



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104364475 A

(43) 申请公布日 2015. 02. 18

(21) 申请号 201380013362. 8

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2013. 03. 08

F01K 3/18 (2006. 01)

(30) 优先权数据

F01K 3/26 (2006. 01)

P201230351 2012. 03. 09 ES

F01K 3/06 (2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2014. 09. 09

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/ES2013/070148 2013. 03. 08

(87) PCT国际申请的公布数据

W02013/132132 ES 2013. 09. 12

(71) 申请人 SENER 工程系统私人控股公司

地址 西班牙比斯开

(72) 发明人 博尔雅·埃拉斯蒂加西亚

安东尼奥·洛佩斯加西亚

伊鲁内·古铁雷斯拉拉纳加

(74) 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限

责任公司 11240

代理人 张英 王玉桂

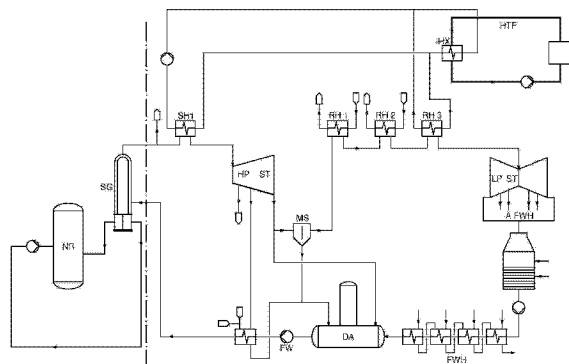
权利要求书1页 说明书7页 附图5页

(54) 发明名称

用于增加核电站中的发电效率的方法

(57) 摘要

用于提高加压水核电站中的发电效率的方法,所述方法包括使用辅助回路主蒸汽过度加热和加热的蒸汽再加热的步骤,其中,用于过度加热和再加热的蒸汽并行起作用。



1. 用于增加加压水核电站中的发电效率的方法,包括以下步骤:

a. 在进入具有几个本体的蒸汽轮机 (ST) 之前,对来源于蒸汽发生器 (SG) 的饱和或轻微湿蒸汽进行过度加热;

b. 使用来自反应器的新蒸汽再次对用来自高压 (HP) 涡轮机抽出的蒸汽再加热的蒸汽进行再加热;

c. 再次对在之前步骤中再加热的蒸汽进行再加热,在较高的温度下与热流体交换热;

d. 使步骤 c 的再加热蒸汽在所述蒸汽涡轮机的低 (LP) 本体中膨胀;

e. 在用来源于涡轮机抽出的水蒸汽加热之后,冷凝步骤 d 的膨胀蒸汽并且将冷凝水再循环至所述蒸汽发生器;

其特征在于,a 中的所述过度加热和 c 中的所述再加热通过辅助热流体回路进行,其中用于所述过度加热和所述再加热的所述蒸汽并行工作。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,在步骤 a 和 c 中,通过加压水并且在较高的温度下进行与所述热流体的交换,其中,所述水来源于将来自所述反应器的部分所述水转移至交换器的第二辅助回路。

3. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,用于步骤 a 和 c 的所述过度加热和所述再加热的一种或多种能源在所述电站的外部。

4. 根据权利要求 3 中任一项所述的方法,其中,所述一种或多种能源是可再生源。

用于增加核电站中的发电效率的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及应用于能源工业中,并且更具体地,应用于用来发电的核电站中的方法,其中,主反应器冷却回路的流体是水(或重水)。所述方法可应用在其主回路在高温高压水(PWR)下工作的那些核电站以及具有沸水(BWR)的电站中。

背景技术

[0002] 当今,在其反应器通过水冷却的大多数核电站中,根据反应器类型,通过反应器产生的所有热能用于在蒸汽发生器或反应器本身中产生饱和蒸汽。

[0003] 称为主蒸汽或新蒸汽的具有相对高的压力(通常,55巴到78巴之间)的饱和或轻微湿蒸汽被产生用于在蒸汽轮机中膨胀,该蒸汽轮机通常为具有再加热和几个本体的冷凝式轮机。蒸汽在轮机中膨胀,转移了其部分热能,产生进而通过耦接至轮机的轴的发生器转变成电能的机械能。可以在图1中看到具有这些特征的循环。将膨胀过程分成两个阶段。在第一个阶段中,蒸汽在轮机的高压(HP)本体中膨胀,蒸汽带有10%或大于10%的等级的水分含量从其离开。使蒸汽通过水分分离器(MS)是通常的做法,以去除大部分的湿气。在水分分离器之后,在使其在第二阶段中在中或低压(LP)本体中膨胀之前,再加热蒸汽以达到比饱和温度高的温度(50°C和80°C之间或更高)。

[0004] 在当今的大多数电站中,在两个步骤中进行两个膨胀阶段之间的再加热。在第一步骤中,位于高压轮机出口以及水分分离器下游的第一再热器(RH1)是通过高压轮机抽出进料的蒸汽-蒸汽换热器。在第二步骤中,第二再热器(RH2)也是蒸汽-蒸汽类型,再次对离开第一再热器的具有适度分数的新蒸汽的蒸汽进行再加热。将水分分离器、第一再热器和第二再热器整合在由容纳在其中的外壳组成的单个设备中,新蒸汽和来自轮机抽出(抽出物)的蒸汽通过水分分离器和再热器的管状束循环。来源于轮机中的第一膨胀的蒸汽循环通过外壳内部并且通过再热器的管状束的外侧。将再加热出口处的蒸汽称为再加热蒸汽或简单地称为再加热的。

