



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104541036 B

(45)授权公告日 2016.12.21

(21)申请号 201380042416.3

(22)申请日 2013.06.20

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104541036 A

(43)申请公布日 2015.04.22

(30)优先权数据
1255852 2012.06.21 FR

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.02.10

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/FR2013/051435 2013.06.20

(87)PCT国际申请的公布数据
W02013/190237 FR 2013.12.27

(73)专利权人 斯奈克玛
地址 法国巴黎

(72)发明人 克里斯托弗·扎维罗特
塞德里克·德杰拉希
布鲁诺·罗伯特·加利
伊斯梅尔·西拉

(74)专利代理机构 中国商标专利事务所有限公
司 11234

代理人 宋义兴 宋迎

(51)Int.Cl.
F02C 9/26(2006.01)

(56)对比文件
WO 9420739 A2,1994.09.15,
US 2004117102 A1,2004.06.17,
EP 1510795 A2,2005.03.02,
WO 2011128573 A1,2011.10.20,
FR 2966518 A1,2012.04.27,

审查员 张炜

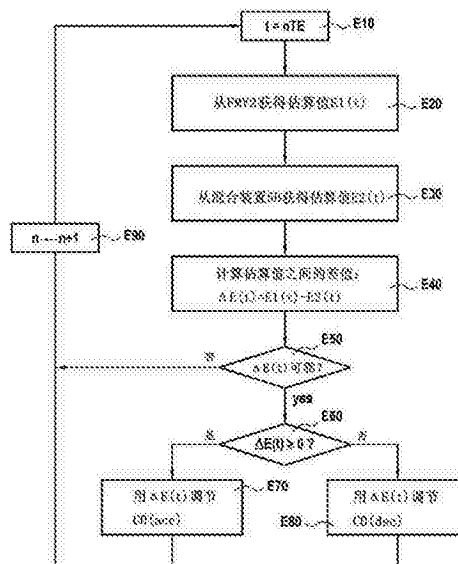
权利要求书2页 说明书12页 附图6页

(54)发明名称

调节燃料流量的阈值的方法和装置

(57)摘要

本发明的方法包括：--获取喷入所述涡轮发动机的燃烧室内的并由涡轮发动机的燃料计量装置传送的燃料流量的第一估算值(E1)的获取步骤(E20)；--获取喷入该燃烧室内的燃料流量的第二估算值(E2)的获取步骤(E30)，该第二估算值在燃料流量值的至少一个范围内比该第一估算值更精确，该第二估算值由带有流量计的估算装置传送；以及，--利用第一估算值(E1)和第二估算值(E2)之间的估算差值(ΔE)调节所述燃料流量的阈值($C0(acc)$ 、 $C0(dec)$)的调节步骤(E70,E80)。



1. 一种调节燃料流量的阈值($C0(acc)$ 、 $C0(dec)$)的方法,用于在开环中调节推进飞行器的涡轮发动机(1),所述方法包括:

--获取喷入涡轮发动机(1)的燃烧室内的并由涡轮发动机的燃料计量装置(2)传送的燃料流量的第一估算值($E1$)的获取步骤($E20$);

--获取喷入该燃烧室内的燃料流量的第二估算值($E2$)的获取步骤($E30$),该第二估算值在燃料流量值的至少一个范围内比该第一估算值更精确,该第二估算值由带有流量计(5A)的估算装置(5)传送;以及

--利用第一估算值($E1$)和第二估算值($E2$)之间的估算差值(ΔE)调节所述燃料流量的阈值($C0(acc)$ 、 $C0(dec)$)的调节步骤($E70$, $E80$)。

2. 根据权利要求1所述的调节方法,其中,该调节步骤($E70$, $E80$)包括:将被预先确定的加权因子(γ)加权后的第一估算值与第二估算值之间的估算差值,加到燃料流量的阈值($C0(acc)$ 、 $C0(dec)$)上。

3. 根据权利要求2所述的调节方法,进一步包括比较步骤($E50$),即,将被预先确定的加权因子(γ)加权后的第一估算值和第二估算值之间的估算差值,与第一估算值和第二估算值之间的预期精度差值进行比较。

4. 根据权利要求1所述的调节方法,进一步包括比较步骤($E50$),即,将第一估算值和第二估算值之间的估算差值,与在由计量装置传送的第一估算值的预期精度的基础上确定的阈值进行比较。

5. 根据权利要求1所述的调节方法,其中,燃料流量的阈值($C0(acc)$)是在飞机加速阶段采用的数值。

6. 根据权利要求5所述的调节方法,其中,在调节步骤期间,如果第一估算值和第二估算值之间的估算差值为正,则调节燃料流量的阈值,否则,阈值保持不变。

7. 根据权利要求1所述的调节方法,其中,燃料流量的阈值($C0(dec)$)是在飞机减速阶段采用的数值。

8. 根据权利要求7所述的调节方法,其中,在调节步骤期间,如果第一估算值和第二估算值之间的估算差值为负,则调节燃料流量的阈值,否则,阈值保持不变。

9. 在飞机飞行的过渡阶段,在开环中采用燃料流量的阈值来调节涡轮发动机推进飞行器的方法,是利用根据权利要求1至8中任一项所述的调节方法对所述阈值进行调节。

10. 一种用于调节燃料流量的阈值($C0(acc)$ 、 $C0(dec)$)的装置(6),用于在开环中调节涡轮发动机(1)推进飞行器,所述装置包括:

--用于获取喷入涡轮发动机(1)的燃烧室内的并由涡轮发动机的燃料计量装置(2)传送的燃料流量的第一估算值($E1(t)$)的获取装置;

--用于获取喷入燃烧室内的燃料流量的第二估算值($E2(t)$)的获取装置,该第二估算值在燃料流量值的至少一个范围内比第一估算值更精确,该第二估算值由带有流量计的估算装置(5)传送;以及

--用于利用第一估算值和第二估算值之间的估算差值来调节燃料流量的阈值的调节装置(6G)。

11. 一种用于推进飞行器的涡轮发动机(1),包括:

--燃料计量装置(2),适于传送喷入涡轮发动机的燃烧室内的燃料流量的估算值;

--估算装置(5),具有用于估算喷入的燃料流量的流量计,所述估算装置适于传送一种估算值,该估算值在燃料流量值的至少一个范围内,比计量装置所传送的喷入涡轮喷气发动机的燃烧室内的燃料流量更为准确;以及

--根据权利要求10的用于调节燃料流量的阈值的装置(6),该装置适于采用计量装置和估算装置传送的估算值。

调节燃料流量的阈值的方法和装置

技术领域

[0001] 本发明涉及涡轮发动机的一般领域,并优选应用于航空领域。

[0002] 本发明特别涉及在飞机飞行的过渡阶段(诸如加速或减速阶段)调节飞机涡轮发动机引擎(诸如涡轮喷气发动机)的燃料流量。

背景技术

[0003] 众所周知,涡轮喷气发动机的燃料流量的调节是为了确保在加速阶段或减速阶段喷入涡轮喷气发动机燃烧室内的燃料质量流量不会超越某个限定值,因为超过该值时涡轮喷气发动机会出现故障。例如,这种故障可能是在加速阶段涡轮喷气发动机的压缩器喘振或在减速阶段涡轮喷气发动机熄火。

[0004] 目前,这种调节依赖于对喷入燃烧室的燃料的质量流量的估算,该燃料的质量流量是根据涡轮喷气发动机的燃料计量装置的位置来建立的。

[0005] 更确切地说,燃料计量装置带有位置滑块,又称之为燃料计量阀(FMV),如果穿过滑块的压力差保持恒定时,滑块的位置与喷入燃烧室内的燃料容积流量成比例。

[0006] 移动时,滑块会或多或少地阻挡燃料计量装置中的燃料流动截面S。截面S(又称之为燃料计量装置的流通面积)可根据滑块位置而很容易地确定。其与喷入燃烧室内的燃料的容积流量成比例。

[0007] 截面S通过发动机电子控制装置(ECU)经由伺服控制回路来控制,电子控制装置(ECU)是飞机全权限数字发动机控制系统(FADEC)的组成部分。电子控制装置(ECU)以设定值信号的形式建立对燃料质量流量的需求,该设定值信号经由伺服控制回路被发送到燃料计量装置,该燃料质量流量需求然后被转换成容积流量。

[0008] 于是,在测量燃料计量装置的位置和本领域技术人员已知的其相关关系的基础上,可以从而估算出喷入燃烧室的燃料的质量流量。这种关系取决于飞机所使用燃料的密度(即,每个单位容积的质量)。

[0009] 燃料密度通常假定为在飞机执行任务期间是恒定的。其可根据基准条件来预先确定,即其作为在基准温度下的基准燃料的函数可被预先确定。

[0010] 然而,这种假设并没有考虑相对于基准燃料所使用的燃料特性的可能变化,也没有考虑当涡轮喷气发动机运行时相对于基准温度的燃料温度的可能变化。

[0011] 也没有考虑如下情况,对于给定燃料来讲,在该关系中使用的基准值附近,可能存在密度值的不同。

[0012] 此外,特别是,这种假设存在与处理计量装置的位置的测量结果时所使用的电子设备的部件的互换性相关的各种不确定性,以及与电子设备的这些部件的精度相关的各种不确定性。

