 16 上。

在电子仪器壳体 17 中，容纳有上面提及的励磁电子线路和求值电子线路 2，以及也用于科里奥利质量流量/密度计的操作的其它电路。这些电路可以是，例如，向由外部电源供电的科里奥利质量流量/密度计提供动力的电子线路，和/或在科里奥利质量流量/密度计和外部信号处理器之间传送数据的通信电子线路。

如果质量流量传感器 1 的振动行为会受到电子仪器壳体 17 的不利影响，则可使电子仪器壳体 17 间隔质量流量传感器 1 一定距离。那么，在电子仪器壳体 17 和质量流量传感器 1 之间将只存在电导线，从而电

子仪器壳体 17 和传感器 1 在振动方面实际上是彼此相互隔离的。

图 2 表示了科里奥利质量流量/密度计的求值电子线路 2 的子电路的方框图, 该子电路提供代表质量流率的第一测量值 x_m 。

测量信号 x_{s1} , x_{s2} 被送给求值电子线路 2 的测量电路 21。测量电路 21 可以, 例如由美国专利 5648616 中公开的科里奥利质量流量/密度计的求值电子线路实现, 测量电路 21 使用, 例如美国专利 4801897 中公开的励磁电路得到质量流率。还可使用本领域技术人员熟悉的用于科里奥利质量流量/密度计的其它测量电子线路。

但是, 在大的 D/L 比率下, 测量电路 21 测定的质量流率不够准确, 需要校正; 于是, 这里把测量电路 21 测定的质量流率称为中间值 x_m^* , 根据中间值 x_m^* , 得到测量值 x_m , 测量值 x_m 表示具有足够精度的质量流率。

中间值 x_m^* 的校正以发明人的下述认识为基础。

流量管 11 中的质量流率由下式给出:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \rho \cdot v_m \quad (1)$$

其中

dQ/dt = 质量流率

D = 流量管 11 的内径

ρ = 介质的瞬时密度

v_m = 流过流量管 11 的介质的平均速度

平均速度 v_m 是流量管 11 的横截面内流动介质的所有速度矢量的算术平均值。

中间值 x_m^* 由下式给出

$$x_m^* = K_1 \cdot \frac{X_\phi}{X_f} \quad (2)$$

其中

X_f = 代表流量管 11 的振动的瞬时频率的测量值

X_ϕ = 代表测量信号 x_{s1} , x_{s2} 之间的瞬时相位差的测量值

K_1 = 科里奥利质量流量/密度计的第一参数

参数 K_1 主要取决于介质的瞬时温度; 另外还取决于介质的瞬时密

度。

对于等式 (2), 假定确定参数 K_1 的介质性质, 即介质的瞬时温度和瞬时密度已知, 因为在科里奥利质量流量/密度计的操作过程中, 介质的瞬时温度和瞬时密度也被测量, 温度测量参见美国专利 4768384, 密度测量参见美国专利 4187721。

对于等式 (2), 还假定在进口端检测的流量管振动与在出口端检测的流量管振动之间的科里奥利诱导相位差正比于瞬时质量流率。该假定假设在流量管 11 中产生的所有流速场以相同的瞬时流率产生相同的科里奥利力。在随着 D/L 比率降低, 精度越来越高的情况下, 这是成立的, 因为这种情况下所有流速场彼此相同或者至少非常类似。在大的 D/L 比率下, 尤其是在 D/L 比率大于 0.05 的情况下, 该假定的正确性降低, 导致准确度下降的中间值 X_m^* 。

研究表明测量精度值特别取决于介质流动是层流还是湍流。

这样, 为了确定测量值 X_m , 可通过确定流量管 11 中层流或者湍流的存在, 并以中间值 X_m^* 的校正值 X_k 的形式把这一点考虑进去, 可校正中间值 X_m^* 。修改等式 (2) 给出:

$$X_m = (1 + X_k) \cdot K_1 \cdot \frac{X_\varphi}{X_f} = (1 + X_k) \cdot X_m^* \quad (3)$$

等式 (3) 由求值电子线路 2 的第二子电路 22 实现, 图 3 中以方框图的形式表示了第二子电路 22。

子电路 22 包括第一加法器 221, 加法器 221 根据第一输入端的校正值 X_k 和第二输入端为 1 的值产生第一和值, 并在输出端输出该第一和值。

子电路 22 还包括具有用于第一和值的第一输入端和用于中间值 X_m^* 的第二输入端的第一乘法器 222。乘法器 222 在输出端提供第一乘积值 $(1 + X_k) \cdot X_m^*$, 它对应于测量值 X_m 。

本发明中, X_k 来源于介质的瞬时雷诺系数, 描述流动介质的流速场的数值。于是, 质量流量传感器 1 包括测量介质的瞬时雷诺系数的第三测量装置 143, 参见图 2。测量装置 143 提供代表雷诺系数的第三测量信号 X_{Re} , 并将其输送给求值电子线路 2。

在层流的情况下,测量信号 x_{Re} 的值小于湍流情况下的测量信号 x_{Re} 的值。这样,对于流量管 11 的每个宽度 D ,以及管道的相关标称宽度,对于层流存在雷诺系数的上限值,对于湍流存在雷诺系数的下限值,它们是不相同的。这两个极限值在校准过程中被确定。

在校准过程中确定的层流的雷诺系数的上限值由第二参数 K_2 代表,该参数被存储在求值电子线路 2 中。在校准过程中确定的湍流的雷诺系数的下限值由第三参数 K_3 代表,该参数被存储在求值电子线路 2 中。

测量信号 x_{Re} 与这两个参数 K_2, K_3 的比较表明在流量管 11 中是存在层流还是存在湍流,并提供相应的校正值 X_K 。该比较以下述不等式为基础:

$$X_K = \begin{cases} X_{K2} & x_{Re} < K_2 \\ f(x_{Re}) & K_2 \leq x_{Re} \leq K_3 \\ X_{K3} & K_3 < x_{Re} \end{cases} \quad (4)$$

