

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
3. September 2009 (03.09.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/106563 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:

F01K 23/10 (2006.01) F22B 35/00 (2006.01)
F22B 35/10 (2006.01) G05D 23/19 (2006.01)

(74) Gemeinsamer Vertreter: ALSTOM TECHNOLOGY
LTD; Chti Intellectual Property, Brown Boveri Strasse
7/664/2, 5401 Baden (CH).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2009/052279

(22) Internationales Anmeldedatum:
26. Februar 2009 (26.02.2009)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
00279/08 26. Februar 2008 (26.02.2008) CH

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): ALSTOM TECHNOLOGY LTD [CH/CH];
Brown Boveri Strasse 7, 5400 Baden (CH).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): OLIA, Hamid
[CH/CH]; Alderstrasse 49, CH-8008 Zürich (CH).

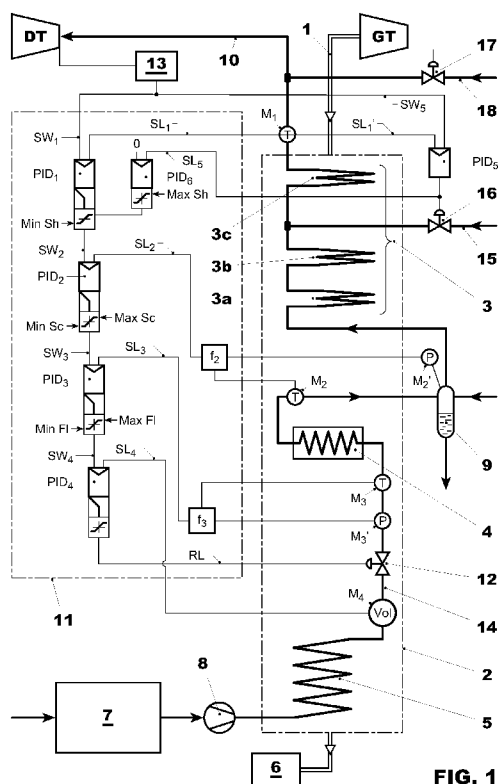
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE,
SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT,
LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR REGULATING A BOILER AND CONTROL CIRCUIT FOR A BOILER

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR REGELUNG EINES DAMPFERZEUGERS UND REGELSCHALTUNG FÜR EINEN
DAMPFERZEUGER



(57) Abstract: In a method for regulating a waste heat boiler (2) of the single-tube or continuous-flow boiler type in a combined cycle power plant, the flow volume of the feedwater to the boiler (2) is regulated based on a measured steam temperature at the outlet of a superheater (3) and a setpoint value for the steam temperature for a steam turbine (DT). In the regulation, a degree of superheating at the outlet of a high pressure evaporator (4), a degree of sub-cooling at the inlet to the high pressure evaporator (4) and the measured current flow volume of the feedwater are included in a plurality of control stages. For optimal operation under rapid load changes, the method comprises in particular an additional regulation of the degree of sub-cooling of the flow medium at the inlet to the high pressure evaporator (4). A control circuit (11) for regulating a waste heat boiler (2) comprises devices (M1 -4, M2', M3', f2, f3) for determining the degree of superheating and the degree of sub-cooling and a plurality of control modules (PID1 -4) which are connected in series and are connected to said devices (M1 -4) by way of signal lines (SL1 -4). In addition, it comprises a control signal line (RL) for transmitting a control signal from the last control module (PID4) to a valve (12) in the feedwater feed line (14). Additional control modules (PID7,8) guarantee additional sub-cooling control.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/106563 A2



SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG). **Veröffentlicht:**

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

In einem Verfahren zur Regelung eines Abhitzedampferzeugers (2) vom Typ eines Einrohr- oder Durchlaufdampferzeugers in einer Kombi-Kraftanlage wird das Strömungsvolumen des Speisewassers in den Dampferzeuger (2) aufgrund einer gemessenen Dampftemperatur am Austritt eines Überhitzers (3) und eines Sollwerts für die Dampftemperatur für eine Dampfturbine (DT) geregelt. Bei der Regelung werden ein Überhitzungsgrad am Austritt eines Hochdruckverdampfers (4), ein Unterkühlungsgrad am Eintritt in den Hochdruck-Verdampfer (4) und das gemessene aktuelle Strömungsvolumen des Speisewassers in mehreren Regelstufen miteinbezogen. Für einen optimalen Betrieb bei schnellen Laständerungen umfasst das Verfahren insbesondere eine zusätzliche Regelung des Unterkühlungsgrades des Strömungsmediums am Eintritt in den Hochdruckverdampfer (4). Eine Regelschaltung (11) zur Regelung eines Abhitzedampferzeugers (2) umfasst Vorrichtungen (M1 -4, M2', M3', f2, f3) zur Bestimmung des Überhitzungsgrads und des Unterkühlungsgrads und mehrere Regelbausteine (PID1 -4), die in Serie geschaltet sind und mittels Signalleitungen (SL1 -4) mit den genannten Vorrichtungen (M1 -4) verbunden sind. Zudem umfasst sie eine Regelsignalleitung (RL) zur Übermittlung eines Regelsignals vom letzten Regelbaustein (PID4) an ein Ventil (12) in der Speisewasserzufuhrleitung (14). Zusätzliche Regelbausteine (PID7,8) gewährleisten die zusätzliche Unterkühlungsregelung.

Verfahren zur Regelung eines Dampferzeugers und Regelschaltung für einen Dampferzeuger

5

Technisches Gebiet

- 10 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines Abhitze-Dampferzeugers vom Typ eines Einrohrverdampfers oder Durchlaufverdampfers, insbesondere in Anwendung in einer Kombi-Kraftanlage, sowie eine Regelschaltung zur Regelung eines Abhitze-Dampferzeugers der genannten Art.

15

Stand der Technik

- Kombikraftanlagen umfassen eine Gasturbine, eine Dampfturbine sowie einen Abgasdampferzeuger, in dem Speisewasser durch Wärmeaustausch mit heissem
- 20 Abgas aus der Gasturbine und im Gegenstrom zum heissen Abgas verdampft und überhitzt wird und sodann der Dampfturbine als Frischdampf zugeführt wird. Ein Typ dieser Dampferzeuger, häufig auch „heat recovery steam generator“ oder HRSG genannt, sind Einrohrdampferzeuger, auch als Durchlaufdampferzeuger oder „Once-through-evaporator“ bekannt. Sie unterscheiden sich von
- 25 sogenannten Umlaufdampferzeugern, indem das zu verdampfende Wasser den Dampferzeuger im wesentlichen nur einmal durchströmt.

- Solche Einrohrdampferzeuger sind beispielsweise in WO2006/107315, insbesondere Horizontal-Einrohrdampferzeuger offenbart. Einrohrdampferzeuger
- 30 zeichnen sich insbesondere dadurch aus, dass die Temperatur des Abgases aus der Gasturbine vom Eintritt zum Austritt des Dampferzeugers stetig abnimmt und die Wärme die in jeder Rohrreihe, über die das Abgas strömt, proportional zur Temperaturdifferenz ist zwischen dem Abgas und dem Fluid in den

Wärmetauscherrohren. Dadurch ergibt sich in Richtung der Abgasströmung einen stetig abnehmenden Wärmefluss. WO2006/107315 offenbart eine spezifische Bauweise der Rohrbündel und Sammler diskutiert, wobei diese insbesondere den Materialbelastungen durch häufiges An- und Herunterfahren der Kraftanlage
5 standhalten würde.

WO2002/101292 offenbart einen weiteren Dampferzeuger der Art des Durchlaufverdampfers, in dem zwecks erhöhter mechanischer Stabilität und thermischer Belastbarkeit die Durchlaufheizflächen vertikal angeordnete Fall- und
10 Steigrohrstücken aufweisen.

