



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103154444 A

(43) 申请公布日 2013.06.12

(21) 申请号 201180023099.1

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2011.04.20

F01K 13/02(2006.01)

(30) 优先权数据

F01K 25/08(2006.01)

102010019718.1 2010.05.07 DE

(85) PCT申请进入国家阶段日

2012.11.07

(86) PCT申请的申请数据

PCT/EP2011/002023 2011.04.20

(87) PCT申请的公布数据

W02011/137980 DE 2011.11.10

(71) 申请人 奥尔灿能源有限公司

地址 德国慕尼黑鲁珀特-迈耶大街 44 号

(72) 发明人 西尔万·阔伊林

(74) 专利代理机构 北京品源专利代理有限公司

11332

代理人 杨生平 钟锦舜

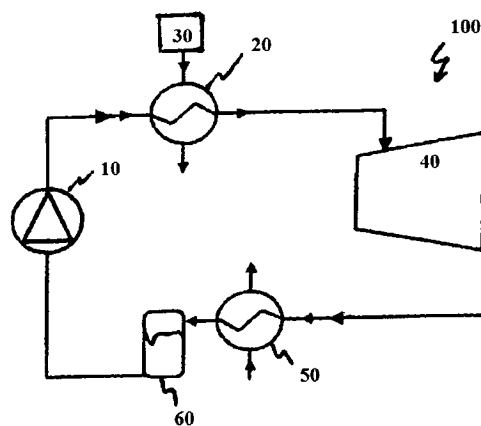
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

热循环工艺的控制

(57) 摘要

本发明涉及一种用于控制热循环工艺特别是有机朗肯循环 (ORC) 的方法,所述循环与结合动态热源的工作介质一起工作,从而所述方法包括以下步骤:(a) 根据所述热循环工艺的输入参数的值或多个输入参数各自的值来确定所述热循环工艺的工艺变量的设定值;(b) 用所述确定的工艺变量的设定值作为控制的目标变量来对所述热循环工艺进行控制;和 (c) 当至少一个所述输入参数的值改变时重复执行步骤 (a) 和 (b)。



1. 一种用于控制热循环工艺特别是有机朗肯循环 (ORC) 的方法, 其与结合动态热源的工作介质一起工作, 包括:

(a) 根据热循环工艺的输入参数的值或多个输入参数各自的值确定所述热循环工艺的工艺变量的设定值;

(b) 用所述确定的工艺变量的设定值作为控制的目标变量来进行所述热循环工艺的控制; 以及

(c) 当至少一个所述输入参数的值改变时重复执行所述步骤 (a) 和 (b)。

2. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中确定所述热循环工艺的工艺变量的设定值包括根据预定函数, 特别是根据多项式函数来计算所述设定值, 其中所述输入参数被作为变量输入到所述函数中, 或者其中确定所述热循环工艺的工艺变量的设定值包括根据所述热循环工艺的输入参数的值或者多个输入参数各自的值从预定的表中读出所述设定值, 其中优选地在所述表的值之间存在内插或者外推。

3. 根据权利要求 2 所述的方法, 在所述步骤 (a) 之前执行如下附加步骤:

通过进行试验和 / 或根据模型方程来指定用于计算所述工艺变量的设定值的函数, 或者通过进行试验和 / 或根据模型方程来指定用于确定所述工艺变量的设定值的表。

4. 根据权利要求 3 所述的方法, 其中指定用于计算所述工艺变量的设定值的函数包括使从热源到循环工艺的传热效率与所述循环工艺的效率的乘积最大化, 或者其中指定用于确定所述工艺变量的设定值的表包括使从热源到循环工艺的传热效率与所述循环工艺的效率的乘积最大化。

5. 根据权利要求 1-4 之一所述的方法, 其中至少一个另一工艺变量以相应的方式被控制。

6. 根据权利要求 1-5 之一所述的方法, 其中所述一个或多个工艺变量是所述工作介质的蒸发温度或者蒸发压力, 和 / 或在所述热循环工艺的冷凝器中的凝结温度或者凝结压力, 和 / 或在所述热循环工艺的膨胀机的出口处的蒸气温度或者蒸汽压力。

