



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102322355 B

(45) 授权公告日 2015. 03. 25

(21) 申请号 201110130362. 9

(22) 申请日 2011. 05. 12

(30) 优先权数据
12/780, 187 2010. 05. 14 US

(73) 专利权人 通用电气公司
地址 美国纽约州

(72) 发明人 M·J·莫斯利 C·E·龙
D·S·尤恩斯

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公
司 72001
代理人 严志军 谭祐祥

(51) Int. Cl.
F02C 9/28(2006. 01)

(56) 对比文件

US 5487265 A, 1996. 01. 30,
CN 101128661 A, 2008. 02. 20,
US 4048964 A, 1977. 09. 20,
US 4529887 A, 1985. 07. 16,
US 4809497 A, 1989. 03. 07,
US 4550565 A, 1985. 11. 05,

审查员 张祥

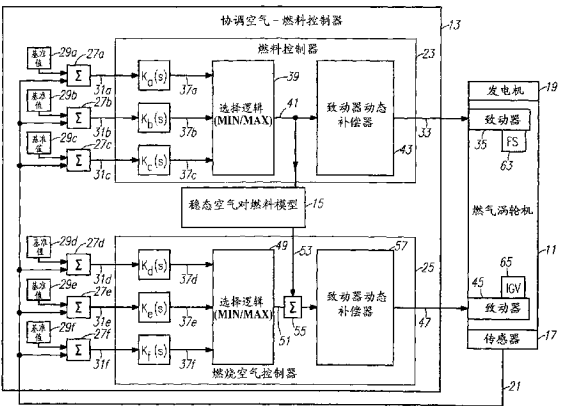
权利要求书3页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

用于燃气涡轮机的基于模型的协调空气-燃料控制

(57) 摘要

本发明涉及用于燃气涡轮机的基于模型的协调空气-燃料控制,具体而言,协调空气-燃料控制器及相关方法提供了燃料控制器、燃烧空气控制器和稳态空气对燃料模型。燃料控制器生成燃料控制输出信号而燃烧空气控制器生成燃烧空气控制输出信号。燃料控制器基于第一回路控制信号和第二回路控制信号的至少其中一个确定初步燃料控制信号,并基于该初步燃料控制信号确定燃料控制输出信号。该稳态空气对燃料模型处理初步燃料控制信号以确定期望的稳态燃烧空气控制信号。燃烧空气控制器基于第三回路控制信号和第四回路控制信号的至少其中一个确定初步燃烧空气控制信号,并基于初步燃烧空气控制信号和期望的稳态燃烧空气控制信号确定燃烧空气控制输出信号。



1. 一种用于燃气涡轮机的控制系统,包括:

燃料控制致动器;

燃烧空气控制致动器;

协调空气-燃料控制器,其控制所述燃料控制致动器和所述燃烧空气控制致动器的操作,其中所述协调空气-燃料控制器接收多个燃气轮机状态输入信号,并基于该输入信号确定第一误差信号、第二误差信号、第三误差信号和第四误差信号,并且其中所述协调空气-燃料控制器包括:

燃料控制器,其向所述燃料控制致动器提供燃料控制输出信号以控制所述燃料控制致动器的操作;

燃烧空气控制器,其向所述燃烧空气控制致动器提供燃烧空气控制输出信号,以控制所述燃烧空气控制致动器的操作;

其特征在于,

其中所述燃料控制器使用第一转换函数处理所述第一误差信号以获得第一回路控制信号,

其中所述燃料控制器使用第二转换函数处理所述第二误差信号以获得第二回路控制信号,以及

其中所述燃料控制器基于所述第一回路控制信号和所述第二回路控制信号的至少其中一个确定初步燃料控制信号,并基于所述初步燃料控制信号确定所述燃料控制输出信号;

所述协调空气-燃料控制器包括与所述燃料控制器通信的稳态空气对燃料模型,其中所述稳态空气对燃料模型处理所述初步燃料控制信号以确定期望的稳态燃烧空气控制信号;

其中所述燃烧空气控制器使用第三转换函数处理所述第三误差信号以获得第三回路控制信号,

其中所述燃烧空气控制器使用第四转换函数处理所述第四误差信号以获得第四回路控制信号;以及

其中所述燃烧空气控制器基于所述第三回路控制信号和所述第四回路控制信号的至少其中一个确定初步燃烧空气控制信号,并基于所述初步燃烧空气控制信号和所述期望的稳态燃烧空气控制信号确定所述燃烧空气控制输出信号。

2. 如权利要求1所述的控制系统,其特征在于,所述协调空气-燃料控制器包括用于确定施加到所述初步燃烧空气控制信号上的上界限和下界限的界限计算器,其中所述界限计算器基于所述期望的稳态燃烧空气控制信号的变化率确定所述上界限和下界限。

3. 如权利要求1所述的控制系统,其特征在于,所述稳态空气对燃料模型基于实际稳态状态自动地调整。

4. 如权利要求1所述的控制系统,其特征在于,所述燃气轮机状态输入信号的至少其中一些基于估计状态。

5. 如权利要求1所述的控制系统,其特征在于,所述燃气轮机状态输入信号的至少其中一些由与所述燃气轮机相关联的传感器提供。

6. 如权利要求5所述的控制系统,其特征在于,与所述燃气轮机相关联的所述传感

器包括感测所述燃气涡轮机的旋转速度并生成速度信号的速度传感器,感测所述燃气涡轮机的排放温度并生成温度信号的温度传感器。

7. 如权利要求 1 所述的控制系统,其特征在于,所述燃料控制器包括补偿所述燃料控制致动器和所述燃烧空气控制致动器之间的响应特性差异的致动器动态补偿器,并且其中所述致动器动态补偿器处理所述初步燃料控制信号以确定所述燃料控制输出信号。

