



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 104632311 B

(45) 授权公告日 2016. 06. 22

(21) 申请号 201410643486. 0

F01K 11/02(2006. 01)

(22) 申请日 2014. 11. 06

审查员 张磊洋

(30) 优先权数据

2013-231117 2013. 11. 07 JP

(73) 专利权人 三菱日立电力系统株式会社

地址 日本国神奈川县

(72) 发明人 吉田泰浩 吉田卓弥 矢敷达朗

片桐幸德 金恩敬 野村健一郎

山中和典 铃木文之 弥永典宏

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任

公司 11021

代理人 王亚爱

(51) Int. Cl.

F01K 13/02(2006. 01)

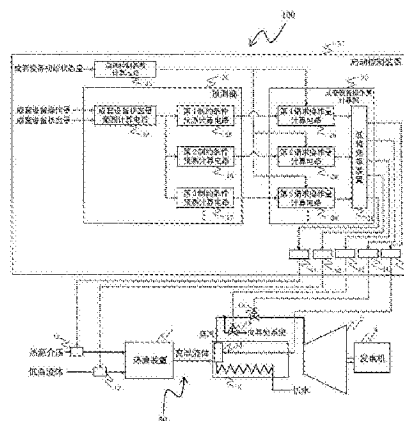
权利要求书2页 说明书13页 附图8页

(54) 发明名称

蒸汽涡轮成套设备启动控制装置

(57) 摘要

本发明提供一种可灵活应对成套设备初始状态量来高速地启动蒸汽涡轮的蒸汽涡轮成套设备控制装置。蒸汽涡轮成套设备具备：热源装置，通过热源介质加热低温流体来生成高温流体；蒸汽产生设备，通过与高温流体的热交换来产生蒸汽；蒸汽涡轮，通过蒸汽进行驱动；和调整装置，调整成套设备操作量，在该蒸汽涡轮成套设备的启动控制装置中，具备：预测部，针对用于蒸汽涡轮的启动控制中的至少一个制约条件，计算预测值；启动控制参数设定单元，基于成套设备状态量的初始值，计算用于蒸汽涡轮的启动控制中的启动控制参数；和成套设备操作量计算部，基于预测值和启动控制参数，以制约条件不超过预先决定的限制值的方式决定成套设备操作量。



1. 一种启动控制装置,是蒸汽涡轮成套设备的启动控制装置,该蒸汽涡轮成套设备具备:热源装置,通过热源介质加热低温流体来生成高温流体;蒸汽产生设备,通过与所述高温流体的热交换来产生蒸汽;蒸汽涡轮,通过所述蒸汽来进行驱动;和调整装置,调整成套设备操作量,

该启动控制装置的特征在于,具备:

预测部,针对用于所述蒸汽涡轮的启动控制中的至少一个制约条件,计算预测值;

启动控制参数设定单元,基于成套设备状态量的初始值,计算用于所述蒸汽涡轮的启动控制中的、作为在用于设定启动时间表的函数中包括的系数的启动控制参数;和

成套设备操作量计算部,基于由所述预测部计算出的制约条件的所述预测值和由所述启动控制参数设定单元运算出的所述启动控制参数,以所述制约条件不超过预先决定的限制值的方式决定所述成套设备操作量。

2. 根据权利要求1所述的启动控制装置,其特征在于,

所述调整装置包括:热源介质量操作部,调节提供给所述热源装置的热源介质量,来操作所述高温流体所保有的热量;和低温流体量操作部,调节所述低温流体的流量,来操作从所述热源装置提供给所述蒸汽产生设备的所述高温流体的流量。

3. 根据权利要求1所述的启动控制装置,其特征在于,

所述制约条件包括热应力以及热伸长差的制约条件中的至少一方。

4. 根据权利要求3所述的启动控制装置,其特征在于,

所述制约条件还包括机室的热变形以及机室内外壁的温度差的制约条件中的至少一方。

5. 根据权利要求1所述的启动控制装置,其特征在于,

所述成套设备状态量包括蒸汽涡轮规定部位的温度和所述蒸汽涡轮的停止后经过时间,所述初始值是所述蒸汽涡轮启动前的成套设备状态量。

6. 根据权利要求1所述的启动控制装置,其特征在于,

所述预测部还具备:成套设备状态量预测计算电路,基于所述成套设备操作量以及成套设备状态量,计算将来的成套设备状态量的预测值;和制约条件预测计算电路,基于由所述成套设备状态量预测计算电路计算出的所述成套设备状态量的预测值,计算制约条件的预测值,

所述成套设备操作量计算部具备:请求操作量计算电路,基于由所述制约条件预测计算电路计算出的所述制约条件的预测值和由所述启动控制参数设定单元运算出的所述启动控制参数,以所述制约条件不超过预先决定的限制值的方式计算请求成套设备操作量;和低值选择装置,选择由所述请求操作量计算电路计算出的多个所述请求成套设备操作量中的最小值的请求成套设备操作量。

7. 根据权利要求6所述的启动控制装置,其特征在于,

所述成套设备状态量的预测值包括流入所述蒸汽涡轮的所述蒸汽的状态量或者所述蒸汽涡轮的金属温度。

8. 根据权利要求6所述的启动控制装置,其特征在于,

所述预测部计算所述成套设备状态量的预测值或所述制约条件的预测值的经时数据与实际值之间的偏差,基于所述偏差来修正所述成套设备状态量的预测值或所述制约条件

的预测值。

9. 根据权利要求8所述的启动控制装置,其特征在于,
所述实际值包括所述成套设备状态量或所述制约条件。

10. 一种启动时间表制定系统,其特征在于,具备:

根据权利要求6所述的启动控制装置;和

模拟了所述蒸汽涡轮成套设备的特性的成套设备状态预测电路,

向所述成套设备状态预测电路输入由所述启动控制装置计算出的所述成套设备操作量,所述成套设备状态预测电路在从所述蒸汽涡轮成套设备的启动开始至启动完成为止的整个期间内,在存储区域蓄积计算出的成套设备状态量或制约条件的经时数据和所述成套设备操作量的经时数据。

11. 一种启动计划制定支援系统,其特征在于,具备:

用户接口,输入成套设备启动完成目标时刻;

成套设备初始状态计算电路,基于输入到所述用户接口的所述成套设备启动完成目标时刻,计算所述成套设备状态量的初始值;

权利要求10所述的启动时间表制定系统,在所述成套设备的启动之前,取得由所述成套设备初始状态计算电路计算出的所述成套设备状态量的初始值,生成所述蒸汽涡轮成套设备的启动开始时刻、所需启动时间以及启动时间表;和

输出装置,输出由所述成套设备初始状态计算电路计算出的所述成套设备状态量的初始值与由所述启动时间表制定系统生成的所述所需启动时间之间的关系。

12. 根据权利要求11所述的启动计划制定支援系统,其特征在于,

所述所需启动时间被表示成相对于所述成套设备状态量的初始值连续的函数。

13. 一种发电成套设备,其特征在于,具备:

权利要求1所述的启动控制装置;

热源装置,由热源介质对低温流体进行加热来生成高温流体;

蒸汽产生设备,通过与所述高温流体的热交换来产生蒸汽;

蒸汽涡轮,通过所述蒸汽来进行驱动;和

发电机,将所述蒸汽涡轮的驱动力变换成电力。

蒸汽涡轮成套设备启动控制装置

技术领域

[0001] 本发明涉及蒸汽涡轮成套设备(plant)启动控制装置。

背景技术

[0002] 在以风力发电或太阳能发电为代表的利用可再生能源的发电成套设备中,从可再生能源获得的发电量随着季节、天气等而发生较大的变动。因此,具备蒸汽涡轮的这种发电成套设备为了抑制发电量的变动来使发电成套设备稳定化,要求缩短启动时间(高速启动)。

[0003] 在蒸汽涡轮的启动中,由于流入蒸汽涡轮的蒸汽的温度、流量会急剧上升,因此涡轮转子的表面与内部相比更急剧升温。其结果,因涡轮转子的表面与内部的温度差而导致应力(热应力)增大。过大的热应力会缩短涡轮转子的寿命,因此需要使增大的热应力收敛在预先确定的限制值内。此外,在蒸汽涡轮的启动中,涡轮转子以及容纳涡轮转子的壳体因暴露于高温的蒸汽下而被加热,通过热膨胀,尤其向涡轮轴方向延伸(热伸长)。涡轮转子和壳体其结构和热容量不同,因此涡轮转子的热伸长和壳体的热伸长之间产生差异(热伸长差)。若该热伸长差变大,则作为旋转体的涡轮转子和作为静止体的壳体有可能相接触而发生损坏,因此需要使热伸长差收敛在预先确定的限制值内。这样,在蒸汽涡轮的启动中存在几个制约条件,因此需要以满足这些制约条件的方式进行启动控制。

