

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH

708 914 A2

(51) Int. Cl.: F02C 9/00 (2006.01)
G05B 13/00 (2006.01)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 01784/14

(22) Anmeldedatum: 18.11.2014

(43) Anmeldung veröffentlicht: 29.05.2015

(30) Priorität: 21.11.2013 US 14/086,593

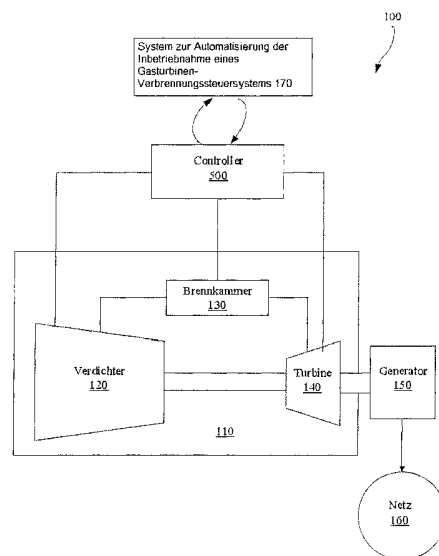
(71) Anmelder:
General Electric Company, 1 River Road
Schenectady, New York 12345 (US)

(72) Erfinder:
Jason Charles Terry, Greenville, SC 29615 (US)
Timothy Andrew Healy, Greenville, SC 29615 (US)
David Kaylor Toronto, Greenville, SC 29615 (US)

(74) Vertreter:
R.A. Egli & Co, Patentanwälte, Baarerstrasse 14
6300 Zug (CH)

(54) Automatisierte Inbetriebnahme eines Gasturbinen-Verbrennungssteuersystems.

(57) Es sind ein System und ein Verfahren zur Automatisierung der Inbetriebnahme eines Gasturbinen-Verbrennungssteuersystems vorgeschlagen. Gemäss der Erfindung beinhaltet ein System einen Controller und einen mit dem Controller in Kommunikationsverbindung stehenden Prozessor. Der Prozessor ist zum Betreiben einer Gasturbine unter mehreren Betriebsbedingungen, während sie sich innerhalb vorbestimmter Verbrennungsbetriebsgrenzen befindet, konfiguriert (205). Der Prozessor ist des Weiteren konfiguriert zum Erfassen (210) von mit der Gasturbine assoziierten Betriebsdaten bei laufender Gasturbine und zum Speichern (215) der Betriebsdaten. Zumindest teilweise auf Basis der Betriebsdaten wird ein Satz von Konstanten für eine oder mehrere vorbestimmte Verbrennungsübertragungsfunktionen erzeugt (220). Der Konstantensatz wird im Gasturbinen-Verbrennungssteuersystem gespeichert, um während Vorgängen zur automatischen Gasturbinenabstimmung verwendet zu werden (225).



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Offenbarung betrifft allgemein Steuerungen für ein Verbrennungssystem eines Gasturbinenkraftwerks und speziell Systeme und Verfahren für die automatisierte Inbetriebnahme eines Gasturbinen-Verbrennungssteuersystems.

HINTERGRUND

[0002] Industrielle und Energieerzeugungsgasturbinen können ein oder mehrere Steuersysteme («Controller») haben, die den Betrieb der Gasturbine überwachen und steuern. Diese Controller können den Betrieb der Gasturbine insgesamt und im Besonderen den Verbrennungsprozess der Gasturbine regulieren.

[0003] Da der Betrieb einer Gasturbine von Besonderheiten einer bestimmten Einheit, eines bestimmten Standorts oder von Verbrauchsgütern abhängt, werden während eines Inbetriebnahmeverfahrens der Gasturbine gewöhnlich Inbetriebnahmeprüfungen durchgeführt. Die Inbetriebnahmeprüfungen können das Betreiben der Gasturbine unter verschiedenen Betriebsbedingungen wie verschiedenen Lasten und Brennstoffaufteilungen und das Erfassen von mit dem Gasturbinenverhalten unter gewissen Bedingungen assoziierten Daten beinhalten. Die erfassten Daten können zur Feinabstimmung von mit der Gasturbine assoziierten Übertragungsfunktionen verwendet werden.

[0004] Traditionell werden derartige Inbetriebnahmeverfahren aber manuell durchgeführt. Manuellen Vorgängen fehlt es an Ausfallsicherheit und sie können Fehler verursachen. Darüber hinaus können die mit diesen manuellen Verfahren gewonnenen Daten unvollständig und relativ schwer auszulegen sein.

KURZE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0005] Die Offenbarung betrifft Systeme und Verfahren zur Automatisierung der Inbetriebnahme eines Gasturbinen-Verbrennungssteuersystems. Gemäss einer Ausführungsform der Offenbarung ist ein Verfahren vorgesehen. Das Verfahren kann das Betreiben einer Gasturbine unter mehreren Betriebsbedingungen, während sie sich innerhalb vorbestimmter Verbrennungsbetriebsgrenzen befindet, beinhalten. Bei laufender Gasturbine können mit der Gasturbine assoziierte Betriebsdaten automatisch erfasst werden. Die erfassten Daten können an einem vordefinierten Ort gespeichert werden. Zumindest teilweise auf der Basis der Betriebsdaten kann ein Satz von Konstanten für eine oder mehrere vorbestimmte Verbrennungsübertragungsfunktionen erzeugt werden. Die erzeugten Konstanten können zur Abstimmung der Verbrennungs-Übertragungsfunktionen verwendet werden. Der Konstantensatz kann zur Verwendung während der Inbetriebnahme oder Abstimmung der Gasturbine im Gasturbinen-Verbrennungssteuersystem gespeichert werden.

[0006] Die Betriebsdaten können die folgenden berechneten oder gemessenen Maschinenbetriebsbedingungen umfassen: eine Einlasstemperatur, einen Luftdurchfluss, einen Brennstoffdurchfluss, einen Einlassdruck, einen Abgasdruck, eine Abgastemperatur, einen Verdichterauslassdruck, eine Verdichterauslasstemperatur, eine Turbinenleistung, einen Umgebungsdruck, eine Feuchtigkeit, einen Feldverteilerdruck und eine Abgaszündung.

[0007] Ein oben erwähntes Verfahren kann vorsehen, dass die Verbrennungsbetriebsgrenzen eines oder mehrere der folgenden umfassen: Emissionen, Dynamik, Magerverlöschung und Stickoxidemissionen.

[0008] Ein oben erwähntes Verfahren kann vorsehen, dass die Erzeugung des Konstantensatzes das Durchführen einer Best-Fit-Regression, zumindest teilweise auf Basis der Betriebsdaten, aufweist.

[0009] Ein oben erwähntes Verfahren kann vorsehen, dass der Konstantensatz verwendet wird, um Prognosen der Brennkammerreaktionen auf verschiedene Maschinenveränderungen zu ermöglichen.

[0010] Ein oben erwähntes Verfahren kann vorsehen, dass die mehreren Betriebsbedingungen mehrere Brennstoffaufteilungen und mehrere Lasten beinhalten.

[0011] Ein oben erwähntes Verfahren kann vorsehen, dass der Konstantensatz für eine oder mehrere vorbestimmte Verbrennungs-Übertragungsfunktionen den Betriebsdaten entspricht, die zu einer erwünschten Reaktion der Gasturbine führen.

[0012] Ein oben erwähntes Verfahren kann vorsehen, dass das Auswählen der erwünschten Reaktion zumindest teilweise auf Verbrennungsstabilität, Dynamik und Emissionen basiert.

[0013] In einer weiteren Ausführungsform der Offenbarung ist ein System vorgesehen. Das System kann einen Controller und einen mit dem Controller in Verbindung stehenden Prozessor beinhalten. Der Prozessor kann zum Betreiben einer Gasturbine unter mehreren Betriebsbedingungen, während sie sich innerhalb vorbestimmter Verbrennungsbetriebsgrenzen befindet, konfiguriert sein. Bei laufender Gasturbine kann der Prozessor automatisch mit der Gasturbine assoziierte Betriebsdaten erfassen. Die erfassten Daten können vom Prozessor in dem Gasturbinen-Verbrennungssteuersystem, einer oder mehreren Datenbanken oder anderen Orten gespeichert werden. Der Prozessor kann zumindest teilweise auf Basis der Betriebsdaten einen Satz von Konstanten für eine oder mehrere vorbestimmte Verbrennungsübertragungsfunktionen erzeugen. Der erzeugte Konstantensatz kann während Vorgängen zur automatischen Gasturbinenabstimmung verwendet werden.

[0014] Die Betriebsdaten können die folgenden berechneten oder gemessenen Maschinenbetriebsbedingungen umfassen: eine Einlasstemperatur, einen Luftdurchfluss, einen Brennstoffdurchfluss, einen Einlassdruck, einen Abgasdruck, eine Abgastemperatur, einen Verdichterauslassdruck, eine Verdichterauslasstemperatur, eine Turbinenleistung, einen Umgebungsdruck, eine Feuchtigkeit, einen Feldverteilerdruck und eine Abgaszündung.

[0015] Die Verbrennungsbetriebsgrenzen eines Systems können eines oder mehrere der folgenden umfassen: Emissionen, Dynamik, Magerverlöschung und Stickoxidemissionen.

[0016] Die Erzeugung des Konstantensatzes kann das Durchführen einer Best-Fit-Regression, zumindest teilweise auf der Basis der Betriebsdaten, aufweisen.

[0017] Der Konstantensatz eines oben erwähnten Systems kann verwendet werden, um Prognosen der Brennkammerreaktionen auf verschiedene Maschinenveränderungen zu ermöglichen.

[0018] Zu den mehreren Betriebsbedingungen können mehrere Brennstoffaufteilungen und mehrere Lasten zählen.

[0019] Der Konstantensatz für eine oder mehrere vorbestimmte Verbrennungs-Übertragungsfunktionen eines oben erwähnten Systems kann den Betriebsdaten entsprechen, die zu einer erwünschten Reaktion der Gasturbine führen.

