

(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
23. Mai 2013 (23.05.2013)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/072183 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation: Nicht klassifiziert
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/071478
- (22) Internationales Anmeldedatum:
30. Oktober 2012 (30.10.2012)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
11188956.4 14. November 2011 (14.11.2011) EP
- (71) Anmelder: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
[DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).
- (72) Erfinder: PICKARD, Andreas; Beethovenstr. 3, 91325
Adelsdorf (DE). SCHMID, Erich; Am Birnbaum 1, 90449
Nürnberg (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
RU, TJ, TM), europäisches (AL, 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, RS, SE,
SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,
GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

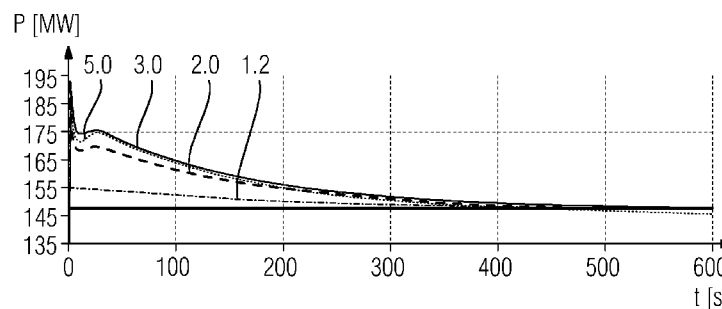
Veröffentlicht:

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

(54) Title: METHOD FOR OPERATING A GAS AND STEAM TURBINE SYSTEM FOR FREQUENCY ASSISTANCE

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUM BETRIEB EINER GAS- UND DAMPTURBINENANLAGE FÜR DIE
FREQUENZSTÜTZUNG

FIG 3



(57) Abstract: The invention relates to a method for operating a gas and steam turbine system (1) having a gas turbine (2), a steam turbine (3) and a waste heat steam generator (8) in which steam for the steam turbine (3) can be generated in the exchange of heat with exhaust gas from the gas turbine (2), wherein, in order to assist the frequency in the power system starting from a steady-state operating mode, the absorption capacity of the steam turbine (3) can be increased and the pressure in the waste heat steam generator (8) can be lowered in order to utilize storage reserves in the waste heat steam generator (8) for increased generation of steam, and wherein thermal energy is fed to the waste heat steam generator (8) so quickly that a power profile of the gas and steam turbine system (1) is greater than or equal to a directly preceding power level of the steady-state operating mode owing to the enlargement of the absorption capacity of the steam turbine (3) and the reduction in pressure in the waste heat steam generator (8).

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2013/072183 A2



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Gas- und Dampfturbinenanlage (1) mit einer Gasturbine (2), einer Dampfturbine (3) und einem Abhitzedampferzeuger (8), in dem im Wärmetausch mit Abgas aus der Gasturbine (2) Dampf für die Dampfturbine (3) erzeugbar ist, wobei zur Frequenzstützung im Stromnetz aus einem stationären Betrieb heraus die Schluckfähigkeit der Dampfturbine (3) vergrößert und der Druck im Abhitzedampferzeuger (8) abgesenkt werden, um Speicherreserven im Abhitzedampferzeuger (8) zu einer erhöhten Dampferzeugung zu nutzen, und dass dem Abhitzedampferzeuger (8) so schnell Wärmeenergie zugeführt wird, dass ein Leistungsverlauf der Gas- und Dampfturbinenanlage (1) in Folge der Vergrößerung der Schluckfähigkeit der Dampfturbine (3) und der Druckabsenkung im Abhitzedampferzeuger (8) größer gleich einer unmittelbar zuvor vorhandenen Leistung des stationären Betriebs ist.

Beschreibung

Verfahren zum Betrieb einer Gas- und Dampfturbinenanlage für die Frequenzstützung

5

Die Erfindung betrifft den Frequenzstützbetrieb einer Gas- und Dampfturbinenanlage.

Der Energiemarkt fordert in vermehrtem Maße hochflexible Kraftwerksanlagen, die neben schnellen An- und Abfahrzeiten auch einen großen Leistungsbereich abdecken können und für den Frequenzstützbetrieb gut vorbereitet sind.