Darstellung der Erfindung

15 Der vorliegenden Erfindung ist die Aufgabe gestellt, ein Verfahren zur Regelung eines Einrohrverdampfers bereit zu stellen, der in einem Abgasdampferzeuger einer Kombikraftanlage mit einer Gas- und einer Dampfturbine angewendet wird. Insbesondere soll das Regelungsverfahren das Erreichen einer Dampftemperatur gemäss jedem Betriebszustand der Dampfturbine und Gasturbine gewährleisten.
20 Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist die Bereitstellung einer Regelschaltung zur Regelung eines Durchlaufdampferzeugers oder Einrohrdampferzeugers, der in einer Kombi-Kraftanlage integriert ist.

Gemäss dem erfindungsgemässen Verfahren zur Regelung eines
25 Einrohrverdampfers in einer Kombi-Kraftanlage, der einen Hochdruck-Economizer oder Speisewasservorwärmer, einen Hochdruck-Verdampfer und mindestens einen Überhitzer aufweist, wird eine Ventilöffnung zur Regulierung des Strömungsvolumens in einer Speisewasser-Zufuhrleitung in den Hochdruck-Verdampfer in Abhängigkeit eines Temperatursollwerts für den Dampf für die
30 Dampfturbine sowie einer gemessenen Dampftemperatur am Austritt des Überhitzers in Serie geregelt. Das Verfahren wird mittels mehreren Regelungsstufen durchgeführt, wobei bei den Regelungsstufen die gemessene Dampftemperatur am Austritt des Überhitzers, ein Überhitzungsgrad am Austritt

des Hochdruckverdampfers und ein Unterkühlungsgrad des Speisewassers am Eintritt in den Hochdruckverdampfer miteinbezogen wird.

Das erfindungsgemässe Verfahren eignet sich für alle Betriebszustände der Kombikraftanlage, d.h. sowohl für während des Hoch- und Herunterfahrens als
5 auch des Stationärbetriebs der Anlage.

Es stellt insbesondere für alle Betriebszustände der Kombikraftanlage vorbestimmte, optimale Überhitzung des Dampfes am Austritt des
10 Hochdruckverdampfers sicher. Zudem gewährleistet es eine ausreichende Unterkühlung des Speisewassers am Eintritt des Hochdruckverdampfers für einen optimalen Betrieb des Hochdruckverdampfers sowie einen Minimalfluss des Speisewassers in den Hochdruckverdampfer.

15 Ein Einrohr-Verdampfer kann verschiedene Anordnungen von Rohrbündeln aufweisen, die sich zum Beispiel in der Anzahl parallel angeordneter Rohre oder in der Anzahl von in Serie angeordneten Rohrbündeln oder in der Bauweise und Anordnung der einzelnen Wärmetauschrohre unterscheiden. Das erfindungsgemässe Regelungsverfahren eignet sich für jeden Typ von Einrohrverdampfern,
20 ungeachtet der Anordnung der Rohrbündel.

Das Verfahren zur Regelung eines Einrohrverdampfers in einer Kombi-Kraftanlage, der einen Hochdruck-Economizer, einen Hochdruck-Verdampfer und mindestens einen Überhitzer aufweist, umfasst in einer ersten Ausführung des
25 Verfahrens folgende Schritte:

- Messung der Dampftemperatur am Austritt des Überhitzers,
- in einer ersten Regelstufe, Vergleich der Dampftemperatur mit einem Sollwert für die Turbinendampftemperatur gemäss einem Betriebszustand der Dampfturbine,
- 30 - Bestimmung eines Sollwerts für den Überhitzungsgrad am Austritt des Hochdruck-Verdampfers aufgrund der Differenz zwischen dem Messwert und Sollwert der Dampftemperatur am Austritt des Überhitzers,
- Messung des aktuellen Überhitzungsgrads am Austritt des Hochdruck-

Verdampfers,

- in einer zweiten Regelstufe, Bestimmung eines Sollwerts für den Unterkühlungsgrad des Wassers am Eintritt zum Hochdruck-Verdampfer aufgrund der Differenz zwischen dem Sollwert und aktuellen Messwert des
- 5 Überhitzungsgrads am Austritt des Hochdruck-Verdampfers,
- Messung des aktuellen Unterkühlungsgrads des Speisewassers am Eintritt in den Hochdruck-Verdampfer,
- in einer dritten Regelstufe, Bestimmung eines Sollwerts für das Strömungsvolumen für das Speisewasser am Eintritt in den Hochdruck-
- 10 Verdampfer aufgrund der Differenz zwischen dem Sollwert für den Unterkühlungsgrad und dem aktuellen gemessenen Unterkühlungsgrad,
- aufgrund des Sollwerts für das Strömungsvolumen des Speisewassers, Generierung und Übermittlung eines Regelsignals für die Öffnung eines Ventils in der Speisewasserzufuhrleitung.

15

In einer weiteren, zweiten Ausführung des erfindungsgemässen Verfahrens werden zusätzlich nach der Bestimmung eines Sollwerts für das Strömungsvolumen des Speisewassers, folgende Schritte durchgeführt:

- Messung des aktuellen Strömungsvolumens des Speisewassers in den
- 20 Hochdruck-Verdampfer,
- in einer vierten Regelstufe, Bestimmung einer Ventilöffnungsposition in einer Speisewasserzufuhrleitung vor dem Eintritt in den Hochdruck-Verdampfer aufgrund der Differenz zwischen dem Sollwert für das Strömungsvolumen des Speisewassers und dem aktuellen, gemessenen Strömungsvolumen,
- 25 - Übermittlung eines Regelsignals für die Öffnung des Ventils in der Speisewasserzufuhrleitung.

In diesen Ausführungen des Verfahrens stellt die dritte Regelstufe sicher, dass während dem Normalbetrieb sowie auch bei langsamen Laständerungen der

30 Kombi-Kraftanlage und des Einrohrverdampfers das Strömungsmedium am Eintritt des Hochdruck-Verdampfers genügend unterkühlt ist. Insbesondere stellt die Unterkühlungsregelung durch die dritte Regelstufe sicher, dass eine Verdampfung am Eintritt der Verdampferrohre des Hochdruck-Verdampfers

vermieden wird. Eine solche Verdampfung würde sonst einen geringen Massenstrom durch diese Verdampferrohre verursachen, was zu einer Überhitzung der Rohre und einer unstabilen Strömung durch den gesamten Verdampfer mit entsprechendem Schaden-Risiko führen würde. Die dritte
5 Regelstufe gewährleistet deshalb eine stabile Strömung durch den Verdampfer und damit einen sicheren Betrieb bei reduziertem Schadenrisiko.

Bei schnellen Laständerungen der Kombi-Kraftanlage und des Einrohrverdampfers und insbesondere bei rapidem Ablasten der Anlage ergibt
10 sich jedoch eine neue Problemstellung. Bei solchen Betriebssituationen senkt sich der Druck innerhalb des Verdampfers und damit auch die Sättigungstemperatur auf ein Niveau unterhalb der Temperatur des Strömungsmediums am Austritt des Speisewasservorwärmers (oder Hochdruck-Economizers). Bei einem solchen instationären Betriebszustand kann die Unterkühlung des Strömungsmediums am
15 Eintritt des Hochdruck-Verdampfers durch den Unterkühlungsregler in der dritten Regelstufe nicht mehr sichergestellt werden.

Erst nach Ablauf eines solchen Betriebszustandes stellt sich die Temperatur des Strömungsmediums am Austritt des Speisewasservorwärmers (Hochdruck-Economizer) wieder auf einem Niveau unter der Sättigungstemperatur, womit die
20 Unterkühlungsregelung der dritten Regelstufe wieder wirksam werden kann. Bei einem bevorzugten Betrieb des Einrohrverdampfers sollte die Temperatur des Strömungsmediums am Austritt des Speisewasservorwärmers nicht über längere Zeit unterhalb des vorgegebenen Sollwerts liegen, denn sonst würde die Unterkühlungsregelung zu einer Überspeisung des Hochdruck-Verdampfers und
25 damit zu einer Reduktion der Dampfproduktion führen.

