



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 702 625 B1

(51) Int. Cl.: F02C 9/00 (2006.01)
G05B 23/02 (2006.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 00224/11

(22) Anmeldedatum: 07.02.2011

(43) Anmeldung veröffentlicht: 15.08.2011

(30) Priorität: 11.02.2010 US 12/704,031

(24) Patent erteilt: 31.03.2017

(45) Patentschrift veröffentlicht: 31.03.2017

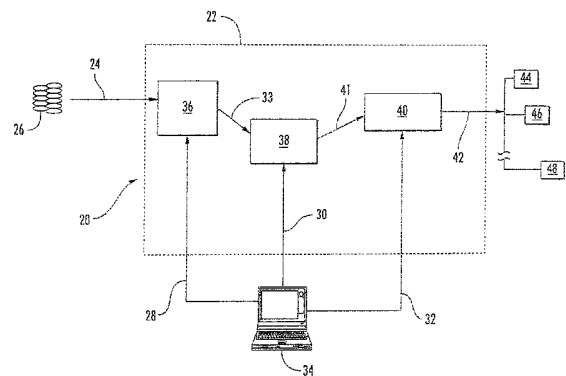
(73) Inhaber:
General Electric Company, 1 River Road
Schenectady, New York 12345 (US)

(72) Erfinder:
Xiaomo Jiang, Greenville, South Carolina 29615 (US)
Michael Edward Bernard,
Greenville, South Carolina 29615 (US)
Sameer Vittal, Atlanta, Georgia 30339 (US)

(74) Vertreter:
R. A. Egli & Co. Patentanwälte, Horneggstrasse 4
8008 Zürich (CH)

(54) System und Verfahren zur Überwachung einer Gasturbine.

(57) Ein System (20) zur Überwachung einer Gasturbine enthält eine Datenbank (26), die historischen Parameterinformationen von vergleichbaren Gasturbinen enthält, und eine Eingabevorrichtung (34), die eine Vorrichtung, insbesondere einen Computer, umfasst, die dazu ausgebildet ist, ein Anlagedatensignal (30) und ein Risikosignal (32) zu erzeugen. Ein Prozessor (22), der mit dem Speicher und der Eingabevorrichtung (34) in Kommunikationsverbindung steht, nimmt das Anlagedatensignal (30) in die Datenbank (26) auf, rechnet Informationen für die Gasturbine hoch und berechnet ein konditionales Risiko dafür, dass die Gasturbine eine Grenze erreichen wird. Ein Ausgangssignal (42) enthält Reparatur- oder Wartungszeitpläne. Ein Verfahren zum Überwachen einer Gasturbine enthält ein Empfangen von Informationen von vergleichbaren Gasturbinen, Hinzufügen von Informationen von der Gasturbine zu den Informationen von vergleichbaren Gasturbinen und Projizieren von Informationen für die Gasturbine in die Zukunft. Das Verfahren enthält ferner ein Berechnen eines konditionalen Risikos dafür, dass die Gasturbine eine Grenze erreichen wird, und Erzeugen eines Ausgangssignals (42), das Reparatur- oder Wartungszeitpläne enthält.



Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung umfasst allgemein ein System und Verfahren zur Überwachung des Funktionszustands einer Gasturbine. Insbesondere beschreibt die vorliegende Erfindung ein System und Verfahren, das ein generisches Gasturbinenmodell unter Verwendung tatsächlicher Informationen über eine einzelne Gasturbine anpasst, um Reparatur- und/oder Wartungsintervalle der einzelnen Gasturbine in die Zukunft zu projizieren bzw. zu prognostizieren.

Hintergrund zu der Erfindung

[0002] Gasturbinen sind im industriellen und kommerziellen Einsatz weit verbreitet. Wie in Fig. 1 veranschaulicht, enthält eine typische Gasturbine 10 einen Axialverdichter 12 vorne, eine oder mehrere Brennkammern 14 in etwa in der Mitte und eine Turbine 16 hinten. Der Verdichter 12 enthält mehrere Stufen von rotierenden Laufschaufeln und stationären Leitschaufeln. Umgebungsluft tritt in den Verdichter 12 ein, und die rotierenden Laufschaufeln und stationären Leitschaufeln verleihen dem Arbeitsfluid (der Luft) zunehmend kinetische Energie, um es in einen energiereichen Zustand zu bringen. Das Arbeitsfluid tritt aus dem Verdichter 12 aus und strömt zu den Brennkammern 14, worin es sich mit einem Brennstoff 18 vermischt und entzündet, um Verbrennungsgase zu erzeugen, die eine hohe Temperatur, einen hohen Druck und eine hohe Geschwindigkeit aufweisen. Die Verbrennungsgase verlassen die Brennkammern 14 und strömen zu der Turbine 16, worin sie expandieren, um Arbeit zu verrichten.

[0003] Gasturbinen erfordern, wie jede sonstige mechanische Vorrichtung, periodische Reparaturen und Wartung, um eine ordnungsgemäße Funktion sicherzustellen. Als ein allgemeiner Ansatz können frühere Erfahrungen mit der «Flotte» von Gasturbinen, insbesondere vergleichbaren Gasturbinen ähnlicher Klasse oder Bauart, statistisch analysiert werden, um ein Flottenmodell zu entwickeln, das den erwarteten Verschleiss und die erwartete Beschädigung, die andere Gasturbinen erfahren, in die Zukunft projizieren kann. Auf der Basis des Flottenmodells können Hochrechnungen bzw. Prognosen, Reparaturen und Wartungsmassnahmen in optimalen Intervallen eingeplant werden, die die Gefahr sowohl ungeplanter Abschaltungen, um Reparaturen durchzuführen, als auch unnötiger Abschaltungen, um eine unnötige vorbeugende Wartung durchzuführen, minimieren.

[0004] Das tatsächliche Verhalten einzelner Gasturbinen kann jedoch von dem Flottenmodell abweichen. Z.B. können einzelne Gasturbinen geringe Unterschiede bei der Konfiguration, den Herstellungstoleranzen und dem Aufbau haben, die im Vergleich zu dem Flottenmodell andere Verschleiss- und Beschädigungsgrade zur Folge haben können. Ausserdem können sich die Betriebs-, Reparatur- und Wartungshistorien, die einzelne Gasturbinen tatsächlich aufweisen, von dem Flottendurchschnitt unterscheiden. Z.B. können Gasturbinen, die in feuchten und korrosiven Umgebungen betrieben werden, im Vergleich zu dem Flottenmodell häufigere Reparatur- und Wartungsmassnahmen erfordern, um Probleme im Zusammenhang mit Korrosion, Lochfrass und Emissionen zu bewältigen. Umgekehrt können andere Gasturbinen, die weniger Start- und Abschaltzyklen erfahren, im Vergleich zu dem Flottenmodell weniger häufige Abschaltungen zur Durchführung vorbeugender Wartungsmassnahmen im Zusammenhang mit zyklischen Belastungen erfordern. In jedem Beispiel würden Anpassungen an dem Flottenmodell auf der Basis der tatsächlichen Daten, die zu einzelnen Gasturbinen gehören, die Fähigkeit, Reparatur- und Wartungsmassnahmen optimal zu planen, verbessern.

[0005] Die Aufgabe, die der vorliegenden Erfindung zugrunde liegt, besteht darin, ein verbessertes System und Verfahren zur Überwachung des Verhaltens und der Funktionsweise einer Gasturbine anzugeben.

Kurze Beschreibung der Erfindung

[0006] Aspekte und Vorteile der Erfindung sind nachstehend in der folgenden Beschreibung angegeben oder können aus der Beschreibung offensichtlich sein, oder sie können durch Umsetzung der Erfindung in Praxis erfahren werden.

[0007] Die vorliegende Erfindung betrifft ein System zur Überwachung des Verhaltens einer Gasturbine im Einsatz. Das System enthält ein erstes Speicherelement, das eine Datenbank mit historischen Parameterinformationen von vergleichbaren Gasturbinen enthält, und eine Eingabevorrichtung, wobei die Eingabevorrichtung eine Vorrichtung, insbesondere einen Computer, umfasst, die dazu ausgebildet ist, ein Anlagedatensignal, das Parameterinformationen von der Gasturbine im Einsatz enthält, und ein Risikosignal erzeugt, das einen Risikowert für die Gasturbine im Einsatz enthält, beispielsweise Anlagebeanspruchungsdaten, zulässige Risikoniveaus für jeden Fehlermechanismus und/oder das nächste Wartungsintervall für die Gasturbine im Einsatz. Ein Prozessor, der mit dem ersten Speicherelement und der Eingabevorrichtung in Kommunikationsverbindung steht, nimmt das Anlagedatensignal in die Datenbank mit Parameterinformationen von vergleichbaren Gasturbinen auf, rechnet Parameterinformationen für die Gasturbine im Einsatz hoch bzw. prognostiziert diese und berechnet ein konditionales Risiko dafür, dass die hochgerechneten Parameterinformationen für die Gasturbine im Einsatz eine vorbestimmte Parametergrenze erreichen. Ein durch den Prozessor erzeugtes Ausgangssignal enthält wenigstens entweder Reparatur- und/oder Wartungsplanungsinformationen.

[0008] Die vorliegende Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Überwachen des Verhaltens einer Gasturbine im Einsatz. Das Verfahren enthält: Empfangen von Parameterinformationen von vergleichbaren Gasturbinen, Hinzufügen von Parameterinformationen von der Gasturbine im Einsatz zu den Parameterinformationen von vergleichbaren Gasturbinen und Prognostizieren bzw. Hochrechnen von Parameterinformationen für die Gasturbine im Einsatz. Das Verfahren ent-

hält ferner ein Berechnen eines konditionalen Risikos dafür, dass die hochgerechneten Parameterinformationen für die Gasturbine im Einsatz eine vorbestimmte Parametergrenze erreichen werden, und Erzeugen eines Ausgangssignals, das wenigstens entweder einen Reparatur- und/oder einen Wartungsplan für die Turbine im Einsatz enthält, auf der Basis des konditionalen Risikos.