[0013] 结果,使用这种关系会导致喷入燃烧室的燃料的估算的质量流量的不精确,而该流量在调节涡轮喷气发动机时会被用到。

[0014] 非常遗憾的是,如果喷入燃烧室的燃料的质量流量被燃料计量装置估计得过低,

这意味着在加速的瞬态级期间涡轮喷气发动机可用的加速余量反而会被估计得过高(即,会推定涡轮喷气发动机的加速余量大于正确估算时的燃料质量流量的推定余量)。于是,存在涡轮喷气发动机加速的风险,而这并不是预期的,而且,潜在的风险是,在加速期间会出现压缩机喘振。

[0015] 反之,在减速级期间,涡轮喷气发动机的减速余量被低估(即,会推定涡轮喷气发动机的减速余量小于正确估算时的燃料质量流量的推定余量)。于是,存在的风险是不能正常减速。

[0016] 相反,如果喷入燃烧室的燃料的质量流量被燃料计量装置估算得过高,这意味着在减速的瞬态级期间涡轮喷气发动机可用的减速余量会被估计得过高(即,会推定涡轮喷气发动机的减速余量大于正确估算时的燃料质量流量的推定余量)。于是,存在的风险是涡轮喷气发动机会出现速度不足或熄火的风险。

[0017] 反之,在加速级的涡轮喷气发动机的加速余量会被估计得过低(即,会推定涡轮喷气发动机的加速余量小于正确估算时的燃料质量流量的推定余量)。于是,存在的风险是,不能够正常加速。

[0018] 于是,由计量装置所提供的估算的不精确会对涡轮喷气发动机的调节和对其所实现的性能带来不可忽视的影响。

[0019] 因此,需要采用一种不会出现上述缺陷的方式来对涡轮喷气发动机进行调节。

发明内容

[0020] 本发明可满足这种需求,特别是,本发明提出了一种调节燃料流量的阈值的方法,用于在开环中调节推进飞行器的涡轮发动机,该方法包括:

[0021] --获取喷入所述涡轮发动机的燃烧室内的并由涡轮发动机的燃料计量装置传送的燃料流量的第一估算值的获取步骤;

[0022] --获取喷入该燃烧室内的燃料流量的第二估算值的获取步骤,该第二估算值在燃料流量值的至少一个范围内比该第一估算值更精确,该第二估算值由带有流量计的估算装置传送;以及

[0023] --利用第一估算值和第二估算值之间的估算差值调节所述燃料流量的阈值的调节步骤。

[0024] 同样,本发明还提供了一种调节燃料流量的阈值的装置,用来在开环中调节推进飞行器的涡轮发动机,该装置包括:

[0025] --用于获取喷入涡轮发动机的燃烧室内的并由涡轮发动机的燃料计量装置传送的燃料流量的第一估算值的获取装置;

[0026] --用于获取喷入燃烧室内的燃料流量的第二估算值的获取装置,该第二估算值在燃料流量值的至少一个范围内比第一估算值更精确,该第二估算值由带有流量计的估算装置传送;以及

[0027] --用于利用第一估算值和第二估算值之间的估算差值来调节燃料流量的阈值的调节装置。

[0028] 按照本发明的定义,燃料流量的阈值确定了在给定时刻喷入涡轮发动机的燃烧室内的最大或最小的燃料流量。

[0029] 特别是在加速或减速阶段,当调节发动机时,该阈值特别重要,因为在开环中将该阈值与喷入涡轮发动机的燃烧室内的实际燃料流量的估算值进行比较后,有利于调节燃料传送量和估算涡轮发动机可用的加速或减速余量。这个阈值也称之为加速停止值或减速停止值。

[0030] 于是,这些加速和减速停止值对涡轮发动机的性能进行了限制。通常,这些值都是由负责涡轮发动机运行性的矢量来设定,以避免涡轮发动机出现故障,诸如加速时的喘振(引起加速功率的下降),或减速时涡轮发动机熄火。特别是,按已知方式,在确定加速和减速停止值时,要参照涡轮发动机的压缩器的喘振线,同时也要考虑涡轮发动机的部件磨损、测量设备的不精度以及各种涡轮发动机之间可能遇到的基准值的不同等。

[0031] 有利的是,本发明提出了在调节这些阈值或停止值时,考虑到了计量装置以某些流量传送的燃料流量的估算值的精度(或更确切地说,不精确性)的问题。优选地,确保了采用第一估算值和第二估算值之间的估算差值来对阈值进行调节,而该调节只有在喷入燃烧室的燃料流量值是在第二估算值比第一估算值更精确的这个范围内时才进行。

[0032] 按照本发明的定义,由涡轮发动机的燃料计量装置传送的有关燃料流量的术语“估算值”,或者是指由燃料计量装置直接传送的估算值,或者是指从计量装置(即,包含上述燃料计量阀(FMV)的装置)的状态中推导得出的估算值的延伸,该估算值是在运用本领域技术人员熟知的适当关系时从阀的滑块位置推导得出的。

[0033] 更确切地说,本发明提出了,在用于调节涡轮发动机的阈值(即加速和/或减速停止值)中,结合了由计量装置传送的燃料流量估算值和由带有流量计的估算装置传送的更精确的估算值之间的差值。例如在文献FR 2 958 976或文献EP 1 510 795中介绍的这种估算装置。按已知方式,在喷入涡轮发动机的燃烧室的燃料流量的至少一个范围内,这种估算值比计量装置的更精确。

[0034] 在加速停止值和/或减速停止值中结合该差值可避免对涡轮发动机在加速或减速阶段期间限制过大或限制不足。这样可提高可用的加速余量和减速余量。根据所进行的调节方式,从而可以:

[0035] 一节省加速和减速所需时间;涡轮发动机的性能从而得到改善;和/或

[0036] 一保护涡轮发动机,防止出现喘振或转速不足或熄火。

[0037] 此外,由估算装置传送的估算值尽管在至少一个燃料流量值的范围内比计量装置所传送的燃料流量估算值更精确,但其本身也常会容易失效。本发明建议,这种估算值仅在开环中使用,而不是将其持续用来替代由计量装置传送之估算值。这样,可限制这种失效对涡轮发动机运行的影响。特别是,本发明不会对涡轮发动机的其它调节回路带来额外的故障的风险。

[0038] 在一个具体实施方式中,调节步骤包括:将被预先确定的加权因子加权过的第一估算值和第二估算值之间的估算差值增加到燃料流量的阈值上,该加权因子选择为小于或等于1的正值。

[0039] 有利的是,该加权因子用于控制对燃料流量的阈值的修正,例如,其是随着所使用的估算值的可靠性的变化而变化的。举例说明,加权因子可通过测试来确定,以便优化涡轮发动机的性能。

[0040] 根据本发明的一个具体实施方式,该调节方法包括比较步骤,即,将被预先确定的

加权因子加权后的第一估算值和第二估算值之间的估算差值,与第一估算值和第二估算值之间的预期的精度差值进行比较。

[0041] 本文中用到的术语在第一估算值和第二估算值之间的“预期精度差值”是指计量装置的精度和估算装置的精度之间的差值,这些精度通常由这些装置的制造商提供。

[0042] 对阈值的调节取决于该比较步骤的结果。为此,举例说明,可以采用如下调节方式:

[0043] --如果被预先确定的加权因子加权后的第一和第二估算值之间的估算差值小于第一和第二估算值之间的预期精度差值时,则利用第一估算值和第二估算值之间的估算差值来对阈值进行调节,以及

[0044] --否则,就利用第一估算值和第二估算值之间的预期精度差值来对阈值进行调节。

[0045] 这确保了对阈值的调节不会出现错误,特别是,当带有流量计的估算装置出现故障或给出的估算值不如燃料流量计给出的估算值可靠时。

[0046] 在本发明的另一个实施方式中,调节方法包括比较步骤,即,将第一估算值和第二估算值之间的估算差值与基于第一估算值的预期精度而确定的阈值进行比较。

[0047] 特别是,这种比较步骤可以确保第一估算值和第二估算值之间的相对差值小于计量装置的最大不精确度,并只在适当的时候调节阈值。这就避免了采用异常值来对阈值进行调节,这种异常值不会改善由计量装置传送的估算值的精度。

[0048] 换言之,上述比较步骤用于确保使用第一估算值和第二估算值之间的相对差值来调节阈值是只有在燃料流量值在一定范围内才进行的,在该范围时,由估算装置传送的第二估算值比由计量装置传送的第一估算值确实更为精确。

[0049] 如上所述,有利的是,本发明能够调节(换句话说,能够修正)在飞机加速阶段使用的燃料流量的阈值(即,加速停止值)和/或在飞机减速阶段使用的燃料流量的阈值(即,减速停止值),同时,考虑到了由计量装置传送的燃料流量的估算值的精度。

