



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 700 108 B1

(51) Int. Cl.: F04D 27/02 (2006.01)
F02C 9/18 (2006.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

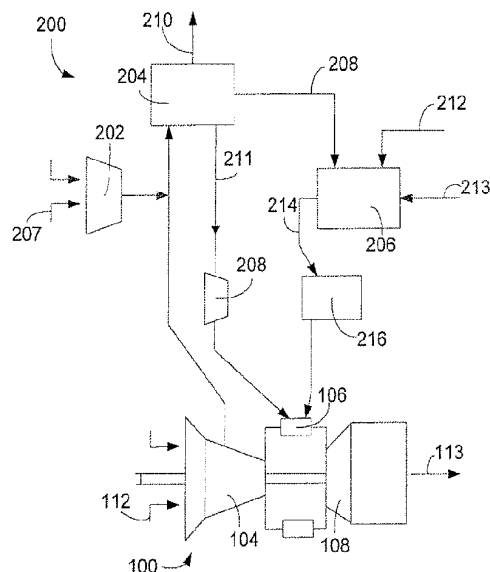
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer:	00318/07	(73) Inhaber:	General Electric Company, 1 River Road 12345 Schenectady, New York (US)
(22) Anmeldedatum:	26.02.2007	(72) Erfinder:	Robert Thomas Thatcher, Greer, South Carolina 29651 (US) James Antony West, Simpsonville, South Carolina 29681 (US)
(30) Priorität:	06.03.2006 US 11/276,565	(74) Vertreter:	R. A. Egli & Co. Patentanwälte, Horneggstrasse 4 8008 Zürich (CH)
(24) Patent erteilt:	30.06.2010		
(45) Patentschrift veröffentlicht:	30.06.2010		

(54) **Verfahren zum Schutz eines Turbinenkompressors.**

(57) Ein Verfahren zum Schutz eines Turbinenkompressors (104) eines Gasturbinenmotors (100), der ein Teil eines Kombi-Energieerzeugungssystems (200) mit integrierter Vergasung ist, das eine Lufttrenneinheit (204) einschliesst, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst: Extrahieren einer Menge an komprimierter Luft, die von dem Turbinenkompressor (104) komprimiert wurde; Zuführen der extrahierten Menge an komprimierter Luft an die Lufttrenneinheit (204); und Variieren der Menge an aus dem Turbinenkompressor (104) extrahierter komprimierter Luft auf der Grundlage eines gewünschten Kompressorverhältnisses über den Turbinenkompressor (104). Das Verfahren schliesst des Weiteren den Schritt ein, dass die Lufttrenneinheit (204) mit einer Zufuhr aus komprimierter Luft von einem Hauptluftkompressor (202) versorgt wird. Die Menge an komprimierter Luft, die der Lufttrenneinheit (204) durch den Hauptluftkompressor (202) zugeführt wird, wird auf der Grundlage der Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor (104) extrahiert wird, variiert.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Anmeldung betrifft allgemein Verfahren zum Schutz eines Turbinenkompressors in einem Gasturbinenmotor. Insbesondere betrifft die vorliegende Anmeldung Verfahren zum Schutz eines Turbinenkompressors in einem Gasturbinenmotor, der ein Teil eines Kombi-Energieerzeugungssystems mit integrierter Vergasung ist, durch Variieren der Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor extrahiert und der Anlage zur Verwendung im Verfahren zugeführt wird.

Hintergrund der Erfindung

[0002] In aktuellen Kombi-Energieerzeugungssystemen mit integrierter Vergasung (kurz «IGCC») wird eine Lufttrenneinheit verwendet, um O₂ an einen Vergaser zuzuführen, welcher dann teilweise verbrannte Gase zur Verwendung als Brennstoff in einer Gasturbine erzeugt. Komprimierte Luft wird im Allgemeinen der Lufttrenneinheit sowohl vom Hauptluftkompressor und/oder auch durch Extraktion aus der Entladeseite des Gasturbinenkompressors zugeführt. Derzeit ist die Menge an komprimierter Luft, die von der Turbinenkompressor-Entladeseite extrahiert wird, ungefähr ein fixer Prozentsatz des Kompressorflusses und basiert nur auf den Anforderungen des externen Bedarfs der Lufttrenneinheit.

[0003] In solchen Systemen besteht das Ziel für den Betrieb der Gasturbine darin, die gewünschten Lastniveaus zu erfüllen, während der Wirkungsgrad gleichzeitig maximiert wird. Dies schliesst ein, der Gasturbineneinheit zu gestatten, auf einem gewünschten maximalen Lastniveau über wechselnde Umgebungsbedingungen zu arbeiten, ohne das maximale Lastniveau zu überschreiten, während gleichzeitig auch die betrieblichen Grenzbedingungen der Turbine eingehalten werden. Betriebliche Grenzbedingungen schliessen zum Beispiel maximal zulässige Temperaturen innerhalb der Turbinen- oder Brennkammerkomponenten ein. Ein Überschreiten dieser Temperaturen kann Schaden an Turbinenkomponenten oder erhöhtes Emissionsniveau verursachen. Eine weitere betriebliche Grenzbedingung schliesst ein maximales Kompressordruckverhältnis oder eine Kompressorspanne ein. Ein Überschreiten dieser Einschränkung kann dazu führen, dass in der Einheit Kompressorumpfen oder eine Abrissströmung auftritt, was zu umfangreichen Schäden am Kompressor führen kann. Des Weiteren kann die Turbine eine maximale Machzahl aufweisen, welche die maximale Strömungsrate der verbrannten Gase anzeigt, wenn die Gase die Turbine verlassen. Ein Überschreiten dieser maximalen Strömungsrate kann Turbinenkomponenten beschädigen.

[0004] Dementsprechend ist die Regelung des Betriebs der Gasturbine zur Verbesserung des Wirkungsgrades bei gleichzeitiger Einhaltung der betrieblichen Beschränkungen oder Anforderungen ein bedeutendes Ziel in der Industrie. Mehrere bekannte Verfahren werden von Turbinenbetreibern verwendet, um die Last der Turbine zu regeln oder zu beschränken, während diese die betrieblichen Grenzbedingungen erfüllen. Diese bekannten Verfahren schliessen die Manipulation der Einlass-Entnahmewärme, der Einlass-Leitschaufeln des Kompressors, und/oder der Turbinenbrennstoffzufuhr ein.

[0005] Die Einlass-Entnahmewärme erlaubt dem Turbinenbediener, die Entladeluft des Turbinenkompressors zu entnehmen und die entnommene Luft in den Kompressoreinlass zurückzuführen. Da ein Teil des Kompressorflusses an den Einlass zurückgeführt wird, reduziert dieses Verfahren die Flussmenge durch den Kompressor, die sich durch die Turbine entspannt, was den Ertrag der Turbine reduziert. Dieses Verfahren der Gasturbinen-Lastregelung kann auch die Einlasstemperatur der Kompressoreinlassluft erhöhen, indem die kältere Umgebungsluft mit dem entnommenen Anteil der heissen Kompressorentladeluft gemischt wird. Dieser Anstieg der Temperatur verringert die Dichte der Luft und damit den Massenfluss über den Kompressor zu der Gasturbine. Obwohl dieser Ansatz verwendet werden kann, um zu gestatten, dass die Gasturbineneinheit auf einem maximalen Lastniveau über wechselnde Umgebungsbedingungen betrieben werden kann (während gleichzeitig betriebliche Grenzbedingungen wie etwa maximales Kompressordruckverhältnis eingehalten werden), bringt es einen Nachteil mit sich, da es den thermischen Wirkungsgrad der Gasturbine verringert.

[0006] Das Schliessen der Einlass-Leitschaufeln, welche den Luftstrom zu dem Turbinenkompressor regeln, ist ein weiteres übliches Verfahren zur Verringerung des Massenflusses über die Gasturbine, welches wiederum verwendet werden kann, um die Turbinenlast zu regeln oder zu begrenzen. Das Schliessen der Einlass-Leitschaufeln kann den Durchgang von Luft zu dem Kompressor beschränken und verringert somit die Menge an Luft, die in den Kompressor eintritt. Dieser Ansatz kann auch verwendet werden, um zu gestatten, dass die Gasturbineneinheit auf einem maximalen Lastniveau über wechselnde Umgebungsbedingungen betrieben werden kann (während gleichzeitig betriebliche Grenzbedingungen wie etwa maximales Kompressordruckverhältnis oder Kompressorspanne eingehalten werden), doch verringert es ebenfalls den thermischen Wirkungsgrad der Gasturbine, indem der Kompressor nicht auf seinem optimalen Nennbetriebspunkt betrieben wird.

[0007] Schliesslich kann die Turbinenlast auch durch Verringerung des Brennstoffflusses zur Brennkammer geregelt oder begrenzt werden. Dies verringert die Verbrennungstemperatur der Turbine und den Ertrag des Gasturbinenmotors. Bei fallenden Umgebungstemperaturen kann ein solches Mass es gestatten, dass die Turbine auf einem maximalen Lastniveau gehalten werden kann (während gleichzeitig betriebliche Grenzbedingungen wie etwa maximales Kompressordruckverhältnis oder Kompressorspanne eingehalten werden). Wie im Stand der Technik bekannt ist, verringert aber die Reduktion der Verbrennungstemperatur den Wirkungsgrad des Gasturbinenmotors.

[0008] Diese bekannten Verfahren zur Regelung des Turbinenbetriebs beeinflussen den Wirkungsgrad des Gasturbinenmotors negativ. Des Weiteren nützt keines dieser Regelungsverfahren die spezifischen Komponenten aus, die Teil eines IGCC-Energieerzeugungssystems sind, um zu gestatten, dass das System effizienter betrieben werden kann. Somit herrscht Bedarf nach einem effizienteren Verfahren zum Schutz eines Kompressors in einem Gasturbinenmotor, die Teil eines Kombi-Energieerzeugungssystems mit integrierter Vergasung sind.

Kurzbeschreibung der Erfindung

[0009] Die vorliegende Anmeldung beschreibt ein Verfahren zum Schutz eines Turbinenkompressors eines Gasturbinenmotors, der ein Teil eines Kombi-Energieerzeugungssystems mit integrierter Vergasung ist, das eine Lufttrenneinheit einschliesst, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst: (1) Extrahieren einer Menge an komprimierter Luft, die von dem Turbinenkompressor komprimiert wurde; (2) Zuführen der extrahierten Menge an komprimierter Luft an die Lufttrenneinheit; und (3) Variieren der Menge an aus dem Turbinenkompressor extrahierter komprimierter Luft auf der Grundlage eines gewünschten Kompressordruckverhältnisses über den Turbinenkompressor. Das Verfahren schliesst des Weiteren den Schritt ein, dass die Lufttrenneinheit mit einer Zufuhr aus komprimierter Luft von einem Hauptluftkompressor versorgt wird. Die Menge an komprimierter Luft, die der Lufttrenneinheit von dem Hauptluftkompressor zugeführt wird, wird auf der Grundlage der Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor extrahiert wird, variiert.