[0009] Ferner wird ein Verfahren zum Überwachen des Verhaltens einer Gasturbine im Einsatz offenbart, das enthält: Empfangen eines Flottenmodellsignals, das Parameterinformationen von vergleichbaren Gasturbinen enthält, Hinzufügen von Parameterinformationen von der Gasturbine im Einsatz zu den Parameterinformationen von vergleichbaren Gasturbinen und Prognostizieren bzw. Projizieren von Parameterinformationen für die Gasturbine im Einsatz. Das Verfahren enthält ferner ein Berechnen eines konditionalen Risikos, dass die prognostizierten bzw. hochgerechneten Parameterinformationen für die Gasturbine im Einsatz eine vorbestimmte Parametergrenze erreichen werden, und Erzeugen eines Ausgangssignals, das wenigstens entweder einen Reparaturplan und/oder einen Wartungsplan und/oder eine prognostizierte bzw. hochgerechnete Nutzungslebensdauer für die Gasturbine im Einsatz umfasst, auf der Basis des konditionalen Risikos.

[0010] Fachleute auf dem Gebiet werden die Merkmale und Aspekte derartiger und weiterer Ausführungsformen nach Durchsicht der Beschreibung besser verstehen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0011] Eine vollständige und eine Umsetzung ermöglichende Offenbarung der vorliegenden Erfindung, einschliesslich deren bester Ausführungsart, für Fachleute ist in grösseren Einzelheiten in der restlichen Beschreibung angegeben, die eine Bezugnahme auf die beigefügten Figuren enthält, in denen:

- Fig. 1 ein vereinfachtes Blockschaltbild eines typischen Gasturbinensystems veranschaulicht;
- Fig. 2 ein Funktionsblockdiagramm eines Systems zur Überwachung einer Gasturbine im Einsatz gemäss einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;
- Fig. 3 einen Algorithmus zur Aktualisierung und Validierung eines Flottenmodells veranschaulicht;
- Fig. 4 einen Algorithmus zur Aktualisierung und Validierung eines Anlagemodells veranschaulicht;
- Fig. 5 einen Algorithmus zur Durchführung einer Anlagerisikoanalyse veranschaulicht;
- Fig. 6 einen Algorithmus zur Berechnung der restlichen Nutzungslebensdauer für ein Teil oder eine Komponente veranschaulicht;
- Fig. 7 in grafischer Weise hypothetische Schadensverlaufskurven veranschaulicht, die durch eine Anlagerisikoanalyse gemäss einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erzeugt werden können; und
- Fig. 8 in grafischer Weise hypothetische Nutzungslebensdauerkurven gemäss einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

[0012] Es wird nun im Einzelnen auf die vorliegenden Ausführungsformen der Erfindung Bezug genommen, von der ein oder mehrere Beispiele in den beigefügten Zeichnungen veranschaulicht sind. Die detaillierte Beschreibung verwendet Bezeichnungen mit Zahlen und Buchstaben, um auf Merkmale in den Zeichnungen zu verweisen. Gleiche oder ähnliche Bezugszeichen in den Zeichnungen und der Beschreibung werden verwendet, um gleiche oder ähnliche Teile der Erfindung zu bezeichnen.

[0013] Jedes Beispiel ist zur Erläuterung der Erfindung, nicht zur Beschränkung der Erfindung vorgesehen. In der Tat wird es für Fachleute auf dem Gebiet offensichtlich sein, dass Modifikationen und Veränderungen an der vorliegenden Erfindung vorgenommen werden können, ohne von deren Umfang oder Rahmen abzuweichen. Zum Beispiel können Merkmale, die als ein Teil einer Ausführungsform veranschaulicht oder beschrieben sind, bei einer anderen Ausführungsform verwendet werden, um eine noch weitere Ausführungsform zu ergeben. Somit besteht die Absicht, dass die vorliegende Erfindung derartige Modifikationen und Veränderungen mit umfasst, wie sie in den Schutzbereich der beigefügten Ansprüche und ihrer Äquivalente fallen.

[0014] Die hierin erläuterten Systeme und Verfahren nehmen Bezug auf Prozessoren, Server, Speicher, Datenbanken, Softwareanwendungen und/oder andere computerbasierte Systeme sowie auf Massnahmen, die an derartigen Systemen vorgenommen oder von diesen ergriffen werden, und Informationen, die zu und von derartigen Systemen gesandt werden. Ein Fachmann auf dem Gebiet wird erkennen, dass die inhärente Flexibilität computerbasierter Systeme eine grosse Vielfalt möglicher Konfigurationen, Kombinationen und Aufteilungen von Aufgaben und Funktionalitäten auf und unter die Komponenten ermöglicht. Zum Beispiel können hierin beschriebene Computer implementierte Prozesse unter Verwendung eines einzigen Servers oder Prozessors oder mehrerer derartiger Elemente, die in Kombination miteinander arbeiten, implementiert werden. Datenbanken und andere Speicher-/Medienelemente und -anwendungen können auf einem

einziges System implementiert oder auf mehrere Systeme verteilt werden. Verteilte Komponenten können sequentiell oder parallel zueinander arbeiten. All derartige Varianten sollen, wie für Fachleute auf dem Gebiet verständlich, in den Rahmen und Umfang des vorliegenden Gegenstandes fallen.

[0015] Wenn zwischen einem ersten und einem zweiten Computersystem, einer ersten und einer zweiten Verarbeitungsvorrichtung oder deren Komponenten Daten erhalten werden oder auf Daten zugegriffen wird, können die tatsächlichen Daten direkt oder indirekt zwischen den Systemen ausgetauscht werden. Falls zum Beispiel ein erster Computer auf eine Datei oder Daten von einem zweiten Computer zugreift, kann der Zugriff einen oder mehrere dazwischen geschaltete Computer, Proxies oder dergleichen umfassen. Die tatsächliche Datei oder Daten können zwischen den Computern übermittelt werden, oder ein Computer kann einen Zeiger (Pointer) oder ein Metafile liefern, den bzw. das der zweite Computer verwendet, um auf die tatsächlichen Daten von einem anderen Computer als dem ersten Computer zuzugreifen.

[0016] Die verschiedenen Computersysteme, wie sie hierin beschrieben sind, sind nicht auf irgendeine spezielle Hardwarearchitektur oder -konfiguration beschränkt. Ausführungsformen der Verfahren und Systeme, wie sie hierin angegeben sind, können durch eine oder mehrere Universalzweck- oder kundenspezifische Rechenvorrichtungen implementiert sein, die auf irgendeine geeignete Weise eingerichtet sind, um die gewünschte Funktionalität zu ergeben. Die Vorrichtung(en) kann/können eingerichtet sein, um eine zusätzliche Funktionalität bereitzustellen, die entweder zu dem vorliegenden Gegenstand ergänzend ist oder in keinem Zusammenhang zu diesem steht. Zum Beispiel kann/können eine oder mehrere Rechenvorrichtungen eingerichtet sein, um durch einen Zugriff auf Softwareinstruktionen, die in einer Computer lesbaren Form abgefasst sind, die beschriebene Funktionalität zu schaffen. Wenn Software verwendet wird, kann jede beliebige geeignete Programmiersprache, Skriptsprache oder eine sonstige geeignete Sprache oder können Kombinationen von Sprachen verwendet werden, um die hier enthaltenen Lehren zu implementieren. Jedoch muss Software nicht ausschliesslich oder überhaupt nicht verwendet werden. Wie für Fachleute auf dem Gebiet verständlich, ohne eine weitere detaillierte Erläuterung zu erfordern, können einige Ausführungsformen der hier angegebenen und offenbarten Verfahren und Systeme auch anhand einer verdrahteten Logik oder sonstiger Schaltungen, einschliesslich, jedoch nicht darauf beschränkt, anwendungsspezifischer Schaltungen, implementiert werden. Natürlich können verschiedene Kombinationen von durch einen Computer ausgeführter Software und verdrahteter Logik oder sonstigen Schaltkreisen ebenfalls geeignet sein.

[0017] Es ist für Fachleute auf dem Gebiet verständlich, dass Ausführungsformen der hierin offenbarten Verfahren durch eine oder mehrere geeignete Rechenvorrichtungen ausgeführt werden können, die die Vorrichtung(en) funktionsfähig machen, um derartige Verfahren auszuführen. Wie oben erwähnt, können derartige Vorrichtungen auf ein oder mehrere Computer lesbare Medien zugreifen, die Computer lesbare Instruktionen enthalten, die, wenn sie durch wenigstens einen Computer ausgeführt werden, den wenigstens einen Computer veranlassen, eine oder mehrere Ausführungsformen der Verfahren gemäss dem vorliegenden Gegenstand auszuführen. Es kann jedes beliebige geeignete Computer lesbare Medium oder können Medien verwendet werden, um den vorliegend offenbarten Gegenstand zu implementieren oder auszuführen, wozu einschliesslich, jedoch nicht ausschliesslich, Disketten, Laufwerke und sonstige magnetisch basierte Speichermedien, optische Speichermedien, einschliesslich Scheiben (einschliesslich CD-ROMs, DVD-ROMs und Varianten von diesen), Flash-Speicher, RAM-, ROM-Speicher und sonstige Halbleiter-Speichervorrichtungen und dergleichen gehören.

[0018] Zustandsabhängige Wartungssysteme wenden stochastische Analysen von Flottenmodellen, anlagespezifische Daten und vom Bediener ausgewählte Risikoparameter an, um ein kostengünstiges System und Verfahren zur Optimierung von Reparatur- und/oder Wartungsintervallen hochwertiger Systeme, wie beispielsweise Gasturbinen, zu schaffen. Es kann ein Flottenmodell für jeden spezifischen Fehler- bzw. Schädigungsmechanismus für eine Gasturbine durch Anwendung mehrstufiger stochastischer Modellierungstechniken, wie beispielsweise Bayes-Störung und Markoffketten-Monte-Carlo(MCMC)-Simulation, auf historische Flottendaten entwickelt werden. Die Genauigkeit jedes Flottenmodells kann periodisch verifiziert und/oder validiert werden, und anlagespezifische Daten, die von einer bestimmten Gasturbine erhalten werden, können zu jedem Flottenmodell hinzugefügt werden, um das Flottenmodell anzupassen oder zu aktualisieren oder ein Anlagemodell zu erzeugen, das die bestimmte Gasturbine für jeden spezifischen Fehler- bzw. Schädigungsmechanismus genauer modelliert. Die Anwendung vom Bediener ausgewählter Risikoparameter auf das aktualisierte Flottenmodell verbessert die Fähigkeit, Reparatur- und/oder Wartungseinheiten in optimalen Intervallen einzuplanen, die die Einsatzverfügbarkeit steigern, unplanmässige und unnötige Abschaltungen reduzieren und/oder die Nutzungslebensdauer der bestimmten Gasturbine erhöhen.