[0004] 作为这种启动控制方法,有如下方法:根据发电成套设备的停止后经过时间、即发电成套设备停止之后的经过时间的长度来决定启动模式,基于按每个启动模式预先决定的启动时间表来进行启动控制(参照非专利文献1等)。此外,还有如下方法:以抑制热应力的产生为目的,基于测量到的蒸汽涡轮级的壳体金属温度来进行气体涡轮与蒸汽涡轮的启动控制(参照专利文献1等)。此外,还有如下方法:具备使启动时间优先的模式、使效率优先的模式等多个启动模式,根据每次启动的需求来切换启动模式(参照非专利文献2、专利文献2等)。此外,还有如下方法:预先规定提供给蒸汽涡轮的温度的上升率,基于该温度的上升率来控制成套设备(参照非专利文献3等)。此外,还有如下方法:预测计算从当前时刻到未来的一定期间的热应力、热伸长差,获得在限制值内抑制预测热应力的同时高速启动蒸汽涡轮的启动时间表(参照非专利文献4、专利文献3、4、5等)。

[0005] 非特許文献1:平賀昭二:「火力発電所の自動起動装置」,日立評論,48巻,6号763-767pp.(1966)

[0006] 非特許文献2:L.Balling:Fast cycling and rapid start-up:new generation of plants achieves impressive results,Modern Power Systems,January(2010)

[0007] 非特許文献3:C.Ruchti et al.:Combined Cycle Power Plants as ideal solution to balance grid fluctuations,Kraftwerkstechnisches Kolloquium,TU Dresden,18-19,September(2011)

[0008] 非特許文献4:松本茂他2名:熱応力予測によるタービン最適起動技術、火力原子力発電,Vol.61,No.9p.798-803(2010/9)

[0009] 专利文献1:JP专利4208397号公报

[0010] 专利文献2:JP专利4885199号公报

[0011] 专利文献3:JP专利4723884号公报

[0012] 专利文献4:JP特开2009-281248号公报

[0013] 专利文献5:JP特开2011-111959号公报

[0014] 非专利文献1例示了根据成套设备的停止后经过时间来将启动模式分为冷启动、半热启动、热启动、非常热(very hot)启动这4种的启动控制方法。在各启动模式下,预先决定蒸汽涡轮的转速的上升速度、将蒸汽涡轮的转速的上升速度保持为恒定值的时间(热浸(heat soak)时间)、初始负载、不改变负载而保持为恒定值的时间(负载保持时间)以及负载的每单位时间的变化率(负载变化率)等,按照基于这些确定的启动时间表来进行启动控制。其结果,能够进行将热应力、热伸长差等制约条件抑制在限制值以下的启动控制。但是,该启动时间表一般考虑蒸汽涡轮中的各种状态量、操作量的变动,针对制约条件确定了有足够余量。由于成套设备的停止后经过时间,启动开始时的蒸汽涡轮金属温度上有差异,因此即使在相同的启动模式下,尤其是停止后经过时间越短,启动时间表越容易产生所需以上的余量,无法充分缩短启动时间。

[0015] 专利文献5公开了如下的启动控制方法:根据成套设备状态预测电路预测并计算出将来的热应力,为了使该预测热应力变成规定值以下,计算出蒸汽涡轮的升速率和负载上升率,由此获得启动时间表。在这种情况下,在实现启动时间缩短方面能够计算出精度和可靠性高的操作量。但是,针对提供给蒸汽涡轮的蒸汽的压力、温度预先规定了时间趋势,但并没有公开应如何确定这些状态量。

[0016] 另外,在其他在先技术文献中,虽然公开了将热应力抑制在限制值以下来对成套设备进行启动控制的技术,但是都是以具有与预先确定的启动模式相应的启动时间表和模式作为前提。也就是说,只能在限制的模式下进行启动,因此不能说是灵活地应对启动程度不同的停止后经过时间等成套设备初始状态量来以最好的效率迅速地进行了启动控制的方法。

发明内容

[0017] 本发明鉴于上述情况而完成,其目的在于提供一种能够灵活应对成套设备初始状态量来高速地启动蒸汽涡轮的蒸汽涡轮成套设备的启动控制装置。

[0018] 为了达成上述目的,本发明提供控制方法和控制装置,例如,预测计算包含热应力或热伸长差的与启动相关的制约条件,统一控制包括生成提供给蒸汽涡轮的蒸汽的系统在内的成套设备整体,根据成套设备初始状态量来高速地启动蒸汽涡轮。此时,根据启动前的蒸汽涡轮规定部位的温度(初始金属温度)、停止后经过时间等成套设备初始状态量,连续地计算基于制约条件的预测值决定请求成套设备操作量时所使用的控制参数、与启动时间表相关的控制设定值等启动控制参数的值。由此,能够在不依赖于启动模式的情况下进一步缩短启动时间。

[0019] (发明效果)

[0020] 通过本发明,能够根据各种成套设备初始状态量来高速地启动蒸汽涡轮。

附图说明

- [0021] 图1是本发明的第1实施方式相关的发电成套设备的示意图。
- [0022] 图2是表示本发明的第1实施方式中的制约条件的预测值的修正概念的图。
- [0023] 图3是表示本发明的第1实施方式中的制约条件的预测值的修正步骤的流程图。
- [0024] 图4是启动时间表的一例,是说明本发明的第1实施方式相关的由启动控制参数计算电路计算出的启动控制参数的图。
- [0025] 图5是表示启动时间表中的发电成套设备的停止后经过时间与所需启动时间之间的关系图。
- [0026] 图6是本发明的第2实施方式相关的发电成套设备的示意图。
- [0027] 图7是表示本发明的第3实施方式相关的装置的构成以及其内部的计算流程的图,是表示直到操作者取得启动时间表为止的计算步骤的图。
- [0028] 图8是表示启动完成时刻、启动开始时刻、停止后经过时间以及所需启动时间的关系的图。

具体实施方式

[0029] <第1实施方式>

[0030] (构成)

[0031] 图1是本实施方式的发电成套设备100的示意图。如图1所示,发电成套设备100由蒸汽涡轮成套设备50和启动控制装置21构成。以下,说明蒸汽涡轮成套设备50以及启动控制装置21。

[0032] 1.蒸汽涡轮成套设备

[0033] 如图1所示,蒸汽涡轮成套设备50具备热源装置1、蒸汽产生设备2、蒸汽涡轮3、发电机4、热源介质量操作部11、低温流体量操作部12、主蒸汽加减阀13、旁路阀14以及降温器15。

[0034] 热源装置1利用热源介质所保有的热量来加热低温流体,生成高温流体,从而提供给蒸汽产生设备2。蒸汽产生设备2在内部具备热交换器,通过与由热源装置1生成的高温流体的保有热之间的热交换,对供水进行加热而产生蒸汽。通过由蒸汽产生装置2产生的蒸汽,驱动蒸汽涡轮3。发电机4与蒸汽涡轮3相连,将蒸汽涡轮3的驱动力变换为电力。发电机4的电力例如被供给到未图示的电力系统中。

[0035] 对热源装置1的热源介质的供给路径上设有热源介质量操作部11。热源介质量操作部11调节提供给热源装置1的热源介质量来对热源装置1生成的高温流体的保有热量进行操作。对热源装置1的低温流体的供给路径上设有低温流体量操作部12。低温流体量操作部12调节提供给热源装置1的低温流体的流量,对从热源装置1提供给蒸汽产生设备2的高温流体的流量进行操作。连接蒸汽产生装置2和蒸汽涡轮3,从蒸汽产生设备2导出蒸汽的蒸汽配管系统中设有主蒸汽加减阀13。主蒸汽加减阀13对提供给蒸汽涡轮3的蒸汽流量进行操作。从蒸汽产生设备2的蒸汽配管系统分支且向其他系统排出流过蒸汽配管系统的蒸汽的旁路系统中设有旁路阀14。旁路阀14控制流过旁路系统的蒸汽的流量(旁路流量)。在蒸汽产生设备2的内部设有降温器15。降温器15使蒸汽产生设备2生成的蒸汽降温。上述的热

源介质量操作部11、低温流体量操作部12、主蒸汽加减阀13、旁路阀14以及降温器15作为调节成套设备操作量(后述)的调整装置而起作用。

[0036] 向启动控制装置21输入发电成套设备100的成套设备操作量以及成套设备状态量。作为输入到启动控制装置21的成套设备操作量的输入值,例如有表示前述的调整装置的操作量的各种测量值。作为输入到启动控制装置21的成套设备状态量的输入值,有蒸汽涡轮成套设备50的成套设备状态量,例如表示蒸汽涡轮成套设备50的构成要素、工作介质的温度、压力、流量等状态量的各种测量值。在本实施方式中,将表示热源介质量操作部11、低温流体量操作部12、主蒸汽加减阀13、旁路阀14、降温器15等的操作量的测量值作为成套设备操作量的输入值,将主蒸汽温度、压力、流量、蒸汽涡轮金属温度等表示成套设备状态量的测量值作为成套设备状态量的输入值,分别输入给启动控制装置21。

