

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102239394 A

(43) 申请公布日 2011. 11. 09

(21) 申请号 200980148500. 7

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2009. 12. 08

G01K 7/42(2006. 01)

G01K 13/02(2006. 01)

(30) 优先权数据

0858380 2008. 12. 09 FR

(85) PCT申请进入国家阶段日

2011. 06. 02

(86) PCT申请的申请数据

PCT/FR2009/052447 2009. 12. 08

(87) PCT申请的公布数据

W02010/067009 FR 2010. 06. 17

(71) 申请人 斯奈克玛

地址 法国巴黎

(72) 发明人 赛德瑞克·德杰拉西

(74) 专利代理机构 中国商标专利事务所有限公

司 11234

代理人 万学堂

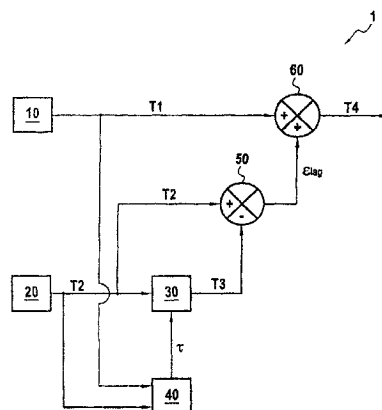
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 3 页

(54) 发明名称

修正温度测量信号的方法和系统

(57) 摘要

本发明的方法包括使用模拟信号 (T2) 对传感器 (10) 所测量的温度进行数字建模的步骤, 从模拟信号 (T2) 和对模拟信号滤波后获得的信号 (T3) 中估算所述传感器的滞后误差信号 (ϵ_{lag}) 的步骤, 所述滤波器将传感器时间常数 (τ) 的估算值作为参数, 以及通过估算的滞后误差信号来修正传感器 (10) 所输送测量信号 (T1) 的步骤, 所述方法的特征在于, 传感器的时间常数是随着时间的变化从测量信号 (T1) 和模拟信号 (T2) 中估算的。



1. 一种修正传感器 (10) 输送的温度测量信号 (T1) 的方法, 所述方法包括:
使用模拟信号 (T2) 对传感器 (10) 测量的温度进行数字建模的步骤;
从模拟信号 (T2) 和对模拟信号滤波而获得的信号 (T3) 中估算所述传感器滞后误差信号 (ϵ_{lag}) 的步骤, 所述滤波器将传感器时间常数 (τ) 的估算值作为参数; 以及
通过所估算的滞后误差信号来修正传感器 (10) 输送的测量信号 (T1) 的步骤;
所述方法的特征在于, 传感器的时间常数是根据时间变化从测量信号 (T1) 和模拟信号 (T2) 中来估算的。

2. 根据权利要求 1 所述的修正方法, 其特征在于, 为了估算传感器的时间常数, 执行如下步骤:

(a) 通过区分测量信号 (T1) 和模拟信号 (T2) 分别获得 (E10, E20) 第一和第二信号 (S1 和 S2);

(b) 评估 (E50) 第一信号的绝对值和第二信号的绝对值之间的差 (EPS); 以及

(c) 从该差值中估算 (E80) 传感器的时间常数。

3. 根据权利要求 2 所述的修正方法, 其特征在于, 传感器的时间常数是使用整数修正器型滤波器 (46) 来从差值中估算的, 所述滤波器将预定增益 (K) 作为参数。

4. 根据权利要求 2 或 3 所述的修正方法, 其特征在于, 在估算时间常数的步骤 (c) 前, 将第一信号的绝对值与预定阈值进行比较 (E60)。

5. 根据权利要求 2 到 4 其中任一项所述的修正方法, 其特征在于, 在估算时间常数的步骤 (c) 之后, 验证 (E90) 所估算的时间常数是在预定最小值和预定最大值之间。