Dazu gehört u.a. auch die Fähigkeit, bei hohem Strombedarf zusätzlich Leistung freizusetzen (sog. Spitzenlastbetrieb). Dabei wird in Zukunft erwartet, dass sich auch Kraftwerke, die in ihrem Nominalpunkt betrieben werden, an der Spitzenlastabdeckung und an der Frequenzstützung beteiligen.

Heutige Lösungen setzen auf die Nutzung von Leistungsreserven innerhalb der Komponenten oder beruhen auf Technologien, die nur eine sehr geringe Leistungsreserve zur Verfügung stellen können. Sowohl für die Frequenzstützung als auch die Spitzenlastabdeckung kann die Gasturbine überfeuert werden, es können die Verdichterleitschaufeln über die Grundlaststellung hinaus geöffnet werden, oder es kann Wasser in den Ansaugluftkanal eingedüst werden. Anforderungen, die lediglich die Spitzenlastabdeckung betreffen, können durch Dampfeindüsung in die Gasturbinen-Brennkammer, durch Kühlung der Gasturbinen-Ansaugluft, beispielsweise mit Verdunstungskühlern oder mit Kältemaschinen (sog. Chiller) erfüllt werden, oder indem der Abhitzedampferzeuger (AHDE) mit einer Zusatzfeuerung ausgestattet wird, um die Dampfturbinenleistung anzuheben. Zur Frequenzstützung können der Frischdampf oder der Dampf aus der Zwischenüberhitzung (modifizierte Gleitdruckfahrweise) angestaut werden und die Turbinen-Regelventile anschließend schnell geöffnet werden.

Die EP 1 164 254 B1 beschreibt eine Gas- und Dampfturbinenanlage mit Dampfumleitungen für die Spitzenlastabdeckung, d.h. für Zusatzleistung bei Volllast. Dabei wird ein Teil des im Abhitzedampferzeuger erzeugten Dampfes über Bypasskanäle an den Turbineneinlässen vorbei in stromab dieser Turbineneinlässe angeordnete weitere Einlässe den Turbinenteilen zugeführt, wodurch der Druck im Abhitzedampferzeuger im wesentlichen konstant gehalten werden kann und die Schluckfähigkeit der Dampfturbine und damit auch die abgegebene Leistung erhöht werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren für den Frequenzstützbetrieb einer Gas- und Dampfturbinenanlage bereitzustellen, das eine verbesserte Leistungsreserve zur Verfügung stellt.

Die Erfindung löst diese Aufgabe, indem sie vorsieht, dass beim Betrieb einer Gas- und Dampfturbinenanlage mit einer Gasturbine, einer Dampfturbine und einem Abhitzedampferzeuger, in dem im Wärmetausch mit Abgas aus der Gasturbine Dampf für die Dampfturbine erzeugbar ist, zur Frequenzstützung im Stromnetz aus einem stationären Betrieb heraus die Schluckfähigkeit der Dampfturbine vergrößert und der Druck im Abhitzedampferzeuger abgesenkt werden, um Speicherreserven im Abhitzedampferzeuger zu einer erhöhten Dampferzeugung zu nutzen, und dass dem Abhitzedampferzeuger so schnell Wärmeenergie zugeführt wird, dass ein Leistungsverlauf der Gas- und Dampfturbinenanlage in Folge der Vergrößerung der Schluckfähigkeit der Dampfturbine und der Druckabsenkung im Abhitzedampferzeuger größer gleich einer unmittelbar zuvor vorhandenen Leistung des stationären Betriebs ist.

Die Erfindung beruht demnach auf dem Gedanken, Speicherreserven im Abhitzedampferzeuger zu nutzen, um zusätzlichen Dampf bei schlagartigem Öffnen der Ventile zu erzeugen. Durch den Druckabfall im Abhitzedampferzeuger wird zusätzlich Dampf erzeugt und eine ausreichend dimensionierte und schnelle Zufuhr von Wärmeenergie soll die übliche Delle im Leistungsverlauf

verhindern. Durch dieses Verfahren kann Regelleistung bei Teil- und Volllast bereitgestellt werden.