[0020] Das Gasturbinen-Verbrennungssteuersystem eines oben erwähnten Systems kann mit einer oder mehreren Brennkammern für ultra-niedrige Emissionen assoziiert sein.

[0021] In noch einer weiteren Ausführungsform der Offenbarung ist ein Gasturbinen-Energieerzeugungssystem vorgesehen. Das System kann eine Gasturbine, einen mit der Gasturbine in Verbindung stehenden Controller und einen mit dem Controller in Verbindung stehenden Prozessor beinhalten. Der Controller kann ein Gasturbinen-Verbrennungssteuersystem zum Steuern des Betriebs einer Brennkammer, die Teil der Gasturbine ist, beinhalten. Der Prozessor kann zum Betreiben der Gasturbine unter mehreren Betriebsbedingungen, während sie sich innerhalb vorbestimmter Verbrennungsbetriebsgrenzen befindet, konfiguriert sein. Ausserdem kann der Prozessor konfiguriert sein zum automatischen Erfassen von mit der Gasturbine assoziierten Betriebsdaten bei laufender Gasturbine. Die erfassten Daten können in dem Gasturbinen-Verbrennungssteuersystem, einer oder mehreren Datenbank(en) und an anderen Orten gespeichert werden. Des Weiteren kann der Prozessor zum Erzeugen eines Satzes von Konstanten für eine oder mehrere vorbestimmte Verbrennungs-Übertragungsfunktionen zumindest teilweise auf der Basis der Betriebsdaten konfiguriert sein. Der Konstantensatz kann zur Anpassung der Verbrennungs-Übertragungsfunktionen, so dass sie den Besonderheiten der Gasturbine und den Betriebsbedingungen entsprechen, verwendet werden. Der Konstantensatz kann ausserdem im Gasturbinen-Verbrennungssteuersystem gespeichert werden. Die gespeicherten Konstanten können während Vorgängen zur automatischen Abstimmung der Gasturbine verwendet werden.

[0022] Das Erzeugen des Konstantensatzes kann das Durchführen einer Best-Fit-Regression zumindest teilweise auf der Basis der Betriebsdaten aufweisen.

[0023] Der Prozessor eines oben erwähnten Gasturbinen-Energieerzeugungssystems kann ferner zur automatischen Abstimmung von Vorgängen der Gasturbine zumindest teilweise auf der Basis des Konstantensatzes konfiguriert sein.

[0024] Der Konstantensatz für eine oder mehrere vorbestimmte Verbrennungs-Übertragungsfunktionen eines oben erwähnten Gasturbinen-Energieerzeugungssystems kann den Betriebsdaten entsprechen, was zu einer erwünschten Reaktion der Gasturbine führt.

[0025] Andere Ausführungsformen und Aspekte gehen aus der folgenden Beschreibung in Verbindung mit den folgenden Zeichnungen hervor.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0026] Fig. 1 ist ein Blockdiagramm, das ein(e) Beispielumgebung und -system für die Automatisierung der Inbetriebnahme eines Gasturbinen-Verbrennungssteuersystems gemäss einer Ausführungsform der Offenbarung veranschaulicht.

[0027] Fig. 2 stellt ein Blockdiagramm dar, das ein beispielhaftes Verfahren zur Automatisierung der Inbetriebnahme eines Gasturbinen-Verbrennungssteuersystems gemäss einer Ausführungsform der Offenbarung veranschaulicht.

[0028] Fig. 3 stellt ein Blockdiagramm dar, das ein ausführliches Verfahren zur Automatisierung der Inbetriebnahme eines Gasturbinen-Verbrennungssteuersystems gemäss einer Ausführungsform der Offenbarung veranschaulicht.

[0029] Fig. 4 stellt eine beispielhafte Emissions-Übertragungsfunktion dar, die mithilfe einer Konstante eingestellt wird, die unter Verwendung eines Verfahrens zur Automatisierung der Inbetriebnahme eines Gasturbinen-Verbrennungssteuersystems erzeugt wird, gemäss einer Ausführungsform der Offenbarung.

[0030] Fig. 5 ist ein Blockdiagramm, das einen beispielhaften Controller zum Steuern eines Kraftwerks gemäss einer Ausführungsform der Offenbarung veranschaulicht.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0031] Die folgende ausführliche Beschreibung enthält Verweise auf die Begleitzeichnungen, die Teil der ausführlichen Beschreibung bilden. Die Zeichnungen zeigen Abbildungen gemäss Ausführungsbeispielen. Diese Ausführungsbeispiele,

die hierin auch als «Beispiele» bezeichnet werden, werden detailliert genug beschrieben, um fachkundigen Personen die Ausübung des vorliegenden Gegenstands zu ermöglichen. Die Ausführungsbeispiele können kombiniert werden, andere Ausführungsformen können genutzt werden oder strukturelle, logische und elektrische Änderungen können vorgenommen werden, ohne vom Umfang des beanspruchten Gegenstands abzuweichen. Die folgende ausführliche Beschreibung darf daher nicht in einem beschränkenden Sinn ausgelegt werden und der Umfang wird von den angehängten Ansprüchen und ihren Äquivalenten definiert.

[0032] Gewisse hierin beschriebene Ausführungsformen betreffen ein System und Verfahren für die automatisierte Inbetriebnahme eines Gasturbinen-Verbrennungssteuersystems.

[0033] Eine Gasturbine, auch Verbrennungsgasturbine genannt, ist eine Art von Verbrennungskraftmaschine. Sie kann einen mit einer abströmseitigen Turbine gekoppelten zuströmseitigen Rotationsverdichter und einen Brennraum dazwischen beinhalten. Die Verbrennungsgasturbine ist wie jede andere Verbrennungskraftmaschine eine Maschine, die die Wärmeenergie von brennendem Brennstoff in brauchbare Kraft umwandelt, die wiederum in mechanische Energie umgewandelt wird. Die grundlegende Funktionsweise der Gasturbine ist ähnlich der des Dampfkraftwerks mit Ausnahme dessen, dass anstelle von Wasser Luft verwendet wird. Luft strömt durch einen Verdichter, der sie auf einen höheren Druck bringt. Dann wird Energie hinzugefügt, indem Brennstoff in die Luft eingespritzt und entzündet wird, so dass die Verbrennung einen Hochtemperaturstrom erzeugt. Dieses Hochtemperatur-Hochdruckgas tritt in eine Turbine ein, wo es sich bis auf den Abgasdruck entspannt und dabei eine Wellenarbeitsleistung erzeugt. Die Turbinenwellenarbeit wird zum Antreiben des Verdichters und anderer Vorrichtungen, wie z.B. eines elektrischen Generators, die mit der Welle gekoppelt sein können, benutzt. Die nicht für Wellenarbeit genutzte Energie tritt in den Abgasen aus, so dass diese entweder eine hohe Temperatur oder eine hohe Geschwindigkeit haben. Der Zweck der Gasturbine bestimmt die Konstruktion, so dass die am meisten erwünschte Energieform maximiert werden kann.

[0034] Eine Brennkammer ist ein Bauteil oder ein Bereich der Gasturbine, wo die Verbrennung stattfindet. Sie ist auch als Brenner, Brennraum oder Flammenhalter bekannt. In der Gasturbinenmaschine kann die Brennkammer oder der Brennraum vom Verdichtungssystem mit Hochdruckluft gespeist werden. Die Brennkammer erhitzt dann diese Luft bei einem konstanten Druck. Nach der Erhitzung strömt Luft aus der Brennkammer durch die Leitschaufeln des Leitapparats zur Turbine. Eine Brennkammer kann die Verbrennung trotz relativ hoher Luftdurchsätze eingrenzen und eine stabile Verbrennung aufrechterhalten. Zu diesem Zweck kann die Brennkammer sorgfältig dafür ausgelegt werden, zuerst Luft und Brennstoff zu vermischen und zu entzünden und dann mehr Luft beizumischen, um den Verbrennungsprozess zu vervollständigen. Eine Brennkammer kann eine entscheidende Rolle bei der Ermittlung von vielen der Betriebskennlinien einer Turbine, wie Brennstoffeffizienz, Emissionspegel und Übertragungsverhalten (die Reaktion auf wechselnden Bedingungen wie Brennstoffdurchfluss und Luftgeschwindigkeit) spielen.

[0035] Industrielle Gasturbinen können ein oder mehrere Steuersysteme (Controller) beinhalten, die ihren Betrieb überwachen und steuern. Diese Controller können das Verbrennungssystem der Gasturbine und andere Betriebsaspekte der Turbine regulieren. Ein Controller kann daher Scheduling-Algorithmen ausführen, die den Brennstoffdurchfluss, Brennkammer-Brennstoffaufteilungen (d.h. die Teilung des gesamten Brennstoffdurchflusses in die Gasturbine auf die verschiedenen Brennstoffkreisläufe der Turbine), den Winkel der Einlassleitschaufeln (Dralldrossel) und andere Steuereingaben anpassen, um den sicheren und effizienten Betrieb der Gasturbine zu gewährleisten. Der Controller kann die Brennstoffaufteilungen für die Brennkammer zum Aufrechterhalten des gewünschten Verbrennungsmodus (z.B. Teillast-Gesamtbrennstoffdurchfluss) planen und die Gasturbine innerhalb festgesetzter Betriebsgrenzen, wie für die Verbrennungsdynamik, betreiben.

