



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
24.06.2015 Patentblatt 2015/26

(51) Int Cl.:
F01K 9/00 (2006.01) **F01K 13/02** (2006.01)
F01K 25/08 (2006.01) **F28B 1/06** (2006.01)
F28B 11/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **13198793.5**

(22) Anmeldetag: **20.12.2013**

(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
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(72) Erfinder:
• **Springer, Jens-Patrick**
81371 München (DE)
• **Grill, Andreas**
81667 München (DE)

(71) Anmelder: **Orcan Energy GmbH**
81379 München (DE)

(74) Vertreter: **Grünecker Patent- und Rechtsanwälte PartG mbB**
Leopoldstraße 4
80802 München (DE)

(54) **Verfahren zur Regelung eines Kondensators in einer thermischen Kreisprozessvorrichtung**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines Kondensators (5) in einer thermischen Kreisprozessvorrichtung, insbesondere in einer ORC Vorrichtung, wobei die thermische Kreisprozessvorrichtung eine Speisepumpe (1) zum Fördern von flüssigem Arbeitsmedium unter Druckerhöhung zu einem Verdampfer, den Verdampfer (2) zum Verdampfen und optional zusätzlichen Überhitzen des Arbeitsmediums unter Zuführung von Wärme, eine Expansionsmaschine (3) zum Erzeugen von mechanischer Energie durch Entspannen des verdampften Arbeitsmediums, einen Generator (4) zum zumindest teilweisen Wandeln der mechanischen Energie in elektrischer Energie, und den Kondensator (5) zum

Kondensieren des entspannten Arbeitsmediums umfasst, und wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst: Ermitteln einer Drehzahl (6) des Generators oder der Expansionsmaschine; temperatursensorloses Ermitteln einer Temperatur von dem Kondensator zugeführter Kühlluft; Ermitteln eines Kondensationssolldrucks, bei welchem die elektrische Nettoleistung der thermischen Kreisprozessvorrichtung maximal ist, aus der ermittelten Generator- oder Expansionsmaschinendrehzahl und der ermittelten Kühllufttemperatur; und Steuern oder Regeln des Kondensationsdrucks mit dem Kondensationssolldruck als Zielwert mittels Einstellen einer Kondensatorlüfterdrehzahl.

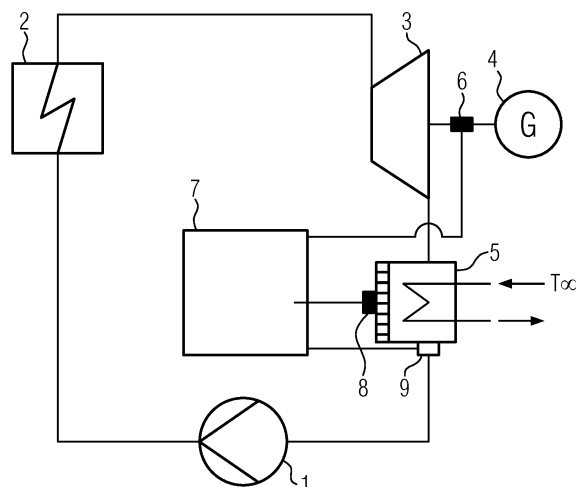


FIG. 1

Beschreibung**Gebiet der Erfindung**

- 5 **[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines Kondensators in einer thermischen Kreisprozessvorrichtung, insbesondere in einer ORC Vorrichtung und eine entsprechende Vorrichtung.

Stand der Technik

- 10 **[0002]** Ein System zur Gewinnung von elektrischer Energie aus Wärmeenergie mit dem Organic Rankine Cycle als thermodynamischen Kreisprozess (ORC System), besteht aus den folgenden Hauptkomponenten: Eine Speisepumpe, die das flüssige Arbeitsmedium unter Druckerhöhung zu einem Verdampfer fördert, dem Verdampfer selbst, in dem das Arbeitsmedium unter Zuführung von Wärme verdampft und optional zusätzlich überhitzt wird, eine Expansionsmaschine, in welcher der unter hohem Druck stehende Dampf entspannt wird und dabei mechanische Energie erzeugt, welche
15 über einen Generator zu elektrischer Energie gewandelt wird, und einem Kondensator, in dem der Niederdruckdampf aus der Expansionsmaschine verflüssigt wird. Aus dem Kondensator gelangt das flüssige Arbeitsmedium über einen optionalen Vorratsbehälter (Speisebehälter) und eine Saugleitung wieder zur Speisepumpe des Systems.

- [0003]** Zu jedem Lastzustand einer ORC-Anlage existiert ein Kondensationsdruck, der die Nettoleistung innerhalb der Anlagenspezifikation maximiert (optimaler Kondensationsdruck). Der Kondensationsdruck bezeichnet hier und im Folgenden den Druck am Auslass des Kondensators.