[0050] 根据调节涡轮发动机时所期望实现的目标,可使用各种调节策略。

[0051] 为此,在一个实施方式中,当考虑中的燃料流量的阈值是用在飞机加速阶段时,就利用第一估算值和第二估算值之间的估算差值(假定该差值为正),在调节步骤中,对该阈值进行调节,否则,该阈值保持不变。

[0052] 同样,当考虑中的燃料流量的阈值是用在飞机减速阶段时,就利用第一次估算值和第二次估算值之间的估算差值(假定该差值为负),在调节步骤中,对该阈值进行调节,否则,该阈值保持不变。

[0053] 为此,在该实施方式中,在每个调节步骤,加速和减速停止值中只有一个被调节,这取决于第一估算值和第二估算值之间的差值是正还是负。这种实施方案用来改善涡轮发动机加速或减速余量的性能,以避免加速或减速阶段对燃料传送量的限制过大。

[0054] 此外,有利的是,在该实施方式中,负责涡轮发动机运行性的矢量所设定的精度余量被保存下来以便估算调节涡轮发动机时所用的燃料流量。

[0055] 在另一个实施方式中:

[0056] --当考虑中的燃料流量的阈值是用在飞机加速阶段时,就利用第一估算值和第二估算值之间的估算差值(假定该差值为负),在调节步骤中,对该阈值进行调节,否则,该阈

值保持不变。以及

[0057] 一当考虑中的燃料流量的阈值用在飞机减速阶段时,就利用第一估算值和第二估算值之间的估算差值(假定该差值为正),在调节步骤中,对该阈值进行调节,否则,该阈值保持不变。

[0058] 这种实施方式用来保护涡轮发动机以防出现喘振或熄火或速度不足的风险。

[0059] 然而,在另一个实施方式中,是利用第一和第二估算值之间的差值,对加速和减速停止值进行调节,而不论该差值是正还是负。

[0060] 这样,不仅可以改善涡轮发动机的性能,而且,对于涡轮发动机压缩器喘振的风险或发动机熄火的风险,确保对所接受的加速和减速余量不会估算过量。

[0061] 在另一方面,本发明还提供了在飞机飞行的过渡阶段在开环中使用燃料流量的阈值来调节飞机的涡轮发动机,这种阈值的调节是利用了本发明的调节方法。

[0062] 在另一个方面,本发明还提供了一种用来推进飞行器的涡轮发动机,包括:

[0063] 一燃料计量装置,其适于传送喷入涡轮发动机的燃烧室内的燃料流量的估算值;

[0064] 一估算装置,具有用于估算喷入的燃料流量的流量计,该估算装置适于传送一种估算值,该估算值在燃料流量值的至少一个范围内,比计量装置所传送的喷入涡轮发动机的燃烧室内的燃料流量更为准确;以及

[0065] 一用于调节本发明的燃料流量的阈值的装置,该装置适于采用计量装置和估算装置传送的估算值。

[0066] 本发明的使用方法和涡轮发动机都具有以上调节方法和装置所描述的优点。

[0067] 在具体实施方式中,调节方法的各个步骤通过计算机程序指令来确定。

[0068] 因此,本发明还提供了一种在数据媒体上的计算机程序,该程序适于在涡轮发动机的调节装置内,或更普遍的是在计算机中执行。该程序包括用于执行上述调节方法各个步骤的指令。

[0069] 该程序可使用任何编程语言,以及以源代码、目标代码、或源代码和目标代码之间的中间代码的形式,诸如以部分编辑的形式,或以任何其它期望的形式。

[0070] 本发明还提供了一种计算机可读数据媒体,包括上述计算机程序的指令。

[0071] 数据媒体可以是能够存储程序的任何实体或装置。例如,该媒体可以包括储存装置,诸如只读存储器(ROM),例如光盘(CD)ROM或微电子电路ROM,或实际上为磁性记录装置,例如,软盘或硬盘。

[0072] 此外,数据媒体可以是可传输的媒体,诸如电气或光学信号,其适于通过无线电或其它装置经由电缆或光缆进行传输。特别是,本发明的程序可从因特网的网络上下载。

[0073] 或者,数据媒体可以是集成了该程序的集成电路,该电路适于执行或在执行所述方法时使用。

[0074] 在另一些实施例或实施方式中,还可以设想,本发明的调节方法、方法的使用、调节装置、以及涡轮发动机都可一起具有全部或部分上述特性。

附图说明

[0075] 通过如下参照附图给出的说明,本发明的其它特性和优点会显现出来,所示实施方式不具有限定性。附图如下:

- [0076] • 图1为根据本发明的涡轮发动机的方框图,所示为一种具体的实施方式;
- [0077] • 图2示出了一种现有技术的装置,用于估算喷入涡轮喷气发动机的燃烧室内的燃料的流量,其适于提供估算值,该估算值在燃料流量值的至少一个范围内比燃料计量装置提供的估算值更精确;
- [0078] • 图3示出了根据本发明的调节方法的具体实施方式的主要步骤;
- [0079] • 图4和图5分别示出了根据图3所示的本发明实施方式的一个变化的优选方式,其示出了怎样调节加速停止和减速停止的方法;以及
- [0080] • 图6和图7示出了根据本发明调节阈值的示例的曲线图,以及加速或减速余量最终的改善情况。

具体实施方式

- [0081] 图1为根据本发明的涡轮发动机1的方框图,所示为一种具体的实施方式。
- [0082] 在这个实施方式中,涡轮发动机1为一种推进飞行器的涡轮喷气发动机。然而,本发明也适用于其它涡轮发动机,诸如涡轮螺旋桨发动机,以及也适用于其它类型的飞机。
- [0083] 根据本发明,涡轮喷气发动机1带有燃料计量装置2,适合调节来自飞机燃料管路3、并由燃料喷射系统4喷入涡轮喷气发动机燃烧室内的燃料流量。
- [0084] 如上所述,燃料计量装置2带有滑块2A(或燃料计量阀FMV),滑块2的位置根据喷入燃烧室的燃料的流量的不同而改变。
- [0085] 通过移动,滑块阻挡了燃料流动截面(参考符号为S),又称之为计量装置的流通面积。应该指出的是,面积S和滑块位置之间的关系本身已为已知,在此不再详细赘述。
- [0086] 面积S与喷入燃烧室的燃料的容积流量 Q_v 成比例,即:
- [0087]
$$Q_v = KS\sqrt{\Delta P}$$
- [0088] 式中,K为常数, ΔP 是穿过滑块2A的计量装置2内的压力差,该压力差由一种人们已知类型的调节阀2B保持为恒定。
- [0089] 质量流量 Q_m 除以流过计量装置的燃料的密度 ρ ,可获得容积流量 Q_v 。本文假定密度 ρ 为恒定值。基准燃料和基准温度都是预先确定的。
- [0090] 质量流量 Q_m 由飞机FADEC中的电子调节模块ECU以设定值信号的形式传送给计量装置2,该设定值信号是通过伺服控制回路(图中未示)传送给计量装置的。
- [0091] 在所述示例中,燃料计量装置2也具有位置传感器2C,该位置传感器适于测量滑块2A在不同时刻 $t = nT_e$ 下的位置,式中,n为正整数, T_e 是涡轮喷气发动机1的电子设备的采样周期。例如,位置传感器2C是一种所属领域技术人员所熟知的线性可变差动变换器(LVDT)。
- [0092] 由位置传感器2C在时刻t下传送的测量值经转换器2D(同样为已知类型)转换为喷入涡轮喷气发动机1燃烧室内的燃料的质量流量的估算值 $E_1(t)$ 。该估算值 E_1 是由本发明定义的计量装置所传送的估算值。
- [0093] 根据本发明,涡轮喷气发动机1还具有用于估算喷入燃烧室的燃料流量的第二装置5,适合用来传送喷入的燃料流量的估算值,在燃料流量值的至少一个范围内,该估算值比由计量装置2传送的估算值 E_1 更准确。
- [0094] 在所述实施方式中,该第二装置5带有重量流量计(WFM)5A,诸如扭力计或容积流量计,以及称之为“混合”装置5B的装置5B。

[0095] 混合装置5B适合用于,在估算值 $E_1(t)$ 和由WFM 5A所测量的流量测量值的基础上,传送在时刻 t 下喷入涡轮喷气发动机1的燃烧室内的燃料流量的第二估算值 $E_2(t)$ 。有利的是,估算值 $E_1(t)$ 和由WFM所测量的测量值的结合可用来改善燃料计量精度,并且在燃料流量值的至少一个范围内(例如,大于预先确定阈值的值,特别是,该值是随着WFM的精度而变化而变化的),更精确地了解喷入涡轮喷气发动机1的燃烧室内的燃料流量。