[0019] Falls als ein Beispiel die anlagespezifischen Daten für die bestimmte Gasturbine einen geringeren Verschleiss oder eine kleinere Beschädigung im Vergleich zu den durch das Flottenmodell bereitgestellten Hochrechnungen (Prognosen) anzeigen, kann die Verfügbarkeit der bestimmten Gasturbine verbessert werden, indem die Intervalle zwischen Reparatur- und/oder Wartungsereignissen verlängert werden. Falls umgekehrt die anlagespezifischen Daten für die bestimmte Gasturbine einen grösseren Verschleiss oder eine grössere Beschädigung im Vergleich zu den durch das Flottenmodell bereitgestellten Prognosen anzeigen, können die Intervalle zwischen Reparatur- und/oder Wartungseinsätzen verringert werden, was einen planmässigen Stillstand anstelle des kostspieligeren unplanmässigen Stillstands ergibt. In jedem Falle verbessert der angepasste Reparatur- und/oder Wartungsplan die Zuverlässigkeit, Funktionssicherheit und Funktionsweise der bestimmten Gasturbine, was eine genauere Nutzung und möglicherweise eine längere Nutzungslebensdauer für die bestimmte Gasturbine zur Folge hat.

[0020] Fig. 2 zeigt ein System 20 zur Überwachung einer Gasturbine im Einsatz 10 gemäss einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Der Ausdruck «Gasturbine im Einsatz» bezeichnet eine bestimmte oder spezielle Gasturbine im Unterschied zu der Flotte von Gasturbinen. Das System 20 enthält allgemein einen Prozessor 22, der eine Programmierung bzw. Kodierung enthält, um auf ein oder mehrere Speicher-/Medienelemente zuzugreifen. Der Prozessor 22 empfängt ein Flottenmodellsignal 24 von einer Datenbank 26 und ein Flottendatensignal 28, ein Anlagedatensignal 30 und/oder ein Risikosignal 32 von einer Eingabevorrichtung 34. Der Ausdruck «Signal» bezieht sich auf jede beliebige elektrische Übertragung von Informationen bzw. Daten. Das Flottenmodellsignal 24 weist Parameterinformationen für vergleichbare Gasturbinen auf, die durch ein in der Datenbank 26 enthaltenes Flottenmodell hochgerechnet werden. Das System 20 wendet mehrstufige stochastische Modellierungstechniken, Bayes-Störung und MCMC-Simulation, wie sie durch den Block 36 und den in Fig. 3 veranschaulichten Algorithmus dargestellt sind, an, um die in dem Flottenmodellsignal 24 enthaltenen hochgerechneten Parameterinformationen zu verifizieren und zu validieren und ein aktualisiertes Flottenmodellsignal 33 zu erzeugen. Das System 20 fügt Parameterinformationen von der Gasturbine im Einsatz 10, die in dem Anlagedatensignal 30 enthalten sind, zu dem aktualisierten Flottenmodellsignal 33 hinzu, um ein bevorzugt als ein Anlagemodell bezeichnetes aktualisiertes Flottenmodell zu erzeugen, das durch den Block 38 und den in Fig. 4 veranschaulichten Algorithmus dargestellt ist. Das Anlagemodell erzeugt hochgerechnete Parameterinformationen 41 für die Gasturbine im Einsatz 10. Eine Anlagerisikoanalyse, die durch den Block 40 in Fig. 2 und den in den Fig. 5 und 6 veranschaulichten Algorithmus dargestellt ist, kombiniert die hochgerechneten Parameterinformationen 41 von dem Anlagemodell mit dem Risikosignal 32, um ein Ausgangssignal 42 zu erzeugen, das Pläne für Reparatur 44 und/oder Wartung 46 und/oder eine Nutzungsdauerprognose 48 für die Gasturbine im Einsatz 10 wiedergibt.

[0021] Der hierin erläuterte Prozessor 22 ist nicht auf irgendeine spezielle Hardwarearchitektur oder -konfiguration beschränkt. Vielmehr kann der Prozessor 22 eine Universalzweck- oder kundenspezifische Rechenvorrichtung aufweisen, die eingerichtet ist, um durch Zugriff auf Speichermedien (z.B. die Blöcke 36, 38 und/oder 40 in Fig. 2), Datenbanken und weitere Hardware in einer durch Softwareinstruktionen, die in einer Computer lesbaren Form wiedergegeben sind, oder durch eine programmierte Schaltung geführten Weise die beschriebene Funktionalität zu ergeben. Zum Beispiel kann der Prozessor 22 einen einzigen Server, einen einzigen Mikroprozessor, eine verdrahtete Logik, einschliesslich, jedoch nicht darauf beschränkt, anwendungsspezifischer Schaltungen, oder mehrere derartige Elemente, die in Kombination miteinander arbeiten, aufweisen.

[0022] Die Datenbank 26 enthält historische Parameterinformationen über die «Flotte» von Gasturbinen, insbesondere vergleichbare Gasturbinen ähnlicher Klasse oder Bauart, die von verfügbaren Quellen gesammelt werden. Die Datenbank 26 kann Speicher-/Medienelemente und Anwendungen enthalten, die auf einem einzigen System implementiert oder über mehrere Systeme hinweg verteilt sind. Falls verteilte Komponenten verwendet werden, können sie sequentiell oder parallel zueinander arbeiten.

[0023] Die in der Datenbank 16 enthaltenen historischen Parameterinformationen enthalten Daten, die die Funktionsweise, Reparaturen und/oder Wartungsmassnahmen der vergleichbaren Gasturbinen widerspiegeln. Die historischen Parameterinformationen können speziell Daten enthalten, die als Beanspruchungsdaten und Schadensdaten bezeichnet werden. Beanspruchungsdaten umfassen jegliche Informationen, die die betriebliche Historie einer vergleichbaren Gasturbine beschreiben und die der Vorhersage eines Fehlermodus oder -mechanismus statistisch zugeordnet werden können. Zum Beispiel können Beanspruchungsdaten Betriebsstunden, Anzahl von Start- und Abschaltzyklen, Feuerungstemperaturen und die Anzahl unplanmässiger Auslösungen enthalten. Schadensdaten umfassen jegliche Hardwarefehlermechanismen, die aufgetreten sind, mit einer statistischen Signifikanz. Ein Fehlermechanismus umfasst jede Verschlechterung der physischen oder funktionalen Eigenschaften gegenüber den Nominalwerten, die eine Verringerung der Ausgangsleistung, einen Wirkungsgradverlust oder die Unfähigkeit, die vergleichbare Gasturbine zu betreiben, zur Folge hat. Zu Beispielen bekannter Fehlermechanismen gehören Korrosion, Lochfrass, Verformung, Ermüdung, Beschädigung durch Fremdobjekte, Oxidation, Absplitterung der Wärmeschutzbeschichtung (TBC, Thermal Barrier Coating), Verstopfung/Verunreinigung, Bruch, Riss und Verschleiss. Diese Fehlermechanismen können als ein Ergebnis von verstärkten Boroskop-Inspektionen, Überwachungen vor Ort, Betriebsprotokollen, Reparaturprotokollen, Wartungsprotokollen und dergleichen erfasst oder aufgezeichnet werden.

[0024] Die verfügbaren Quellen von historischen Informationen umfassen z.B. Datenbanken mit betrieblichen Erfahrungen, Betriebsaufzeichnungen, Teileinspektionsaufzeichnungen und Inspektionsberichte im Feld. Beispiele für die historischen Informationen, die in diesen Quellen enthalten sind, umfassen Berichte von verstärkten Boroskop-Inspektionen, elektronische Aufzeichnungen, Überwachungs- und Diagnosedaten, Berichte über Stillstandereignisse, Betriebsdauern, Startvorgänge und Auslösungen sowie Wartungswerkstatt- oder Reparaturdaten, ohne jedoch darauf beschränkt zu sein.

[0025] Die Sammlung der historischen Informationen, wie beispielsweise der Beanspruchungs- und Schadensdaten, wird statistisch analysiert und normiert, um das Flottenmodell zu entwickeln, das auch als ein Datenakkumulationsmodell bezeichnet wird. Das Flottenmodell rechnet hoch bzw. prognostiziert Parameterinformationen, wie beispielsweise das Wachstum einer Beschädigung, während künftiger Beanspruchungen unter Verwendung der erfassten historischen Informationen, und das Flottenmodell und/oder die hochgerechneten Parameterinformationen werden anhand des Flottenmodellsignals 24 zu dem Prozessor 22 übertragen.

[0026] Die Eingabevorrichtung 34 ermöglicht einem Benutzer, mit dem System 20 zu kommunizieren, und kann jede beliebige Struktur enthalten, um eine Schnittstelle zwischen dem Benutzer und dem System 20 zu schaffen. Zum Beispiel kann die Eingabevorrichtung 34 eine Tastatur, einen Computer, ein Terminal, ein Bandlaufwerk und/oder jede sonstige Vorrichtung zum Empfangen einer Eingabe von einem Benutzer und zur Erzeugung des Flottendatensignals 28, des Anlagedatensignals 30 und/oder des Risikosignals 32 für das System 20 enthalten.