其中

X_{K2} = 层流的恒定校正值,由校准确定

X_{K3} = 湍流的恒定校正值,由校准确定

$f(x_{Re})$ = 从 X_{K2} 到 X_{K3} 单调上升的插值函数,其形状可调节,参见下文。

根据等式 (4) 测量信号 x_{Re} 与这两个参数 K_2, K_3 的比较结果,对于层流是校正值 $X_K = X_{K2}$,对于湍流是校正值 $X_K = X_{K3}$,或者对应于插值函数 $f(x_{Re})$ 的内插校正值 $X_K = f(x_{Re})$ 。

等式 (4) 由第三子电路 23 实现,图 4 中以方框图的形式表示了第三子电路 23 的单个功能元件。

子电路 23 包括具有用于参数 K_2 的参比输入端和用于测量信号 x_{Re} 的信号输入端的第一比较器 231。比较器 231 为 $x_{Re} < K_2$ 提供第一二进制值,当测量信号 x_{Re} 的瞬时值小于参数 K_2 的值时,该二进制值为 1;否则该第一二进制值为 0。该第一二进制值被输送给第二乘法器 232 的第一输入端。第二乘法器 232 的第二输入端接收层流的恒定校正值 X_{K2} 。

子电路 23 还包括具有用于参数 K_3 的参比输入端和用于测量信号 x_{Re} 的信号输入端的第二比较器 233。比较器 233 为 $x_{Re} > K_3$ 提供第二二进制值, 当测量信号 x_{Re} 的瞬时值大于参数 K_3 的值时, 该二进制值为 1; 否则该第二二进制值为 0。

该第二二进制值被输送给第三乘法器 234 的第一输入端。第三乘法器 234 的第二输入端接收湍流的恒定校正值 X_{K3} 。

子电路 23 还包括具有关于第一二进制值的第一输入端和用于第二二进制值的第二输入端的或非门 235。或非门 235 为 $K_2 \leq x_{Re} \leq K_3$ 提供第三二进制值, 当第二和第一二进制值为 0 时, 第三二进制值为 1; 否则第三二进制值为 0。

或非门 235 之后的反相器 236 把第三二进制值改变为反相第四二进制值, 该第四二进制值被应用于第二乘法器 232 的第三输入端, 以及应用于乘法器 234 的第三输入端。

这样, 乘法器 232 提供第二乘积值, 如果第一和第四二进制值为 1, 该第二乘积值等于层流的恒定校正值 X_{K2} ; 否则该第二乘积值为 0。类似地, 乘法器 234 提供第三乘积值, 如果第二和第四二进制值为 1, 该第三乘积值等于湍流的恒定校正值 X_{K3} ; 否则该第三乘积值为 0。

对应于插值函数 $f(x_{Re})$ 的内插校正值 (其产生将在下面说明) 被提供给第四乘法器 237 的第一输入端。第三二进制值被提供给乘法器 237 的第二输入端, 从而乘法器 237 提供第四乘积值, 如果第三二进制值为 1, 则第四乘积值等于对应于 $f(x_{Re})$ 的内插校正值; 如果第三二进制值为 0, 则第四乘积值也为 0。

第二, 第三和第四乘积值分别被输送给第二加法器 238 的第一, 第二和第三输入端, 第二加法器 238 输出第二和值。由于在任意给定时间, 只有第二或第三或第四乘积值不为零, 因此第二和值对应于所需的校正值 X_K 。

也可利用在子电路 23 中配置的模糊逻辑电路产生校正值 X_K 。为了实现这一点, 用关于层流的第一隶属函数代替第一比较器 231, 用关于湍流的第二隶属函数代替第二比较器 233, 用关于共存的层流和

湍流的第三隶属函数代替或非门 235。这些隶属函数必须由校准测量确定，并提供分别代替第一，第二和第三二进制值，并且位于 0 和 1 之间的第一，第二和第三隶属值。反相器 236 必须由例如，减法器代替，该减法器随后从值 1 中减去第三隶属值。

对于具有层流和湍流分量的流动条件，利用插值函数 $f(x_{Re})$ ，根据等式 (4)，对校正值 X_K 插值。可按照常规方式，例如在参数 K_2 作为中心的情况下，以幂级数的形式展开插值函数 $f(x_{Re})$ ，从而

$$f(x_{Re}) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n (x_{Re} - K_2)^n = a_0 + a_1 (x_{Re} - K_2) + a_2 (x_{Re} - K_2)^2 \dots \quad (5)$$

这样，通过使用 n 次近似多项式，可以任意精度实现插值函数 $f(x_{Re})$ 。插值函数 $f(x_{Re})$ 的系数 a_n 必须通过校准确定。

例如，如果近似多项式仅仅是一次多项式，即，如果 $n=1$ ，对于相应的插值函数 $f(x_{Re})$ ，得到线性关系式：

$$f_1(x_{Re}) = a_0 + a_1 (x_{Re} - K_2) \quad (6)$$

利用等式 (4)，

$$f_1(x_{Re}) = X_{K2} + \frac{X_{K3} - X_{K2}}{K_3 - K_2} (x_{Re} - K_2) \quad (7)$$

图 5 表示了第 4 子电路 24 的方框图，该子电路实现按照等式 (7) 的插值函数 $f(x_{Re})$ 。

子电路 24 包括具有用于层流的校正值 X_{K2} 的减数输入端和用于湍流的校正值 X_{K3} 的被减数输入端的第一减法器 241，第一减法器 241 提供关于 $X_{K2}-X_{K3}$ 的第一差值。具有用于参数 K_2 的减数输入端和用于参数 K_3 的被减数输入端的第二减法器 242 提供关于 K_3-K_2 的第二差值。具有用于参数 K_2 的减数输入端和用于测量信号 x_{Re} 的被减数输入端的第三减法器 243 提供关于 $x_{Re}-K_2$ 的第三差值。

子电路 24 还包括具有用于第一差值的被除数输入端和用于第二差值的除数输入端的第一除法器 244。除法器 244 输出对应于表达式 $(X_{K3}-X_{K2}) / (K_2-K_3)$ 的第一商值。

具有用于第一商值的第一输入端和用于第三差值的第二输入端的第五乘法器 245 产生关于 $(x_{Re} - K_2) \cdot (X_{K3} - X_{K2}) / (K_2 - K_3)$ 的第五乘积值，第五乘积值被提供给第三加法器 246 的第一输入端。把层流的

