

(19)



(11)

EP 2 655 813 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
19.04.2017 Patentblatt 2017/16

(51) Int Cl.:
F01K 25/10^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **11802103.9**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2011/073920

(22) Anmeldetag: **23.12.2011**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2012/085264 (28.06.2012 Gazette 2012/26)

(54) **ABWÄRMENUTZUNGSANLAGE**

WASTE HEAT RECOVERY INSTALLATION

INSTALLATION À RÉCUPÉRATION DE CHALEUR PERDUE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **24.12.2010 DE 102010056299**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
30.10.2013 Patentblatt 2013/44

(73) Patentinhaber: **Robert Bosch GmbH**
70442 Stuttgart (DE)

(72) Erfinder:
• **MÜLLER, Stefan**
35043 Marburg (DE)

- **HERRMANN, Konrad**
35440 Linden (DE)
- **TEMELCI-ANDON, Anayet**
35457 Lollar (DE)
- **KÖHLER, Harald**
35463 Fernwald (DE)

(56) Entgegenhaltungen:

WO-A1-2011/146388	WO-A1-2011/149916
WO-A2-2007/088194	JP-A- 2005 264 863
US-A1- 2007 007 771	US-A1- 2008 252 077
US-A1- 2009 277 400	

EP 2 655 813 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Abwärmenutzungsanlage nach dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

[0002] Bei einem ORC (Organic-Rankine-Cycle) handelt es sich um einen thermodynamischen Kreisprozess nach Rankine. Dies bedeutet, dass ein Arbeitsmedium verschiedene thermodynamische Zustände durchläuft, um am Ende wieder in den flüssigen Ausgangszustand überführt zu werden. Dabei wird das Arbeitsmedium mit einer Pumpe auf ein höheres Druckniveau gebracht. Danach wird das Arbeitsmedium auf die Verdampfungstemperatur vorgewärmt und anschließend verdampft.

[0003] Es handelt sich somit um einen Dampfprozess, bei dem an Stelle von Wasser ein organisches Medium verdampft wird. Der entstandene Dampf treibt eine Expansionsmaschine an, beispielsweise eine Turbine, einen Kolben- oder Schraubenmotor, welcher wiederum mit einem elektrischen Generator gekoppelt ist, um Strom zu erzeugen. Nach der Arbeitsmaschine gelangt das Prozessmedium in einen Verflüssiger und wird dort unter Wärmeabgabe zurückgekühlt. Da Wasser unter atmosphärischen Bedingungen bei 100 °C verdampft, kann Wärme auf einem niedrigen Temperaturniveau, wie zum Beispiel Industrieabwärme oder Erdwärme, oftmals nicht zur Stromerzeugung genutzt werden. Verwendet man allerdings organische Medien mit niedrigeren Siedetemperaturen, so lässt sich Niedertemperaturdampf erzeugen.

[0004] Vorteilhaft in der Anwendung sind ORC-Anlagen beispielsweise auch bei der Verwertung von Biomasse im Zusammenhang mit Kraft-Wärme-Kopplung, insbesondere bei relativ kleinen Leistungen, also wenn die herkömmliche Biomasse-Feuerungstechnik relativ teuer erscheint. Biomasseanlagen besitzen häufig einen Fermenter zur Biogaserzeugung, welcher in der Regel beheizt werden muss.

[0005] Gattungsgemäße Abwärmenutzungsanlagen sind aus dem Bereich der Kraft-Wärme-Kopplung bekannt und bestehen aus einem mit einem nachgeschalteten ORC kombinierten BHKW, also einem Blockheizkraftwerk. Aus der DE 195 41 521 A1 geht eine Anlage zur Steigerung des elektrischen Wirkungsgrades bei der Verstromung von Sondergasen mittels Verbrennungsmotoren hervor, bei der die Abwärme des Motors in einer nachgeschalteten Energieumwandlungsanlage zur weiteren Stromerzeugung genutzt wird. Allerdings ist dabei nur die Hochtemperaturwärme aus dem Kühlwasserkreislauf sowie aus dem Abgaswärmetauscher des Motors zur Verwertung vorgesehen.