[0027] Fig. 3 zeigt einen Algorithmus zur Aktualisierung und Validierung des Flottenmodells und/oder des Flottenmodellsignals 24, auf das vorstehend in Form des Blocks 26 nach Fig. 2 Bezug genommen wurde. In Block 50 importiert der Algorithmus das Flottendatensignal 28, das zum Beispiel neu erfasste Parameterinformationen von vergleichbaren Gasturbinen in der Flotte, beispielsweise Beanspruchungsdaten 52 und Schadensdaten 54, umfasst. Nur zu Veranschaulichungszwecken wird angenommen, dass das Flottendatensignal 28 anzeigt, dass bei einer Betriebsdauer von 10 000 Stunden, bei 20 Start- und Abschaltzyklen und zwei unplanmässigen Auslösungen Boroskop-Inspektionen in einer bestimmten Komponente Risse der Grössen 0,1, 0,2, 0,1, 0,2, 0,3 und 0,2 detektierten. In Block 56 sortiert der Algorithmus die importierten Beanspruchungsdaten 52 und Schadensdaten 54 und organisiert diese zum Beispiel durch Zuweisung einer Variable L_n zu jedem Inspektionsergebnis in aufsteigender Reihenfolge entsprechend dem Betrag der erfassten Beschädigung, um das folgende Ergebnis zu erzeugen: $L_1 = 0,1$, $L_2 = 0,1$, $L_3 = 0,2$, $L_4 = 0,2$, $L_5 = 0,2$ und $L_6 = 0,3$. In Block 58 gruppiert der Algorithmus die sortierten Beanspruchungsdaten 52 und Schadensdaten 54 z.B. durch Zuweisung einer Variable R_n zu jedem Inspektionsergebnis mit dem gleichen Betrag, um das folgende Ergebnis zu erzeugen: $R_1 = 2/6$, $R_2 = 2/6$, $R_3 = 3/6$, $R_4 = 3/6$, $R_5 = 3/6$ und $R_6 = 1/6$. In Block 60 vergleicht der Algorithmus die sortierten und gruppierten Daten 52, 54 mit dem Flottenmodellsignal 24, das Verteilungsparameterinformationen, wie beispielsweise die auf dem Flottenmodell basierenden hochgerechneten Schadensergebnisse, umfasst um festzustellen, ob das Flottenmodell statistisch genau ist. Die statistische Genauigkeit kann anhand vieler einzelner oder kombinierter statistischer Kriterien, einschliesslich zum Beispiel des Wertes des Bestimmtheitsmasses (R^2) oder der Standardabweichung (σ), bestimmt werden. Wenn der Vergleich anzeigt, dass das Flottenmodell eine statistisch genaue Hochrechnung der tatsächlichen Beschädigung liefert, Block 62, aktualisiert der Algorithmus anschliessend die Datenbank 26 von historischen Parameterinformationen mit den neu erfassten Parameterinformationen von vergleichbaren Gasturbinen in der Flotte und liefert das aktualisierte Flottenmodellsignal 33 zur weiteren Analyse. Das aktualisierte Flottenmodell wird das Anlagemodell, wenn darauf durch den in Fig. 4 veranschaulichten Algorithmus zugegriffen wird. Falls der Vergleich anzeigt, dass das Flottenmodell keine statistisch genaue Hochrechnung der tatsächlichen Beschädigung liefert, erzeugt der Algorithmus anschliessend einen Flag 66 oder ein sonstiges Signal, das die Notwendigkeit, den Fehler zwischen den Flottenmodellhochrechnungen und den tatsächlichen Schadensdaten zu untersuchen, anzeigt.

[0028] Fig. 4 zeigt einen Algorithmus zur Aktualisierung und Validierung des Anlagemodells, auf das vorstehend als der Block 38 in Fig. 2 Bezug genommen wurde. In Block 68 importiert der Algorithmus das Anlagedatensignal 30, das zum Beispiel neu erfasste Parameterinformationen von der Gasturbine im Einsatz 10, beispielsweise Beanspruchungsdaten 70 und Schadensdaten 72, umfasst. Lediglich für Veranschaulichungszwecke wird erneut angenommen, dass das Anlagedatensignal 30 anzeigt, dass bei einer Betriebsdauer von 10 000 Stunden, bei 20 Start- und Abschaltzyklen und zwei unplanmässigen Auslösungen Boroskop-Inspektionen in einer bestimmten Komponente Risse der Grössen 0,1, 0,3, 0,1, 0,3, 0,3 und 0,2 detektierten. In Block 74 sortiert der Algorithmus die importierten Anlagedaten 70, 72 und organisiert diese zum Beispiel durch Zuweisung einer Variable L_n zu jedem Inspektionsergebnis in aufsteigender Reihenfolge entsprechend dem Betrag der erfassten Beschädigung, um das folgende Ergebnis hervorzubringen: $L_1 = 0,1$, $L_2 = 0,1$, $L_3 = 0,2$, $L_4 = 0,3$, $L_5 = 0,3$ und $L_6 = 0,3$. In Block 76 gruppiert der Algorithmus die sortierten Anlagedaten 70, 72 zum Beispiel durch Zuweisung einer Variable R_n zu jedem Inspektionsergebnis mit dem gleichen Betrag, um das folgende Ergebnis hervorzubringen: $R_1 = 2/6$, $R_2 = 2/6$, $R_3 = 1/6$, $R_4 = 3/6$, $R_5 = 3/6$ und $R_6 = 3/6$. In Block 78 vergleicht der Algorithmus die sortierten und gruppierten Anlagedaten 70, 72 mit dem Anlagemodell, das Verteilungsparameterinformationen, wie beispielsweise die auf dem Anlagemodell basierenden hochgerechneten Schadensergebnisse enthält, um festzustellen, ob das Anlagemodell statistisch genau ist. Die statistische Genauigkeit kann durch eine Anzahl von einzelnen oder kombinierten statistischen Kriterien, einschliesslich zum Beispiel des Wertes des Bestimmtheitsmasses (R^2) oder der Standardabweichung (σ), bestimmt werden. Falls der Vergleich anzeigt, dass das Anlagemodell eine statistisch genaue Hochrechnung der tatsächlichen Beschädigung liefert, Block 80, aktualisiert der Algorithmus anschliessend das Anlagemodell mit den neu erfassten Parameterinformationen von der Gasturbine im Einsatz 10 und erzeugt aktualisierte Parameterinformationen 41 von dem Anlagemodell zur weiteren Analyse. Falls der Vergleich anzeigt, dass das Anlagemodell keine statistisch genaue Hochrechnung der tatsächlichen Beschädigung liefert, erzeugt der Algorithmus anschliessend einen Flag 84 oder ein sonstiges Signal, das die Notwendigkeit zur Untersuchung des Fehlers zwischen den Hochrechnungen und der tatsächlichen Beschädigung anzeigt.

[0029] Fig. 5 zeigt einen Algorithmus zur Durchführung der Anlagerisikoanalyse, auf die vorstehend in Form des Blocks 40 in Fig. 2 Bezug genommen wurde. Die Anlagerisikoanalyse kombiniert die aktualisierten Parameterinformationen 41 aus dem Anlagemodell mit dem Risikosignal 32, um das Ausgangssignal 42 zu erzeugen, das die Pläne zur Reparatur 44 und/oder Wartung 46 und/oder die Nutzungslebensdauerhochrechnung bzw. -prognose 48 für die Gasturbine im Einsatz 10 wiedergibt. In Block 86 importiert der Algorithmus das Risikosignal 32, das zum Beispiel Anlagebeanspruchungsdaten, zulässige Risikoniveaus für jeden Fehlermechanismus und/oder das nächste Wartungsintervall für die Gasturbine im Einsatz 10 umfasst. In Block 88 importiert der Algorithmus die aktualisierten Parameterinformationen 41 von dem Anlagemo-

dell, die zum Beispiel die Verteilungsanlageparameterinformationen, beispielsweise die auf dem Anlagemodell basierenden hochgerechneten Schadensergebnisse aufweisen. In Block 90 lädt der Algorithmus Risikoanalysegleichungen oder greift auf Risikoanalysegleichungen zu, die zu jedem Fehlermechanismus gehören. Die Risikoanalysegleichungen können jede beliebige von verschiedenen Techniken verwenden, die in der Technik zur Modellierung der Verteilungskurven von zukünftigen Zuständen auf der Basis bekannter Daten bekannt sind. Zum Beispiel können die Risikoanalysegleichungen ein Weibull-loglineares Modell, ein Weibull-proportionales Schadensmodell oder ein Lognormal-loglinear-Modell verwenden.

[0030] In Block 92 berechnet der Algorithmus ein konditionales Risiko im Zusammenhang mit jedem bestimmten Fehlermechanismus unter Verwendung der Risikoanalysegleichungen. Das konditionale Risiko ist die Wahrscheinlichkeit dafür, dass ein Anlageparameter zu irgendeinem Zeitpunkt in der Zukunft eine vorbestimmte Grenze erreicht oder überschreitet. Die vorbestimmte Parametergrenze kann jeder beliebige Zustand, jede beliebige Metrik, jedes beliebige Mass oder ein sonstiges durch den Benutzer festgelegtes Kriterium sein. Zum Beispiel kann die vorbestimmte Parametergrenze ein betrieblicher Grenzwert, wie beispielsweise eine Rissgrösse, eines Teils oder einer Komponente sein, der, wenn er überschritten wird, eine Massnahme durch den Benutzer, wie beispielsweise eine Durchführung einer zusätzlichen Inspektion, ein Entfernen des Teils oder der Komponente vom Betrieb, eine Reparatur des Teils oder der Komponente oder eine Beschränkung der Leistungsfähigkeit der Gasturbine im Einsatz 10, erfordern kann. Der Zeitpunkt in der Zukunft kann das nächste Inspektionsintervall für die Gasturbine im Einsatz 10, gemessen chronologisch, anhand von Betriebsstunden, Startvorgängen, Abschaltvorgängen, unplanmässigen Auslösungen oder beliebiger sonstiger Beanspruchungsdaten, die durch den Benutzer geliefert werden und mit dem Fehlermechanismus in Beziehung stehen, sein.

[0031] In Block 94 berechnet der Algorithmus die Betriebssicherheit bzw. Zuverlässigkeit bei dem derzeitigen Zustand in der Gasturbine im Einsatz 10. Die berechnete Zuverlässigkeit ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Teil oder eine Komponente in der Lage sein wird, die vorgesehene(n) Funktion(en) bei den bemessenen Grenzen wenigstens bis zu einem gewissen Zeitpunkt in der Zukunft erfolgreich zu erfüllen. Anders gesagt, ist die berechnete Zuverlässigkeit die Wahrscheinlichkeit dafür, dass ein Teil oder eine Komponente infolge eines identifizierten Fehlermechanismus vor einem gewissen Zeitpunkt in der Zukunft nicht ausfallen wird. Wie bei der Berechnung des konditionalen Risikos kann der Zeitpunkt in der Zukunft das nächste Inspektionsintervall für die Gasturbine im Einsatz 10 sein, wie es chronologisch, anhand von Betriebsstunden, Startvorgängen, Abschaltvorgängen, unplanmässigen Auslösungen oder beliebigen sonstigen Beanspruchungsdaten gemessen wird, die durch den Benutzer bereitgestellt werden und mit dem Fehlermechanismus im Zusammenhang stehen.