[0036] Die Verbrennungsdynamik kann sich auf den Verbrennungsprozess im Inneren einer «Rohrbrennkammer» und einer «Auskleidung» beziehen. Beim Verbrennen von Brennstoff gibt es einen Druckanstieg und, je nach der Bauart der Brennkammer, der Brennstoffdüsen, der Auskleidung und anderer Bauteile, kann der Verbrennungsprozess glatt sein oder er kann Druckschwankungen oder einem Pulsieren des Drucks unterworfen sein. Diese Schwankungen oder dieses Pulsieren kann, wenn sie/es nicht minimiert werden bzw. wird, zum vorzeitigen Ausfall von Verbrennungsbauteilen sowie zu einer instabilen Flamme führen. Beim Verbrennen von Brennstoff in einer Verbrennungsmaschine kann es relativ starke Luftströme geben und dies kann eine Verwirbelung verursachen. Die Verwirbelung kann zum Erzielen einer guten Vermischung mit dem Brennstoff für eine effiziente Verbrennung erwünscht sein, aber nicht erwünscht sein, weil sie zu hohen Druckschwankungen/starken Druckimpulsen führen kann. Einige Druckschwankungen oder -impulse können ähnlich dem Pulsieren von Druck in einem Rohr oder Vibrationen sein und können an einigen Punkten bis zu dem Punkt, an dem sie zerstörerisch werden, «übertrieben» werden. Die Schwankungen oder das Pulsieren können Resonanz oder resonante Frequenzen haben, die gedämpft oder vermieden werden müssen. Für einige Verbrennungssysteme, speziell jene mit mageren Brennstoff/Luft-Verhältnissen, ist es möglicherweise sehr schwierig, ein Gleichgewicht von stabiler Verbrennung, stabiler «Flamme», niedriger Dynamik (Druckschwankungen/-pulsieren) und niedrigen Emissionen (die in Verbrennungsturbinen der Zweck von mageren Brennstoff/Luft-Verhältnissen sind) zu erzielen.

[0037] Brennkammer-Brennstoffaufteilungen können in Übereinstimmung mit einem Nennbrennstoffaufteilungs-Scheduling-Algorithmus festgesetzt werden, der sich an einer berechneten Verbrennungsreferenztemperatur (TTRF) orientieren kann. Die Werte der TTRF können unter Verwendung verschiedener gemessener Parameter, wie z.B. Verdichterauslassdruck, Turbinenabgastemperatur, Abluftdurchfluss, Umgebungstemperatur und Einlassleitschaufelwinkeln, als Eingaben berechnet werden. Während Teillastbetrieb können die Brennkammer-Brennstoffaufteilungen die Produktion schädlicher

Emissionen wie Kohlenmonoxid (CO) und Stickoxid (NO_x) stark beeinflussen. Die Verbrennung einer mageren vorge-mischten Flamme kann NO_x-Emissionen niedrig halten, kann aber zu akustischer Instabilität in der Gasturbine führen. Diese Instabilität (Brennkammerdynamik) kann mit der Zeit Bauteile in der Brennkammer (Düsen, Auskleidungen, Über-gangsstücke) und/oder abströmseitige Bauteile (Turbinenleitschaufeln und -laufschaufeln) beschädigen, was unnötige Ausfallzeit, höhere Ausrüstungsreparaturkosten und den Verlust von Erzeugungseinnahmen verursacht. Ein geeignetes Scheduling der Brennstoffaufteilungen kann daher dazu beitragen, NO_x- und CO-Konformität, Flammenstabilität und eine geeignete Verbrennungsdynamik aufrecht zu erhalten.

[0038] Steuern und Abstimmen der Verbrennung in einer Gasturbine können mit der Implementierung von Brennkammer-systemen mit Brennstoffstufung und Mager-Vormischung zunehmend wichtiger sein und aufgrund der damit verbundenen Instabilität und anderer Probleme wird die Abstimmung komplizierter und wichtiger. Konventionelle Verfahren der Inbetrieb-nahme von Einheiten können aber kompliziert sein, fehleranfällig sein und Genauigkeit und Ausfallsicherheit entbehren.

[0039] Unter Verwendung von gewissen Ausführungsformen der hierin beschriebenen Systeme und Verfahren kann ein automatisiertes Inbetriebnahmeverfahren für das Gasturbinen-Verbrennungssteuersystem zum Ersetzen konventioneller manueller Verfahren realisiert werden. Während der Inbetriebnahme kann die Gasturbine unter verschiedenen Betriebs-bedingungen betrieben werden, einschliesslich verschiedenen Brennkammertemperaturen, Luftdurchflüssen, Brennstoff-durchflüssen und so weiter. Die Gasturbine kann innerhalb vorbestimmter Verbrennungsbetriebsgrenzen gehalten werden, während derartige Probeläufe durchgeführt werden. Zu den Betriebsgrenzen können Emissionen, Dynamik, Magerverlö-schung und dergleichen zählen. Betriebsdaten, die mit dem Betrieb der Gasturbine unter verschiedenen Betriebsbeding-ungen verbunden sind, können automatisch erfasst und gespeichert werden. Auf Basis der erfassten Daten kann ein Konstantensatz für vorbestimmte Übertragungsfunktionen erzeugt werden. Der Konstantensatz kann zur Abstimmung der vorbestimmten Übertragungsfunktionen zumindest teilweise auf der Basis der erfassten Daten verwendet werden. Die Konstanten können im Gasturbinen-Verbrennungssteuersystem gespeichert werden und auch in den Controller der Gas-turbine geladen und nach einigen Überprüfungen für den Kraftwerkbetrieb verwendet werden.

[0040] So kann gemäss wenigstens einer Ausführungsform eines Systems und Verfahrens zur Automatisierung der Inbe-triebnahme eines Gasturbinen-Verbrennungssteuersystems eine automatisierte, voll flexible Lösung bereitgestellt werden, um vom Benutzer bestimmte Betriebsziele zu erreichen, während wichtige Verbrennungssteuerparameter zur Erhaltung von NO_x- und CO-Konformität, Flammenstabilität und akzeptabler Verbrennungsdynamik kontinuierlich überwacht und an-gepasst werden. Gasturbinenbetreiber können durch Steuern des Gasturbinenbetriebs ohne Eingabe von Dritten weitrei-chende Vorteile gewinnen. Spezifische Gasturbinenbetriebsinformationen, die die Gasturbinenoptimierung beeinflussen können, können am Standort untergebracht und intern angepasst werden.

[0041] Zu den technischen Wirkungen gewisser Ausführungsformen der Offenbarung kann das Eliminieren von Fehlern infolge von manuellen Vorgängen sowie das Bereitstellen von Ausfallsicherheit und Genauigkeit für das Inbetriebnahme-verfahren zählen. Zu weiteren technischen Wirkungen gewisser Ausführungsformen der Offenbarung kann die Optimie-rung der Inbetriebnahme einer Gasturbine durch Automatisierung und Standardisierung der mit der Inbetriebnahme ver-bundenen Vorgänge zählen. Die automatisierte Inbetriebnahme verbessert die Steuerung der Verbrennungsdynamik und das Emissionsmanagement. Ausserdem ermöglicht das Bereitstellen eines ausfallsicheren Speichers für die bei den In-betriebnahme- oder Neuabstimmungsprozessen gewonnenen Daten eine kontinuierliche Optimierung der Inbetriebnahme und des Betriebs einer Gasturbine.

[0042] Folgendes sieht die ausführliche Beschreibung verschiedener Ausführungsbeispiele in Bezug auf Systeme und Verfahren für die Automatisierung der Inbetriebnahme eines Gasturbinen-Verbrennungssteuersystems vor.

[0043] Ein Blockdiagramm, Bezug nehmend auf Fig. 1, veranschaulicht eine beispielhafte Systemumgebung 100, die zur Umsetzung von Verfahren und Systemen für die Automatisierung der Inbetriebnahme eines Gasturbinen-Verbrennungs-steuersystems geeignet ist, gemäss einem oder mehreren Ausführungsbeispielen. Insbesondere kann die Systemumge-bung 100 eine Gasturbine 110 mit einem Verdichter 120, eine Brennkammer 130, eine mit dem Verdichter 120 gekoppelte Turbine 140 und einen Controller 500 beinhalten. Die Gasturbine 110 kann einen Generator 150 antreiben, der elektrische Energie erzeugt und die elektrische Energie über einen Ausschalter in ein Stromnetz 160 speist.

[0044] In einigen Ausführungsformen kann die Brennkammer 130 Brennkammern mit Mager-Vormischung oder Brenn-kammern für ultra-niedrige Emissionen beinhalten, die Luft als Verdünnungsmittel benutzen können. So können Verbren-nungsflammentemperaturen reduziert werden. Ausserdem reduziert das Vormischen von Brennstoff und Luft, bevor sie in die Brennkammer eintreten, die NO_x-Emission. Eine beispielhafte Brennkammer für ultra-niedrige Emissionen kann eine Dry-Low-NO_x-Brennkammer (DLN) sein.

[0045] Gasturbinenmaschinen mit Brennkammern für ultraniedrige Emissionen, z.B. DLN-Verbrennungssystemen, er-fordern eine präzise Steuerung, so dass die Turbinengasemissionen innerhalb der vom Turbinenhersteller festgelegten Grenzwerte liegen und um sicherzustellen, dass die Gasturbine innerhalb gewisser Betriebsfähigkeitsgrenzen (z.B. Ma-gerverlöschung, Verbrennungsdynamik und anderer Parameter) betrieben wird. Steuersysteme für Brennkammern für ul-tra-niedrige Emissionen benötigen im Allgemeinen relativ genaue und geeichte Emissionssensoren. Der Verdichter 120, die Brennkammer 130 und die Turbine 140 können mit dem Controller 500 gekoppelt sein. Der Betrieb der Gasturbine 110 kann vom Controller 500 verwaltet werden. Der Controller 500 kann ein Computersystem beinhalten, das (einen) Prozessor(en) hat, der Programme ausführt, um den Betrieb der Gasturbine 110 mithilfe von Sensoreingaben, Übertra-

gungsfunktionsausgängen und Anweisungen von Bedienpersonen zu steuern. Der Controller 500 kann ein Gasturbinen-Verbrennungssteuersystem beinhalten und kann für das Management der Verbrennung während des Turbinenbetriebs konfiguriert sein.