[0010] Eine kombinierte Zufuhr von komprimierter Luft schliesst die Menge an komprimierter Luft, die der Lufttrenneinheit durch den Hauptluftkompressor zugeführt wird, und die Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor extrahiert wird, ein. Diese kombinierte Zufuhr von komprimierter Luft schliesst die Zufuhr von komprimierter Luft ein, die einer gewünschten Gesamtzufuhr an komprimierter Luft zur Lufttrenneinheit entspricht.

[0011] In einigen Ausführungsformen schliesst der Schritt des Variierens der Menge an komprimierter Luft, die der Lufttrenneinheit von dem Hauptluftkompressor zugeführt wird, auf der Grundlage der Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor extrahiert wird, den Schritt ein, dass die Menge an komprimierter Luft, die der Lufttrenneinheit durch den Hauptluftkompressor zugeführt wird, verringert wird, wenn die Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor extrahiert wird, erhöht wird. Der Betrag, um welchen die der Lufttrenneinheit von dem Hauptluftkompressor zugeführte komprimierte Luft verringert wird, kann ungefähr gleich dem Betrag sein, um welchen die Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor extrahiert wird, erhöht wird. Der Schritt des Variierens der Menge an komprimierter Luft, die der Lufttrenneinheit von dem Hauptluftkompressor zugeführt wird, auf der Grundlage der Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor extrahiert wird, schliesst alternativ den Schritt ein, dass die Menge an komprimierter Luft, die der Lufttrenneinheit von dem Hauptluftkompressor zugeführt wird, erhöht wird, wenn die Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor extrahiert wird, verringert wird. Der Betrag, um welchen die der Lufttrenneinheit von dem Hauptluftkompressor zugeführte komprimierte Luft erhöht wird, kann ungefähr gleich dem Betrag sein, um welchen die Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor extrahiert wird, verringert wird.

[0012] In einigen Ausführungsformen schliesst der Schritt des Variierens der Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor extrahiert wird, auf der Grundlage des gewünschten Kompressordruckverhältnisses, die folgenden Schritte ein: (1) Messen des Drucks an dem Einlass und an dem Ausgang des Turbinenkompressors; (2) Bestimmen eines tatsächlichen Kompressordruckverhältnisses aus den an dem Einlass und Ausgang des Turbinenkompressors erfassten Druckmessungen; (3) Vergleichen des tatsächlichen Kompressordruckverhältnisses mit dem gewünschten Kompressordruckverhältnis; und (4) Variieren der Zufuhr der Menge an komprimierter Luft an die Lufttrenneinheit auf der Grundlage des Vergleichs. Das gewünschte Kompressordruckverhältnis umfasst ein Kompressordruckverhältnis, das den Turbinenkompressor entweder nicht veranlasst, in Kompressorumpfen zu geraten, oder nicht veranlasst, eine gewünschte minimale Kompressorspanne zu verletzen.

[0013] Eine Ausführungsform schliesst den Schritt ein, dass die Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor extrahiert wird, erhöht wird, wenn das tatsächliche Kompressordruckverhältnis grösser gemessen wird als das gewünschte Kompressordruckverhältnis. Eine alternative Ausführungsform schliesst den Schritt ein, dass die Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor extrahiert wird, verringert wird, wenn das tatsächliche Kompressordruckverhältnis kleiner gemessen wird als das gewünschte Kompressordruckverhältnis.

[0014] In einem Beispiel wird ein System zum Schutz eines Turbinenkompressors eines Gasturbinenmotors beschrieben, der ein Teil eines Kombi-Energieerzeugungssystems mit integrierter Vergasung ist, das eine Lufttrenneinheit einschliesst. Die Systeme können einschliessen: einen Turbinenkompressor, der Luft komprimiert; Mittel zum Extrahieren einer Menge an komprimierter Luft aus dem Turbinenkompressor und Mittel zum Zuführen der extrahierten Menge an komprimierter Luft zu der Lufttrenneinheit; und Mittel zum Variieren der Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor extrahiert wird, auf der Grundlage eines gewünschten Kompressordruckverhältnisses über den Turbinenkompressor.

[0015] In einem Beispiel schliesst das System Mittel zum Bestimmen des tatsächlichen Kompressordruckverhältnisses über den Turbinenkompressor ein. Ein gewünschtes Kompressordruckverhältnis über den Turbinenkompressor kann ein Kompressordruckverhältnis sein, das den Turbinenkompressor entweder nicht veranlasst, in Kompressorumpfen zu geraten, oder nicht veranlasst, eine gewünschte minimale Kompressorspanne zu verletzen. Das Mittel zum Variieren der Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor extrahiert wird, auf der Grundlage eines gewünschten Kompressordruckverhältnisses über den Turbinenkompressor, kann Mittel zum Vergleichen des tatsächlichen Kompress-

ordruckverhältnisses über den Turbinenkompressor mit dem gewünschten Kompressordruckverhältnis über den Turbinenkompressor, sowie Mittel zum Variieren der Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor extrahiert wird, auf der Grundlage des Vergleichs des Kompressordruckverhältnisses über den Turbinenkompressor mit dem gewünschten Kompressordruckverhältnis über den Turbinenkompressor einschliessen.

[0016] In einem Beispiel wird die Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor extrahiert wird, erhöht, wenn das tatsächliche Kompressordruckverhältnis grösser gemessen wird als das gewünschte Kompressordruckverhältnis. In einem weiteren Beispiel wird die Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor extrahiert wird, verringert, wenn das tatsächliche Kompressordruckverhältnis kleiner gemessen wird als das gewünschte Kompressordruckverhältnis. Das Mittel zum Variieren der Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor extrahiert wird, auf der Grundlage des gewünschten Kompressordruckverhältnisses über den Turbinenkompressor, kann eine proportional-integral-derivative Regeleinrichtung einschliessen.

[0017] In einem Beispiel schliesst das System einen Hauptluftkompressor, welcher die Lufttrenneinheit mit einer Zufuhr von komprimierter Luft von einem Hauptluftkompressor versorgt, sowie Mittel zum Variieren der Menge an komprimierter Luft, die der Lufttrenneinheit von dem Hauptluftkompressor zugeführt wird, ein. Die Menge an komprimierter Luft, die der Lufttrenneinheit von dem Hauptluftkompressor zugeführt wird, kann auf der Grundlage der Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor extrahiert wird, variiert werden. In einem Beispiel wird die Menge an komprimierter Luft, die der Lufttrenneinheit von dem Hauptluftkompressor zugeführt wird, erhöht, wenn die Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor extrahiert wird, verringert wird, und die Menge an komprimierter Luft, die der Lufttrenneinheit von dem Hauptluftkompressor zugeführt wird, verringert, wenn die Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor extrahiert wird, erhöht wird.

[0018] Diese und andere Merkmale der vorliegenden Anmeldung werden durch die folgende detaillierte Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen zusammen mit den Zeichnungen und den beiliegenden Ansprüchen deutlicher werden.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0019]

- Fig. 1 ist eine schematische Skizze einer beispielhaften Turbine, die mit bestimmten Ausführungsformen der vorliegenden Anmeldung verwendet werden kann.
- Fig. 2 ist eine schematische Skizze eines beispielhaften Kombi-Energieerzeugungssystems mit integrierter Vergasung («IGCC»), das mit bestimmten Ausführungsformen der vorliegenden Anmeldung verwendet werden kann.
- Fig. 3(a), 3(b) und 3(c) schliessen mehrere zusammengehörige Kurven ein, die Resultate von einem beispielhaften IGCC-Energieerzeugungssystem zeigen, in welchem das Niveau der Extraktion von komprimierter Luft aus dem Turbinenkompressor so variiert wird, dass eine maximale Last für die Turbine über wechselnde Umgebungsbedingungen effizient aufrechterhalten werden kann (während gleichzeitig betriebliche Grenzbedingungen wie etwa maximales Kompressordruckverhältnis oder Kompressorspanne eingehalten werden).
- Fig. 4(a) und 4(b) schliessen zwei Kurven ein, die zeigen, wie die Temperatur im Inneren der Brennkammer 106 so variiert werden kann, dass eine maximal zulässige Temperatur der Gase, die die Brennkammer verlassen, nicht überschritten wird, während die Turbine 100 bei einer konstanten Last über wechselnde Umgebungsbedingungen arbeitet.
- Fig. 5(a) und 5(b) schliessen zwei Kurven ein, die zeigen, wie die Einstellung der Einlass-Leitschaufeln so variiert werden kann, dass eine maximale Ausgangs-Machzahl nicht überschritten wird, während die Turbine 100 bei einer konstanten Last über wechselnde Umgebungsbedingungen arbeitet.
- Fig. 6 ist ein Flussdiagramm, das ein beispielhaftes Regelungsverfahren zeigt, das zur Einstellung der Abzugstemperatur der Turbine verwendet werden kann.
- Fig. 7 ist ein Flussdiagramm, das ein beispielhaftes Regelungsverfahren zeigt, das zur Berechnung eines Einstellpunkts für die Einlass-Leitschaufeln (d.h., den Stellwinkel der Einlass-Leitschaufeln) einer Turbine verwendet werden kann.
- Fig. 8 ist ein Flussdiagramm, das ein beispielhaftes Regelungsverfahren zeigt, das zur Berechnung des Turbinenkompressor-Extraktions-Einstellpunkts (d.h., die Menge oder den Prozentsatz an komprimierter Luft aus dem Turbinenkompressor, die bzw. der extrahiert und an die Lufttrenneinheit zugeführt wird).

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

[0020] Unter Bezugnahme auf die Zeichnungen, in denen die verschiedenen Zahlen jeweils ähnliche Teile in den einzelnen Ansichten darstellen, zeigt Fig. 1 eine schematische Veranschaulichung eines beispielhaften Gasturbinenmotors 100, der mit bestimmten Ausführungsformen der vorliegenden Anmeldung verwendet werden kann. Der Gasturbinenmotor 100 kann einen Kompressor, der auch als ein Turbinenkompressor 104 bekannt sein kann, eine Brennkammer 106 und eine in Reihe angeschlossene Turbine 108 einschliessen. Der Turbinenkompressor 104 und die Turbine 108 können durch eine Welle 110 gekoppelt sein, die auch die Turbine 108 mit einem elektrischen Generator (nicht dargestellt) koppeln und diesen antreiben kann. In bestimmten Ausführungsformen kann der Gasturbinenmotor 100 ein 7FB-Motor sein, der von der Firma General Electric im Handel verfügbar ist, obwohl der hierin veranschaulichte und beschriebene Gasturbinenmotor 100 rein beispielhaft ist. Dementsprechend ist der Gasturbinenmotor 100 nicht auf den in Fig. 1 gezeigten und hierin beschriebenen Gasturbinenmotor beschränkt, sondern kann der Gasturbinenmotor 100 ein beliebiger Gasturbinenmotor sein. Zum Beispiel kann in einer alternativen Ausführungsform der Gasturbinenmotor 100, ohne darauf beschränkt zu sein, ein Mehrwellen-Gasturbinenmotor mit zwei Wellen für den separaten Antrieb des elektrischen Generators (nicht dargestellt) und des Turbinenkompressors 104 sein.