6. 一种修正传感器 (10) 所输送的温度测量信号的系统 (1), 所述系统包括:
使用模拟信号来对传感器 (10) 所测量温度进行数字建模的装置 (20);
估算传感器 (10) 时间常数的装置 (40);
滤波模拟信号的装置 (30), 该滤波器将传感器的估算时间常数作为参数;
从模拟信号和滤波信号中估算传感器的滞后误差信号的装置 (50); 以及
使用所估算的滞后误差信号来修正传感器 (10) 输送的测量信号的装置 (60);
所述系统的特征在于, 估算传感器时间常数的装置 (40) 适合于根据时间变化情况来从测量信号 (T1) 和模拟信号 (T2) 中估算该时间常数。

7. 一种涡轮喷气发动机, 其特征在于, 其包括了至少一种根据权利要求 6 所述的系统, 该系统用来修正由传感器输送的温度测量信号。

修正温度测量信号的方法和系统

技术领域

[0001] 本发明涉及到借助参数（例如，流体温度）的传感器进行测量的一般领域。本发明特别涉及到修正由温度传感器所输送的测量信号。

背景技术

[0002] 因此，本发明优选（但并非仅限于）应用于航空领域，尤其是诸如涡轮喷气发动机之类的飞机发动机的控制系统领域。

[0003] 人们知道，为了使喷气发动机的控制适应各种飞行约束状态，必须测量流经涡轮喷气发动机各种气流的温度（以下称之为气流温度）。为此，在气流通道内的各个不同地方，使用了诸如探头或热电偶之类的温度传感器。

[0004] 温度传感器通常都会遭受针对每个传感器的而且尤其取决于传感器质量或尺寸的热惯性。这种惯性反映在传感器进行测量时刻和其响应测量而输送信号时刻二者之间的时间位移中。这称之为测量滞后效应，因为其适应性差而会导致涡轮喷气发动机出现故障，尤其是在燃气流温度快速变化期间。

[0005] 为了缓解这种问题，出现了修正温度传感器输送的测量信号的技术，可弥补传感器惯性引起的滞后效应。例如，美国 US5 080 496 专利就介绍了一种这样的技术。

[0006] 通常，这些技术通过使用滤波器来对传感器的惯性进行数字模拟，所述滤波器的参数通过估算传感器的时间常数来设定。众所周知，测量传感器的时间常数就是其反应时间的特征，即其惯性。

[0007] 根据一个或多个参数，例如，传感器置放其中的液体的流量，估算温度传感器时间常数的现有技术使用固定曲线图。这些曲线图指示出响应时间模板和预定条件的时间常数的平均值。换句话说，它们实际上并没有考虑一个温度传感器至另一个温度传感器的惯性分布。

[0008] 根据目前的制造技术，涡轮喷气发动机控制用的温度传感器生产成本不低，而且又需符合惯性分布甚微的响应时间模板。结果，很难获得适合有关各种温度传感器的图形曲线。当安装在涡轮喷气发动机内的传感器的时间常数与这些曲线图给出的数值相差很大时，就会出现各种各样的问题。

[0009] 一个解决方案就是——例如——在风洞中测试每个温度传感器，以确定其在预定条件下的时间常数，并根据以这种方法确定的时间常数来外推曲线图。然而，这种试验成本特高，是温度传感器价格的大约三分之一。为此，不能应用于每个温度传感器，这就意味着可能无法检测除了具有曲线图的验收模板之外的温度传感器。

[0010] 此外，这种试验通常以风洞容量限定的流体流量来进行，一般都不能覆盖涡轮喷气发动机应用中的工作流量范围。覆盖所有工作流量范围的外推曲线图将不准确性引入到温度传感器的采集系统中。

[0011] 另外，如上所述，温度传感器的时间常数取决于置放传感器的流体的流量这样的参数。这就是说，为了估算温度传感器的时间常数，必须首先估算该流体流量。为此，必须

