



Europäisches Patentamt

(19)

European Patent Office

Office européen des brevets

(11) Veröffentlichungsnummer:

0 010 254
B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag der Patentschrift:
04.11.81

(51) Int. Cl.³: **F 01 K 17/02, F 01 K 7/22**

(21) Anmeldenummer: **79103882.1**

(22) Anmeldetag: **10.10.79**

(54) Verfahren zur Gewinnung von elektrischer Energie in einem Gegendruckdampfsystem.

(30) Priorität: **13.10.78 DE 2844742**

(73) Patentinhaber: **Linde Aktiengesellschaft, Abraham-Lincoln-Strasse 21, D-6200 Wiesbaden (DE)**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
30.04.80 Patentblatt 80/9

(72) Erfinder: **Pocrnja, Anton, Zaubzerstrasse 43 B, D-8000 München 80 (DE)**

(45) Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
04.11.81 Patentblatt 81/44

(72) Erfinder: **Bolkart, Alfred, Thalkirchnerstrasse 35, D-8000 München 2 (DE)**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
BE CH DE FR IT NL SE

(74) Vertreter: **Schaefer, Gerhard, Dr., Linde Aktiengesellschaft Zentrale Patentabteilung, D-8023 Höllriegelskreuth (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
DE-B-1 004 203
DE-C-884 802
US-A-1 732 009

EP 0 010 254 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingeleitet, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Verfahren zur Gewinnung von elektrischer Energie in einem Gegendruckdampfsystem

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Gewinnung von elektrischer Energie in einem Gegendruckdampfsystem, bei dem Wasserdampf arbeitsleistend entspannt wird.

Als Gegendruckdampfsysteme werden hierbei Kraftanlagen bezeichnet, die zur gleichzeitigen Deckung des Kraft- und Wärmebedarfs dienen und eine umfassende Ausnutzung der Brennstoffwärme ermöglichen. In derartigen Systemen dient der in einem Dampfkessel erzeugte Wasserdampf hohen Druckes und hoher Temperatur zunächst dem Antrieb einer Hochdruckturbine, in der der Dampf in eine erste Dampfschiene auf eine geforderte Temperatur oder ein benötigtes Druckniveau entspannt wird. Aus dieser Dampfschiene kann nach bekannten Verfahren Dampf sowohl zur Deckung des Wärmebedarfs der Anlage abgezogen als auch in einer Turbine in eine andere Dampfschiene mit einem niedrigeren Druckniveau entspannt werden.

Anlagen der angegebenen Art sind in »Linde-Berichte aus Technik und Wissenschaft« 38, 1976, Seiten 3 bis 8 beschrieben.

Bei kraftintensiven Industriezweigen kann der Bedarf an elektrischer oder auch mechanischer Energie durch eine Anlage der erläuterten Art nicht vollständig gedeckt werden. Dies ist beispielsweise bei dem Dampfsystem der im obengenannten Artikel beschriebenen Olefin- und Ammoniak-Anlagen der Fall. Es ist daher erforderlich, zusätzlich Strom oder mechanische Energie in einem reinen Kraft-Prozeß mit verhältnismäßig unbefriedigender Primärenergieausnutzung zu erzeugen oder teuren Fremdstrom zu beziehen.

Eine derartige Anlage, in der ausschließlich mechanische bzw. elektrische Energie erzeugt wird, ist in der US-A-1 732 009 beschrieben. Hierbei wird in einem Verdampfer Wasser verdampft, der Dampf überhitzt, zweistufig entspannt und zwischen den Entspannungsstufen erneut erhitzt. Dabei wird der aus der ersten Entspannungsstufe austretende Dampf durch Dampf aus dem Verdampfer erhitzt. Bei diesem Wärmetausch kühlt bzw. kondensiert der Dampf aus dem Verdampfer.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zu entwickeln, mit dem in einem Gegendruckdampfsystem der beschriebenen Art das Kraft-Wärme-Verhältnis erhöht werden kann.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß Dampf eines der vorhandenen Druckniveaus vor der genannten arbeitsleistenden Entspannung zunächst durch Wärmetausch mit dem entspannten Dampf und anschließend mit Fremdwärme im wesentlichen isobar erhitzt und nach der genannten Entspannung auf eines der vorhandenen tiefer gelegenen Druckniveaus im wesentlichen isobar gekühlt wird.