[0021] Im Betrieb kann Luft (wie durch die Pfeile 112 angezeigt) durch den Turbinenkompressor 104 in den Gasturbinenmotor 100 hineinströmen und komprimiert werden. Komprimierte Luft kann dann zu der Brennkammer 106 geleitet werden, wo sie mit Brennstoff gemischt und gezündet werden kann. Die sich entspannenden heissen Gase von der Brennkammer 106 können die drehende Turbine 108 antreiben und können (wie durch einen Pfeil 113 angezeigt) den Gasturbinenmotor 100 durch einen Abzugsdiffusor 114 verlassen. Zusätzlich können in einigen Ausführungsformen Abzugsgase von dem Turbinenmotor 100 an einen Wärmerückgewinnungs-Dampfgenerator (nicht dargestellt) zugeführt werden, der Dampf zum Antreiben einer Dampfturbine (nicht dargestellt) erzeugt.

[0022] Fig. 2 ist ein schematisches Diagramm eines beispielhaften Kombi-Energieerzeugungssystems 200 mit integrierter Vergasung («IGCC»), das mit bestimmten Ausführungsformen der vorliegenden Anmeldung verwendet werden kann. Dem Fachmann wird dennoch klar sein, dass die vorliegende Anmeldung nicht auf die Verwendung mit dem IGCC-Energieerzeugungssystem 200 beschränkt ist und dass sie mit anderen Systemen, die einen Gasturbinenmotor einschliessen, verwendet werden kann. Das IGCC-Energieerzeugungssystem 200 kann den oben beschriebenen Gasturbinenmotor 100 einschliessen. Das IGCC-System 200 kann des Weiteren einen Hauptluftkompressor 202, eine in Strömungsverbindung mit dem Hauptluftkompressor 202 und dem Turbinenkompressor 104 gekoppelte Lufttrenneinheit 204, einen in Strömungsverbindung mit der Lufttrenneinheit 204 gekoppelten Vergaser 206, die in Strömungsverbindung mit dem Vergaser 206 gekoppelte Brennkammer 106, und die Turbine 108 einschliessen. Die Pfeile in Fig. 2 zeigen Strömungsrichtungen an.

[0023] Im allgemeinen Betrieb kann der Hauptkompressor 202, der einen oder mehrere im Handel verfügbare Kompressoren einschliessen kann, Umgebungsluft (deren Strom durch Pfeile 207 angezeigt wird) komprimieren. Die komprimierte Luft von dem Hauptkompressor 202 kann zu der Lufttrenneinheit 204 geleitet werden. Komprimierte Luft aus dem Turbinenkompressor 104 kann extrahiert und an die Lufttrenneinheit 204 zugeführt werden. Die Extraktion der komprimierten Luft aus dem Turbinenkompressor 104 kann durch Sammeln der komprimierten Luft aus dem Turbinenkompressor 104 in einem Rohr und Leiten der extrahierten komprimierten Luft an die Lufttrenneinheit 204 abgeschlossen werden. Ein Ventil (nicht dargestellt), wie etwa ein Absperrventil oder ein anderes ähnliches Ventil kann in das Rohr eingebaut sein, um die Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor 104 extrahiert wird, zu regeln. Dem Fachmann wird klar sein, dass andere Verfahren und Systeme verwendet werden können, um eine Menge an komprimierter Luft aus dem Turbinenkompressor 104 zu extrahieren und sie an die Lufttrenneinheit 204 abzugeben. Die Lufttrenneinheit 204 kann also die Zufuhr von komprimierter Luft, die für ihre Funktion notwendig ist, aus dem Hauptkompressor 202 und aus der komprimierten Luft, die aus dem Turbinenkompressor 104 extrahiert wurde, aufnehmen.

[0024] Die Lufttrenneinheit 204 kann dann die Zufuhr von komprimierter Luft verwenden, um Sauerstoff zur Verwendung durch den Vergaser 206 nach dem im Stand der Technik bekannten Verfahren zu erzeugen. Insbesondere kann die Lufttrenneinheit 204 die komprimierte Luft in separate Ströme von Sauerstoff (dessen Strom durch einen Pfad 208 dargestellt ist) und ein Gasnebenprodukt, manchmal als «Prozessgas» bezeichnet, trennen. Das durch die Lufttrenneinheit 204 erzeugte Prozessgas kann Stickstoff einschliessen und wird im Folgenden hierin als «Stickstoff-Prozessgas» bezeichnet. Das Stickstoff-Prozessgas kann auch andere Gase, wie etwa Sauerstoff, Argon, etc. einschliessen. In einigen Ausführungsformen kann das Stickstoff-Prozessgas zwischen etwa 95% und etwa 100% Stickstoff einschliessen.

[0025] Der Sauerstoffstrom von der Lufttrenneinheit 204 kann zu dem Vergaser 206 geleitet werden, um in der Erzeugung von teilweise verbrannten Gasen, die hierin als «Syngas» bezeichnet werden, zur Verwendung als Brennstoff durch den Gasturbinenmotor 100 verwendet zu werden. In einigen bekannten IGCC-Systemen kann zumindest ein Teil des

[0026] Stickstoff-Prozessgas-Stroms (dessen Strom durch einen Pfad 210 dargestellt ist), einem Nebenprodukt der Lufttrenneinheit 204, in die Atmosphäre abgeleitet werden. In einigen bekannten IGCC-Systemen kann ein anderer Teil des Stickstoff-Prozessgas-Stroms (dessen Strom durch einen Pfad 211 dargestellt ist), an einen Stickstoff-Verstärkungskompressor 208 zugeführt und dann in die Brennkammer 106 eingeleitet werden, um die Regelung der Emissionen der Turbine 108 zu erleichtern.

[0027] Der Vergaser 206 kann ein Gemisch aus Brennstoff (dessen Strom durch den Pfad 212 dargestellt ist), dem von der Lufttrenneinheit 204 zugeführten Sauerstoff (dessen Strom durch den Pfad 208 dargestellt ist), Dampf (dessen Strom

durch den Pfad 213 dargestellt ist) und/oder Kalk (dessen Strom nicht dargestellt ist) in eine Ausgabe von Syngas zur Verwendung als Brennstoff durch den Gasturbinenmotor 100 nach im Stand der Technik bekannten Verfahren umwandeln. Obwohl der Vergaser 206 viele Arten von Brennstoff verwenden kann, kann der Vergaser 206 in einigen bekannten IGCC-Systemen pulverisierte Kohle, Erdölkoks, Restöl, Ölemulsionen, Ölsande und/oder ähnliche Brennstoffe verwenden. In einigen bekannten IGCC-Systemen kann das durch den Vergaser 206 erzeugte Syngas Kohlendioxid, Schwefel und andere unerwünschte Verunreinigungen einschließen. Das durch den Vergaser 206 erzeugte Syngas (dessen Strom durch den Pfad 214 dargestellt ist) kann durch eine Reinigungseinrichtung 216, welche auch als ein Säureentfernungssystem bekannt sein kann, gereinigt werden, um die gesamten oder einen Teil der Verunreinigungen zu entfernen, bevor das Syngas zur Verbrennung desselben in die Brennkammer 106 geleitet wird.

[0028] Die von dem Gasturbinenmotor 100 abgegebene Leistung kann den elektrischen Generator (nicht dargestellt) antreiben, der elektrische Energie an ein Energienetz (nicht dargestellt) liefert. Abzugsgas von dem Turbinenmotor 100 kann an einen Wärmerückgewinnungs-Dampfgenerator (nicht dargestellt) zugeführt werden, der Dampf zum Antreiben einer Dampfturbine (nicht dargestellt) erzeugt. Durch die Dampfturbine erzeugte Leistung kann einen elektrischen Generator (nicht dargestellt) antreiben, der elektrische Energie an ein Energienetz liefert. In einigen bekannten IGCC-Systemen kann Dampf aus einem Wärmerückgewinnungs-Dampfgenerator auch an den Vergaser 206 zugeführt werden, um das Syngas zu erzeugen.

[0029] Als Teil der Ausführungsformen der vorliegenden Anmeldung kann die Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor 104 extrahiert und an die Lufttrenneinheit 204 zugeführt wird, als ein Mittel zur Regelung der Last der Turbine 100 in dem IGCC-Energiesystem 200 und/oder als Mittel zur Einhaltung der Betriebsgrenzen der Turbine 100 variiert werden. Zum Beispiel zeigt Fig. 3 die beispielhaften Ergebnisse einer solchen Regelung und eines solchen Betriebs der Turbine 100. Fig. 3 schliesst mehrere zusammengehörige Kurven ein, die den beispielhaften Betrieb des Gasturbinenmotors 100 zeigen, in welchem das Niveau der Extraktion von komprimierter Luft aus dem Turbinenkompressor so variiert wird, dass eine maximale Last und die Betriebsgrenzen der Turbine über wechselnde Umgebungsbedingungen effizient aufrechterhalten (und nicht überschritten) werden können.

[0030] Fig. 3(a) demonstriert beispielhafte Ergebnisse, die den Extraktionsprozentsatz (d.h., den Prozentsatz der komprimierten Luft aus dem Turbinenkompressor 104, die extrahiert und an die Lufttrenneinheit 204 zugeführt wird) gegen die Umgebungstemperatur zeigen.

[0031] Fig. 3(b) demonstriert beispielhafte Ergebnisse, welche die Kompressorspanne gegen die Umgebungstemperatur zeigen, während der Extraktionsprozentsatz variiert wird. Die Kompressorspanne kann die Differenz zwischen dem gemessenen Druckverhältnis des Turbinenkompressors 104 und dem maximalen Druckverhältnis sein, bei welchem der Turbinenkompressor 104 bei einer gegebenen Strömungsrate und Drehzahl betrieben werden kann, ohne dass der Turbinenkompressor 104 in Kompressorumpfen gerät. Das Kompressordruckverhältnis kann das Verhältnis zwischen dem Druck an der Entladeseite und am Einlass des Turbinenkompressors 104 widerspiegeln. Das Kompressorumpfen ist ein Abrisszustand, der in dem Turbinenkompressor 104 bei einem bestimmten Kompressordruckverhältnis für eine gegebene Strömungsrate durch den Turbinenkompressor 104 und bei einer gegebenen Drehzahl (d.h., upm) des Turbinenkompressors 104 auftreten kann. Wie beschrieben wurde, kann das Kompressorumpfen extreme Schäden an dem Turbinenkompressor 104 hervorrufen. Eine minimale Grenzwertlinie 302 für den Kompressorbetrieb kann die minimale annehmbare Kompressorspanne widerspiegeln, die vom Systembediener während des Betriebs des Gasturbinenmotors 100 zugelassen wird (d.h. ein betrieblicher Offset).

[0032] Fig. 3(c) demonstriert beispielhafte Resultate, welche die Turbinenausgangsleistung (d.h., Last) gegen die Umgebungstemperatur zeigen, während der Extraktionsprozentsatz variiert wird. Eine Linie 303 des maximalen Basislastniveaus kann die maximal zulässige Last für die Turbine 100 widerspiegeln.