校正值 X_{K2} 提供给加法器 246 的第二输入端, 从而加法器 246 提供关于 $X_{K2} + (X_{Re} - K_2) \cdot (X_{K3} - X_{K2}) / (K_2 - K_3)$ 的第三和值。如果 $K_2 \leq X_{Re} \leq K_3$, 即在具有层流和湍流分量的流动条件下, 则该第三和值对应于所需的内插校正值 $X_K = f(X_{Re})$ 。

代替等式 (7), 可利用子电路 24 实现基于等式 (4) 和 (5) 的任意其它近似多项式。

代替图 4 和 5 中分别所示的子电路 23 和 24, 求值电子线路 2 可包括含有关于校正值 X_K 的离散值的表格存储器。可通过来源于测量信号 X_{Re} 的数字存储器地址访问这些离散值。该数字存储器地址由编码器之后的模-数转换器形成。表格存储器可以是可编程只读存储器, 例如 EPROM 或者 EEPROM。

对于根据等式 (4) 所必需的雷诺系数的测量, 使用下述关系式:

$$Re = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{4}{\pi \cdot D} \cdot \frac{dQ}{dt} = \frac{1}{\zeta \cdot \rho} \cdot \frac{4}{\pi \cdot D} \cdot \frac{dQ}{dt} \quad (8)$$

其中

η = 介质的动力粘度

ζ = 介质的运动粘度

把根据等式 (1) 的平均速率 v_m 代入等式 (8), 给出如下雷诺系数

$$Re = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{4}{\pi \cdot D} \cdot \frac{dQ}{dt} = \frac{1}{\zeta \cdot \rho} \cdot \frac{4}{\pi \cdot D} \cdot \frac{dQ}{dt} \quad (9)$$

根据本发明, 按照等式 (9), 介质的动力粘度或者运动粘度被用于产生第三测量信号 X_{Re} , 从而用于确定校正值 X_K , 因为可以考虑到介质的瞬时密度 ρ , 容易地相互转换这两个粘度。

如果使用动力粘度, 把相应的测量信号代入等式 (9), 给出关于测量信号 X_{Re} 的下述关系式:

$$X_{Re} = \frac{K_4}{X_\eta} \cdot X_m^* \quad (10)$$

其中

X_η = 代表介质的动力粘度的第四测量信号

K_4 = 来源于商 $4/\pi D$ 的第四参数

在具有第五子电路 25 的第三测量装置 143 中实现等式 (10), 图 6a 中以方框图的形式表示了第五子电路 25。

子电路 25 包括具有用于参数 K_4 的被除数输入端和用于测量信号 x_n 的除数输入端的第二除法器 251。除法器 251 输出关于 K_4/x_n 的第二商值, 该商值被输送给第六乘法器 252 的第一输入端。把中间值 X_m 提供给乘法器 252 的第二输入端。这样, 乘法器 252 提供对应于根据等式 (10) 的测量信号 x_{Re} 的第六乘积值。

根据等式 (10) 确定测量信号 x_{Re} 必需的测量信号 x_n 由另一个, 第四测量装置 144 产生, 参见图 2。

根据等式 (8), 运动粘度和介质的瞬时密度可用于确定介质的动力粘度。利用等式 (9), 给出如下测量信号 x_n

$$x_n = x_\zeta \cdot X_p \quad (11)$$

其中

x_ζ = 代表介质的运动粘度的第五测量信号

X_p = 代表介质的瞬时密度的第二测量值。

在基于等式 (11) 的本发明实施例中, 测量装置 144 使用代表介质的运动粘度的测量信号 x_ζ 来产生测量信号 x_n 。因此, 如图 6b 中以方框图形式表示的子电路 25 包括具有用于测量信号 x_ζ 的第一输入端和用于测量值 X_p 的第二输入端的第七乘法器 253。乘法器 253 以乘积值的形式输出测量信号 x_n , 测量信号 x_n 被提供给第二除法器 251 的除数输入端。测量值 X_p 来源于, 例如流量管的瞬时振动频率, 参见上面提及的美国专利 4187721。

下面将说明产生测量信号 x_ζ 所必需的测量。由于粘度是描述流动介质的内部摩擦的数值, 发明人得出如下结论, 通过测量提供给激振器 13 的激发能, 能够确定运动粘度。当和空的流量管 11 相比时, 由于介质的内摩擦的缘故, 导流流量管 11 的振动作为介质的粘度, 尤其是运动粘度的函数, 被进一步衰减。为了保持流量管 11 的振动, 必须通过相应地增大激发能, 补偿由于摩擦引起的额外的能量损耗。

于是, 在本发明的一个优选实施例中, 使用下述关系式确定测量

信号 x_ζ :

$$x_\zeta = K_5 \cdot (x_{exc} - K_6)^2 \quad (12)$$

其中

x_{exc} = 代表供给激振器 13 的激发能的第六测量信号

K_5, K_6 = 分别为第五恒定参数和第六恒定参数。

根据等式 (11) 和 (12), 测量信号 x_ζ 只取决于在科里奥利质量流量/密度计的操作中产生的定义量值, 即取决于测量值 x_p 和取决于代表激发能的测量信号 x_{exc} 。

在基于等式 (12) 的本发明实施例中, 测量装置 144 包括第六子电路 26, 图 7 中以方框图的形式表示了该子电路。

子电路 26 包括具有用于表示激发能的测量信号 x_{exc} 的被减数输入端和用于参数 K_6 的减数输入端的第四减法器 261。减法器 261 产生关于 $x_{exc} - K_6$ 的第四差值, 并将其输送给第一乘幂器 262 的信号输入端。把为 2 的值提供给幂数输入端, 从而乘幂器 262 把第四差值改变为关于 $(x_{exc} - K_6)^2$ 的第一幂值。该幂值被输送给第八乘法器 263 的第一输入端, 第八乘法器 263 把该幂值乘以在第二输入端提供的参数 K_5 , 形成关于 $K_5 \cdot (x_{exc} - K_6)^2$ 的第八乘积值, 该乘积值对应于测量信号 x_ζ 。