[0006] Weiterhin ist aus der US 4 901 531 ein in einen Rankine-Prozess integriertes Diesel-Aggregat bekannt, wobei ein Zylinder der Expansion gemäß Rankine dient und die anderen als Dieselmotor arbeiten. Aus der US 4 334 409 geht eine nach dem Rankine-Prozess arbeitende Anordnung hervor, bei der das Arbeitsfluid mit einem Wärmetauscher vorgeheizt wird, über den die Luft aus dem Auslass eines Kompressors einer Maschine mit in-

nerer Verbrennung geführt ist.

[0007] Blockheizkraftwerke (BHKW) als Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung sind allgemein bekannt. Es handelt sich dabei um dezentrale, meistens mit Verbrennungskraftmaschinen angetriebene Stromerzeugungsanlagen mit gleichzeitiger Abwärmenutzung. Die bei der Verbrennung über die Kühlmedien ausgetragene Wärme wird dabei möglichst vollständig zur Beheizung geeigneter Objekte genutzt.

[0008] Insbesondere bei Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mit nachgeschaltetem ORC als Abwärmekraftwerk haben sich Maschinen durchgesetzt, die auf Motoren mit einem Abgasturbolader zur Aufladung basieren. Man kommt damit der Forderung nach Maschinen mit sehr hohen elektrischen Wirkungsgraden nach, die sich nur mit Turboaufladung und Rückkühlung des durch die Verdichtung erhitzten Brenngasgemisches erreichen lassen. Generell ist eine Kühlung des Brenngasgemisches erforderlich, weil ansonsten die Füllung der Zylinder relativ schlecht wäre. Mit der Kühlung wird die Dichte des angesaugten Gemisches größer und es verbessert sich der Füllungsgrad. Damit steigen die Leistungsausbeute und der mechanische Wirkungsgrad des Motors.

[0009] Die Motorenhersteller schreiben für die Gemischkühlung eine Kühlwassereintrittstemperatur von nur etwa 40 bis 50 °C vor, damit das Gemisch genügend abgekühlt werden kann. Da dieses Temperaturniveau relativ niedrig ist, wird die dem Brenngasgemisch entzogene Wärme bei den bisher bekannten Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen an die Umgebung abgegeben, beispielsweise mit einem Tischkühler.

[0010] Bekannt ist weiterhin aus der DE 10 2005 048 795 B3 die Vorwärmung des Arbeitsmediums im ORC in zwei Schritten in einer Beheizungsanordnung, nämlich dass das Prozessmedium im ORC über zwei in Reihe einer Speisepumpe nachgeschaltete Wärmetauscher erwärmt wird, wobei der erste Wärmetauscher nach der Speisepumpe als erste Stufe zur Einkopplung von Niedertemperaturwärme und der nachfolgende Wärmetauscher als zweite Stufe zur Einkopplung von Hochtemperaturwärme vorgesehen ist. Dabei ist die Gemischkühlung der Verbrennungskraftmaschine über einen Kreislauf mit dem ersten Wärmetauscher nach der Speisepumpe verbunden, wobei die Wärme aus der Kühlung des von der Verbrennungskraftmaschine angesaugten Brenngasgemisches zur Vorwärmung des Prozessmediums im ORC dient und als Niedertemperaturwärme im ersten Wärmetauscher eingekoppelt wird. Ein zweiter Heizkreislauf bezieht Wärme aus Motorkühlwasser und Abgas der Verbrennungskraftmaschine und ist mit dem zweiten Wärmetauscher nach der Speisepumpe verbunden, wobei die Wärme aus dem Kühlkreislauf und dem Abgas zur Überhitzung und Verdampfung des Prozessmediums im ORC dient und als Hochtemperaturwärme im zweiten Wärmetauscher nach der Speisepumpe eingekoppelt wird.