8. 如权利要求 7 所述的控制系统,其特征在于,在确定所述燃料控制输出信号中,所述致动器动态补偿器向所述初步燃料控制信号添加延迟。

9. 如权利要求 1 所述的控制系统,其特征在于,所述燃料控制输出信号等于所述初步燃料控制信号。

10. 如权利要求 1 所述的控制系统,其特征在于,所述燃烧空气控制器包括补偿所述燃料控制致动器和所述燃烧空气控制致动器之间的响应特性差异的致动器动态补偿器。

11. 如权利要求 1 所述的控制系统,其特征在于,所述燃烧空气控制致动器控制入口导向叶片的位置。

12. 如权利要求 11 所述的控制系统,其特征在于,所述燃料控制致动器控制燃料行程,并且此外其中所述稳态空气对燃料模型提供燃料行程基准值和所述入口导向叶片的位置之间的稳态关系。

13. 一种控制燃气轮机中的空气供应和燃料供应的方法,包括如下步骤:

基于所述燃气涡轮机的第一状态生成第一误差信号;

基于所述燃气涡轮机的第二状态生成第二误差信号;

基于所述燃气涡轮机的第三状态生成第三误差信号;

基于所述燃气涡轮机的感测的第四状态生成第四误差信号;

根据第一转换函数处理所述第一误差信号以获得第一回路控制信号;

根据第二转换函数处理所述第二误差信号以获得第二回路控制信号;

根据第三转换函数处理所述第三误差信号以获得第三回路控制信号;

根据第四转换函数处理所述第四误差信号以获得第四回路控制信号;

基于所述第一回路控制信号和所述第二回路控制信号的至少其中一个生成初步燃料控制信号;

基于所述初步燃料控制信号生成燃料控制输出信号;

向燃料控制致动器提供所述燃料控制输出信号;

通过所述燃料控制致动器基于所述燃料控制输出信号调整燃料流量;

提供稳态空气对燃料模型;

通过所述稳态空气对燃料模型并从所述初步燃料控制信号生成期望的稳态燃烧空气控制信号;

基于所述第三回路控制信号和所述第四回路控制信号的至少其中一个生成初步燃烧空气控制信号;

基于所述初步燃烧空气控制信号和所述期望的稳态燃烧空气控制信号生成燃烧空气控制输出信号;

向燃烧空气控制致动器提供所述燃烧空气控制输出信号;以及

通过所述燃烧空气控制致动器基于所述燃烧空气控制输出信号调整燃烧空气的量。

14. 如权利要求 13 所述的方法,其特征在于,所述方法还包括基于实际稳态状态自动调整所述稳态空气对燃料模型的步骤。

15. 如权利要求 13 所述的方法,其特征在于,所述第一状态、所述第二状态、所述第三状态和所述第四状态的至少其中一个是估计状态。

16. 如权利要求 13 所述的方法,其特征在于,所述第一状态、所述第二状态、所述第三状态和所述第四状态的至少其中一个是来自传感器的感测状态。

17. 如权利要求 13 所述的方法,其特征在于,所述方法还包括补偿所述燃料控制致动器和所述燃烧空气控制致动器之间的响应特性差异的步骤。

18. 如权利要求 17 所述的方法,其特征在于,补偿所述燃料控制致动器和所述燃烧空气控制致动器之间的响应特性差异的步骤包括向所述初步燃料控制信号增加延迟。

19. 如权利要求 13 所述的方法,其特征在于,所述燃料控制输出信号等于所述初步燃料控制信号。

20. 如权利要求 13 所述的方法,其特征在于,所述方法还包括如下步骤:

确定所述期望的稳态燃烧空气控制信号的变化率;

基于所述期望的稳态燃烧空气控制信号的变化率计算上界限和下界限;以及

将所述上界限和下界限应用至所述初步燃烧空气控制信号。

21. 如权利要求 13 所述的方法,其特征在于,所述第一状态和所述第二状态的至少其中一个是所述燃气涡轮机的旋转速度,并且其中所述第三状态和所述第四状态的至少其中一个是所述燃气涡轮机的排放温度。

22. 如权利要求 13 所述的方法,其特征在于,通过所述燃烧空气控制致动器调整燃烧空气的量的步骤包括调整入口导向叶片的位置。

23. 如权利要求 22 所述的方法,其特征在于,通过所述燃烧空气控制致动器调整所述燃料流量的步骤包括调整燃料行程,并且此外其中所述稳态空气对燃料模型提供燃料行程基准值和所述入口导向叶片的位置之间的稳态关系。

