



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH

706 827 A2

(51) Int. Cl.: F01D 25/00 (2006.01)
G01N 3/56 (2006.01)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 01395/13

(22) Anmeldedatum: 14.08.2013

(43) Anmeldung veröffentlicht: 14.02.2014

(30) Priorität: 14.08.2012 US 13/585194

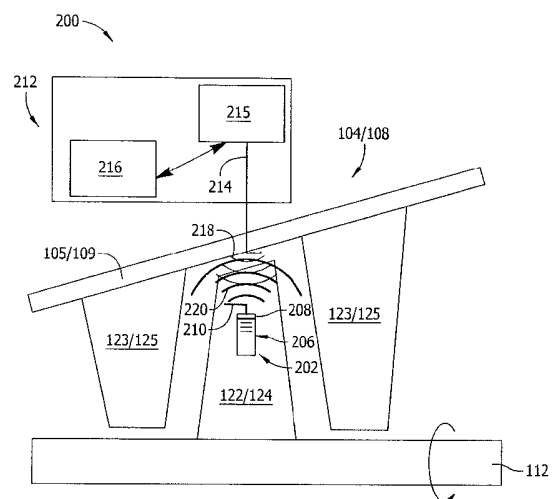
(71) Anmelder:
General Electric Company, 1 River Road
Schenectady, New York 12345 (US)

(72) Erfinder:
Nilesh Tralshawala, Schenectady, NY 12345 (US)
Harold Edward Miller, Granville, NK 12302 (US)
Vivek Venugopal Badami, Schenectady, NY 12345 (US)
Sameer Vittal, Atlanta, GA 30067 (US)
Daniel White Sexton, Niskayuna, NK 12309 (US)

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

(54) Kriechlebensdauermanagementsystem für eine Turbine und Verfahren zum Betreiben derselben.

(57) Ein Kriechlebensdauermanagementsystem (200) enthält wenigstens eine Sensorvorrichtung (202), die mit einer ersten Komponente (122/124) gekoppelt ist. Die wenigstens eine Sensorvorrichtung (202) ist mit einer eindeutigen Kennung eingerichtet. Das Kriechlebensdauermanagementsystem enthält ferner wenigstens eine Leseinheit (212), die mit einer zweiten Komponente (105/109/110) gekoppelt ist. Die wenigstens eine Leseinheit (212) ist konfiguriert, um ein Abfrageanforderungssignal (218/418/518) zu der wenigstens einen Sensorvorrichtung (212) zu senden und ein Messantwortsignal (220) zu empfangen, das von der wenigstens einen Sensorvorrichtung übermittleit wird. Das Kriechlebensdauermanagementsystem enthält ferner wenigstens einen Prozessor (216), der programmiert ist, um ein Echtzeit-Kriechprofil der ersten Komponente in Abhängigkeit von dem Messantwortsignal (220), das von der wenigstens einen Sensorvorrichtung (202) übermittleit wird, zu bestimmen.



Beschreibung

Erklärung zur vom US-Bundesstaat geförderten Forschung und Entwicklung

[0001] Diese Erfindung wurde mit Unterstützung der US-Regierung unter der Auftragsnummer DE-FC26-05NT42643 geschaffen, der von dem Energieministerium (Department of Energy, DOE) vergeben wurde. Die US-Regierung hat bestimmte Rechte an dieser Erfindung.

Hintergrund zu der Erfindung

[0002] Die hierin beschriebenen Ausführungsformen betreffen allgemein die Zustandsüberwachung von Systemen und Ausrüstungen und insbesondere ein Verfahren und System zur Verwendung bei der Zustandsüberwachung von Turbomaschinen.

[0003] Wenigstens einige bekannte Turbomaschinen, d.h. Gasturbinen, verdichten Luft mittels mehrerer drehbarer Verdichterlaufschaufeln und zünden ein Brennstoff-Luft-Gemisch in einer Brennkammer, um Verbrennungsgase zu erzeugen, die durch drehbare Turbinenlaufschaufeln über einen Heissgaspfad geleitet werden. Ferner leiten wenigstens einige andere bekannte Turbomaschinen, z.B. Dampfturbinen, Dampf an drehbaren Laufschaufeln vorbei über einen Dampfpfad. Derartige bekannte Turbomaschinen wandeln Wärmeenergie des Verbrennungsgasstroms und Dampfes in mechanische Energie um, die verwendet wird, um eine Turbinenwelle zu drehen. Die Ausgabe der Turbomaschinen kann verwendet werden, um eine Maschine, z.B. einen Elektrogenerator, einen Verdichter oder eine Pumpe, anzutreiben.

[0004] Viele bekannte Verdichterlaufschaufeln und Turbinenlaufschaufeln werden mittels Prozessen hergestellt, die eine Fertigung derartiger Verdichterschaufeln und Turbinenschaufeln mit gleich bleibenden Materialeigenschaften zwischen gleichen Einheiten von diesen ermöglichen. Jedoch können geringe Materialschwankungen in den Materialeigenschaften der Verdichterschaufeln und Turbinenschaufeln vorhanden sein, und diese sind schwer zu detektieren. Sobald diese Verdichterschaufeln und Turbinenschaufeln in Betrieb genommen worden sind, beginnen diese feinen Unterschiede, Schwankungen der Restnutzungsdauer (RND) der Verdichterschaufeln und Turbinenschaufeln hervorzurufen.

[0005] Wenigstens einige bekannte Wartungsreparaturprozesse für Turbomaschinenkomponenten, wie beispielsweise Verdichterschaufeln und Turbinenschaufeln, verwenden standardisierte Prüf- und Reparaturverfahren, die auf alle ähnliche Ausrüstungsteile angewandt werden, um die Ausrüstung anhand eines standardisierten Arbeitsumfangs zu bearbeiten. Derartige standardisierte Arbeitsumfänge können eine Demontage der Turbomaschine, extensive Überprüfungen und fehlerbehebende Reparaturprozeduren umfassen, die auf jede Komponente unabhängig von dem tatsächlichen Zustand jeder Komponente angewandt werden. Zum Beispiel kann ein Komponentenmodell, das geschaffen wird, um die Lebensdauer für die Komponente vorherzusagen, einen Austauschplan bestimmen, und diese Werte werden verwendet, um Austauschvorgänge zu planen. Infolgedessen können Komponenten, die wenige oder keine Defekte aufweisen, mit einem ähnlichen Ressourcenaufwand bearbeitet werden wie diejenigen Komponenten, die beträchtliche Defekte aufweisen, wozu unnötige Austauschvorgänge gehören. Dieser Ressourcenaufwand wird aus finanzieller Sicht als suboptimal angesehen.