代表激发能的测量信号 x_{exc} 由激振器处的电流和/或电压测量, 或者由阻抗测量产生。在本发明的一个实施例中, 与由螺线管组件构成的激振器 13 相关的电压-电流转换器把施加在线圈上的励磁电压转换为正比于该电压的电流, 该电流又由后续的均方根转换器转换为均方根值。均方根值则是代表激发能 x_{exc} 的测量信号。

代替测量激发能, 确定介质的运动粘度的另一种可能性是测量并计算沿着管道或者沿着流量管 11 适当测量长度内的压差。

在沿着该测量长度, 层流占主导地位的情况下, 运动粘度是:

$$\zeta = \frac{2\pi \cdot D^4}{L} \cdot \left(\frac{dQ}{dt} \right)^{-1} \cdot \Delta p \quad (13)$$

在湍流占主导地位的情况下, 运动粘度是 $(\Delta p)^4$

$$\nu = 0,3^{-4} \cdot \frac{D^{19}}{L^4} \cdot \rho^3 \cdot \left(\frac{dQ}{dt} \right)^{-7} \cdot (\Delta p)^4 \quad (14)$$

其中

L =测量长度

Δp =测量长度内的压差

等式 (13) 以众所周知的 Hagen-Poiseuille 定律为基础, 而等式 (14) 则是以经验为主确定的。就压差而论, 两个等式都是具有具有单个交点的单调递增函数。

于是, 在本发明的又一实施例中, 利用下述关系式确定测量信号 x_{ζ} , 这些关系式是通过把相应的测量信号代入等式 (13) 和 (14) 得到的:

$$x_{\zeta} = \begin{cases} X_{\zeta 1} = K_7 \cdot \frac{x_{\Delta p}}{X_m^*} & X_{\zeta 1} < X_{\zeta 2} \\ X_{\zeta 2} = K_8 \cdot \frac{(x_{\Delta p})^4}{(X_m^*)^7} \cdot (X_{\rho})^3 & X_{\zeta 2} \leq X_{\zeta 1} \end{cases} \quad (15)$$

其中

$X_{\zeta 1}$ =代表层流情况下介质的运动粘度的测量值

$X_{\zeta 2}$ =代表湍流情况下介质的运动粘度的测量值

$x_{\Delta p}$ =代表压差的第七测量信号

K_7 =来源于根据等式 (13) 的商 $2\pi D^4 / L$ 的第七参数

K_8 =来源于根据等式 (14) 的商 $0.3^{-4} D^{19} / L^4$ 的第八参数。

根据等式 (15), 测量信号 x_{ζ} 的有效值总是这两个测量值中较小的那个值, 对于层流来说, 这两个测量值是 $X_{\zeta 1}$, 对于湍流来说, 这两个测量值是 $X_{\zeta 2}$ 。

根据等式 (15), 测量信号 x_{ζ} 取决于在科里奥利质量流量/密度计的操作中产生的定义量值, 即取决于中间值 X_m^* 和取决于第二测量值 X_{ρ} 。另外, 测量信号 x_{ζ} 取决于另一定义量值, 即取决于测量信号 $x_{\Delta p}$, 该测量信号代表压差, 并在操作过程中被确定。

在本发明的另一实施例中, 为了实现等式 (15), 测量装置 144 包括如图 8a, 8b 中所示的第七子电路 27 和如图 9 中所示的第八子电路 28。

子电路 27 用于产生代表介质的粘度 $X_{\zeta 1}$ 和 $X_{\zeta 2}$ 的两个测量值。它包

括具有用于测量信号 $x_{\Delta p}$ 的被除数输入端和用于中间值 X_m^* 的除数输入端的第三除法器 271。除法器 271 提供关于 $x_{\Delta p} / X_m^*$ 的第三商值，该第三商值被提供给第九乘法器 272 的第一输入端。乘法器 272 的第二输入端被供给参数 K_7 ，从而乘法器 272 输出关于 $K_7 \cdot x_{\Delta p} / X_m^*$ 的第九乘积值，该乘积值对应于层流情况下，介质的运动粘度的测量值 $X_{\zeta 1}$ 。

子电路 27 还包括具有用于测量信号 $x_{\Delta p}$ 的信号输入端和用于为 4 的值的幂数输入端的第二乘幂器 273。乘幂器 273 提供关于 $(x_{\Delta p})^4$ 的第二幂值，并将其提供给第四除法器 276 的被除数输入端。

子电路 27 还包括具有用于中间值 X_m^* 的信号输入端和用于为 7 的值的幂数输入端的第三乘幂器 274。乘幂器 274 提供关于 $(X_m^*)^7$ 的第三幂值。具有关于测量值 X_p 的信号输入端和用于为 3 的值的幂数输入端的第四乘幂器 275 输出关于 $(X_p)^3$ 的第四幂值。

第三幂值 $(X_m^*)^7$ 被提供给第四除法器 276 的除数输入端，而第四幂值 $(X_p)^3$ 被提供给第十乘法器 277 的第一输入端。乘法器 277 具有用于参数 K_8 的第二输入端和用于关于 $(x_{\Delta p})^4 / (X_m^*)^7$ 的第四商值的第三输入端，该第四商值由除法器 276 提供。这样，乘法器 277 输出关于 $K_8 \cdot (X_p)^3 \cdot (x_{\Delta p})^4 / (X_m^*)^7$ 的第十乘积值，该乘积值对应于代表湍流情况下，介质的运动粘度的测量值 $X_{\zeta 2}$ 。

图 9 中所示的子电路 28 用于实现按照等式 (15) 的两个不等式。子电路 28 包括具有用于第九乘积值的第一输入端和用于第十乘积值的第二输入端的第三比较器 281。比较器 281 提供关于 $K_7 \cdot x_{\Delta p} / X_m^* < K_8 \cdot (X_p)^3 \cdot (x_{\Delta p})^4 / (X_m^*)^7$ 的第五二进制值，如果第九乘积值小于第十乘积值，则第五二进制值为 1；否则为 0。