[0037] 2. 启动控制装置

[0038] 在启动控制装置21中,第一,基于上述的成套设备操作量的输入值以及成套设备状态量的输入值,针对用于蒸汽涡轮3的启动控制中的至少一个制约条件计算出预测值(制约条件的预测值)。制约条件包括蒸汽涡轮3的涡轮转子的表面与内部的温度差引起的热应力(以下称作涡轮转子的热应力)、以及关于蒸汽涡轮3的涡轮转子与容纳蒸汽涡轮3的容器(以下称作机室)之间的热伸长差(以下称作涡轮转子的热伸长差)的制约条件中的至少一个。除了该涡轮转子的热应力以及涡轮转子的热伸长差以外,例如还可以追加机室的热变形(半径方向或圆周方向的位移)以及机室内外壁的温度差等其他制约条件中的至少一个。第二,基于制约条件的预测值,计算各调整装置的操作量(针对调整装置的指令值)。通过基于制约条件的预测值计算各调整装置的操作量,从而与例如如反馈控制那样基于当前的测量值计算调整装置的各构成要素的操作量的情况相比,能够很好地推移时间常数(响应相对于输入的延迟)大的现象(制约条件)。

[0039] 为了实现以上的功能,启动控制装置21具备预测部22、成套设备操作量计算部23、启动控制参数计算电路(启动控制参数设定单元)32以及指令值输出电路(热源介质量操作状态计算电路41、低温流体量操作状态计算电路42、主蒸汽加减阀操作状态计算电路43、旁路阀操作状态计算电路44以及降温器操作状态计算电路45)。以下依次说明各构成要素。

[0040] 2-1. 预测部

[0041] 预测部22基于上述的成套设备操作量的输入值以及成套设备状态量的输入值,针对用于蒸汽涡轮3的启动控制中的至少一个制约条件计算预测值。预测部22具备成套设备状态量预测计算电路24、第1制约条件预测计算电路25、第2制约条件预测计算电路26以及第3制约条件预测计算电路27。

[0042] 2-1-1. 成套设备状态量预测计算电路

[0043] 向成套设备状态量预测计算电路24输入由未图示的检测器测量到的成套设备操作量的测量值以及成套设备状态量的测量值,作为成套设备操作量的输入值以及成套设备状态量的输入值。成套设备状态量预测计算电路24基于所输入的成套设备操作量的测量值以及成套设备状态量的测量值,计算所设定的预测期间内的将来的成套设备状态量的预测值。该预测期间被设定成比针对后述的第1预测期间、第2预测期间、第3预测期间等各制约条件单独设定的预测期间中的最长的期间还长。

[0044] 成套设备启动时计算制约条件的预测值的方法,可以使用公知的控制工程模型预

测控制方法、在关于与制约条件相关的物理现象的公知的热力学、流体力学、传热学的计算模型式中输入将来的成套设备运行条件来进行计算的预测方法、参照当前的金属温度差等与工序值之间的表格来取得将来的成套设备操作量的变化率的方法、在整个预测期间对当前的变化率进行外推的方法等公知的任意预测方法。

[0045] 由成套设备状态量预测计算电路24计算出的成套设备状态量的预测值是指,蒸汽涡轮入口的主蒸汽的压力、流量、温度、蒸汽涡轮初期后的压力、流量、温度、热导率等各制约条件值的推测所需的表示成套设备各部分的热状态的物理量。在该物理量的计算中也可以使用公知的自然科学法则或基于工学的任一种方法。以下,示出计算方法的例子。

[0046] • 蒸汽涡轮入口的主蒸汽的蒸汽条件的计算方法(步骤A1)

[0047] 基于热源介质质量操作部11和低温流体量操作部12的操作量,根据公知的能量平衡式或质量平衡式,计算从热源装置1经由蒸汽产生装置2提供给蒸汽涡轮3的热和物质的传播过程,计算蒸汽涡轮入口的流量、温度、热函(enthalpy)。然后,使用蒸汽涡轮入口的流量和温度,基于音速流动中的流量计算式,修正额定的压力值来计算压力。

[0048] • 蒸汽涡轮初期后的蒸汽条件的计算方法(步骤A2)

[0049] 从上述的蒸汽涡轮入口的主蒸汽的压力减去蒸汽涡轮初期后的压力损失来获得蒸汽涡轮初期后的压力。该压力损失是基于成套设备特有的蒸汽涡轮设计信息计算出的。此外,从上述的蒸汽涡轮入口的主蒸汽的流量减去或者相加向其他系统的蒸汽的流入流出量,获得蒸汽涡轮初期后的流量。基于该蒸汽涡轮初期后的压力和上述的蒸汽涡轮入口的热函,参照蒸汽物性的计算函数(蒸汽表),计算蒸汽涡轮初期后的温度。基于蒸汽的流速与转子旋转速度的合成流速、动粘性系数,根据公知的热导率计算式,计算蒸汽涡轮初期后的蒸汽-转子间的热导率。根据蒸汽涡轮初期后的压力和温度,参照蒸汽表来计算该动粘性系数。

[0050] 2-1-2. 制约条件预测计算电路

[0051] 第1制约条件预测计算电路25、第2制约条件预测计算电路26、以及第3制约条件预测计算电路27基于由成套设备状态量预测计算电路24计算出的成套设备状态量的预测值,在整个所设定的预测期间内分别计算对应的制约条件的预测值。

[0052] 针对各制约条件预测计算电路25~27设定的预测期间被设定成相应于对应的制约条件与例如时间经过变化相对于热源介质或蒸汽状态量的变化的跟踪性(响应时间)相应的长度。在本实施方式中,将针对各制约条件预测计算电路25~27设定的预测期间分别设为第1预测期间、第2预测期间以及第3预测期间。

[0053] 如上所述,在蒸汽涡轮3的启动控制中所使用的制约条件因涡轮转子的热应力或涡轮转子的热伸长差、机室的热变形、机室内外壁的温度差等与蒸汽涡轮的启动相关的构造体内部的温度差或金属温度而产生的情况比较多,基于上述的步骤A2的计算结果,通过蒸汽到金属的传热计算来计算金属内部的温度分布,由此获得制约条件。例如,通过蒸汽到涡轮转子的传热计算来计算出涡轮转子在半径方向上的温度分布,基于使用了线性膨胀率、杨式模量、泊松比等的材料工学法则来计算涡轮转子的热应力。通过蒸汽到涡轮转子以及机室的传热计算来计算在涡轮转子的轴方向上分割的蒸汽涡轮各部位的温度,基于使用了线性膨胀率的材料工学法则计算涡轮转子的热伸长差。通过蒸汽到机室以及机室的轴、半径及圆周方向的传热计算来计算机室内部的温度分布,基于使用了线性膨胀率、杨式模

量、泊松比等的材料工学法则计算机室的热变形。通过蒸汽到机室以及机室的轴、半径方向的传热计算来计算机室在半径方向上的温度分布,从而获得机室的内外壁温度差。

[0054] 另外,各制约条件预测计算电路25~27基于成套设备状态量的实际值(包括测量值以及基于测量值的计算值),修正制约条件的预测值。以下,参照图2以及图3来说明基于实际值修正制约条件的预测值的步骤。图2是表示制约条件的预测值的修正概念的图。在图2中,实际时刻指当前时刻,表示执行了制约条件的预测值的计算一直到标记为预测计算进行点的部位为止的状态。图3是表示制约条件的预测值的修正步骤的流程图。另外,以下,以涡轮转子的热应力的制约条件为例说明基于实际值修正制约条件的预测值的步骤。

[0055] 如图2以及图3所示,各制约条件预测计算电路25~27通过未图示的检测器而取得直到实际时刻为止的蒸汽条件、金属温度等成套设备状态量的测量值(S1)。各制约条件预测计算电路25~27基于成套设备状态量的测量值计算热应力的实际值(S2)。另一方面,各制约条件预测计算电路25~27在实际时刻之前计算直到预测计算进行点为止的涡轮转子的热应力的预测值(S3)。接着,各制约条件预测计算电路25~27计算实际时刻的涡轮转子的热应力的实际值与预测值之间的偏差 $\Delta\delta$ (S4),将实际时刻以后计算的涡轮转子的热应力的预测值修正成与涡轮转子的热应力的实际值之间的偏差 $\Delta\delta$ 较小(S5)。然后,各制约条件预测计算电路25~27判断是否满足成套设备的启动完成条件、即是否完成了成套设备的启动(S6)。在满足成套设备的启动完成条件的情况下,结束S1~S5的步骤。另一方面,在不满足成套设备的启动完成条件的情况下,反复执行S1~S5的步骤。另外,在图2以及图3中例示了根据涡轮转子的热应力的实际值修正预测值的步骤,但是也可以对涡轮转子的热伸长差、机室的热变形、或机室内外壁的温度差等其他制约条件的预测值进行修正,或者也可以对蒸汽温度、蒸汽压力或蒸汽涡轮规定部位金属温度等成套设备状态量的预测值进行修正。修正方法都是相同的。此外,在上述的说明中,例示了根据实际值修正涡轮转子的热应力的预测值的情况,但是也可以根据涡轮转子的热应力的测量值来进行修正。

[0056] 2-2. 启动控制参数计算电路

[0057] 启动控制参数计算电路32基于成套设备状态量的初始值(成套设备初始状态量)计算用于蒸汽涡轮3的启动控制中的启动控制参数。成套设备初始状态量是成套设备启动初始(启动运行开始时)的成套设备状态量,例如除了启动初始的蒸汽涡轮入口机室或涡轮转子等金属温度(初始金属温度)、或者涡轮转子的热应力值或热伸长的值、或者涡轮转子的热伸长差或机室的内外壁温度差等蒸汽涡轮的各部位间的温度差等可基于测量值直接评价的状态量外,还可以使用如停止后经过时间那样可间接评价状态的状态量。例如,在使用金属温度那样可利用测量器直接测量的状态量的情况下,能够更准确地推测初始状态。另一方面,例如使用如热应力等基于测量值的计算值那样间接得到的状态量的情况下,不需要设置直接测量目标状态量的专用测量器,因此能够降低设备成本。