[0006] Ferner können wenigstens einige bekannte Wartungsreparaturprozesse für Turbomaschinenkomponenten Unsicherheiten der Ergebnisse zu Überprüfungen enthalten, die standardgemässe zerstörungsfreie Prüfung (ZFP) und anschließende Datenanalyse umfassen. Zum Beispiel liefern viele bekannte ZFP-Prozesse/Analysen keine passenden Korrelationen von Risswachstumsdaten, einschliesslich Risswachstumsraten, als Funktion von Kriechen und Kriechermüdung. Ausserdem gibt es, wenn überhaupt, nur wenige Mechanismen, um Risswachstumsraten für spezielle Komponenten zu charakterisieren. Folglich ist es schwierig, eine Restnutzungsdauer einer Komponente, die einem fortschreitenden Kriechen unterworfen ist, zu bestimmen. Ein Kriechen wird geschätzt, indem Abmessungen der Komponenten gemessen und Veränderungen der Abmessungen im Laufe der Zeit verfolgt werden. Praktiken beim Aufbewahren von Aufzeichnungen sind nicht standardisiert, und aufgrund von Ungewissheiten bezüglich der ursprünglichen Abmessungen der Komponenten und nachfolgenden Messungen sind häufig genaue Bestimmungen des Kriechens schwer zu bewerkstelligen.

[0007] Ferner enthalten wenigstens einige bekannte Messsysteme für arbeitende Turbinen und Verdichter Messinstrumente, die mit den Verdichterschaufeln und Turbinenschaufeln gekoppelt sind. Diese Systeme erfordern gewöhnlich eine aufwendige Verdrahtung, Modifikationen an den Verdichterschaufeln und Turbinenschaufeln zur Unterbringung der Verdrahtung und komplizierte Schleifringkonfigurationen, die aufgrund des Drehbetriebs der überwachten Komponenten erforderlich sind, um Messdaten von den Verdichterschaufeln und Turbinenschaufeln zu einer externen Datenspeicher- und -analyseeinheit zu übermitteln. Folglich erhöhen derartige Systeme Konstruktions- und Instandhaltungskosten.

Kurze Beschreibung der Erfindung

[0008] In einem Aspekt ist ein Kriechlebensdauermanagementsystem geschaffen. Das Kriechlebensdauermanagementsystem enthält wenigstens eine Sensorvorrichtung, die mit einer ersten Komponente gekoppelt ist. Die wenigstens eine Sensorvorrichtung ist mit einer eindeutigen Kennung eingerichtet. Das Kriechlebensdauermanagementsystem enthält ferner wenigstens eine Leseinheit, die mit einer zweiten Komponente gekoppelt ist. Die wenigstens eine Leseinheit ist konfiguriert, um ein Abfrageanforderungssignal zu der wenigstens einen Sensorvorrichtung zu senden und ein von der wenigstens einen Sensorvorrichtung übermitteltes Messantwortsignal zu empfangen. Das Kriechlebensdauermanagementsystem enthält ferner wenigstens einen Prozessor, der programmiert ist, um ein Echtzeit-Kriechprofil der ersten

Komponente in Abhängigkeit von dem von der wenigstens einen Sensorvorrichtung übermittelten Messantwortsignal zu bestimmen.

[0009] Besonders vorteilhafte und bevorzugte Ausführungsformen des Systems gemäss dem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung umfassen insbesondere eine oder mehrere der folgenden Ausführungsformen:

[0010] Der wenigstens eine Prozessor, der programmiert ist, um ein Echtzeit-Kriechprofil zu bestimmen, kann programmiert sein, um wenigstens eines von einem historischen Temperaturprofil, einem historischen Dehnungsprofil und einem historischen Kriechprofil der ersten Komponente zu bestimmen.

[0011] Der wenigstens eine Prozessor kann ferner programmiert sein, um einen Betreiber zu alarmieren, wenn ein gemessener Echtzeit-Dehnungswert der ersten Komponente sich wenigstens entweder einem vorbestimmten Wert annähert und/oder den vorbestimmten Wert erreicht und/oder den vorbestimmten Wert überschreitet.

[0012] Der wenigstens eine Prozessor, der programmiert ist, um ein Echtzeit-Kriechprofil zu bestimmen, kann programmiert sein, um eine Echtzeit-Restnutzungsdauer(RND)-Schätzung für die erste Komponente in Abhängigkeit von dem Messantwortsignal zu ermitteln, das von der wenigstens einen Sensorvorrichtung übermittelt wird. Dann kann der wenigstens eine Prozessor ferner programmiert sein, um die RND-Schätzung für mehrere erste Komponenten zu ermitteln, wobei der wenigstens eine Prozessor ferner programmiert sein kann, um wenigstens eine der folgenden Massnahmen zu bestimmen: einen Vergleich zwischen jeder RND-Schätzung für jede erste Komponente der mehreren ersten Komponenten, wobei der Vergleich wenigstens teilweise eine priorisierte Reihenfolge von Wartungsmassnahmen für die mehreren ersten Komponenten repräsentiert; und einen Vergleich zwischen jeder RND-Schätzung für jede erste Komponente der mehreren ersten Komponenten und wenigstens einem vorbestimmten RND-Parameter.