- 20 **[0004]** Die aus dem ORC-Prozess resultierende nutzbare elektrische Leistung ist die Nettoleistung. Diese setzt sich aus der Bruttoleistung abzüglich des Eigenbedarfs der Anlage zusammen. Der Eigenbedarf setzt sich aus vom Lastzustand unabhängigen Größen, wie zum Beispiel der Stromversorgung der Steuerung, und vom Lastzustand abhängigen Größen zusammen. Wichtige abhängige Größen sind der Leistungsbedarf der Speisepumpe und der Leistungsbedarf des Ventilators oder der Ventilatoren des Kondensators. Bei Leistungsbedarf des Ventilators des Kondensators zeigt sich ein sehr starker, überproportionaler Zusammenhang zwischen dem Eigenverbrauch und der Ventilatordrehzahl. Bei höherer Drehzahl sinkt der Kondensationsdruck, womit sich das Enthalpiegefälle der vorgelagerten Expansionsmaschine erhöht. Damit kann diese eine höhere (Brutto-) Leistung erzielen. Es stellt sich nun die Frage, ob diese Erhöhung der Bruttoleistung den gestiegenen Eigenbedarf durch die erhöhte elektrische Leistungsaufnahme des Kondensatorventilators übersteigt oder nicht.

- 30 **[0005]** Es muss nun betrachtet werden, wie sich der Eigenbedarf und die Bruttoleistung bei gegebenen Umgebungsbedingungen über den Kondensationsdruck verhalten. An dem Punkt, an dem die Bruttoleistung langsamer steigt als der Eigenbedarf des Kondensators abfällt, liegt das Optimum des Kondensationsdrucks in einem gegebenen Lastzustand. Welcher Kondensationsdruck optimal ist, hängt vom Anlagenzustand ab. Der Zustand der Anlage wird durch zwei
35 Faktoren beeinflusst: Die aktuelle Leistung (Thermische Leistung, Bruttoleistung) und die Umgebungsbedingungen (Temperatur).

- [0006]** Der Kondensator soll also immer auf den Druck regeln, bei dem ein möglichst optimaler Nettoertrag erzielt werden kann. Dieser Druck hängt vom Lastzustand, den Spezifikationen des Kondensators und der Lufttemperatur ab, möglicherweise auch vom Zustand des Kondensators, nämlich beispielsweise dann, wenn sich der Wärmeübergangskoeffizient oder die zur Verfügung stehende Fläche aufgrund von Verschmutzung ändert. Der Lastzustand kann gemessen bzw. berechnet werden. Die Eigenschaften des Kondensators sind bekannt. Die Außentemperatur muss gemessen werden. Diese Messung ist jedoch oft unzuverlässig und fehleranfällig. Dies liegt daran, dass beispielsweise die Sonneneinstrahlung das Messergebnis verfälschen kann. Zudem hängt das Messergebnis von der genauen Standortwahl des Temperatursensors an der Anlage ab und erfordert somit eine jeweilige Kalibrierung.

- 40 **[0007]** Eine zuverlässige Messung der Außentemperatur mit gewünschter Genauigkeit ist daher in vielen Fällen eine schwierige Aufgabe, da Einflussfaktoren wie Sonneneinstrahlung, Wärmestrahlung von Gebäuden und Anlagen, Abluft von Prozessen usw. die Messung signifikant erschweren oder verfälschen können. Hinzu kommt, dass nicht die allgemeine Umgebungstemperatur, sondern die mittlere Temperatur der Luft am Eintritt in den Kondensator die Kondensation bestimmt. Eine Messung mit mehreren Sensoren in der Zuluft (zugeführte Luft), welche jedoch von der Wärmestrahlung
45 der Kondensationsflächen abgeschirmt sind, ist wirtschaftlich ungünstig.

Beschreibung der Erfindung

- 50 **[0008]** Aufgabe der Erfindung ist es, die oben beschriebenen Nachteile zumindest teilweise zu überwinden. Wenn möglich, sollte auf eine Temperaturmessung verzichtet werden. Weiter sind vorzugsweise geeignete Sollwerte des Kondensationsdrucks für den Anfahrvorgang der Anlage festzulegen.