Für diese erwähnten speziellen Betriebssituationen, insbesondere bei schnellem Ablasten der Anlage, und die damit verbundenen Probleme gewährt eine weitere, dritte Ausführung des erfindungsgemässen Verfahrens Abhilfe. In dieser
30 Ausführung wird zusätzlich zur Unterkühlungsregelung des Hochdruck-Verdampfers durch die dritte Regelstufe die Unterkühlung des Strömungsmediums am Eintritt in den Hochdruck-Verdampfer mit einem Sollwert leicht unter dem Mindestsollwert der dritten Regelstufe geregelt. Hierzu wird eine

Öffnung eines Ventils in einer Bypassleitung für das Speisewasser um den Speisewasservorwärmer geregelt, wobei die Bypassleitung vom Speisewasserpumpenausstritt zur Speisewasserleitung nach dem Economizer und vor dem Eintritt des Hochdruckverdampfer führt. Das Verfahren enthält den

5 zusätzlichen Verfahrensschritt:

- Bestimmung eines Soll-Strömungsvolumens durch eine Bypassleitung zwischen dem Austritt der Speisewasserpumpe der Kombi-Kraftanlage und dem Eintritt des Hochdruck-Verdampfers aufgrund der Differenz zwischen dem aktuellen Messwert des Unterkühlungsgrads am Eintritt des Hochdruck-Verdampfers und
- 10 einem Mindestsollwert für die Unterkühlung kleiner als der Mindestsollwert für die Unterkühlung in der dritten Regelstufe;
- aufgrund des Sollwerts für das Strömungsvolumen durch die Bypassleitung, Generierung und Übermittlung eines Regelsignals für die Position eines Ventils in der Bypassleitung.

15

In einer weiteren Ausführung enthält das Verfahren den zusätzlichen Verfahrensschritt:

- Bestimmung des aktuellen Strömungsvolumens in der Bypassleitung;
- Generierung eines Regelsignals für die Öffnungsposition eines Ventils in der
- 20 Bypassleitung aufgrund des Soll-Strömungsvolumens und einem aktuellen Strömungsvolumen durch die Bypassleitung;
- Übermittlung eines Regelsignals für die Position des Ventils in der Bypassleitung.

25 Eine Regelschaltung zur Regelung eines Einrohrdampferzeugers oder Durchlaufdampferzeugers in einer Kombi-Kraftanlage mit einer Gasturbine und einer Dampfturbine, wobei der Einrohr-Dampferzeuger einen Hochdruck-Economizer, einen Hochdruck-Verdampfer und mindestens einen Überhitzer aufweist,

30 weist folgende Elemente auf:

- eine Vorrichtung zur Eingabe eines Sollwerts für eine gewünschte Turbinendampftemperatur sowie eine Messvorrichtung zur Messung der Dampftemperatur am Austritt eines Dampfüberhitzers des Dampferzeugers,

- eine Vorrichtung zur Messung und Berechnung des Dampfüberhitzungsgrads am Austritt des Hochdruckverdampfers des Dampferzeugers,
- eine Vorrichtung zur Messung und Berechnung des Unterkühlungsgrads am Eintritt in den Hochdruckverdampfer,
- 5 - mindestens drei Regelbausteine, die in Serie geschaltet sind,
- Signalleitungen zur Übermittlung der Messwerte der Dampftemperatur am Austritt des mindestens einen Überhitzers, der Werte des Dampfüberhitzungsgrads am Austritt aus dem Hochdruckverdampfer und der Werte des Unterkühlungsgrads des Speisewassers am Eintritt in den
- 10 Hochdruckverdampfer an die Regelbausteine,
- eine Regelsignalleitung zur Übermittlung eines Regelsignals vom letzten in Serie geschalteten Regelbaustein an ein Ventil in der Zufuhrleitung für das Speisewasser in den Hochdruckverdampfer.

- 15 Eine weitere, zweite Ausführung der erfindungsgemässen Regelschaltung umfasst zusätzlich:
 - eine Messvorrichtung zur Messung des Strömungsvolumens des Speisewassers in den Hochdruck-Verdampfer,
 - einen zusätzlichen, vierten Regelbaustein, der mit den drei Regelbausteinen in
 - 20 Serie geschaltet ist und von dem die Regelsignalleitung an das Ventil in der Speisewasserzufuhrleitung führt.

- Die erste und zweite Ausführung der Regelschaltung, sowie die erste und zweite Ausführung des erfindungsgemässen Verfahrens gewährleisten, dass ein
- 25 Minimalvolumen für das Speisewasser in den Hochdruckverdampfer gelangt und der Hochdruck-Verdampfer stabil bei minimiertem Risiko thermisch bedingter Materialschäden funktionieren kann. Zudem gewährleistet sie auch im Fall von Ventilfehlverhalten eine sichere Funktion des Hochdruckverdampfers.
-
- 30 Eine weitere, dritte Ausführung der erfindungsgemässen Regelschaltung umfasst zusätzlich, zwecks Realisierung des Verfahrens gemäss der dritten Ausführung des Verfahrens,

- einen zusätzlichen Regelbaustein zur Bestimmung eines Soll-Strömungsvolumens durch eine Bypassleitung zwischen einer Speisewasserpumpe der Kombi-Kraftanlage und dem Eintritt in den Hochdruck-Verdampfer es Einrohrverdampfers;
- 5 - eine Signalleitung zur Übermittlung des aktuellen, gemessenen Unterkühlungsgrad am Eintritt zum Hochdruck-Verdampfer an den zusätzlichen Regelbaustein;
- eine Signalleitung zur Übermittlung eines Ventilregelsignals an das Ventil in der Bypassleitung.

10

Eine weitere, vierte Ausführung der Regelschaltung weist zusätzlich zur dritten Ausführung

- einen weiteren Regelbaustein auf, der in Serie mit dem Regelbaustein zur Bestimmung des Soll-Strömungsvolumens durch die Bypassleitung geschaltet ist;
- 15 - eine Signalleitung zur Übermittlung des Sollwerts für das Strömungsvolumen durch die Bypassleitung an diesen weiteren Regelbaustein;
- eine Signalleitung zur Übermittlung eines aktuellen Wertes für das Strömungsvolumen an diesen weiteren Regelbaustein.

- 20 Für die Regelbausteine zur Generierung der Sollwerte werden beispielsweise Proportional-Integrator-Differentiator-Regelbausteine, auch kurz PID-Bausteine genannt, eingesetzt. Andere Bausteine, wie zum Beispiel Zustandsregler mit Beobachter, sind für die vorgegebene Funktion gleichsam anwendbar.

25

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Es zeigt

- Figur 1 eine schematische Darstellung eines Abgasdampferzeugers vom Typ eines Einrohr-Dampferzeugers für eine Kombi-Kraftanlage sowie einer
- 30 Regelschaltung zur Regelung des Dampferzeugers gemäss der zweiten Ausführung der Schaltung,

Figur 2 eine schematische Darstellung eines Abgasdampferzeugers wie in Figur 1

mit einer Regelschaltung zur Regelung des Dampferzeugers gemäss der vierten Ausführung der Schaltung.