Durch das erfinderische Verfahren kann die Flexibilität und Wirtschaftlichkeit der Kraftwerksanlage erheblich gesteigert werden, da bei hohem Leistungsbedarf zusätzliche Energie zur Verfügung steht, die insbesondere bei hohen Stromerlösen in Strommärkten zu erhöhten Einnahmen führt und den Betrieb der Anlage wirtschaftlicher gestaltet (Spitzenlastfähigkeit).

Dies gilt für den Frequenzstützbetrieb insbesondere für die Sekundär- und Tertiär-Stützung. Somit ist es für die Primärfrequenzstützung bzw. den Spitzenlastbetrieb nicht notwendig, den Hochdruck- bzw. auch den Zwischenüberhitzungsteil im Druck höher auszulegen als für den Nennbetrieb. Außerdem ist es nicht erforderlich, die Anlage im sogenannten modifizierten Gleitdruckbetrieb zu fahren, der durch die Androsselung der Dampfturbinen-Regelventile Leistungs- und Wirkungsgradverluste im Bereitschaftsbetrieb der Anlage produziert. Mit dem erfinderischen Verfahren kann der Lastbereich des Kraftwerkes ausgedehnt werden kann, da auch der Schwachlastbetrieb flexibler eingestellt werden kann.

Vorteilhafterweise wird zur Erhöhung der Schluckfähigkeit der Dampfturbine mindestens ein Ventil in einem Bypasskanal zum Umfahren einer Dampfturbinenstufe oder eines Dampfturbinenmoduls geöffnet.

Dabei ist es zweckmäßig, wenn Dampf über den Bypasskanal stromab eines Hochdruckeinlasses in die Dampfturbine geleitet wird.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn Dampf alternativ oder zusätzlich über den Bypasskanal stromab eines Mitteldruckeinlasses in die Dampfturbine geleitet wird.

Alternativ oder ergänzend kann es vorteilhaft sein, wenn zur Erhöhung der Schluckfähigkeit der Dampfturbine mindestens ein

Ventil eines Regelrads an einer Hochdruckturbine und / oder einer Mitteldruckturbine geöffnet wird.

Vorzugsweise wird die Wärmeenergie durch eine Mehrleistung der Gasturbine und somit einen erhöhten Abgasstrom zugeführt.

Weiterhin kann es vorteilhaft sein, wenn die Wärmeenergie über eine Zusatzfeuerung zugeführt wird. Diese muss jedoch entsprechend dimensioniert sein.

10

Um das Ausspeichervermögen weiter zu erhöhen, ist es zweckmäßig, wenn ein Dampftrommeldruck im stationären Betrieb durch ein Ventil angestaut wird, welches zur Frequenzstützung geöffnet wird.

15

Die Erfindung wird beispielhaft anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen schematisch und nicht maßstäblich:

20

Figur 1 ein vereinfachtes Schaltschema einer Gas- und Dampfturbinenanlage mit Hoch- und Mitteldruck-Überlasteinleitung sowie Regelrädern in der Dampfturbine und einer Zusatzfeuerung im Abhitzedampferzeuger,

25

Figur 2 Dampfturbinen-Leistungsverlauf bei Überlasteinleitung in die Hochdruckturbine für verschiedene Frischdampfdruck zu Einleitdruck-Verhältnisse und

Figur 3 Dampfturbinen-Leistungsverlauf bei Überlasteinleitung in die Mitteldruckturbine für verschiedene Frischdampfdruck zu Einleitdruck-Verhältnisse.

30

FIG 1 zeigt eine Gas- und Dampfturbinenanlage 1, die eine Gasturbine 2 umfasst sowie eine Dampfturbine 3. Über eine Welle 4 sind ein Läufer der Gasturbine, ein Läufer eines Generators 5 und ein Läufer der Dampfturbine 3 miteinander gekoppelt, wobei der Läufer der Dampfturbine 3 und der Läufer des Generators 4 über eine Kupplung 6 rotatorisch voneinander trennbar und koppelbar sind. Die Läufer des Generators 5 und der Gasturbine 2 sind über die Welle 4 starr miteinander ver-

bunden. Ein Rauchgasauslass der Gasturbine 2 ist über eine Abgasleitung 7 mit einem Abhitzedampferzeuger 8 verbunden, der zur Erzeugung des Betriebsdampfs der Dampfturbine 3 aus Abwärme der Gasturbine vorgesehen ist.