[0058] 启动控制参数是基于制约条件的预测值决定请求成套设备操作量(后述)时所使用的参数、关于启动时间表的控制设定值。参照图4来说明该启动控制参数。图4是启动时间表的一例,是说明由启动控制参数计算电路32计算出的启动控制参数的图。

[0059] 作为启动控制参数的例子,有基于制约条件的预测值与限制值之差 $\Delta\sigma$ 计算热源装置的负载每隔单位时间发生变化的比率(负载变化率)的函数 $f(\Delta\sigma, a)$ 的参数 a 、计算不改变热源装置的负载而是使其保持恒定值的时间(负载保持时间)的函数 $f(\Delta\sigma, b)$ 的参数

b、计算蒸汽涡轮的转速上升速度(升速率)的函数 $f(\Delta\sigma, c)$ 的参数c、计算使蒸汽涡轮的转速或负载等状态保持恒定的时间(热浸时间)的函数 $f(\Delta\sigma, d)$ 的参数d、以及计算蒸汽涡轮的负载变化率的函数 $f(\Delta\sigma, e)$ 的参数e等。参数a~e分别是函数 $f(\Delta\sigma, a)$ 、 $f(\Delta\sigma, b)$ 、 $f(\Delta\sigma, c)$ 、 $f(\Delta\sigma, d)$ 、 $f(\Delta\sigma, e)$ 所包含的系数等。按每个制约条件准备函数 $f(\Delta\sigma, a)$ 、 $f(\Delta\sigma, b)$ 、 $f(\Delta\sigma, c)$ 、 $f(\Delta\sigma, d)$ 、 $f(\Delta\sigma, e)$ 。例如,按每个制约条件准备负载变化率的函数 $f(\Delta\sigma, a)$,按每个制约条件根据函数 $f(\Delta\sigma, a)$ 可求出参数a。将函数 $f(\Delta\sigma, a)$ 、 $f(\Delta\sigma, b)$ 、 $f(\Delta\sigma, c)$ 、 $f(\Delta\sigma, d)$ 、 $f(\Delta\sigma, e)$ 保存在启动控制参数计算电路32中,启动控制参数计算电路32基于所输入的成套设备初始状态量计算出 $\Delta\sigma$,从期望的函数中计算出目标启动控制参数。这些函数被构筑成:成套设备初始状态量越接近成套设备启动完成的状态,则朝向缩短启动时间的方向计算启动控制参数。例如,对于金属温度而言,初始值越是高的值,以热源装置1的负载变化率变大的方式计算参数a的值,以负载保持时间变短的方式计算参数b的值。对于参数c、d、e也是同样的。另外,代替函数,例如也可以在启动控制参数计算电路32中保存成套设备初始状态量与启动控制参数的关系表格,参照该表格,决定与所赋予的成套设备初始状态量相对应的启动控制参数。另一方面,作为与启动时间表相关的控制设定值的例子,有蒸汽涡轮通气温度v、热浸转速w、热浸负载x、对热源装置进行负载保持的负载y等。上述中,将这些各启动控制参数按照a, b, ... v的方式分别表示成了1个变量,但是也可以如 $a_1, a_2, \dots, b_1, b_2, \dots, v_1, v_2, \dots$ 这样设为多个变量。

[0060] 2-3.成套设备操作量计算部

[0061] 成套设备操作量计算部23基于由预测部22计算出的制约条件的预测值和由启动控制参数计算电路32计算出的启动控制参数,按照制约条件不超过预先决定的限制值的方式决定请求成套设备操作量。成套设备操作量计算部23具备第1请求操作量计算电路28、第2请求操作量计算电路29、第3请求操作量计算电路30以及低值选择装置31。

[0062] 2-3-1.请求操作量计算电路

[0063] 第1请求操作量计算电路28基于由第1制约条件预测计算电路25计算出的制约条件的预测值、和由启动控制参数计算电路32设定的启动控制参数,按照制约条件不超过预先设定的限制值的方式,计算出相对于指令值输出电路41~45的各请求成套设备操作量。从第1制约条件预测计算电路25以及启动控制参数计算电路32输入到第1请求操作量计算电路28的值是针对对应的制约条件(例如热应力)计算出的值。也就是说,从第1制约条件预测计算电路25输入的值是例如热应力的预测值,从启动控制参数计算电路32输入的值是例如以关于热应力的限制值与预测值之差 $\Delta\sigma$ 作为变量的、例如根据负载变化率函数求出的启动控制参数(此时是a)。与第1请求操作量计算电路28相同,第2请求操作量计算电路29、第3请求操作量计算电路30也分别基于由第2制约条件预测计算电路26、第3制约条件预测计算电路27计算出的制约条件的预测值和由启动控制参数计算电路32针对对应的制约条件计算出的启动控制参数,按照对应的制约条件不超过限制值的方式计算相对于指令值输出电路41~45的各请求成套设备操作量。这些请求成套设备操作量是根据之前的各函数以限制值作为限度而计算出的值。因此,其项目是蒸汽涡轮的升速率、热浸时间、负载变化率、热源装置的负载变化率、负载保持时间等。在请求操作量计算电路28~30的每一个计算电路中,用于请求成套设备操作量的计算中的启动控制参数可以是多个。也就是说,请求操作量计算电路28~30分别是计算出多组相对于指令值输出电路41~45的请求成套设备操作

量的构成。按照 $\Delta\sigma$ 大则增大成套设备操作量的变化率、 $\Delta\sigma$ 小则减小成套设备操作量的变化率小的方式计算出请求成套设备操作量。

[0064] 2-3-2. 低值选择装置

[0065] 低值选择装置31输入请求操作量计算电路28~30计算出的相对于指令值输出电路41~45的各请求成套设备操作量,针对指令值输出电路41~45分别从多个请求成套设备操作量之中选择最小值,分别向调整装置41~45输出选择出的请求成套设备操作量。

[0066] 2-4. 指令值输出电路

[0067] 热源介质量操作状态计算电路41、低温流体量操作状态计算电路42、主蒸汽加减压操作状态计算电路43、旁路阀操作状态计算电路44、降温器操作状态计算电路45基于从低值选择装置31输入的请求成套设备操作量,以满足该请求成套设备操作量的方式分别计算出相对于热源介质量操作部11、低温流体量操作部12、主蒸汽加减压13、旁路阀14、降温部15的成套设备操作量的指令值(操作状态指令值)。热源介质量操作状态计算电路41、低温流体量操作状态计算电路42、主蒸汽加减压操作状态计算电路43、旁路阀操作状态计算电路44、降温器操作状态计算电路45分别向热源介质量操作部11、低温流体量操作部12、主蒸汽加减压13、旁路阀14、降温部15输出计算出的成套设备操作量的指令值。

[0068] (效果)

[0069] (1)蒸汽涡轮的启动高速化

[0070] 在本实施方式中,根据成套设备初始状态量来设定启动控制参数,基于该启动控制参数通过预测控制来调整热源装置1、蒸汽涡轮3等的启动时间表。即,本实施方式的启动控制装置21中,能够根据成套设备初始状态量灵活地设定启动控制参数以及启动时间表。因此,能够根据各种成套设备初始状态量来高速地启动蒸汽涡轮。

[0071] 图5是表示启动时间表中的发电成套设备100的停止后经过时间与所需启动时间之间的关系的图。横轴表示停止后经过时间,纵轴表示所需启动时间。将启动运行开始时小于A时的启动模式称作热启动,将在A以上且小于B的情况称作半热启动,将B以上的情况称作冷启动。A、B(A<B)是设定值。在图5中,点虚线表示启动时间表以及启动控制参数两者依赖于启动模式的比较例1。在比较例1中,根据停止后经过时间来决定启动模式。在同一启动模式下,不依赖于停止后经过时间,将所需启动时间一律设定成同一值,因此在每一个模式中统一了启动控制参数,只要启动模式相同,则启动时间表也相同。长虚线表示通过预测控制来调整启动时间表且启动控制参数依赖于启动模式的比较例2。此时,根据停止后经过时间来决定启动模式这一点与比较例1相同,但是即使在同一启动模式下,计算出停止后经过时间越短则所需启动时间也越短的启动时间表。是预测控制的效果。但是,只要启动模式相同,就不依赖于停止后经过时间,将启动控制参数一律设定成同一值,因此在各启动模式的边界处产生因启动控制参数的变更引起的不连续点。因此,在任一个比较例中,都是在各启动模式下若停止后经过时间越短就越在启动时间表上产生所需以上的余量。

[0072] 相对于此,实线表示采用了在本实施方式中说明过的非模态启动的情况。在本实施方式中,无启动模式的概念(非模态启动),启动控制参数随着成套设备初始状态量而连续变化,因此所需启动时间与停止后经过时间之间的关系线没有发生弯曲(无夹角),是圆滑地连续着的线。由此,本实施方式中,能够排除相对于制约条件的限制值的所需以上的余量,因此能够建立在可靠性、计划性这两个方面稳定性高的启动时间表,能够更安全且高速