7. 根据权利要求 1-6 之一所述的方法, 其中所述一个或多个输入参数包括来自所述热源的气体的质量流量或者用于表示该质量流量的量, 和 / 或排出气的温度, 和 / 或外界空气的温度, 和 / 或所述循环工艺工作介质的凝结温度。

8. 根据权利要求 1-7 之一所述的方法, 其中所述热循环工艺的控制通过模型预测控制 (MPC) 而进行。

9. 根据权利要求 1-8 之一所述的方法, 其中所述热循环工艺的控制通过设置进料泵和 / 或膨胀机和 / 或冷凝器风扇的转速而进行。

10. 根据权利要求 1-9 之一所述的方法, 其中所述控制包括所述工艺变量的实际值与设定值之间的重复的或者连续的比较。

11. 一种装置, 包括:

热循环工艺, 特别是 ORC, 具有一个或多个换热器, 其用于将热从一个或多个热源转移到所述热循环工艺的工作介质; 和

用于执行根据权利要求 1-10 之一所述的用于控制所述热循环工艺的方法的微处理器。

12. 一种计算机程序产品, 其包括至少一个计算机可读介质, 具有可以由计算机执行并

且用于在计算机的运行期间执行根据权利要求 1-10 之一所述的方法的步骤的指令。

热循环工艺的控制

技术领域

[0001] 本发明涉及用于控制热循环工艺特别是 ORC 系统的方法和装置。

背景技术

[0002] 有机朗肯循环 (ORC) 是一种用于操作具有除水蒸气以外的工作介质的蒸气动力工艺的方法。作为工作介质使用的是具有低蒸气化温度的有机流体。当热源与热阱之间可得到的温度梯度对于由水蒸气驱动的涡轮机的操作来说太低时,所述方法是特别有用的。例如,当借助地热能量来发电时,组合的热和发电时,以及在太阳能发电站和海洋热能发电厂中,就符合这种情况。与克劳修斯郎肯循环非常相似的有机朗肯循环在发电厂技术中是已知的,并且其是蒸气发电工艺中的标准循环。在有机朗肯循环中作为工作介质使用的有机材料允许针对热源温度而对所述循环进行很好的调节。基于温度水平,使用不同的工作介质:烃类、氟化的(碳)烃(例如四氟乙烷)、芳烃或者硅油。

[0003] 泵将流体工作介质带至工作压力,同时由此提供迁移功和膨胀或压缩功。当所述流体工作介质流过蒸发器时,等温能量以热的形式被供给到所述蒸发器中。在所述蒸发器之前,所述工作介质可以在预加热器中被带至沸点温度。而在蒸发器之后,所述工作介质的蒸气可以被进一步过热。但是,由于热动力学的原因,可能要消除空间密集过热,在这种情况下只选择轻微地过热几个开尔文(如果有的话)。相应的部件预加热器、蒸发器和过热器可以被结合为单一的热交换部件。在这个热交换器中,所述送入的热可以被用于预热和蒸发二者,以及当适用时用于过热。

[0004] 这里被使用的用于蒸发工艺的热源是来自上游机器(例如内燃机)的工艺热或废热。由于能量的应用,所述工作介质完全或者接近完全蒸发。饱和蒸气在所述蒸发器的出口处形成。所述工作介质还可以以部分蒸发的状态排出。实现了饱和蒸气或轻微过热蒸气的排出。

[0005] 所述工作介质的蒸气经过压力管流出所述蒸发器并流向 ORC 膨胀器(例如,螺杆膨胀机或涡轮机),其中所述工作介质以多种方式膨胀到较低的压力,其结果是转化为做功,例如通过涡轮机在其叶片上转变为机械能。在理想的标准循环中(即,没有损失和不可逆性),所述膨胀是等熵的。与所述膨胀器/涡轮耦接的发电机将机械能转化为电能。或者,所述机械能也可以被直接使用,例如,其可以(在机械上)与交通工具的驱动系统相耦接,或者所述机械能可以被转化为水力能并被送入水力系统中。