[0013] Das Kriechlebensdauermanagementsystem kann ferner wenigstens entweder mehrere erste Antennen, die mit der wenigstens einen Leseeinheit gekoppelt sind, und/oder mehrere Sensorvorrichtungen aufweisen, die mehrere zweite Antennen aufweisen. Jede der mehreren ersten Antennen und der mehreren zweiten Antennen ist vorzugsweise derart positioniert, dass ein Abstand zwischen jeder der mehreren ersten Antennen wenigstens entweder wenigstens 3 einer Wellenlänge und/oder wenigstens ein räumlicher Kohärenzabstand ist, der mit einem drahtlosen Kanal verbunden ist, der durch wenigstens eine der mehreren ersten Antennen und wenigstens eine der mehreren zweiten Antennen definiert ist, und ein Abstand zwischen jeder der mehreren zweiten Antennen wenigstens entweder wenigstens 3 einer Wellenlänge und/oder wenigstens ein räumlicher Kohärenzabstand ist, der mit dem drahtlosen Kanal verbunden ist, der durch die wenigstens eine der mehreren ersten Antennen und wenigstens eine der mehreren zweiten Antennen definiert ist.

[0014] Die wenigstens eine Sensorvorrichtung und die wenigstens eine Leseeinheit können in drahtloser Kommunikationsverbindung stehen, und die wenigstens eine Sensorvorrichtung kann wenigstens einen Dehnungsmesssensor und einen Temperaturmesssensor aufweisen.

[0015] In einem weiteren Aspekt ist ein Verfahren zum Betreiben einer Turbine geschaffen. Die Turbine enthält wenigstens eine drehbare Komponente, wenigstens eine stationäre Komponente und ein Kriechlebensdauermanagementsystem, das einen ersten Abschnitt, der mit der wenigstens einen drehbaren Komponente gekoppelt ist, und einen zweiten Abschnitt enthält, der mit der wenigstens einen stationären Komponente gekoppelt ist. Das Verfahren enthält ein Drehen der wenigstens einen drehbaren Komponente in Bezug auf die wenigstens eine stationäre Komponente und Abfragen des ersten Abschnitts durch den zweiten Abschnitt. Das Verfahren enthält ferner ein Übertragen eines Antwortsignals von dem ersten Abschnitt als Antwort auf die Abfrage durch den zweiten Abschnitt, wobei das Antwortsignal eine Messung bei der wenigstens einen drehbaren Komponente repräsentiert. Das Verfahren enthält ferner ein Empfangen des Antwortsignals an dem zweiten Abschnitt und Bestimmen eines eindeutigen Kriechprofils für die wenigstens eine drehende Komponente, das wenigstens teilweise auf dem Antwortsignal basiert.

[0016] Besonders vorteilhafte und bevorzugten Ausführungsformen des Verfahrens gemäss dem zweiten Aspekt umfassen insbesondere eine oder mehrere der folgenden:

[0017] Das Bestimmen eines eindeutigen Kriechprofils für die wenigstens eine drehbare Komponente kann ein Bestimmen des Messwertes von wenigstens entweder einer Temperatur und/oder einer Dehnung und/oder einer Kriechrate der wenigstens einen drehbaren Komponente in Echtzeit anhand des Antwortsignals und Bestimmen eines Kriechstadiums der wenigstens einen drehbaren Komponente aus dem Messwert aufweisen.

[0018] Zusätzlich kann das Verfahren ferner ein Alarmieren eines Betreibers aufweisen, wenn ein Echtzeit-Messwert der wenigstens einen drehbaren Komponente wenigstens entweder sich einem vorbestimmten Wert annähert und/oder den vorbestimmten Wert erreicht und/oder den vorbestimmten Wert überschreitet.

[0019] Noch weiter kann das Verfahren ausserdem ein Unterstützen eines Betriebs eines zustandsbasierten Wartungssystems ermöglichen, indem wenigstens entweder ein Betreiber der Turbine angewiesen wird, eine Überwachung der wenigstens einen drehbaren Komponente mittels des Kriechlebensdauermanagementsystems zu verstärken, und/oder ein Betreiber der Turbine angewiesen wird, eine Überprüfung der wenigstens einen drehbaren Komponente einzuplanen.

[0020] Das wenigstens eine eindeutige Kriechprofil kann ein Bestimmen wenigstens entweder eines historischen Temperaturprofils und/oder eines historischen Dehnungsprofils und/oder eines historischen Kriechprofils von der wenigstens einen drehbaren Komponente aufweisen.

[0021] Das Bestimmen eines eindeutigen Kriechprofils kann ein Bestimmen eines kumulativen Echtzeit-Komponentenschadens unter Verwendung einer Komponententemperatur- und -dehnungshistorie aufweisen, wodurch eine Echtzeit-Restnutzungsdauer (RND)-Schätzung für die wenigstens eine drehbare Komponente ermittelt wird. Das Ermitteln einer Echtzeit-RND-Schätzung kann ein Ermitteln einer RND-Schätzung für mehrere drehbare Komponenten, Vergleichen jeder RND-Schätzung für jede erste Komponente der mehreren ersten Komponenten miteinander, wodurch eine priorisierte Reihenfolge von Wartungsmassnahmen für die mehreren ersten Komponenten wenigstens teilweise bestimmt wird, Vergleichen jeder RND-Schätzung für jede erste Komponente der mehreren ersten Komponenten mit wenigstens einem vorbestimmten RND-Parameter, wodurch eine priorisierte Reihenfolge von Wartungsmassnahmen für die mehreren ersten Komponenten wenigstens teilweise bestimmt wird, und Anzeigen einer vergleichenden Betriebshistorie mehrerer drehbarer Komponenten, wodurch eine Identifikation von Betriebszuständen ermöglicht wird, die Verlängerungen einer Nutzungslebensdauer der mehreren ersten Komponenten ermöglichen.

[0022] Das Verfahren kann ferner ein Importieren wenigstens eines von einem historischen Temperaturprofil, einem historischen Dehnungsprofil, einem historischen Kriechprofil und einer RND-Schätzung für die wenigstens eine drehbare Komponente in wenigstens ein physikbasiertes Modell der Turbine und wenigstens entweder ein Verbessern und/oder ein Kalibrieren des wenigstens einen physikbasierten Modells aufweisen.