地启动成套设备。另外,即使将图5的横轴置换为例如初始金属温度等其他成套设备初始状态量也能得到同样的结果。

[0073] 此外,在本实施方式中,各制约条件预测计算电路25~27基于步骤(S1)~(S6),根据实际值修正涡轮转子的热应力的预测值。因此,涡轮转子的热应力的预测精度进一步得到提高,能够更安全地启动发电成套设备。此外,考虑到涡轮转子的热应力的预测值的误差,在针对制约条件的限制值设置了富余(余量)的情况下,也能够提高预测精度来减少富余,能够进一步缩短启动时间。

[0074] <第2实施方式>

[0075] 图6是使用了启动控制装置21的启动时间表制定系统53的示意图。在图6中,对与上述第1实施方式相同的部分赋予同一符号,适当省略说明。

[0076] (构成)

[0077] 本实施方式与第1实施方式的不同点在于,具备成套设备状态预测电路5来代替蒸汽涡轮成套设备50。具体而言,如图6所示,启动时间表制定系统53具备启动控制装置21、模拟了蒸汽涡轮成套设备50的特性的成套设备状态预测电路5。以下,依次说明各构成要素。

[0078] 1.成套设备状态预测电路

[0079] 成套设备状态预测电路5是仿真器的一种,具备与构成蒸汽涡轮成套设备的热源装置、蒸汽产生设备、蒸汽涡轮等各构成要素相对应的多个计算部。组合根据公知的流体力学式来计算所对应的构成要素的压力和流量的压力·流量计算模型、根据公知的热力学式或传热式来计算成套设备的构造体-作业流体间的能量平衡的温度计算模型来构筑各计算部。

[0080] 成套设备状态预测电路5的各构成要素输入从启动控制装置21的指令值输出电路(热源介质量操作状态计算电路41、低温流体量操作状态计算电路42、主蒸汽加减阀操作状态计算电路43、旁路阀操作状态计算电路44、以及降温器操作状态计算电路45)输出的成套设备操作量的指令值,使用上述计算模型来模拟计算成套设备操作量以及成套设备状态量。例如,作为成套设备状态量的初始值而输入任意值来获得来自启动控制装置21的成套设备操作量的指令值。

[0081] 2.启动控制装置

[0082] 启动控制装置21输入由成套设备状态预测电路5模拟计算出的成套设备操作量以及成套设备状态量,与第1实施方式相同,基于成套设备操作量以及成套设备状态量来计算制约条件的预测值,基于制约条件的预测值和启动控制参数决定相对于指令值输出电路41~45的请求成套设备操作量。与在第1实施方式中说明过的情况相同,该启动控制装置21可以与蒸汽涡轮成套设备50连接着,也可以独立于蒸汽涡轮成套设备50。

[0083] 启动时间表制定系统53在从成套设备的启动开始到启动完成为止的整个期间内随着时间的流逝而在未图示的存储部中蓄积如上述那样计算出的各成套设备操作量和成套设备状态量,生成成套设备的计划启动时间表。

[0084] (效果)

[0085] 通过上述构成,在本实施方式中能够模拟在前述的第1实施方式中得到的启动时间表,因此能够预先生成成套设备的计划启动时间表,基于该时间表来启动成套设备。因此,除了与第1实施方式相同的效果外,操作者能够事先掌握对成套设备的电力系统的并入

时刻、启动完成时刻等信息,因此还能够获得有效地实施成套设备启动计划与电力系统的调整的效果。

[0086] <第3实施方式>

[0087] 本实施方式中例示的启动计划制定支援系统60是启动时间表制定系统53的具体的适用例,即,在制定实际的成套设备启动定时时间表时,在赋予了上一次成套设备停止时刻和下一次成套设备启动完成目标时刻的情况下,生成应当如何启动成套设备的启动计划。

[0088] 图7是与内部的计算步骤一起表示使用了启动时间表制定系统53的启动计划制定支援系统60的结构图。在图7中,对与上述第2实施方式相同的部分赋予同一符号,并适当省略说明。

[0089] (构成)

[0090] 如图7所示,启动计划制定支援系统60具备用户接口51、成套设备初始状态计算电路52、启动时间表制定系统53以及输出装置54。以下,依次说明各构成要素。

[0091] 1.用户接口

[0092] 向用户接口51输入上一次的成套设备停止时刻以及下一次的成套设备启动完成目标时刻。这些输入信息例如由操作者输入,经由用户接口51而被输出到成套设备初始状态计算电路52。

[0093] 2.成套设备初始状态计算电路

[0094] 成套设备初始状态计算电路52基于经由用户接口51输入的信息,计算出成套设备初始状态量。参照图7来说明成套设备初始状态计算电路52进行的成套设备初始状态量的计算步骤。

[0095] • 步骤B1

[0096] 首先,成套设备初始状态计算电路52计算启动开始时刻的初始值。作为计算方法,有将当前时刻或向用户接口51输入的下一一次的成套设备启动完成目标时刻用作初始值的方法。计算出的启动开始时刻的初始值被蓄积在启动开始时间计算电路52所具备的未图示的存储区域中,作为启动开始时刻。通过计算初始值,按照以下的步骤进行反复计算来依次更新启动开始时刻。

[0097] • 步骤B2

[0098] 接着,成套设备初始状态计算电路52根据蓄积在启动开始时间计算电路52的存储区域中的启动开始时刻与输入到用户接口51的成套设备停止时刻之差,计算停止后经过时间。

[0099] • 步骤B3

[0100] 接着,成套设备初始状态计算电路52基于计算出的停止后经过时间,计算所需启动时间。例如基于图5所示的停止后经过时间与所需启动时间之间的关系来计算所需启动时间。停止后经过时间与所需启动时间的关系可从启动时间表制定系统53的启动控制装置21取得。也可以预先在成套设备初始状态计算电路52中将该停止后经过时间与所需启动时间的关系保存为表格。

[0101] • 步骤B4

[0102] 接着,成套设备初始状态计算电路5从输入到用户接口51的下一一次的成套设备启

动完成目标时刻减去在步骤B3中计算出的所需启动时间,逆运算出启动开始时刻。该启动开始时刻再次被蓄积在启动开始时间计算电路52的未图示的存储区域中,被更新为最新的启动开始时刻。

[0103] • 步骤B5

[0104] 接着,成套设备初始状态计算电路52判断蓄积在存储区域中的最新的启动开始时刻与上一次的(第二个新的)启动开始时刻之差是否为预先确定的规定时间。在该差超过了规定时间的情况下,反复进行步骤B2至步骤B4的操作。另一方面,在该差小于规定时间的情况下,步骤转移至步骤B6。

[0105] • 步骤B6

[0106] 成套设备初始状态计算电路52基于在步骤B2中计算出的停止后经过时间,计算初始金属温度等成套设备初始状态量。例如,基于停止后经过时间和初始金属温度的表格来计算初始金属温度。例如,根据蒸汽涡轮的金属容量、对大气的散热量等成套设备特性来预先计算出该表格后保存在成套设备初始状态计算电路52中。

[0107] 向启动时间表制定系统53输入由上述的步骤计算出的成套设备初始状态量。

[0108] 在此,图8是表示启动完成时刻、启动开始时刻、停止后经过时间以及所需启动时间的关系的图。在图8中,点虚线表示与停止后经过时间相应的初始金属温度的推移,成套设备的停止后经过时间越增加,初始金属温度就越降低。实线表示与停止后经过时间相应的所需启动时间,初始金属温度越降低,所需启动时间就越增加。将图8的实线称作输入为停止后经过时间而输出为所需启动时间的所需启动时间增加函数。在假定了某一启动开始时刻的情况下,与上一次停止时刻之差成为停止后经过时间,因此将其代入所需启动时间增加函数而得到的值 t_1 是所需启动时间。另一方面,从上一次停止时刻至启动完成时刻为止的时间中减去停止后经过时间而得到的值 t_2 也是所需启动时间。另外,在本实施方式中,作为启动开始时刻的计算步骤例示了上述的步骤B1~B5,但是只要是使该 t_1 与 t_2 的数值相等的启动开始时刻的计算方法,可以使用任意方法。

[0109] 3. 启动时间表制定系统

[0110] 如在第2实施方式中说明过的那样,启动时间表制定系统53将成套设备初始状态量作为输入,生成启动时间表。

[0111] 4. 输出装置

[0112] 输出装置54显示下一次启动中的停止后经过时间(即启动运行开始时刻)和所需启动时间等启动时间表制定系统53的制定内容。输出方式并不限于显示输出,可以是声音输出、打印输出等其他方式。

[0113] (效果)

[0114] 通过上述构成,在本实施方式中,除了在前述的各实施方式中得到的各效果之外还可得到如下的效果。

[0115] 在本实施方式中,若操作者指定下一次的成套设备启动完成目标时刻等,则基于保有满足该时刻的停止后经过时间与所需启动时间的组合的表格,进行反复计算。因此,能够事先取得所需启动时间以及与其相对应的启动定时时间表。因此,能够生成可遵守电力系统的期望发电时刻的启动定时时间表。