[0046] Der Betrieb der Gasturbine 110 kann erfordern, dass der Controller 500 den gesamten Brennstoffdurchfluss, die Einlassleitschaufeln des Verdichters, die Einlasszapflufferwärmung (IBH) und die Brennkammer-Brennstoffaufteilungen festsetzt, um einen erwünschten Zyklusübereinstimmungspunkt zu erzielen (d.h. unter Einhaltung von Betriebsgrenzen eine erwünschte Ausgabe und Erwärmungsrate zu erzeugen). Der gesamte Brennstoffdurchfluss und die Einlassleitschaufelstellung können beim Erzielen eines gewünschten Ergebnisses Aktoren sein. Ein typischer Teillast-Steuermodus kann das Einstellen von Brennstoffdurchfluss und Einlassleitschaufelwinkel zur Erfüllung der Last-(Generatorleistungsabgabe)-anforderung und zur Einhaltung eines Abgastemperaturprofils (Temperatursteuerkurve) beinhalten. Wenn ein Grundlastbetrieb erzielt wird, steht die Einlassleitschaufel gewöhnlich in einem Winkel der maximalen physikalischen Beschränkung. Bei Grundlast kann der Brennstoffdurchfluss allgemein allein angepasst werden, um ein Abgastemperaturprofil beizubehalten, das zum Erfüllen von Emissionsgrenzwerten und anderen Gasturbinen-Betriebsgrenzwerten benötigt wird.

[0047] In gewissen Ausführungsformen kann die Gasturbine 110 einen Brennstoffcontroller (nicht gezeigt) beinhalten. Der Brennstoffcontroller kann zum Regulieren des Brennstoffs konfiguriert sein, der von einem Brennstoffvorrat zur Brennkammer 130 strömt. Der Brennstoffcontroller kann auch den Brennstofftyp für die Brennkammer 130 auswählen. Ausserdem kann der Brennstoffcontroller auch Brennstoffaufteilungsbefehle erzeugen und implementieren, die den Teil von Brennstoff bestimmen, der zu den verschiedenen Brennstoffkreisläufen der Brennkammer 130 strömt. Allgemein können die Brennstoffaufteilungsbefehle einem Brennstoffaufteilungsanteil für jeden Brennstoffkreislauf entsprechen, der definiert, welcher Anteil der Gesamtmenge des der Brennkammer 130 zugeführten Brennstoffs durch einen jeweiligen Brennstoffkreislauf zugeführt wird. Es ist zu beachten, dass der Brennstoffcontroller eine separate Einheit umfassen kann oder eine Komponente des Controllers 500 sein kann.

[0048] Gemäss weiteren Ausführungsformen kann der Betrieb der Gasturbine 110 durch einen oder mehrere Sensoren überwacht werden, die verschiedene Bedingungen der Gasturbine 110, des Generators 160 erkennen und Parameter der Umwelt erfassen. Zum Beispiel können Temperatursensoren die die Gasturbine 110 umgebende Umgebungstemperatur, die Verdichterauslasstemperatur, die Turbinenabgastemperatur und andere Temperaturmessungen des Gasstroms durch die Gasturbine 110 überwachen. Drucksensoren können Umgebungsdruck-, statische und dynamische Druckpegel am Verdichtereinlass und -auslass und am Turbinenabgastrakt sowie an anderen Stellen im Gasstrom überwachen. Des Weiteren können Feuchtigkeitssensoren (z.B. benetzte und trockene Thermometer) die Umgebungsfeuchtigkeit im Einlasskanal des Verdichters messen. Zu den Sensoren können auch Durchflusssensoren, Geschwindigkeitssensoren, Flammendetektorsensoren, Ventilstellungssensoren, Leitschaufelwinkelsensoren oder dergleichen zählen, die verschiedene, für den Betrieb der Gasturbine 110 relevante Parameter erfassen. Der Begriff «Betriebsbedingungen» bezieht sich auf Brennstoffaufteilungen, Lasten und andere für den Turbinenbetrieb angewendete Bedingungen, während «Betriebsdaten» und ähnliche Begriffe sich auf Elemente beziehen, die zum Definieren der beeinflussenden Parameter der Gasturbine 110 wie Temperaturen, Drücke und Durchflüsse an definierten Stellen in der Gasturbine 110 verwendet werden können, die zum Darstellen von Abhängigkeiten zwischen Referenzbedingungen und dem Verhalten der Gasturbine verwendet werden können. In gewissen Ausführungsbeispielen können Emissionssensoren zum Messen der Emissionspegel in einem Turbinenabgas und zum Bereitstellen von Rückkopplungsdaten, die von Steueralgorithmien verwendet werden, vorgesehen sein. Zum Beispiel stellen Emissionssensoren an der Turbinenabgasanlage Daten über aktuelle Emissionspegel bereit, die bei der Ermittlung einer Turbinenabgastemperaturanforderung angewendet werden können.

[0049] Der Controller 500 kann mit einem System 170 zur Automatisierung der Inbetriebnahme eines Gasturbinen-Verbrennungssteuersystems zusammenwirken, um Befehle zum Funktionieren unter spezifischen Betriebsbedingungen an die Gasturbine 110 und die entsprechenden Betriebsdaten von den Sensoren und der Gasturbine an das System zu übertragen.

[0050] Fig. 2 stellt ein Blockdiagramm dar, das ein beispielhaftes Verfahren 200 zur Automatisierung der Inbetriebnahme eines Gasturbinen-Verbrennungssteuersystems gemäss einer Ausführungsform der Offenbarung zeigt. Das Verfahren 200 kann von Verarbeitungslogik durchgeführt werden, die Hardware (z.B. dedizierte Logik, programmierbare Logik und Mikrocode), Software (wie auf einem Universal-Computersystem oder einer dedizierten Maschine laufende Software) oder eine Kombination von beiden umfassen kann. In einem Ausführungsbeispiel befindet sich die Verarbeitungslogik am Controller 500, der sich in einem Benutzergerät oder in einem Server befinden kann. Es ist zu erkennen, dass vom Controller 500 auszuführende Anweisungen von einem oder mehreren Prozessoren abgerufen und ausgeführt werden können. Der Controller 500 kann auch Speicherkarten, Server und/oder Computer-Discs beinhalten. Der Controller 500 kann zwar konfiguriert sein, um einen oder mehrere hierin beschriebene Schritte durchzuführen, es können aber auch andere Steuereinheiten genutzt werden, die noch in den Umfang verschiedener Ausführungsformen fallen.

[0051] Wie in Fig. 2 gezeigt, kann das Verfahren 200 bei Vorgang 205 mit dem Betreiben einer Gasturbine unter mehreren Betriebsbedingungen beginnen, während sie sich noch innerhalb vorbestimmter Verbrennungsbetriebsgrenzen befindet. Wenn die Gasturbine in Betrieb genommen, erneut in Betrieb genommen, neu abgestimmt oder anderweitig nachgestellt wird, kann bzw. können an der Gasturbine ein oder mehrere Prüfverfahren durchgeführt werden. Während des Prüfverfahrens kann die Turbine mit verschiedenen Brennstoffaufteilungen und Lasten gemäss einem oder mehreren Scheduling-Algorithmen betrieben werden. Während der Durchführung der Prüfverfahren können die Steuerparameter

der Turbine wie Dynamik, Stabilität und Emissionen kontinuierlich überwacht und angepasst werden, um sie innerhalb der Betriebsgrenzen zu halten. Die Scheduling-Algorithmen können allgemein einen Controller der Gasturbine befähigen, z.B. die NO_x - und CO-Emissionen im Turbinenabgas innerhalb gewisser vordefinierter Emissionsgrenzen zu halten und die Brennkammerzündtemperatur innerhalb vordefinierter Temperaturgrenzen zu halten. Es ist daher zu beachten, dass die Scheduling-Algorithmen diverse Betriebsparameter als Eingaben verwenden können. Der Controller kann dann die Algorithmen für die Zeitablaufsteuerung der Gasturbine, z.B. zum Festlegen der erwünschten Turbinenabgastemperaturen und Brennkammer-Brennstoffaufteilungen, anwenden, um bei gleichzeitiger Einhaltung von Betriebsgrenzen der Turbine Leistungsziele zu erfüllen.

[0052] Betriebsdaten der die Prüfverfahren durchführenden Turbine können bei Vorgang 210 automatisch erfasst werden. Die Betriebsdaten können von einem oder mehreren Sensoren in Echtzeit erfasst und gemessen oder vom Controller berechnet werden. Zu den Betriebsdaten können Folgende zählen: eine Einlasstemperatur, einen Luftdurchfluss, einen Brennstoffdurchfluss, einen Einlassdruck, einen Abgasdruck, eine Abgastemperatur, einen Verdichterauslassdruck, eine Verdichterauslasstemperatur, eine Turbinenleistung, einen Umgebungsdruck, eine Feuchtigkeit, einen Feldverteilerdruck, eine Abgaszündung und so weiter. Zum Beispiel können die Brennkammerluftdurchflüsse und einige Temperaturen mithilfe eines Online-Luftwärmemodells berechnet werden. Temperatursensoren können die Verdichterauslasstemperatur, die Turbinenabgastemperatur und andere Temperaturmessungen des Gasstroms durch die Gasturbine überwachen. Drucksensoren können statische und dynamische Druckpegel am Verdichtereinlass und -auslass, am Turbinenabgastrakt sowie an anderen Stellen im Gasstrom überwachen. Zu den Sensoren können auch Durchflusssensoren, Geschwindigkeitssensoren, Flammendetektorsensoren, Ventilstellungssensoren, Leitschaufelwinkelsensoren oder dergleichen zählen, die verschiedene, für den Betrieb der Gasturbine relevante Parameter erfassen.

[0053] In Vorgang 215 können die erfassten Betriebsdaten zusammen mit vorhergehenden Daten in einer/einem oder mehreren von einer Datenbank und/oder einem Controller abgespeichert werden. Zum Beispiel können die Daten in einer Kalkulationstabelle aufgezeichnet werden. Die Datenspeicherstelle und die zu speichernden Daten können standardisiert sein, so dass die Datensuche und die Aufbewahren der Daten für zukünftige Verwendungen und historische Analysen erleichtert werden.