在涡轮喷气发动机上使用附加的估算器模块,这使得测量值的修正变得更为复杂。

[0012] 所以,需要一种简单方法来修正温度传感器输送的测量信号,这种方法可以对传感器所引起的滞后效应进行良好补偿,不论传感器的时间常数如何。

发明内容

[0013] 本发明针对这种需求提出了一种可修正传感器所输送的温度测量信号的方法,所述方法包括:

[0014] • 通过使用一种模拟信号来对传感器测量的温度进行数字建模的步骤;

[0015] • 从模拟信号和对该模拟信号滤波而获得的信号中估算所述传感器的滞后误差信号的步骤,所述滤波器将传感器时间常数的估算值作为参数;以及

[0016] • 通过估算的滞后误差信号来对传感器所输送的测量信号进行修正的步骤。

[0017] 根据本发明,传感器的时间常数是根据时间的变化从测量信号和模拟信号中估算的。

[0018] 为此,本发明可以实时估算有关的温度传感器的时间常数,并可对该传感器所输送的测量信号进行相应修正。因而,应用于测量信号(即,滞后效应补偿)的修正适合于所使用的温度传感器,不论其惯性如何。

[0019] 因此,本发明的优点是可以使用时间常数分布广泛的温度传感器。放宽对有关给定模板的时间常数的低分布的需要可实现温度传感器制造成本的下降。

[0020] 此外,可以考虑带有较高时间常数的温度传感器。这样就可以制造更坚固耐用的温度传感器,特别是增加这些传感器灵敏元件周围材料的数量。

[0021] 此外,在航空领域,避免了在风洞内确定温度传感器的时间常数,从而降低了获得这些控制涡轮喷气发动机的传感器的机型审批的成本。

[0022] 本发明的再一个优点是不要求使用任何附加估算器模块来对置放传感器的流体流量进行估算。传感器的时间常数以自适应方式从传统评估信号中进行估算,以考虑传感器所进行的温度测量的滞后影响,即,传感器所输送的测量信号和代表传感器所测量温度的模拟信号。

[0023] 在本发明的一个具体实施方式中,为了估算传感器的时间常数,执行如下步骤:

[0024] (a) 通过区分测量信号和模拟信号,分别获得第一和第二信号;

[0025] (b) 评定第一信号绝对值和第二信号绝对值之间的差;以及

[0026] (c) 从该差中估算传感器的时间常数。

[0027] 为此,可以在绝对温度估算方面,避免为估算传感器所测温度而使用的数字模型的不完善。因为本发明使用了测量信号和模型信号的导数,其完全可以应用数字模型,很好地反映了所测温度的相对偏差情况。

[0028] 在本发明的一个具体实施方式中,传感器的时间常数是采用整数修正器类型滤波器从差值中估算而得,所述滤波器将预定增益作为参数。

[0029] 这种滤波器本身已为人们所熟知,其在修正测量信号方面具有良好性能。

[0030] 或者,可以使用其他估算器模块,例如,使用较高阶滤波器的估算器模块。

[0031] 根据本发明的一个方面,在估算时间常数的步骤(c)之前,将第一信号的绝对值与预定阈值进行比较。

[0032] 这种比较可以特别检测到测量信号导数值是否偏低,必要时,不从差值中估算时间常数值。

[0033] 测量信号导数的低值表明热稳定阶段,在这个阶段,时间常数变化非常小,甚至不会变化。从硬件实施的角度来讲,因为测量传感器和相应采集系统中固有的测量噪声的存在,不可能获得绝对零差值。为此,时间常数的估算会出现偏差,特别是,如果是采用整数修正器类型滤波器来进行估算时。

[0034] 根据本发明的另一个方面,在估算时间常数的步骤(c)之后,验证所估算的时间常数在预定最小值和预定最大值之间。

[0035] 这确保了时间常数的估算不会出现偏差。例如,由传感器制造商规定的温度传感器的预定公差值可以用作最小值和最大值。

[0036] 按照相关方式,本发明还提供了一种可修正传感器所输送的温度测量信号的系统,所述系统包括:

[0037] • 通过使用模拟信号来对传感器所测量的温度进行数字建模的装置;

[0038] • 估算传感器时间常数的装置;

[0039] • 对模拟信号进行滤波的装置,该滤波器将传感器的估算时间常数作为参数;

[0040] • 从模拟信号和滤波信号中估算传感器的滞后误差信号的装置;以及

[0041] • 使用所估算的滞后误差信号来对传感器所输送的测量信号进行修正的装置;

[0042] 所述系统的特征在于,传感器时间常数的估算装置适合于根据时间的变化从测量信号和模拟信号中估算该时间常数。

[0043] 如上所述,因为其上述特性和优点,本发明优选——但并非仅限于——应用在航空领域且特别是飞机发动机调节与控制领域。

[0044] 因此,本发明还提供了一种涡轮喷气发动机,其包括至少一个用来修正本发明温度传感器所输送测量信号的系统。

附图说明

[0045] 下面参照附图阅读所给出的说明,本发明的其他特性和优点会显现出来,但本发明并不仅限于所示实施例。附图如下:

[0046] 图1为本发明的测量信号修正系统和本发明一个具体实施修正方法主要步骤示意图;

[0047] 图2为数字建模模块的一个示例的示意图,该模块可以在图1所示修正系统中使用以模拟传感器所测温度;

[0048] 图3为流程图,示出了本发明的一个具体实施方法中估算温度传感器时间常数的主要步骤,所示方法用来修正测量信号并由图1所示系统实施;以及

[0049] 图4为根据时间变化通过实施图3所示步骤来估算传感器时间常数的装置一个示例示意图。

具体实施方式

[0050] 图1示出了本发明的修正测量信号T1的一个具体实施例的系统1和方法,所示测量信号T1由带有热惯性的温度传感器10输送并用来控制飞机涡轮喷气发动机。

[0051] 然而,该假设并不是在限定本发明,其可用在有可能使用带热惯性温度传感器的其他应用中。

[0052] 为此,在此处所述的实施例中,修正系统 1 全部或部分地联接到或集成到由涡轮喷气发动机推进的飞机的全授权数字发动机控制 (FADEC) 系统中。

[0053] 此处所述示例更具体地设想了测量信号的修正,该信号代表了涡轮喷气发动机高压压缩机入口处的温度 T_{25} 。当然,本发明同样应用于在涡轮喷气发动机内可以测量的其他温度。

[0054] 本发明说明书的其他部分考虑了用采样周期 T_e 采样的信号和参数。例如,这个采样周期 T_e 为大约 20 毫秒 (ms) 到 40 毫秒 (ms) 级。众所周知,这尤其取决于所测温度的动态范围。

[0055] 然而,应注意的是,本发明同样可以应用于连续信号和连续参数。

[0056] 根据本发明,修正系统 1 包括用来模拟温度传感器 10 所测温度 T_{25} 的数字建模模块 20。换句话说,数字建模模块 20 适合于模拟由温度传感器 10 所输送的测量信号,如果其工作时不会出现与其时间常数相关的误差,或者说得更贴切些,如果其是零时间常数。

[0057] 图 2 为可以使用的数字建模模块一个示例的示意图。

[0058] 在这个示例中,数字建模模块 20 包括单元 21,用来发送来自涡轮喷气发动机风扇转速测量值 $(N)_m$ 的温度比 T_{25}/T_{12} 的估算值, T_{12} 是风扇入口处的温度。该估算值是由单元 21 使用预定曲线来计算的,该曲线表示绝热温度比 T_{25}/T_{12} 的变化是风扇转速 N 的函数。这种曲线为所属领域技术人员所熟知,为此不再详细赘述。