5

Während eines Betriebs der Gas- und Dampfturbinenanlage 1 wird vom rotierenden Läufer der Gasturbine 2 über die Welle 4 ein Verdichter 9 angetrieben, der Verbrennungsluft aus der Umgebung ansaugt und einer Brennkammer 10 zuführt. Dort wird die Verbrennungsluft mit von einer Brennstoffzuführung 11 herangeführtem Brennstoff vermischt und verbrannt und die heißen, unter Druck stehenden Abgase werden der Gasturbine 12 zugeführt und dort unter Leistung von Arbeit entspannt. Die noch etwa 500 bis 600°C heißen Abgase werden anschließend durch die Abgasleitung 7 dem Abhitzedampferzeuger 8 zugeführt und durchströmen diesen, bis sie durch einen Kamin 13 in die Umgebung gelangen. Auf ihrem Weg durch den Abhitzedampferzeuger 8 führen sie ihre Wärme einem Hochdrucküberhitzer 14 zu, dann einem Hochdruck-Zwischenüberhitzer 15, einem Hochdruckverdampfer 16, einem Hochdruckvorwärmer 17, dann einem Mitteldrucküberhitzer 18, einem Mitteldruckverdampfer 19, einem Mitteldruckvorwärmer 20, dann einem Niederdrucküberhitzer 21, einem Niederdruckverdampfer 22 und schließlich einem Kondensatvorwärmer 23.

25

Im Hochdrucküberhitzer 14 überhitzter Dampf wird durch eine Dampfableitung 24 einer Hochdruckstufe 25 der Dampfturbine 3 zugeführt und dort unter Leistung von Arbeit entspannt. Mit der Arbeit wird – analog zur in der Gasturbine geleisteten Arbeit – die Welle 4 und damit der Generator 5 zur Erzeugung elektrischer Energie bewegt. Der in der Hochdruckstufe 25 teilweise entspannte heiße Dampf wird anschließend dem Hochdruck-Zwischenüberhitzer 15 zugeführt, dort erneut erhitzt und über eine Ableitung 26 einer Mitteldruckstufe 27 der Dampfturbine 3 zugeführt und dort unter Leistung von mechanischer Arbeit entspannt. Der dort teilweise entspannte Dampf wird über eine Überströmleitung 28 einer Niederdruckstufe 29

35

der Dampfturbine 3 zugeführt und dort unter Abgabe von mechanischer Energie weiter entspannt.

Der entspannte Dampf wird im Kondensator 30 der Dampfturbine 3 kondensiert, und das so entstehende Kondensat wird über eine Kondensatpumpe 31 direkt einer Niederdruckstufe 32 des Abhitzedampferzeugers 8 oder über eine Zuführpumpe 33 - und von dieser mit entsprechendem Druck versehen - einer Mitteldruckstufe 34 oder einer Hochdruckstufe 35 des Abhitzedampferzeugers 8 zugeführt, wo das Kondensat verdampft wird. Nach einer Dampferzeugung und Überhitzung wird der Dampf über die entsprechenden Ableitungen 24, 26, 36 des Abhitzedampferzeugers 8 wieder der Dampfturbine 3 zur Entspannung und Verrichtung mechanischer Arbeit zugeführt.

In den Dampfableitungen 24 und 26 sind Absperrarmaturen 37 und 38 angeordnet. Von der zur Hochdruckstufe 25 der Dampfturbine 3 führenden Dampfableitung 24 zweigt ein Bypasskanal 39 mit einer Absperrarmatur 40 zum Umfahren der Hochdruckstufe 25 ab. Analog zweigt ein Bypasskanal 41 mit einer Absperrarmatur 42 zum Umfahren der Mitteldruckstufe 27 ab.