[0054] In Vorgang 220 können die Betriebsdaten verarbeitet werden, um einen Satz von Konstanten für eine oder mehrere vorbestimmte Verbrennungs-Übertragungsfunktionsformen zu erzeugen. Die Übertragungsfunktionsformen können in die Betriebsdaten eingepasst werden, um den Konstantensatz zur Abstimmung der Übertragungsfunktionsformen zu erhalten. Zum Beispiel kann für diesen Zweck eine Best-Fit-Regressionsanalyse verwendet werden. Die Best-Fit-Regressionsanalyse wird am meisten für Prognosen verwendet. Ein Ziel bei der Regressionsanalyse ist die Erstellung eines mathematischen Modells, das zur Vorhersage der Werte einer abhängigen Variable auf der Basis der Werte einer unabhängigen Variable verwendet werden kann. In einem Ausführungsbeispiel kann eine Best-Fit-Regressionsanalyse unter Verwendung der Betriebsdaten zum Erzeugen des Konstantensatzes durchgeführt werden. Der Konstantensatz kann ferner zum Erhalten eines Satzes von Übertragungsfunktionsausgängen verwendet werden, die die relativ genauesten Vorhersagen für die Daten bereitstellen.

[0055] Der Konstantensatz kann spezifische Gewichte darstellen, die zum Anpassen von Standardübertragungsfunktionen verwendet werden können, so dass sie Besonderheiten des Gasturbinenverhaltens reflektieren. Durch Anwenden der Gewichte können Prognosen von Brennkammerreaktionen auf verschiedene Maschinenveränderungen ermöglicht werden. In Vorgang 225 kann der Konstantensatz im Gasturbinen-Verbrennungssteuersystem gespeichert werden. Der Konstantensatz kann bei der Inbetriebnahme der Gasturbine und bei der Einführung von Änderungen an Maschinenbetrieb, Steuerelementen oder Hardware verwendet werden.

[0056] Fig. 3 stellt ein Prozessflussdiagramm dar, das ein beispielhaftes ausführliches Verfahren 300 zur Automatisierung der Inbetriebnahme eines Gasturbinen-Verbrennungssteuersystems gemäss einer Ausführungsform der Offenbarung veranschaulicht. Bei Inbetriebnahme einer Gasturbine kann das Brennkammersteuersystem in Vorgang 305 in einen Maschinensteuerungsabstimmungsmodus schalten. Im Abstimmungsmodus können Gasturbinenparameter, die verstellt sind, ausgemacht und korrigiert werden, so dass sie innerhalb der Betriebsgrenzen bleiben.

[0057] Während der Abstimmung können verschiedene Betriebsbedingungen untersucht werden. Eine oder mehrere Kombinationen von Brennstoffaufteilungen und Einlassleitschaufelstellungen können ausprobiert und die Gasturbinenreaktion auf jede Kombination überwacht und aufgezeichnet werden. An diesem Punkt kann die Konformität mit den Betriebsgrenzen kontrolliert werden. Wenn einige Betriebsgrenzen übertreten wurden, können die Betriebsbedingungen angepasst werden, so dass die entsprechenden Turbinenparameter wieder in die Grenzen zurückkehren.

[0058] Zu den Betriebsgrenzen können Emissionen, Verbrennungsinstabilität, Magerverlöschungsgrenze, Brennkammerdynamik, Brennstoffzuleitungsdruck, Temperatur, Lebensdauer, Wärmerückgewinnungszyklusspezifikationen und dergleichen zählen. Zum Beispiel können die Betriebsgrenzen sich auf die Erhaltung von NO_x - und CO-Emissionen im Turbinenabgas innerhalb gewisser vordefinierter Grenzwerte beziehen, wobei die Brennkammerzündtemperatur innerhalb vordefinierter Temperaturgrenzwerte gehalten wird, und so weiter.

[0059] Die mit verschiedenen Betriebsbedingungen assoziierten Brennkammerreaktionsdaten können in Vorgang 310 erfasst werden. Zu den Brennkammerreaktionsdaten können in Echtzeit berechnete und gemessene Maschinenbetriebsdaten wie Einlasstemperatur, Luftdurchfluss, Brennstoffdurchfluss, Einlassdruck, Abgasdruck, Abgastemperatur, Verdich-

terauslassdruck, Verdichterauslasstemperatur, Turbinenleistung, Umgebungsdruck, Feuchtigkeit, Feldverteilerdruck, Abgaszündung und dergleichen zählen.

[0060] Die eine oder mehreren Übertragungsfunktion(en) kann bzw. können in einem Arbeitsspeicher des Controllers innerhalb des Turbinensteuersystems gespeichert werden. Die Übertragungsfunktionen können verwendet werden, um die Turbine zum Betrieb innerhalb bestimmter Grenzwerte zu zwingen, gewöhnlich, um Worst-Case-Szenarien zu vermeiden. Für jede der Betriebsgrenzen der Turbine kann es eine separate Brennkammer-Übertragungsfunktion geben. Zum Beispiel kann es eine mit Emissionen, MV (Magerverlöschung), Dynamik, Temperatur, Zuleitungsdruck und dergleichen verbundene Brennkammer-Übertragungsfunktion geben.

[0061] Die erfassten Daten können in Vorgang 315 zur Verwendung in zukünftigen Anwendungen gespeichert werden. Die Daten können zusammen mit beliebigen vorhergehenden Daten im Controller gespeichert werden. Die vorhergehenden Daten können aus früheren Abstimmungsverfahren, z.B. mit Änderungen an einem Maschinenbetriebsmodi, der Änderung von Steuerelementen an der Maschine, Änderungen an Hardware oder Überholung von Hardware verbundenen, gewonnen werden. Die kombinierten Daten können in zukünftigen Abstimmungsverfahren verwendet werden, um die Abstimmung genauer zu machen und um mögliche Tendenzen oder Änderungen des Maschinenverhaltens zu ermitteln.

[0062] In Vorgang 320 kann ermittelt werden, ob der Datensatz vollständig ist und ob alle Daten zum Einpassen von Übertragungsfunktionen erhalten wurden. Wenn ermittelt wird, dass der Datensatz nicht vollständig ist, kann das Verfahren mit dem Vorgang 310 fortfahren, bis der Datensatz vollständig ist. In Vorgang 325 können die Daten wieder abgerufen werden, um eine Übertragungsfunktionsabstimmung durchzuführen. Unter Verwendung der Daten kann eine Best-Fit-Regressionsanalyse durchgeführt werden, um einen Satz von Konstanten zu ermitteln, die einen Satz Übertragungsfunktionsausgänge ergeben. Der Konstantensatz kann angewendet werden, um die genauesten Prognosen der Daten zu erhalten.

[0063] In Vorgang 330 können die Übertragungsfunktionskonstanten im Controller gespeichert werden, um während automatischen Abstimmungsvorgängen verwendet zu werden und um für Konstruktionstechniker zur Verwendung bei Maschinenprognosen von Brennkammerreaktionen auf verschiedene Maschinenveränderungen (z.B. Lastwegmodifikationen, Steuerkurvenaktualisierungen, Dampftemperatur-Übereinstimmungsprognosen und so weiter) verfügbar zu sein.

[0064] Fig. 4 stellt gemäss einer Ausführungsform der Offenbarung ein Prozessblockdiagramm dar, das die Anwendung einer Abstimmungskonstanten auf eine beispielhafte Übertragungsfunktion veranschaulicht. Der Satz von Konstanten kann auf eine oder mehrere Übertragungsfunktionen zur Abstimmung des Betriebs einer Gasturbine angewendet werden. Eine derartige Übertragungsfunktion kann eine Emissions-Übertragungsfunktion 404 sein. Die Emissions-Übertragungsfunktion 404 kann Daten von Sensoren 402 und Eingaben von Stellvertretern erhalten. Zum Beispiel können zu den Eingabedaten die Verdichterauslasstemperatur, die spezifische Feuchtigkeit der Umgebungsluft, die Brennstoffaufteilungsverhältnis-Zündtemperatur und so weiter zählen. Die Übertragungsfunktion 404 kann die Beziehung zwischen Emissionen und dem Zyklusübereinstimmungspunkt der Gasturbine als Modell darstellen. Die Sensoren 402, die zum Erzeugen der Sensordaten und der Stellvertreterdaten für die Emissions-Übertragungsfunktion verwendet werden, können konventionelle Sensoren sein, z.B. Sensoren für Temperatur, Druck und spezifische Feuchtigkeit, die gewöhnlich mit einer Gasturbine verwendet werden und gewöhnlich dreifach redundant sind.

[0065] Infolge des Abstimmungsverfahrens kann eine Konstante K erzeugt werden und die Emissions-Übertragungsfunktion 404 kann unter Verwendung der Konstante K abgestimmt werden. Aufgrund der von der Emissions-Übertragungsfunktion 404 verwendeten Konstante K ist der Funktionsausgang ein abgestimmter Emissionswert 406.

[0066] Fig. 5 stellt ein Blockdiagramm dar, das einen beispielhaften Controller 500 zur Automatisierung der Inbetriebnahme eines Gasturbinen-Verbrennungssteuersystems gemäss einer Ausführungsform der Offenbarung veranschaulicht. Genauer können die Elemente des Controllers 500 verwendet werden zum Betreiben einer Gasturbine unter mehreren Betriebsbedingungen, während sie innerhalb vorbestimmter Verbrennungsbetriebsgrenzen ist, zum automatischen Erfassen von mit der Gasturbine assoziierten Daten bei laufender Gasturbine, zum Speichern der Betriebsdaten, zum Erzeugen eines Satzes von Konstanten für eine oder mehrere vorbestimmte Verbrennungs-Übertragungsfunktionen auf Basis der Betriebsdaten und zum Speichern des Konstantensatzes im Gasturbinen-Verbrennungssteuersystem, um während der Inbetriebnahme der Gasturbine verwendet zu werden. Der Controller 500 kann einen Speicher 510, der programmierte Logik 520 (z.B. Software) speichert, beinhalten und Daten 530 wie mit der Gasturbine assoziierte Betriebsdaten, den Konstantensatz und dergleichen speichern. Der Speicher 510 kann auch ein Betriebssystem 540 beinhalten.