[0011] Bekannt ist weiterhin aus der US 2009/277400 und der WO 2007/088194 einen ORC-Kreislauf auf-

weisende Abwärmenutzungsanlage, wobei die Kühlung des Generators und der Lager des Turbogenerators durch das Kondensat des Arbeitsmediums erfolgt. Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zu Grunde, eine aus einem einer Abwärmequelle nachgeschalteten ORC bestehende Abwärmenutzungsanlage im Hinblick auf Aufbau und sicheres Betriebsverhalten zu optimieren.

[0012] Erfindungsgemäß wird dies mit den Merkmalen des Patentanspruches 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind den Unteransprüchen zu entnehmen.

[0013] Die Abwärmenutzungsanlage besteht unter anderem aus einer Expansionsmaschine zur Dampfexpansion im ORC, welche eine magnetische Lagerung mit einer zugeordneten Regeleinrichtung und einer Stromversorgung über einen Gleichstrom-Zwischenkreis eines Generator-Frequenzumrichters aufweist. Gekennzeichnet ist die Abwärmenutzungsanlage durch eine mit dem Kältemittel aus dem ORC-Kreislauf gekühlte Einheit aus Expansionsmaschine, Generator und Frequenzumrichter. Dazu wird erfindungsgemäß kühles, flüssiges Kältemittel nach der Speisepumpe entnommen und zur Kühlung der Einheit aus Expansionsmaschine, Generator und Frequenzumrichter zugeführt. Erfindungsgemäß wird das kühle, flüssige Kältemittel nach der Speisepumpe entnommen und direkt der Expansionsmaschine zur Lagerkühlung zugeführt.

[0014] Weiterhin wird erfindungsgemäß erwärmtes, aus der Einheit aus Expansionsmaschine, Generator und Frequenzumrichter und/oder dem Lagerbereich der Expansionsmaschine austretendes Kältemittel dem Verflüssiger eintrittsseitig zugeführt.

[0015] Beispielsweise handelt es sich um Temperaturbereiche des zur Kühlung eingesetzten Kältemittels von etwa 15 °C bis 50 °C auf der Eintrittsseite und etwa 30 °C bis 80 °C auf der Austrittsseite, wobei die jeweiligen Temperaturen vom aktuellen Betriebszustand zu kühlender Bauteile und/oder Baugruppen sowie der gesamten Abwärmenutzungsanlage abhängen.

[0016] Erfindungsgemäß ist eine mit einer übergeordneten Regeleinrichtung verknüpfte Temperaturüberwachungseinrichtung mit Temperaturmessstellen in den zu kühlenden Bauteilen und/oder Baugruppen vorgesehen. Diese vergleicht aktuelle Temperaturmesswerte mit vorgebbaren Sollwerten, wertet diese aus und/oder regelt dementsprechend optimiert den Kältemitteldurchsatz. Dabei sind vorzugsweise für die zu kühlenden Bauteile und/oder Baugruppen getrennte Regelkreise mit getrennten Kühlkanälen oder entsprechenden Leitungen vorgesehen. Diese einzelnen, den jeweils zu kühlenden Bauteilen und/oder Baugruppen zugeordneten Regelkreise, weisen Ventile, vorzugsweise Magnetventile, zur Steuerung des Kältemitteldurchsatzes auf, um optimal der jeweiligen örtlichen Temperatursituation gerecht zu werden.

[0017] Mit der Erfindung werden Aufbau und Betriebsverhalten einer Abwärmenutzungsanlage, welche aus einem einer Abwärmequelle nachgeschalteten ORC besteht, optimiert. Abwärmequellen können beispielsweise

Blockheizkraftwerke, Industrieanlagen oder Kesselanlagen sein.