第五二进制值被提供给第二反相器 282 和提供给第十一乘法器 283 的第一输入端。乘法器 283 的第二输入端被供给第九乘积值，从而乘法器 283 输出第十一乘积值，如果第五二进制值为 1，则第十一乘积值等于第九乘积值，如果第五二进制值为 0，则第十一乘积值为 0。

反相器 282 提供第六二进制值，该二进制值相对于第五二进制值被反转，并施加于第十二乘法器 284 的第一输入端。乘法器 284 的第

二输入端被供给第十乘积值，从而乘法器 284 提供第十二乘积值，如果第六二进制值为 1，则第十二乘积值等于第十乘积值，如果第六二进制值为 0，则第十二乘积值为 0。

第十一乘积值被提供给第四加法器 285 的第一输入端，第十二乘积值被提供给加法器 285 的第二输入端。由于在任意给定时间，这两个乘积值中只有一个乘积值不为零，由加法器 285 产生的第四和值等于测量信号 x_c 。

通过适当的温度测量，可容易地补偿由于，例如介质中的温度差异引起的，根据等式 (15) 确定的运动粘度和流量管 11 中的实际运动粘度之间的任意差异。

子电路 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 和 28 被假定为模拟计算电路，不过也可通过使用分立元件或微处理器，以数字计算电路的形式，或者至少部分以数字计算电路的形式实现。

如果实际并行操作的子电路 22...28 的操作在时间方面无关紧要，则通过以这样一种方式使用多路复用器和多路分解器，可把类似的函数，例如加法，减法，乘法，除法及乘幂结合在一起，即在子电路中这些函数只被实现一次，并且通过顺序地把相应的输入值应用于输入端，产生各个计算值。