[0005] 这些电站中的再加热的目的是在低压轮机中的膨胀的最后步骤中获得较低的水分含量,针对会损坏轮机叶片的高速液滴的形成提供更好的保护,从而降低了其可用性。此外,实现了热循环效率的小幅增加。

[0006] 一旦膨胀,根据电站的特性和位置,通过相对冷的流体,海水、河水或来自冷却塔的水将蒸汽冷凝在冷却的冷凝器中。

[0007] 在大多数电站中,在通过为串联连接并且通过不同轮机蒸汽抽出进料的管壳式换热器的冷凝物预热器(三个或四个,取决于电站),增加冷凝物的温度之后,将冷凝蒸汽(或简单地说,冷凝物,如通常已知的)泵送至脱气器。其中将溶解在冷凝物中的不可冷凝气体去除的脱气器也通过轮机蒸汽抽出进料。在通过也为串联连接并且通过轮机蒸汽抽出进料的管壳式换热器的给水预热器(两个或三个,取决于电站)之后,根据电站的类型,通过给水泵将给水从脱气器再次泵入至反应器或蒸汽发生器。

[0008] 给水和冷凝物预热器的目的是生产更可再生并且因此更有效的循环。

[0009] 其反应器通过水冷却的大部分核电站的主要特征之一在于：由于反应器设计的固有局限性，使得新蒸汽处于极限压力和相应的饱和温度下。例如，在加压轻水反应器中，分别在 55 巴到 78 巴之间以及 270℃ 到 293℃ 之间的压力和温度值是常见的。因此，这些核电站的热循环产率小于现代化石燃料电站的产率（超过 10 个百分点的差值）。

[0010] 结果，由于湿蒸汽轮机在高压本体的入口处不具有过度加热（过加热）的蒸汽并且提供了低压本体下的低再加热，它们在达到较高的水分含量的蒸汽下允许，因此使得核电站需要湿蒸汽轮机。除了那些叶片的腐蚀，以及膨胀的最后步骤中的高振动和应力之外，水滴还碰撞叶片，使得包含在蒸汽中的水滴引起蒸汽轮机产率下降。另一方面，由于热循环的产率较低，因此这些轮机在高于具有高过度加热和再加热循环的轮机（蒸汽具有较少的热能 / 单位质量）的蒸汽质量流量下运行，以在电站中产生高电输出。蒸汽流量越高，膨胀的最后步骤的叶片必须越长，使得由于蒸汽的速度，卸载中的损失不会增加。由于较大的转动惯量，使得这导致了叶片中的高机械应力值。为了防止相同的情况，蒸汽轮机通常具有两个或三个串联连接的对称双流轮机的低压本体（其中，体积流量较高，并且因此叶片较长）。通常，除了蒸汽之外，通过用于进料在较低的温度下工作的冷凝物预热器的内部水分分离器，在膨胀的最后步骤中（并且有时也在高压和中压本体中）萃取水。尽管减小水滴的速度的影响的事实，所有这些问题也出现了，通常的做法是根据电站连接至其的格网的频率，将轮机的旋转速度减小至 1800rpm 或 1500rpm。

[0011] 在具有加压水反应器的一些核电站中，为了减小蒸汽发生器的尺寸（这些设施中设备的最大且最昂贵件之一），做出的决定是通过增加离开反应器的水的温度和离开蒸汽发生器的蒸汽的温度之间的差值来降低蒸汽产生压力，从而降低它们的成本但牺牲了热循环的产率。

[0012] 最终，其反应器通过水冷却的核电站的现有技术水平的分析表明：将期望更有效的热循环以便提高电站的效率并且降低膨胀蒸汽的水分含量，从而增加蒸汽轮机的使用寿命和可用性并且简化它们的设计。

[0013] 为了该目的，已经开发了试图通过借助于不同方法的过度加热或再加热蒸汽改善热循环的产率的方法。因此，例如，专利 GB 1, 029, 151 针对 PWR 电站研发了通过使用经由具有热流体的辅助回路的主回路能量部分，过度加热主蒸汽和最终再加热再加热蒸汽的方法。所述热流体进而将接收到的热转移至过度加热主蒸汽的交换器。将在低压轮机中的第二次膨胀之前再加热经再加热的蒸汽的交换器与上述的交换器串联设置。然而，以这种方式，在高压本体之前过度加热蒸汽优先，由此不能达到产率的最佳增加。

[0014] 根据专利 GB 1, 029, 151 中描述的构造，可用于过度加热蒸汽的温度增加由主回路和主蒸汽之间的温差确定。由此，甚至通过包括辅助电路的交换器中的必要的温度跃迁（主回路交换器 - 辅助回路和辅助回路交换器 - 主蒸汽）、蒸汽温度的增加，这种差别也相对较小，并且因此，限制了过度加热和再加热的优点：循环效率中的增加，以及高压轮机的排气口处的水分含量的降低，防止将损坏叶片的高速液滴的形成。

发明内容

[0015] 本发明的目的是克服前述部分中提及的技术问题。为此，本发明提出了一种用于增加加压水核电站中发电效率的方法，包括以下步骤：在进入轮机之前，过度加热来源于