[0116] 此外,在本实施方式中,操作者能够通过输出装置54的输出来确认启动时间表制

定系统53的制定内容。因此,操作者能够考虑安全、效率等各方面来研究运行时间表的妥当性。

[0117] <其他>

[0118] 本发明并不限于上述的各实施方式,包括各种变形例。例如,上述的实施方式为了便于理解本发明而进行了详细说明,但是并不限定一定要具备所说明的所有构成。例如,可以将某一实施方式的构成的一部分替换为其他实施方式的构成,而且可以在某一实施方式的构成中追加其他实施方式的构成。此外,也可以针对各实施方式的构成的一部分,追加、删除以及替换其他构成。

[0119] 例如,举例说明了蒸汽涡轮成套设备50作为调整装置而具备热源介质量操作部11、低温流体量操作部12、主蒸汽加减阀13、旁路阀14、以及降温器15的情况。但是,本发明的本质效果是根据各个成套设备初始状态量来满足制约条件的同时高速启动蒸汽涡轮成套设备50,只要能够获得该本质效果,不一定需要例示的所有调整装置。例如,只要具备根据蒸汽涡轮发电成套设备50的方式而选择的至少一个调整装置即可。

[0120] 此外,举例说明了向启动控制装置21输入蒸汽涡轮成套设备50的成套设备操作量以及成套设备状态量的情况。但是,只要能够获得上述的本发明的本质效果,例如,也可以是向启动控制装置21输入成套设备操作量以及成套设备状态量中的至少一个的构成。

[0121] 此外,举例说明了预测部22具备三个制约条件预测计算电路25~27的情况。但是,只要能够获得上述的本发明的本质效果,并不限定上述构成。预测部22的制约条件预测计算电路是基于作为考虑对象的制约条件的数量而定的,只要具备至少一个即可。请求操作量计算电路(28~30)也是同样的。

[0122] 此外,本发明的启动控制装置还可以应用于具备复合循环发电成套设备、蒸汽发电成套设备以及太阳能发电成套设备等蒸汽涡轮的所有成套设备中。

[0123] 例如,在将本发明相关的启动控制装置应用于复合循环发电成套设备的情况下,在图1中,热源介质采用天然气·氢气等燃料气体,热源介质量操作部11采用燃料气体调节阀,低温流体采用空气,低温流体量操作部12采用入口引导翼,热源装置1采用气体涡轮,高温流体采用气体涡轮排气,蒸汽产生设备2采用排热回收锅炉。

[0124] 此外,在将本发明相关的启动控制装置应用于蒸汽发电成套设备中的情况下,在图1中,热源介质采用煤炭或天然气,热源介质量操作部11采用燃料调节阀,低温流体采用空气或氧气,低温流体量操作部12采用空气流量调节阀,热源装置1采用锅炉中的火炉,高温流体采用燃烧气体,蒸汽产生设备2采用锅炉中的传热部(蒸汽产生部)。

[0125] 此外,在将本发明相关的启动控制装置应用于太阳能发电成套设备的情况下,在图1中,热源介质采用太阳光,热源介质量操作部11采用集热板的驱动装置,低温流体以及高温流体采用油或高温溶剂盐等将太阳热能转换后保有的介质,低温流体量操作部12采用油或高温溶剂盐等的流量调节阀,热源装置1采用集热板,蒸汽产生设备2采用通过与高温流体的热交换来将供水加热至蒸汽的设备。

[0126] 此外,在将本发明的启动控制装置应用于组合了燃料电池和蒸汽涡轮的发电成套设备中的情况下,在图1中,热源介质采用一氧化碳·氢气等燃料气体,热源介质量操作部11采用燃料气体调节阀,低温流体采用空气,低温流体量操作部12采用空气调节阀,热源装置1采用燃料电池,高温流体采用燃料电池排气,蒸汽产生设备2采用排热回收锅炉。

- [0127] 符号说明
- [0128] 1 热源装置
- [0129] 2 蒸汽产生设备
- [0130] 3 蒸汽涡轮
- [0131] 11、12、13、14、15 调整装置
- [0132] 21 启动控制装置
- [0133] 22 预测部
- [0134] 23 成套设备操作量计算部
- [0135] 32 启动控制参数设定单元