[0006] 在这之后,所述蒸气随后流过下游凝结器。在这里所述蒸气通过降温向具有冷却介质流的冷却管路放出凝结热并且在适当时放出显热。所述工作介质凝结并变为液态。由于特别的热力学特征,所述工作介质通常以过热状态从膨胀机器排出,并且顺序地先被降温和然后在凝结器中凝结。依赖于管线,可以实现所述过热介质的轻微过冷。饱和流体或轻微过冷的工作介质可以被临时储存(例如在储存容器中)。然后,泵将所述饱和的或(轻微)过冷的工作介质从所述贮存容器带回到操作压力,并从而闭合该循环。

[0007] 现有技术状态

[0008] 在本发明被描述前,有必要研究发电厂领域中和废热利用中目前的工艺水平。

[0009] 在此之前在网络中发电厂的控制

[0010] 在供电网中,必须经常考虑所产生与需要的能量之间的平衡。如果电力供应太高或者如果所述需要太低,则所述系统频率提高,而如果所述电力供应太低并且需要太高,则相反的情况也会出现。所述系统频率被用作参考值以便在所述产生的能量和需要的能量之间产生平衡。如果所述频率发生偏差,首先初步控制发生作用。通过激活第二储备,在0-30s内例如通过除去涡轮的供应线路中直接蒸气的节流阀而在所述发电厂中自动实现规定动力储备。在次级控制的情况下,接着提高设定输出值并且调节燃料质量流量。但是,在热电厂情况下,因为这些发电厂反应非常迟钝,因此该负荷的改变在大于15分钟的范围。因为燃料质量流量的提高几乎即刻转化为输出增长,因此燃气涡轮电厂反应更加迅速(航空发动机在起飞时)。

[0011] 在这些发电厂的情况下,可以假设对运行点的固定优化,并且因为所述运行参数不在宽的范围波动,因此对运行性能的连续优化是不必要的。

[0012] 在余热回收蒸汽发生器中使用气体涡轮机废热(联合循环)代表了借助于ORC的废热利用的一种类似方法。因为近来进入供电系统中电能的波动供给已经增长,因此这类发电厂必须越来越多地担负控制任务并且实施迅速的负荷改变。

[0013] 这里,固定直接蒸气温度被假设作为所述设定值,以便例如降低在由温度改变导致的部件上的热负荷。

[0014] 在此以闪余热回收蒸汽发生器的控制

[0015] 在关于余热回收蒸汽发生器控制的改进的研究中,在强制流动余热回收蒸汽发生器的运行中出现的一个大的挑战是在出口处的固定蒸气量的调节。因为所述烟道气的质量流量是固定的,因此调节所述要被蒸发的水的质量流量的唯一可能性是借助于所述进料泵的转速。特别在启动时,由于所述系统的惯性在这里出现问题。因此,例如所述系统的停车时间能干扰所述控制或者所述热容量也可以对该控制起消极作用。在这种情况下所述热交换器常常被“过量供给”,即,在所述蒸发器的末端仍存在液态水。为此,要使用脱水器(所谓的启动容器)。

[0016] 除了设计用于改进控制行为的措施之外,所谓的模型预测的方法可以被用作所述工艺控制的基础。模型预测控制(MPC)使用模型方程来代表要被控制的系统。在MPC中,除考虑所述系统的当前状态之外,还有所述系统的未来状态的计算,然后将其与所期望的状态相比较。在具体实例中,蒸发器的能量平衡被建立且计算将必须出现哪个质量流量以使得可以实现特定蒸气量。为此,除水的质量流量和参数之外,热源的质量流量和参数也必须被考虑,并且此外,由于管路系统的热容量而导致的馈入和输出效应也必须被考虑。

[0017] 在这类控制的情况下,控制器不再必须等待参考值的改变,并且可以代之以基于所述参考值计算哪个校正值是必需的以便实现新的设定值(例如,另一个直接蒸气温度)。但是,这些研究不考虑所述运行参数相对于效率优化的协调,并且要实现的固定蒸汽参数被作为校正值来应用。这些蒸汽参数(即使有的话)通过较高水平控制而被规定,并且没有提供对在秒或者分钟范围内变化的不同负荷的动态调整。