[0059] 温度比 T_{25}/T_{12} 的估算值 $(T_{25}/T_{12})_e$ 而后被送到乘法器电路 22,后者用来将该温度比乘以温度 T_{12} 测量值 $(T_{12})_m$ 。这样,就在乘法器电路 22 的出口处形成建模信号 T_2 。

[0060] 温度 T_{12} 的测量值 $(T_{12})_m$ 和风扇转速的测量值 $(N)_m$ 可通过人们已知的置于涡轮喷气发动机内的传感器获得,为此不再在此赘述。

[0061] 或者,可以使用传感器所测温度的一种更复杂和更精确的数字模型。美国专利 US 5 080 496 具体介绍了这样一种模型。

[0062] 注意,在此处所述示例中,所要修正的是温度 T_{25} 的测量信号。然而,如上所述,本发明可应用于在涡轮喷气发动机内所测的其他温度,只要能得到这些温度的变化的模型。

[0063] 由模块 20 采用上述方式建模的信号 T_2 然后被模块 30 滤波,模块 30 建模温度传感器的惯性。例如,该模块 30 是带有传递函数 $H_{10}(p)$ 的一阶滤波器,传递函数 $H_{10}(p)$ 由如下公式给出,式中, τ 是表示传感器 10 的时间常数的参数,该参数由估算器模块 40 估算,将在下面参照图 3 和图 4 详细介绍:

$$[0064] \quad H_{10}(p) = \frac{1}{1 + \tau p}$$

[0065] 而后,计算模块 50 通过计算模拟信号 T_2 和经滤波的模拟信号 T_3 之间的差信号来对温度传感器 10 引入的滞后误差信号 ε_{lag} 进行估算。

[0066] 滞后误差 ε_{lag} 而后通过修正模块 60 加到传感器 10 发送的测量信号 T_1 上。这就产生了经修正的测量信号 T_4 ,在这个测量信号中,温度传感器 10 所产生的滞后效应得到了补偿。

[0067] 下面参照图 3 和图 4 介绍估算模块 40 所使用方法主要步骤和实施装置以便根据

时间变化来估算温度传感器的时间常数 τ 。

[0068] 在此处所述实施例中,估算器模块 40 应用了一种自适应算法来实时估算时间常数 τ 。更确切地说,时间常数 τ 是以给定时间 $t = nTe$ (式中, n 是一个整数) 从先前估算的该时间常数值中估算得出。

[0069] 根据本发明,测量信号 T1 和模拟信号 T2 用来估算传感器 10 的时间常数 τ 。更确切地说,在此处所述实施例中,第一信号 S1 是通过区分测量信号 T1 (步骤 E10) 来估算的,而第二信号 S2 是通过区分模拟信号 T2 (步骤 E20) 来估算的。

[0070] 测量信号的导数 S1 通过第一微分器模块 41 来获得。例如,这是适用于在时间 $t = nTe$ 时从如下方程式中评估信号 S1 的一阶滤波器,其中, $S1[nTe]$ 和 $T1[nTe]$ 分别表示在时间 nTe 时所采样的信号 S1 和 T1:

$$[0071] \quad S1[nTe] = \frac{T1[nTe] - T1[(n-1)Te]}{Te}$$

[0072] 为此,众所周知,微分器模块 41 包括:

[0073] • 在较早时刻 $(n-1)Te$ 时输送测量信号的延迟单元 41a;

[0074] • 从测量信号 $T1[nTe]$ 中减去延迟测量信号 $T1[(n-1)Te]$ 的减法器元件 41b; 以及

[0075] • 用来从以这样方法获得的和中除以采样周期 Te 的除法器元件 41c。

[0076] 或者,微分器模块 41 可以是较高阶滤波器。

[0077] 信号 S2 是通过使用第二微分器模块 41 从模拟信号 T2 中以同样方式获得,该第二微分器模块 41 适合在时间 nTe 时从如下方程式中评估信号 S2,其中, $S2[nTe]$ 和 $T2[nTe]$ 分别表示在时间 nTe 时采样的信号 S2 和 T2:

$$[0078] \quad S2[nTe] = \frac{T2[nTe] - T2[(n-1)Te]}{Te}$$

[0079] 然后,可使用适当的计算模块 42 来评估信号 S1 (步骤 E30) 的绝对值 $|S1[nTe]|$ 和信号 S2 (步骤 E40) 的绝对值 $|S2[nTe]|$,该模块为所属领域技术人员所熟知,为此,不再在此详细赘述。