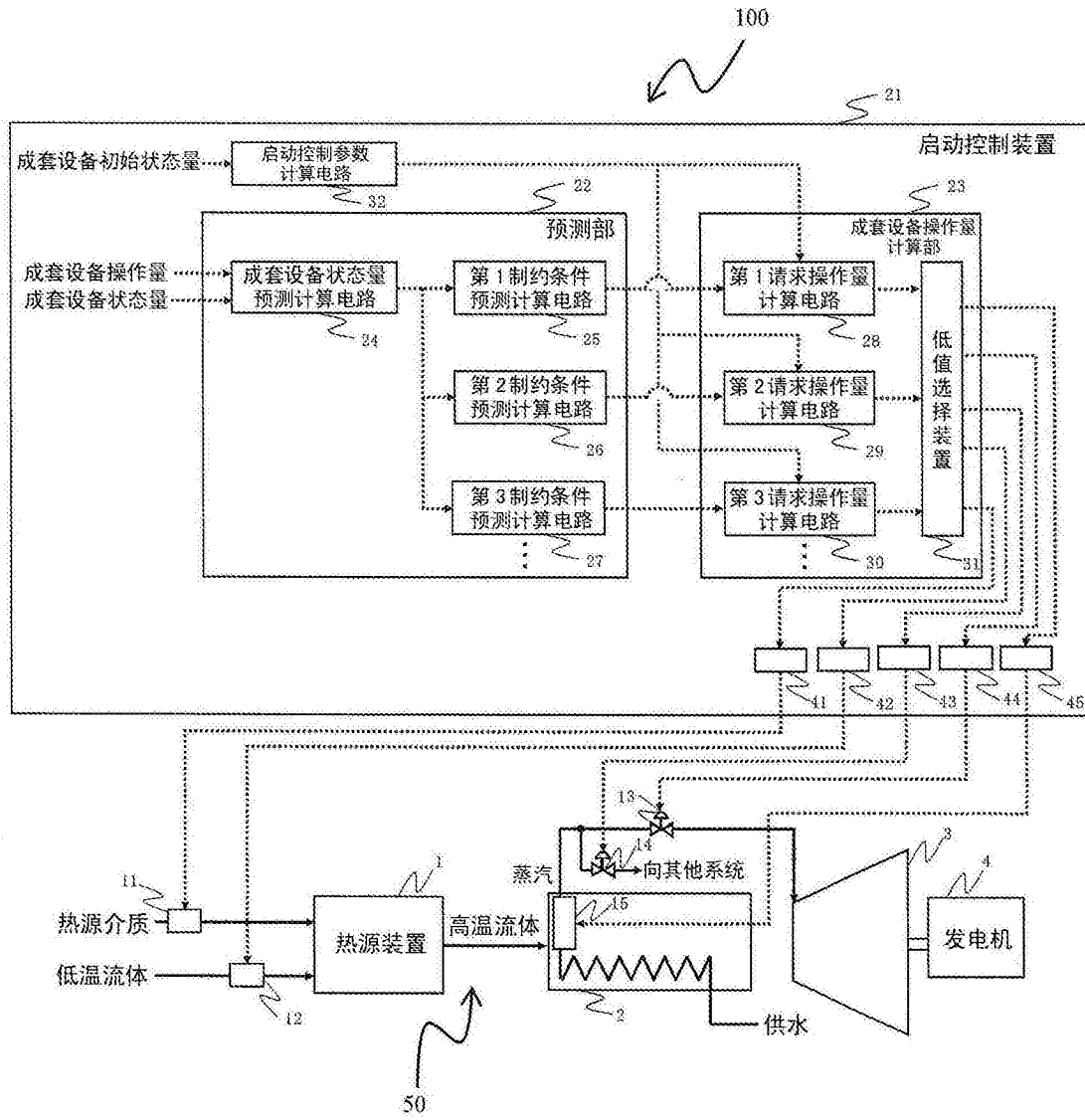


图1

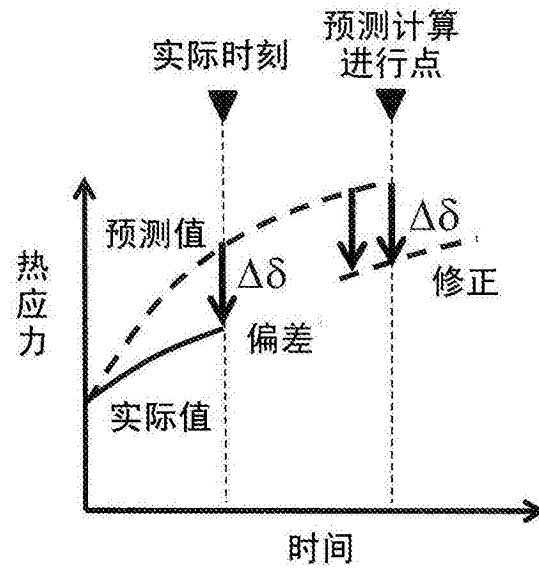


图2

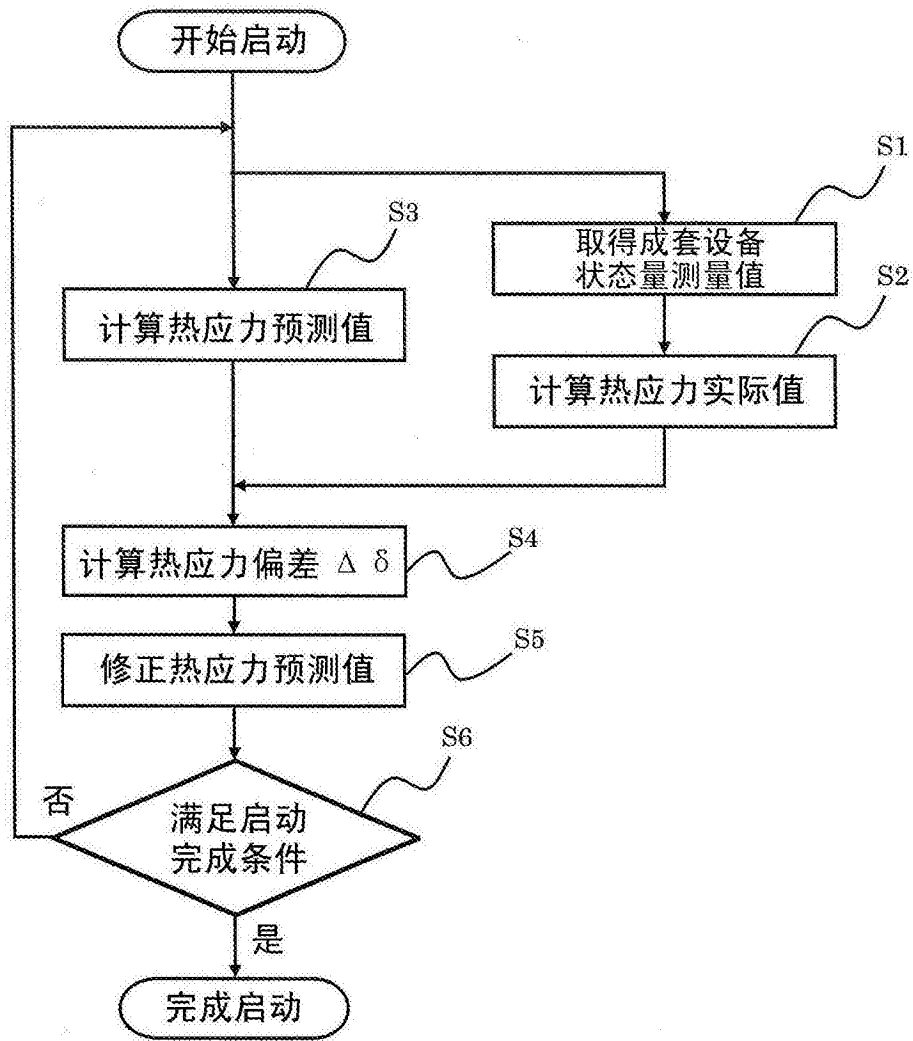


图3

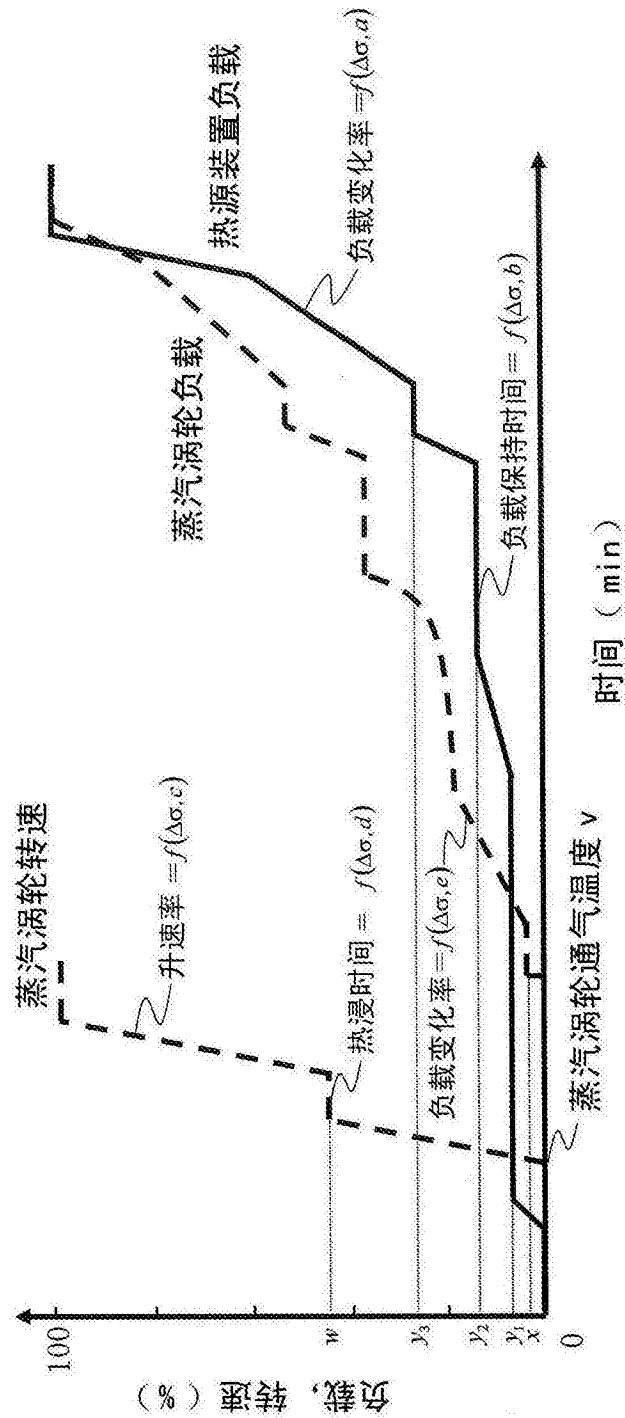


图4