Wurde nach dem bekannten Verfahren Dampf einer Dampfmaschine einfach über eine Turbine auf eine Dampfschiene eines niedrigeren Druckniveaus entspannt, so wird der Dampf erfindungsgemäß zunächst rekuperativ durch Wärme des entspannten Dampfes und anschließend mit Fremdwärme, z. B. in einem Brennstoff befeuerten Erhitzer, nacherhitzt und erst dann, gegebenenfalls in mehreren Stufen, entspannt. Diesen Verfahrensschritten kann der Dampf jedes beliebigen der vorhandenen Druckniveaus unterzogen werden. Auf dieser Weise wird der Anteil der in den Turbinen erzeugten mechanischen Energie und damit das Kraft-Wärme-Verhältnis erhöht. Dabei ist die Ausnutzung der Primärenergie für die Bereitstellung der Fremdwärme der bisherigen Zusatzstromerzeugung weit überlegen. Durch die rekuperative Erhitzung wird der Dampf auf eine relativ hohes Temperaturniveau gehoben, so daß die Fremdwärme, die dem Dampf nachfolgend zugeführt wird, optimal genutzt, d. h. auf sehr hohem Temperaturniveau aufgenommen wird. Da die Energieausbeute der zusätzlichen Energieerzeugung mit wachsender Temperatur des Dampfes vor der Entspannung steigt, ist eine möglichst hohe Temperatur des Dampfes wünschenswert. Die im Erhitzer erzielbare höchste Temperatur ist nur durch die Materialeigenschaften des Erhitzers begrenzt. Ein weiterer Vorteil der rekuperativen Erhitzung ist darin zu sehen, daß mit steigender Temperatur der Wärmequelle, durch die die Fremdwärme bereitgestellt wird, auch die Temperatur des der Wärmequelle zugeführten Dampfes wächst und somit die Wärme der Wärmequelle in allen Temperaturbereichen optimal genutzt wird. Bei einem idealen Gas und bei beliebig kleinen Temperaturdifferenzen beim rekuperativen Wärmetausch wäre die abgegebene Turbinenleistung gleich der aufgenommenen Fremdwärme.

Die zusätzliche Energie des erfindungsgemäß Verfahrens wird also mit einem wesentlich besseren Wirkungsgrad erzeugt, als etwa die durch einen reinen Kraft-Prozeß bereitgestellte Energie.

Der entspannte Dampf besitzt nach der isobaren Kühlung noch immer einen höheren Wärmeinhalt als z. B. der nach einem konventionellen Verfahren nur in einer Turbine entspannte Dampf. Daher kann nach einer vorteilhaften Ausgestaltung des Erfindungsgedankens dieser Wärmeüberschuß zur Erwärmung eines Wärmeabnehmers verwendet werden. Als Wärmeabnehmer kann das zu erhitzende Arbeitsmedium eines zusätzlichen Kraftprozesses dienen. Es ist aber von Vorteil, den Wärmeüberschuß zur Speisewasservorwärmung des Gegendruckdampfsystems selbst heranzuziehen, da sich dann für das Zusatzverfahren unter Berücksichtigung der Verluste im Erhitzer ein Wirkungsgrad von 0,9 ergibt. In einer alternativen Verfahrensweise kann – mit dem gleichen Wirkungsgrad für das Zusatzverfahren – der Dampfdurchsatz des Gegendruckdampfsystems reduziert werden. Schließlich ist es möglich, den Wärmeüberschuß des entspannten und isobar gekühlten Dampfes direkt in eine Dampfschiene niedrigeren Druckniveaus zu leiten, d. h. den isobar

gekühlten Dampf ohne weitere Kühlung mit einem Wärmeabnehmer direkt in diese Dampfschiene einzuspeisen.

Insgesamt kann festgestellt werden, daß das erfindungsgemäße Verfahren die Erhöhung des Kraft-Wärmeverhältnisses innerhalb des Gegendruckbetriebes mit einem wesentlich besseren Wirkungsgrad als in konventionellen Verfahren ermöglicht. Wie beschrieben, ist der hohe Wirkungsgrad auf die dem höheren Temperaturniveau des Dampfes vor der Entspannung entsprechende höhere spezifische Energieerzeugung bzw. auf die Verringerung der erforderlichen Fremdwärme zurückzuführen. Werden in einer Anlage, die nach dem vorgeschlagenen Verfahren arbeitet, Kondensationsturbinen eingesetzt, verringert sich darüber hinaus im Vergleich zu herkömmlichen Anlagen mit Kondensationsturbinen die Kühlwassermenge, da infolge des erhöhten Kraft-Wärmeverhältnisses des Gegendruckbetriebes die Dampfmenge für die Kondensationsturbinen reduziert werden kann.