用于燃气涡轮机的基于模型的协调空气 - 燃料控制

技术领域

[0001] 本发明涉及用于燃气涡轮机的控制系统,并且特别涉及具有燃料控制器和燃烧空气控制器两者的控制系统。

背景技术

[0002] 燃气轮机通常联接到发电机上以驱动该发电机。已知使用交叉通道控制器(cross channel controller)来控制供应给燃气涡轮机的燃烧室的燃料和空气的量。已知的交叉通道控制器对涡轮机速度误差信号起作用,该信号是对于燃料供应控制器的输入。此类交叉通道控制器处理速度误差信号,并且得到的处理后的速度误差信号被添加到涡轮机排放温度误差信号上。涡轮机排放温度误差信号和处理后的速度误差信号的和由空气供应控制器使用转换函数处理,以产生控制供应给燃烧室的空气的控制信号。例如见美国专利第 5,487,265(1996 年 1 月 30 日)和 5,636,507(1997 年 6 月 10 日)。

发明内容

[0003] 根据一方面,本发明提供了用于燃气涡轮机的控制系统。该控制系统包括燃料控制致动器和燃烧空气控制致动器。协调空气 - 燃料控制器(CAF)控制燃料控制致动器和燃烧空气控制致动器的操作。协调空气 - 燃料控制器接收多个燃气轮机状态输入信号,并基于输入信号确定第一误差信号、第二误差信号、第三误差信号和第四误差信号。协调空气 - 燃料控制器包括燃料控制器、燃烧空气控制器和稳态空气对燃料模型。该燃料控制器给燃料控制致动器提供燃料控制输出信号以控制燃料控制致动器的操作。该燃料控制器使用第一转换函数处理第一误差信号以获得第一回路控制信号,并使用第二转换函数处理第二误差信号以获得第二回路控制信号。燃料控制器基于第一回路控制信号和第二回路控制信号的至少其中一个确定初步燃料控制信号,并基于该初步燃料控制信号确定燃料控制输出信号。燃烧空气控制器向燃烧空气控制致动器提供燃烧空气控制输出信号,以控制燃烧空气控制致动器的操作。稳态空气对燃料模型与燃料控制器通信,并处理初步燃料控制信号,以确定期望的稳态燃烧空气控制信号。该燃烧空气控制器使用第三转换函数处理第三误差信号以获得第三回路控制信号,并使用第四转换函数处理第四误差信号以获得第四回路控制信号。燃烧空气控制器基于第三回路控制信号和第四回路控制信号的至少其中一个确定初步燃烧空气控制信号,并基于该初步燃烧空气控制信号和期望的稳态燃烧空气控制信号确定燃烧空气控制输出信号。

[0004] 根据另一方面,本发明提供一种控制燃气轮机中空气供应和燃料供应的方法。基于燃气轮机的第一状态生成第一误差信号。基于燃气轮机的第二状态生成第二误差信号。基于燃气轮机的第三状态生成第三误差信号。基于燃气轮机的第四状态生成第四误差信号。根据第一转换函数处理第一误差信号以获得第一回路控制信号。根据第二转换函数处理第二误差信号以获得第二回路控制信号。根据第三转换函数处理第三误差信号以获得第三回路控制信号。根据第四转换函数处理第四误差信号以获得第四回路控制信

号。基于第一回路控制信号和第二回路控制信号的至少其中一个生成初步燃料控制信号。基于初步燃料控制信号生成燃料控制输出信号。燃料控制输出信号被提供给燃料控制致动器。燃料控制致动器基于燃料控制输出信号调整燃料流。提供了稳态空气对燃料模型。该稳态空气对燃料模型从初步燃料控制信号生成期望的稳态燃烧空气控制信号。基于第三回路控制信号和第四回路控制信号的至少其中一个生成初步燃烧空气控制信号。基于初步燃烧空气控制信号和期望的稳态燃烧空气控制信号生成燃烧空气控制输出信号。燃烧空气控制输出信号被提供给燃烧空气控制致动器。燃烧空气控制致动器基于燃烧空气控制输出信号调整燃烧空气的量。

附图说明

[0005] 在参考附图阅读以下描述之后,本发明的前述及其他方面对于本发明所涉及的本领域技术人员将变得显而易见,其中:

[0006] 图 1 是燃气涡轮机和用于该燃气涡轮机的控制系统的示意图;

[0007] 图 2 是显示入口导向叶片位置对燃料行程基准值的曲线图;以及

[0008] 图 3 是燃气涡轮机和用于该燃气涡轮机的控制系统的示意图。

具体实施方式

[0009] 下文将参考附图更详尽地描述本发明的特征和方面,附图中显示了示例实施例。在任何可能的时候,贯穿附图用相同的参考标号来指代相同或相似的零部件。然而,本发明可以以许多不同的形式实施,并且应该被解释为限于本文所陈述的实施例。提供了这些示例实施例以便此公开将既透彻又完整,并且将完全地向本领域技术人员传达本发明的范围。

[0010] 以下讨论了各种信号。应该理解的是这些信号可为存储在存储单元(诸如寄存器)中的模拟信号、数字信号或数据值。以下讨论了各种电路和电路的部分。应该理解的是这些电路和电路的部分可通过离散电子器件、集成电路和/或通过由处理器进行的程序指令的执行而实施。

[0011] 本发明的技术效果是对于用在重型燃气轮机控制中的协调空气-燃料(CAF)控制功能的改善。CAF 功能在电网频率瞬变期间协调空气和燃料的控制,以防止诸如贫燃吹灭(lean blowout)、排放超温以及压缩机喘振。

[0012] 对于已知燃气轮机协调空气-燃料控制器的一个挑战是到空气供应和燃料供应控制器的输入不必然协调它们的输出(分别是空气和燃料需求)。对此一个原因是涡轮机速度误差和涡轮机排放温度误差之间的关系不是直观的,使得难以设计和调节交叉通道控制器。另一个原因是燃料供应控制器内的限制可能使得涡轮机速度误差成为即将发生的燃料供应变化的糟糕指示物。