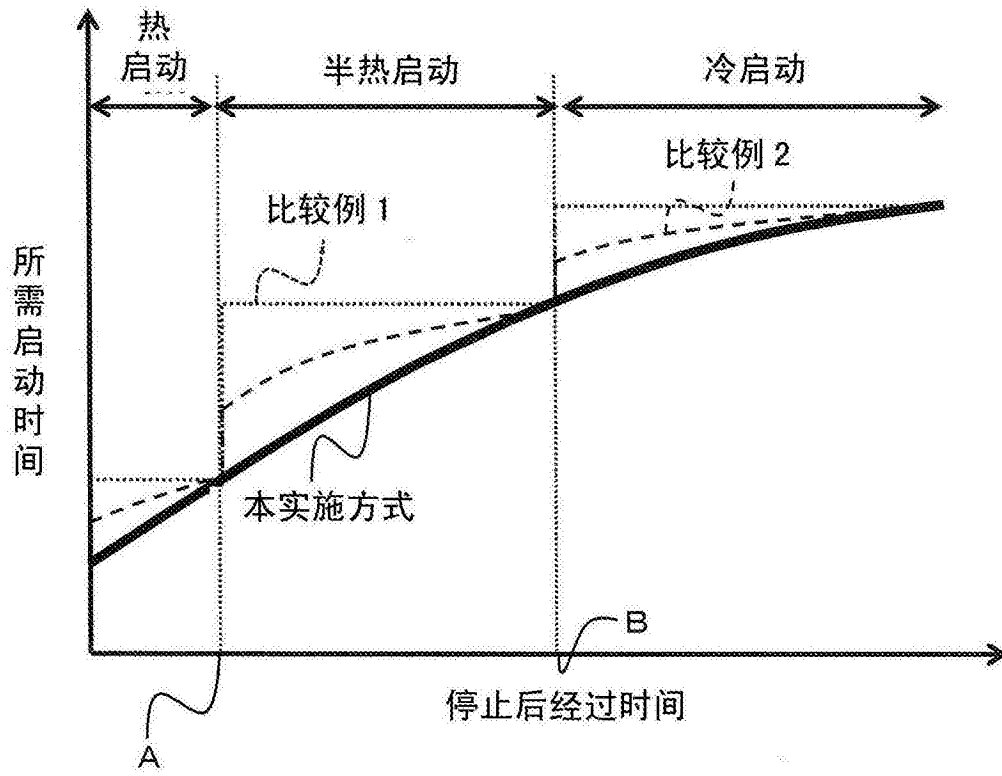


图5

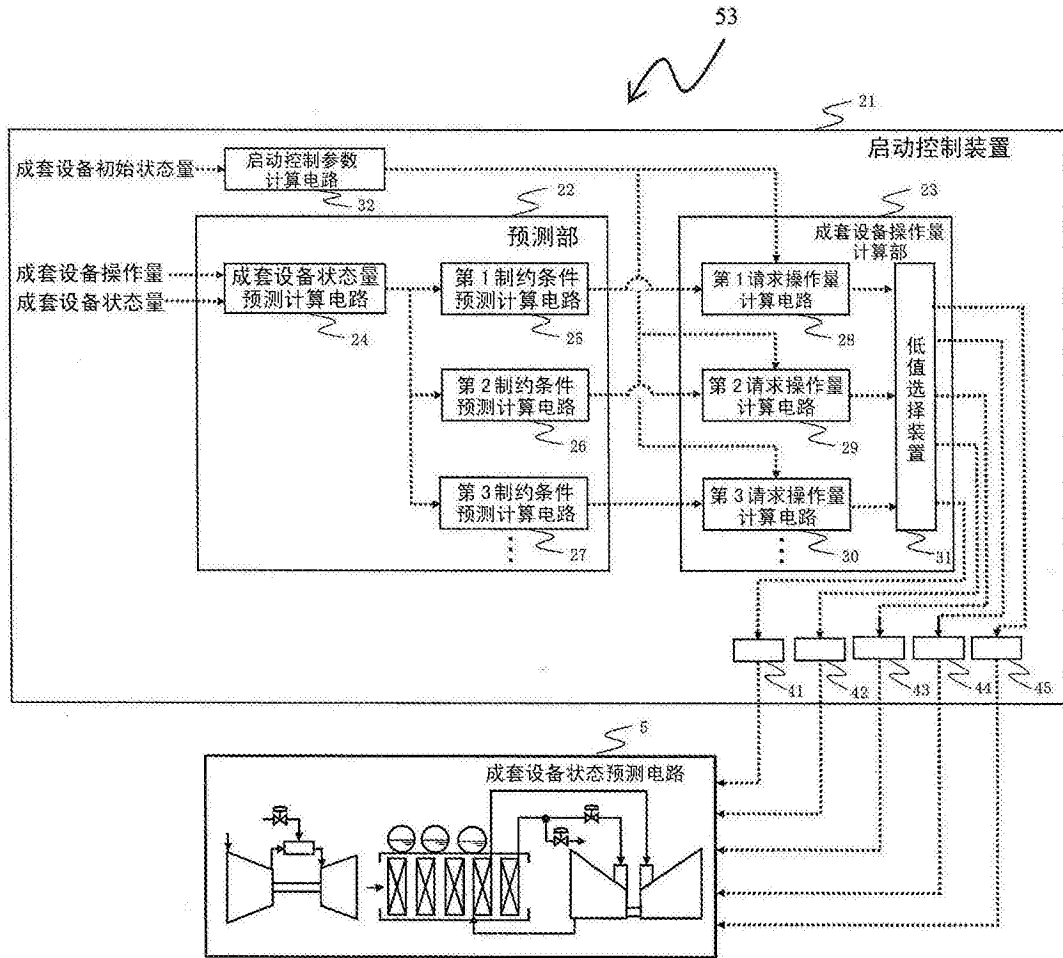


图6

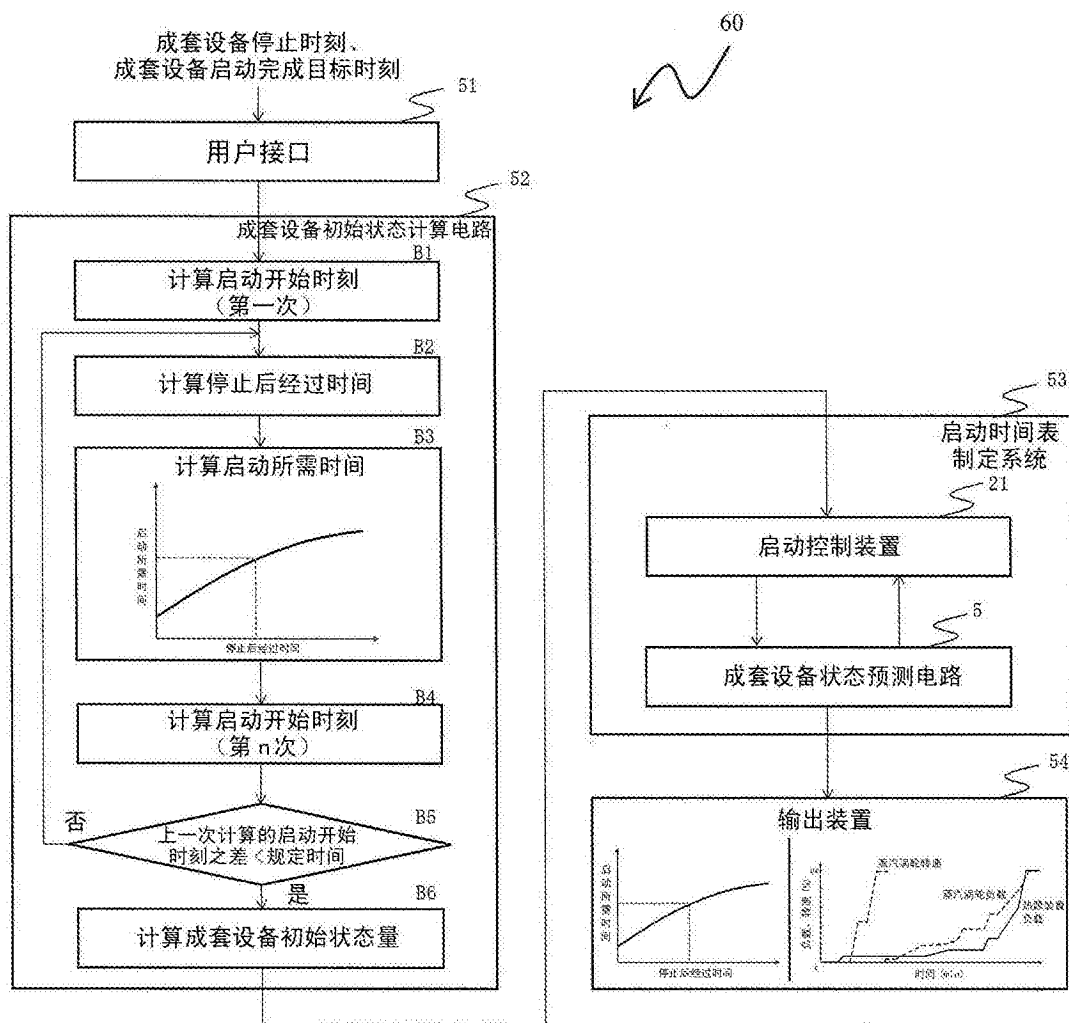


图7

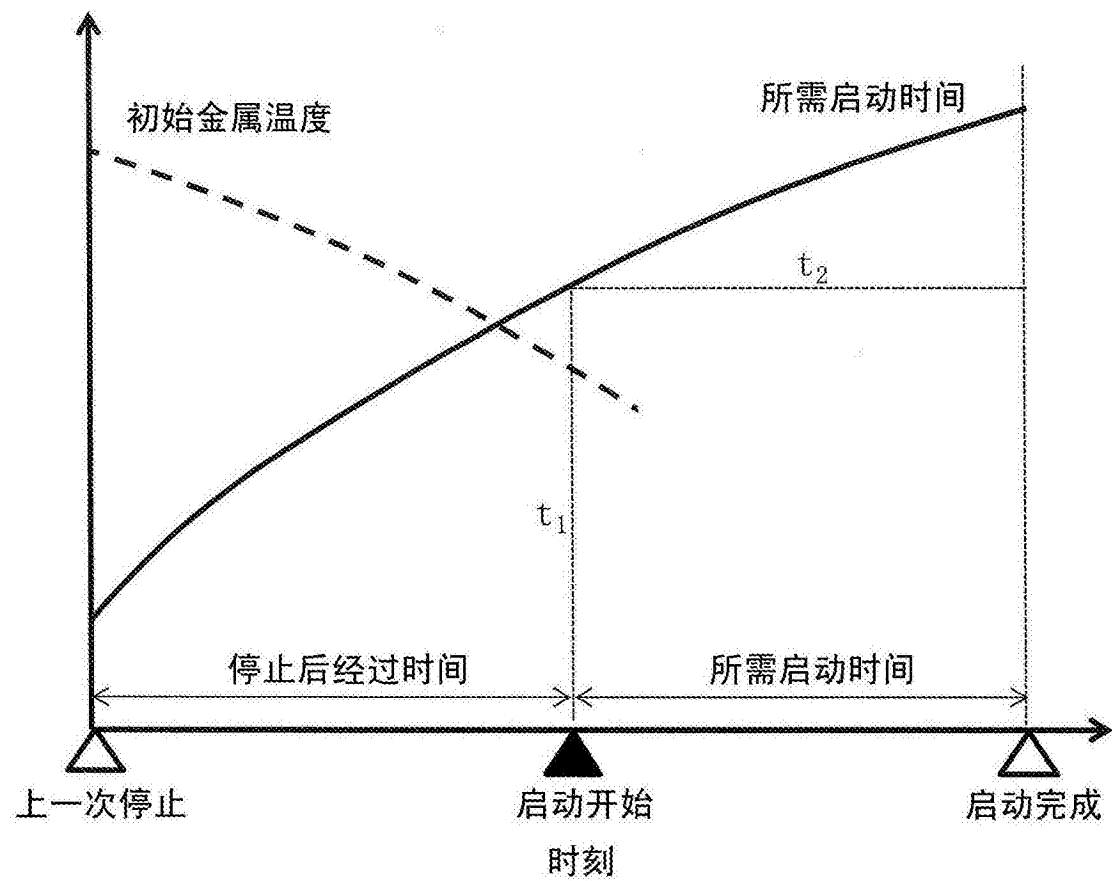


图8