蒸汽发生器的饱和或轻微湿蒸汽；用高压涡轮机抽出物再加热所述蒸汽并且使用来自反应器的新蒸汽再次对其进行再加热；再次再加热在之前步骤中再加热的蒸汽，在较高的温度下与热流体交换热；该再加热的蒸汽在蒸汽涡轮机的低本体中膨胀，然后，在来源于涡轮机抽出（抽出物）的水蒸气加热之后，冷凝并且再循环至蒸汽发生器。第一步骤中的过度加热和低涡轮机之前的再加热通过辅助热流体回路进行，其中用于过度加热和再加热的蒸汽并行工作。可以通过进而来自将来自反应器的部分水转移至交换器的第二辅助回路的加压水（在较高的温度下）进行与辅助回路的交换。可替换地，用于过度加热和再加热辅助回路的一种能源或多种能源可以在电站的外部，可以是优选的可再生能源（但不是必须的）。

[0016] 由于过度加热和再加热交换器的并联构造，因此相对于串联构造如现有技术水平中所描述的，可用于再加热的辅助回路的温度较高。

附图说明

[0017] 为了根据其优选的实用性实施方式帮助更好地理解本发明的特征的目的，一组附图附上以下说明，其中，已经用示例性特征描述了以下：

[0018] 图 1 示出了加压轻水（PWR）核电站的示意性构造。

[0019] 图 2 示出了根据本发明的构造，其中，反应器的热能的部分用于过度加热主蒸汽和再加热经再加热的蒸汽。

[0020] 图 3 是根据直接使用来自太阳能领域的热流体用于过度加热主蒸汽和再加热经再加热的蒸汽的实施方式的 PWR 电站的构造的示图。

[0021] 图 4 示出了根据借助于辅助加压水，使用来自太阳能领域的能量用于过度加热主蒸汽和再加热经再加热的蒸汽的实施方式的 PWR 构造的示图。

[0022] 图 5 示出了其中来源于处于串联位置的两种不同热源的能量用于过度加热主蒸汽和再加热借助于单个辅助回路再加热的蒸汽的构造。

具体实施方式

[0023] 本发明的方法包括热循环内的步骤，其包括增加再加热蒸汽的程度使得蒸汽涡轮机的中压和 / 或低压本体的产率增加，进一步减少包含在膨胀的最后步骤中的蒸汽的水分，减小液滴对于叶片的高速冲击的随后影响。从而减少了叶片中振动和磨损的相关问题，并且蒸汽涡轮机的可用性以及因此整个核电站的可用性增加。由于蒸汽到达蒸汽涡轮机，因此该方法还包括过度加热蒸汽的步骤，因此，增加每单位质量新蒸汽的热能和热循环的产率。

[0024] 具有外部热源

[0025] 在第一个方面，当在高压下具有高于首次离开反应器的热水的温度的热点温度的电站的实际反应器外部的一种或几种能源可获得或可以在电站附近建立时，本发明是可应用的。这些能源可以是可再生能源、化石燃料能源或甚至是核能源。

[0026] 在这种情况下，用于提高核电站的热循环的能源效率的方法包括以下步骤（图 3）：

[0027] a) 在给水在压力下通过其泵入至蒸汽发生器的再生循环中加热该给水之后，借助于进而由一种或几种外部热源加热的热交换流体在过热器（SH1）中过度加热在蒸汽发生

器中产生的饱和或轻微湿蒸汽。流体可以是加压水或任何其他流体,条件是:流体处于比饱和蒸汽高的温度下。

[0028] b) 过度加热的蒸汽在蒸汽轮机的高压本体中膨胀,获得了具有中压或低压以及通常小于 10% 的水分含量的蒸汽。

[0029] c) 通过至少一个水分分离器 (MS) 干燥步骤 b 中获得的蒸汽。

[0030] d) 在通过高压轮机抽出进料的第一再热器 (RH1) 中再加热步骤 c 中干燥的具有中压的蒸汽。

[0031] e) 在其中部分新蒸汽在步骤 a) 的过热器 (SH1) 作为热流体之前转移的换热器 (RH2) 中另外再加热在步骤 d 中的第一实例中再加热的蒸汽。

[0032] f) 在热流体 - 蒸汽换热器 (图 3 中的 RH3) 中另外再加热在第二实例中再加热的蒸汽,其中,加热流体是热流体 (进而接收来自外部源 (类似于或不同于段落 a 的源) 的能量) 的步骤 a 中的热流体)。

[0033] g) 步骤 f 中获得的再加热蒸汽直接在蒸汽轮机的低压本体中再加热。可替换地,膨胀可以在其出口处膨胀传至低轮机的中压本体中进行,在这种情况下,该低轮机中的入口压力小于缺少该中压步骤的轮机的压力。所有这些均取决于将装备有其的电站的轮机的构造。

[0034] h) 通过使用多个轮机汽提 (抽汽) 用于与二次所述水交换热并且在泵入至蒸汽发生器之前加热水,加热用于产生步骤 a 的饱和蒸汽的二次的冷凝水。

[0035] i) 在换热器 (SH1 和 RH3) 中,一旦热交换流体已经转移其热量,则热交换流体返回其中再次获得热能的外部热源 (一个或几个源)。

[0036] 可以从以下提及的来源之一或从其他类似来源获得从核电站外部提供的用于通过过度加热和再加热蒸汽改善蒸汽质量的能量:

[0037] 1) 可再生能源:用抛物面槽形收集器或具有定日镜或其他相似系统的中央塔的太阳热能,能够使用储热系统如固态或熔融盐,来源于固体城市废物的能量,来源于森林生物量 (生物群) 或来自用于该目的的作物的生物量 (生物群) 的能量,来源于生物量的固体、液体和气体燃料,地热能等。