[0018] Die Abwärmenutzungsanlage, insbesondere die Einheit aus Expansionsmaschine, Generator und Frequenzumrichter, wird mit den erfindungsgemäßen Maßnahmen optimal und situationsgerecht gekühlt. Einerseits ist dies Voraussetzung für einen sicheren, robusten Anlagenbetrieb, aber andererseits auch für einen effektiven und schonenden Betrieb der einzelnen Komponenten, welche allesamt spezielle Anforderungen in Bezug auf Kühlung haben. Dies betrifft nicht nur den stationären Betrieb der Abwärmenutzungsanlage, sondern auch das Modulieren des Systems entsprechend es Abwärmefalls sowie das An- und Abfahren. Insbesondere diese Zustände stellen für das Kühlsystem eine Herausforderung dar und bieten erfindungsgemäß eine sichere Beherrschung.

[0019] Zum Beispiel wird in der Startphase eine maximale Betriebssicherheit und Schutz vor Kältemittelkondensation erreicht, wenn der mit dem motorisch betriebenen Generator gekoppelte Hochlauf der Expansionsmaschine ohne Kältemittelbeaufschlagung im ORC-Kreislauf stattfindet. Weil auf der Kühlungsseite der dafür eingesetzte Kältemittel-Teilstrom über die Generatoreinheit geführt wird, nimmt dieser dort die durch mechanische Verluste entstehende Wärme während des motorischen Betriebes auf. Das Kühlmedium strömt danach durch das Gehäuse der Expansionsmaschine, gibt dort Wärme ab und sorgt dadurch in der Startphase zunächst für eine Vorwärmung.

[0020] Die Zeichnung stellt ein Ausführungsbeispiel der Erfindung dar und zeigt in einer einzigen Figur den schematischen Aufbau einer Abwärmenutzungsanlage, bestehend aus einem dieser nachgeschalteten ORC.

[0021] Die für den ORC betriebswichtigen Komponenten sind ein ORC-Kreislauf 1, eine Speisepumpe 2, ein Verdampfer 3, eine Expansionsmaschine 4 zur Dampfexpansion, welche mit einem Generator 5 gekoppelt ist, ein Verflüssiger 6 für die Rückkühlung über eine Wärmesenke 7 sowie die Wärmetauscher 9, 10 zur Vorwärmung des Arbeitsmediums im ORC-Kreislauf 1.

[0022] Die beiden Wärmetauscher 8, 9 sind in Reihe der Speisepumpe 2 nachgeschaltet. Dabei dient der erste Wärmetauscher 8 nach der Speisepumpe 2 als erste Stufe zur Einkopplung von Niedertemperaturwärme und der nachfolgende Wärmetauscher 9 als zweite Stufe zur Einkopplung von Hochtemperaturwärme aus einer Abwärmequelle 10.

[0023] Ein zweiter Heizkreislauf 11 ist mit seinem Vorlaufbereich mit dem Verdampfer 3 des ORC verbunden, weil das Temperaturniveau zunächst ausreichend hoch für dessen direkte Beheizung ist. Danach mündet der zweite Heizkreislauf 11 rücklaufseitig in den zweiten Wärmetauscher 9 und gibt dort noch vorhandene Restwärme an den ORC ab.

[0024] Ein flüssiger Kältemittel-Teilstrom 12 zur Kühlung der Expansionsmaschine 4 wird abgezweigt und zunächst durch den Generator 5 geführt. Danach strömt

das Kühlmedium durch das Gehäuse der Expansionsmaschine 4, gibt dort in der Startphase zur Vorwärmung zunächst für Wärme ab und sorgt dort im Normalbetrieb für ausreichende Wärmeabfuhr. Gezeichnet ist dazu nur eine vereinfachte, schematische Leitungsführung ohne die notwendigen Abzweigungen zu einzelnen Bauteilen oder Baugruppen, Teilkreise, Temperaturmessstellen, Ventile und Regeleinrichtungen.