[0023] In einem weiteren Aspekt ist eine Turbine geschaffen. Die Turbine enthält wenigstens eine drehbare Komponente und wenigstens eine stationäre Komponente. Die Turbine enthält ferner ein Kriechlebensdauermanagementsystem, das wenigstens eine Sensorvorrichtung enthält, die mit der wenigstens einen drehbaren Komponente gekoppelt ist. Die wenigstens eine Sensorvorrichtung ist mit einer eindeutigen Kennung eingerichtet. Das Kriechlebensdauermanagementsystem enthält ferner wenigstens eine Leseinheit, die mit der wenigstens einen stationären Komponente gekoppelt ist. Die wenigstens eine Leseinheit ist konfiguriert, um ein Abfrageanforderungssignal zu der wenigstens einen Sensorvorrichtung zu senden und ein Messantwortsignal von der wenigstens einen Sensorvorrichtung zu empfangen. Das Kriechlebensdauermanagementsystem enthält ferner wenigstens einen Prozessor, der programmiert ist, um ein Echtzeit-Kriechprofil der wenigstens einen drehbaren Komponente in Abhängigkeit von dem Messantwortsignal, das von der wenigstens einen Sensorvorrichtung übermittelt wird, zu bestimmen.

[0024] Besonders vorteilhafte und bevorzugte Ausführungsformen der Turbine gemäss dem dritten Aspekt der vorliegenden Erfindung enthalten diejenigen, die in Verbindung mit dem Kriechlebensdauermanagementsystem und dem Betriebsverfahren gemäss dem ersten bzw. zweiten Aspekt erwähnt sind, und umfassen insbesondere eine oder mehrere der folgenden:

[0025] Die wenigstens eine Sensorvorrichtung kann mehrere Sensorvorrichtungen aufweisen, wobei jede der Sensorvorrichtungen eine Sensorantenne aufweist. Ferner kann die wenigstens eine Leseinheit mehrere Leseantennen aufweisen, wobei jede der Leseantennen mit den mehreren Sensorantennen in entweder einer Eine-zu-viele-Beziehung oder einer Eine-zu-eine-Beziehung kommunikationsmässig verbunden ist.

[0026] Alternativ kann die wenigstens eine Sensorvorrichtung mehrere Sensorvorrichtungen aufweisen, wobei jede der Sensorvorrichtungen eine Sensorantenne aufweist und die wenigstens eine Leseinheit eine Leseantenne aufweist, wobei die Leseantenne mit jeder der Sensorantennen in einer Eine-zu-viele-Beziehung kommunikationsmässig verbunden ist.

[0027] Die wenigstens eine Sensorvorrichtung und die wenigstens eine Leseinheit können in drahtloser Kommunikationsverbindung stehen, und die wenigstens eine Sensorvorrichtung kann wenigstens entweder einen Dehnungsmessensor und/oder einen Temperaturmessensor aufweisen.

[0028] Die wenigstens eine Sensorvorrichtung und die erste Komponente sind vorzugsweise innerhalb wenigstens entweder eines Verdichterabschnitts der Turbine und/oder eines Turbinenabschnitts der Turbine positioniert.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0029]

- Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer beispielhaften Gasturbine;
- Fig. 2 zeigt eine schematisierte Ansicht eines beispielhaften Kriechlebensdauermanagementsystems, das bei der in Fig. 1 veranschaulichten Gasturbine verwendet werden kann;
- Fig. 3 zeigt eine schematisierte Ansicht einer beispielhaften Turbinenschaufel mit mehreren an dieser angeschlossenen Sensoren, die bei der in Fig. 1 veranschaulichten Gasturbine verwendet werden können;
- Fig. 4 zeigt eine schematisierte Ansicht eines alternativen beispielhaften Kriechlebensdauermanagementsystems, das bei der in Fig. 1 veranschaulichten Gasturbine verwendet werden kann;
- Fig. 5 zeigt eine schematisierte Ansicht eines weiteren alternativen beispielhaften Kriechlebensdauermanagementsystems, das bei der in Fig. 1 veranschaulichten Gasturbine verwendet werden kann;

- Fig. 6 zeigt eine schematisierte Ansicht einer beispielhaften Positionierung von Abschnitten der in den Fig. 2, 4 und 5 veranschaulichten Kriechlebensdauermanagementsysteme innerhalb der in Fig. 1 veranschaulichten Gasturbine;
- Fig. 7 zeigt eine schematisierte Ansicht eines Monitors und einer beispielhaften Bildschirmdarstellung, die durch die in den Fig. 2, 4 und 5 veranschaulichten Kriechlebensdauermanagementsysteme erzeugt wird;
- Fig. 8 zeigt eine schematisierte Ansicht eines Monitors und einer weiteren beispielhaften Bildschirmdarstellung, die durch die in den Fig. 2, 4 und 5 veranschaulichten Kriechlebensdauermanagementsysteme erzeugt wird; und
- Fig. 9 zeigt eine schematisierte Ansicht eines Monitors und einer noch weiteren Bildschirmdarstellung, die durch die in den Fig. 2, 4 und 5 veranschaulichten Kriechlebensdauermanagementsysteme erzeugt wird.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

[0030] Fig. 1 zeigt eine schematische Ansicht einer Rotationsmaschine 100, d.h. einer Turbomaschine, und insbesondere einer Turbine. In der beispielhaften Ausführungsform ist die Turbine 100 eine Gasturbine. Alternativ ist die Turbine 100 eine beliebige sonstige Turbine und/oder Rotationsmaschine, einschliesslich, ohne Beschränkung, einer Dampfturbine. In der beispielhaften Ausführungsform enthält die Gasturbine 100 einen Lufteinlassabschnitt 102 und einen Verdichterabschnitt 104, der stromabwärts von dem Einlassabschnitt 102 und in Strömungsverbindung mit diesem angeschlossen ist. Der Verdichterabschnitt 104 ist in einem Verdichtergehäuse 105 eingeschlossen. Ein Brennkammerabschnitt 106 ist stromabwärts von und in Strömungsverbindung mit dem Verdichterabschnitt 104 angeschlossen, und ein Turbinenabschnitt 108 ist stromabwärts von und in Strömungsverbindung mit dem Brennkammerabschnitt 106 angeschlossen. Die Turbine 100 ist innerhalb eines Turbinengehäuses 109 eingeschlossen und enthält einen Auslassabschnitt 110, der sich stromabwärts von dem Turbinenabschnitt 108 befindet. Insbesondere ist der Turbinenabschnitt 108 in der beispielhaften Ausführungsform mit dem Verdichterabschnitt 104 über eine Rotoranordnung 112 gekoppelt, die, ohne Beschränkung, einen Verdichterrotor oder eine Antriebswelle 114 und einen Turbinenrotor oder eine Antriebswelle 115 enthält.