5

Ausführung der Erfindung

Figur 1 zeigt schematisch die für die Erfindung wesentlichen Elemente einer Gas-Dampf-Kombikraftanlage, insbesondere eine Gasturbine GT, von der heisse Abgase über eine Abgasleitung 1 in einen Abgasdampferzeuger 2 zugeführt werden. Der Dampferzeuger besteht aus einem Einrohr-Dampferzeuger oder Durchlaufdampferzeuger mit einem mehreren Hochdrucküberhitzer 3, einem Hochdruck (HD)-Verdampfer 4 und einem oder mehreren Hochdruck (HD)-Economizer 5 (, wobei diese Elemente in der Reihenfolge der Abgasströmung genannt sind). Vom Dampferzeuger 2 führt zwecks dem Austritt des Abgases eine Leitung zu einem Kamin 6. Speisewasserseitig ist ein Speisewassertank 7 gezeigt von dem über eine Speisewasserpumpe 8 dem HD-Economizer 5 Speisewasser zur Erwärmung zugeführt wird. Das Speisewasser wird nach Austritt aus dem HD-Economizer 5 dem HD-Verdampfer 4 zugeführt, in dem es zur Verdampfung gebracht wird. Eine Dampfleitung führt vom HD-Verdampfer 4 zunächst in einen Separator 9, in dem insbesondere während einer Anfahrphase der Anlage, Wasser abgeschieden wird. Vom Separator 9 führt die Dampfleitung schliesslich in die erste von mehreren Stufen 3a, 3b, 3c des Hochdruck-Überhitzers 3. Nach Austritt aus der letzten Stufe 3c wird der überhitzte Dampf über eine Frischdampfleitung 10 einer Dampfturbine DT zugeführt.

25

Der Dampferzeuger 2 ist in der Figur schematisch vertikal dargestellt. Das erfindungsgemässe Verfahren eignet sich für Durchlaufdampferzeuger, durch die das Abgas aus der Gasturbine im wesentlichen in horizontaler oder in vertikaler Richtung durchströmt.

30

Eine Regelschaltung 11 zur Regelung eines Dampferzeugers 2 weist ein Temperaturmessgerät M1 zur Messung der Dampftemperatur am Austritt des Dampfüberhitzers 3 sowie eine Vorrichtung 13 zur automatischen oder manuellen

Eingabe eines Sollwerts für die Dampftemperatur in der Turbine DT, die für einen gegebenen Dampfturbinenbetrieb notwendig ist. Der Temperaturwert aus dem Messgerät M1 und der Sollwert für die Turbinendampftemperatur werden über Signalleitungen SL1 bzw. SW1 einem Proportional-Integrator-Differentiator-
5 Regelbaustein (PID-Baustein) PID1 zugeführt. Der PID1 bestimmt aufgrund der Differenz zwischen dem Sollwert für die Dampftemperatur für die Dampfturbine und dem Messwert der Dampftemperatur am Austritt des Dampfüberhitzers 3 einen Sollwert für den Überhitzungsgrad des Dampfes am Austritt aus dem HD-Verdampfer 4, der über eine Signalleitung SW2 einem zweiten PID-Baustein
10 PID2 zugeleitet wird. Am Austritt des HD-Verdampfers 4 ist eine Vorrichtung zur Messung und Berechnung des Überhitzungsgrads angeordnet, wobei diese aus einem Temperaturmessgerät M2, einem Druckmessgerät am Separator 9 und einem Rechenbaustein besteht. Die Messwerte werden dem Rechenbaustein f2 zugeleitet zur Berechnung des aktuellen Überhitzungsgrads in Berücksichtigung
15 der vorherrschenden Sättigungstemperatur. Der berechnete Überhitzungsgrad aus dem Baustein f2 wird über eine Signalleitung SL2 dem PID2 zugeleitet, der aufgrund der Differenz zwischen dem aktuellen Überhitzungsgrad und dem Sollwert für den Überhitzungsgrad einen weiteren Sollwert für den Unterkühlungsgrad des Speisewassers am Eintritt zum HD-Verdampfer 4
20 generiert. Dieser Unterkühlungssollwert wird über Leitung SW3 einem dritten PID-Baustein PID3 zugeführt. Zur Feststellung des Unterkühlungsgrads des Speisewassers ist in der Zufuhrleitung 14 zum HD-Verdampfer 4 eine Vorrichtung zur Messung und Berechnung des Unterkühlungsgrads angeordnet bestehend aus einem Messgerät M3 zur Messung der Temperatur des Speisewassers,
25 einem Druckmessgerät M3' und einem Rechenbaustein f3. Die Messwerte aus den Geräten M3 und M3' werden wiederum dem Rechenbaustein f3 zugeführt zur Berechnung des Unterkühlungsgrads unter Berücksichtigung der Sättigungstemperatur. Der aktuelle Unterkühlungsgrad aus dem Baustein f3 wird sodann über eine Signalleitung SL3 dem PID-Baustein PID3 zugeleitet. Der
30 Baustein PID3 bestimmt für die letzte Stufe der mehrstufigen Regelschaltung einen weiteren Sollwert für das Strömungsvolumen des Speisewassers in den HD-Verdampfer 4. Dieser Sollwert wird über die Signalleitung SW4 einem vierten und letzten in der Serie geschalteten PID-Bausteine PID4 zugeführt. Ein Messgerät

- M4 in der Leitung 14 stellt das bestehende Strömungsvolumen fest, dessen Messwertsignal über eine Signalleitung SL4 dem PID-Baustein PID4 zugeleitet wird. Der Baustein PID4 generiert sodann unter Berücksichtigung von vorbestimmten Mindest- und Maximalwerten für das Strömungsvolumen ein
- 5 Regelsignal, das über eine Regelsignalleitung RL an ein Ventil 12 in der Zufuhrleitung 14 zum HD-Verdampfer geleitet wird. Die Ventilöffnung wird sodann entsprechend getätigt. Dadurch wird eine optimale Speisewasserzufuhr in den HD-Verdampfer für die gewünschte Dampftemperatur in der Dampfturbine DT sichergestellt. Das durch die Regelschaltung geregelte Ventil 12 kann an
- 10 beliebiger Stelle in der Speisewasserzufuhrleitung in den Hochdruckverdampfer angeordnet sein, d.h. beispielsweise am Eintritt zum Hochdruckverdampfer und nach dem Hochdruck-Economizer oder auch in der Leitung vor dem Eintritt in den Hochdruck-Economizer.
- 15 Eine vereinfachte Variante der Regelschaltung ist mit der Schaltung von Figur 1 identisch mit Ausnahme des Regelbausteins PID4 und der Messvorrichtung zur Messung des Speisewasserströmungsvolumens. Die Variante weist nur drei in Serie geschaltete Regelbausteine auf und eine Regelsignalleitung, die vom Regelbaustein PID3 direkt zum Ventil 12 führt. Anstelle von PID-Regelbausteinen
- 20 sind, wie vorgängig erwähnt, sowohl in dieser Schaltung als auch in der Schaltung von Figur 1, auch Zustandsregler mit Beobachter einsetzbar.

Bei jeder Regelstufe, d.h. bei jedem PID-Baustein wird jeweils der Sollwert für die nachfolgende Regelstufe generiert, wobei diese unter Berücksichtigung von

25 vorgegebenen Minimal- und Maximalsollwerten bestimmt werden. Bei der Generierung des Sollwertes für den Überhitzungsgrad des Dampfes am Austritt des Hochdruckverdampfers 4, der über Leitung SW2 weitergeleitet wird, ist durch eine untere Limite Min Sh und eine obere Limite Max Sh ein Bereich für den Sollwert festgelegt. Dieser Bereich gewährleistet den optimalen und sicheren

30 Betrieb des Dampferzeugers.

Die untere Limite Min Sh verhindert einen Sättigungszustand (Wasser-Dampf-Gemisch) am Austritt des Hochdruck-Verdampfers. Ein Sättigungszustand am

Austritt Hochdruck-Verdampfers würde sonst zu einer Verminderung des Verdampfungsprozesses und zu einer unaufhaltbaren Überhitzung am Austritt des Überhitzers des Dampferzeugers führen.