In Strömungsrichtung vor dem Hochdruckteil 25 ist ein erstes Regelrad 43 am Rotor der Dampfturbine 3 befestigt. Analog ist in Strömungsrichtung vor dem Mitteldruckteil 27 ist ein zweites Regelrad 44 am Rotor der Dampfturbine 3 befestigt. Ein Regelrad umfasst über Ventile kontrollierte Düsen, über die jeweils Segmente einer Turbine beaufschlagt werden können. Je nach dem, wie viele der Ventile geöffnet werden, strömt eine mehr oder minder große Menge von Zusatzdampf über die Düsen in die Turbine.

Weiterhin zeigt Figur 1 eine Zusatzfeuerung 45 am Eingang des Abhitzedampferzeugers 8, bei der dem Gasturbinenabgas, das noch viel Sauerstoff enthält, Brennstoff zugesetzt wird und das Gemisch verbrannt wird. Damit kann der Frischdampf über die Temperatur des Gasturbinenabgases hinaus überhitzt werden oder zur Erzeugung von Prozessdampf, wenn die Dampferzeugung

von der Stromerzeugung der Gasturbine 2 zu entkoppeln ist. Insbesondere kann eine Zusatzfeuerung 45 interessant sein, um die Abgabe an elektrischer Leistung in Zeiten des Spitzenbedarfs zu erhöhen.

5

Das erfinderische Verfahren sieht vor, dass der Dampfmassenstrom durch die Dampfturbine kurzfristig durch Öffnen eines Überlastventils 40, 42 bzw. eines Turbinen-Bypasses 39, 41 erhöht wird und damit verbunden die Leistung der Dampfturbine
10 3 schnell ansteigt (Sekundenbereich).

Die Überlasteinleitung kann erfindungsgemäß sowohl an der Hochdruckturbine 25 zur Anhebung des Frischdampfmassenstroms als auch an der Mitteldruckturbine 27 zur Anhebung des Zwischenüberhitzungs-Dampfmassenstroms als auch vor jeder weiteren Turbinenstufe (z.B. Niederdruck-Turbine 29) genutzt werden.
15

Alternativ kann die Schluckfähigkeit der Dampfturbine über ein Regelrad 43, 44 an der Hochdruckturbine 25 und/oder der Mitteldruckturbine 27 durch Öffnen zugehöriger Ventile vergrößert werden.
20

Dabei können Speicherreserven aus allen Druckstufen 32, 34, 35 des Abhitzedampferzeugers 8 (z.B. auch Mittel- und Niederdrucksystem, falls vorhanden) freigesetzt werden. Durch Anstauen des Trommeldruckes, z.B. durch ein Druckregelventil 46 im Mitteldruckdampfsystem 34, kann dabei das Ausspeichervermögen erhöht werden. Dieser Dampfmassenstromanstieg beruht
25 auf einer Vergrößerung der Schluckfähigkeit der Dampfturbine und einem damit verbundenen Druckabfall im System.
30

Dieser Druckabfall führt zu einer Ausspeicherung von thermischen Reserven (Heißwasser, Stahlmassen im Abhitzedampferzeuger) und damit zu einer kurzzeitigen Leistungserhöhung der Dampfturbine, wie die Figuren 2 und 3 für den Leistungsverlauf bei Überlasteinleitung für verschiedene Größenverhältnisse von Frischdampfdruck zu Einleitdruck in Hoch- bzw. Mit-
35

teldruckturbine zeigen. Die horizontale Linie zeigt den Wert für den stationären Betrieb.