[0031] In der beispielhaften Ausführungsform enthält der Brennkammerabschnitt 106 mehrere Brennkammeranordnungen, d.h. Brennkammern 116, die jeweils in Strömungsverbindung mit dem Verdichterabschnitt 104 angeschlossen sind. Der Brennkammerabschnitt 106 enthält ferner wenigstens eine Brennstoffdüsenanordnung 118. Jede Brennkammer 116 steht in Strömungsverbindung mit wenigstens einer Brennstoffdüsenanordnung 118. Ausserdem sind der Turbinenabschnitt 108 und der Verdichterabschnitt 104 in der beispielhaften Ausführungsform über die Antriebswelle 114 mit einer Last 120 drehfest gekoppelt. Zum Beispiel kann die Last 120, ohne Beschränkung, einen Elektrogenerator und/oder eine mechanische Antriebsanwendung, z.B. eine Pumpe, enthalten. Alternativ kann die Gasturbine 100 ein Flugzeugtriebwerk sein. In der beispielhaften Ausführungsform enthält der Verdichterabschnitt 104 wenigstens eine Verdichterlaufschaukelanordnung 122, d.h. eine Laufschaukel 122, und wenigstens eine benachbarte stationäre Leitschaukelanordnung 123.

[0032] Ferner enthält der Turbinenabschnitt 108 in der beispielhaften Ausführungsform wenigstens eine Turbinenlaufschaukelanordnung, d.h. eine Laufschaukel 124, und wenigstens eine benachbarte stationäre Leitschaukelanordnung 125. Jede Verdichterlaufschaukelanordnung 122 und jede Turbinenlaufschaukel 124 ist mit der Rotoranordnung 112 oder insbesondere der Verdichterantriebswelle 114 und der Turbinenantriebswelle 115 gekoppelt.

[0033] Im Betrieb leitet der Lufteinlassabschnitt 102 Luft 150 zu dem Verdichterabschnitt 104 hin. Der Verdichterabschnitt 104 verdichtet die Einlassluft 150 auf höhere Drücke und Temperaturen, bevor die verdichtete Luft 152 zu dem Brennkammerabschnitt 106 hin ausgegeben wird. Die verdichtete Luft 152 wird zu der Brennstoffdüsenanordnung 118 geleitet, mit einem (nicht veranschaulichten) Brennstoff vermischt und in jeder Brennkammer 116 verbrannt, um Verbrennungsgase zu erzeugen, die stromabwärts zu dem Turbinenabschnitt 108 hin geleitet werden. Die Verbrennungsgase 154, die in den Brennkammern 116 erzeugt werden, werden stromabwärts zu dem Turbinenabschnitt 108 hin geleitet. Nachdem sie auf die Turbinenlaufschaukeln 124 auftreffen, wird Wärmeenergie in mechanische Rotationsenergie umgesetzt, die verwendet wird, um die Rotoranordnung 112 anzutreiben. Der Turbinenabschnitt 108 treibt den Verdichterabschnitt 104 und/oder die Last 120 über die Antriebswellen 114 und 115 an, und Abgase 156 werden durch den Auslassabschnitt 110 zur umgebenden Atmosphäre ausgegeben.

[0034] Fig. 2 zeigt eine schematische Ansicht eines beispielhaften Kriechlebensdauermanagementsystems 200, das bei der (in Fig. 1 veranschaulichten) Gasturbine 100 verwendet werden kann. Das Kriechlebensdauermanagementsystem 200 enthält wenigstens eine Sensorvorrichtung 202, die mit entweder der Verdichterlaufschaukel 122 und/oder der Turbinenlaufschaukel 124 gekoppelt ist. In der beispielhaften Ausführungsform ist die Sensorvorrichtung 202 eine SAW-(Surface Acoustic Wave-, akustische Oberflächenwellen-)Sensorvorrichtung. Alternativ ist die Sensorvorrichtung 202 eine beliebige Erfassungsvorrichtung, die konfiguriert ist, um einer im Wesentlichen dauerhaften Belastung durch eine raue Umgebung zu widerstehen, wobei eine derartige raue Umgebung, ohne Beschränkung, verdichtete Luft hoher Temperatur über 100 Grad Celsius (°C) (212 Grad Fahrenheit (°F)), Verbrennungsgase hoher Temperatur über 260°C (500°F) und beträchtliche Rotationskräfte, die durch Drehgeschwindigkeiten von ungefähr 3000 Umdrehungen pro Minute (U/min) bis ungefähr 3600 U/min hervorgerufen sind, enthalten kann. Derartige alternative Sensorvorrichtungen können, ohne Beschränkung, direkt aufgebrachte (DD, Direct-Deposited) HF-Sensorvorrichtungen enthalten.