- [0009]** Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren nach Anspruch 1. Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zur Regelung eines Kondensators in einer thermischen Kreisprozessvorrichtung, insbesondere in einer ORC Vorrichtung,

bereitgestellt, wobei die thermische Kreisprozessvorrichtung eine Speisepumpe zum Fördern von flüssigem Arbeitsmedium unter Druckerhöhung zu einem Verdampfer, den Verdampfer zum Verdampfen und optional zusätzlichen Überhitzen des Arbeitsmediums unter Zuführung von Wärme, eine Expansionsmaschine zum Erzeugen von mechanischer Energie durch Entspannen des verdampften Arbeitsmediums, einen Generator zum zumindest teilweisen Wandeln der mechanischen Energie in elektrischer Energie, und den Kondensator zum Kondensieren des entspannten Arbeitsmediums umfasst, und wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst: Ermitteln, insbesondere Messen einer Drehzahl des Generators oder der Expansionsmaschine; temperatursensorloses Ermitteln einer Temperatur von dem Kondensator zugeführter Kühlluft; Ermitteln eines Kondensationssolldrucks, bei welchem die elektrische Nettoleistung der thermischen Kreisprozessvorrichtung maximal ist, aus der ermittelten, insbesondere gemessenen Generator- oder Expansionsmaschinendrehzahl und der ermittelten Kühllufttemperatur; und Steuern oder Regeln des Kondensationsdrucks mit dem Kondensationssolldruck als Zielwert, insbesondere mittels Einstellen einer Kondensatorlüfterdrehzahl.

[0010] Die Vorteile bestehen darin, dass stets auf den optimalen Kondensationsdruck geregelt werden kann, woraus sich ein höherer Nettoertrag ergibt. Zudem muss keine Außentemperatur gemessen werden, was eine Kostenreduktion und eine geringere Installationsfehlerwahrscheinlichkeit zur Folge hat, da die Ermittlung der Temperatur der Kühlluft, die dem Kondensator zugeführt wird, ohne Temperatursensor erfolgt. Die so ermittelte Temperatur kann auch als effektive Außentemperatur oder effektive Lufttemperatur bezeichnet werden. Das Ermitteln der Drehzahl des Generators kann beispielsweise aus den elektrischen Signalen vom oder zum Generator erfolgen, oder durch Messen mittels eines Drehzahlsensors.

[0011] Das erfindungsgemäße Verfahren kann dahingehend weitergebildet werden, dass das temperatursensorlose Ermitteln der Kühllufttemperatur ein Berechnen der Temperatur aus einer ermittelten, insbesondere gemessenen Drehzahl des Generators oder der Expansionsmaschine, einer ermittelten, insbesondere gemessenen Drehzahl des Kondensatorlüfters und einem ermittelten, insbesondere gemessenen Kondensationsdruck umfasst; oder wobei das temperatursensorlose Ermitteln der Kühllufttemperatur ein Auslesen der Temperatur aus einer vorbestimmten Tabelle in Abhängigkeit von einer ermittelten, insbesondere gemessenen Drehzahl des Generators oder der Expansionsmaschine, einer ermittelten, insbesondere gemessenen Drehzahl des Kondensatorlüfters und einem ermittelten, insbesondere gemessenen Kondensationsdruck umfasst. Die Ermittlung der Temperatur der Kühlluft erfolgt somit über modellprädiktive Regelungsstrategien (MPC), in denen definierte Prozessvariablen aus anderen Prozessvariablen unter Zuhilfenahme der Kenntnis des Prozesses und deren Komponenten über Modelle ermittelt werden. Das Ermitteln der Drehzahl des Kondensatorlüfters kann beispielsweise aus den elektrischen Signalen vom oder zum Kondensatorlüfter erfolgen. Die Ermittlung des Kondensationsdrucks kann beispielsweise auch aus einer gemessenen Temperatur des Kondensats erfolgen.

[0012] Gemäß einer anderen Weiterbildung können bei einem Anfahren der thermodynamischen Kreisprozessvorrichtung zunächst die folgenden Schritte durchgeführt werden: Bestimmen eines Startwerts für den Kondensationssolldruck; Starten der thermodynamischen Kreisprozessvorrichtung und Steuern oder Regeln des Kondensationsdrucks mit dem Startwert des Kondensationssolldrucks als Zielwert mittels Einstellen der Kondensatorlüfterdrehzahl; und Ersetzen des Startwerts für den Kondensationssolldruck mit dem während des Betriebs der thermodynamischen Kreisprozessvorrichtung ermittelten Kondensationssolldruck.

[0013] Dies kann dahingehend weitergebildet werden, dass als Startwert für den Kondensationssolldruck der Sättigungsdruck des Arbeitsmediums bei aktueller Kondensattemperatur oder der Sättigungsdruck bei der Temperatur des Arbeitsmediums an einem Einlauf der Speisepumpe, insbesondere mit zusätzlicher Sollunterkühlung des Arbeitsmediums, der aktuelle Druck im Stillstand der thermodynamischen Kreisprozessvorrichtung, oder der letzte Kondensationssolldruck während des letzten Betriebs der thermodynamischen Kreisprozessvorrichtung bestimmt werden kann. Die Sollunterkühlung bezeichnet dabei die Temperaturdifferenz, um die das Kondensat gegenüber der Kondensationssättigungstemperatur unterkühlt ist. Dies hat den Vorteil, dass die Kavitationsgefahr in der Speisepumpe reduziert wird.