[0025] Beim Erreichen einer Mindest-Startdrehzahl wird ein Dampfventil 13 am Einlass der Expansionsmaschine 4 zur Dampfexpansion im ORC geöffnet und während des weiteren Öffnens des Dampfventils 13 erfolgt ein weiteres Hochfahren der Drehzahl, so dass der Generator 5 vom motorischen Betrieb in den normalen Generatorbetrieb übergeht.

[0026] Um die Expansionsmaschine 4 herum ist ein geregelter Bypass 14 mit mindestens einem Drosselventil 15 vorgesehen. Dieser Bypass 14 ist in der Startphase, also bei noch relativ niedriger Temperatur des Arbeitsmediums, zunächst geöffnet. Damit wird das Arbeitsmedium um die Expansionsmaschine 4 herum geleitet. Sobald der ORC-Kreislauf 1 seinen Soll-Betriebszustand erreicht hat, wird das Drosselventil 15 im Bypass 14 geschlossen und das der Expansionsmaschine 4 vorgeschaltete Dampfventil 13 geöffnet.

Patentansprüche

1. Abwärmenutzungsanlage für eine Abwärmequelle (10), bestehend aus einem dieser nachgeschalteten ORC (Organic-Rankine-Cycle), wobei die Abwärmequelle (10) mit der Beheizungsanordnung des ORC in Verbindung steht, sowie mit einer mit einem Generator (5) gekoppelten Expansionsmaschine (4) zur Dampfexpansion im ORC, welche eine magnetische Lagerung mit einer zugeordneten Regeleinrichtung und einer Stromversorgung über einen Gleichstrom-Zwischenkreis eines Generator-Frequenzumrichters aufweist, wobei eine Einheit aus Expansionsmaschine (4), Generator (5) und Frequenzumrichter mit dem Kältemittel aus dem ORC-Kreislauf gekühlt wird, wobei kühles, flüssiges Kältemittel nach der Speisepumpe (2) entnommen und zur Kühlung der Einheit aus Expansionsmaschine (4), Generator (5) und Frequenzumrichter zugeführt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** weiterhin kühles, flüssiges Kältemittel nach der Speisepumpe (2) entnommen und der Expansionsmaschine (4) zur Lagerkühlung zugeführt wird, und wobei erwärmtes, aus der Einheit aus Expansionsmaschine (4), Generator (5) und Frequenzumrichter und/oder dem Lagerbereich der Expansionsmaschine (4) austretendes Kältemittel dem Verflüssiger (6) eintrittsseitig zugeführt wird, und wobei eine mit einer übergeordneten Regeleinrichtung verknüpfte Temperaturüberwachungseinrichtung mit Temperaturmessstellen in den zu kühlenden Bauteile und/oder Baugrup-

pen vorgesehen wird, welche aktuelle Temperaturmesswerte mit vorgebbaren Sollwerten vergleicht, auswertet und/oder den Kältemitteldurchsatz regelt.

2. Abwärmenutzungsanlage nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** für die zu kühlenden Bauteile und/oder Baugruppen getrennte Regelkreise vorgesehen sind, um den Kältemitteldurchsatz zu regeln.
3. Abwärmenutzungsanlage nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** in den jeweils zu kühlenden Bauteilen und/oder Baugruppen zugeordneten Regelkreise Ventile zur Steuerung des Kältemitteldurchsatzes vorgesehen sind.