[0035] Ferner enthält jede Sensorvorrichtung 202 in der beispielhaften Ausführungsform ein piezoelektrisches Kristallsubstrat 204. Die Sensorvorrichtung 202 enthält ferner mehrere Reflektoren 206, die mit dem piezoelektrischen Substrat 204 verbunden sind. Die Reflektoren 206 ermöglichen es, jede Sensorvorrichtung 202 mit einer eindeutigen Kennung zu versehen, so dass eine eindeutige Identifikation jeder Verdichterschaukel 122 und jeder Turbinenschaukel 124 über die zugehörige Sensorvorrichtung 202, die daran gekoppelt ist, ermöglicht wird. Alternativ enthält die Sensorvorrichtung 202 irgendeinen eindeutigen Identifikationsmechanismus, einschliesslich, ohne Beschränkung, Vorrichtungen ähnlich den RFID-(RF-Identifikations-)Vorrichtungen im Handel, wobei derartige RFID-Vorrichtungen einen eindeutig konfigurierten HF-Wandler enthalten. Die Sensorvorrichtung 202 enthält ferner wenigstens einen Interdigitaltransducer 208, der mit dem piezoelektrischen Substrat 204 verbunden ist. Die Sensorvorrichtung 202 enthält ferner wenigstens eine Antenne 210, die mit dem Interdigitaltransducer 208 verbunden ist. Ausserdem ist die Sensorvorrichtung 202 passiv, d.h. sie enthält keine eigenen Leistungsver sorgungen und befindet sich in einem Schlafzustand, bis sie abgefragt wird, wie dies nachstehend beschrieben ist.

[0036] Ferner enthält das Kriechlebensdauer managementsystem 200 in der beispielhaften Ausführungsform eine Leseinheit 212. Die Leseinheit 212 ist mit einem stationären Abschnitt der Gasturbine 100 gekoppelt. Die Leseinheit 212 enthält wenigstens eine Antenne 214, wenigstens eine Hochfrequenz(HF)-Sendevorrichtung und wenigstens eine HF-Empfängervorrichtung, die mit der Antenne 214 gekoppelt sind. In der beispielhaften Ausführungsform sind die HF-Sender- und -Empfängervorrichtung in einer Transceivervorrichtung 215 integriert.

[0037] Ausserdem enthält die Leseinheit 212 in der beispielhaften Ausführungsform eine Steuereinrichtung 216, die mit der Transceivervorrichtung 215 gekoppelt ist. Alternativ kann die Steuereinrichtung 216 eine für die Leseinheit 212 externe sein. Die Steuereinrichtung 216 enthält wenigstens einen (nicht veranschaulichten) Prozessor und/oder ist durch diesen implementiert. Wie hierin verwendet, enthält der Prozessor eine beliebige geeignete programmierbare Schaltung, wie beispielsweise, ohne Beschränkung, ein oder mehrere Systeme und Mikrocontroller, Mikroprozessoren, eine Universalzweck-Zentralverarbeitungseinheit (CPU), Schaltungen mit reduziertem Befehlssatz (RISC), anwendungsspezifische integrierte Schaltungen (ASIC), programmierbare Logikschaltungen (PLC), im Feld programmierbare Gatter-Anordnungen (FPGA) und/oder eine beliebige sonstige Schaltung, die in der Lage ist, die hierin beschriebenen Funktionen auszuführen. Die obigen Beispiele sind lediglich beispielhaft und sind somit nicht dazu bestimmt, die Definition und/oder Bedeutung des Begriffs «Prozessor» in irgendeiner Weise einzuschränken.

[0038] Zusätzlich enthält die Steuereinrichtung 216 wenigstens eine (nicht veranschaulichte) Speichervorrichtung, die mit dem Prozessor gekoppelt ist und die computerausführbare Instruktionen und Daten, wie beispielsweise Betriebsdaten, Parameter, Sollwerte, Schwellenwerte und/oder beliebige sonstige Daten speichert, die dem Kriechlebensdauer managementsystem 200 ermöglichen, in der hierin beschriebenen Weise zu funktionieren. Die Speichervorrichtung kann ein oder mehrere materielle, nicht vorübergehende computerlesbare Medien enthalten, wie beispielsweise, ohne Beschränkung, einen Direktzugriffsspeicher (RAM), einen dynamischen Direktzugriffsspeicher (DRAM), einen statischen Direktzugriffsspeicher (SRAM), eine Solid State Disc, eine Festplatte, einen Nur-Lese-Speicher (ROM), einen löschbaren programmierbaren ROM-Speicher (EPROM), elektrisch löschbaren programmierbaren ROM-Speicher (EEPROM) und/oder einen nicht-flüchtigen RAM (NVRAM)-Speicher.

[0039] Die hierin beschriebenen Verfahren können als ausführbare Instruktionen und Algorithmen codiert sein, die in einem körperlichen, nicht-vorübergehenden, computerlesbaren Medium, einschliesslich, ohne Beschränkung, einer Speichervorrichtung und/oder einer Memory-Vorrichtung, enthalten sind. Wenn derartige Instruktionen und Algorithmen durch einen Prozessor ausgeführt werden, veranlassen sie den Prozessor, wenigstens einen Teil der hierin beschriebenen Verfahren auszuführen. Ausserdem enthält der Begriff «nicht-vorübergehendes computerlesbares Medium», wie er hierin verwendet wird, alle realen computerlesbaren Medien, wie beispielsweise Firmware, physikalischen und virtuellen Speicher, CD-ROMs, DVDs und eine andere digitale Quelle, wie beispielsweise ein Netzwerk oder das Internet, sowie noch zu entwickelnde digitale Mittel, wobei die einzige Ausnahme ein vorübergehendes, sich ausbreitendes Signal ist.

[0040] Im Betrieb befindet sich die Gasturbine 100 im Einsatz, und der Turbinenabschnitt 108 treibt den Verdichterabschnitt 104 über die Rotoranordnung 112 derart an, dass die Verdichterschaukeln 122 und die Turbinenschaukeln 124 rotieren. Die Leseinheit 212 sendet wenigstens ein HF-Anforderungssignal 218 über die Antenne 214, d.h. die Steuereinrichtung 216 befiehlt der Transceivervorrichtung 215, jede Sensorvorrichtung 202 abzufragen, während jede Vorrichtung 202 an der Antenne 214 vorbei rotiert. Das Anforderungssignal 218 wird von der Antenne 210 empfangen, und die Energie in dem Signal 218 wird zu dem Interdigitaltransducer 208 übertragen. Der Interdigitaltransducer 208 induziert eine akustische Oberflächenwelle in dem piezoelektrischen Substrat 204. Die Resonanzfrequenz der akustischen Oberflächenwelle wird durch die Reflektoren 208 und Echtzeiteigenschaften der zugehörigen Verdichterschaukel 122 oder Turbinenschaukel 124, z.B. Temperatur und Dehnung, beeinflusst. Der Interdigitaltransducer 208 setzt die Energie mit der Resonanzfrequenz in ein HF-Antwortsignal 220 um, das zu der Leseinheit 212 über die Antennen 210 und 214 und die Transceivervorrichtung 215 übermittelt wird. Daten in dem Antwortsignal 220 werden durch die Steuereinrichtung 216 ausgewertet.