[0038] 2) 非可再生能源:来源于工业过程的能源:精炼厂和其他化学工业、钢铁研磨机、用于发电同时产生热能的热电站;用于从化石燃料产生热流体的设备。

[0039] 3) 核能,包括来自称为快速增值反应器的反应器的能量,其中,将使得能够实现高温的各种流体 (氦、液体钠等) 用作冷却剂。

[0040] 相对于使用用于过度加热或再加热蒸汽的外部热源的现有技术,区别和改善是使用允许并联或串联连接几个热源并且保持从一个或多个外部热源分离的核回路的任何热流体的辅助回路。此外,这种构造允许包含来源于可再生能源的热源,如太阳能或生物量。

[0041] 无外部热源

[0042] 在实际反应器外部的热源不可获得的情况下,本发明将只适用于具有水或重水的加压水反应器 (PWR) 的核电站。在这种情况下,用于提高具有这种加压水反应器的核电站的热循环的能源效率的方法包括示出在图 2 中的以下步骤:

[0043] a) 通过反应器中的热传递加压和加热的部分初次水 (原生水) 进入位于安全壳房 (封闭建筑) 中的初次 - 辅助热流体 (A-A) 的水交换器,剩余部分进入蒸汽发生器,在再生

循环中加热之后,其通过管束循环用于与来源于蒸汽涡轮机的二次水交换热能,其在压力下从蒸汽轮机泵入蒸汽发生器以将其转化成饱和或轻微湿蒸汽。

[0044] b) 将在前述步骤 (A-A) 中提及的换热器中加热的辅助热流体分成两个蒸汽流:第一个过度加热主蒸汽(参见点 c),以及第二个再加热经再加热的蒸汽(参见点 h)。

[0045] c) 通过换热器 (SH1) 过度加热在蒸汽发生器中产生的饱和或轻微湿蒸汽,其中,热流体是来源于位于初次-热流体 (A-A) 的安全壳房水中的换热器的辅助热流体。

[0046] d) 过度加热的蒸汽在蒸汽轮机的高压本体中膨胀,可以获得具有中压、具有可以达到膨胀的最后步骤中的 10% 的等级的水分的蒸汽。

[0047] e) 通过至少一个水分分离器来干燥在步骤 d 中获得的蒸汽。

[0048] f) 在通过高压轮机抽出进料的第一再热器 (RH1) 中再加热在步骤 e 中干燥的具有中压的蒸汽。

[0049] g) 在用来源于一个或多个蒸汽发生器 (RH2) 的新蒸汽进料的第二再热器中,另外地再加热步骤 f) 中的再加热蒸汽。

[0050] h) 在通过点 b 的辅助热流体的第二蒸汽加热的第三再热器 (RH3) 中再次再加热在第二实例中再加热的蒸汽。

[0051] i) 步骤 e 中获得的再加热蒸汽直接在蒸汽轮机的低压本体中膨胀。可替换地,膨胀可以在其出口处膨胀传至低涡轮机的中压本体中进行,在这种情况下,该低涡轮机中的入口压力小于缺少该中压步骤的涡轮机的压力。

[0052] j) 通过使用多个涡轮机汽提用于与二次的所述水交换热并且在泵入蒸汽发生器之前加热水,加热用于产生步骤 a) 的饱和蒸汽的二次的冷凝水。

[0053] k) 一旦点 c 和 h 的辅助热流体已经将其热分别转移至新蒸汽和再加热的蒸汽,辅助热流体返回初次-辅助热流体 (A-A) 的水换热器以再次被加热。

[0054] 通过实例,将加压轻水核电站的传统构造(图 1)与根据本发明的具有辅助回路中的外部太阳能型热源 of 的加压轻水核电站的构造(图 4)相比较。

[0055] 在传统构造中,主饱和蒸汽(78 巴)在蒸汽轮机的高压本体中膨胀至 11 巴的压力,在出口处达到 15.2% 的水分含量。在通过水分分离器之后,用高压轮机汽提第一再加热和用主蒸汽第二再加热,在被引入其中其最终膨胀至 0.05 巴,具有 13.2% 的水分含量的低压蒸汽轮机中之前,蒸汽到达 10.47 巴和 278.5°C 的温度的条件。

[0056] 根据本发明的实施方案,蒸汽的过度加热和再加热将通过各自的通过其来源于接近太阳能领域的换热器的高压热水蒸汽(325°C 和 140 巴)将循环的热交换器进行。

[0057] 达到过度加热(图 4 中的 SH)的加压水蒸汽将其热量转移至主蒸汽,将其温度降低至 298°C。在进入其中其膨胀至 11.2 巴的压力,获得 13.5% 的水分含量的蒸汽轮机的高压本体之前,主蒸汽获得 7°C 的过度加热。在水分分离器之后,用蒸汽轮机的高压本体的汽提第一再加热以及用主蒸汽第二再加热,蒸汽在用其他加压水蒸汽的第三再热器中再次再加热,获得 10.47 巴和 300.5°C 的蒸汽条件。然后,蒸汽在轮机中膨胀至 0.05 巴的压力,获得 12.2% 的水分含量。

[0058] 一旦加压热水蒸汽转移它们的热量,它们被混合并且返回至其中它们通过来自接近太阳能领域的热流体被加热的太阳能热源,再次获得 325°C 的温度。

[0059] 总之,示出了具有两种构造的最重要的参数的表:

[0060]

	单位	传统的	本发明
反应器类型		PWR	PWR
反应器热功率	MWt	4,300	4,300
蒸汽涡轮机的入口处的 主蒸汽的压力	巴	75.6	75.6
蒸汽涡轮机的入口处的 主蒸汽的温度	°C	291	298.7
蒸汽的效价/蒸汽的过度 加热	%/°C	99.8%	7.7°C
第一次膨胀之后的水分	%	15.2	13.5
蒸汽涡轮机的入口处的 再加热蒸汽的压力	巴	10,47	10,47
再加热蒸汽的温度	°C	278.5	300.5
蒸汽的过度加热	°C	96.6	118.6

[0061]

第二次膨胀之后的水分 含量	%	13.2	12.2
蒸汽涡轮机的发生器 中的电输出	MWe	1,671.6	1,746.9
由接近太阳能领域提供 的热功率	MWt	NA	178
考虑到所有热源的电 站的总产率	%	38.87%	39.01%
来自外部能源的额外 功率	MWe	NA	75.3
附加的外部（太阳能） 能源的总产率	%	NA	42.3%

[0062] 根据表 1, 直接推导出的是主蒸汽和再加热蒸汽的过度加热程度的轻微增加导致上述的技术效果。一方面, 在这种情况下, 其将电站的总产率提高了 0.36% (0.14 点差距); 并且另一方面, 其降低了高压涡轮机和低压涡轮机中的排气出口处的水分, 从而改善了其产率并且降低了叶片的腐蚀影响。

[0063] 两种加压水蒸汽的并联（并行）构造使得过度加热的蒸汽和再加热的蒸汽到达外部源的最大可获得的温度, 其在辅助中间交换器的必要温度跃迁下, 接近于 300°C。在系列构造下, 初次通过过热器（其中, 将实现相同温度）, 加压水蒸汽的温度将下降, 因此, 对于再热器的最大可获得的温度将减小。这将引起在进入涡轮机之前再加热的蒸汽的温度低于