Claims

1. Waste heat recovery installation for a waste heat source (10), consisting of an ORC (Organic Rankine Cycle) arranged downstream thereof, the waste heat source (10) being in connection with the heating device of the ORC, and with an expansion machine (4) coupled to a generator (5) for the steam expansion in the ORC, said expansion machine comprising a magnetic bearing with an assigned control device and a power supply unit via a DC link of a generator frequency converter, wherein a unit comprising the expansion machine (4), the generator (5) and the frequency converter is cooled by the refrigerant from the ORC circuit, wherein cool, liquid refrigerant is removed downstream of the feed pump (2) and supplied for cooling the unit comprising the expansion machine (4), the generator (5) and the frequency converter, **characterized in that** cool, liquid refrigerant is removed downstream of the feed pump (2) and supplied to the expansion machine (4) for cooling the bearing, and wherein heated refrigerant leaving the unit comprising the expansion machine (4), the generator (5) and the frequency converter and/or the bearing region of the expansion machine (4) is supplied to the inlet side of the liquefier (6), and wherein a temperature monitoring device which is connected up to a higher-level control device and has temperature measuring points is provided in the components and/or subassemblies to be cooled and compares and evaluates current measured temperature values with predeterminable setpoint values and/or controls the throughput of refrigerant.
2. Waste heat recovery installation according to Claim 1, **characterized in that** separate control circuits for controlling the refrigerant throughput are provided for the assemblies and/or subassemblies to be

cooled.

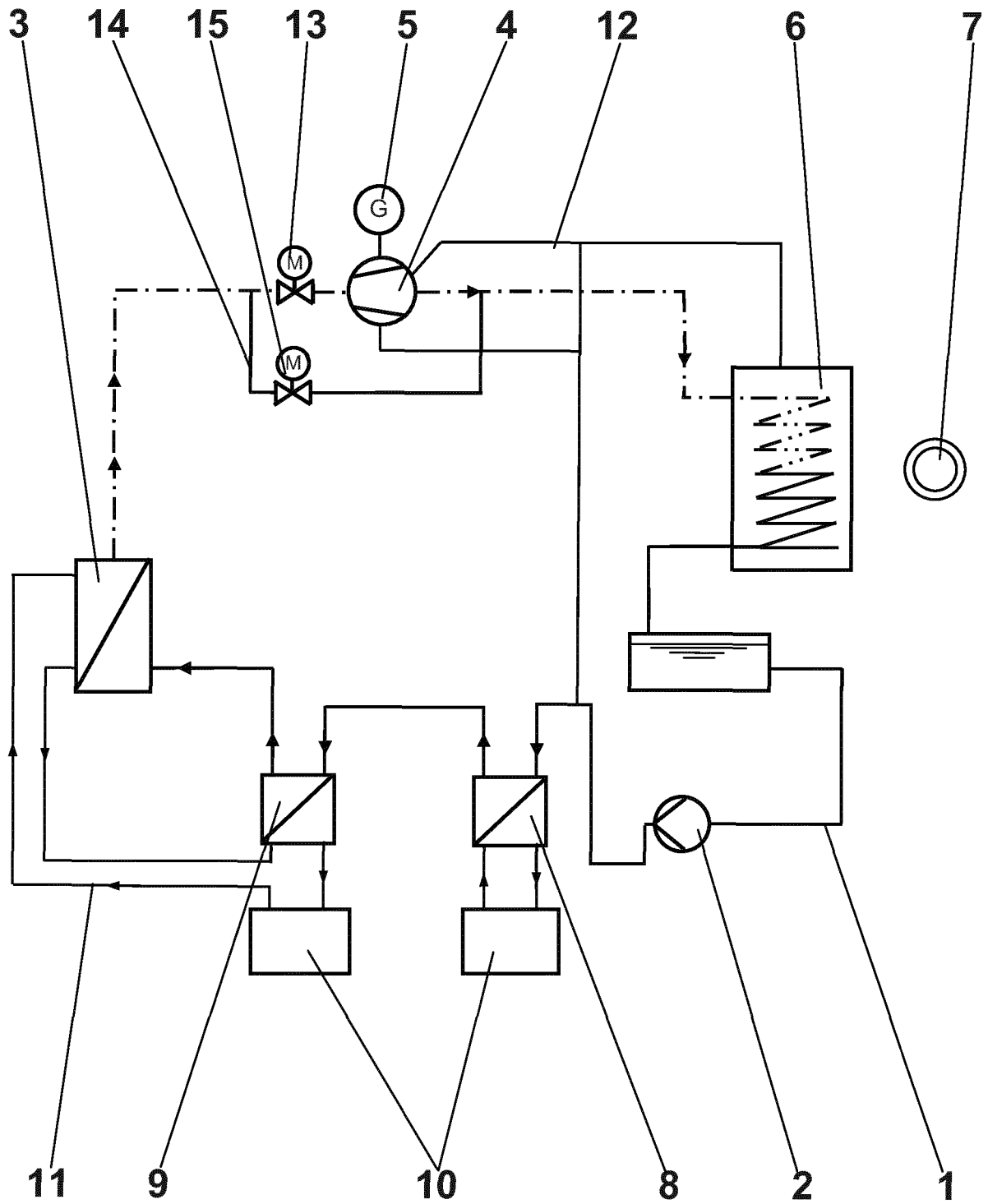
3. Waste heat recovery installation according to Claim 2,
characterized in that valves for controlling the refrigerant throughput are provided in the control circuits that are respectively assigned to components and/or subassemblies to be cooled.