Die obere Limite Max Sh verhindert eine Überschreitung der Dampftemperatur
5 über der zulässigen Materialtemperatur am Austritt des Hochdruck-Verdampfers. Zusätzlich stellt sie sicher, dass die Überhitzung am Austritt des Hochdruck-Verdampfers die nötige Grenze für einen stabilen Betrieb des Verdampfers nicht überschreitet.

10 Analog wird durch PID-Baustein PID2 der Sollwert für den Unterkühlungsgrad des Speisewassers am Eintritt in den HD-Verdampfer 4 innerhalb eines Bereichs bestimmt, der durch eine untere Limite MinSc und eine obere Limite Max Sc vorgegebenen ist. Die unter Limite Min Sc verhindert eine Ausdampfung des Speisewassers am Eintritt des Hochdruck-Verdampfers, und stellt damit die
15 Betriebs-Stabilität des Hochdruck-Verdampfers sicher und verhindert einen Verschleiss der Armaturen am Eintritt des Hochdruck-Verdampfers. Die obere Limite Max Sc verhindert einen zu hohen Unterkühlungsgrad und damit einen instabilen Betrieb des Verdampfers weit weg vom optimalen Betriebsbereich. Insbesondere gewährleistet diese obere Limite Max Sh eine
20 geeignete Reaktionszeit der Regelung, d.h. eine schnellere Rückkehr in einen optimalen Betriebsbereich.

Ebenfalls wird durch PID-Baustein PID3 der Sollwert für das Strömungsvolumen des Speisewassers in den HD-Verdampfer 4 innerhalb eines Bereichs zwischen
25 Min FI und Max FI generiert. Die untere Grenze gewährleistet, dass ein Minimalfluss sichergestellt ist, zum Beispiel im Fall eines Ventilfehlverhaltens. Die obere Grenze stellt ein Strömungsvolumen unterhalb dem maximal möglichen Speisewasserpumpen-Strömungsvolumen sicher.

30 In einer weiteren Ausführung des erfindungsgemässen Verfahrens wird der Sollwert für die Frischdampftemperatur für die Dampfturbine und die gemessene Dampftemperatur am Austritt aus dem Überhitzer 3 dazu verwendet, ein Regelsignal zu generieren für die Öffnung eines Ventils 15 in einer

- Zusatzwasserleitung 16. Dieses Zusatzwasser wird sodann in den Überhitzer 3 eingespritzt. Hierzu wird der Sollwert für die Frischdampf­temperatur für die Dampfturbine, der durch die Vorrichtung 13 vorgegeben wird, über eine Leitung SW5 einem weiteren PID-Regelbaustein PID5 zugeleitet. Zudem wird der
- 5 Temperaturmesswert aus dem Messgerät M1 über eine Leitung SL1' ebenfalls dem PID-Baustein PID5 zugeführt. Dieser Baustein PID5 generiert das Regelsignal für die Öffnungsposition eines Ventils 15 in einer Leitung 16 für Zusatzwasser zur Einspritzung in den Dampf­überhitzer 3. Dieses Zusatzwasser ist insbesondere beim Hochfahren der Anlage notwendig, wenn die heißen Abgase
- 10 aus der Gasturbine den HD-economizer und HD-Verdampfer noch nicht erreicht haben und noch kein Dampf im Überhitzer vorhanden ist.
- Das Regelsignal für die Öffnung des Ventils 15 wird weiter zur Generierung eines Maximal-Sollwerts für den Überhitzungsgrad am Austritt aus dem Hochdruck-Verdampfer 4 MaxSh verwendet. Das Ventilregelsignal aus dem PID-
- 15 Regelbaustein PID5 wird hierzu einem weiteren PID-Baustein PID6 zugeleitet. Dieser generiert aufgrund dieses Ventilsignals den Maximal-Überhitzungsgrad Max Sh, sodass bei steigender Ventilöffnung, d.h. steigendem Zusatzwasservolumen, die obere Grenze MaxSh in der ersten Stufe der mehrstufigen Regelung des Dampferzeugers gesenkt wird. Die Absenkung des
- 20 Sollwerts für den Überhitzungsgrad bezweckt eine Erhöhung des Speisewasserströmungsvolumens für den Hochdruckverdampfer. Damit wird eine übermäßige Einspritzung von Zusatzwasser während dem Hochfahren der Anlage verhindert. Dieser Maximalwert Max Sh für den Sollwert des Überhitzungsgrads wird erhöht oder gesenkt um die Empfindlichkeit des Regelbausteins PID1 zu regulieren. Im
- 25 Fall, dass die Differenz zwischen Mess- und Sollwert für die Dampf­temperatur am Austritt aus dem Überhitzer gleich Null ist, wird durch das Signal aus dem Regelbaustein PID5 eine Anpassung des Sollwerts für den Überhitzungsgrad ermöglicht.
- 30 Die Einspritzung von Zusatzwasser kann anstelle der Schaltung für die Einspritzung mittels Bausteinen PID5, PID6, den Signalleitungen SW5, SL1', der Wasserleitung 16 und dem Ventil 15 kann auch durch eine sogenannte Exit-stage-Einspritzung mit Leitung 18 und Ventil 17 und dazugehörigen Regel-

Bausteinen und Signalleitungen realisiert werden. Zudem können auch beide Einspritzschaltungen gleichzeitig eingesetzt werden.

Figur 2 zeigt schematisch die gleiche Kombi-Kraftanlage mit

5 Einrohrdampferzeuger wie in Figur 1 und die gleiche Regelschaltung zur Regelung dieser Anlage wie in Figur 1, jedoch mit zusätzlichen Elementen zur Regelung der Unterkühlung des Strömungsmediums am Eintritt des Hochdruck-Verdampfers, wobei die Anlage zusätzlich eine Bypassleitung 20 aufweist, die vom Austritt aus der Speisewasserpumpe 8 abzweigt und in die

10 Speisewasserleitung 14 des Einrohrdampferzeugers vor dem Eintritt in den Hochdruck-Verdampfer 4 und nach dem Economizer 5 mündet. Figur 2 zeigt die zusätzlichen Schaltungselemente gemäss der vierten Ausführung der Regelschaltung. Insbesondere ist ein Regelbaustein PID7 gezeigt, zu dem eine Signalleitung SL6 und eine Signalleitung SW6 führen, die einen aktuellen

15 Unterkühlungsgrad des Strömungsmediums am Eintritt zum Hochdruck-Verdampfer 4 gemäss Berechnung durch den Rechenbaustein f3 bzw. einen Mindestsollwert für den Unterkühlungsgrad zum Regelbaustein PID7 leiten. Der Mindestsollwert des Unterkühlungsgrads ist insbesondere kleiner als der Mindestsollwert für den Unterkühlungsgrad, der über Leitung SW3 an den

20 Regelbaustein PID3 geleitet wird. Der Baustein PID7 bestimmt aufgrund der Differenz zwischen dem ihm zugeleiteten aktuellen Unterkühlungsgrad und dem Mindestsollwert für den Unterkühlungsgrad einen Sollwert für das Strömungsvolumen durch die Bypassleitung 20. Eine Signalleitung SW7 führt vom Baustein PID7 zu einem weiteren Regelbaustein PID8, dem der bestimmte

25 Strömungsvolumensollwert zugeleitet wird. Eine Signalleitung SL7 führt ebenfalls zu diesem Regelbaustein PID8, über die ein aktueller Wert des Strömungsvolumens durch die Bypassleitung 20 zum Baustein PID8 geleitet wird. Dieser aktuelle Wert des Strömungsvolumens wird, wegen des geringen Druckunterschieds, anstatt durch eine Messung beispielsweise rechnerisch

30 bestimmt mittels einer Energiebilanzrechnung:

$$m_{\text{eco-byp}} = m_{\text{eva}} (h_{\text{eco}} - h_{\text{mix}}) / (h_{\text{eco}} - h_{\text{fdw-pmp}}) ,$$

wobei

$m_{\text{eco-byp}}$ der Massenstrom durch die Bypassleitung 20,

- m_{eva} der Massenstrom durch den Hochdruck-Verdampfer 4,
 h_{eco} die Enthalpie des Strömungsmediums im Economizer 5,
 h_{mix} die Enthalpie des Strömungsmediums in der Leitung nach der Einmündung
der Bypassleitung 20,
5 $h_{\text{fdw-pmp}}$ die Enthalpie des Strömungsmediums bei der Speisewasserpumpe 8
bedeuten.