300℃, 并且因此, 效率的提高和水分的降低也将较小。

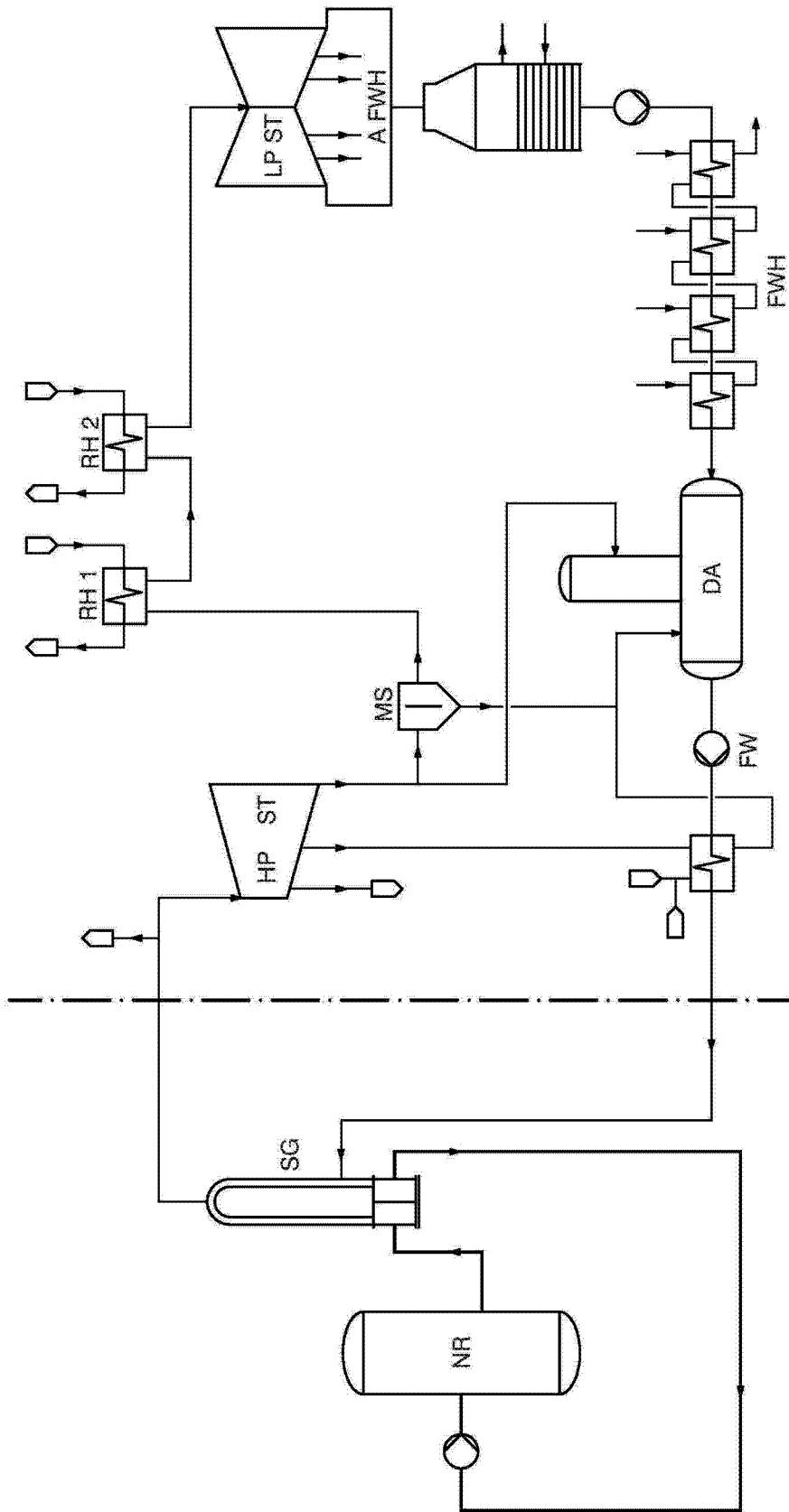


图 1