[0018] 在此以前ORC系统的控制

[0019] 目前ORC系统仍然没有与动态废热源一起使用。在使用来自非动态源的废热的

情况下,用于 ORC 的最佳运行参数可以被一次指定并且然后被规定作为用于控制的设定值量。该控制策略与应用在所述发电厂区段中的固定压力调节相似。可变压力(也被叫作使滑动压力)控制是发电厂技术中已知的,其在蒸气在高温下时具有这样的优越性,即,在由于压力改变而致的部分负载的情况下实现了相对恒定的蒸气温度。这有助于保护所述部件对抗由热引起的张力,但由于在废热利用中低的温度,这对于有机朗肯循环来说是不相关的。

[0020] 如果所提到的固定压力控制在没有节流所述直接蒸汽的情况下被实现(例如借助于具有可变的转速的膨胀机),这在动态热源(可变温度和热容速率)的情况下导致了恒定的热循环效率,但由此所述传热效率不被加以考虑并且因而所述系统效率不是最佳的(换句话说,比后面呈现的本发明的情况最多差 10%)。ORC 所产生动力与热源相对于所述热源完全冷却到环境温度水平的热量输出之间的比值被称作系统效率。系统效率与传热效率与热循环效率的乘积相对应。

发明内容

[0021] 考虑到现有技术的缺点,本发明基于提供热循环工艺特别是 ORC 的控制的问题,通过其有可以调节(优选地在任何时间点)相对于系统效率优化的操作。

[0022] 所提到的问题通过根据权利要求 1 的方法、根据权利要求 11 的装置和根据权利要求 12 的计算机程序产品而解决。进一步有益的改进在从属权利要求中定义。

[0023] 本发明的用于控制热循环工艺特别是有机朗肯循环(ORC)的方法,其与工作介质并结合动态热源一起工作,包含以下步骤:(a) 根据热循环工艺的输入参数的值或相应的多个输入参数的值确定所述热循环工艺的工艺变量的设定值;(b) 用所述确定的工艺变量的设定值作为控制的目标变量来进行所述热循环工艺的控制;以及(c) 当至少一个所述输入参数的值改变时重复执行所述步骤(a)和(b)。

[0024] 被理解为动态废热源的是其热量输出由于保持热的质量流和/或温度和/或热容量的改变而波动的热源。由此所述热循环工艺从所述动态热源提取能量,即,每一时间间隔供应给所述循环工艺的热量是可变的,意味着其可以随时间而变化。

[0025] 设定值根据一个或多个输入参数的测定值而确定,借此在所述工艺变量的设定值与所述输入参数的一个或多个值之间的关系已经被一次预先指定。此预定关系(所述输入参数的值与所述工艺变量的值之间的预定组合或者数学映射)相对于所述系统的改进能量输出(系统效率)进行了优化。在所述热循环工艺运行期间用于求解模型方程的复杂工艺并不是必需的,这是有利的。使用工艺变量的确定的设定值,所述热循环工艺随后以所述工艺变量的值朝着所述设定值努力的方式被控制。例如,这可以借助于根据预定值设置进料泵、膨胀机与冷凝器风扇的转速而实现,从而所述一个或多个工艺变量的设定值可以被快速并可靠地实现。

[0026] 在所述输入参数的值改变的情况下,可以通过再一次执行确定所述设定值与随后控制的步骤而快速反应。

[0027] 根据本发明方法的进一步改进在于确定所述热循环工艺的工艺变量的设定值可以包括根据预定的函数,特别是根据多项式函数来计算所述设定值,其中将所述输入参数作为变量输入所述函数。