PID8 generiert aufgrund des Sollwerts für das Strömungsvolumen sowie des
berechneten, aktuellen Strömungsvolumens $m_{\text{eco-byp}}$ ein Regelsignal für die
10 Öffnungsposition eines Ventils in der Bypassleitung 20. Das Ventilregelsignal wird
schliesslich durch eine Signalleitung 21 vom Baustein PID8 an das Ventil in der
Bypassleitung 20 übermittelt.

Eine vereinfachte Variante der Regelschaltung ist mit der Schaltung von Figur 2
15 identisch mit Ausnahme des Regelbausteins PID8 und der Signalleitung für den
aktuellen Wert des Strömungsvolumens durch die Bypassleitung. In der Variante
führt eine Regelsignalleitung direkt vom Baustein PID7 zum Ventil in der
Bypassleitung 20.

Anstelle von PID-Regelbausteinen sind, wie vorgängig erwähnt, sowohl in dieser
20 Schaltung als auch in der Schaltung von Figur 2, auch Zustandsregler mit
Beobachter einsetzbar.

Bezugszeichenliste

	GT	Gasturbine	
5	DT	Dampfturbine	
	1	Abgasleitung	
	2	Abgasdampferzeuger, Abhitzedampferzeuger	
	3	Hochdruck-Überhitzer	
	3a,b,c	Stufen des Hochdruck-Überhitzers	3
10	4	Hochdruck-Dampferzeuger	
	5	Hochdruck-Economizer	
	6	Kamin	
	7	Speisewassertank	
	8	Speisewasserpumpe	
15	9	Separator	
	10	Frischdampfleitung	
	11	Regelschaltung	
	12	Ventil	
	13	Vorrichtung zur Eingabe eines Sollwerts für die Turbinendampftemperatur	
20	14	Speisewasserzufuhrleitung	
	15	Ventil	
	16	Zusatzwasserleitung	
	17	Ventil	
	18	Zusatzwasserleitung	
25	20	Bypassleitung	
	21	Signalleitung zu Ventil in Bypassleitung 20	
	M1, M2, M3, M4; M2', M3'	Messvorrichtungen	1-5
	SW1, SW2, SW3, SW4, SW5, S6	Leitungen zur Übermittlung von Sollwerten	
	SL1-6	Signalleitungen	
30	RL	Regelsignalleitung	
	PID1-8	Proportional-Integrator-Differentiator-Regelbausteine	
	f2, f3	Berechnungsbausteine	

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung eines Dampferzeugers vom Typ eines
5 Einrohrdampferzeugers (2), der in einer Kombi-Kraftanlage mit einer Dampfturbine (DT) und einer Gasturbine (GT) integriert ist, wobei der Dampferzeuger (2) einen HD-economizer (5), einen HD-Verdampfer (4) und mindestens einen Überhitzer (3) umfasst,
dadurch gekennzeichnet, dass
10 eine Öffnung eines Ventils (12) zur Regulierung des Strömungsvolumens in einer Speisewasser-Zufuhrleitung (14) in den Hochdruck-Verdampfer (4) in Abhängigkeit eines Temperatursollwerts für den Dampf für die Dampfturbine (DT) sowie einer gemessenen Dampftemperatur am Austritt des mindestens einen Überhitzers (3) und mittels mehreren Regelungsstufen (PID1-4) in Serie geregelt
15 wird, wobei bei den Regelungsstufen (PID1-4) die gemessene Dampftemperatur am Austritt des Überhitzers (3), ein Überhitzungsgrad am Austritt des Hochdruck-Verdampfers (4) und ein Unterkühlungsgrad des Speisewassers am Eintritt in den Hochdruck-Verdampfer (4) miteinbezogen wird.

20

2. Verfahren nach Anspruch 1
dadurch gekennzeichnet, dass
das Verfahren die Schritte umfasst:
25 - Messung der Dampftemperatur am Austritt des Überhitzers (3),
- in einer ersten Regelstufe, Vergleich der Dampftemperatur mit einem Sollwert für die Turbinendampftemperatur gemäss einem Betriebszustand der Dampfturbine (DT), und Generierung eines Sollwerts für den Überhitzungsgrad am Austritt des Hochdruck-Verdampfers (4) aufgrund der Differenz zwischen dem
30 Messwert und Sollwert der Dampftemperatur am Austritt des Überhitzers (3),
- Messung des aktuellen Überhitzungsgrads am Austritt des Hochdruck-Verdampfers (4),
- in einer zweiten Regelstufe, Generierung eines Sollwerts für den

Unterkühlungsgrad des Speisewassers am Eintritt des Hochdruck-Verdampfers (4) aufgrund der Differenz zwischen dem Sollwert und aktuellen Messwert des Überhitzungsgrads am Austritt des Hochdruck-Verdampfers (4),

- Messung des aktuellen Unterkühlungsgrads des Speisewassers am Eintritt in
5 den Hochdruck-Verdampfer (4),
- in einer dritten Regelstufe, Generierung eines Sollwerts für das Strömungsvolumen für das Speisewasser vor dem Hochdruck-Verdampfer (4) aufgrund der Differenz zwischen dem Sollwert und dem aktuellen Messwert für den Unterkühlungsgrad des Speisewassers,
- 10 - aufgrund des Sollwerts für das Strömungsvolumen des Speisewassers, Generierung eines Regelsignals für die Öffnung eines Ventils (12) in der Speisewasserzufuhrleitung (14) und Übermittlung an das Ventil (12).

15 3. Verfahren nach Anspruch 2

dadurch gekennzeichnet, dass

zusätzlich nach der Bestimmung des Sollwertes für das Strömungsvolumen des Speisewassers die Schritte durchgeführt werden:

- Messung des aktuellen Strömungsvolumens des Speisewassers in den
20 Hochdruck-Verdampfer (4),
- in einer vierten Regelstufe, Generierung eines Regelsignals für eine Öffnungsposition eines Ventils (12) in einer Speisewasserzufuhrleitung (14) vor dem Hochdruck-Verdampfer (4) aufgrund der Differenz zwischen dem Sollwert für das Strömungsvolumen des Speisewassers und dem aktuellen gemessenen
25 Strömungsvolumen,
- Übermittlung eines Regelsignals für die Öffnung des Ventils (12) in der Speisewasserzufuhrleitung (14).

30 4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3

dadurch gekennzeichnet, dass

der Sollwert für den Überhitzungsgrad am Austritt des Hochdruckverdampfers (4) zwischen vorgegebenen Maximal- und Minimalwerten (Max Sh, Min Sh) bestimmt

wird.