[0096] 在目前设想的实施方式中,混合装置5B是一种用于准备设定值信号的装置,其与文献FR 2 958 976中所述的装置相同:在由WFM 5A传送的信号和从计量装置2的滑块2A的测量位置估算的信号(在该示例中该信号对应于计量装置2所传送的估算值 $E_1(t)$)的基础上,根据本发明所使用的第二估算值 $E_2(t)$ 对应于文献FR 2958976中所述的用机构准备的设定值信号。有利的是,对于大范围的燃料流量值来说,该设定值信号提供了实际喷入涡轮喷气发动机1的燃烧室内的燃料流量的较好的估算值。可以利用由WFM 5A提供的绝对值形式的燃料流量估算值的精度和由计量装置2提供的相对值(即动态值)形式的估算值精度的两者。

[0097] 图2以另一种简化的实施例的变化形式简要总结了混合装置5B的使用情况。

[0098] 如上所述,为了传送燃料流量估算值 $E_2(t)$,混合装置5B首先利用与喷入燃烧室的燃料流量相关的并由WFM 5A传送的测量信号 $S_1(t)$,其次利用在位置传感器2C所测量的滑块2A的位置的基础上,由计量装置2的转换器2D所传送的估算值 $E_1(t)$ 。

[0099] WFM 5A所传送的信号 $S_1(t)$ 通常为方波信号。为了使其能够使用,由低通数字滤波器 f 对其进行滤波,以便去除方波(换句话说,平滑信号 S_1)。滤波器 f 的时间常数 τ 选择为足够高,以适合此用途。通过实验确定:应该选用最小的时间常数,以便在滤波后获得平滑信号(优选时间常数小于1000秒(s))。

[0100] 在滤波器 f 的输出端获得的信号记作 $S_1'(t)$ 。

[0101] 在对信号 $S_1(t)$ 进行处理的同时,信号 $E_1(t)$ 被输入至数字建模模块MN中。当由信号 E_1 表示的燃料流量流过模块时,模块MN适于对由WFM 5A理论测量的燃料流量进行模型处理。由模块MN建模的和代表由WFM 5A测量的燃料流量的信号记作 S_2 。

[0102] 模块MN是基于WFM 5A的机械分量的数字模型,而且特别是,其计入了自身的时间常数 τ_{WFM} 。在该示例中,时间常数 τ_{WFM} 假定为恒定的,且等于WFM制造商所规定的时间常数。应该指出的是,这种数字模型本身已为人们所知,本文不再详细赘述。

[0103] 因为模块MN是对WFM 5A建模,为此,建模信号 S_2 也是一种类似于信号 S_1 的方波信号。

[0104] 因此,该信号被送至类似于数字滤波器 f (而且特别是,具有相同的时间常数 τ)的低通数字滤波器 f' ,以便被平滑处理。在所述示例中,滤波器 f 和 f' 是相同的。

[0105] 然后,在滤波器 f' 的输出端获得的平滑信号 $S_2'(t)$ 被送至减法器元件7中,用来从信号 $E_1(t)$ 中减去信号 $S_2'(t)$ 。

[0106] 然后,经过这个减法之后得出的信号 $S_3(t)$ 通过加法器元件8被加到来自滤波器 f 的信号 $S_1'(t)$ 上,以形成燃料流量估算值 $E_2(t)$ 。

[0107] 应该注意的是,文献FR 2 958 976所记载的更为详尽的其它不同实施方式也都应视为是在WFM 5A信号和估算值 $E_1(t)$ 的基础上给出了估算值 E_2 。

[0108] 为此,对于更广范围的燃料流量值来讲,由混合装置5B传送的估算值 $E_2(t)$ 比由计

量装置2传送的估算值 $E_1(t)$ 更准确。由计量装置2传送的估算值的精度记作精度记作 δ_1 ,而由混合装置5B传送的估算值的精度记作 δ_2 。

[0109] 精度 δ_1 和 δ_2 可以在计量装置2和混合装置5B的各自制造商所提供的信息的基础上进行估算,例如,采用图表形式。按已知方式,对于精度 δ_1 来说,这些精度可以特别取决于涡轮喷气发动机1的转速 N_2 ,而对于精度 δ_2 来说,这些精度可以考虑取决于燃料流量。

[0110] 在另一种方式中,可以使用其它装置来估算喷入燃烧室内的燃料流量,这些装置适合于传送估算值 $E_2(t)$,在燃料流量值的至少一个范围内,该估算值比计量装置2所传送的估算值更准确,诸如,如文献EP 1 510 795所记载的确定质量流量测量值的装置。

[0111] 根据本发明,涡轮喷气发动机1还包括根据本发明用于调节燃料流量的阈值 C_0 的装置6,其适于采用由计量装置2和估算装置5分别传送的估算值 $E_1(t)$ 和 $E_2(t)$ 来准备被调节的阈值 C 。

[0112] 在所述实施方式中,调节装置6是包含在飞机FADEC的ECU调节模块内的数字模块。更确切地说,该调节装置6包括根据本发明的计算机程序,该程序带有用于执行本发明调节方法各个步骤的指令,这些指令存储在FADEC的ECU的ROM内。

[0113] 估算值 $E_1(t)$ 和 $E_2(t)$ 通过涡轮喷气发动机1的设备和FADEC之间的通信装置传送到调节装置6,该通信装置本身已为人们所熟知。

[0114] 下面参照图3介绍根据本发明的调节方法的各个主要步骤,这些步骤由调节装置6来执行,以便在具体实施本发明时调节燃料流量的阈值 C_0 。

[0115] 在该示例中,根据本发明所调节的阈值,或者是在飞机加速期间调节涡轮喷气发动机时使用的加速停止值,记作 $C_0(\text{acc})$,或者是在飞机减速期间用于调节涡轮喷气发动机的减速停止值,记作 $C_0(\text{dec})$ 。

[0116] 在本示例中,加速和减速停止值 $C_0(\text{acc})$ 和 $C_0(\text{dec})$ 都是在与比率 C_0/P 相关的限定值的基础上确定的,该比率是喷入燃烧室内的燃料流量除以在燃烧室出口测量的静态压力值 P 。按照已知方式,这些限定值都是由负责涡轮喷气发动机操作性的矢量来设定的,以便避免在加速期间出现喘振或在减速期间出现涡轮喷气发动机1熄火,而且考虑了涡轮发动机1中的设备磨损、测量装置的不精确性、不同涡轮喷气发动机之间的偏差等。特别是,这些限定值取决于涡轮喷气发动机1的高压压缩器的转速,也取决于涡轮喷气发动机1风扇的进口总压力。

[0117] 在所讨论的本实施方式中,在不同的时刻 $t=nT_e$ (步骤E10)下进行调节,式中, n 为正整数, T_e 为调节装置6的采样周期(在本说明书中,该周期假定为与计量装置2和混合装置5的采样周期相同),以便优化加速停止值和减速停止值的精度。

[0118] 在另一个变化的实施方式中,可以在预定的时刻下进行调节,例如,在加速阶段开始时和/或减速阶段开始时,或在采样周期的倍数的时刻周期性地,以限定所执行调节作业的次数。所选择的调节频率是调节涡轮喷气发动机的复杂程度和性能之间的折衷的结果。

[0119] 根据本发明,调节装置6在时刻 t (步骤E20)下获得喷入涡轮喷气发动机1的燃烧室内的燃料流量的第一估算值 $E_1(t)$ 。如上所述,在由位置传感器2C测量的计量装置2的滑块2A测量位置的基础上,该第一估算值由计量装置2的转换器2D传送。

[0120] 该第一估算值 $E_1(t)$ 被送至混合装置5B。混合装置5B将估算值 $E_1(t)$ 与在时刻 t 下

由WFM5A测量的燃料流量的测量值结合,如上参照图2所述,且通过这种结合,得出喷入涡轮喷气发动机1的燃烧室内的燃料流量的第二估算值 $E_2(t)$ (步骤E30)。

[0121] 然后,该调节装置6估算由此而获得的估算值 $E_1(t)$ 和 $E_2(t)$ 之间的差值 $\Delta E(t)$ (步骤E40)。更确切地说,在该示例中:

$$[0122] \quad \Delta E(t) = E_1(t) - E_2(t)$$

[0123] 在讨论的本实施方式中,在利用差值 $\Delta E(t)$ 调节加速停止值或减速停止值前,调节装置6通过与计量装置2的精度 δ_1 进行比较,来验证该差值 $\Delta E(t)$ 的可靠性(步骤E50)。

[0124] 为此,将差值 $\Delta E(t)$ 与阈值进行比较,该阈值是基于计量装置2的精度 δ_1 确定的,或更确切地说,在该示例中,且在相同方式下,是基于计量装置1的非精确程度 p_1 确定的。

[0125] 于是,在该比较中,调节装置6验证是否:

$$[0126] \quad \frac{|\Delta E(t)|}{E_1(t)} \times 100 < p_1$$

[0127] 式中, p_1 表示百分比,表示由计量装置2传送的估算值的不精确程度(应该指出的是,如果 δ_1 也用百分比表示,那么 p_1 和 δ_1 的关系是等式 $p_1 = 100 - \delta_1$)。该不精确程 p_1 可用所属领域技术人员所熟知方式来预先确定,其随着涡轮喷气发动机1转速和计量装置2制造商所提供的技术参数的变化而变化。