[0033] Wie in Fig. 3(a), 3(b) und 3(c) gezeigt, kann der Extraktionsprozentsatz erhöht werden, wenn die Umgebungstemperatur abnimmt, so dass das maximale Basislastniveau und andere Betriebsgrenzen, wie etwa die Kompressorspanne, für die Turbine 100 nicht verletzt werden. Man beachte, dass die im Folgenden beschriebenen Graphen Daten enthalten, die rein beispielhaft sind und nur den allgemeinen Betrieb einer Gasturbine unter Verwendung der Verfahren und Systeme der vorliegenden Anmeldung demonstrieren sollen. Die zu diesen Graphen gehörenden Punkte, Bereiche und Daten können für unterschiedliche Systeme unter alternativen Bedingungen beträchtlich variieren. Wie in Fig. 3(a) dargestellt, kann der Extraktionsprozentsatz bei einer Umgebungstemperatur von etwa 70°F (21°C) ungefähr 5% (Punkt 304) betragen. Wenn die Umgebungstemperatur auf etwa 50°F (10°C) fällt, kann der Extraktionsprozentsatz auf ungefähr 7% (Punkt 306) erhöht werden. Wie in Fig. 3(b) gezeigt, beträgt die Kompressorspanne bei etwa 70°F (21°C) und bei einem Extraktionsprozentsatz von ungefähr 5% ungefähr 0,30 (Punkt 308). Die Kompressorspanne bei etwa 50°F (10°C) und bei einem Extraktionsprozentsatz von ungefähr 7% beträgt ungefähr 0,45 (Punkt 310). Fig. 3(c) zeigt, dass sowohl bei 70°F (21°C) (Punkt 312) als auch bei 50°F (10°C) (Punkt 314) das maximale Basislastniveau über die wechselnden Umgebungsbedingungen aufrechterhalten werden kann (d.h., die Last der Turbine 100 bleibt auf der Linie 303 des maximalen Basislastniveaus, während die Temperatur von 70°F auf 50°F (21°C auf 10°C) fällt).

[0034] Die in Fig. 3(a), 3(b) und 3(c) gezeigten Ergebnisse demonstrieren mehrere der betrieblichen Vorteile des Variierens der Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor 104 extrahiert wird. Erstens kann die variable Extraktion der komprimierten Luft aus dem Turbinenkompressor eine zusätzliche Regelungsvariable schaffen, die es er-

möglichst, dass betriebliche Grenzbedingungen während des Betriebs der Turbine 100 eingehalten werden können. Wie in dem zuvor besprochenen Beispiel aus Fig. 3 gezeigt, nimmt die Umgebungstemperatur von 70°F auf 50°F (21°C auf 10°C) ab, doch das maximale Basislastniveau (Punkte 312 und 314) sowie eine annehmbare Kompressorspanne können dennoch aufrechterhalten werden (das tatsächlich von 0,30 auf 0,45 erhöhte Niveau, siehe Punkte 308 und 310). Des Weiteren kann die variable Extraktion der Turbine 100 gestatten, das maximale Basislastniveau über wechselnde Umgebungsbedingungen aufrechtzuerhalten. Wie im Stand der Technik bekannt, führt, wenn davon ausgegangen wird, dass andere betriebliche Faktoren konstant bleiben, eine Reduktion der Umgebungstemperatur zu einer Erhöhung der Turbinenausgangsleistung. Wenn die Umgebungstemperatur von 70°F auf 50°F (21°C auf 10°C) abnimmt, während die Turbine 100 bereits auf ihrem maximalen Basislastniveau arbeitet, um das obige Beispiel aus Fig. 3 weiterzuführen, müsste also der Turbinenbediener bestimmte Regelungsmassnahmen beginnen, damit die Turbine 100 das maximale Basislastniveau aufrechterhält (und nicht überschreitet). Wie im Stand der Technik bekannt, können diese Regelungsmassnahmen das Entnehmen von Einlasswärme (d.h., Entnehmen der Entladeluft des Turbinenkompressors 104 und Rückführen der entnommenen Luft zu dem Kompressoreinlass), Schliessen der Einlass-Leitschaufeln, und/oder Reduzieren der Turbinenbrennstoffzufuhr (d.h., Verringern der Turbineneinlassstemperatur) einschliessen. Wie besprochen, verringern aber solche Regelungsmassnahmen den thermischen Wirkungsgrad der Gasturbine 100 und sind nicht so effizient wie das Erhöhen des Prozentsatzes der Extraktion aus dem Turbinenkompressor 104. Fig. 3(a), 3(b) und 3(c) zeigen, dass das Variieren des Extraktionsniveaus erfolgreich verhindern kann, dass die Gasturbine 100 ihr maximales Basislastniveau überschreitet, während sie gleichzeitig ihre Betriebsgrenzen, wie etwa die Kompressorspanne, über wechselnde Umgebungsbedingungen einhält.

[0035] Zweitens kann eine Erhöhung in der Zufuhr von komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor 104 extrahiert wird, in einem gleichwertigen Ausmass die Menge an komprimierter Luft, die von dem Hauptkompressor 202 benötigt wird, um die Lufttrenneinheit 204 mit der notwendigen Menge an komprimierter Luft zu versorgen, verringern. Dies kann zu einer verringerten Verwendung des Hauptkompressors 202 führen, was den gesamten Wirkungsgrad des Systems durch Reduktion des Energieverbrauchs durch diese Komponente erhöhen kann. Des Weiteren kann eine reduzierte Verwendung des Hauptkompressors 202 die mit diesem verbundenen Wartungskosten verringern. Somit nützt das Variieren des Niveaus der Extraktion von komprimierter Luft zu der Lufttrenneinheit 204 im Gegensatz zu den anderen bekannten Verfahren zur Regelung der Last und zur Einhaltung der Betriebsgrenzen der Turbine 100 die Regelungsmassnahme durch Erhöhen der Zufuhr von komprimierter Luft, die an die Lufttrenneinheit 204 von dem Turbinenkompressor 104 zugeführt wird (d.h., sie verringert die Ausgabeanforderung des Hauptkompressors 202 und verringert den Energieverbrauch dieser Komponente), effizient aus.

[0036] Wenn andererseits der Prozentsatz der Extraktion aus dem Turbinenkompressor 104 in dem zuvor besprochenen Beispiel konstant geblieben wäre (d.h., auf dem Niveau von ungefähr 4% bei 70°F (21°C), während die Umgebungstemperatur auf 50°F (10°C) abgenommen hat, hätte der Bediener der Turbine 100 solche Massnahmen wie Einlass-Entnahmewärme, Schliessen der Einlass-Leitschaufeln, und/oder Verringern der Turbinenbrennstoffzufuhr beginnen müssen, um die Turbinenlast zu begrenzen und andere Betriebsgrenzen, wie etwa die Kompressorspanne, einzuhalten. Des Weiteren müsste das Gesamtsystem die Differenz in der Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor 104 extrahiert wird, zwischen dem Extraktionsniveau von 4% und von 7% mit dem Hauptkompressor 202 ausgleichen, was den Wirkungsgrad des Gesamtsystems weiter verringern würde.

[0037] Wie in Fig. 3(a), 3(b) und 3(c) gezeigt, kann der extrahierte Prozentsatz im Allgemeinen verringert werden, wenn die Umgebungstemperatur steigt, so dass die Turbinenausgangsleistung an der Linie 303 des maximalen Basislastniveaus aufrechterhalten wird (d.h., wenn der extrahierte Prozentsatz nicht reduziert werden und andere Betriebsfaktoren gleich bleiben würden, würde die Turbinenausgangsleistung fallen, wenn die Umgebungstemperatur steigt). Wenn die Umgebungstemperatur weiter steigt, könnte die Turbine 100 an einem bestimmten Punkt nicht länger in der Lage sein, die Lastanforderung der Linie 303 des maximalen Basislastniveaus zu erfüllen und gleichzeitig Betriebsgrenzen (wie etwa die Linie 302 der Kompressorbetriebsgrenze) einzuhalten, sogar wenn der Prozentsatz an extrahierter komprimierter Luft noch weiter reduziert werden würde. In Fig. 3 geschieht dies bei ungefähr 80°F (27°C), obwohl dies für unterschiedliche Systeme unter unterschiedlichen Bedingungen bei anderen Temperaturen geschehen kann. An einem solchen Punkt kann der Extraktionsprozentsatz nicht weiter reduziert werden, so dass die Linie 303 des maximalen Basislastniveaus aufrechterhalten werden kann, ohne die Linie 302 der minimalen Kompressorspanne zu verletzen. Nach diesem Punkt kann die Turbinenlast durch andere Mittel und/oder fortgesetzte Extraktion verringert werden, so dass der Systemwirkungsgrad bei einem Niveau der Turbinenausgangsleistung unterhalb der Linie 303 des maximalen Basislastniveaus maximiert wird. Bis zu diesem Punkt wird die Turbinenausgangsleistung (d.h., Last) auf ein maximales gewünschtes Niveau geregelt, während andere Betriebsgrenzen, wie etwa die Kompressorspanne, über wechselnde Umgebungsbedingungen in einer den Systemwirkungsgrad maximierenden Art und Weise eingehalten werden.

[0038] Fig. 4(a) und 4(b) schliessen zwei Kurven ein, die zeigen, wie die Temperatur im Inneren der Brennkammer 106 so variiert werden kann, dass eine maximal zulässige Temperatur der Gase, die die Brennkammer verlassen, nicht überschritten wird, während die Turbine 100 bei einer konstanten Last über wechselnde Umgebungsbedingungen arbeitet. In diesen Kurven stellt «Tfire» die Temperatur der Gase dar, welche die Düse der ersten Stufe innerhalb der Brennkammer 106 verlassen, und «T3.9» stellt die Temperatur der Gase dar, welche die Brennkammer 106 verlassen. Wie dargestellt, kann Tfire verringert werden, während die Umgebungstemperatur abnimmt, so dass die maximal zulässige Temperatur

T3.9, welche durch eine T3.9-Maximallinie 402 dargestellt wird, nicht überschritten wird. Anfänglich kann, wenn die Umgebungstemperatur von etwa 100°F auf 60°F (38°C auf 16°C) abnimmt, T_{fire} auf einem Niveau aufrechterhalten werden, das einer maximal zulässigen Temperatur T_{fire} entspricht, die durch eine T_{fire}-Maximallinie 404 dargestellt ist. Auch kann, während die Umgebungstemperatur von 100°F auf 60°F (38°C auf 16°C) abnimmt, die Temperatur T3.9 steigen, bis sie an einem Punkt 406 die T3.9-Maximallinie erreicht. Während die Umgebungstemperatur unter 60°F (16°C) abnimmt (und während, wie erwähnt, eine konstante Last aufrechterhalten wird), kann T_{fire} reduziert werden, so dass die T3.9-Maximallinie 402 nicht verletzt wird. Zum Beispiel kann bei einer Umgebungstemperatur von 40°F (4°C) T_{fire} auf ein Niveau unterhalb der T_{fire}-Maximallinie 404 (Punkt 408) reduziert werden, so dass die Temperatur T3.9 die T3.9-Maximallinie 402 (Punkt 410) nicht überschreitet.