[0032] In Block 96 berechnet der Algorithmus die restliche Nutzungslebensdauer für das Teil oder die Komponente, und Fig. 6 zeigt einen Algorithmus zur Durchführung dieser Berechnung. In den Blöcken 98 und 100 importiert der Algorithmus das Risikosignal 32 bzw. die aktualisierten Parameterinformationen 41, wie dies vorstehend im Zusammenhang mit den Blöcken 86 und 88 in Fig. 5 erläutert ist. In Block 102 berechnet der Algorithmus den mittleren Schadenswert für jeden bestimmten Fehlermechanismus für die Gasturbine im Einsatz 10. In Block 104 berechnet der Algorithmus die Wahrscheinlichkeit dafür, dass das Teil oder die Komponente eine vorbestimmte betriebliche Grenze an verschiedenen künftigen Beanspruchungszeitpunkten (z.B. Betriebsstunden, Startvorgängen, Abschaltvorgängen, unplanmässigen Auslösungen etc.) erreicht oder überschreitet. In Block 106 berechnet der Algorithmus den am meisten beschränkenden Beanspruchungszeitpunkt auf der Basis des zulässigen Risikoniveaus, wie es durch den Benutzer für jeden Fehlermechanismus bereitgestellt wird. Falls unter Verwendung der in den vorherigen Beispielen zur Veranschaulichung dargebotenen Daten der Benutzer ein zulässiges Risikoniveau von 5% für die Rissgrösse bereitstellt und der vorbestimmte betriebliche Grenzwert für die Rissgrösse 0,5 beträgt, berechnet der Block 106 des Algorithmus den Beanspruchungszeitpunkt, an dem das konditionale Risiko, dass eine Rissgrösse von 0,5 vorliegen wird, 5% beträgt. In Block 108 berechnet der Algorithmus die restliche Nutzungslebensdauer des Teils oder der Komponente auf der Basis der Differenz zwischen dem momentanen Beanspruchungszeitpunkt und dem in Block 106 berechneten am meisten beschränkenden Beanspruchungszeitpunkt.

[0033] Zurückkehrend zu Fig. 5 erzeugt der Anlagerisikoanalysealgorithmus das Ausgangssignal 42, das die Ergebnisse der Anlagerisikoanalyse wiedergibt. Z.B. kann das Ausgangssignal 42 Reparaturpläne 44 und/oder Wartungspläne 46 und/oder eine Nutzungslebensdauerhochrechnung für die Gasturbine im Einsatz 10 oder eine Komponente in dieser enthalten.

[0034] Fig. 7 veranschaulicht in grafischer Weise hypothetische Schadensverlaufskurven, die durch den Anlagerisikoanalysealgorithmus gemäss einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erzeugt werden können. Die horizontale Achse repräsentiert das Beanspruchungsintervall (z.B. die Betriebsstunden, Startvorgänge, Abschaltvorgänge, unplanmässige Auslösungen oder beliebige sonstige Beanspruchungsdaten im Zusammenhang mit einem Fehlermechanismus) zwischen Stillständen zur Reparatur und/oder Wartung, und die vertikale Achse repräsentiert das Mass der Beschädigung an einem Teil oder einer Komponente in der Gasturbine im Einsatz 10. Eine horizontale Linie über der Grafik repräsentiert die vorbestimmte Parametergrenze 110 oder betriebliche Grenze eines Teils oder einer Komponente, wie durch den Benutzer festgelegt.

[0035] Jede Kurve auf der Grafik in Fig. 7 repräsentiert eine hypothetische Schadensverlaufskurve. Z.B. spiegelt die mit 112 bezeichnete Kurve gemäss dem Flottenmodell ein Risiko von 5% dafür wieder, dass ein Teil oder eine Komponente, die keine detektierte Beschädigung aufweist, vor dem mit 114 bezeichneten Beanspruchungsintervall die vorbestimmte Parametergrenze 110 überschreiten wird. Die mit 116 bezeichnete Kurve spiegelt ein Risiko gemäss dem Flottenmodell von 95% dafür wieder, dass ein Teil oder eine Komponenten ohne eine detektierte Beschädigung vor dem mit 118 be-

gezeichneten Beanspruchungsintervall die vorbestimmte Parametergrenze 110 überschreiten wird. Die mit 120 bezeichnete Kurve spiegelt ein Risiko gemäss dem aktualisierten Flottenmodell oder Anlagemodell von 5% dafür wieder, dass ein Teil oder eine Komponente ohne eine detektierte Beschädigung vor dem mit 122 bezeichneten Beanspruchungsintervall die vorbestimmte Parametergrenze 110 überschreiten wird. Die mit 124 bezeichnete Kurve spiegelt ein Risiko gemäss dem aktualisierten Flottenmodell oder Anlagemodell von 95% dafür wieder, dass ein Teil oder eine Komponente ohne eine detektierte Beschädigung vor dem mit 126 bezeichneten Beanspruchungsintervall die vorbestimmte Parametergrenze 110 überschreiten wird. Die verschiedenen Datenpunkte, die mit 128 bezeichnet sind, repräsentieren tatsächliche Inspektionsergebnisse, die vorstehend verschiedentlich als Anlageparameterinformationen oder Schadensdaten 72 bezeichnet wurden und die anhand des Anlagedatensignals 30 zu dem Prozessor 22 übermittelt werden. Erneut beziehend auf Fig. 2 werden diese Schadensdaten 72 in Block 38 zu dem Anlagemodell hinzugefügt, um die aktualisierten Parameterinformationen 41 zu erzeugen. Die Anlagerisikoanalyse kombiniert die aktualisierten Parameterinformationen 41 mit Informationen in dem Risikosignal 32, um die tatsächliche Risikokurve für die Gasturbine im Einsatz 10 zu bestimmen.

[0036] Fig. 8 veranschaulicht in grafischer Weise hypothetische Nutzungslebensdauercurven, die durch den Algorithmus erzeugt werden, wie er vorstehend im Zusammenhang mit Fig. 6 erläutert ist. In dieser Darstellung repräsentiert die horizontale Achse die Beanspruchungsgrenze in Betriebsstunden, und die vertikale Achse repräsentiert die Beanspruchungsgrenze für Startvorgänge. Es können andere Beanspruchungsgrenzen in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren, wie beispielsweise dem Fehlermechanismus, dem speziellen Teil oder der speziellen Komponente, den Beanspruchungsdaten für die Gasturbine im Einsatz 10 etc. anwendbar sein. Die mit 130 bezeichnete Kurve repräsentiert eine hypothetische Nutzungslebensdauercurve für ein Teil oder eine Komponente für einen bestimmten Fehlermechanismus. Der Punkt 132 repräsentiert eine vorgesehene Nutzungslebensdauer für ein Teil oder eine Komponente für eine gegebene Kombination von Startvorgängen und Betriebsstunden. Die mit 134 bezeichnete Kurve repräsentiert eine neue Nutzungslebensdauercurve für das Teil oder die Komponente, wie sie durch die Blöcke 106 und 108 in Fig. 6 berechnet wird. Wie veranschaulicht, zeigt die neue Nutzungslebensdauercurve 134 die erhöhte Anzahl von Startvorgängen und Betriebsstunden, die das Teil oder die Komponente aufweisen kann, bevor der Fehlermechanismus eintritt.

[0037] Diese Beschreibung verwendet Beispiele, um die Erfindung, einschliesslich der besten Ausführungsart, zu offenbaren und auch um jedem Fachmann auf dem Gebiet zu ermöglichen, die Erfindung umzusetzen, wozu die Schaffung und Verwendung jeglicher Vorrichtungen oder Systeme und die Durchführung jeglicher enthaltener Verfahren gehören. Der patentierbare Umfang der Erfindung ist durch die Ansprüche definiert und kann weitere Beispiele enthalten, die Fachleuten auf dem Gebiet einfallen. Derartige weitere Beispiele sollen in dem Schutzbereich der Ansprüche liegen, wenn sie strukturelle Elemente enthalten, die sich von dem Wortsinn der Ansprüche nicht unterscheiden, oder wenn sie äquivalente strukturelle Elemente mit gegenüber dem Wortsinn der Ansprüche unwesentlichen Unterschieden enthalten.

[0038] Ein System 20 zur Überwachung einer Gasturbine 10 enthält eine Datenbank 26, die Informationen von vergleichbaren Gasturbinen enthält, und eine Eingabevorrichtung 34, die ein Anlagedatensignal 30 und ein Risikosignal 32 erzeugt. Ein Prozessor 22, der mit dem Speicher und der Eingabevorrichtung 34 in Kommunikationsverbindung steht, nimmt das Anlagedatensignal 30 in die Datenbank 26 auf, rechnet Informationen für die Gasturbine 10 hoch und berechnet ein konditionales Risiko dafür, dass die Gasturbine 10 eine Grenze erreichen wird. Ein Ausgangssignal 42 enthält Reparatur- oder Wartungszeitpläne. Ein Verfahren zum Überwachen einer Gasturbine 10 enthält ein Empfangen von Informationen von vergleichbaren Gasturbinen, Hinzufügen von Informationen von der Gasturbine 10 zu den Informationen von vergleichbaren Gasturbinen und Projizieren von Informationen für die Gasturbine 10 in die Zukunft. Das Verfahren enthält ferner ein Berechnen eines konditionalen Risikos dafür, dass die Gasturbine 10 eine Grenze erreichen wird, und Erzeugen eines Ausgangssignals 42, das Reparatur- oder Wartungszeitpläne enthält.