[0080] 然后,通过减法器模块 43 从信号 $|S1[nTe]|$ 和 $|S2[nTe]|$ (步骤 E50) 中计算出差信号 EPS,例如,此处可以使用如下方程式计算:

$$[0081] \quad EPS = |S1[nTe]| - |S2[nTe]|$$

[0082] 在此处所述实施例中,使用比较器 44 来将从测量信号 T1 的导数中获得的信号 $|S1[nTe]|$ 与预定阈值 s 进行比较 (步骤 E60)。该比较旨在检测信号 S1 的低值,表示温度稳定性的级。因此,该预定阈值 s 被选择来使此得以实现。

[0083] 因为温度传感器 10 的采集系统所固有的测量噪声,很难 (如果不是不可能的话) 在温度稳定性的任何这种阶段期间获得 EPS 的零值。这会造成自适应算法出现偏离。结果,为了减轻这个问题,在此提出,如果第一信号 S1 的绝对值低于特定阈值 s 时,可以强制差值 EPS 为零 (步骤 E70)。

[0084] 这项操作是通过模块 45 来完成的,例如,该动作由比较器 44 的输出来调节:

[0085] • 如果 $|S1[nTe]| \geq s$,模块 45 的输出为 EPS;

[0086] • 否则,模块 45 的输出为零。

[0087] 注意,在此处所述实施例,在评估了差 EPS 后进行比较 E60。或者,在评估差 EPS 之前进行,因为信号 S2 的评估取决于比较的结果。

[0088] 然后,模块 45 的输出送到估算器模块 46,估算器模块用来根据差 EPS 和参数 τ 的先前估算值在时间 nT_e 时估算参数 τ 。例如,估算器模块 46 为所属领域技术人员所知的整数修正器类型(整数修正器滤波器),带增益参数 K (K 是实数),并执行如下操作(步骤 E80),式中, $\tau[nT_e]$ 是时间 nT_e 时的常数值 τ :

$$[0089] \quad \tau[nT_e] = \tau[(n-1)T_e] + K \times \text{EPS}$$

[0090] 换句话说,如果在步骤 E60 期间,检测出 $|S1[nT_e]| < s$,在步骤 E70 期间迫使差 EPS 的值为零,这可以说是使时间常数 τ 的估算中止,将时间 $(n-1)T_e$ 时估算的时间常数 τ 的值为时间 nT_e 时的时间常数 τ 的值。这样,就防止了自适应算法出现偏离。

[0091] 众所周知,整数修正器估算模块 46 包括将差信号 EPS 乘以增益 K 的乘法器元件 46a,输送值 $\tau[(n-1)T_e]$ 的延迟单元 46b,以及从上述方程式中计算值 $\tau[nT_e]$ 的加法器元件 46c。

[0092] 注意,正如其自身为人们所熟知那样,时间常数 τ_0 的选定初始值、采样周期 T_e 、以及增益 K 的值都是估算性能和自适应算法会聚速度之间的妥协的结果。例如,时间常数 τ_0 的初始值可以从温度传感器 10 的制造商所提供的且现有技术中所使用的曲线图中选择。

[0093] 或者,除了整数修正器类型外,也可以使用其他类型的估算器模块,例如,使用较高阶滤波器的估算器模块。

[0094] 在此处所述实施例,然后,将整数修正器估算器模块 46 所估算的时间常数 $\tau[nT_e]$ 发送到模块 47,以确保常数值在预定最小值 τ_{\min} 和预定最大值 τ_{\max} 之间,并在出现相对于最小和最大值的差异情况时可调整此值。