[0039] Die variable Extraktion (d.h., das Variieren der aus dem Turbinenkompressor 104 extrahierten Menge an komprimierter Luft zur Zufuhr an die Lufttrenneinheit 204) kann verwendet werden, um sicherzustellen, dass betriebliche Grenzen, wie etwa die T3.9-Maximallinie 402 und die T_{fire}-Maximallinie 404 beachtet werden und der Systemwirkungsgrad maximiert wird. Wenn eine Verringerung des Brennstoffflusses als primäre Regelung zum Begrenzen des Turbinenlastniveaus verwendet wird, werden zum Beispiel die Temperaturen für T_{fire} und T3.9 nicht bis auf ihre jeweiligen Grenzen maximiert. Andererseits ist das Variieren der Extraktion zur Aufrechterhaltung maximaler T_{fire}/T3.9-Temperaturen auf Grund der direkten Beziehung zwischen hohen Systemtemperaturen und gesteigertem Systemwirkungsgrad effizienter. Somit kann die Extraktion während fallender Umgebungstemperaturen erhöht werden, so dass maximale T_{fire}/T3.9-Temperaturen aufrechterhalten werden können, während gleichzeitig das maximale Lastniveau nicht überschritten wird.

[0040] Fig. 5(a) und (b) schliessen zwei Kurven ein, die demonstrieren, wie die Einstellung der Einlass-Leitschaufeln so variiert werden kann, dass eine maximale Geschwindigkeit des aus der Turbine 100 austretenden Fluids nicht überschritten wird, während die Turbine 100 bei einer konstanten Last über wechselnde Umgebungsbedingungen arbeitet. In dieser Kurve bezeichnet «IGV» die Einstellung (d.h., der Stellwinkel) der Einlass-Leitschaufeln und «Axialausgangs-MN» bezeichnet die Geschwindigkeit des Fluids, während es aus der Turbine 100 austritt, welche auch als die Turbinenmachzahl bekannt ist. Wie gezeigt kann der Stellwinkel der Einlass-Leitschaufeln reduziert werden (d.h., die Einlass-Leitschaufeln werden weiter «geschlossen»), während die Umgebungstemperatur auf unter etwa 80°F (27°C) abnimmt, so dass eine maximale zulässige Ausgangs-Fluidgeschwindigkeit, welche durch eine Linie 502 der maximalen Machzahl dargestellt ist, nicht überschritten wird. Zum Beispiel wird von 60°F auf 40°F (16°C bis 4°C) der IGV-Stellwinkel von ungefähr 83° (siehe Punkt 504) auf 81° (siehe Punkt 506) reduziert, so dass die Ausgangs-Fluidgeschwindigkeit an oder unterhalb der Linie 502 der maximalen Machzahl gehalten wird (siehe Punkte 508 und 510).

[0041] Die variable Extraktion kann verwendet werden, um sicherzustellen, dass betriebliche Grenzen, wie etwa die Linie 502 der maximalen Machzahl, beachtet werden, während der Systemwirkungsgrad weiter maximiert wird, als andere bekannte Regelungsmittel, wie etwa Manipulieren der Einstellung der Einlass-Leitschaufeln, dies können. Zum Beispiel kann das Erhöhen des Prozentsatzes von komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor 104 extrahiert wird, die Menge an Kompressorfluss, der verfügbar ist, um sich durch die Turbine 104 zu entspannen, verringern, was wiederum die Geschwindigkeit des Fluids verringert, wenn es aus der Turbine austritt. Somit kann, wenn die Umgebungstemperaturen fallen, die Notwendigkeit, den Luftstrom zu dem Turbinenkompressor 104 durch Manipulation der Einlass-Leitschaufeln zu verringern, durch Variieren (in diesem Fall durch Erhöhen) des Extraktionsniveaus aus dem Turbinenkompressor 104 verringert werden. Wie bereits besprochen, ist das Variieren der Extraktion zur Einhaltung von betrieblichen Grenzen, wie etwa die maximal zulässige Geschwindigkeit des Fluids, während es aus der Turbine 100 austritt, effizienter als das Schliessen der Einlass-Leitschaufeln, da unter anderem die erhöhte Menge an extrahierter Luft an die Lufttrenneinheit 204 zugeführt werden kann, so dass die Anforderung an den Hauptluftkompressor 202 verringert und der Wirkungsgrad des Gesamtsystems erhöht wird.

[0042] Daher kann während des Betriebs des IGCC-Energieerzeugungssystems 200 die Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor 104 für die Zufuhr an die Lufttrenneinheit 204 extrahiert wird, variiert werden, um die Last an der Turbine 100 zu regeln und sicherzustellen, dass betriebliche Grenzbedingungen der Turbine 100 so aufrechterhalten werden, dass die Wirkungsgrade des Systems maximiert werden. Des Weiteren kann eine erhöhte Zufuhr von extrahierter komprimierter Luft aus dem Turbinenkompressor 104 den Energieverbrauch des Hauptluftkompressors 202 verringern, so dass der Gesamtwirkungsgrad des IGCC-Systems 200 verbessert wird. Dieses Verfahren zur Regelung der Turbine 100 kann auf mehreren Wegen erreicht werden, einschliesslich, aber ohne darauf beschränkt zu sein, der in den Fig. 6–8 gezeigten Regelungsverfahren.

[0043] Fig. 6 ist ein Flussdiagramm, das ein beispielhaftes Regelungsverfahren demonstriert, das zur Einstellung der Abzugstemperatur («Texh») der Turbine 100 verwendet werden kann. Bei Block 602 kann eine Messung des Kompressor-druckverhältnisses über den Turbinenkompressor 104 vorgenommen werden. Bei 604 kann die Messung des Kompressor-druckverhältnisses verwendet werden, um Texh für einen Teillast-Zustand (d.h., einen Betriebszustand, der weniger als ungefähr 96% der Basislast beträgt) zu berechnen. Die berechnete Teillast Texh kann dann in Abhängigkeit von dem Zustand eines Schalters 608 an einen «Minimumauswahl»-Block 606 weitergeleitet werden. Wird bestimmt, dass die Turbine 100 in einem Teillast-Zustand arbeitet, kann der Schalter 608 geschlossen sein, was der berechneten Teillast Texh gestattet, den Minimumauswahl-Block 606 zu durchlaufen. Wird andererseits bestimmt, dass die Turbine 100 nicht in einem Teillast-Zustand arbeitet, kann der Schalter 606 im offenen Zustand bleiben, so dass die berechnete Teillast Texh nicht an den Minimumauswahl-Block 606 weitergeleitet wird.

[0044] Bei einem Block 610 kann eine weitere Texh-Einstellpunkt-Berechnung auf der Grundlage des gemessenen Kompressorverhältnisses 602 und eines bekannten Grenzwerts 612 der Brennkammerausgangstemperatur, welcher die maximal zulässige Ausgangstemperatur für die Brennkammer 106 darstellt, ausgeführt werden. Die berechnete Texh von Block 610 kann dann in den Minimumauswahl-Block 606 eingegeben werden. Der Minimumauswahl-Block 606 dient dann zur Auswahl des minimalen Texh-Einstellpunkts von den zwei Eingängen, d.h., zwischen den Eingängen von Block 604 (unter der Annahme, dass der Schalter 608 in der geschlossenen Stellung ist) und Block 610.

[0045] Eine zweite Minimumauswahl, ein Minimumauswahl-Block 613, kann den minimalen berechneten Texh-Einstellpunkt von den ihm durch den Minimumauswahl-Block 606 und den Eingang von einem Block 614 zugeführten Eingängen auswählen. Bei Block 614 kann auf der Grundlage des bei Block 602 gemessenen Kompressorverhältnisses und eines bekannten Turbineneinlasstemperaturmaximums 616 (d.h., die am Turbineneinlass maximal zulässige Temperatur) eine Texh-Einstellpunkt-Berechnung durchgeführt werden. Das Minimum aus diesen zwei Eingängen in den Minimumauswahl-Block 613 kann ausgewählt werden und das Ergebnis kann ein Texh-Einstellpunkt 618 werden.

[0046] Fig. 7 ist ein Flussdiagramm, das ein beispielhaftes Regelungsverfahren demonstriert, das verwendet werden kann, um einen Einstellpunkt für die Einlass-Leitschaufeln zu berechnen, der den Stellwinkel der Einlass-Leitschaufeln der Turbine 100 bestimmen kann. An einem Block 702 kann eine Ziel-Turbinenabzugs-Strömungsrate auf der Grundlage eines gemessenen Werts des Texh 704, eines gemessenen Werts des Drucks des Turbinenabzugs 706, und einer bekannten maximal zulässigen Turbinenabzugs-Strömungsrate 707 berechnet werden. Die Ziel-Turbinenabzugs-Strömungsrate, die an Block 702 berechnet wurde, kann dann zusammen mit den folgenden Werten in einen Block 708 eingegeben werden: einer gemessenen Umgebungstemperatur 710, einem gemessenen Umgebungsluftdruck 712 und einer gemessenen Kraftstoffströmungsrate 714. Mit dieser Information kann ein Ziel-Einstellpunkt für die Einlass-Leitschaufeln nach im Stand der Technik bekannten Verfahren berechnet werden.

[0047] Der bei Block 708 berechnete Wert kann dann in einen Minimumauswahl-Block 716 eingegeben werden. Der Minimumauswahl-Block 716 kann den Wert des Einlass-Leitschaufel-Einstellpunkts aus den folgenden auswählen: 1) dem bei Block 708 berechneten Einlass-Leitschaufel-Einstellpunkt; einem Teillast-Einlass-Leitschaufel-Einstellpunkt 718, der nach im Stand der Technik bekannten Verfahren berechnet wurde; und einem bekannten maximal zulässigen Einlass-Leitschaufel-Einstellpunkt 720. Das bestimmte Minimum bei Minimumauswahl-Block 716 wird dann als ein Einlass-Leitschaufel-Einstellpunkt 722 ausgewählt.

[0048] Fig. 8 ist ein Flussdiagramm, das ein beispielhaftes Regelungsverfahren zeigt, das zur Berechnung eines Einstellpunkts für die Extraktion aus dem Turbinenkompressor 104 (d.h., die Menge oder den Prozentsatz an komprimierter Luft aus dem Turbinenkompressor 104, die bzw. der extrahiert und an die Lufttrenneinheit 204 zugeführt wird). Bei Block 802 kann eine Differenz zwischen einer gemessenen Turbinenlast 804 und einer Ziel-Turbinenlast 806 berechnet werden. Die Turbinenlast kann durch im Stand der Technik bekannte Einrichtungen und Systeme gemessen werden, einschliesslich eines Präzisions-Leistungsanalysators, eines Wattstundenzählers oder anderer ähnlicher Einrichtungen und Systeme. Die gemessene Turbinenlast 804 kann dann durch dem Fachmann bekannte Einrichtungen, Regelungsgeräte und Systeme, einschliesslich ein programmierbares logisches Steuergerät (PLC), oder andere ähnliche Einrichtungen, Regelungsgeräte und Systeme, mit der Ziel-Turbinenlast 806 (und einer berechneten Differenz) verglichen werden. Die berechnete Differenz kann dann an einem Block 808 in eine proportional-integral-derivative Regeleinrichtung («PID») oder andere ähnliche Einrichtung eingegeben werden, und ein Extraktions-Einstellpunkt, d.h., die Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor 104 extrahiert werden soll, kann auf der Grundlage der Differenz berechnet werden. Der berechnete Extraktions-Einstellpunkt von Block 808 kann dann in einen Maximumauswahl-Block 812 eingegeben werden. Der Maximumauswahl-Block 812 kann zur Auswahl des Maximalwerts aus mehreren Einträgen dienen.