[0013] 已知的交叉通道控制器在“控制误差空间”中操作,从而连接速度误差和排放温度误差。然而,速度误差和排放温度误差之间的正确关系是难以确定的。一种更好的方法是使交叉通道控制器在“需求空间”中操作,其在控制通道中位于作用在误差信号上的相应的控制转换函数之后。需求空间中的交叉通道控制器可以利用空气和燃料之间的直接关系,诸如稳态空气对燃料模型,以协调空气和燃料供应。空气和燃料之间的正确关系可以比误

差信号之间的正确关系更易于确定。因此,具有位于需求空间中的交叉通道控制器的协调空气-燃料控制器可以比已知的交叉通道控制器更易于设计和调节。具有需求空间中的交叉通道控制器也使得能够反映燃料供应控制器内的约束。

[0014] 图1是燃气轮机11和用于该燃气轮机的协调空气-燃料控制器13的示意图,该控制器包括在控制器13的需求空间部分中操作的交叉通道控制器。图1中的交叉通道控制器是稳态空气对燃料模型15。如以下将进一步描述的,稳态空气对燃料模型15提供了稳态状态下用于燃气轮机的燃料供应和燃烧空气供应之间的关系。

[0015] 燃气轮机11具有用于感测与燃气轮机相关的各种状态的多个传感器17。示例传感器包括用于感测燃气轮机的旋转速度的速度传感器,用于感测燃气轮机的排放气体的温度的温度传感器,用于由燃气轮机驱动的发电机19所供应的功率的功率水平传感器,以及用于感测燃气轮机的压缩机压力的压力传感器。可按需要提供用于感测与燃气轮机相关的其它条件的另外的传感器。与燃气轮机相关的条件的估算也可取代直接传感器。传感器17提供反馈信号21作为到控制器13的输入。

[0016] 现在将详细讨论协调空气-燃料控制器13。协调空气-燃料控制器13可包括子控制器,诸如交叉通道控制器(例如,稳态空气对燃料模型15),燃料控制器23和燃烧空气控制器25。控制器13可为电子控制器并且可包括一个或多个处理器。例如,控制器13可包括一个或多个微处理器,微控制器,数字信号处理器(DSP),专用集成电路(ASIC),现场可编程门阵列(FPGA),离散逻辑电路等等。控制器13还可包括存储器并可存储导致控制器提供在本文中归于其的功能性的程序指令。存储器可包括一个或多个易失性、非易失性、磁、光、或电介质,诸如只读存储器(ROM)、随机存取存储器(RAM)、电可擦除可编程ROM(EEPROM)、闪存等等。控制器13还可包括用于处理到该控制器的各种模拟输入的一个或多个模数(A/D)转换器。

[0017] 控制器13包括误差计算器27a-27f。来自各传感器17的反馈信号21是到相应误差计算器27a-27f的输入,用于与相关基准值29a-29f进行比较。误差计算器27a-27f的输出是误差信号31a-31f,它们指示所感测的状态和基准值之间的差异。例如,所感测的燃气轮机的旋转速度可以与基准速度进行比较,以确定旋转速度误差信号,且燃气轮机的感测排放气体温度可以与基准温度进行比较,以确定排放温度误差信号。基准值29a-29f可为边界值或目标值。边界值建立如果可能不应越过的限制操作条件,例如最大温度或压力或最小速度。目标值建立期望的操作状态,例如期望速度。

[0018] 在图1中,三个误差计算器27a-27c分别提供误差信号31a-31c作为到燃料控制器23的输入,且三个误差计算器27d-27f分别提供误差信号31d-31f作为到燃烧空气控制器25的输入。应该理解的是多于或少于三个误差计算器可以向燃料控制器23和燃烧空气控制器25提供误差信号,并且燃料控制器和燃烧空气控制器不需要具有相同数目的相关误差计算器。

[0019] 误差信号31a-31c由燃料控制器23处理以便生成燃料控制输出信号33。该燃料控制器23给燃气轮机上的燃料控制致动器35提供燃料控制输出信号33以控制燃料控制致动器的操作。燃料控制致动器35响应于燃料控制输出信号33以控制提供给燃气轮机的燃烧室的燃料的量。燃料控制致动器35例如可基于来自燃料控制器23的燃料行程基准值(FSR)信号控制一个或多个燃料阀的燃料行程63。燃料控制器23通过控制燃料控制

致动器 35 的操作控制提供给燃烧区域的燃料的量。

[0020] 燃料控制器 23 使用相应的转换函数 $K_a(s)-K_c(s)$ 处理误差信号 31a-31c。转换函数 $K_a(s)-K_c(s)$ 可各实施比例积分 (PI) 控制模式、比例积分微分 (PID) 控制模式或所期望的其他控制模式。