5. Verfahren nach Anspruch nach einem der vorangehenden Ansprüche 2-4 dadurch gekennzeichnet, dass
- 5 der Sollwert für den Unterkühlungsgrad des Speisewassers am Eintritt in den Hochdruckverdampfer (4) zwischen vorgegebenen Maximal- und Minimalwerten (Max Sc, Min Sc) bestimmt wird.
- 10 6. Verfahren nach Anspruch nach einem der vorangehenden Ansprüche 2-5 dadurch gekennzeichnet, dass
- der Sollwert für das Strömungsvolumen zwischen vorgegebenen Maximal- und Minimalwerten (Max FI, Min FI) bestimmt wird.
- 15 7. Verfahren nach Anspruch einem der vorangehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass
- aufgrund der Differenz zwischen dem Sollwert für die Dampftemperatur in der Dampfturbine (DT) und dem Messwert für die Dampftemperatur am Austritt des
- 20 Überhitzers (3) ein Regelsignal für die Öffnung eines Ventils (15) in einer Zusatzwasserleitung (16) generiert wird und aufgrund dieses Regelsignals über die Zusatzwasserleitung (16) Wasser in den Überhitzer (3) eingespritzt wird.
- 25 8. Verfahren nach Anspruch 7 dadurch gekennzeichnet, dass
- mittels des Regelsignals für die Öffnung des Ventils (15) in der Zusatzwasserleitung (16) ein Maximalsollwert (MaxSh) für den Überhitzungsgrad am Austritt des Hochdruckverdampfers (4) generiert wird und der ersten
- 30 Regelstufe (PID1) in der mehrstufigen Regelung (11) zugeleitet wird.
9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche 1-8

dadurch gekennzeichnet, dass

zusätzlich die Schritte durchgeführt werden:

- Bestimmung eines Soll-Strömungsvolumens durch eine Bypassleitung (20) zwischen dem Austritt der Speisewasserpumpe (8) der Kombi-Kraftanlage und dem Eintritt des Hochdruck-Verdampfers (4) aufgrund der Differenz zwischen dem aktuellen Messwert des Unterkühlungsgrads am Eintritt des Hochdruck-Verdampfers (4) und einem Mindest-Sollwert für die Unterkühlung kleiner als der Mindestsollwert für die Unterkühlung in der dritten Regelstufe;
- aufgrund des Sollwerts für das Strömungsvolumen durch die Bypassleitung, Generierung und Übermittlung eines Regelsignals für die Öffnungsposition eines Ventils in der Bypassleitung (20).

10. Verfahren nach Anspruch 9

dadurch gekennzeichnet, dass

das Verfahren zusätzlich den Schritt umfasst:

- Bestimmung des aktuellen Strömungsvolumens in der Bypassleitung (20);
- Generierung eines Regelsignals für die Öffnungsposition eines Ventils in der Bypassleitung (20) aufgrund des Sollwerts für das Strömungsvolumen durch die Bypassleitung (20) und einem aktuellen Strömungsvolumen durch die Bypassleitung (20);
- Übermittlung des Regelsignals für die Position des Ventils in der Bypassleitung.

11. Regelschaltung (11) für die Regelung eines Dampferzeugers vom Typ eines Einrohrdampferzeugers (2), der in einer Kombi-Kraftanlage mit einer Dampfturbine (DT) und einer Gasturbine (GT) integriert ist und einen HD-economizer (5), einen HD-Verdampfer (4) und mindestens einen Überhitzer (3) umfasst,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Regelschaltung (11) folgende Elemente aufweist:

- eine Vorrichtung (13) zur Eingabe eines Sollwerts für eine gewünschte Turbinendampf Temperatur sowie eine Vorrichtung (M1) zur Messung einer

- Dampftemperatur am Austritt des mindestens einen Überhitzers (3),
- eine Vorrichtung (M2, M2', f2) zur Messung und Berechnung des Überhitzungsgrads am Austritt des Hochdruckverdampfers (4),
 - eine Vorrichtung (M3, M3', f3) zur Messung und Berechnung des
- 5 Unterkühlungsgrads des Speisewassers am Eintritt in den Hochdruckverdampfer (4),
- mindestens drei Regelbausteine (PID1-4), die in Serie geschaltet sind,
 - Signalleitungen (SL1-3) zur Übermittlung der Messwerte der Dampftemperatur am Austritt aus dem Dampfüberhitzer (3), der Werte des Überhitzungsgrads am
- 10 Austritt aus dem Hochdruckverdampfer (4) und des Unterkühlungsgrads des Speisewassers am Eintritt in den Hochdruckverdampfer (4) an die Regelbausteine (PID1-3),
- eine Regelsignalleitung (RL) zur Übermittlung eines Regelsignals vom letzten in Serie geschalteten Regelbaustein (PID3, PID4) an ein Ventil (12) in der
- 15 Zufuhrleitung (14) für das Speisewasser in den Hochdruckverdampfer (4).

12. Regelschaltung nach Anspruch 11
dadurch gekennzeichnet, dass
- 20 die Regelschaltung (11) zusätzlich folgende Elemente aufweist:
- eine Vorrichtung (M4) zur Messung des Strömungsvolumens des Speisewassers in der Zufuhrleitung (14) in den Hochdruck-Verdampfer (4),
 - einen vierten Regelbaustein (PID4), der mit den drei Regelbausteinen (PID1-3) in Serie geschaltet ist,
- 25 - eine Signalleitung (SL4) zur Übermittlung des Messwerts für das Strömungsvolumen an den vierten Regelbaustein (PID4)

13. Regelschaltung nach Anspruch 11 oder 12
dadurch gekennzeichnet, dass
- 30 die Regelschaltung (11) zusätzlich folgende Elemente aufweist:
- einen weiteren Regelbaustein (PID5) zur Bestimmung eines Regelsignals für die Öffnung eines Ventils (17) in einer Zusatzwasserleitung (18) in den Überhitzer (3),

- einen weiteren Regelbaustein (PID6) zur Generierung eines Maximalsollwerts (Max Sh) für den Überhitzungsgrad am Austritt des Hochdruckverdampfers (4),
 - eine Signalleitung (SL1') zur Übermittlung des Regelsignals für das Ventil (17) in der Zusatzwasserleitung (18) an den Regelbaustein (PID6) zur Generierung des
- 5 Maximalsollwerts für den Überhitzungsgrad.

14. Regelschaltung nach einem der vorangehenden Ansprüche 11 bis 13 dadurch gekennzeichnet, dass
- 10 die Regelbausteine (PID1-4) Proportional-Integrator-Differentiator-Regelbausteine oder Zustandsbausteine mit Beobachter sind.

15. Regelschaltung nach einem der vorangehenden Ansprüche 11 bis 13
- 15 dadurch gekennzeichnet, dass
- die Regelschaltung folgende zusätzlichen Elemente aufweist:
- einen zusätzlichen Regelbaustein (PID7) zur Bestimmung eines Soll-Strömungsvolumens durch eine Bypassleitung (20) zwischen einer Speisewasserpumpe (8) der Kombi-Kraftanlage und dem Eintritt in den
- 20 Hochdruck-Verdampfer (4) des Einrohrverdampfers (2);
- eine Signalleitung (SL6) zur Übermittlung des aktuellen, gemessenen Unterkühlungsgrad am Eintritt zum Hochdruck-Verdampfer (4) an den zusätzlichen Regelbaustein (PID7);
 - eine Signalleitung (21) zur Übermittlung eines Ventilregelsignals an das Ventil in
- 25 der Bypassleitung (20).