Da die thermischen Speicherreserven limitiert sind, wird er-
5 findungsgemäß die nachlassende Speicherwirkung entweder durch
eine selbstzündende Zusatzfeuerung 45 im Abhitzedampferzeuger
8, eine in kontinuierlichen Mindestlast betriebene Zusatzfeu-
erung 45 oder durch vorhandene Leistungsreserven in der Gas-
turbine 2 (Aufdrehen der Verdichterleitschaufeln, Überfeue-
10 rung, Dampfeindüsung oder Wassereinspritzung in Verdichter 9
oder Brennkammer 10) kompensiert bzw. weiter erhöht.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer Gas- und Dampfturbinenanlage
(1) mit einer Gasturbine (2), einer Dampfturbine (3) und
5 einem Abhitzedampferzeuger (8), in dem im Wärmetausch mit
Abgas aus der Gasturbine (2) Dampf für die Dampfturbine
(3) erzeugbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass zur Fre-
quenzstützung im Stromnetz aus einem stationären Betrieb
10 heraus die Schluckfähigkeit der Dampfturbine (3) vergrößert
und der Druck im Abhitzedampferzeuger (8) abgesenkt
werden, um Speicherreserven im Abhitzedampferzeuger (8)
zu einer erhöhten Dampferzeugung zu nutzen, und dass dem
Abhitzedampferzeuger (8) so schnell Wärmeenergie zuge-
führt wird, dass ein Leistungsverlauf der Gas- und Dampf-
15 turbinenanlage (1) in Folge der Vergrößerung der Schluck-
fähigkeit der Dampfturbine (3) und der Druckabsenkung im
Abhitzedampferzeuger (8) größer gleich einer unmittelbar
zuvor vorhandenen Leistung des stationären Betriebs ist.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei zur Erhöhung der
Schluckfähigkeit der Dampfturbine (3) mindestens ein Ven-
til (40, 42) in einem Bypasskanal (39, 41) zum Umfahren
einer Dampfturbinenstufe (25, 27, 29) oder eines Dampf-
turbinenmoduls geöffnet wird.
- 25 3. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei
Dampf über den Bypasskanal (39) stromab eines Hochdruck-
einlasses in die Dampfturbine (3) geleitet wird.
- 30 4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei
Dampf über den Bypasskanal (41) stromab eines Mittel-
druckeinlasses in die Dampfturbine (3) geleitet wird.
- 35 5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei zur
Erhöhung der Schluckfähigkeit der Dampfturbine (3) min-
destens ein Ventil eines Regelrads (43, 44) an einer
Hochdruckturbine (25) und / oder einer Mitteldruckturbine
(27) geöffnet wird.

6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Wärmeenergie durch eine Mehrleistung der Gasturbine (2) und somit einen erhöhten Abgasstrom zugeführt wird.

5

7. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Wärmeenergie über eine Zusatzfeuerung (45) zugeführt wird.

- 10 8. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei ein Dampftrommeldruck im stationären Betrieb durch ein Ventil (46) angestaut wird, welches zur Frequenzstützung geöffnet wird.