[0067] Ein Prozessor 550 kann das Betriebssystem 540 zum Ausführen der programmierten Logik 520 nutzen und dabei auch die Daten 530 nutzen. Ein Datenbus 560 kann die Verbindung zwischen dem Speicher 510 und dem Prozessor 550 bereitstellen. Benutzer können über wenigstens eine Benutzerschnittstellenvorrichtung 570 wie eine Tastatur, eine Maus, ein Bedienfeld oder ein anderes Gerät, das zum Übertragen von Daten von und zu dem Controller 500 in der Lage ist, mit dem Controller 500 in Verbindung treten. Der Controller 500 kann über eine Eingabe/Ausgabe- (E/A) -Schnittstelle 580 während des Betriebs online mit dem Gasturbinen-Verbrennungssteuersystem in Verbindung sein sowie offline mit dem Gasturbinen-Verbrennungssystem in Verbindung sein, wenn es nicht in Betrieb ist. Ausserdem ist zu beachten, dass andere externe Geräte oder mehrere andere Gasturbinen oder Brennkammern über die E/A-Schnittstelle 580 mit dem Controller 500 in Verbindung sein können. In der veranschaulichten Ausführungsform kann der Controller 500 in Bezug auf die Gasturbine entfernt positioniert sein, er kann sich aber auch am gleichen Ort wie die Gasturbine befinden oder sogar in sie integriert sein. Des Weiteren können der Controller 500 und die von ihm implementierte programmierte Logik 520

Software, Hardware, Firmware oder eine beliebige Kombination davon beinhalten. Es ist auch zu beachten, dass mehrere Controller 500 verwendet werden können, wodurch verschiedene hierin beschriebene Merkmale in einem oder mehreren verschiedenen Controllern 500 ausgeführt werden können.

[0068] Dementsprechend können gewisse hierin beschriebene Ausführungsformen Komplexität und Fehleranfälligkeit von Gasturbinenbetriebnahmeverfahren vermindern. Die Inbetriebnahme kann erleichtert werden durch Automatisieren des Abstimmungsprozesses durch Einsatz von Verbrennungs-Übertragungsfunktionen und in Echtzeit berechneten und gemessenen Gasturbinenbetriebsbedingungen, um Gasturbinendaten zur automatischen Inbetriebnahme eines Verbrennungssteuersystems zu gewinnen, zu speichern und zu verwenden. Die offengelegten Verfahren und Systeme können den konventionellen automatischen Abstimmungsprozess standardisieren und Fehler in ihm verringern. Ausserdem können die offengelegten Verfahren ein mehr standardmässiges Verfahren zum Speichern der Daten und eine ausfallsichere Speicherung der im Inbetriebnahme- oder Neuabstimmungsprozess gewonnenen Daten sowie ein zuverlässigeres Verfahren für die Ferninbetriebnahme bereitstellen.

[0069] Es wird auf Blockdiagramme von Systemen, Verfahren, Vorrichtungen und Computerprogrammprodukten gemäss Ausführungsbeispielen Bezug genommen. Es versteht sich, dass wenigstens einige der Blöcke der Blockdiagramme und Kombinationen von Blöcken in den Blockdiagrammen zumindest teilweise durch Computerprogrammanweisungen implementiert werden können. Diese Computerprogrammanweisungen können in einen Universalrechner, einen Spezial-Computer, einen Spezial-Computer auf Hardwarebasis oder eine andere programmierbare Datenverarbeitungsvorrichtung geladen werden zum Erzeugen einer Maschine, so dass die Anweisungen, die im Computer oder in einer anderen programmierbaren Datenverarbeitungsvorrichtung ausgeführt werden, Mittel zum Implementieren der Funktionalität von wenigstens einigen der Blöcke des Blockdiagramms oder Kombinationen von Blöcken in den besprochenen Blockdiagrammen erstellen.

[0070] Diese Computerprogrammanweisungen können auch in einem computerlesbaren Speicher gespeichert werden, der einen Computer oder eine andere programmierbare Datenverarbeitungsvorrichtung so anleiten kann, dass er/sie auf eine spezielle Art funktioniert, so dass die im computerlesbaren Speicher gespeicherten Anweisungen einen Fertigungsartikel einschliesslich Anweisungsmitteln erzeugen, die die in dem Block bzw. den Blöcken vorgegebene Funktion implementieren. Die Computerprogrammanweisungen können auch in einen Computer oder eine andere Datenverarbeitungsvorrichtung geladen werden, um die Durchführung einer Reihe von Betriebsschritten in dem Computer oder der anderen programmierbaren Vorrichtung zu veranlassen, um einen computerimplementierten Prozess zu erzeugen, so dass die Anweisungen, die im Computer oder der anderen programmierbaren Vorrichtung ausgeführt werden, Schritte zum Implementieren der in dem Block bzw. den Blöcken vorgegebenen Funktionen bereitstellen.

[0071] Eine oder mehrere Komponente(n) der Systeme und ein oder mehrere Element(e) der hierin beschriebenen Verfahren kann/können durch ein Anwendungsprogramm implementiert werden, das auf einem Betriebssystem eines Computers läuft. Sie können auch mit anderen Computersystemkonfigurationen ausgeübt werden, einschliesslich Handgeräten, Multiprozessorsystemen, Mikroprozessorgestützter oder programmierbarer Verbraucherelektronik, Minicomputern, Mainframe-Computern und dergleichen.

[0072] Anwendungsprogramme, die Komponenten der hierin beschriebenen Systeme und Verfahren sind, können Routinen, Programme, Komponenten, Datenstrukturen und so weiter beinhalten, die gewisse abstrakte Datentypen implementieren und gewisse Aufgabe oder Aktionen durchführen. In einer verteilten Rechenumgebung kann sich das Anwendungsprogramm (ganz oder teilweise) in einem lokalen Arbeitsspeicher oder in einem anderen Speicher befinden. Ausserdem oder alternativ dazu kann sich das Anwendungsprogramm (ganz oder teilweise) in einem entfernten Arbeitsspeicher oder in einem Speicher befinden, um Umstände zu berücksichtigen, in denen Aufgaben von entfernten Verarbeitungsvorrichtungen durchgeführt werden, die durch ein Kommunikationsnetz verknüpft sind.

[0073] Es fallen einem viele Modifikationen und andere Ausführungsformen der hierin dargelegten beispielhaften Beschreibungen, auf die sich diese Beschreibungen beziehen, ein, die von der in den vorangehenden Beschreibungen und den zugehörigen Zeichnungen vorgelegten Lehre profitieren. Es ist daher zu erkennen, dass die Offenbarung in vielen Formen ausgestaltet werden kann und nicht auf die oben beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt werden darf. Daher versteht es sich, dass die Offenbarung nicht auf die spezifischen offengelegten Ausführungsformen beschränkt ist und dass vorgesehen ist, dass Änderungen und andere Ausführungsformen im Umfang der angehängten Ansprüche eingeschlossen sind. Es werden hierin zwar spezifische Begriffe eingesetzt, sie werden aber nur in einem generischen und beschreibenden Sinn verwendet und dienen nicht zum Zweck der Begrenzung.

[0074] Es sind Systeme und Verfahren zur Automatisierung der Inbetriebnahme eines Gasturbinen-Verbrennungssteuersystems vorgesehen. Gemäss einer Ausführungsform der Offenbarung kann ein System einen Controller und einen mit dem Controller in Kommunikationsverbindung stehenden Prozessor beinhalten. Der Prozessor kann zum Betreiben einer Gasturbine unter mehreren Betriebsbedingungen, während sie sich innerhalb vorbestimmter Verbrennungsbetriebsgrenzen befindet, konfiguriert sein. Der Prozessor kann des Weiteren konfiguriert sein zum Speichern von mit der Gasturbine assoziierten Betriebsdaten bei laufender Gasturbine und zum Speichern der Betriebsdaten. Zumindest teilweise auf Basis der Betriebsdaten wird ein Satz von Konstanten für eine oder mehrere vorbestimmte Verbrennungsübertragungsfunktionen erzeugt. Der Konstantensatz wird im Gasturbinen-Verbrennungssteuersystem gespeichert, um während Vorgängen zur automatischen Gasturbinenabstimmung verwendet zu werden.

Bezugszeichenliste

[0075]

Figur 1

- 100 Beispielhafte Systemumgebung
- 110 Gasturbine
- 120 Verdichter
- 130 Brennkammer
- 140 Turbine
- 150 Generator
- 160 Stromnetz
- 170 System
- 500 Controller

Figur 2

- 200 Beispielhaftes Verfahren
- 205 Vorgang
- 210 Vorgang
- 215 Vorgang
- 220 Vorgang
- 225 Vorgang

Figur 3

- 300 Beispielhaftes ausführliches Verfahren
- 305 Vorgangsoperation
- 310 Vorgang
- 315 Vorgang
- 320 Vorgang
- 325 Vorgang
- 330 Vorgang

Figur 4

- 402 Sensoren
- 404 Übertragungsfunktion
- 406 Abgestimmter Emissionswert

Figur 5

- 500 Controller
 - 510 Arbeitsspeicher
 - 520 Programmierte Logik
 - 530 Daten
-