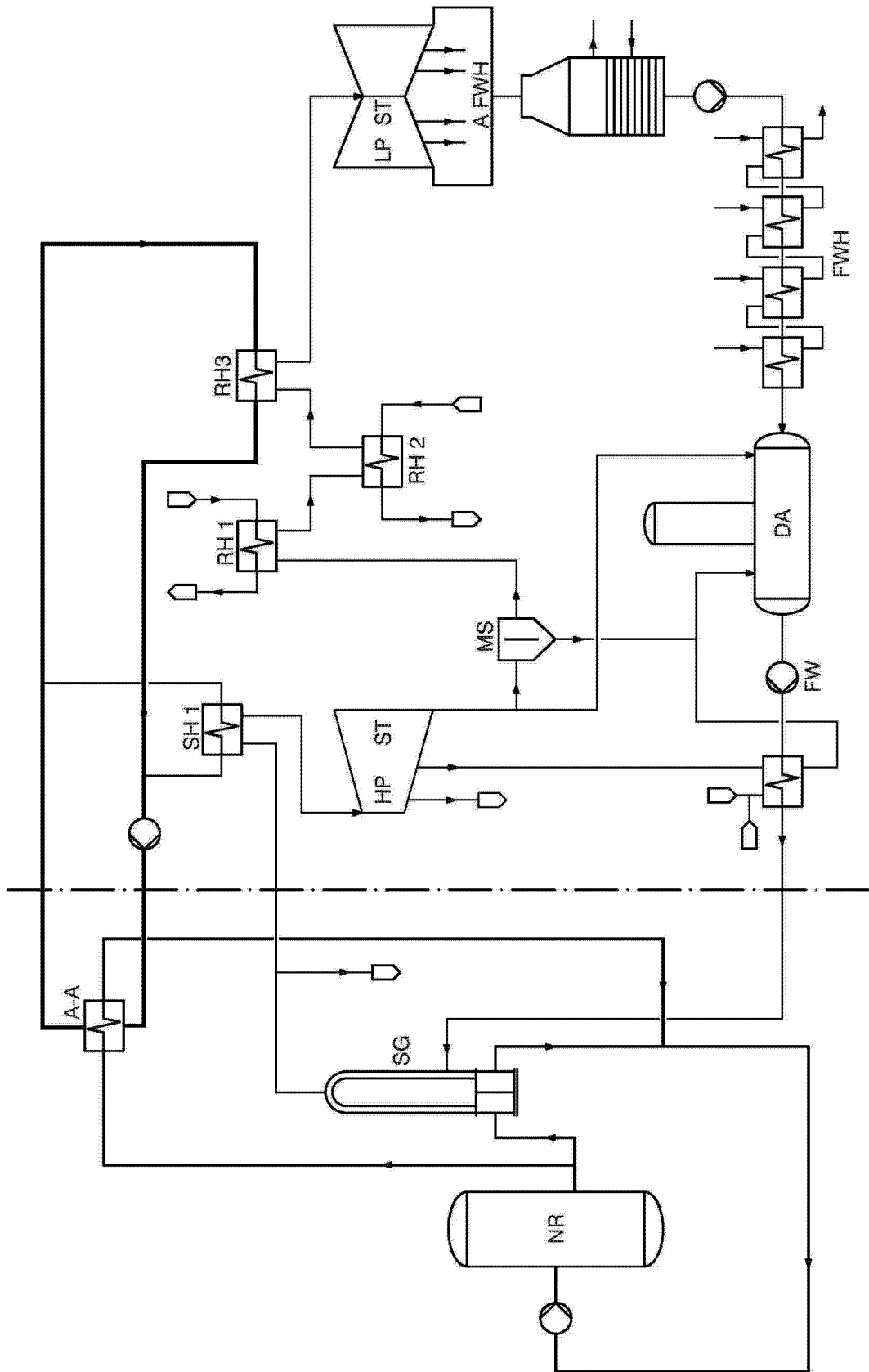


图 2

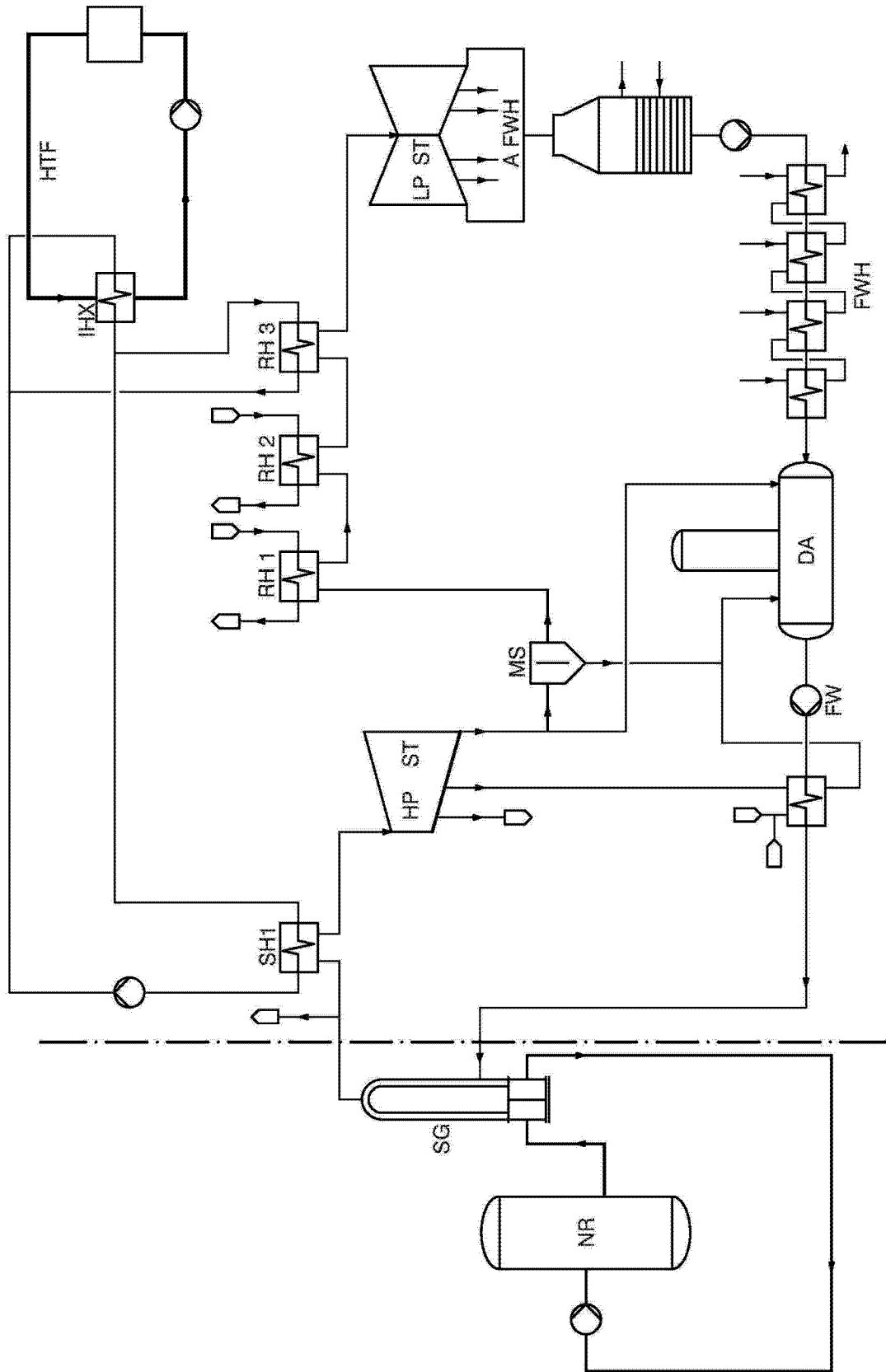


图 3