[0028] 另一个进一步改进在于可以通过进行试验和 / 或根据作为步骤 (a) 之前的另一步骤的模型方程来指定用于计算所述工艺变量的设定值的函数。

[0029] 另一个进一步改进在于指定用于计算所述工艺变量的设定值的函数可以包括使从热源到循环工艺的传热效率与所述循环工艺的效率的乘积最大化。

[0030] 根据本发明方法的另一个进一步改进在于确定所述热循环工艺的工艺变量的设定值可以通过根据所述热循环工艺的输入参数的值或者多个输入参数的相应值从预定表中读出所述设定值而进行, 由此当适用时有可能在所述表值之间进行内插。

[0031] 另一个进一步改进在于可以通过进行试验和 / 或根据作为步骤 (a) 之前的另一步骤的模型方程来指定用于计算所述工艺变量的设定值的表。

[0032] 另一个进一步改进在于指定用于计算所述工艺变量设定值的表可以包括使从热源到循环工艺的传热效率与所述循环工艺的效率的乘积最大化。

[0033] 另一个进一步改进在于至少一个另一工艺变量根据基于本发明的方法而被控制。

[0034] 另一个进一步改进在于所述一个或多个工艺变量可以是所述工作介质的蒸发温度或蒸发压力, 和 / 或在所述热循环工艺的冷凝器中的凝结温度或者凝结压力, 和 / 或在所述热循环工艺的膨胀机的出口处的蒸气温度或者蒸气压力。

[0035] 另一个进一步改进在于所述一个或多个输入参数可以包括来自所述热源的气体的质量流量或者用于该质量流量的数量表示, 和 / 或排出气的温度, 和 / 或外界空气的温度, 和 / 或所述循环工艺工作介质的凝结温度。

[0036] 另一个进一步改进在于所述热循环工艺的控制可以通过模型预测控制 (MPC) 来执行。

[0037] 另一个进一步改进在于所述热循环工艺的控制可以通过设置进料泵和 / 或膨胀机和 / 或冷凝器风扇的转速而进行。

[0038] 另一个进一步改进在于所述控制可以包括所述工艺变量的实际值与设定值之间重复的或者连续的比较。

[0039] 本发明的上述目的通过用于控制热循环工艺特别是 ORC 的装置而被进一步解决, 其包括用于执行根据本发明或者根据其进一步改进之一的方法的微处理器, 以及热循环工艺, 特别是 ORC, 其具有一个或多个用于将热从一个或多个热源转移到所述热循环工艺的工作介质的换热器。

[0040] 本发明的上述目的同样地通过计算机程序产品而被解决, 所述计算机程序产品包括至少一个计算机可读的介质, 其具有可以被计算机执行并且在计算机运行期间用于执行根据本发明或者根据其进一步改进之一的方法的步骤的指令。

[0041] 不同的进一步改进可以彼此间相互独立地被使用或者彼此结合地被使用。

[0042] 下面参考附图对本发明进一步优选的实施方案进行描述。

附图说明

[0043] 图 1 示意性地示出了 ORC 系统。

具体实施方式

[0044] 图 1 以示意的方式显示了含有有机朗肯循环 100 的系统。

[0045] 泵 / 进料泵 10 将所述流体工作材料带至运行压力。当所述流体工作介质流过蒸发器 20 时, 来自热源 30 的热被供应给所述工作介质。由于能量的应用, 所述工作介质被预热并部分地或者完全地蒸发, 并且在适用时被过热。按照惯例, 饱和蒸汽或者湿蒸汽或者过热蒸汽在所述蒸发器 20 的出口形成。所述工作介质的蒸气经过压力管流出所述蒸发器 20 并流向膨胀机 40, 在其处所述蒸气被膨胀到更低压力, 其结果是通过膨胀机 40 做功并被转化为机械能, 并且然后例如借助于耦接到其上的发电机被进一步地转化为电能, 或者以另一种形式而被使用, 例如通过机械消耗装置或者液压泵驱动的的直接驱动。然后所述蒸气流过冷凝器 50, 在其处所述蒸气向具有冷却介质流的冷却循环释放出显热和冷凝热。所述工作介质凝结并且完全转化为液态物质。饱和流体或者过冷的工作介质被临时存储在贮藏容器 60 中。然后泵 10 将所述饱和和工作介质从所述贮藏容器 60 带回到运行压力, 并从而闭合所述循环。