[0128] 为此,调节装置6确保了提供给阈值的修正量不会超过计量装置2的最大不精确程 p_1 。换句话说,这种比较可以使得调节装置6来验证估算值 $E_2(t)$ 的精度确实优于考虑中的流量的估算值 $E_1(t)$ 的精度。

[0129] 如果调节装置6确定差值 $\Delta E(t)$ 不可靠(换句话说,未满足上述的变化),那么,就不调节加速停止值和减速停止值。

[0130] 应该注意的是,可进行其它测试,以便检测是否适合在差值 $\Delta E(t)$ 的基础上调节加速停止值。为此,举例说明,可以将估算值 $E_1(t)$ 或 $E_2(t)$ 与一个数值范围进行比较,在该数值范围内,已知估算值 $E_2(t)$ 比估算值 $E_1(t)$ 更精确,并且如果由 $E_1(t)$ 或 $E_2(t)$ 所估算的燃料流量不在该范围内时,则停止调节加速和减速停止值。

[0131] 如果调节装置6确定差值 $\Delta E(t)$ 可靠,那么,确定差值 $\Delta E(t)$ 为正还是为负(步骤E60)。

[0132] 在讨论的本实施方式中,如果确定差值 $\Delta E(t)$ 为正或零(步骤E60检测的结果为“是”),则调节装置6就在该差值的基础上调节加速停止值 $C_0(\text{acc})$ (步骤E70),如下参照图4所述。

[0133] 相反,如果确定差值 $\Delta E(t)$ 为负(步骤E60检测的结果为“否”),则调节装置6就在该差值 $\Delta E(t)$ 的基础上调节减速停止值 $C_0(\text{dec})$,如下参照图5所述(步骤E80)。

[0134] 有利的是,在时刻 t 下调节的数值(记作 $C(\text{acc})$ 或 $C(\text{dec})$)考虑到了在时刻 t 下计量装置2的缺乏精度的问题。

[0135] 在下一个采样时刻 $(n+1)T_e$ (步骤E90)下,重复步骤E10至E80。

[0136] 有利的是,用这种方式调节的阈值 $C(\text{acc})$ 和 $C(\text{dec})$ 可以用在开环中调节在飞机以瞬变方式飞行期间(例如,加速或减速期间)运行的涡轮喷气发动机1。在该期间,将由计量装置2传送的燃料流量的估算值 $E_1(t)$ 与数值 $C(\text{acc})$ 和 $C(\text{dec})$ 进行比较,以便确定涡轮喷气发动机1可用的加速或减速余量。这样就提高了涡轮喷气发动机1的性能。

[0137] 下面参照图4详细介绍按照优选实施方式调节加速停止值 $C0(acc)$ 的方法。

[0138] 如上所述,调节装置6在每一时刻下利用模块6A对估算值 $E1(t)$ 和 $E2(t)$ 之间的差值 $\Delta E(t)$ 进行估算。

[0139] 本文假设差值 $\Delta E(t)$ 在上述比较步骤E50结束后为小值(否则,该值就被强行归零,以避免加速停止值 $C0(acc)$ 的调节有误)。

[0140] 在讨论中的该变化方式中,差值 $\Delta E(t)$ 由被记作 γ 的乘数加权,即由加权模块6B来完成。该加权因子 γ 为小于或等于1的正数。其用来确定应用于阈值 $C0(acc)$ 上的调节量。

[0141] 然后,在模块6C内将加权后的差值 $\gamma \times \Delta E(t)$ 与值 $V1$ 进行比较。模块6C选择加权后的差值 $\gamma \times \Delta E(t)$ 和数值 $V1$ 之间的最小值,记作 $V2$ 。

[0142] 数值 $V1$ 对应于估算值 $E1(t)$ 和 $E2(t)$ 的预期精度之差。其由模块6D计算,为在时刻 t 下未调节的加速停止值 $C0(acc)$ 乘以差值 Δp 的乘积,该差值是指由计量装置2传送的估算值的精度与由混合装置5B传送的估算值的精度之间的差值。

[0143] 精度差 Δp 由模块6E进行估算。在该示例中,该差值被视为等于 $p1-p2$,其中:

[0144] --如上所述, $p1$ 表示由计量装置2传送的估算值 $E1(t)$ 的不精确度($p1=100-\Delta 1$,式中, $\Delta 1$ 表示估算值 $E1(t)$ 的精度),由估算值的百分比表示: $p1$ 是用本领域技术人员已知的方法来计算的, $p1$ 随着涡轮喷气发动机1的转速和计量装置2制造商所提供的技术参数的变化而变化;以及

[0145] --同样, $p2$ 表示由混合装置5B传送的估算值 $E2(t)$ 的不精确度($p2=100-\delta 2$,式中, $\delta 2$ 表示估算值 $E2(t)$ 的精度,由百分比表示),用估算值的百分比表示。在该示例中,该不精确度 $p2$ 取决于燃料流量的阈值 $C0(acc)$ 和混合装置5B的制造商所提供的技术参数。

[0146] 换言之,假定这里考虑到了对 $p1$ 和 $p2$ 的定义,对于燃料流量值在估算值 $E1(t)$ 比估算值 $E2(t)$ 更为准确的这个范围内时, $\Delta p=p1-p2$ 为负。

[0147] 反之,对于燃料流量值在由混合装置5B传送的估算值 $E2(t)$ 比由计量装置2传送的估算值 $E1(t)$ 更精确的这个范围内时, $\Delta p=p1-p2$ 为正。

[0148] 通过在 $V1$ 和 $\gamma \times \Delta E(t)$ 之间取最小值,可确保在调节阈值 $C0(acc)$ 时绝不会超过计量装置2和混合装置5B之间的精度之差:这是为了保证用于调节阈值 $C0(acc)$ 的值的可靠性。

[0149] 当然,同样的方式也可应用到精度差值 $\Delta p=\delta 2-\delta 1$ 上。

[0150] 然后,比较器6F将由模块6C传送的值 $V2$ 与零进行比较:模块6F在 $V2$ 和零之间选择最大值。

[0151] 随后,模块6G用由模块6F选择的值对阈值 $C0(acc)$ 进行调节。换句话说,如果值 $V2$ 大于或等于零,该值则用来调节阈值 $C0(acc)$ 。

[0152] 更确切地说,在该示例中,模块6G调节阈值 $C0(acc)$,以便其在用于如下等式时成为阈值 $C(acc)$:

$$[0153] \quad C(acc) = C0(acc) + V2$$

[0154] 在讨论中的本实施方式中,如果 $V2$ 小于0,则调节减速停止值 $C0(dec)$,如图5所示。

[0155] 图5所示的模块6A',6B',6C',6D',6E'和6G'都与图4所示的模块6A,6B,6C,6D,6E和6G相似或相同,不同之处是它们是对减速停止值 $C0(dec)$ 进行调节,而不是对加速停止值 $C0(acc)$ 进行调节。

[0156] 此外,比较器6F'将值V2与0进行比较,但是,不同于图4中的比较器6F,该比较器是在V2和0之间选择最小值。

[0157] 然后,模块6G'采用由模块6F'选择的值对阈值C0(dec)进行调节。换句话说,如果V2小于0,该模块用于按如下公式将阈值C0(dec)调节为阈值C(dec):

$$[0158] \quad C(dec) = C0(dec) + V2$$

[0159] 为此,在讨论中的本实施方式中,如果 $\Delta E(t)$ 为正,则对加速停止值进行调节,如果 $\Delta E(t)$ 为负,则是对减速停止值进行调节。

[0160] 图6和图7分别示出了按照本发明对阈值C0(acc)和C0(dec)的进行调节的示例。

[0161] 图6示出了喷入涡轮喷气发动机的燃烧室内的燃料流量除以燃烧室出口压力值的比率(C/P),随着涡轮喷气发动机1的降负荷转速XNr的变化而变化的情况。

[0162] 在该附图中:

[0163] --曲线(1)表示涡轮喷气发动机的喘振线,Z1表示存在喘振风险的区域;

[0164] --曲线(2)表示涡轮喷气发动机的熄火线,Z2表示存在涡轮喷气发动机熄火风险的区域;以及

[0165] --曲线(3)和(4)分别表示未调节的加速和减速停止值C0(acc)和C0(dec)除以燃烧室出口压力值P的比率,即由涡轮喷气发动机1的运行性矢量所估算的停止值是随着发动机的特性的变化而变化的。

[0166] 曲线(5)表示对由涡轮喷气发动机1的计量装置2传送的燃料流量的估算值E1(t)进行估算的比率(C/P)。

[0167] 为此,在飞机加速期间以及考虑了估算值(5)时的涡轮喷气发动机可用的“实际”加速余量表示为m1:其对应存在于曲线(3)和曲线(5)之间的差值区域,曲线(3)代表加速停止值C0(acc)除以压力值P的比率。