[0041] In dem hierin verwendeten Sinne bezeichnet der Ausdruck «Echtzeit» wenigstens einen von dem Zeitpunkt des Auftretens der zugehörigen Ereignisse, dem Zeitpunkt der Messung und Erfassung vorbestimmter Daten, dem Zeitpunkt zur Verarbeitung der Daten und dem Zeitpunkt einer Systemantwort auf die Ereignisse und die Umgebung. In den hierin beschriebenen Ausführungsformen treten diese Aktivitäten und Ereignisse im Wesentlichen sofort auf.

[0042] Fig. 3 zeigt eine schematische Ansicht einer beispielhaften Turbinenlaufschaufel 124 mit einer an diese gekoppelten Sensorvorrichtung 202, die bei der (in Fig. 1 veranschaulichten) Gasturbine 100 verwendet werden kann. Die Turbinenschaufel 124 enthält einen Fussabschnitt 330 und einen Schaufelblattabschnitt 340, der mit dem Fussabschnitt 330 verbunden ist. Der Schaufelblattabschnitt 340 definiert einen Schaufelblattspitzenabschnitt 342, eine Vorderkante 344, eine Hinterkante 346 und eine Länge L zwischen dem Fussabschnitt 330 und dem Schaufelblattspitzenabschnitt 342. In der beispielhaften Ausführungsform enthält die Sensorvorrichtung 202 mehrere Temperatursensoren 350, die in der Nähe der Vorderkante 344, d.h. dem Abschnitt der Laufschaufeln 124, der zuerst die Hochtemperatur-Verbrennungsgase 154 empfängt (wie in Fig. 1 veranschaulicht), positioniert sind. Ferner sind die Temperatursensoren 350 innerhalb vorbestimmter prozentualer Bereiche der Länge L angeordnet, z.B. ungefähr zwischen 10% und 20%, 45% und 55% sowie 85% und 95%. Alternativ sind die Temperatursensoren 350 irgendwo an der Schaufel 124 mit einem beliebigen Abstand dazwischen positioniert, der einen Betrieb des (in Fig. 2 veranschaulichten) Kriechlebensdauermanagementsystems 200, wie hierin beschrieben, ermöglicht. Die Temperatursensoren 350 sind mit der Laufschaufel 124 über beliebige Verfahren verbunden, die einen Betrieb des Kriechlebensdauermanagementsystems 200, wie hierin beschrieben, ermöglichen, einschliesslich, ohne Beschränkung, durch Einbetten der Temperatursensoren 350 in einem Substrat und/oder einer Beschichtung (keines veranschaulicht) des Schaufelblattes 340 und mechanische Kopplung an eine Oberfläche des Substrats und/oder der Beschichtung des Schaufelblattes 340.

[0043] Ferner enthält die Sensorvorrichtung 202 in der beispielhaften Ausführungsform einen Dehnungssensor 360. Der Dehnungssensor 360 ist zwischen Prozentbereichen der Länge L von ungefähr 30%–40% positioniert. Alternativ ist eine beliebige Anzahl von Dehnungssensoren 360 irgendwo an der Schaufel 124 mit einem beliebigen Abstand dazwischen positioniert, der einen Betrieb des Kriechlebensdauermanagementsystems 200, wie hierin beschrieben, ermöglicht. Die Temperatursensoren 350 sind mit der Laufschaufel 124 durch beliebige Verfahren gekoppelt, die einen Betrieb des Kriechlebensdauermanagementsystems 200, wie hierin beschrieben, ermöglichen, einschliesslich, ohne Beschränkung, derjenigen, die für die Temperatursensoren 350 beschrieben sind.

[0044] Die Temperatursensoren 350 und die Dehnungssensoren 360 sind der (in Fig. 2 veranschaulichten) Sensorvorrichtung 202 ähnlich und enthalten wenigstens eine (in Fig. 2 veranschaulichte) Antenne 210.

[0045] Fig. 4 zeigt eine schematische Ansicht eines alternativen beispielhaften Kriechlebensdauermanagementsystems 400, das bei der (in Fig. 1 veranschaulichten) Gasturbine 100 verwendet werden kann. Das System 400 ist dem (in Fig. 2 veranschaulichten) System 200 mit der Ausnahme ähnlich, dass das System 400 eine Antennenverlängerung 402 enthält, die mit der Transceivervorrichtung 215 gekoppelt ist. Ferner durchdringt die Antennenverlängerung 402 entweder das Verdichtergehäuse 105 oder das Turbinengehäuse 109, und sie erstreckt sich durch dieses hindurch. Ferner sind vier Antennen 404 mit der Antennenverlängerung 402 fest verbunden, und sie sind entweder mit der stationären Leitschaufelanordnung 123 oder mit der stationären Leitschaufelanordnung 125 fest verbunden. Ausserdem enthält das System 400 mehrere Temperatursensoren 350 und einen Dehnungssensor 360, die mit entweder der Schaufel 122 oder der Schaufel 124 in einer Konfiguration verbunden sind, die der vorstehend beschriebenen (in Fig. 3 veranschaulichten) ähnlich ist. In einigen Ausführungsformen ist jede Antenne 404 einer Antenne 210 gewidmet und mit einer Antenne 210 kommunikationsmässig verbunden, die einem von den Temperatursensoren 350 und dem Dehnungssensor 360 in einer Eins-zu-eins-Beziehung zugeordnet ist. In einigen anderen Ausführungsformen ist jede Antenne 404 einer Antenne 210 gewidmet und mit einer Antenne 210 kommunikationsmässig verbunden, die mit mehr als einem einzigen von den Temperatursensoren 350 und/oder dem Dehnungssensor 360 in einer Eins-zu-viele-Beziehung zugeordnet ist. Die Antennenverlängerung 402 ist mit mehreren (nicht veranschaulichten) Abfragekanälen, d.h. einem Kanal pro einen Sensor 350/360, eingerichtet. Alternativ ist die Antennenverlängerung 402 mit einem einzigen Kanal eingerichtet, der konfiguriert ist, um mehrere Signale, jedes mit einer eindeutig codierten Kennung und/oder Frequenz, zu übertragen. Ebenfalls alternativ werden eine beliebige Kombination und eine beliebige Anzahl von Antennen 404, Kommunikationskanälen in der Antennenverlängerung 402 und Sensoren 350 und 360, die einen Betrieb des Kriechlebensdauermanagementsystems 400 in der hierin beschriebenen Weise ermöglichen, verwendet.