[0046] 本发明的方法

[0047] 本发明的目的是用于控制有机朗肯循环 100 或者与高动态废热源 30 结合的另一个循环工艺的构思。被非常普遍地理解为动态废热源的是其热量输出由于保持所述热的质量流和 / 或温度和 / 或热容量的改变而随时间波动的热源。例如, 被特别地称作动态或者高动态的是这样的热源, 其中在时间 t_1 的热量输出 H_1 可以改变所述热量输出 H_1 的大于 25%、大于 50% 或甚至大于 75% 而到时间 t_2 的热量输出 H_2 , 在此所述时间差 $t_2 - t_1$ 可以小于 1 小时, 小于 10 分钟、小于 1 分钟, 小于 1 秒或小于 0.1 秒。

[0048] 所述 ORC 系统由对效率具有不同影响的不同部件构成。所述部件从而在部分负载的情况下对效率具有不同的、通常非线性的改进, 并且若干校正值得对效率具有相反的影响。在这里作为例子引用的是冷凝器 50。如果由于较高的气流速率所述冷凝器 50 被更好地冷却, 则所述循环工艺的效率会提高, 即, 有可能转换更多能量 ($P_{el, gross}$)。但是, 与此相反, 存在包括被消耗用于风扇的能量的辅助动力 ($P_{el, auxiliary power}$) 的增长。另一极其重要的部件是热交换器 / 蒸发器 20, 其中废热被转移到 ORC 工作介质。由于在进料泵 / 泵 10 和膨胀机 40 中的控制干预, 从废热源 30 通过热交换器 20 而转移到所述 ORC 100 的热量输出 $\dot{Q}_{TransferredHeat}$ 显著地改变。

[0049] 根据本发明的控制构思使得可以在最佳运行点驱动 ORC 100, 借此优化准则是所谓的系统效率 η_{System} , 其由所述 ORC 100 的传热效率 η_{HT} 和循环效率 $\eta_{th, net}$ 所构成。这两部分效率不是彼此独立的。从而所述循环效率的提高可以使传热转移效率恶化到所述两个效率的积

[0050]
$$\eta_{System} = \eta_{HT} \cdot \eta_{th, net} = \eta_{HT} \cdot \frac{P_{el, gross} - P_{el, AuxiliaryPower}}{\dot{Q}_{TransferredHeat}}$$
 仍然被降低的

点。

[0051] 根据本发明, 热循环工艺的控制, 特别是具有基于模型控制的 ORC, 是以发生相对于系统效率优化的操作而进行的。根据发明解决的一个问题领域是在线优化计算不能以足够的速度来表示, 这是因为该计算必须要考虑大量的参数。

[0052] 作为输入量可用的是来自热源的排放气的质量流量 (或允许所述质量流量被设定的其它量, 例如内燃机的转速) 和其温度, 以及外界空气的温度。进料泵的转速、冷凝器

的风扇马达的转速和膨胀机的转速可以被改变,从而所述改变的效果在某种程度上是复杂的(例如,传热,蒸发发生处的压力状态的改变,用于预热和蒸发的可变区域)并且仅仅迭代地被频繁地计算。

[0053] 根据本发明,控制器在 ORC 运行期间不应实施对于给定负荷点的优化,并且作为替代基于存储的数据应当已经“知道”在何种转速下单独的组件应当运行以利用所述热源的当前参数获得最大的能量输出。所述方法现在是这样的以使得所述系统在模拟环境中被映射,借此在负荷变动情况下所述部件的实际行为也被映射。所述部件的行为可以从试验中得到或者其还可以从文献(模型方程,相关性)得知。

[0054] 例如,现在最佳蒸发温度可以根据所述热源的质量流量和温度以及凝结温度而被计算。现在平滑函数(例如,多项式)被定义用于已经发现的最佳蒸发温度,借此该平滑函数使得可以直接确定蒸发温度而不使用根据热流参数和凝结参数的独立部件的模型方程。以此方式计算的蒸发温度现在可以被用于 MPC 的校正值。