[0168] 现在假设由计量装置2传送的燃料流量估算值E1(t)被估计过高,并假设喷入燃烧室的燃料流量的估算值是更为精确的估算值(例如,由混合装置5B传送的估算值E2(t)),那么就获得曲线(6)。换言之,在飞机加速期间涡轮喷气发动机可用的“实际”加速余量是m1+ Δm ,式中, Δm 为正(该实际加速余量对应于曲线(6)和曲线(3)之间的差值区域)。

[0169] 根据本发明,加速停止值C0(acc)在调节时考虑到了估算值E1(t)和E2(t)之间的精度差值。曲线(7)表示根据本发明调节的加速停止值C(acc)除以燃烧室出口压力值P的比率。

[0170] 在考虑了根据本发明调节的加速停止值C(acc)后,供涡轮喷气发动机1可用的额外加速余量现在是m2=m1+ Δm 。于是,该余量增加了,而且该余量弥补了由计量装置2传送的燃料流量的过高估算量。

[0171] 同样,图7示出了喷入涡轮喷气发动机的燃烧室内的燃料流量除以燃烧室出口压力值P的比率(C/P)的变化情况,该比率是随着涡轮喷气发动机的降低的负载转速XNr的变化而变化的。

[0172] 在该附图中:

[0173] --曲线(1)表示涡轮喷气发动机的喘振线,Z1表示存在喘振风险的区域;

[0174] --曲线(2)表示涡轮喷气发动机的熄火线,Z2表示存在涡轮喷气发动机熄火风险的区域;以及

[0175] --曲线(3)和(4)分别表示未调节的加速和减速停止值 $C0(\text{acc})$ 和 $C0(\text{dec})$ 除以燃烧室出口压力值 P 的比率,即,由涡轮喷气发动机1的运行性矢量估算的停止值是随着发动机特性的变化而变化的。

[0176] 曲线(5)表示对由涡轮喷气发动机1的计量装置2传送的燃料流量的估算值 $E1(t)$ 进行估算后的比率 (C/P) 。

[0177] 为此,在飞机减速期间以及考虑了估算值 (T) 时的涡轮喷气发动机可用的“实际”减速余量表示为 $m3$:其对应存在于曲线(4)和曲线(5)之间的差值区域,曲线(4)代表减速停止值 $C0(\text{dec})$ 除以压力值的比率。

[0178] 现在假设由计量装置2传送的燃料流量估算值 $E1(t)$ 被估计过低,并且假设喷入燃烧室的燃料流量的估算值为更为精确的估算值(例如,由混合装置5B传送的估算值 $E2(t)$),那么就获得曲线(6)。换句话说,在飞机减速期间涡轮喷气发动机可用的“实际”减速余量是 $m3 + \Delta m'$,式中, $\Delta m'$ 为正(该实际减速余量对应于曲线(6)和曲线(4)之间的差值区域)。

[0179] 根据本发明,在调节减速停止值 $C0(\text{dec})$ 时考虑了估算值 $E1(t)$ 和 $E2(t)$ 之间的精度差值。曲线(8)表示根据本发明调节的减速停止值 $C(\text{dec})$ 除以燃烧室出口压力的比率。在考虑了根据本发明调节的减速停止值后,涡轮喷气发动机可用的新的减速余量现在是 $m4 = m3 + \Delta m'$ 。为此,该余量增加了,而且补充了计量装置2所传送的燃料流量的过高估算量。

[0180] 本发明因此改善了加速余量和减速余量。

[0181] 应该注意的是,在讨论的本实施方式中,如果喷入燃烧室的燃料流量被计量装置2估算得过高,那么,就要调节加速余量;而如果喷入燃烧室内的燃料流量被计量装置2估算得过低,那么就要调节减速余量。这种调节策略使得涡轮喷气发动机1的性能得以改善。

[0182] 然而,也可以想到使用其它调节策略,这取决于期望实现的目的。

[0183] 为此,在另一个实施例中,如果喷入燃烧室内的燃料流量被计量装置2估算得过低($\Delta E(t)$ 为负),则调节加速余量;而如果喷入燃烧室内的燃料流量被计量装置2估计得过高($\Delta E(t)$ 为正),则调节减速余量。

[0184] 在又一个实施例中,两个停止值 $C0(\text{acc})$ 和 $C0(\text{dec})$ 都可以利用差值 $\Delta E(t)$ 进行调节,而不论其正负如何,例如,在每个采样时刻 nT_e 下。