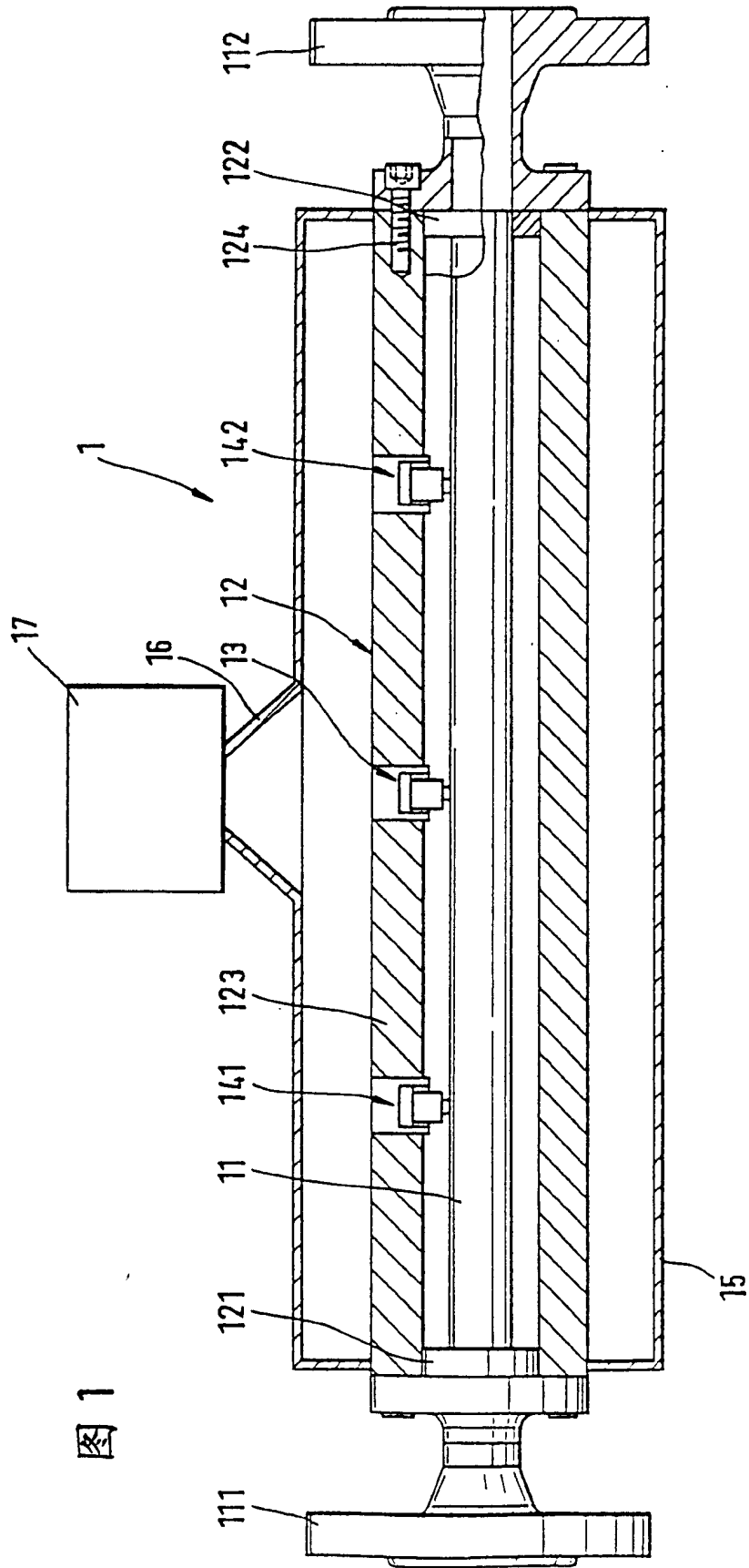


图 1

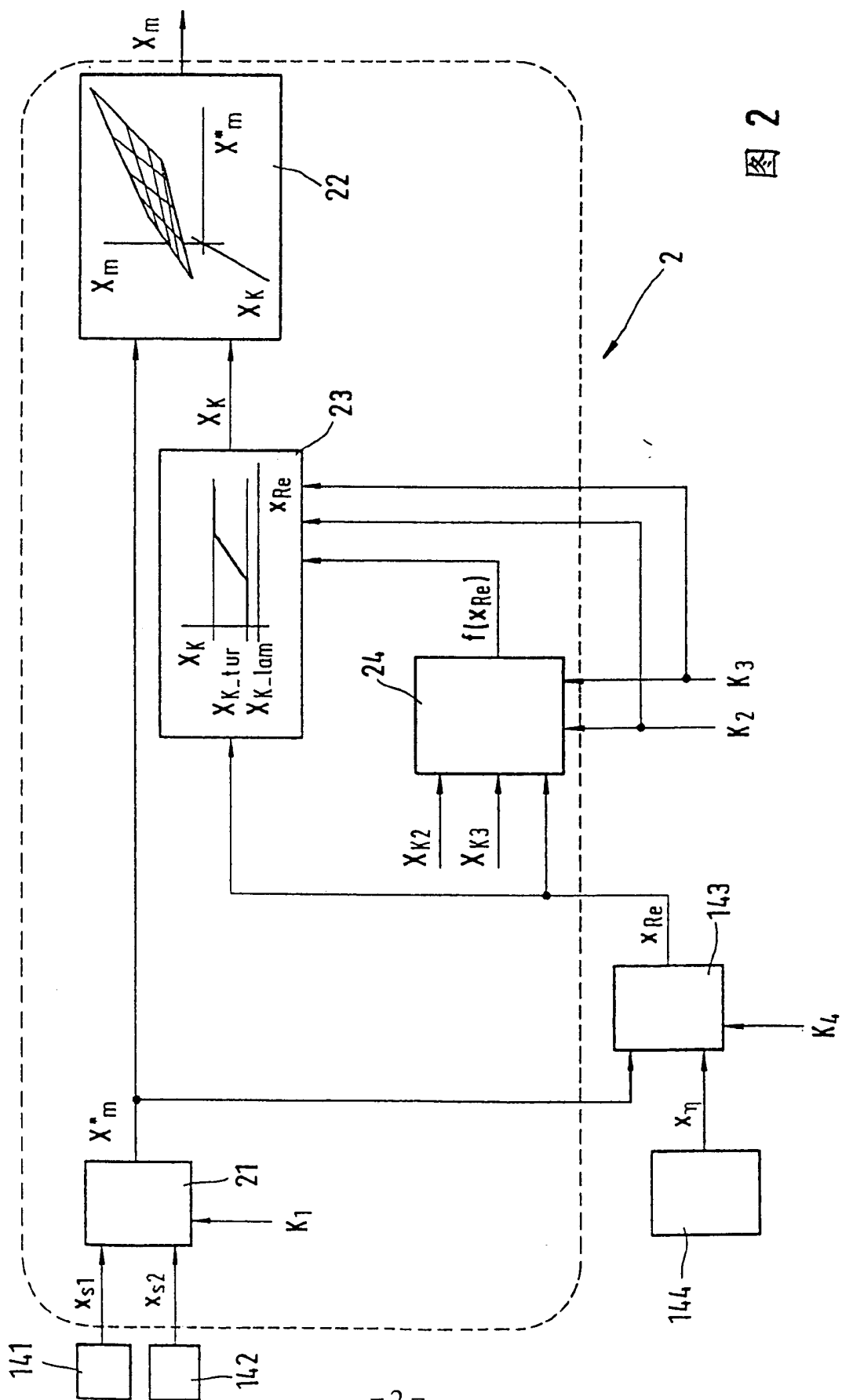