[0014] Gemäß einer anderen Weiterbildung erfolgt das Ersetzen beim Anfahren mittels Steuern oder Regeln des Kondensationsdrucks vom Startwert des Kondensationsdrucks zum nach dem Start während des Betriebs der thermodynamischen Kreisprozessvorrichtung ermittelten Kondensationssolldruck. Dies hat den Vorteil, dass ein gleitender Übergang der Steuerung bzw. Regelung erfolgt, und somit sprungartige Veränderungen vermieden werden. Es soll ein Übergang von einem Startwert auf den optimalen Kondensationssolldruck erfolgen. Der Startwert kann mit verschiedenen Methoden ermittelt werden und wird beim Anfahren der Anlage einmalig festgelegt. Nun soll aber von diesem Wert auf den optimalen Kondensationssolldruck übergegangen werden, ohne dass zu schnelle Druckänderungen stattfinden, wie es z.B. bei einem schlagartigen Umschalten auf den optimalen Kondensationssolldruck der Fall wäre. Es soll daher der Sollwert ausgehend vom Startwert mit einer maximalen Änderungsgeschwindigkeit bis zum optimalen Kondensationssolldruck geändert werden. Sobald der Sollwert den optimalen Kondensationssolldruck erreicht hat, kann auf das bereits beschriebene erfindungsgemäße Regelverfahren umgeschaltet werden.

[0015] Nach einer anderen Weiterbildung können bei einem Abfahren der thermodynamischen Kreisprozessvorrichtung anschließend die folgenden Schritte durchgeführt werden: Bestimmen eines Abfahrwerts für den Kondensationssolldruck; Ersetzen des während des Betriebs der thermodynamischen Kreisprozessvorrichtung ermittelten Kondensa-

tionssolldruck mit dem Abfahrwert für den Kondensationssolldruck; und Steuern oder Regeln des Kondensationsdrucks mit dem Abfahrwert des Kondensationssolldrucks als Zielwert mittels Einstellen der Kondensatorlüfterdrehzahl und Stoppen des Betriebs der thermodynamischen Kreisprozessvorrichtung.

[0016] Dies kann dahingehend weitergebildet werden, dass als Abfahrwert der letzte Kondensationssolldruck während des letzten Betriebs der thermodynamischen Kreisprozessvorrichtung oder der Sättigungsdruck des Arbeitsmediums bei aktueller Kondensattemperatur, insbesondere mit einer zusätzlichen Sollunterkühlung des Kondensats, bestimmt werden kann.

[0017] Gemäß einer anderen Weiterbildung erfolgt das Ersetzen beim Abfahren mittels Steuern oder Regeln des Kondensationsdrucks vom während des Betriebs der thermodynamischen Kreisprozessvorrichtung ermittelten Kondensationssolldruck zum Abfahrwert für den Kondensationssolldruck. Beim Abfahren kann der optimale Kondensationsdruck zu schnell abnehmen, so dass an der Pumpe ein zu geringer Druck im Vergleich zur Fluidtemperatur anliegt, so dass die Pumpe kavitiert. Durch die Begrenzung der maximalen Änderungsgeschwindigkeit des Kondensationssolldrucks kann dieses Problem umgangen werden.

[0018] Gemäß einer weiteren Weiterbildung wird auch im Regelbetrieb (nach dem Startbetrieb) die Änderungsgeschwindigkeit des Kondensationssolldrucks auf eine maximale Druckänderungsgeschwindigkeit limitiert. Dabei kann dieser Wert für positive und negative Druckänderungen vom Betrag her unterschiedlich sein.

[0019] Die obengenannte Aufgabe wird weiterhin gelöst durch eine thermische Kreisprozessvorrichtung nach Anspruch 9.

[0020] Die erfindungsgemäße thermische Kreisprozessvorrichtung, insbesondere eine ORC Vorrichtung, umfasst: eine Speisepumpe zum Fördern von flüssigem Arbeitsmedium unter Druckerhöhung zu einem Verdampfer; den Verdampfer zum Verdampfen und optional zusätzlichen Überhitzen des Arbeitsmediums unter Zuführung von Wärme; eine Expansionsmaschine zum Erzeugen von mechanischer Energie durch Entspannen des verdampften Arbeitsmediums; einen Generator zum zumindest teilweisen Wandeln der mechanischen Energie in elektrischer Energie; dem Kondensator zum Kondensieren des entspannten Arbeitsmediums; und einer Steuer- oder Regeleinrichtung zum temperatursensorlosen Ermitteln einer Temperatur von dem Kondensator zugeführter Kühlluft; Ermitteln eines Kondensationssolldrucks, bei welchem die elektrische Nettoleistung der thermischen Kreisprozessvorrichtung maximal ist, aus einer ermittelten oder gemessenen Generator- oder Expansionsmaschinendrehzahl und der ermittelten Kühllufttemperatur; und Steuern oder Regeln des Kondensationsdrucks mit dem Kondensationssolldruck als Zielwert, insbesondere mittels Einstellen einer Kondensatorlüfterdrehzahl. Die im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren genannten Vorteile gelten hier gleichermaßen.