[0095] 为此,调整模块 47 包括 $\tau[nT_e] < \tau_{\min}$ 时迫使时间常数 $\tau[nT_e]$ 的值为 τ_{\min} 的第一模块 47a,和 $\tau[nT_e] > \tau_{\max}$ 时迫使时间常数 $\tau[nT_e]$ 的值为 τ_{\max} 的第二模块 47b(步骤 E90)。例如,根据传感器制造商所标注的温度传感器最小和最大公差情况,提前选择最小和最大值。

[0096] 时间常数 —— 必要时,经调整的时间常数 —— 然后被送到用来产生滤波信号 T3 的滤波器 30(步骤 E100)。

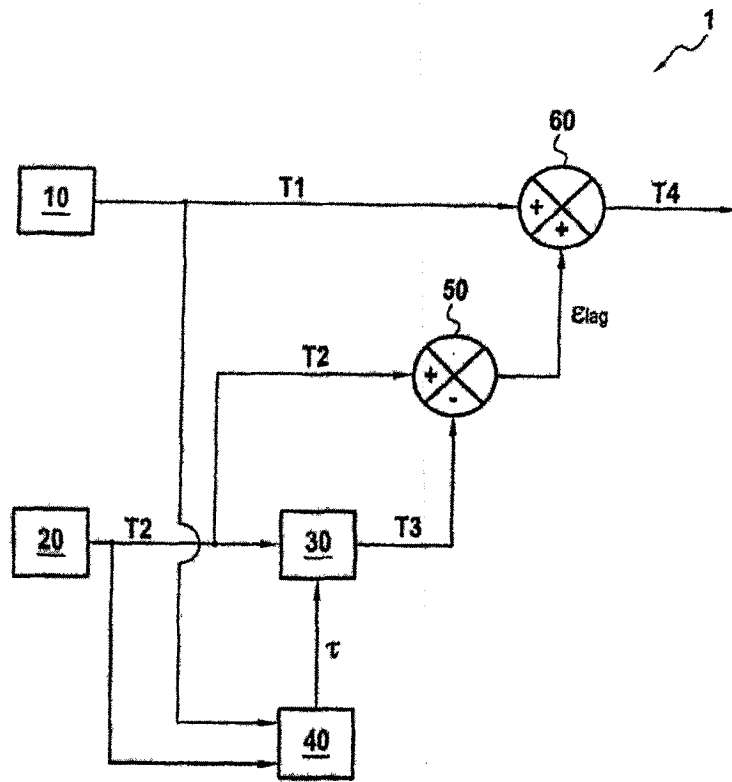


图 1

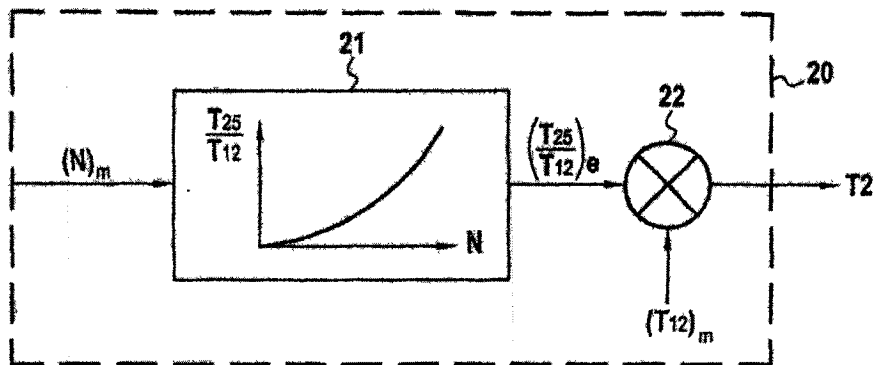


图 2

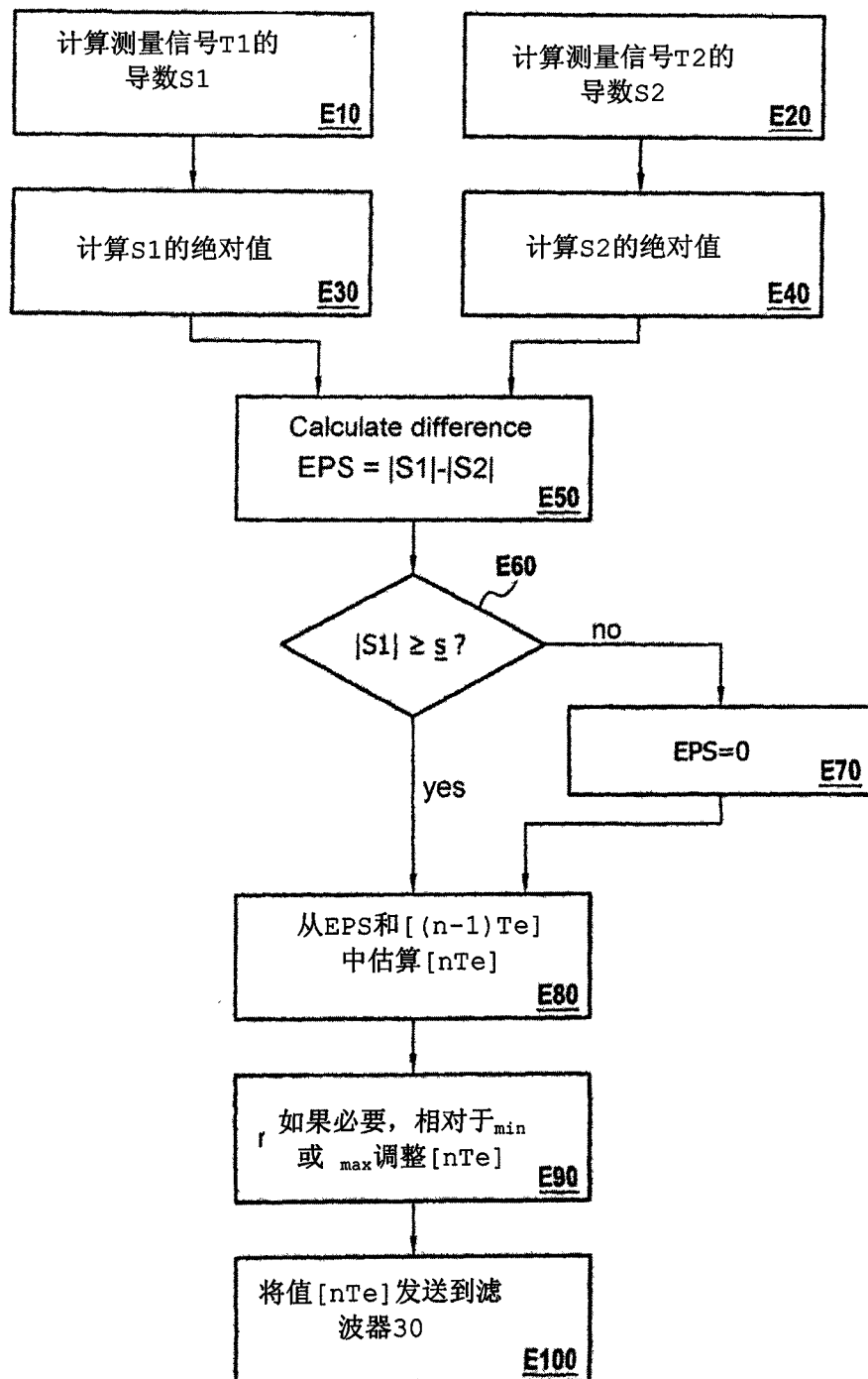


图 3