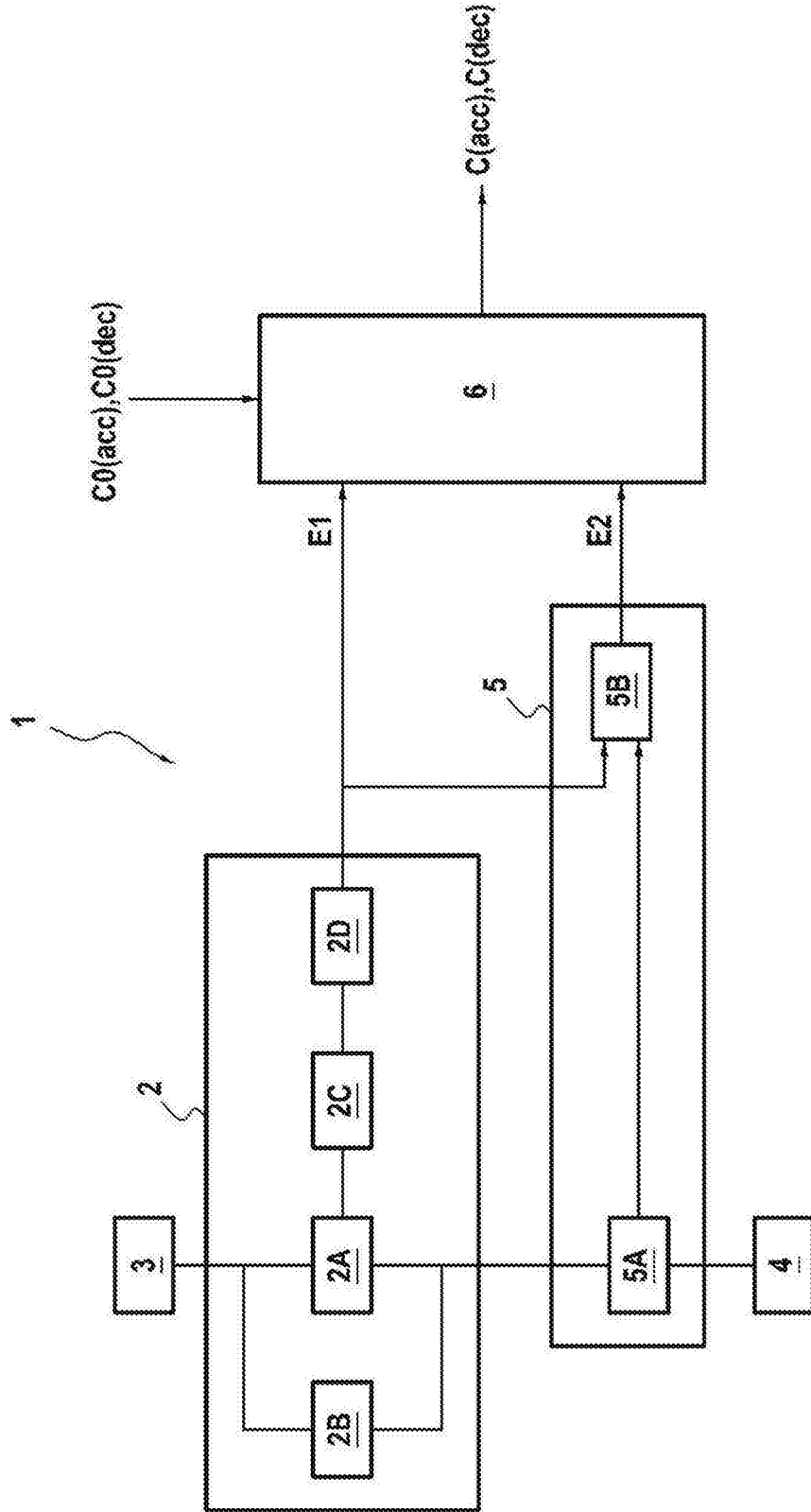


图1

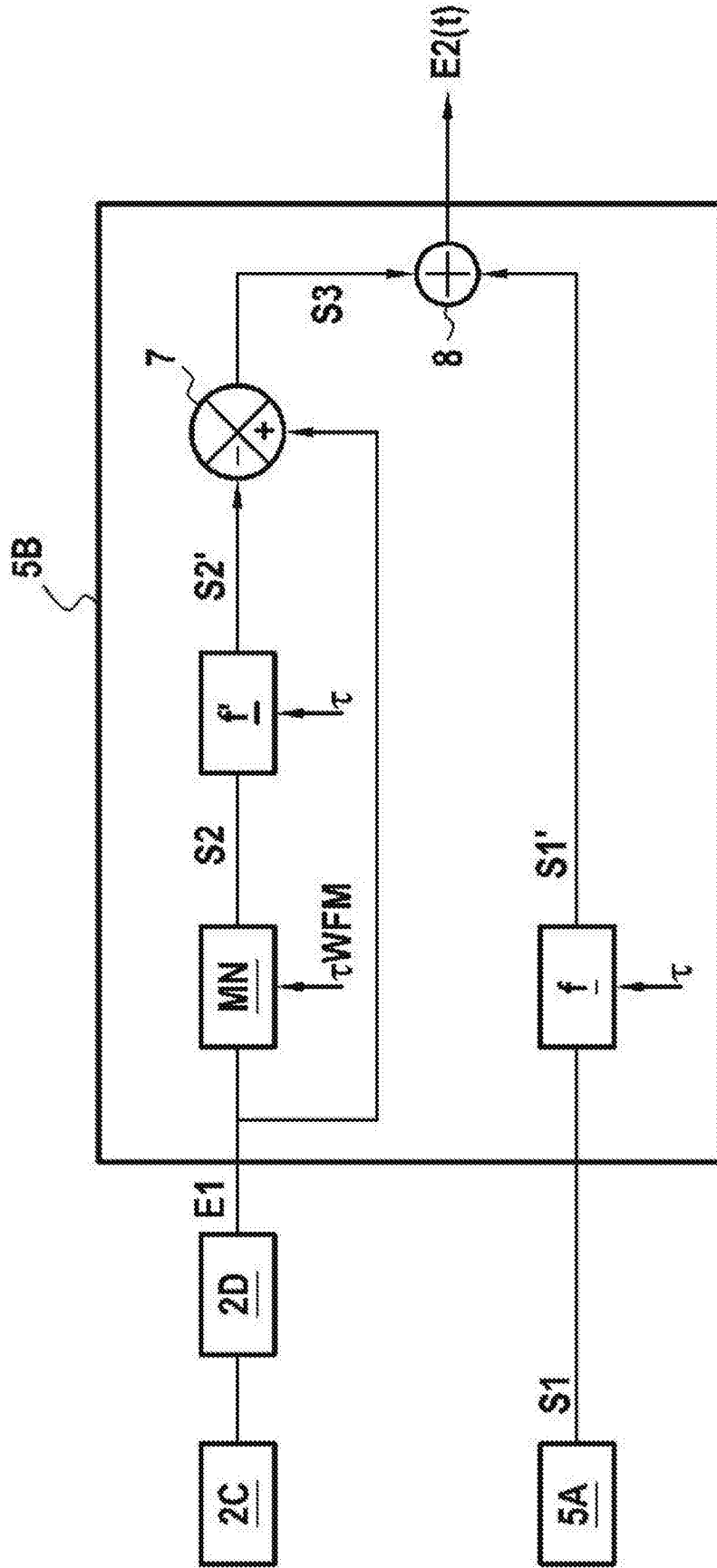


图2

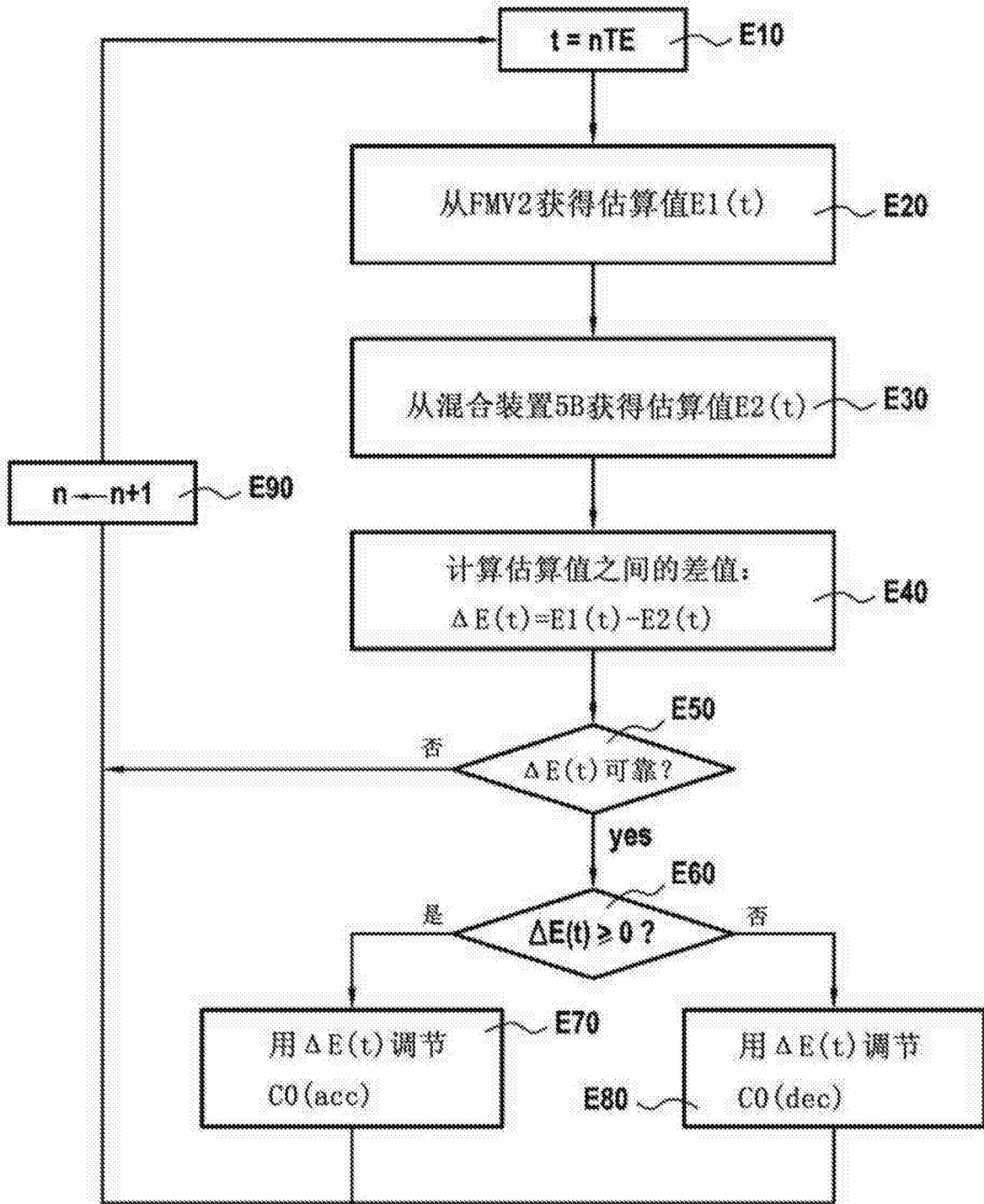


图3

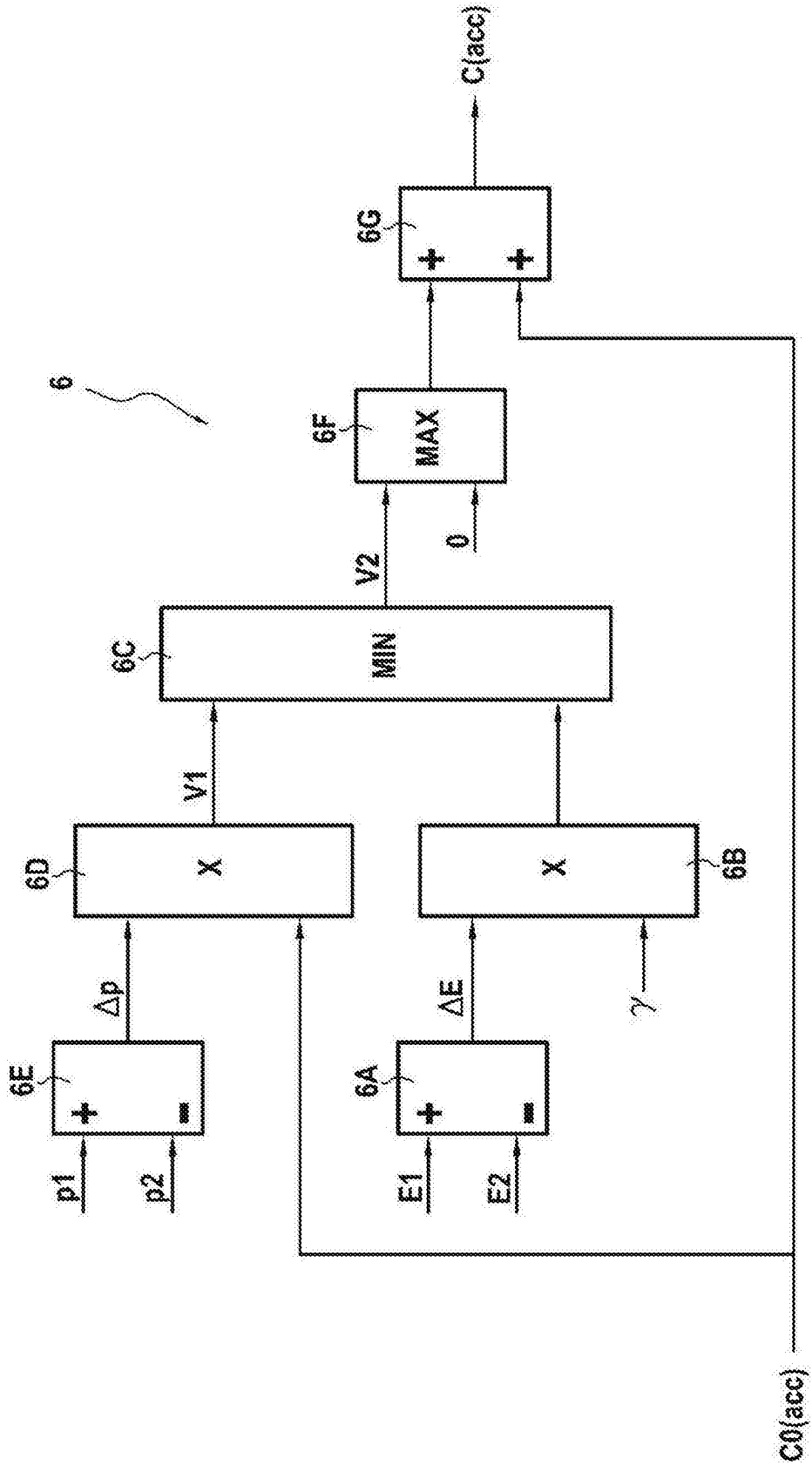