Anhand einer schematischen Skizze soll im folgenden ein Ausführungsbeispiel einer Anlage beschrieben und erläutert werden, die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren arbeitet.

Der Übersichtlichkeit halber sind lediglich zwei Dampfschienen, eine Mitteldruckdampfschiene 15 und eine Niederdruckdampfschiene 16, dargestellt. Die Zahl der Dampfschienen ist aber nicht auf zwei begrenzt.

Der Dampf des dargestellten Gegendruckdampfsystems wird in einem Verdampfer 1 erzeugt, in einer Hochdruckturbine 2 auf einen Druck von z. B. $39,2 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ entspannt und mit einer Temperatur von 642 K in die Mitteldruckdampfschiene eingespeist. In herkömmlichen Verfahren wurde der Dampf dieser Schiene, soweit er nicht von Wärmeabnehmern 11 verbraucht wurde, über eine Turbine direkt in die Niederdruckdampfschiene 16 entspannt. Erfindungsgemäß wird der Dampf jedoch zunächst im wesentlichen isobar erhitzt. Dazu dient ein Rekuperator 3, in dem ein Teil des Dampfes der Mitteldruckdampfschiene auf eine Temperatur von 770 K erhitzt, und ein brennstoffbefeueter Erhitzer 4, in dem die Dampftemperatur auf 993 K gehoben wird. Der Dampf dieses hohen Temperaturniveaus wird in einer an den Erhitzer angeschlossenen Turbine 5 auf den Druck der Schiene 16 mit beispielsweise $9,8 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ entspannt und zur isobaren Kühlung im Wärmetausch mit anzuwärmendem Dampf über Leitung 8 in den Rekuperator 3 eingeleitet. Die Temperatur des mit 791 K aus der Turbine austretenden Dampfes sinkt im Rekuperator 3 auf 653 K. Dieser Dampf besitzt im Vergleich mit der konventionellen Lösung einen höheren Wärmeinhalt. Dieser Wärmeüberschuß wird im dargestellten Ausführungsbeispiel im Wärmetausch mit Speisewasser für den Verdampfer 1 abgeführt. Dazu ist der Rekuperator 3 mit einem Wärmetauscher 6 verbunden, aus dem der Dampf mit 494 K aus- und in die Niederdruckdampfschiene 16 eintritt. Das Speisewasser wird dem Wärmetauscher 6 über eine Leitung 14, die von der Leitung 17 für die Kondensatrückführung abzweigt, zugeleitet und anschließend wieder in Leitung 17 eingespeist. Der Dampf der Niederdruckdampfschiene 16 wird Niederdruck-Prozeßdampf-Verbrauchern 10 zugeführt und kondensiert. Eine der Zahl der Dampfschienen entsprechende Zahl an Pumpen 12, 13 erhöht den Druck des Kondensats und versorgt den Dampfkessel 1 mit Speisewasser.

In der folgenden Tabelle 1 sind Temperatur, Druck, spezifische Enthalpie und spezifische Entropie des Dampfes für das beschriebene Ausführungsbeispiel an den in der Skizze mit Buchstaben a bis f bezeichneten Stellen angegeben.

In der Tabelle 2 sind die spezifischen Verbrauchszahlen bzw. Leistungen des dargestellten Verfahrensbeispiels aufgeführt.

Wurde bei der konventionellen Lösung Dampf über eine zwischen die Dampfschienen 15 und 16 geschaltete Turbine entspannt, so konnte dieser Turbine pro kg Dampf eine Energie von 266 kJ entnommen werden. Erfindungsgemäß wird der Dampf der Mitteldruckdampfschiene erhitzt. Dazu werden im Erhitzer (4) 514 kJ pro kg Dampf übertragen. Im Rekuperator 6 werden davon 345 kJ pro kg rückgewonnen, so daß sich ein Mehrverbrauch von 169 kJ pro kg Dampf ergibt, da die im Rekuperator rückgewonnene Wärme Brennstoffwärme für den Verdampfer 1 ersetzt. Gegenüber der konventionellen Lösung liefert die Turbine pro kg Dampf 169 kJ (ohne Berücksichtigung des Erhitzerwirkungsgrades) mehr Energie. Der Wirkungsgrad des Zusatzverfahrens ist somit 1 bzw. 0,9, wenn der Erhitzerwirkungsgrad, der für den Verdampfer 1 und den Erhitzer 4 gleich sein soll, berücksichtigt wird.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