[0021] Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann dahingehend weitergebildet werden, dass sie weiterhin einen Drehzahlsensor zum Messen einer Drehzahl des Generators oder der Expansionsmaschine; und/oder einen weiteren Drehzahlsensor zum Messen einer Kondensatorlüfterdrehzahl; und/oder einen Drucksensor zum Messen des Kondensationsdrucks umfassen kann.

[0022] Die genannten Weiterbildungen können einzeln eingesetzt oder geeignet miteinander kombiniert werden.

[0023] Weitere Merkmale und beispielhafte Ausführungsformen sowie Vorteile der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es versteht sich, dass die Ausführungsformen nicht den Bereich der vorliegenden Erfindung erschöpfen. Es versteht sich weiterhin, dass einige oder sämtliche der im Weiteren beschriebenen Merkmale auch auf andere Weise miteinander kombiniert werden können.

Zeichnungen

[0024]

Figur 1 zeigt eine erfindungsgemäße Vorrichtung

Ausführungsformen

[0025] Figur 1 zeigt eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Zur Beschreibung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird ebenfalls darauf Bezug genommen.

[0026] Die thermische Kreisprozessvorrichtung umfasst eine Speisepumpe 1 zum Fördern von flüssigem Arbeitsmedium unter Druckerhöhung zu einem Verdampfer 2, den Verdampfer 2 zum Verdampfen und optional zusätzlichen Überhitzen des Arbeitsmediums unter Zuführung von Wärme, eine Expansionsmaschine 3 zum Erzeugen von mechanischer Energie durch Entspannen des verdampften Arbeitsmediums, einen Generator 4 zum zumindest teilweisen Wandeln der mechanischen Energie in elektrischer Energie, und den Kondensator 5 zum Kondensieren des entspannten Arbeitsmediums. Weiterhin kann ein Drehzahlsensor 6 zum Messen der Drehzahl des Generators 4 vorgesehen sein. Die Generatordrehzahl kann jedoch auch aus elektrischen Signalen vom oder zum Generator 4 ermittelt werden. Zudem ist eine Regeleinrichtung 7 zum temperatursensorlosen Ermitteln einer effektiven Temperatur der Kühlluft, die dem

Kondensator zugeführt wird; zum Ermitteln eines Kondensationssolldrucks, bei welchem die elektrische Nettoleistung der thermischen Kreisprozessvorrichtung maximal ist, aus der ermittelten oder gemessenen Generatordrehzahl und der ermittelten Kühllufttemperatur; und zum Regeln des Kondensationsdrucks mit dem Kondensationssolldruck als Zielwert mittels Einstellen einer Kondensatorlüfterdrehzahl bereitgestellt. Weiterhin können ein Drehzahlsensor 8 zum Messen der Drehzahl des Kondensatorlüfters und ein Drucksensor 9 zum Messen des Kondensationsdrucks im Kondensator 5 vorgesehen sein.

[0027] Die wesentliche Idee der Erfindung ist, den Kondensationsdruck im Kondensator 5 ohne Verwendung eines Temperatursensors so zu steuern, dass ein möglichst großer Nettoenergieertrag erzielt wird. Dazu wird ein funktionaler Zusammenhang aus wichtigen Anlagenparametern und einem für jeden Lastpunkt optimalen Kondensationssolldruck formuliert. Dieser Zusammenhang leitet sich aus einem Modell der Anlage in seiner Umgebung ab:

$$p_{KOND,opt} = f(s_{GEN}, T_{\infty}) \quad (1)$$

[0028] Dabei ist s_{GEN} die Drehzahl des Generators und T_{∞} die Temperatur der zugeführten Luft (Außentemperatur). In einer Ausführungsform der Erfindung kann aus einem Modell der Anlage für jeden Anlagenzustand auf die entsprechende Außentemperatur zurückgeschlossen werden:

$$T_{\infty}^* = f(s_{GEN}, s_{KOND}, p_{KOND}) \quad (2)$$

[0029] Dieser berechnete Wert T_{∞}^* für die Außentemperatur kann in der Gleichung (1) für den optimalen Kondensationssolldruck genutzt werden. Dabei gehen die Generatordrehzahl s_{GEN} , die Kondensatorlüfterdrehzahl s_{KOND} , und der Kondensationsdruck p_{KOND} zur Berechnung ein.