[0049] An einem Block 814 kann eine tatsächliche Kompressorpumpanspanne auf der Grundlage aktueller betrieblicher Messungen des Turbinenkompressors 104, einschliesslich einer Umgebungstemperatureingabe 816, einer Kompressorverhältnis-Eingabe 818, einer Eingabe 820 der Strömungsrate über den Kompressor, einer gemessenen Kompressorrehzahl 821, etc., berechnet werden. Dem Fachmann wird klar sein, dass die Berechnung der tatsächlichen Kompressorpumpanspanne auf unterschiedliche Arten durchgeführt werden kann. An einem Block 822 kann eine Differenz zwischen der tatsächlichen Kompressorspanne (berechnet an Block 814) und einem gewünschten betrieblichen minimalen Kompressorspannen-Grenzwert (welche zuvor im Text zur Fig. 3(b) als minimale Grenzwertlinie 302 für den Kompressorbetrieb bezeichnet wurde) berechnet werden. Diese Berechnung kann durch dem Fachmann bekannte Einrichtungen, Regelungsgeräte und Systeme, einschliesslich eines programmierbaren logischen Steuergeräts (PLC) oder anderer ähnlicher Einrichtungen, Regelungsgeräte und Systeme, durchgeführt werden. Die berechnete Differenz kann dann an einem Block 824 in ein proportional-integral-derivatives Regelungsgerät («PID») oder eine andere ähnliche Einrichtung eingegeben werden, und ein Extraktions-Einstellpunkt, d.h., die Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor 104 extrahiert werden soll, kann auf der Grundlage der Differenz berechnet werden.

[0050] Der berechnete Extraktions-Einstellpunkt von Block 824 kann dann in den Maximumauswahl-Block 812 eingegeben werden. Der Maximumauswahl-Block 812 kann dann den maximalen Extraktions-Einstellpunkt zwischen den Extraktions-Einstellpunkt-Eingängen von den Blöcken 808 und 824 auswählen, der dann als ein ausgewählter Extraktions-Einstellpunkt 826 bezeichnet werden kann. Der ausgewählte Extraktions-Einstellpunkt 826 kann dann verwendet werden, um Ventile, wie etwa ein Absperrventil oder andere ähnliche Einrichtungen innerhalb des Turbinenkompressors 104 oder

in der Rohrleitung zwischen dem Turbinenkompressor 104 und der Lufttrenneinheit 204 einzustellen, so dass eine gewünschte Menge an komprimierter Luft aus dem Turbinenkompressor 104 extrahiert wird. Die komprimierte Luft, die aus dem Turbinenkompressor 104 extrahiert wird, kann dann wie zuvor beschrieben über Rohrleitungen und Ventile an die Lufttrenneinheit 204 zugeführt werden.

[0051] Das gesamte Verfahren des Extrahierens einer variablen Menge an komprimierter Luft aus dem Turbinenkompressor 104 und Zuführen der extrahierten komprimierten Luft an die Lufttrenneinheit 204, um die Turbinenlast zu regeln, kann wie zuvor beschrieben durch computerbasierte Anlagenbetriebssysteme, die dem Fachmann bekannt sind, implementiert und geregelt werden. Die Betriebssysteme können jede geeignete integrierte Hochleistungs-Schalteinrichtung umfassen. Das Betriebssystem kann ein Computer sein; dieser ist jedoch rein beispielhaft für ein geeignetes Hochleistungs-Regelungssystem, das im Schutzbereich der Anmeldung liegt. Zum Beispiel kann das Betriebssystem, jedoch ohne darauf beschränkt zu sein, von einem siliziumgesteuerten Gleichrichter (SCR), einem Thyristor, einem MOS-gesteuerten Thyristor (MCT) und einem Insulated-Gate-Bipolartransistor, zumindest einen einschliessen. Das Betriebssystem kann auch als ein einzelner, speziell entwickelter integrierter Schaltkreis implementiert sein, wie etwa ein ASIC, mit einem Haupt- oder Zentralprozessorabschnitt für die gesamte Steuerung auf Systemebene und separaten Abschnitten, die für die Durchführung verschiedener unterschiedlicher spezifischer Kombinationen, Funktionen und anderer Prozesse unter der Steuerung des Zentralprozessorabschnittes dediziert sind. Dem Fachmann wird klar sein, dass das Betriebssystem auch unter Verwendung einer Reihe separater dedizierter oder programmierbarer integrierter oder anderer elektronischer Schaltungen oder Einrichtungen, wie etwa festverdrahtete elektronische Schaltungen oder Logikschaltungen, einschliesslich Schaltungen aus diskreten Elementen oder programmierbarer logischer Einrichtungen wie etwa PLDs, PALs, PLAs oder dergleichen, implementiert werden kann. Das Betriebssystem kann auch unter Verwendung eines in geeigneter Weise programmierten Allzweckcomputers, wie etwa eines Mikroprozessors oder eines Mikrocontrollers oder einer anderen Prozessoreinrichtung, wie etwa einer CPU oder MPU, entweder allein oder in Zusammenwirkung mit einer oder mehreren peripheren Daten- und Signalverarbeitungseinrichtungen, implementiert werden. Im Allgemeinen kann jede Einrichtung oder ähnliche Einrichtungen verwendet werden, auf welcher ein endlicher Automat (Zustandsmaschine) als Betriebssystem verwendet werden kann, der das Logikflussdiagramm 200 implementieren kann. Wie gezeigt, kann für eine maximale Daten-/Signalverarbeitungsfähigkeit und -geschwindigkeit eine verteilte Verarbeitungsarchitektur bevorzugt werden. Wie dem Fachmann klar sein wird, kann das Betriebssystem des Weiteren den Betrieb (d.h., das Öffnen, Schliessen oder andere Einstellungen) der Ventile und der anderen mechanischen Systeme des IGCC-Energieerzeugungssystems 200 regeln und Eingaben von Sensoren erhalten, die Informationen bezüglich der Systemleistung (d.h., Messungen des aktuellen Kompressordruckverhältnisses, der aktuellen Strömungsrate, Drehzahl, etc.), die für die Regelung des Systems relevant sein können, weiterleiten.

[0052] Allgemein ausgedrückt kann die Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor 104 extrahiert wird, so variiert werden, dass betriebliche Grenzbedingungen, wie etwa die Kompressorspanne, erfüllt werden und der Systemwirkungsgrad maximiert wird. Die Kompressorspanne kann die Differenz zwischen dem gemessenen Druckverhältnis des Turbinenkompressors 104 und dem maximalen Druckverhältnis sein, bei welchem der Turbinenkompressor 104 bei einer gegebenen Strömungsrate und Drehzahl betrieben werden kann, ohne dass der Turbinenkompressor 104 ein Kompressorumpfen erfährt. Das Variieren der Extraktion aus dem Turbinenkompressor 104 kann den Entladedruck des Turbinenkompressors 104 und damit das Kompressordruckverhältnis negativ beeinflussen. Das heisst, eine Erhöhung der Extraktion kann den Entladedruck des Turbinenkompressors 104 verringern, was das Kompressordruckverhältnis verringern kann, und eine Verringerung der Extraktion kann den Entladedruck des Turbinenkompressors 104 erhöhen, was das Kompressordruckverhältnis erhöhen kann. Somit kann die Extraktion auf der Grundlage einer aktuellen Messung des Kompressordruckverhältnisses, der Strömungsrate und der Drehzahl variiert werden, so dass der Turbinenkompressor 104 nahe an einem Kompressordruckverhältnis effizient arbeitet, dieses aber nicht überschreitet, das entweder (1) ein Kompressorumpfereignis verursacht oder (2) zu einer Kompressorspanne führt, welche die minimale Grenzwertlinie 302 für den Kompressorbetrieb verletzt. Des Weiteren kann, wenn die Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor 104 extrahiert wird, erhöht wird, die Zufuhr von komprimierter Luft, die von dem Hauptluftkompressor 202 geliefert wird, um ungefähr dieselbe Menge verringert werden (so dass die kombinierte Zufuhr, die von der Lufttrenneinheit 204 aufgenommen wird, ungefähr dieselbe bleibt). Wenn andererseits die Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor 104 extrahiert wird, verringert wird, kann die Zufuhr von komprimierter Luft, die von dem Hauptluftkompressor 202 geliefert wird, um ungefähr dieselbe Menge erhöht werden.

[0053] Wie der Fachmann erkennen wird, kann die Bestimmung des Kompressordruckverhältnisses aus Druckmessungen von dem Einlass und dem Ausgang des Turbinenkompressors 104 erfolgen, welche durch im Handel verfügbare Druckmesser, Messwandler oder ähnliche Einrichtungen vorgenommen werden können, die an dem Einlass und Auslass des Turbinenkompressors 104 angeordnet sind. Die Messung der Strömungsrate durch den Turbinenkompressor 104 kann durch Messen des Druckabfalls über den Kompressortrichter erfolgen, durch Einbeziehung von Flussmessfühlern am Kompressoreinlass oder unter Verwendung anderer ähnlicher Verfahren oder Einrichtungen. Die Messung der Drehzahl (d.h., upm) des Turbinenkompressors 104 kann durch einen magnetischen Drehzahlsensor, einen Impulsgeber oder andere ähnliche Einrichtungen vorgenommen werden. Wie der Fachmann erkennen wird, kann das relevante Kompressordruckverhältnis (d.h., das Kompressordruckverhältnis, das entweder (1) das Kompressordruckverhältnis, das Kompressorumpfen verursacht, oder (2) das Kompressordruckverhältnis reflektiert, das zu einer Kompressorspanne führt, welche die minimale Grenzwertlinie 302 für den Kompressorbetrieb verletzt) auf der Grundlage tatsächlicher Testergebnisse, die

für im Handel erhältliche Gasturbinenmotoren erhalten werden können, und/oder auf der Grundlage von Berechnungen auf der Grundlage der Turbineneigenschaften und einer gegebenen Strömungsrate und Drehzahl, vorhergesagt werden.