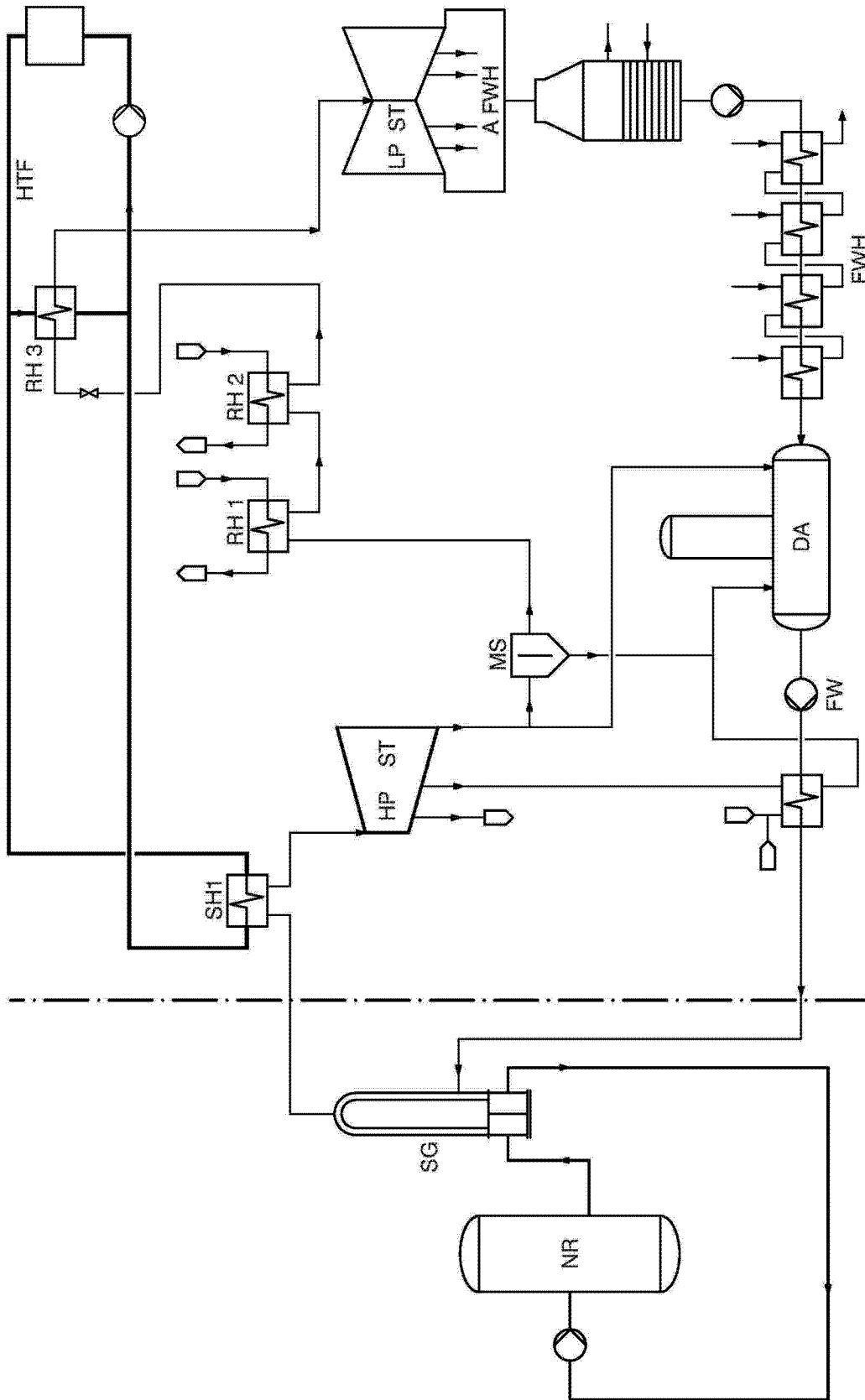


图 4

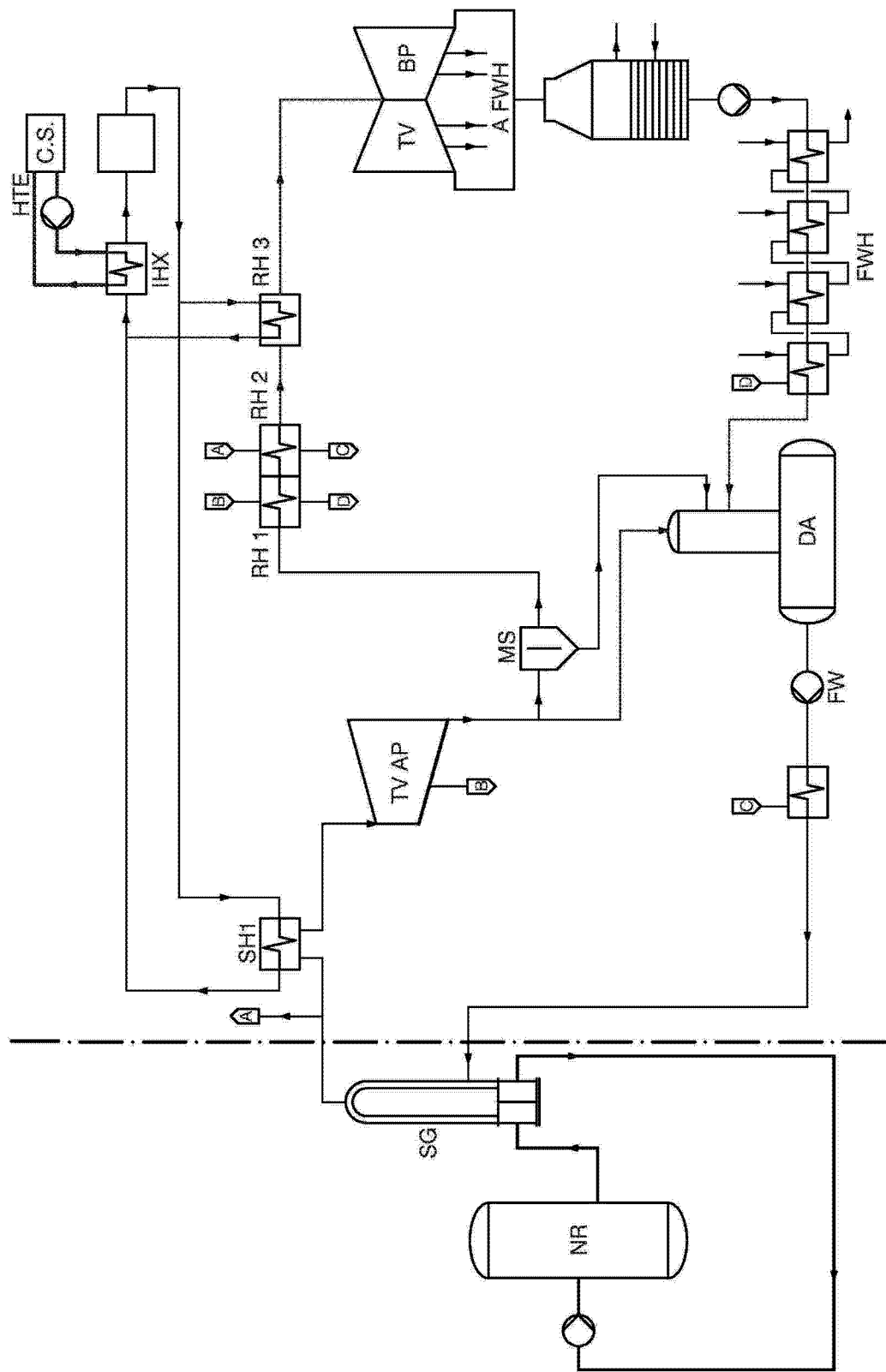


图 5