Bezugszeichenliste

[0039]

- 10 Gasturbine
- 12 Verdichter
- 14 Brennkammer
- 16 Turbine
- 20 System
- 22 Prozessor
- 24 Flottenmodellsignal
- 26 Datenbank
- 28 Flottendatensignal

30	Anlagedatensignal
32	Risikosignal
33	aktualisiertes Flottenmodellsignal
34	Eingabevorrichtung
36	Flottenmodellverifikationsblock
38	Anlagemodellerzeugungsblock
40	Anlagerisikoanalyseblock
41	Parameterinformationen vom Anlagemodell
42	Ausgangssignal
44	Reparaturplan
46	Wartungsplan
48	Nutzungslebensdauerhochrechnung
50	Flottendatenimportblock
52	Flottenbeanspruchungsdaten
54	Flottenschadensdaten
56	Flottendatensortierungsblock
58	Flottendatengruppierungsblock
60	Flottenvergleichsblock
62	Flottenaktualisierungsblock
66	Flottenflagblock
68	Anlagedatenimportblock
70	Anlagebeanspruchungsdaten
72	Anlageschadensdaten
74	Anlagedatensortierungsblock
76	Anlagedatengruppierungsblock
78	Anlagevergleichsblock
80	Anlageaktualisierungsblock
84	Anlageflagblock
86	Eingabeblock der Anlagerisikoanalyse
88	Importblock der Anlagerisikoanalyse
90	Risikoanalysegleichungsblock der Anlagerisikoanalyse
92	Konditionalrisikoberechnungsblock der Anlagerisikoanalyse
94	Zuverlässigkeitsberechnungsblock der Anlagerisikoanalyse
96	Nutzungslebensdauerberechnungsblock der Anlagerisikoanalyse
98	Eingabeblock für die Nutzungslebensdauerberechnung
100	Importblock für die Nutzungslebensdauerberechnung

- 102 Schadensmittelwertberechnungsblock für die Nutzungslebensdauerberechnung
- 104 Fehlerwahrscheinlichkeitsberechnungsblock für die Nutzungslebensdauerberechnung
- 106 Berechnung der Ausfallzeit beim Risiko für die Nutzungslebensdauerberechnung
- 108 Berechnung der restlichen Nutzungslebensdauer für die Nutzungslebensdauerberechnung
- 110 betriebliche Grenze
- 112 5%-Flottenkurve
- 114 5%-Flottengrenze
- 116 95%-Flottenkurve
- 118 95%-Flottengrenze
- 120 5%-Anlagekurve
- 122 5%-Anlagegrenze
- 124 95%-Anlagekurve
- 126 95%-Anlagegrenze
- 128 Anlagedaten
- 130 hypothetische Nutzungslebensdauerkurve
- 132 vorgesehenes Lebensende
- 134 Kurve des neuen Lebensendes

Patentansprüche

1. System (20) zur Überwachung des Verhaltens einer Gasturbine im Einsatz (10), umfassend:
 - a) ein Speicherelement, das eine Datenbank (26) mit historischen Parameterinformationen von vergleichbaren Gasturbinen enthält;
 - b) eine Eingabevorrichtung (34), wobei die Eingabevorrichtung (34) eine Vorrichtung, insbesondere einen Computer, umfasst, die dazu ausgebildet ist, ein Anlagedatensignal (30), das Parameterinformationen von der Gasturbine im Einsatz (10) enthält, und ein Risikosignal (32) zu erzeugen, das einen Risikowert für die Gasturbine im Einsatz (10) enthält, beispielsweise Anlagebeanspruchungsdaten, zulässige Risikoniveaus für jeden Fehlermechanismus und/oder das nächste Wartungsintervall für die Gasturbine im Einsatz (10);
 - einen Prozessor (22) in Kommunikationsverbindung mit dem Speicherelement und der Eingabevorrichtung (34), wobei der Prozessor (22) das Anlagedatensignal (30) in die Datenbank (26) mit Parameterinformationen von vergleichbaren Gasturbinen aufnimmt, Parameterinformationen für die Gasturbine im Einsatz (10) hochrechnet und ein konditionales Risiko dafür berechnet, dass die hochgerechneten Parameterinformationen für die Gasturbine im Einsatz (10) eine vorbestimmte Parametergrenze erreichen werden; und
 - c) ein Ausgangssignal (42), das durch den Prozessor (22) erzeugt wird, wobei das Ausgangssignal (42) wenigstens entweder Reparatur- und/oder Wartungsplanungsinformationen enthält.
2. System (20) nach Anspruch 1, ferner umfassend ein von der Datenbank (26) zum Prozessor (22) übertragenes Flottenmodellsignal (24), wobei das Flottenmodellsignal (24) durch ein in der Datenbank (26) enthaltenes Flottenmodell unter Verwendungen der historischen Parameterinformationen hochgerechnete Parameterinformationen von vergleichbaren Gasturbinen enthält.
3. System (20) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei die Datenbank (26) mit historischen Parameterinformationen von vergleichbaren Gasturbinen Daten enthält, die wenigstens entweder den Betrieb und/oder Reparaturen und/oder Wartungsmassnahmen der vergleichbaren Gasturbinen widerspiegeln.
4. System (20) nach einem der Ansprüche 1–3, wobei das Anlagedatensignal (30) Daten enthält, die wenigstens entweder den Betrieb und/oder Reparaturen und/oder die Wartung der Gasturbine im Einsatz (10) widerspiegeln.
5. System (20) nach einem der Ansprüche 1–4, wobei der Prozessor (22) das Ausgangssignal (42) auf der Basis eines Vergleichs des konditionalen Risikos mit dem Risikowert erzeugt.
6. System (20) nach einem der Ansprüche 1–5, wobei das Ausgangssignal (42) eine hochgerechnete Nutzungslebensdauer einer Komponente in der Gasturbine im Einsatz (10) enthält.

7. Verfahren zum Überwachen des Verhaltens einer Gasturbine im Einsatz (10), umfassend:
 - a) Empfangen von historischen Parameterinformationen von vergleichbaren Gasturbinen;
 - b) Hinzufügen von Parameterinformationen von der Gasturbine im Einsatz (10) zu den Parameterinformationen von vergleichbaren Gasturbinen;
 - c) Hochrechnung der Parameterinformationen für die Gasturbine im Einsatz (10);
 - d) Berechnen eines konditionalen Risikos dafür, dass die hochgerechneten Parameterinformationen für die Gasturbine im Einsatz (10) eine vorbestimmte Parametergrenze erreichen werden; und
 - e) Erzeugen eines Ausgangssignals (42), das wenigstens entweder einen Reparaturplan und/oder einen Wartungsplan für die Gasturbine im Einsatz (10) enthält, auf der Basis des konditionalen Risikos.
8. Verfahren nach Anspruch 7, das ferner ein Vergleichen des konditionalen Risikos mit einem vorbestimmten Risikowert umfasst.