[0054] Wie erwähnt, wird dem Fachmann klar sein, dass andere Regelungsprozesse, -verfahren und -systeme verwendet können, um das Extraktionsniveau so zu variieren, dass die Turbinenlast effizient geregelt wird. Es ist klar, dass die vorstehenden Ausführungen sich nur auf die bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Anmeldung beziehen, und dass zahlreiche Änderungen und Modifikationen daran vorgenommen werden können, ohne vom Umfang und Wesen der Anmeldung, die durch die folgenden Ansprüche definiert werden, abzuweichen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Schutz eines Turbinenkompressors (104) eines Gasturbinenmotors (100), der ein Teil eines Kombi-Energieerzeugungssystems (200) mit integrierter Vergasung ist, das eine Lufttrenneinheit (204) einschliesst, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:
Extrahieren einer Menge an komprimierter Luft, die von dem Turbinenkompressor komprimiert wurde (104);
Zuführen der extrahierten Menge an komprimierter Luft an die Lufttrenneinheit (204); und
Variieren der Menge an aus dem Turbinenkompressor (104) extrahierter komprimierter Luft auf der Grundlage eines gewünschten Kompressordruckverhältnisses über den Turbinenkompressor (104).
2. Verfahren nach Anspruch 1, des Weiteren umfassend den Schritt, dass die Lufttrenneinheit (204) mit einer Zufuhr von komprimierter Luft von einem Hauptluftkompressor (202) versorgt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, des Weiteren umfassend den Schritt, dass die Menge an komprimierter Luft, die der Lufttrenneinheit (204) von dem Hauptluftkompressor (202) zugeführt wird, auf der Grundlage der Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor (104) extrahiert wird, variiert wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei eine kombinierte Zufuhr von komprimierter Luft die Menge an komprimierter Luft, die an die Lufttrenneinheit (204) von dem Hauptluftkompressor (202) zugeführt wird, und die Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor (104) extrahiert wird, umfasst; und wobei die kombinierte Zufuhr von komprimierter Luft die Zufuhr von komprimierter Luft umfasst, welche einer gewünschten Gesamtzufuhr an komprimierter Luft zur Lufttrenneinheit (204) entspricht.
5. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der Schritt des Variierens der Menge an komprimierter Luft, die der Lufttrenneinheit (204) von dem Hauptluftkompressor (202) zugeführt wird, auf der Grundlage der Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor (104) extrahiert wird, den Schritt umfasst, dass die Menge an komprimierter Luft, die der Lufttrenneinheit (204) durch den Hauptluftkompressor (202) zugeführt wird, verringert wird, wenn die Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor (104) extrahiert wird, erhöht wird.
6. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der Schritt des Variierens der Menge an komprimierter Luft, die der Lufttrenneinheit (204) von dem Hauptluftkompressor (202) zugeführt wird, auf der Grundlage der Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor (104) extrahiert wird, den Schritt umfasst, dass die Menge an komprimierter Luft, die der Lufttrenneinheit (204) durch den Hauptluftkompressor (202) zugeführt wird, erhöht wird, wenn die Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor (104) extrahiert wird, verringert wird.
7. Verfahren nach Anspruch 3, wobei der Schritt des Variierens der Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor (104) extrahiert wird, auf der Grundlage des gewünschten Kompressordruckverhältnisses, die folgenden Schritte umfasst:
Messen des Drucks an dem Einlass und an dem Ausgang des Turbinenkompressors (104);
Bestimmen eines tatsächlichen Kompressordruckverhältnisses aus den an dem Einlass und Ausgang des Turbinenkompressors (104) erfassten Druckmessungen; Vergleichen des tatsächlichen Kompressordruckverhältnisses mit dem gewünschten Kompressordruckverhältnis; und
Variieren der Zufuhr der Menge an komprimierter Luft an die Lufttrenneinheit (204) auf der Grundlage des Vergleichs.
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei das gewünschte Kompressordruckverhältnis ein Kompressordruckverhältnis umfasst, das den Turbinenkompressor (104) entweder nicht veranlasst, in Kompressorpannen zu geraten, oder nicht veranlasst, eine gewünschte minimale Kompressorspanne zu verletzen.
9. Verfahren nach Anspruch 8, des Weiteren umfassend den Schritt, dass die Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor (104) extrahiert wird, erhöht wird, wenn das tatsächliche Kompressordruckverhältnis grösser gemessen wird als das gewünschte Kompressordruckverhältnis.
10. Verfahren nach Anspruch 8, des Weiteren umfassend den Schritt, dass die Menge an komprimierter Luft, die aus dem Turbinenkompressor (104) extrahiert wird, verringert wird, wenn das tatsächliche Kompressordruckverhältnis kleiner gemessen wird als das gewünschte Kompressordruckverhältnis.

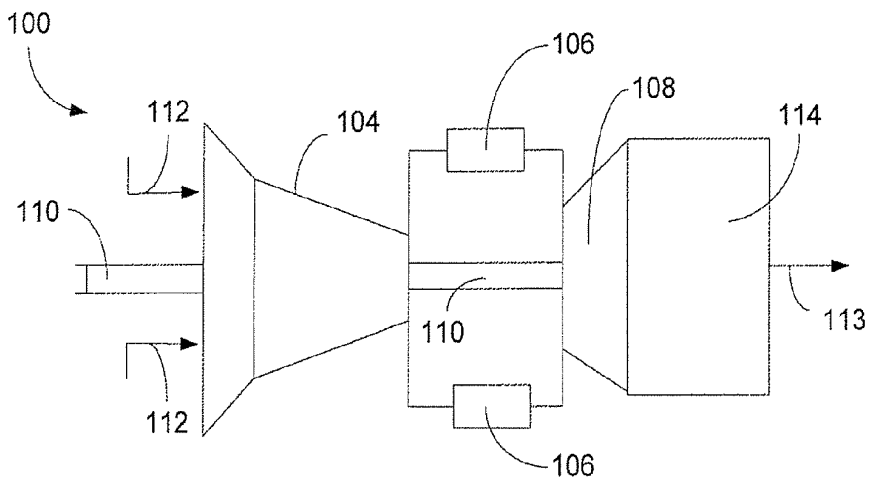


FIG. 1

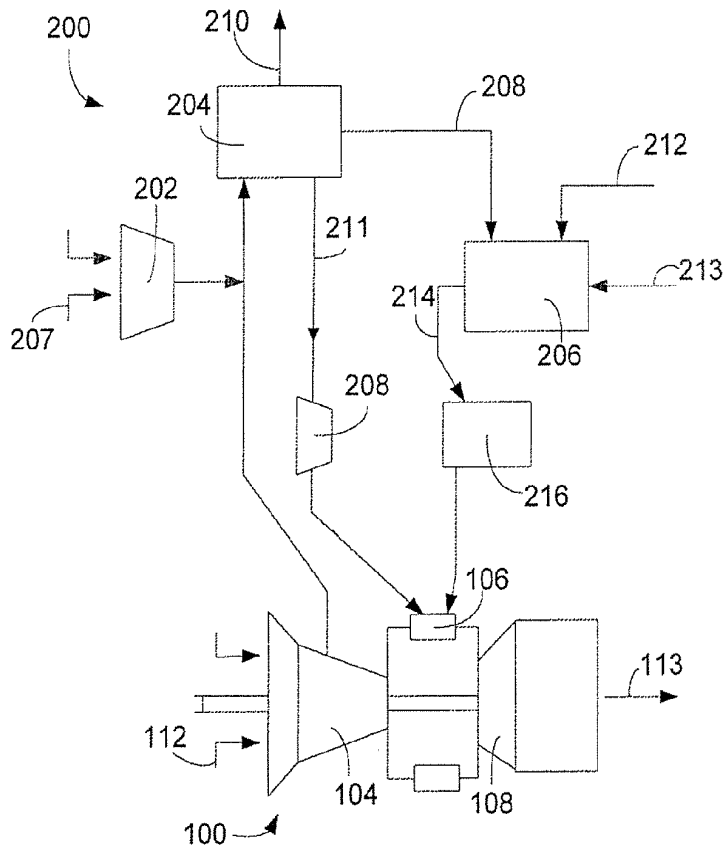


FIG. 2

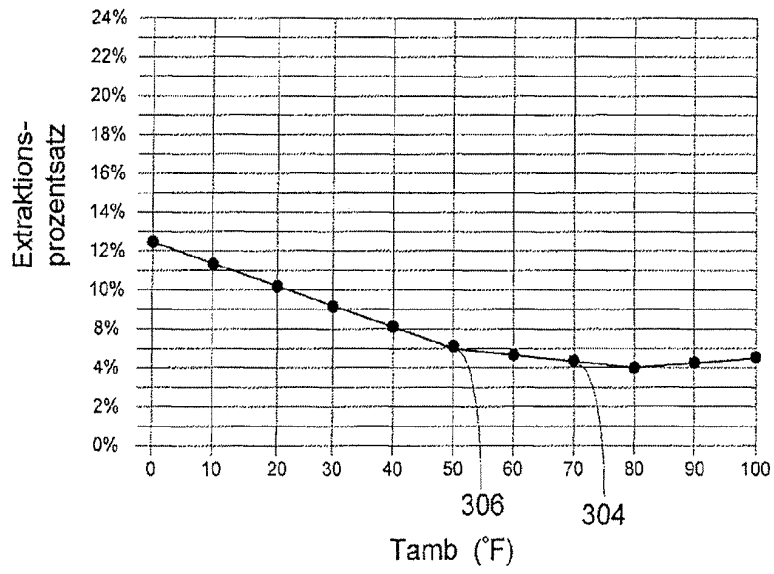


FIG. 3(a)

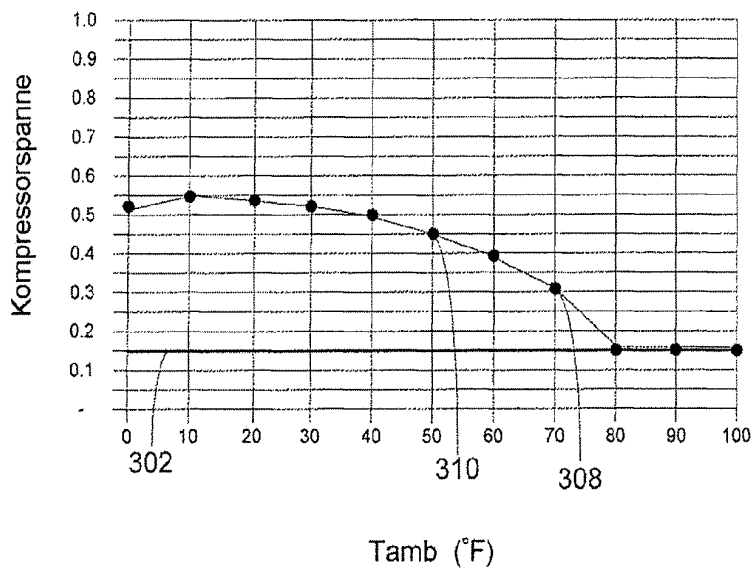


FIG. 3(b)

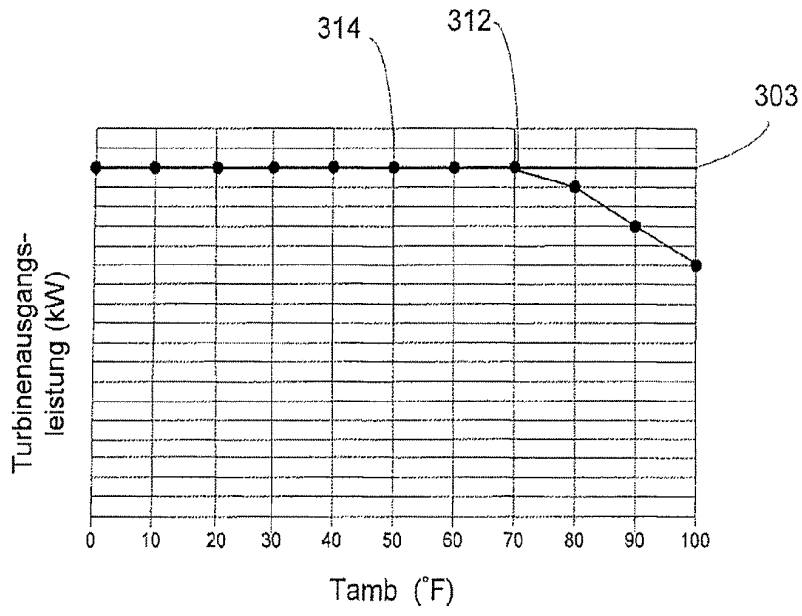


FIG. 3(c)