图 2

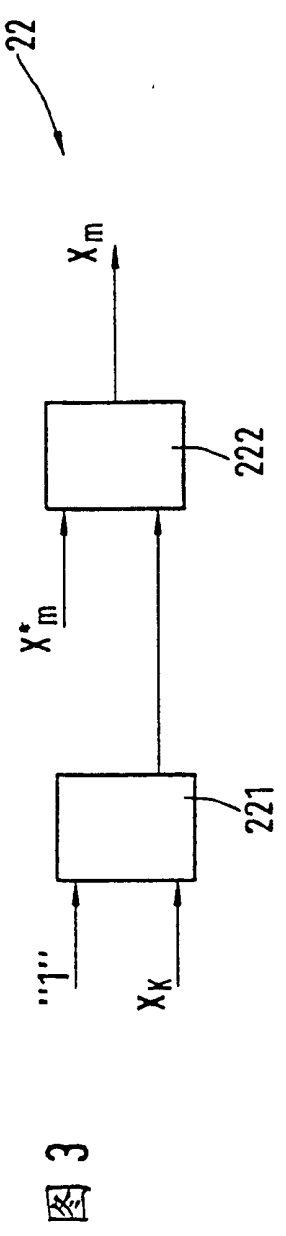
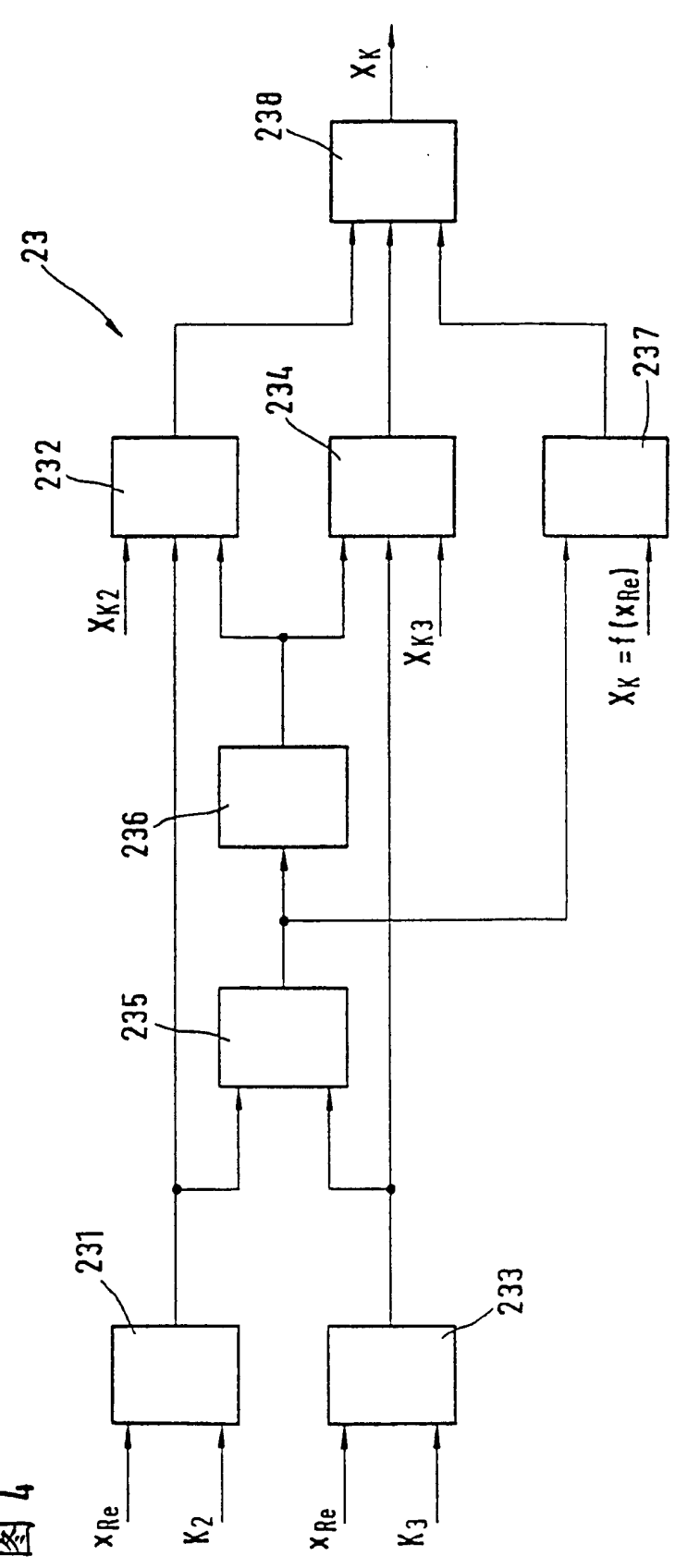