[0021] 从转换函数 $K_a(s)-K_c(s)$ 输出的回路燃料控制信号 37a-37c 被提供给燃料控制器 23 的选择逻辑 39。经由选择逻辑 39, 燃料控制器 23 基于至少其中一个回路燃料控制信号 37a-37c 确定初步燃料控制信号 41。选择逻辑 39 可提供用于选择其中一个回路燃料控制信号 37a-37c 作为初步燃料控制信号 41 的算法。在选择回路燃料控制信号作为初步燃料控制信号 41 时, 该选择逻辑可给一个回路燃料控制信号高于另一个信号的优先权, 或将信号进行比较以确定哪一个具有更大 / 更小的值。示例选择逻辑可为: $\max(\min(37a, 37b), 37c)$ 。在此情况下, 比较回路燃料控制信号 37a 和 37b, 两个信号 (37a, 37b) 的较小值被进一步与信号 37c 进行比较, 且较大的信号被选择为初步燃料控制信号 41。此类算法在确立燃气轮机边界条件 (诸如最大温度 / 压力, 最小操作速度等) 时会有用的。选择逻辑 39 可基于边界条件的优先权比较回路燃料控制信号 37a-37c, 并选择回路燃料控制信号作为初步燃料控制信号 41, 使得燃气轮机在一些或全部边界条件内操作。如果需要的话, 选择逻辑可以算术地组合 (例如, 增加、一起平均等) 两个或更多回路燃料控制信号 37a-37c, 以获得初步燃料控制信号 41。

[0022] 燃料控制器 23 可以可选地包括致动器动态补偿器 43。致动器动态补偿器 43 处理初步燃料控制信号 41 以补偿燃料控制致动器 35 和燃烧空气控制致动器 45 之间的响应特性差异。燃烧空气控制致动器 45 控制提供给燃气轮机 11 的燃烧室的空气的量。燃料控制致动器 35 和燃烧空气控制致动器 45 可具有不同的响应特性。例如, 燃料控制致动器 35 可能比燃烧空气控制致动器 45 可改变提供给燃烧室的空气的量更快地改变燃料的流率。在此情况下, 致动器动态补偿器 43 可通过向初步燃料控制信号 41 增加延迟而延迟改变燃料控制输出信号 33。致动器动态补偿器 43 是可选的, 并且在没有致动器动态补偿器的实施例中, 初步燃料控制信号 41 等于燃料控制输出信号 33 或与之完全相同。

[0023] 转向燃烧空气控制器 25, 燃烧空气控制器生成燃烧空气控制输出信号 47。燃烧空气控制器 25 向燃气轮机 11 上的燃烧空气控制致动器 45 提供燃烧空气控制输出信号 47, 以控制燃烧空气控制致动器的操作。燃烧空气控制致动器 45 响应于燃烧空气控制输出信号 47 以控制提供给燃气轮机 11 的燃烧室的空气的量。燃烧空气控制致动器 45 例如可以控制燃气轮机 11 的入口导叶 65 的位置 (例如角度)。燃烧空气控制器 25 通过控制燃烧空气控制致动器 45 的操作控制提供给燃烧区域的空气的量。

[0024] 燃烧空气控制器 25 使用相应的转换函数 $K_d(s)-K_f(s)$ 处理误差信号 31d-31f。和转换函数 $K_a(s)-K_c(s)$ 类似, 转换函数 $K_d(s)-K_f(s)$ 可实施期望的控制模式, 比方说例如 PI 或 PID 控制模式。回路燃烧空气控制信号 37d-37f 从转换函数 $K_d(s)-K_f(s)$ 输出, 且被提供给燃烧空气控制器 25 中的选择逻辑 49。经由选择逻辑 49, 燃烧空气控制器 25 确定初步燃烧空气控制信号 51。类似于燃料控制器 23 中的选择逻辑 39, 选择逻辑 49 可提供用于选择其中一个回路燃烧空气控制信号 37d-37f 作为初步燃烧空气控制信号 51 的算法。在选择回路燃烧空气控制信号作为初步燃烧空气控制信号 51 时, 该选择逻辑可给一个回路燃烧空气控制信号高于另一个信号的优先权, 或将信号进行比较以确定哪一个具有更大 / 更小

的值。示例选择逻辑可为 $\max(\min(37d, 37e), 37f)$ 。可基于与排放温度、压缩机压力比等相关的燃气轮机操作边界条件建立选择逻辑。选择逻辑 49 可基于边界条件的优先权比较回路燃烧空气控制信号 37d-37f, 并选择回路燃烧空气控制信号作为初步燃烧空气控制信号 51, 使得燃气轮机在一些或全部边界条件内操作。如果需要的话, 选择逻辑可以算术地组合 (例如, 增加、一起平均等) 两个或更多回路燃烧空气控制信号 37d-37f, 以获得初步燃烧空气控制信号 51。

[0025] 在协调空气-燃料控制器 13 的需求空间部分中操作的稳态空气对燃料模型 15 与燃料控制器 23 和燃烧空气控制器 25 二者通信。稳态空气对燃料模型 15 从燃料控制器 23 接收初步燃料控制信号 41, 并基于该初步燃料控制信号 41 计算期望稳态燃烧空气控制信号 53。稳态空气对燃料模型 15 向燃烧空气控制器 25 提供期望的稳态燃烧空气控制信号 53。尽管在图中未显示, 但稳态空气对燃料模型 15 可包括对实际稳态状态的自动适应。换言之, 该模型可自动调整以去除燃烧空气控制输出信号 47 和期望稳态燃烧空气控制信号之间的任何稳态差异。此适应改善了稳态空气对燃料模型 15 的精度。