[0030] Zur Quantifizierung der durch das System transportierten Leistung (Lastpunkt) wird die Generatordrehzahl s_{GEN} verwendet. Bei höherer Drehzahl wird (bei gegebenem Frischdampfzustand) mehr Medium durch das System gefördert. Die Speisepumpe muss entsprechend mehr fördern. Damit wird auch eine höhere thermische Eintrittsleistung benötigt. Folglich kann die Generatordrehzahl als Maß für die zugeführte Leistung genutzt werden. Insbesondere bei der Verwendung von volumetrischen Expansionsmaschinen und annähernd konstanten Frischdampfparametern ist dies eine einfache Möglichkeit, die thermische Leistung zu quantifizieren, da der Volumenstrom dann in sehr guter Näherung proportional zur Drehzahl der Expansionsmaschine ist. Durch die direkte Ankopplung des Generators ist s_{GEN} äquivalent zu der Expansionsmaschinendrehzahl.

[0031] Betrachtet man den optimalen Kondensationsdruck über einen relevanten Bereich von Umgebungstemperatur und Generatordrehzahlen, so lässt sich ein mathematischer Zusammenhang dieser drei Größen ermitteln. Diese formale Beschreibung kann in die Regelung des Kondensationsdrucks über die Steuerung der Kondensatorlüfterdrehzahl einfließen.

[0032] Trägt man diesen mathematischen Zusammenhang grafisch auf, so sieht man, dass sich zu jeder Umgebungstemperatur und Generatordrehzahl ein eindeutiger optimaler Kondensationssolldruck zuordnen lässt, siehe Gleichung (1). Mit zunehmender Außentemperatur bei konstanter Drehzahl ergibt sich ein höherer optimaler Kondensatorsolldruck. Bei konstanter Außentemperatur ergibt sich mit zunehmender Generator- und damit Expansionsmaschinendrehzahl ein höherer optimaler Kondensatorsolldruck.

[0033] Außentemperaturbestimmung ohne Messung: Ziel ist es nun, eine quantitative Aussage über die Umgebungsbedingungen (Temperatur der zugeführten Luft) aus anlageninternen Größen zu bestimmen.

[0034] Der im Kondensator während des Betriebs vorherrschende Kondensationsdruck wird durch die im Kondensator abgeführte Wärme beeinflusst. Es kann gezeigt werden, dass sich die Wärmeabfuhr des Kondensators auf verschiedene Weise anhand von 4 Variablen beschreiben lässt, nämlich T_{∞} , s_{KOND} , s_{GEN} , und p_{KOND} . Aufgrund dieser Zusammenhänge kann dann durch Eliminieren der Wärmeabfuhr in den Gleichungen ein Zusammenhang zwischen den 4 Variablen abgeleitet werden. Durch Ermittlung dieses mathematischen Zusammenhangs kann somit eine quantitative Aussage über die aktuellen, die Kondensation beeinflussenden, Umgebungsbedingungen dargestellt werden. Aus diesem Zusammenhang kann dann die Temperatur der zugeführten Luft T_{∞} (also die effektive Temperatur T_{∞}^*) aus den anderen drei Größen ermittelt werden. Die nur aus anlageninternen Größen berechenbare Größe kann somit in die beschriebene Kondensatorregelung einfließen.

[0035] Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zur Regelung eines Kondensators in der thermischen Kreisprozessvorrichtung, insbesondere in einer ORC Vorrichtung, bereitgestellt, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst: Ermitteln, insbesondere Messen einer Drehzahl des Generators 4 oder der Expansionsmaschine 3; temperatursensorloses Ermitteln einer Temperatur T_{∞}^* von dem Kondensator 5 zugeführter Kühlluft; Ermitteln eines Kondensationssol-

drucks, bei welchem die elektrische Nettoleistung der thermischen Kreisprozessvorrichtung maximal ist, aus der gemessenen Generator- oder Expansionsmaschinendrehzahl und der ermittelten Kühllufttemperatur; und Steuern oder Regeln des Kondensationsdrucks mit dem Kondensationssolldruck als Zielwert mittels Einstellen einer Kondensatorlüfterdrehzahl.

[0036] Die dargestellten Ausführungsformen sind lediglich beispielhaft und der vollständige Umfang der vorliegenden Erfindung wird durch die Ansprüche definiert.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung eines Kondensators in einer thermischen Kreisprozessvorrichtung, insbesondere in einer ORC Vorrichtung, wobei die thermische Kreisprozessvorrichtung eine Speisepumpe zum Fördern von flüssigem Arbeitsmedium unter Druckerhöhung zu einem Verdampfer, den Verdampfer zum Verdampfen und optional zusätzlichen Überhitzen des Arbeitsmediums unter Zuführung von Wärme, eine Expansionsmaschine zum Erzeugen von mechanischer Energie durch Entspannen des verdampften Arbeitsmediums, einen Generator zum zumindest teilweisen Wandeln der mechanischen Energie in elektrischer Energie, und dem Kondensator zum Kondensieren des entspannten Arbeitsmediums umfasst, und wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