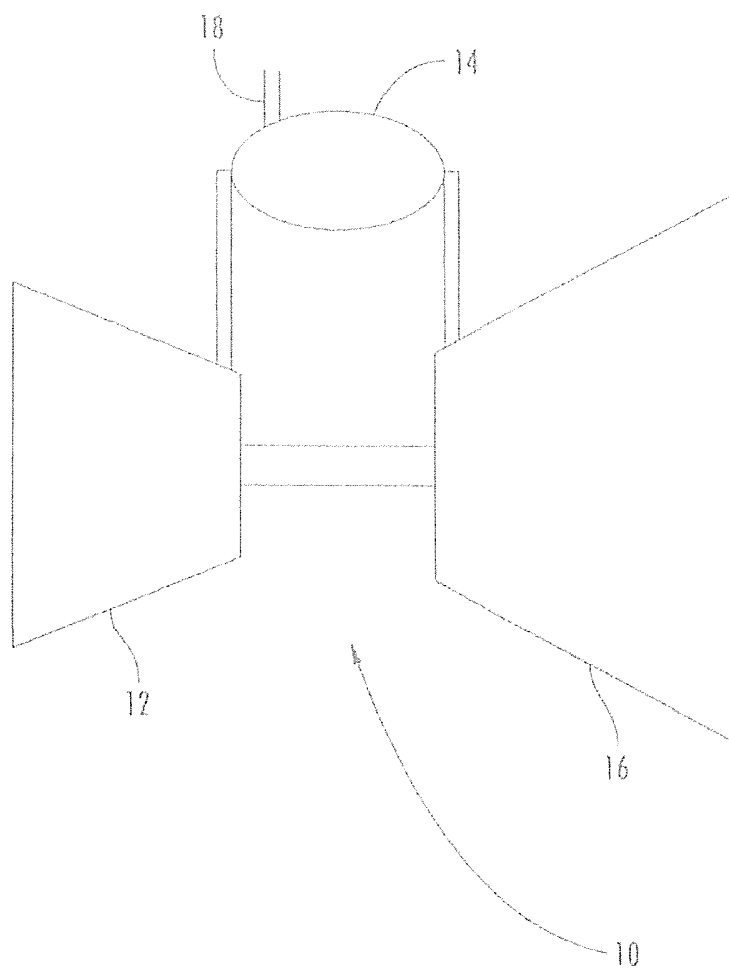


FIGURE 1

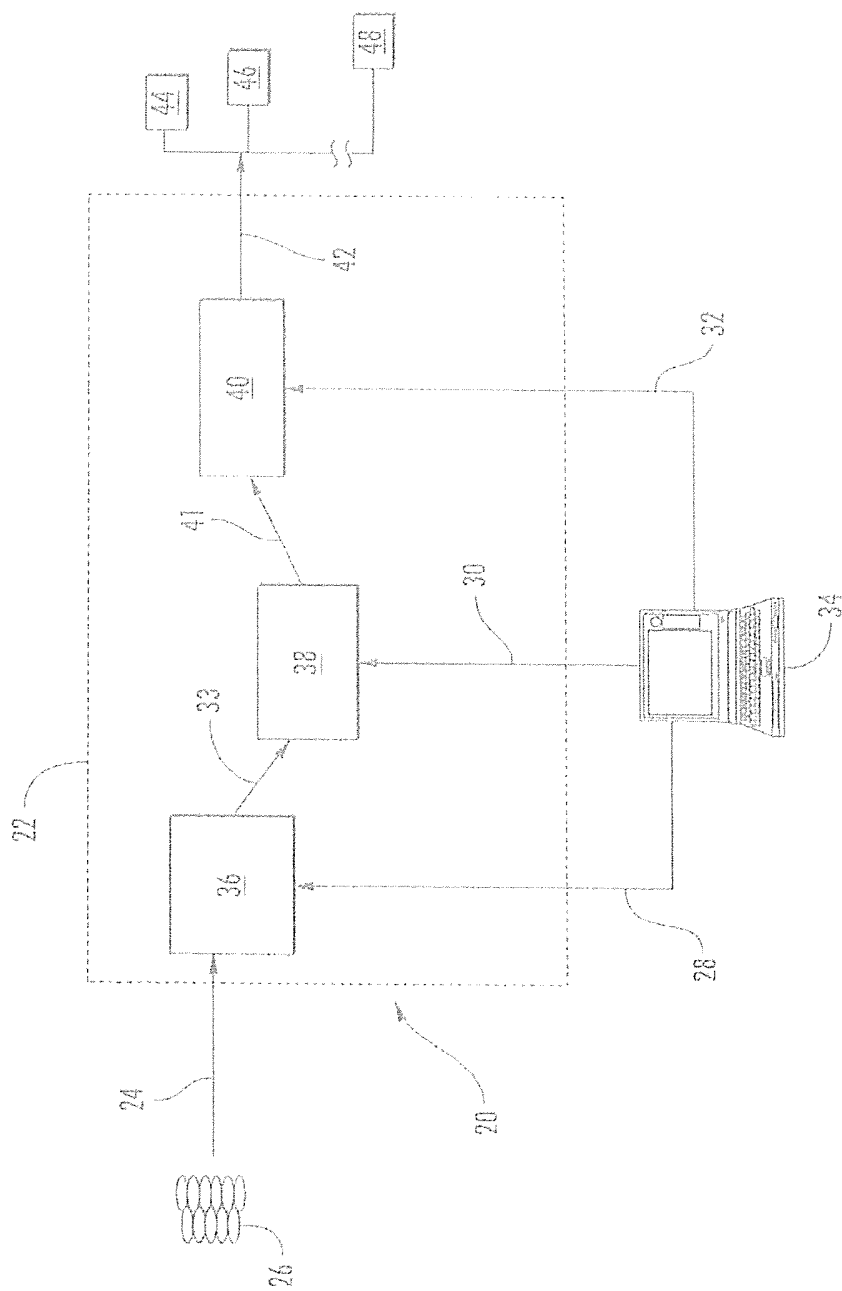
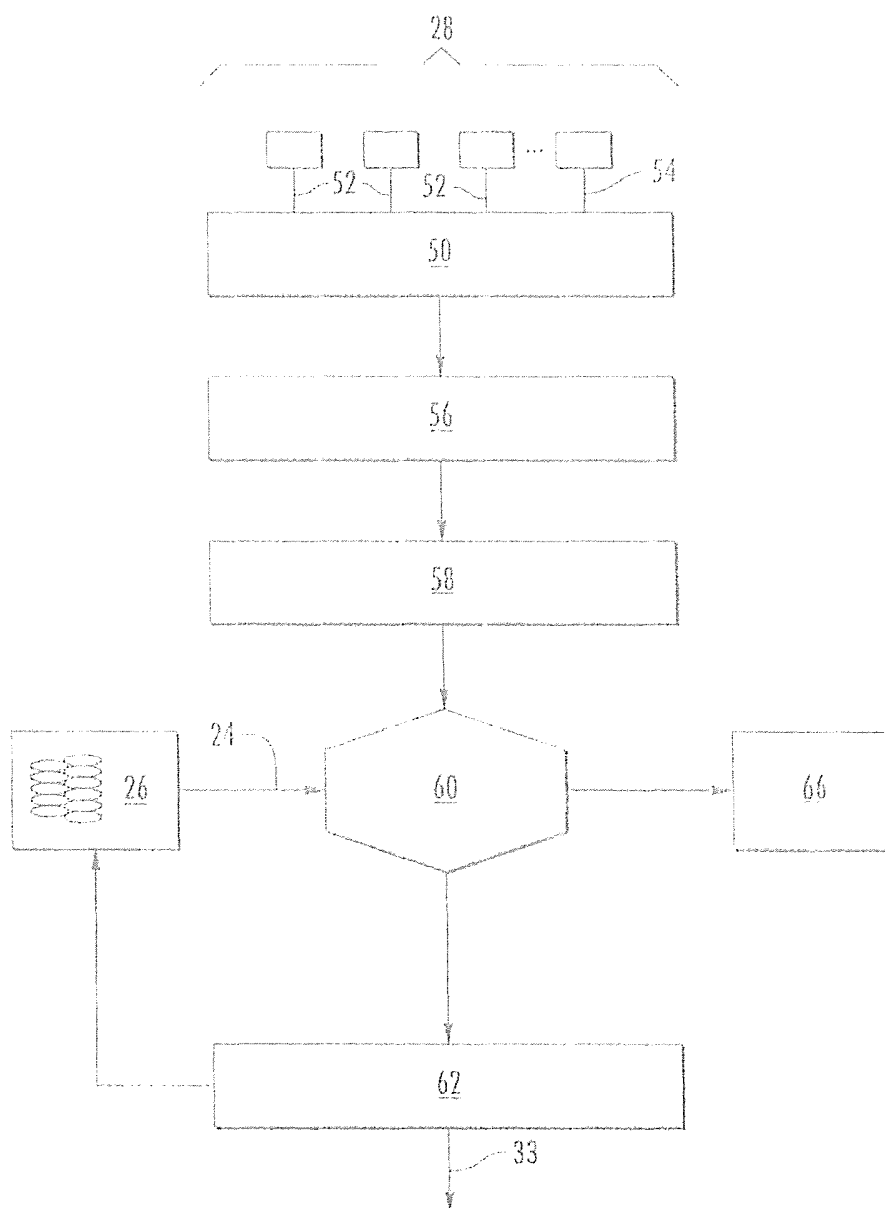
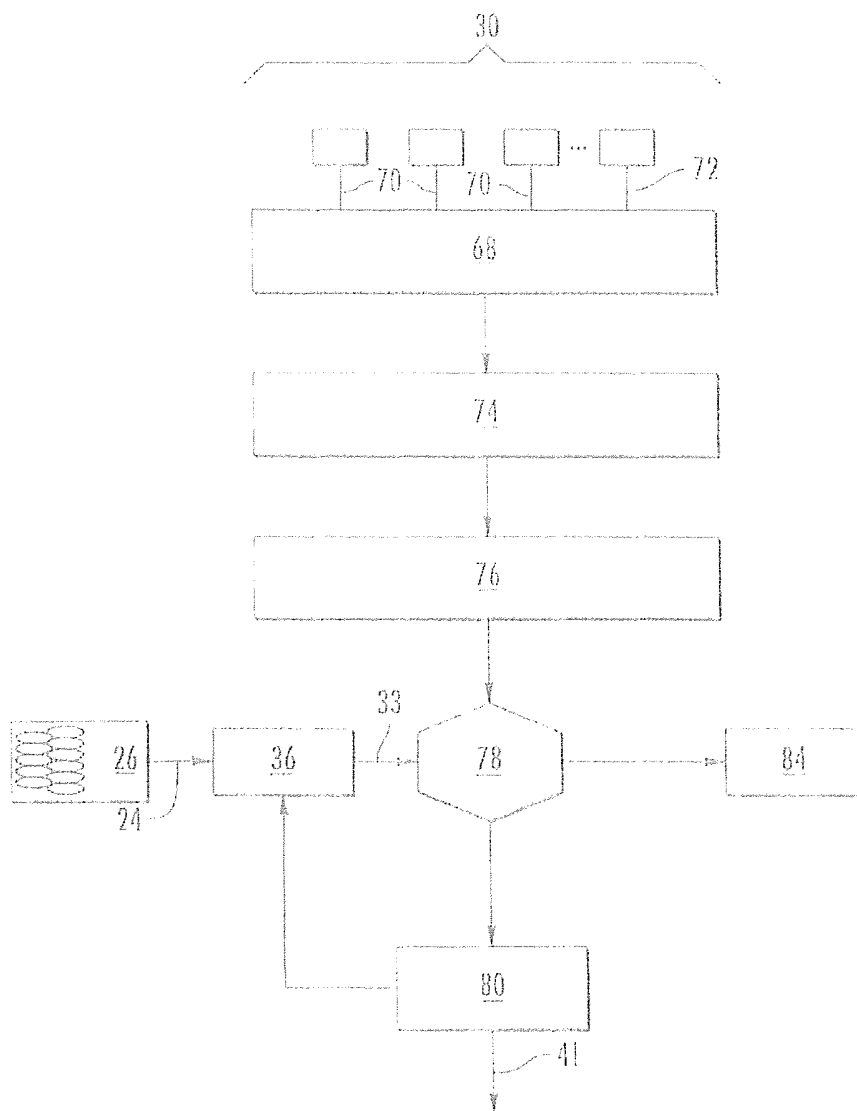