[0026] 燃烧空气控制器 25 从稳态空气对燃料模型 15 接收期望的稳态燃烧空气控制信号 53。燃烧空气控制器 25 基于初步燃烧空气控制信号 51 和期望稳态燃烧空气控制信号 53 的一个或两者确定燃烧空气控制输出信号 47。例如, 燃烧空气控制器 25 可包括用于组合初步燃烧空气控制信号 51 和期望稳态燃烧空气控制信号 53 以确定燃烧空气控制输出信号 47 的求和电路 55。初步燃烧空气控制信号 51 和期望稳态燃烧空气控制信号 53 可通过求和电路 55 加到一起, 并且求和电路 55 的输出是燃烧空气控制输出信号 47。可选地, 如图 1 中所示, 燃烧空气控制器 25 可包括致动器动态补偿器 57, 其处理来自求和电路 55 的输出, 以补偿燃料控制致动器 35 和燃烧空气控制致动器 45 之间的响应特性差异。如果存在致动器动态补偿器 57, 则致动器动态补偿器 57 的输出为燃烧空气控制输出信号 47, 而并非直接是求和电路 55 的输出。

[0027] 除了求和电路 55 之外的其它方法可用于组合初步燃烧空气控制信号 51 和期望的稳态燃烧空气控制信号 53。例如, 取决于环境, 可通过将一个输入加权到另一个上的算法完成组合。

[0028] 期望的稳态燃烧空气控制信号 53 用于协调燃料控制器 23 和燃烧空气控制器 25 的操作。此类协调可降低将会发生的燃气轮机的各种负面状态的可能性。例如, 此类协调可降低贫燃吹灭、排放超温以及压缩机喘振的可能性。

[0029] 稳态空气对燃料模型 15 使用其模型来从初步燃料控制信号 41 计算期望稳态燃烧空气控制信号 53。如图 2 中所示, 空气对燃料模型 59 可将入口导叶位置 (IGV) 与燃料行程基准值 (FSR) 相关联。备选地, 空气对燃料模型可直接将气流与燃料流相关联。初步燃料控制信号 41 直接或间接地控制燃料控制致动器 35。对于给定的初步燃料控制信号 41, 稳态空气对燃料模型 15 使用空气对燃料模型确定并输出对应的期望稳态燃烧空气控制信号 53。应该理解的是空气对燃料模型可经由使用算术等式的算法、经由查询表或经由其它已知的建模技术实施。

[0030] 如图 2 中所示, 模型 59 可提供 FSR 和 IGV 之间的稳态对应性。该稳态空气对燃料模型 15 将输出期望的稳态燃烧空气控制信号 53, 以大致沿所示的稳态路径 61 维持燃气轮机 11 的操作, 并补偿快速瞬变状态 (从稳态路径 61 的快速偏离)。从稳态路径的偏离,

例如对于给定的FSR过高或过低的IGV值(由图2中的弯曲箭头示意性所示),可导致诸如贫燃吹灭、排放过温和压缩机喘振的负面状态的发生。

[0031] 在图2中,稳态路径61是分段线性的。该稳态路径61具有水平部分,其中IGV在低范围的FSR上是恒定的。在水平部分之后,稳态路径61随着FSR增加具有恒定的正斜率。应该理解的是该稳态路径可具有弯曲部分或笔直部分和弯曲部分的组合。

[0032] 图3是燃气轮机11和协调空气-燃料控制器13的示意图。图3中所示的协调空气-燃料控制器13类似于图1中所示。然而,在图3中,将期望的稳态燃烧空气控制信号53提供给界限计算器67,而不是直接提供给燃烧空气控制器25。界限计算器67确定要施加给期望稳态燃烧空气控制信号53的可变偏差。界限计算器67将该偏差添加到期望的稳态燃烧空气控制信号53上以及从期望的稳态燃烧空气控制信号53减去该偏差,以输出对于初步燃烧空气控制信号51的上界限和下界限。将上界限和下界限信号69与初步燃烧空气控制信号一起提供给箝位部分(clamping portion)。箝位部分的输出73是由上界限和下界限信号69箝位的初步燃烧空气控制信号51。当初步燃烧空气控制信号51在界限内时,箝位部分的输出73等于初步燃烧空气控制信号。当初步燃烧空气控制信号51在上界限之上或低于下界限时,箝位部分的输出73分别等于上界限或下界限。

[0033] 在没有可选的致动器动态补偿器57的根据图3的一个实施例中,箝位部分的输出73是燃烧空气控制输出信号47。在包括可选致动器动态补偿器57的根据图3的一个实施例中,箝位部分的输出73提供给致动器动态补偿器57,该致动器动态补偿器57处理输出73以补偿燃料控制致动器35和燃烧空气控制致动器45之间的响应特性差异。

[0034] 用于确定界限的偏差是可变的。界限计算器67分析期望的稳态燃烧空气控制信号53的变化率。如果期望的稳态燃烧空气控制信号53的变化率低,则正在发生稳态或近稳态状态,并且偏差设置成相对大。将偏差设置得相对大允许转换函数 $K_d(s)-K_f(s)$ 而不是期望的稳态燃烧空气控制信号53支配燃烧空气控制输出信号47的控制。如果期望的稳态燃烧空气控制信号53的变化率高,则正在发生快速瞬变状态,并且偏差设置成相对小或设置成0。将偏差裕量设置成相对小允许期望的稳态燃烧空气控制信号53而不是转换函数 $K_d(s)-K_f(s)$ 支配燃烧空气控制输出信号47的控制。在快速瞬变状态期间,可能期望的是忽略回路燃烧空气控制信号37d-37f并基于根据模型59的期望稳态燃烧空气控制信号53控制燃烧空气控制输出信号47。