Figur 1

540	Betriebssystem
550	Prozessor
560	Datenbus
570	Schnittstellenvorrichtung
580	Eingabe/Ausgabe(E/A)-Schnittstelle

Patentansprüche

1. Verfahren zur Automatisierung der Inbetriebnahme eines Gasturbinen-Verbrennungssteuersystems, wobei das Verfahren Folgendes umfasst:
Betreiben einer Gasturbine unter mehreren Betriebsbedingungen, während sie sich innerhalb vorbestimmter Verbrennungsbetriebsgrenzen befindet,
automatisches Erfassen von mit der Gasturbine assoziierten Betriebsdaten bei laufender Gasturbine,
Speichern der Betriebsdaten,
Erzeugen, zumindest teilweise auf Basis der Betriebsdaten, eines Satzes von Konstanten für eine oder mehrere vorbestimmte Verbrennungsübertragungsfunktionen und
Speichern des Konstantensatzes im Gasturbinen-Verbrennungssteuersystem, wobei der Konstantensatz während Vorgängen zur automatischen Gasturbinenabstimmung zu verwenden ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Betriebsdaten die folgenden berechneten oder gemessenen Maschinenbetriebsbedingungen umfassen: eine Einlasstemperatur, einen Luftdurchfluss, einen Brennstoffdurchfluss, einen Einlassdruck, einen Abgasdruck, eine Abgastemperatur, einen Verdichterauslassdruck, eine Verdichterauslassstemperatur, eine Turbinenleistung, einen Umgebungsdruck, eine Feuchtigkeit, einen Feldverteilerdruck und eine Abgaszündung.
3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Verbrennungsbetriebsgrenzen eines oder mehrere der folgenden umfassen: Emissionen, Dynamik, Magerverlöschung und Stickoxidemissionen.
4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Erzeugung des Konstantensatzes das Durchführen einer Best-Fit-Regression, zumindest teilweise auf Basis der Betriebsdaten, aufweist und/oder wobei der Konstantensatz verwendet wird, um Prognosen der Brennkammerreaktionen auf verschiedene Maschinenveränderungen zu ermöglichen.
5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die mehreren Betriebsbedingungen mehrere Brennstoffaufteilungen und mehrere Lasten beinhalten.
6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Konstantensatz für eine oder mehrere vorbestimmte Verbrennungs-Übertragungsfunktionen den Betriebsdaten entspricht, die zu einer erwünschten Reaktion der Gasturbine führen.
7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei das Auswählen der erwünschten Reaktion zumindest teilweise auf Verbrennungsstabilität, Dynamik und Emissionen basiert.
8. System zur Automatisierung der Inbetriebnahme eines Gasturbinen-Verbrennungssteuersystems, wobei das System folgendes umfasst:
einen Controller;
einen Prozessor, der mit dem Controller in Kommunikationsverbindung steht und konfiguriert ist zum Betreiben einer Gasturbine unter mehreren Betriebsbedingungen, während sie sich innerhalb vorbestimmter Verbrennungsbetriebsgrenzen befindet,
automatisches Erfassen von mit der Gasturbine assoziierten Betriebsdaten bei laufender Gasturbine,
Speichern der Betriebsdaten,
Erzeugen, zumindest teilweise auf Basis der Betriebsdaten, eines Satzes von Konstanten für eine oder mehrere vorbestimmte Verbrennungsübertragungsfunktionen und
Speichern des Konstantensatzes im Gasturbinen-Verbrennungssteuersystem, wobei der Konstantensatz während Vorgängen zur automatischen Gasturbinenabstimmung zu verwenden ist.
9. System nach Anspruch 8, das wenigstens eines der oben erwähnten Verfahren verwendet.
10. Gasturbinen-Energieerzeugungssystem, wobei das System folgendes umfasst:
eine Gasturbine,
einen mit der Gasturbine in Verbindung stehenden Controller, wobei der Controller ein Gasturbinen-Verbrennungssteuersystem beinhaltet, und
einen Prozessor, der mit dem Controller in Verbindung steht und konfiguriert ist zum:
Betreiben der Gasturbine unter mehreren Betriebsbedingungen, während sie sich innerhalb vorbestimmter Verbrennungsbetriebsgrenzen befindet,

CH 708 914 A2

automatischen Erfassen von mit der Gasturbine assoziierten Betriebsdaten bei laufender Gasturbine,
Speichern der Betriebsdaten,
Erzeugen, zumindest teilweise auf Basis der Betriebsdaten, eines Satzes von Konstanten für eine oder mehrere vorbestimmte Verbrennungsübertragungsfunktionell und
Speichern des Konstantensatzes im Gasturbinen-Verbrennungssteuersystem, wobei der Konstantensatz zur während Vorgängen zur automatischen Gasturbinenabstimmung zu verwenden ist.