图4

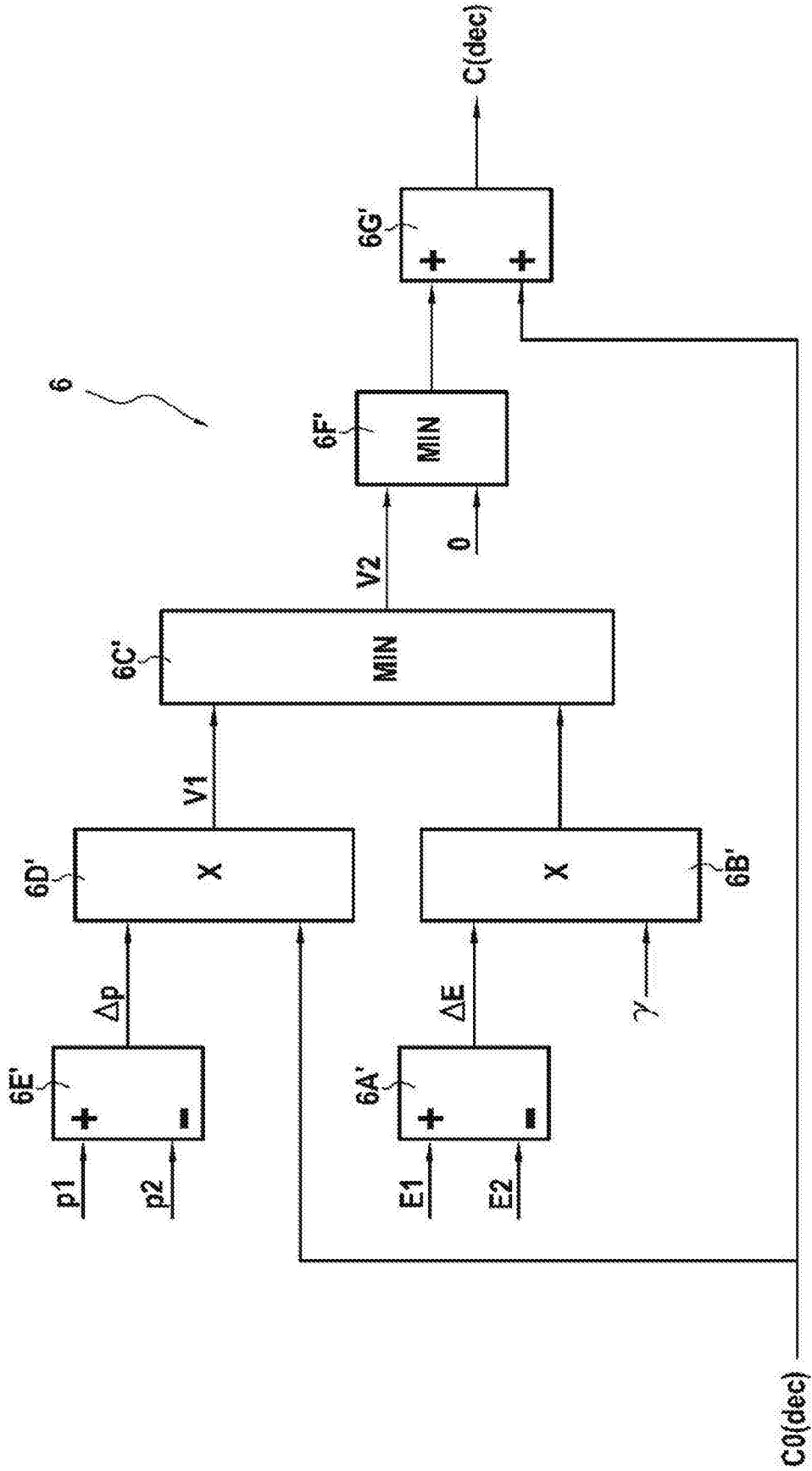


图5

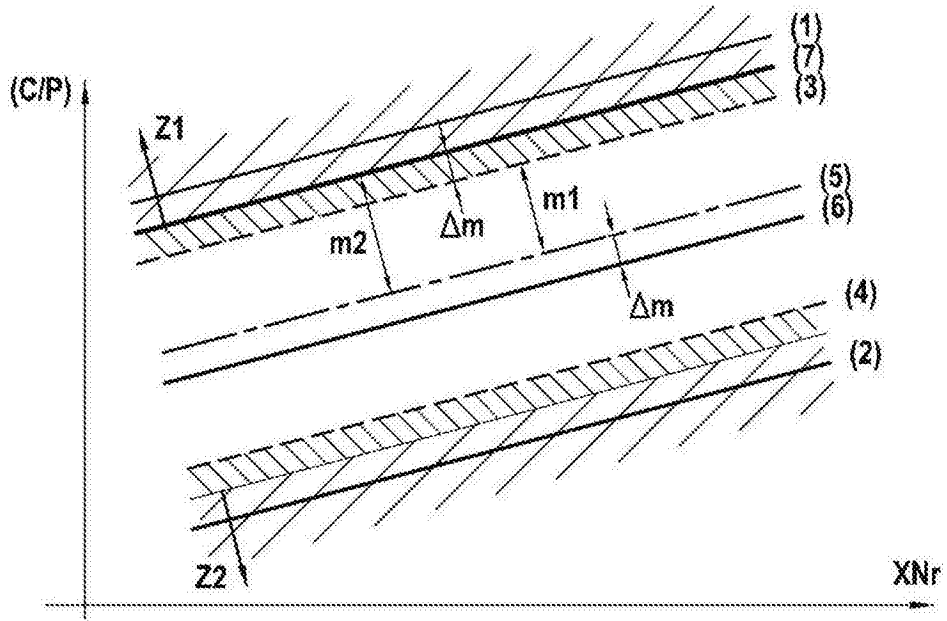


图6

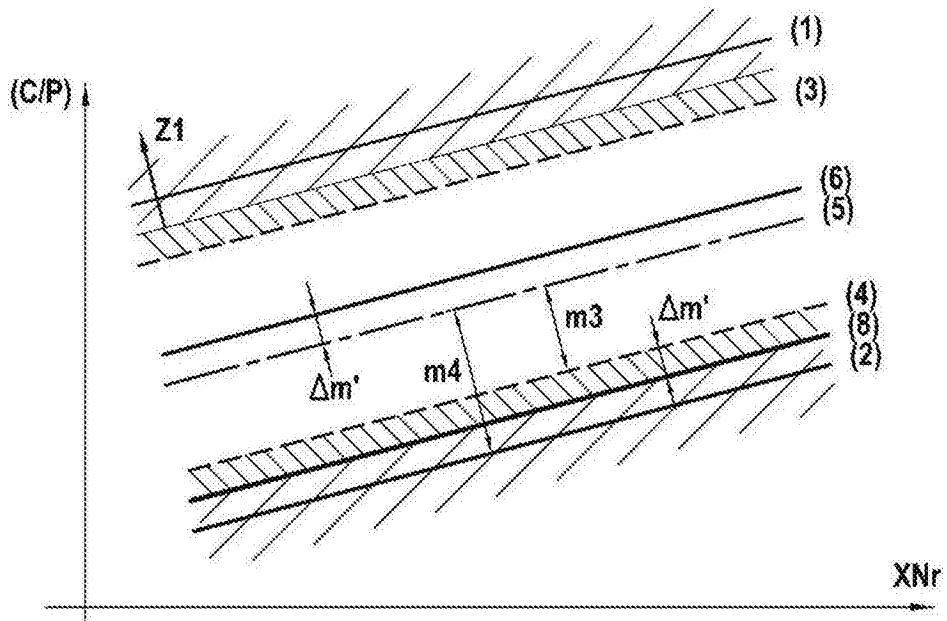


图7