16. Regelschaltung nach Anspruch 15
- dadurch gekennzeichnet, dass
- die Regelschaltung folgende zusätzlichen Elemente aufweist:
- 30 - einen weiteren Regelbaustein (PID8), der in Serie mit dem Regelbaustein (PID7) zur Bestimmung des Soll-Strömungsvolumens durch die Bypassleitung (20) geschaltet ist;
- eine Signalleitung (SW7) zur Übermittlung des Sollwerts für das

Strömungsvolumen durch die Bypassleitung (20) an diesen weiteren Regelbaustein (PID8);

- eine Signalleitung (SL7) zur Übermittlung eines aktuellen Wertes für das Strömungsvolumen durch die Bypassleitung (20) an diesen weiteren

5 Regelbaustein (PID8).

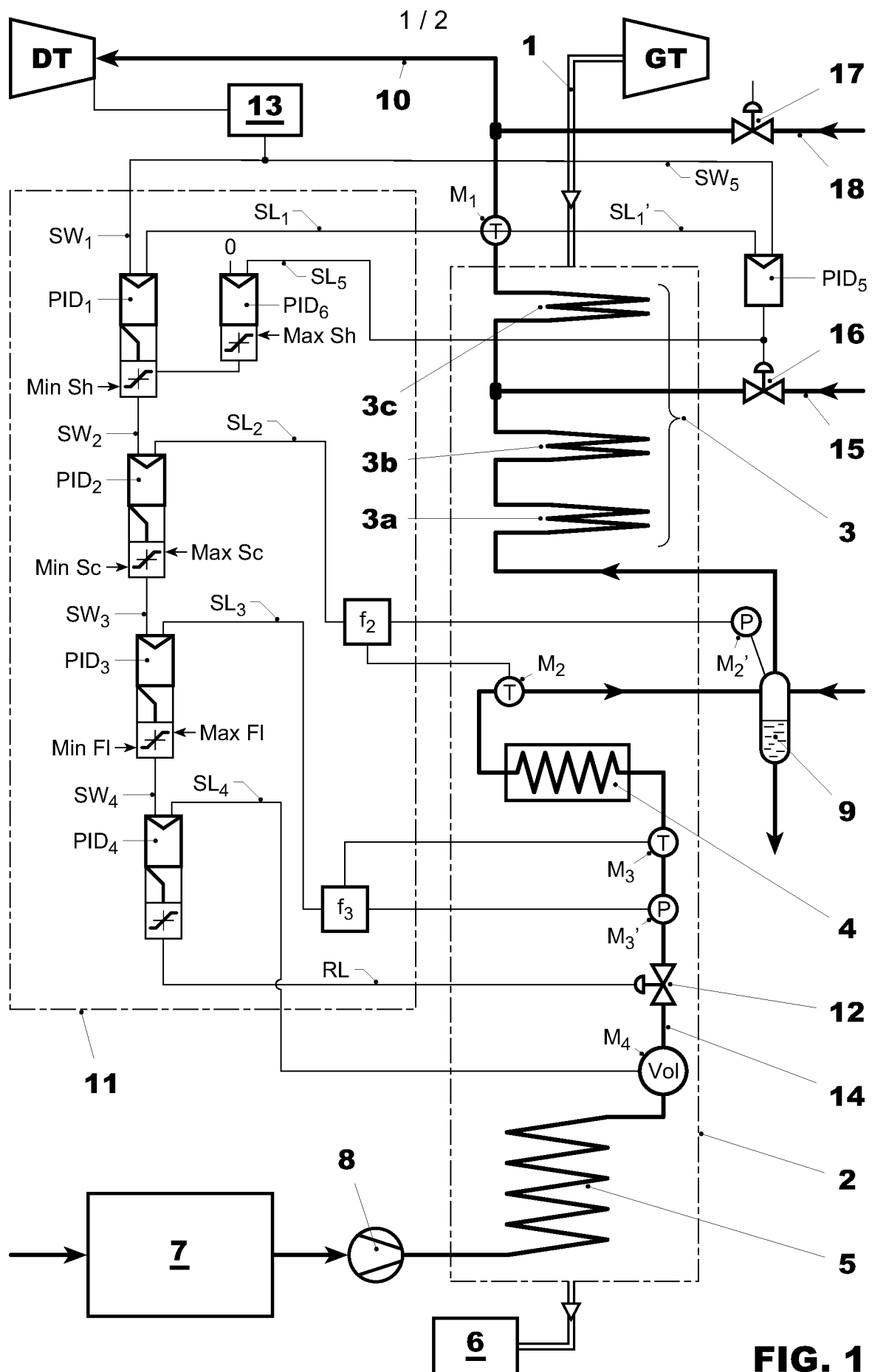


FIG. 1

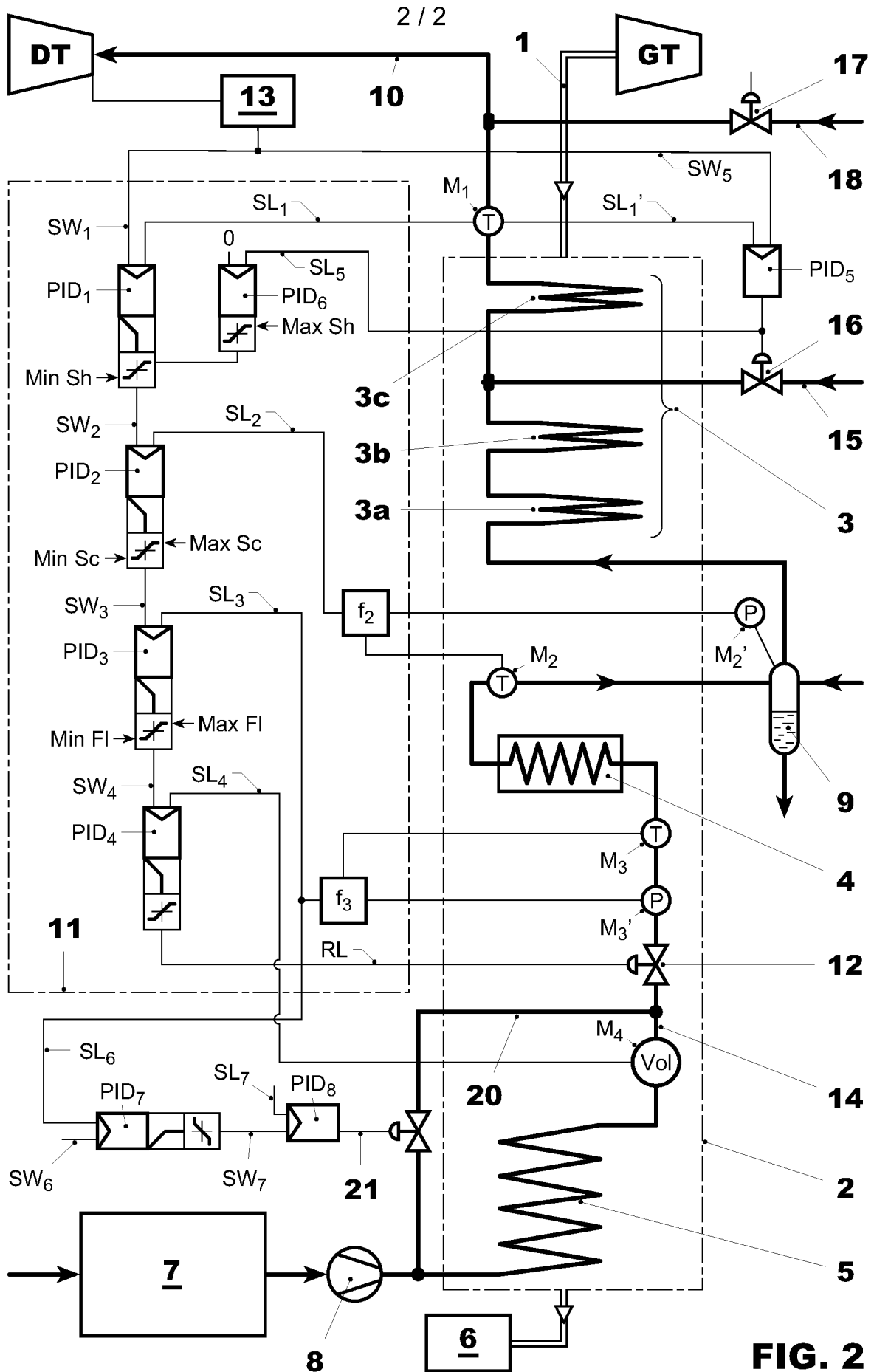


FIG. 2