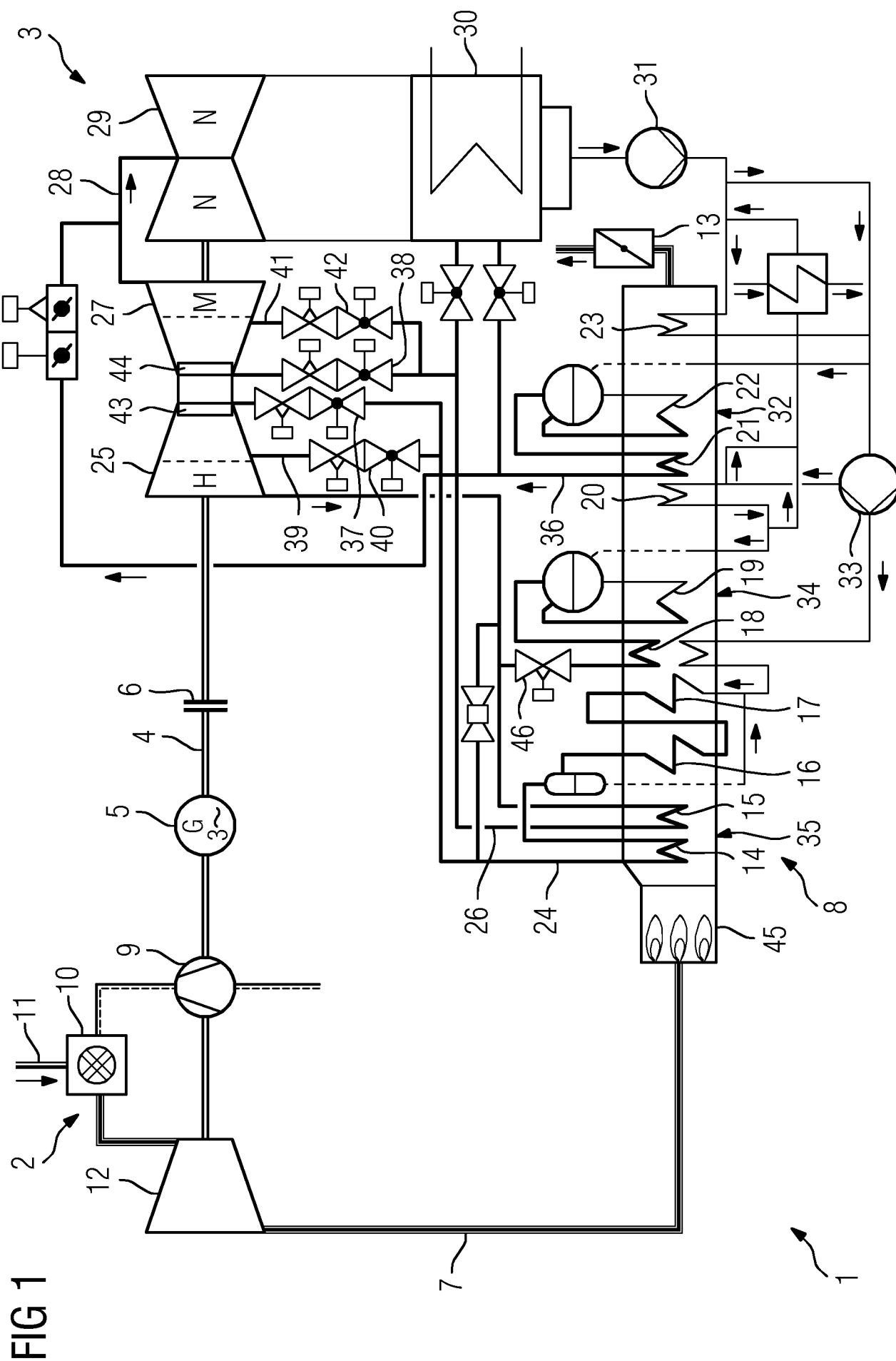


FIG 2

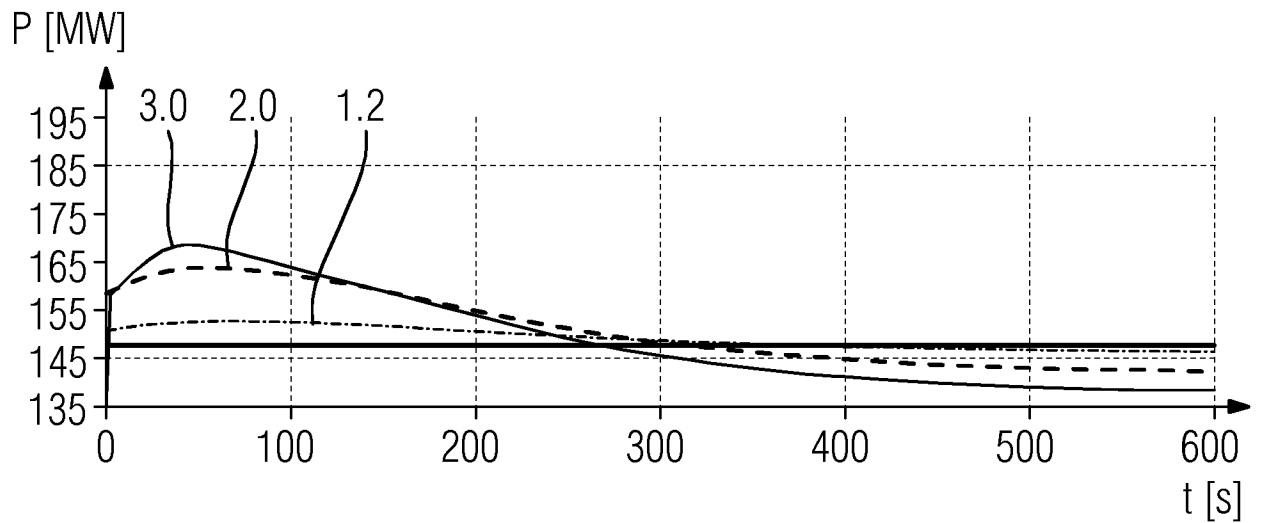


FIG 3