Tabelle 1

5	Pos.	Temperatur K	Druck 10^5 N/m^2	Enthalpie i	Entropie s
				$10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$	$10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$
	a	642	39,2	3,14	6,68
10	b	770	39,2	3,44	7,11
	c	993	39,2	3,96	7,68
	d	791	9,8	3,52	7,83
15	e	653	9,8	3,22	7,42
	f	494	9,8	2,87	6,81

20 Tabelle 2

		Verfahrens- Vorschlag	Konvent. Verfahren
25	Brennstoffwärme im Erhitzer (netto) $q_B \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	514	—
	Rückgewonnene Wärme im Rekuperator 6 $q_R \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	345	—
30	Mehrverbrauch an Wärme $\Delta q = q_B - q_R \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	169	—
	Leistung der MD-Turbine ($n_T = 0,8$) $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	432	266
35	Mehrleistung bei Verfahrensvorschlag $\Delta L \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	169	—
40	Wirkungsgrad des Zusatzverfahrens $n = \frac{\Delta L}{\Delta q}$	1 bzw. 0,9 bei Erhitzer = 0,9*)	

*) Für HD Dampferzeuger und Erhitzer gleicher Wirkungsgrad.

45 Patentansprüche

1. Verfahren zur Gewinnung von elektrischer Energie in einem Gegendruckdampfsystem, bei dem Wasser dampf arbeitsleistend entspannt wird, dadurch gekennzeichnet, daß Dampf eines der vorhandenen Druckniveaus (15) vor der genannten arbeitsleistenden Entspannung zunächst durch 50 Wärmetausch (3) mit dem entspannten Dampf und anschließend mit Fremdwärme (4) im wesentlichen isobar erhitzt und nach der genannten Entspannung auf eines der vorhandenen tiefer gelegenen Druckniveaus im wesentlichen isobar gekühlt (3, 6) wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der entspannte und isobar gekühlte Dampf durch einen Wärmeabnehmer auf die Temperatur des Dampfes eines tiefer gelegenen Druckniveaus weiter gekühlt (6) wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der entspannte und isobar gekühlte Dampf durch das Speisewasser (6) eines Dampfsystems weiter gekühlt wird.

60 Claims

1. A process for obtaining electric energy in a back pressure steam system in which steam is expanded with the performance of work, characterised in that, prior to such expansion with the performance of work, steam at one of the pressure levels present (15) is essentially isobarically heated first by means of heat exchangers (3) with the expanded steam and subsequently with external heat (4)

and after such expansion, the steam is essentially isobarically cooled (3, 6) to one of the lower pressure levels present.

2. A process as claimed in Claim 1, characterised in that the expanded and isobarically cooled steam is further cooled (6) to the temperature of the steam at a lower pressure level by a heat removing unit. 5

3. A process as claimed in Claim 2, characterised in that the expanded and isobarically cooled steam is further cooled by the feed water (6) of a steam system.

Revendications

10

1. Procédé de production d'énergie électrique dans un système à vapeur à contre-pression, dans lequel de la vapeur d'eau est soumise à une détente avec fourniture de travail, caractérisé en ce que, avant ladite détente avec fourniture de travail, la vapeur présentant une des valeurs de pression existantes (15) est réchauffée de manière sensiblement isobare par échange thermique, d'abord avec la vapeur détendue (3), et ensuite avec de la chaleur extérieure (4), et en ce qu'après ladite détente, cette vapeur est refroidie (3, 6) de manière sensiblement isobare à une des pressions existantes, inférieures à la valeur existante précitée. 15

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la vapeur détendue et refroidie de manière isobare est refroidie davantage (6), par un récupérateur de chaleur, à la température de la vapeur présentant une pression de valeur existante inférieure. 20

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que la vapeur détendue et refroidie de manière isobare est refroidie davantage (6) par l'eau d'alimentation d'un système à vapeur.

25

30

35

40

45

50

55

60

65