[0035] 应该理解的是箝位部分71可能不完全位于选择逻辑49的下游,而是结合到其中。一个或多个回路燃烧空气控制信号37d-37f可在箝位部分的下游操作。例如,对箝位部分的输入可为 $\max(37d, 37e)$,而箝位部分的输出与37f进行比较,这两者的较小值成为到致动器动态补偿器的输入。这有效地给予控制回路产物37f比来自界限计算器67的上界限和下界限信号69更高的优先权。

[0036] 总而言之,本发明提供了用于燃气轮机的基于模型的协调空气-燃料控制。

[0037] 应该明显的是此公开作为示例且可通过在不背离本公开中所包含的教导的恰当范围的情况下增加、改变或消除细节而做出各种改变。本发明因而不限于此公开的特定细节,而只是限于所附权利要求必然如此受限的程度。

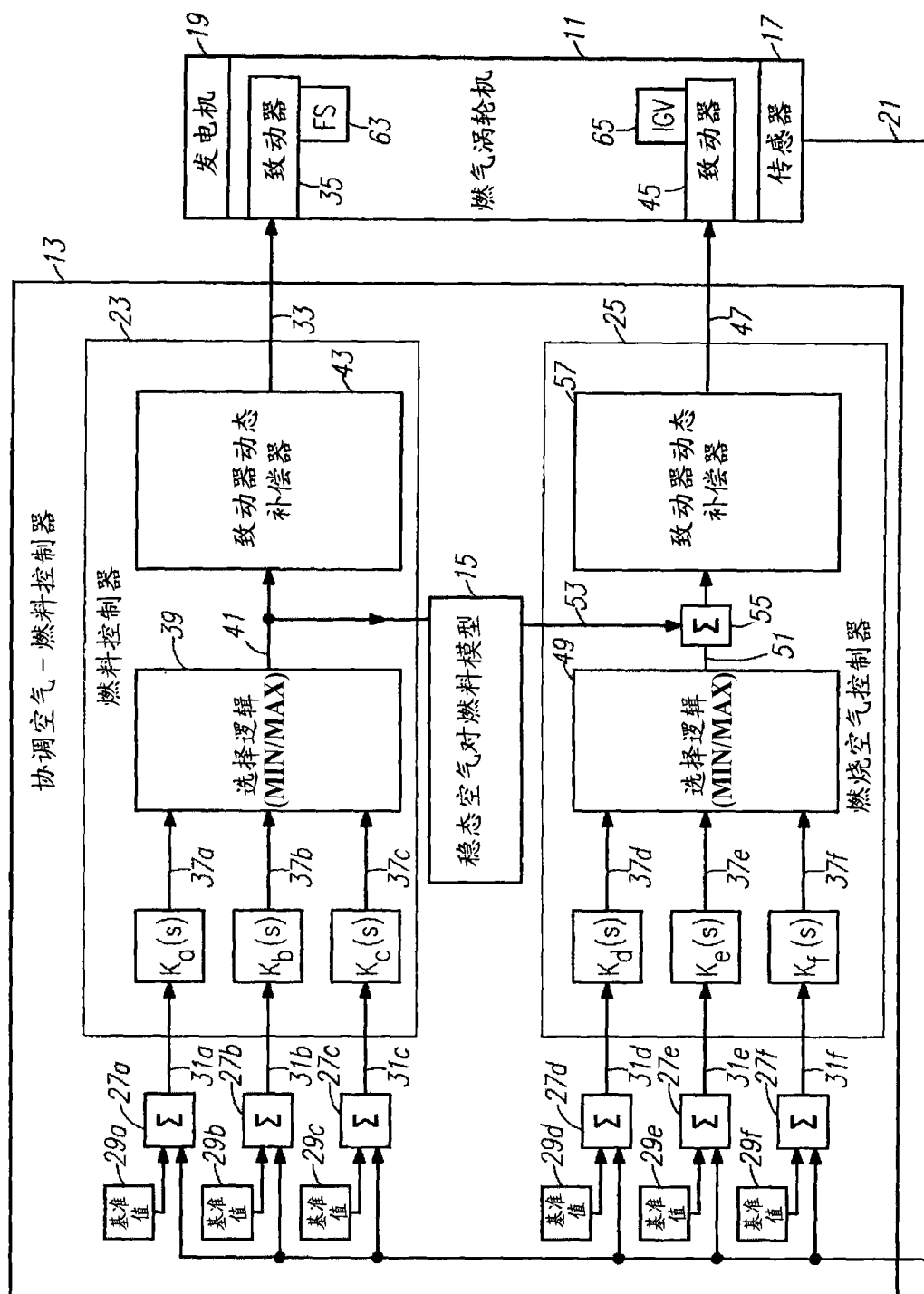


图 1

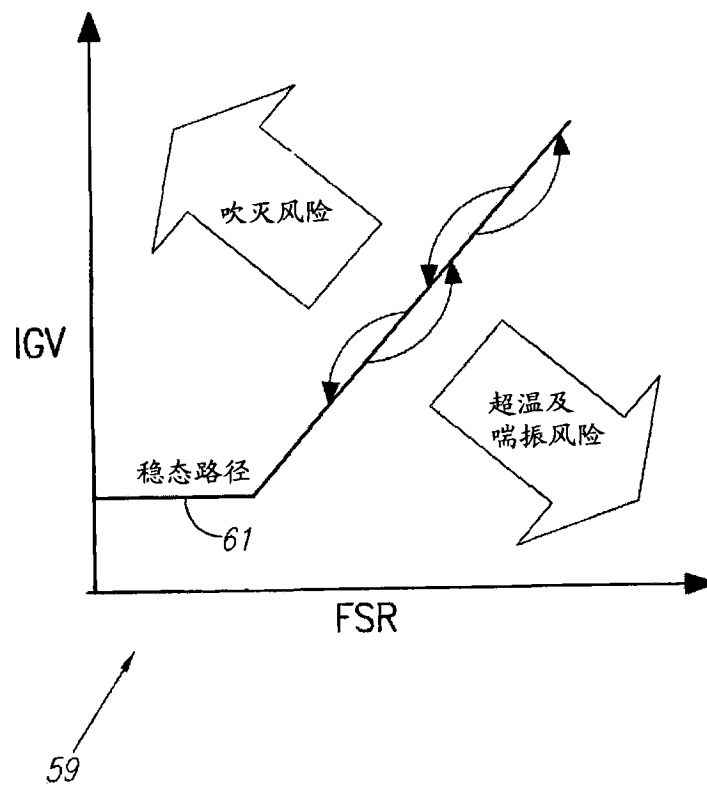


图 2

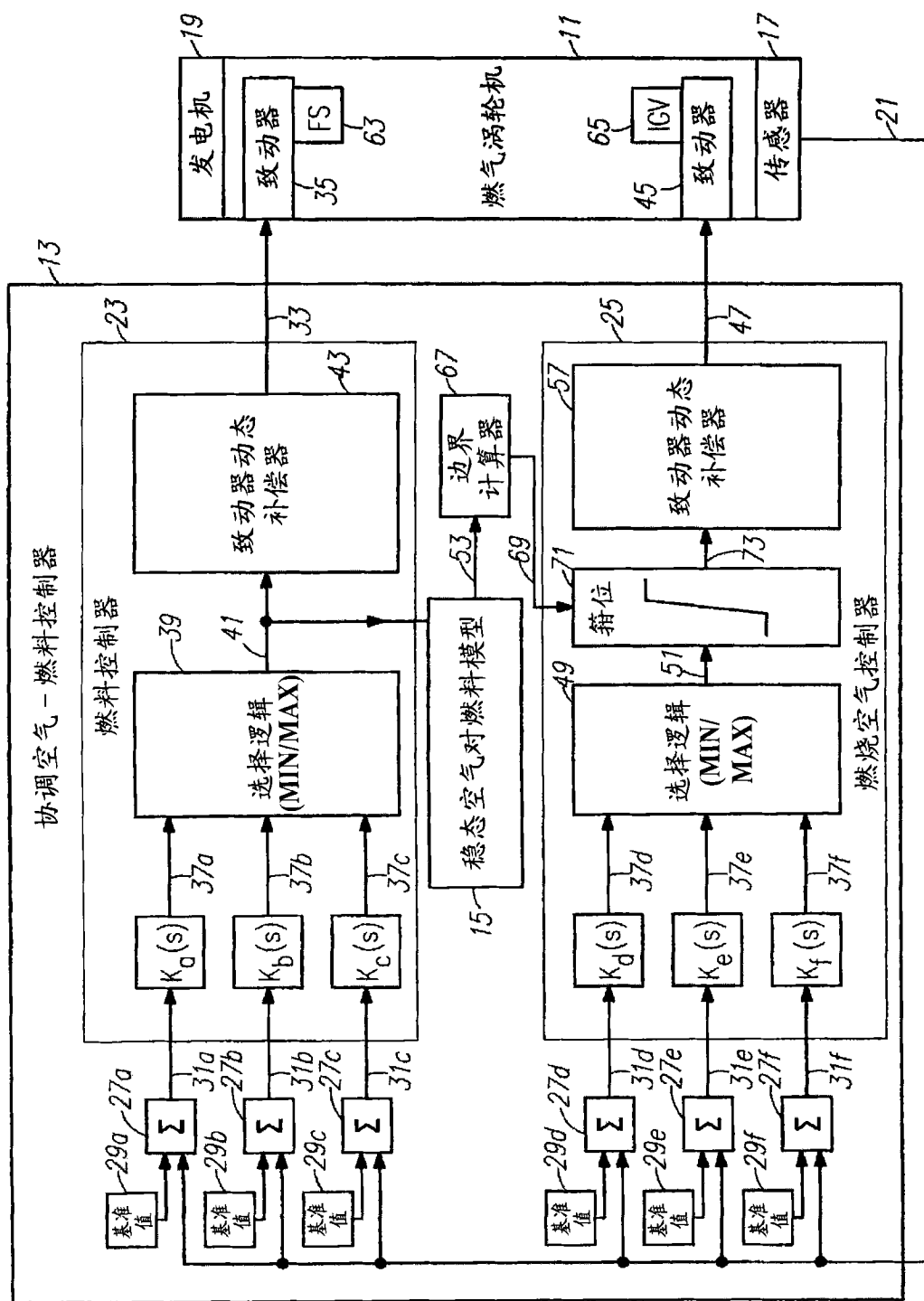


图 3