图 3

图 4



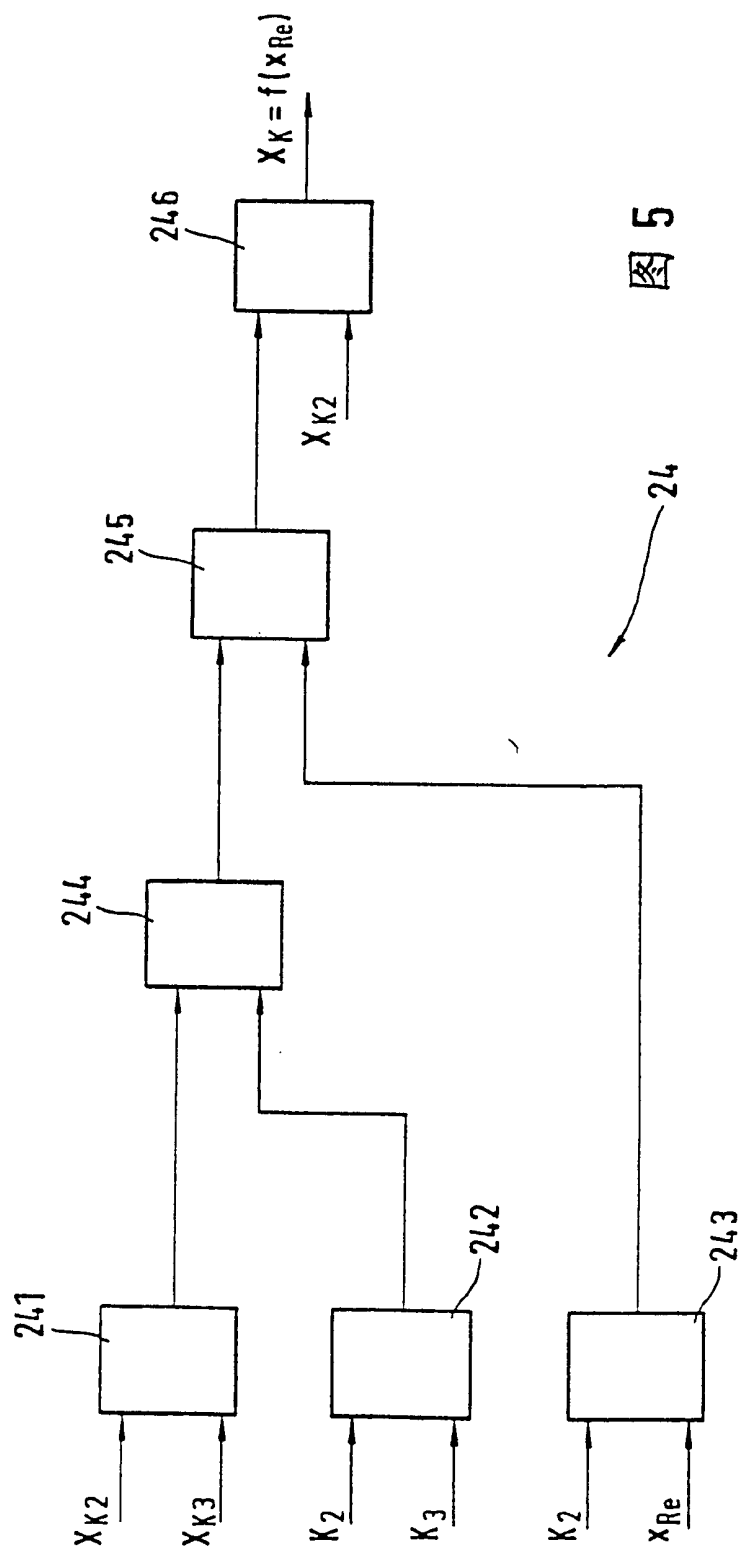


图 5

图 6a

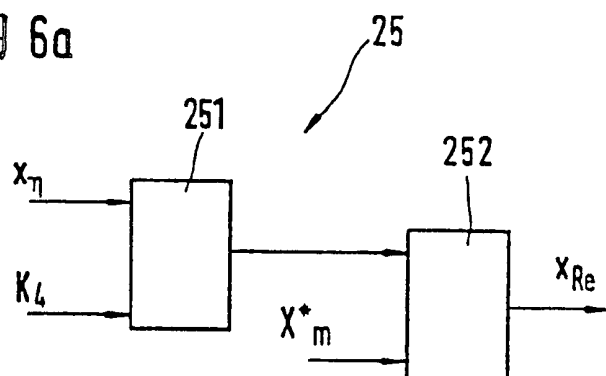


图 6b

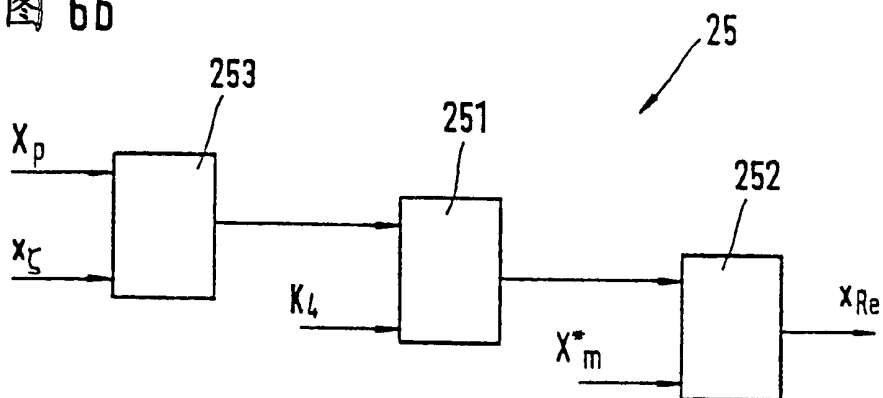


图 7

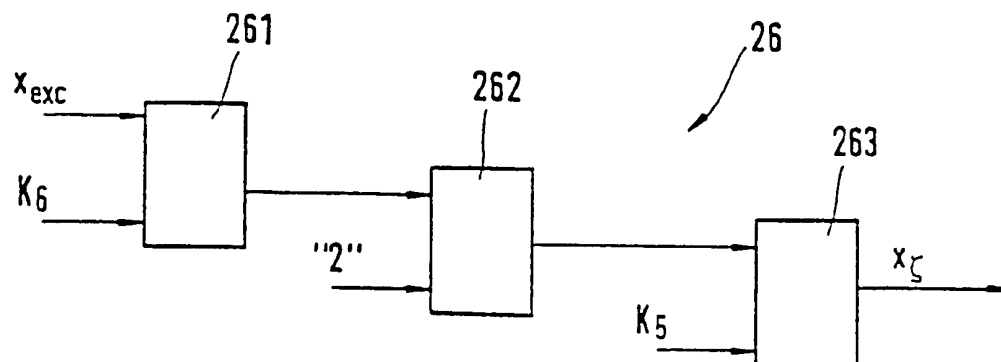


图 8a

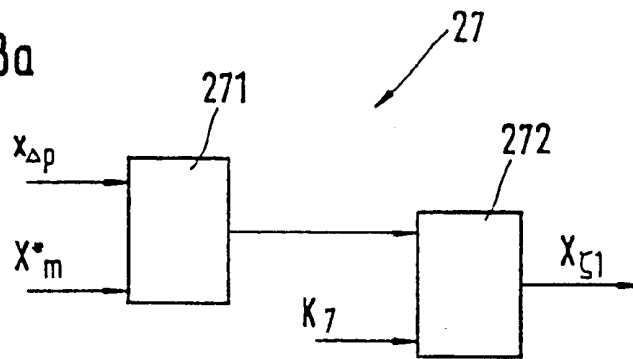


图 8b

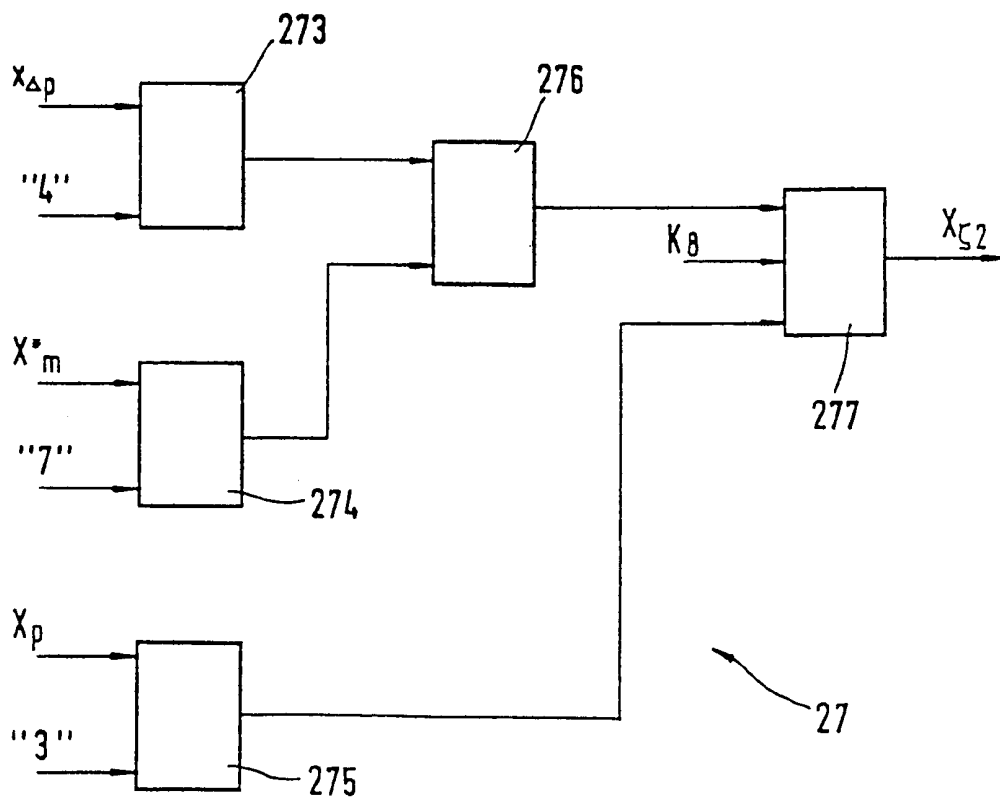


图 9