Ermitteln, insbesondere Messen einer Drehzahl des Generators oder der Expansionsmaschine;
 temperatursensorloses Ermitteln einer Temperatur von dem Kondensator zugeführter Kühlluft;
 Ermitteln eines Kondensationssolldrucks, bei welchem die elektrische Nettoleistung der thermischen Kreisprozessvorrichtung maximal ist, aus der ermittelten, insbesondere gemessenen Generator- oder Expansionsmaschinendrehzahl und der ermittelten Kühllufttemperatur; und
 Steuern oder Regeln des Kondensationsdrucks mit dem Kondensationssolldruck als Zielwert, insbesondere mittels Einstellen einer Kondensatorlüfterdrehzahl.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das temperatursensorlose Ermitteln der Kühllufttemperatur ein Berechnen der Temperatur aus einer ermittelten, insbesondere gemessenen Drehzahl des Generators oder der Expansionsmaschine, einer ermittelten, insbesondere gemessenen Drehzahl des Kondensatorlüfters und einem ermittelten, insbesondere gemessenen Kondensationsdruck umfasst; oder wobei das temperatursensorlose Ermitteln der Kühllufttemperatur ein Auslesen der Temperatur aus einer vorbestimmten Tabelle in Abhängigkeit von einer ermittelten, insbesondere gemessenen Drehzahl des Generators oder der Expansionsmaschine, einer ermittelten, insbesondere gemessenen Drehzahl des Kondensatorlüfters und einem ermittelten, insbesondere gemessenen Kondensationsdruck umfasst.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei bei einem Anfahren der thermodynamischen Kreisprozessvorrichtung zunächst die folgenden Schritte durchgeführt werden:

Bestimmen eines Startwerts für den Kondensationssolldruck;
 Starten der thermodynamischen Kreisprozessvorrichtung und Steuern oder Regeln des Kondensationsdrucks mit dem Startwert des Kondensationssolldrucks als Zielwert mittels Einstellen der Kondensatorlüfterdrehzahl; und
 Ersetzen des Startwerts für den Kondensationssolldruck mit dem während des Betriebs der thermodynamischen Kreisprozessvorrichtung ermittelten Kondensationssolldruck.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei als Startwert für den Kondensationssolldruck der Sättigungsdruck des Arbeitsmediums bei aktueller Kondensattemperatur oder der Sättigungsdruck bei der Temperatur des Arbeitsmediums an einem Einlauf der Speisepumpe, insbesondere mit einer zusätzlichen Sollunterkühlung des Arbeitsmediums, der aktuelle Druck im Stillstand der thermodynamischen Kreisprozessvorrichtung, oder der letzte Kondensationssolldruck während des letzten Betriebs der thermodynamischen Kreisprozessvorrichtung bestimmt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 oder 4, wobei das Ersetzen ein Steuern oder Regeln des Kondensationsdrucks vom Startwert des Kondensationsdrucks zum während des Betriebs der thermodynamischen Kreisprozessvorrichtung ermittelten Kondensationssolldruck umfasst.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei bei einem Abfahren der thermodynamischen Kreisprozessvorrichtung anschließend die folgenden Schritte durchgeführt werden:

Bestimmen eines Abfahrwerts für den Kondensationssolldruck;
Ersetzen des während des Betriebs der thermodynamischen Kreisprozessvorrichtung ermittelten Kondensationssolldrucks mit dem Abfahrwert für den Kondensationssolldruck; und
Steuern oder Regeln des Kondensationsdrucks mit dem Abfahrwert des Kondensationssolldrucks als Zielwert mittels Einstellen der Kondensatorlüfterdrehzahl und Stoppen der thermodynamischen Kreisprozessvorrichtung.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei als Abfahrwert der letzte Kondensationssolldruck während des letzten Betriebs der thermodynamischen Kreisprozessvorrichtung oder der Sättigungsdruck des Arbeitsmediums bei aktueller Kondensattemperatur, insbesondere mit einer zusätzlichen Sollunterkühlung des Kondensats, bestimmt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 oder 7, wobei das Ersetzen ein Steuern oder Regeln des Kondensationsdrucks vom während des Betriebs der thermodynamischen Kreisprozessvorrichtung ermittelten Kondensationssolldruck zum Abfahrwert für den Kondensationssolldruck umfasst.

9. Thermische Kreisprozessvorrichtung, insbesondere eine ORC Vorrichtung, umfassend:

eine Speisepumpe zum Fördern von flüssigem Arbeitsmedium unter Druckerhöhung zu einem Verdampfer; den Verdampfer zum Verdampfen und optional zusätzlichen Überhitzen des Arbeitsmediums unter Zuführung von Wärme;
eine Expansionsmaschine zum Erzeugen von mechanischer Energie durch Entspannen des verdampften Arbeitsmediums;
einen Generator zum zumindest teilweisen Wandeln der mechanischen Energie in elektrischer Energie; dem Kondensator zum Kondensieren des entspannten Arbeitsmediums; und
eine Steuer- oder Regeleinrichtung zum temperatursensorlosen Ermitteln einer Temperatur von dem Kondensator zugeführter Kühlluft; Ermitteln eines Kondensationssolldrucks, bei welchem die elektrische Nettoleistung der thermischen Kreisprozessvorrichtung maximal ist, aus einer ermittelten Generator- oder Expansionsmaschinendrehzahl und der ermittelten Kühllufttemperatur; und Steuern oder Regeln des Kondensationsdrucks mit dem Kondensationssolldruck als Zielwert, insbesondere mittels Einstellen einer Kondensatorlüfterdrehzahl.