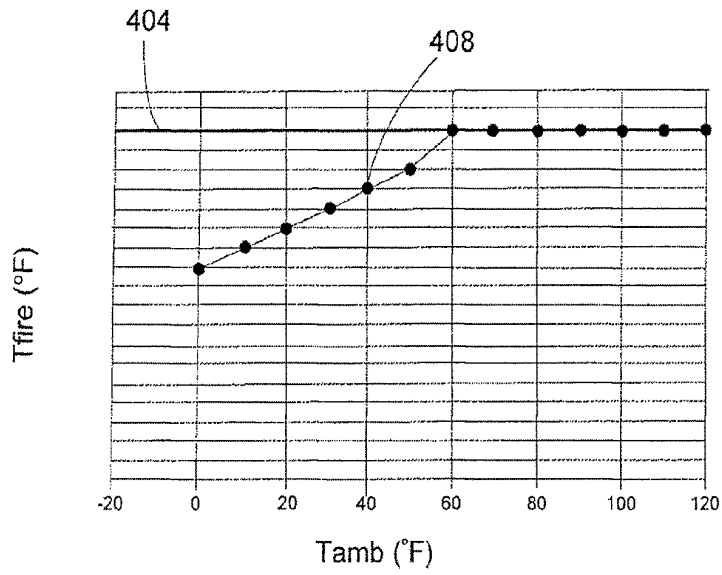


FIG. 4(a)

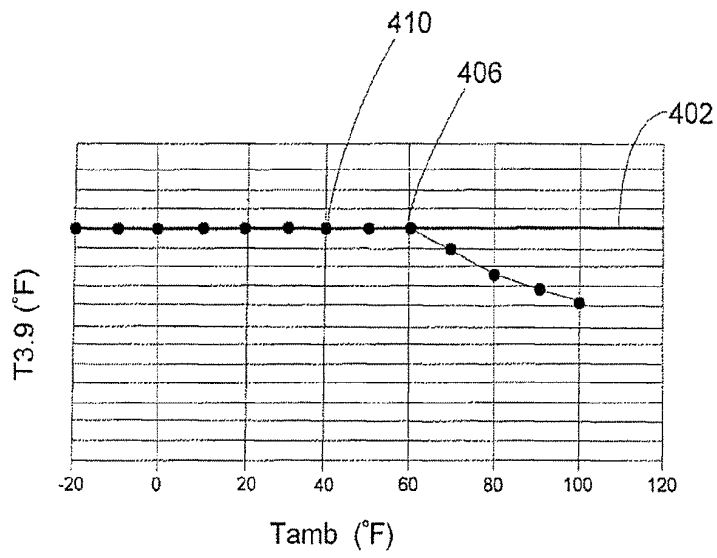


FIG. 4(b)

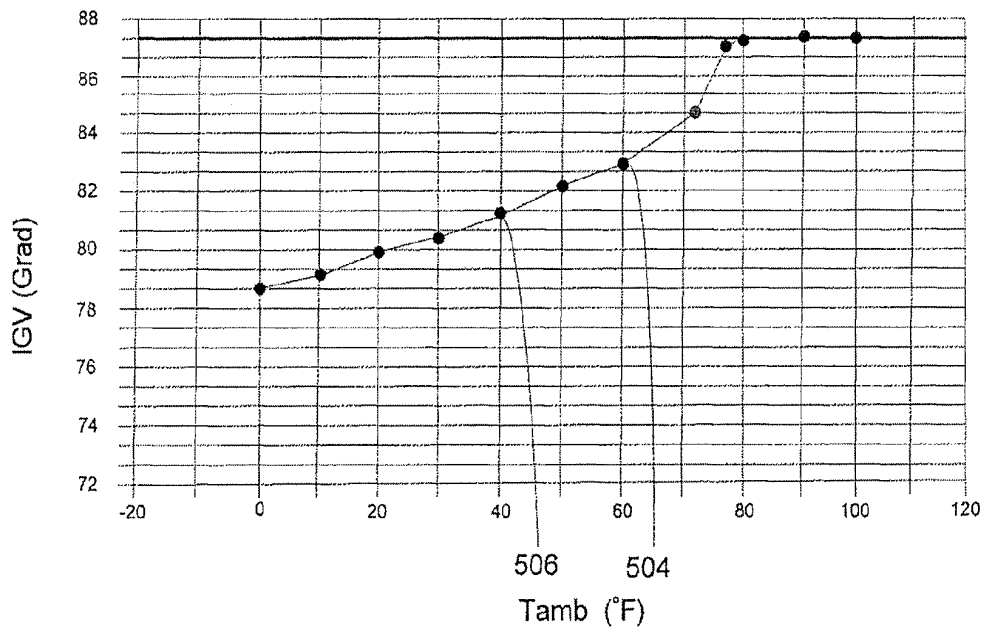


FIG. 5(a)

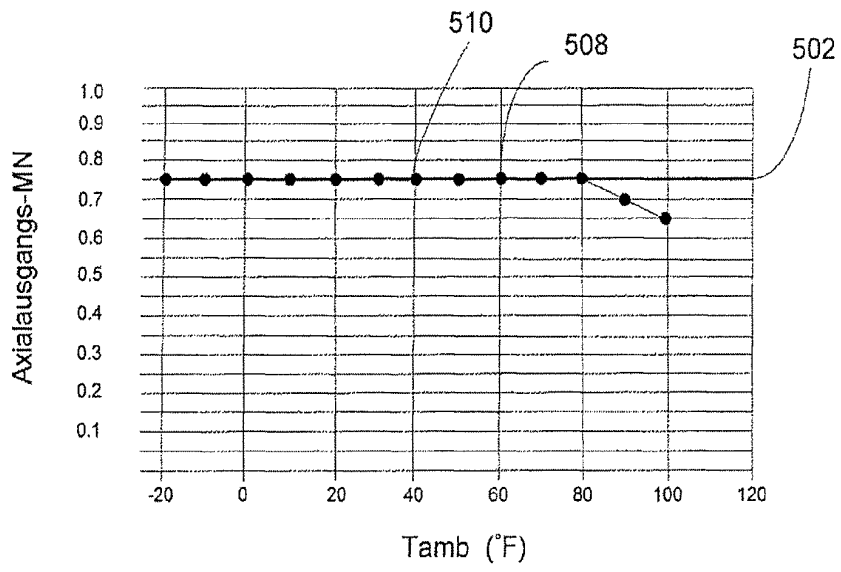


FIG. 5(b)

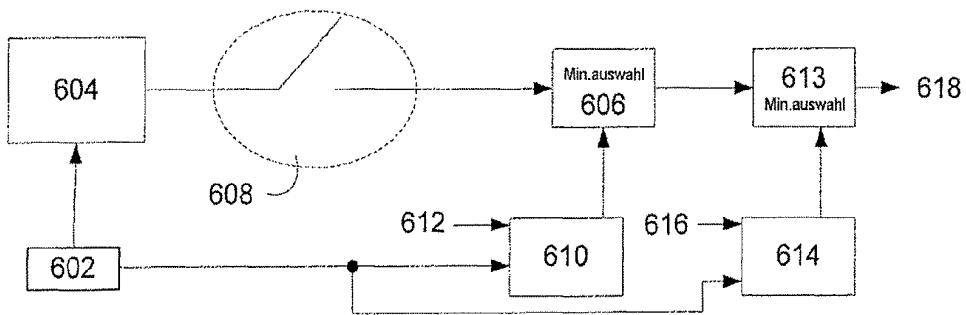


FIG. 6

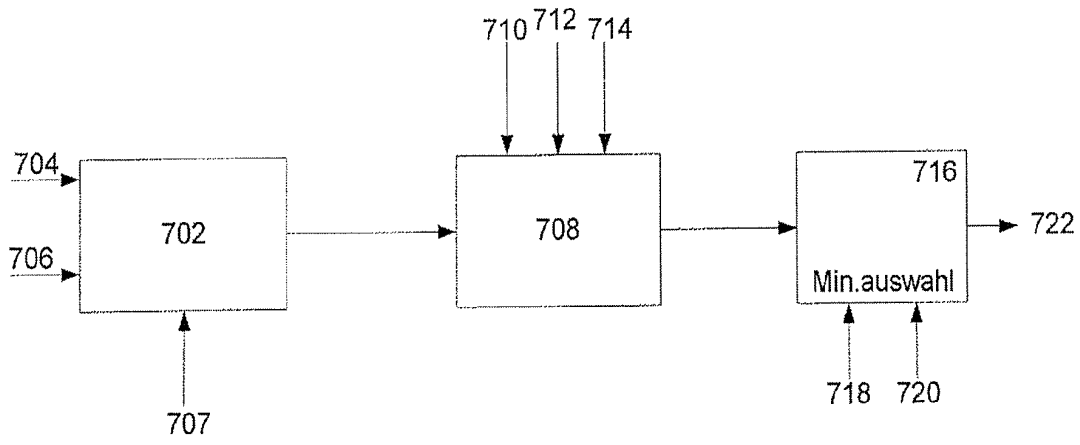


FIG. 7

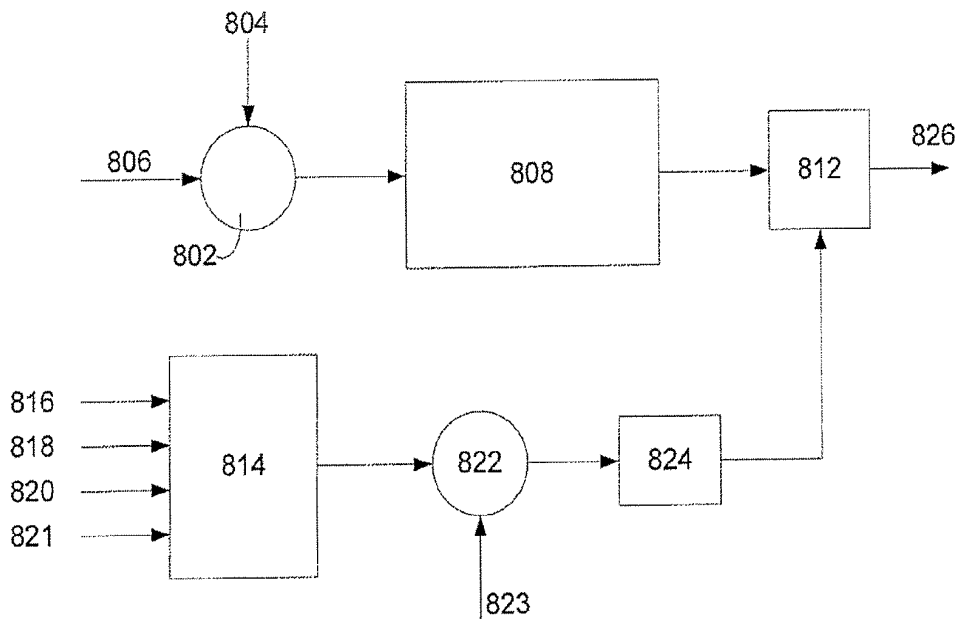


FIG. 8