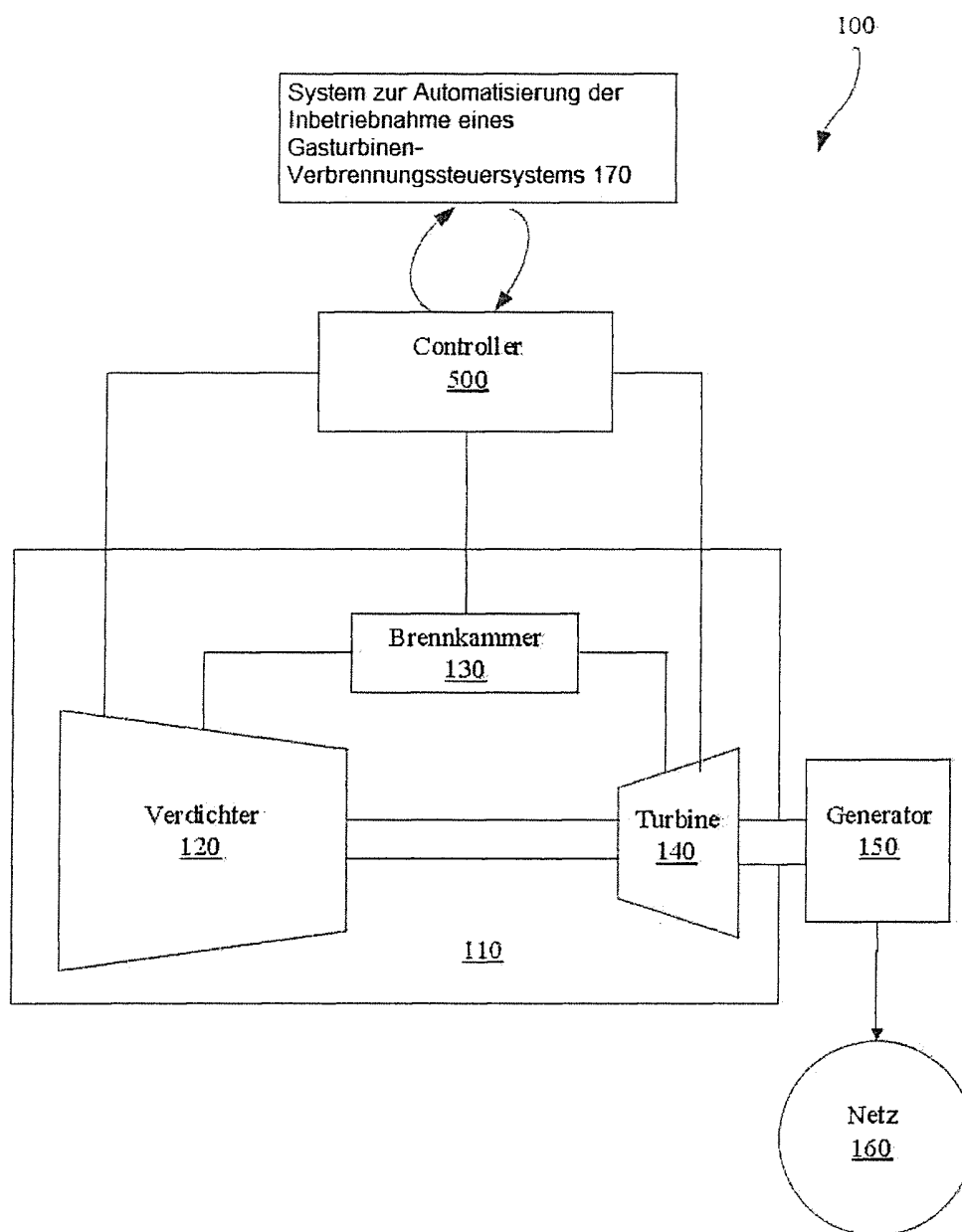


FIG. 1

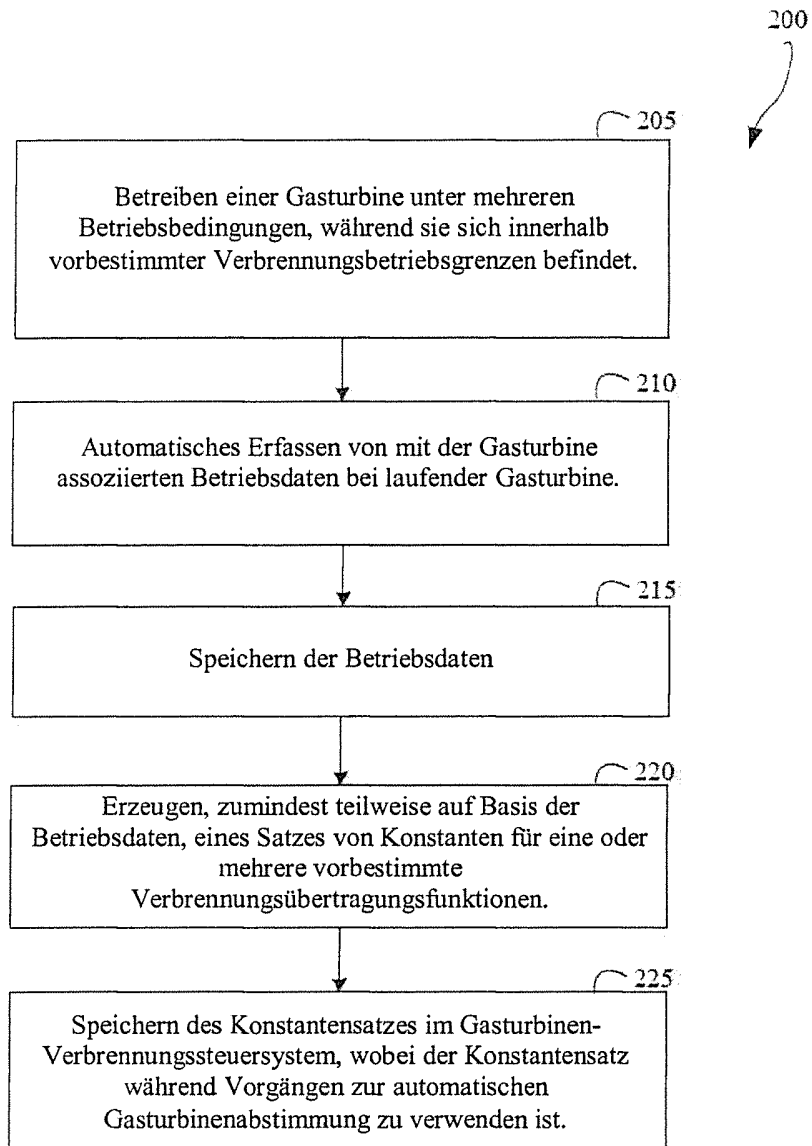


FIG. 2

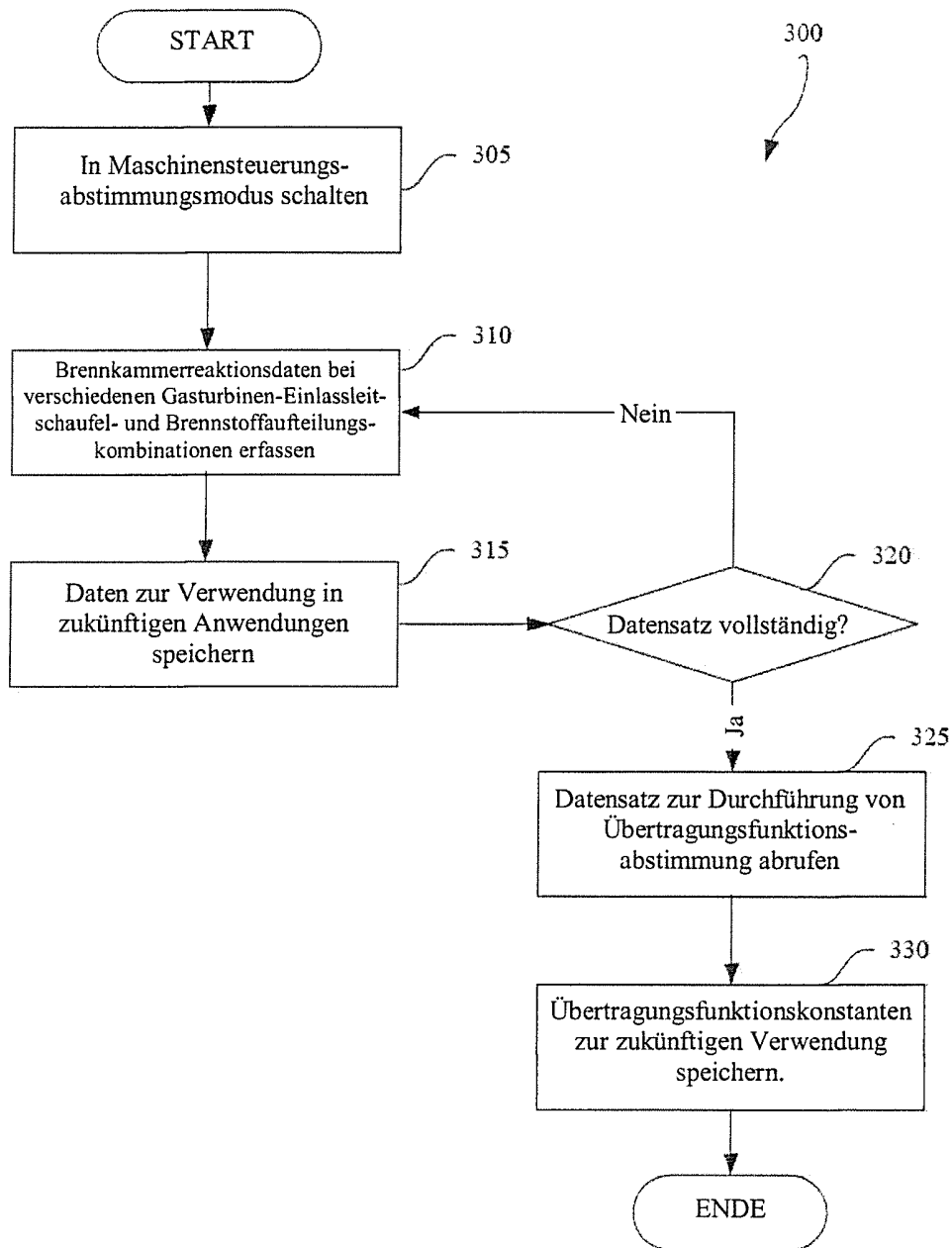


FIG. 3

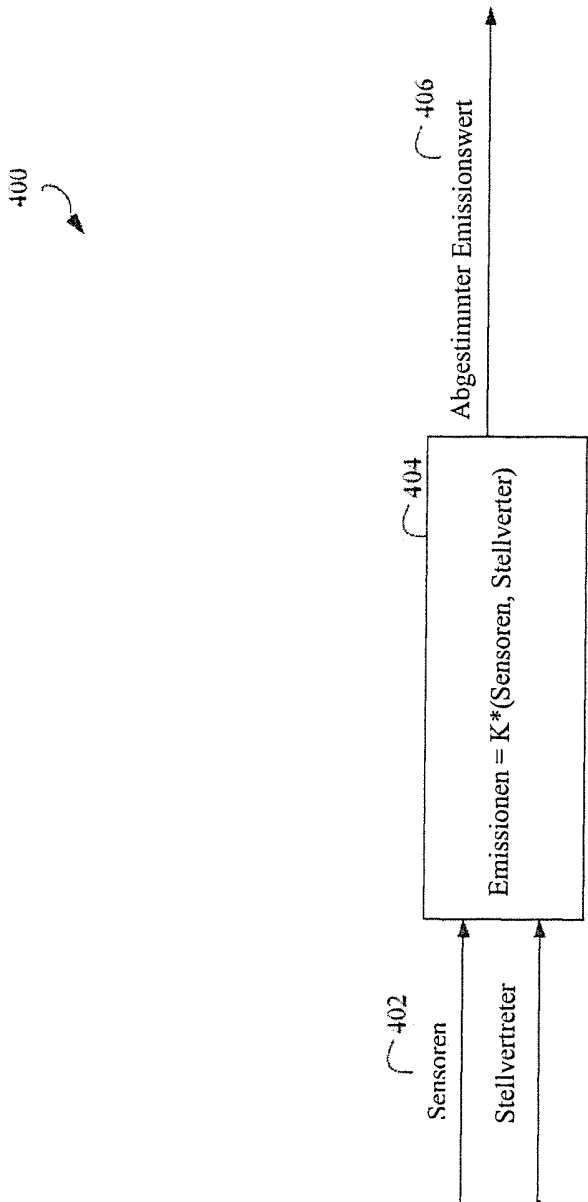


FIG. 4

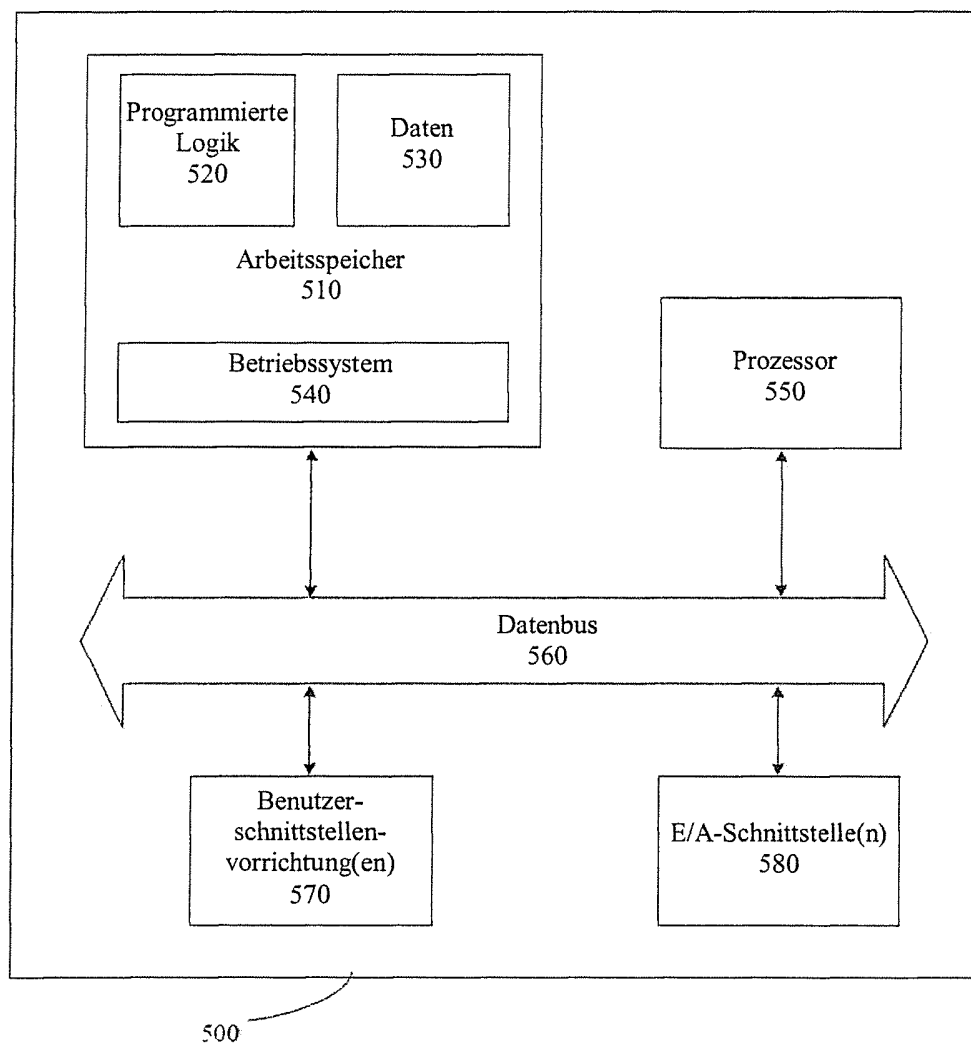


FIG. 5