10. Thermische Kreisprozessvorrichtung nach Anspruch 9, weiterhin umfassend:

einen Drehzahlsensor zum Messen einer Drehzahl des Generators oder der Expansionsmaschine; und/oder einen Drucksensor zum Messen des Kondensationsdrucks; und/oder einen weiteren Drehzahlsensor zum Messen einer Kondensatorlüfterdrehzahl.

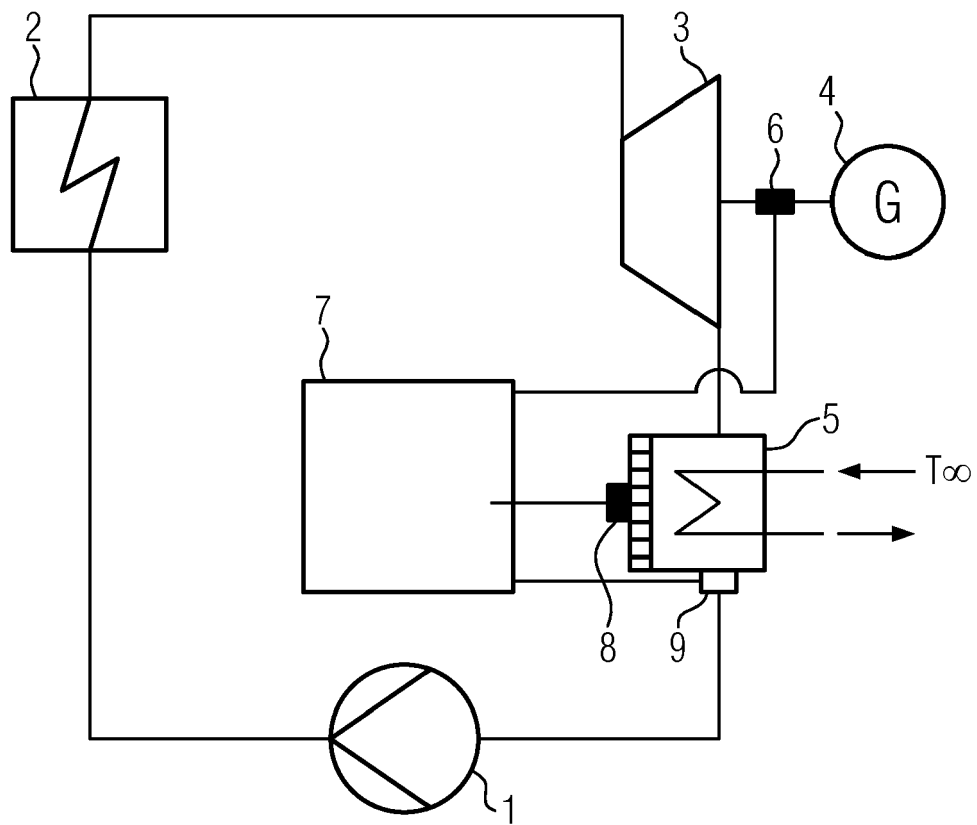


FIG. 1



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 13 19 8793

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	GB 2 473 543 A (EMERSON PROCESS MANAGEMENT [US]) 16. März 2011 (2011-03-16)	1,3-10	INV. F01K9/00 F01K13/02 F01K25/08 F28B1/06 F28B11/00
A	* Ansprüche 1,9,13; Abbildungen 1,2,3,5 *	2	
A	US 6 128 905 A (FAHLSING PAUL M [US]) 10. Oktober 2000 (2000-10-10) * Abbildung 5 *	1,2	
A	EP 1 624 269 A2 (HONDA MOTOR CO LTD [JP]) 8. Februar 2006 (2006-02-08) * Abbildung 5 *	1	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F01K F28B
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München		11. Juni 2014	Lepers, Joachim
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			
T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 13 19 8793

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

11-06-2014

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
GB 2473543 A	16-03-2011	CA 2714466 A1	11-03-2011
		CN 102023623 A	20-04-2011
		DE 102010037450 A1	07-04-2011
		GB 2473543 A	16-03-2011
		US 2011066298 A1	17-03-2011

US 6128905 A	10-10-2000	KEINE	

EP 1624269 A2	08-02-2006	KEINE	

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82