FIGURE 2



FIGUR 3



FIGUR 4

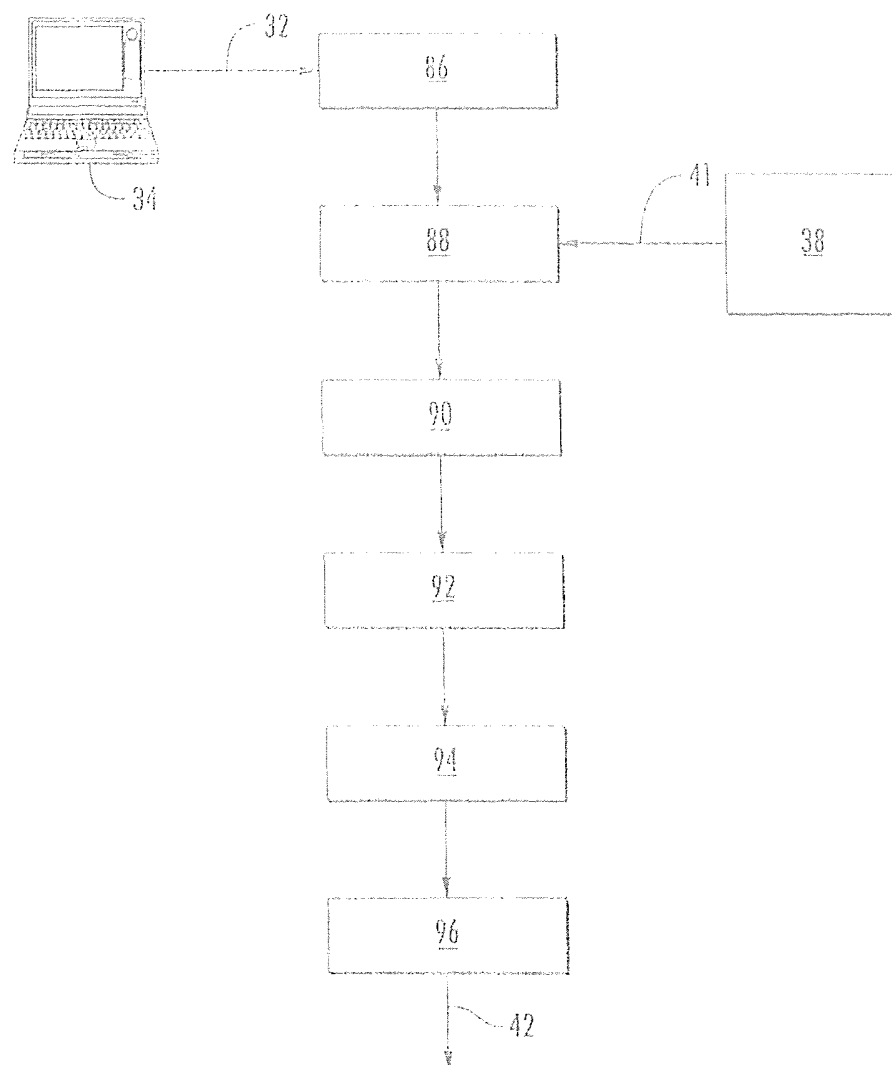


FIGURE 5

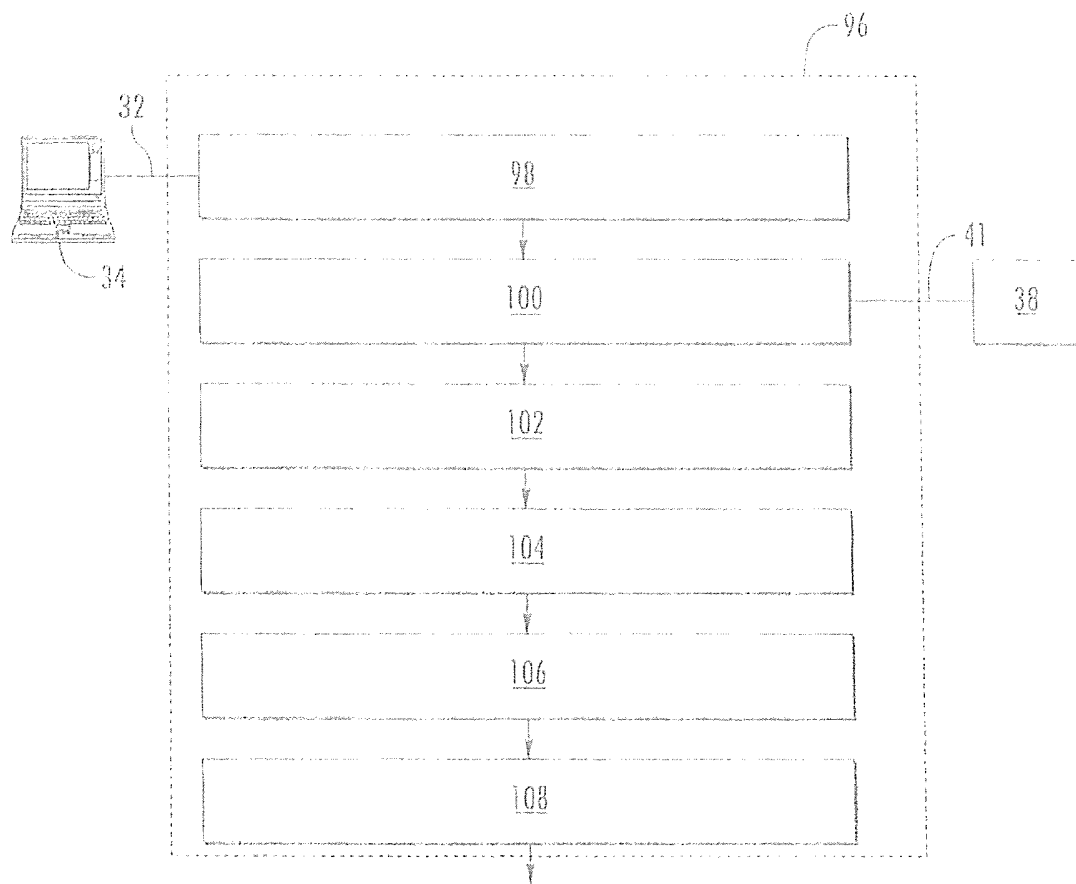
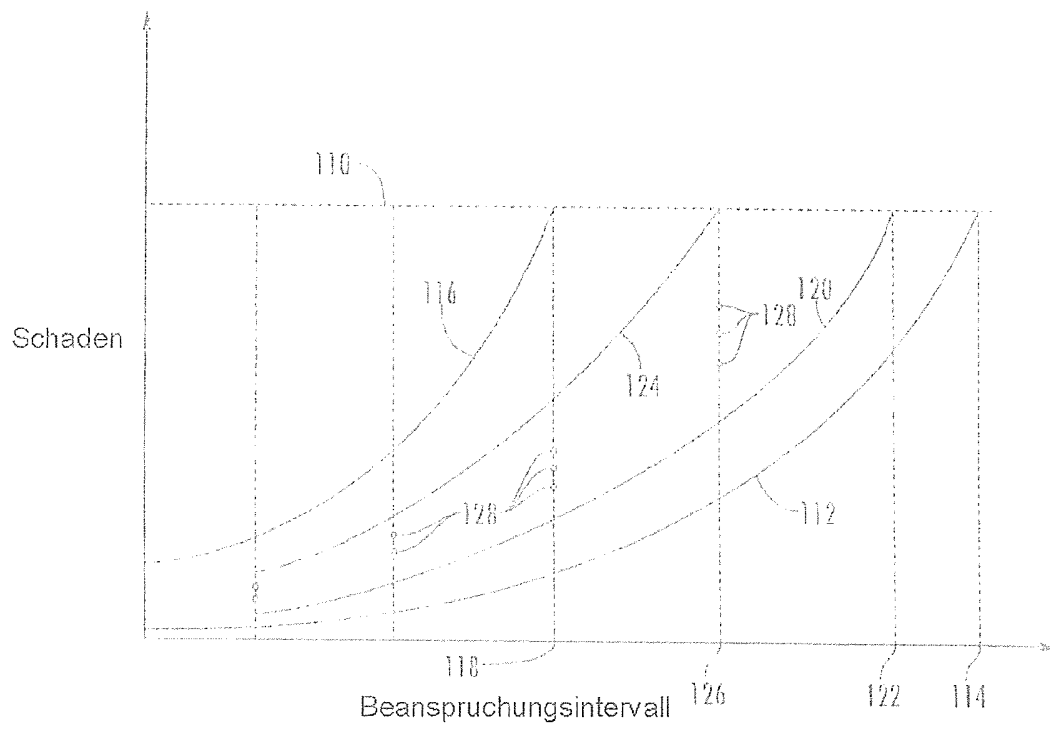
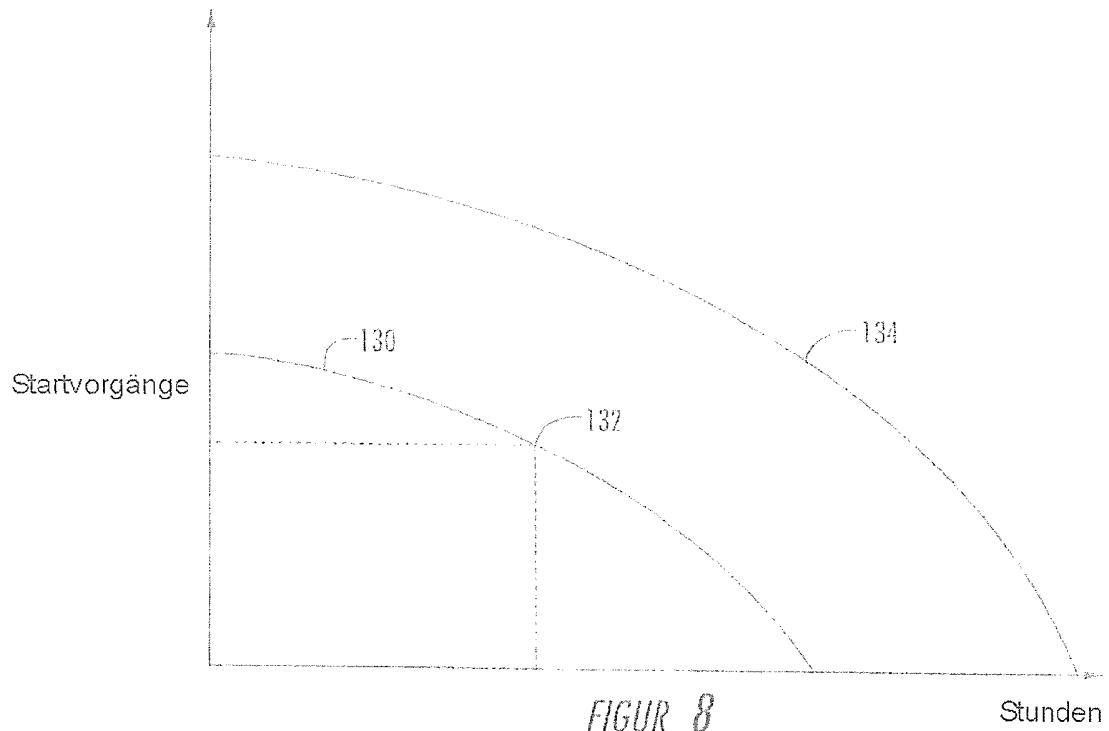


FIGURE 6



FIGUR 7



FIGUR 8