Revendications

1. Installation de récupération de chaleur perdue pour une source de chaleur perdue (10), comprenant un cycle de Rankine à Caloporteur Organique (ORC) montée en aval de cette dernière, dans laquelle la source de chaleur perdue (10) est reliée au dispositif de chauffage du dispositif à ORC, ainsi qu'à une machine à expansion (4) qui est couplée à un générateur (5) et est destinée à l'expansion de vapeur dans le dispositif à ORC, laquelle machine à expansion présente un palier magnétique doté d'un dispositif de régulation associé et d'une alimentation électrique par l'intermédiaire d'un circuit intermédiaire à courant continu d'un convertisseur de fréquence d'un générateur, dans laquelle une unité constituée de la machine à expansion (4), du générateur (5) et du convertisseur de fréquence est refroidie par l'agent caloporteur provenant du circuit ORC, dans lequel un agent caloporteur fluide froid est prélevé en aval de la pompe d'alimentation (2) et est acheminé pour le refroidissement de l'unité constituée de la machine à expansion (4), du générateur (5) et du convertisseur de fréquence, **caractérisée en ce que** l'agent caloporteur fluide froid est prélevé en aval de la pompe d'alimentation (2) et est acheminé à la machine à expansion (4) pour le refroidissement des paliers et dans lequel du fluide caloporteur sortant de l'unité constituée de la machine à expansion (4), du générateur (5) et du convertisseur de fréquence et/ou de la zone de palier de la machine à expansion (4) est acheminé côté entrée vers le condenseur (6), et dans lequel il est prévu un dispositif de surveillance de température combiné à un dispositif de régulation d'ordre supérieur comportant des points de mesure de température dans les composants et/ou les modules à refroidir, lequel dispositif de surveillance de température compare des valeurs de mesure de température actuelles à des valeurs théoriques pouvant être prédéterminées, les évalue et/ou régule le débit d'agent caloporteur.
2. Installation de récupération de chaleur perdue selon la revendication 1,
caractérisée en ce qu'il est prévu des circuits de régulation séparés pour des composants et/ou des

groupes de composants à refroidir afin de réguler le débit d'agent caloporteur.

3. Installation de récupération de chaleur perdue selon la revendication 2,
caractérisée en ce qu'il est prévu des soupapes destinées à commander le débit d'agent caloporteur dans des circuits régulateurs respectivement associés aux composants et/ou aux groupes de composants à refroidir.



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 19541521 A1 [0005]
- US 4901531 A [0006]
- US 4334409 A [0006]
- DE 102005048795 B3 [0010]
- US 2009277400 A [0011]
- WO 2007088194 A [0011]