[0055] 在第一步中,与所述输入参数的值和工艺变量的值之间的预先确定的组合或数学映射一起工作的控制构思于是计算所述一个或多个工艺变量(设定值)的那些值允许优化的运行,并且随后调节所述进料泵、膨胀机和冷凝器风扇的转速从而快速并且可靠地实现这些工艺变量。借助于所述设定值与实际状态间的连续比较,此时反应也是迅速的,借此未来的实际状态也在所述控制中被加以考虑。平均相对系统效率比在具有固定蒸发温度情况下的常规控制高至多 10%。

[0056] 总之,可以被记载的是虽然根据现有技术具有固定设定值(例如,固定压力控制)的模型预测控制允许快速地控制,但是在该控制中没有进行运行点的优化。此外,在线优化是非常计算-密集的并且对于高瞬变过程来说过于缓慢。与此相反,本发明的最优工艺变量的设定是提前的并且根据输入参数确定用于计算工艺变量的函数也是快速和经济的。这两个构思的结合允许简单、经济的控制,其相对于系统效率是被优化的,并且在没有额外成本的情况下允许大于常规构思近 10% 的能量产出。

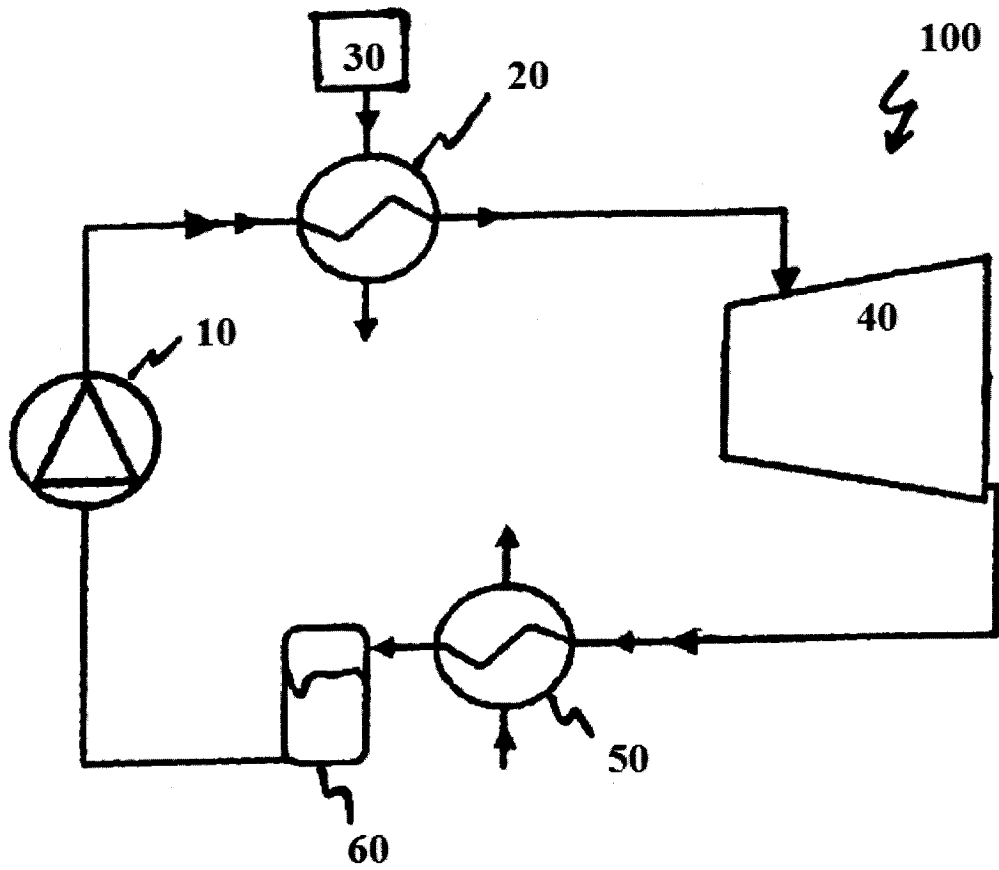


图 1