[0046] Im Betrieb befindet sich die Gasturbine (wie sie in Fig. 1 veranschaulicht ist) im Einsatz, und der Turbinenabschnitt 108 treibt den Verdichterabschnitt 104 über die Rotoranordnung 112 derart an, dass die Verdichterlaufschaufeln 122 und die Turbinenlaufschaufeln 124 rotieren. Die Leseinheit 212 überträgt wenigstens ein HF-Anforderungssignal 418 über wenigstens eine Antenne 404, d.h. die Steuereinrichtung 216 befiehlt der Transceivervorrichtung 215, jede Sensorvorrichtung 350/360 abzufragen, während jede Vorrichtung 350/360 an der zugehörigen stationären Antenne 404 vorbei rotiert. Jedes Anforderungssignal 418 wird durch die zugehörige Sensorvorrichtung 350/360 empfangen, und es werden Echtzeiteigenschaften der zugehörigen Verdichterschaufel 122 oder Turbinenschaufel 124, z.B. Temperatur und Dehnung, gemessen. Ein HF-Antwortsignal 420 wird zu der Leseinheit 212 über die Antennen 404 und die Transceivervorrichtung 215 übertragen. Daten in dem Antwortsignal 420 werden durch die Steuereinrichtung 216 ausgewertet.

[0047] In der beispielhaften Ausführungsform sind die Antennen 210 in einem Abstand D voneinander entfernt. Der Abstand D entspricht im Wesentlichen wenigstens 3 der zugehörigen Betriebswellenlänge der HF-Antwortssignale 420. Alternativ ist der Abstand D gleich oder grösser als der räumliche Kohärenzabstand des drahtlosen Kanals zwischen den Sensorantennen 210 und den Leseantennen 404. Ebenso sind in der beispielhaften Ausführungsform die Antennen 404 in einem Abstand D voneinander getrennt, d.h. entweder um wenigstens 3 der zugehörigen Betriebswellenlänge der HF-Antwortssignale 420 oder mehr als der zugehörige räumliche Kohärenzabstand des drahtlosen Kanals zwischen den Sensor-

antennen 210 und den Leseantennen 404. Eine derartige räumliche Trennung mit dem Abstand D zwischen den Antennen 210 und den Antennen 404 erleichtert das Empfangen und Verarbeiten von HF-Antwortsignalen 420 durch die Leseinheit 212, so dass die Effekte der HF-Multipfadinterferenz und unabhängigen Empfängerrauschquellen deutlich reduziert sind und die gesamten Signalpegel der HF-Antwortsignale 420 verstärkt sind, wodurch die Empfindlichkeit des Systems 400 und die Robustheit der Auslesungen vergrößert sind.

[0048] Fig. 5 zeigt eine schematische Ansicht eines weiteren alternativen beispielhaften Kriechlebensdauermanagement-systems 500, das bei der Gasturbine 100 (wie sie in Fig. 1 veranschaulicht ist) verwendet werden kann. Das System 500 ist den Systemen 200 und 400 (wie in den Fig. 2 bzw. 4 veranschaulicht) insofern ähnlich, als das System 500 eine einzige Antenne 214 (ähnlich dem System 200) enthält, die mit der Transceivervorrichtung 215 gekoppelt ist und ferner mit mehreren Temperatursensoren 350 und einem Dehnungssensor 360 an entweder der Schaufel 122 oder der Schaufel 124 (ähnlich dem System 400) in Kommunikationsverbindung steht. Das System 500 unterscheidet sich von den Systemen 200 und 400 in Bezug auf die Leseinheit 212, einschliesslich der Antenne 214, der Transceivervorrichtung 215 und der Steuereinrichtung 216. Der Leser 212 ist in entweder dem Lufteinlassabschnitt 102 oder dem Auslassabschnitt 110 angeordnet und dort mit einer stationären Struktur (die in Fig. 5 nicht veranschaulicht ist) derart gekoppelt, dass keine Durchdringungen entweder des Verdichtergehäuses 105 oder des Turbinengehäuses 109 vorliegen. Ferner ist die Leseantenne 214 mit den mehreren Antennen 210 der Sensorvorrichtung in einer Eine-zu-viele-Beziehung gekoppelt. Alternativ kann die Leseinheit 212 anstatt einer einzigen Leseantenne 214 mehrere Leseantennen 214 enthalten, die um einen Abstand D (wie in Fig. 4 veranschaulicht) derart voneinander getrennt sind, dass die Auswirkungen der HF-Multipfadinterferenz und unabhängigen Empfängerrauschquellen deutlich reduziert sind (wie vorstehend beschrieben).

[0049] Im Betrieb ist die (in Fig. 1 veranschaulichte) Gasturbine im Einsatz, und der Turbinenabschnitt 108 treibt den Verdichterabschnitt 104 über die Rotoranordnung 112 derart an, dass die Verdichterschaukeln 122 und die Turbinenschaukeln 124 rotieren. Die Leseinheit 112 sendet wenigstens ein HF-Anforderungssignal 518 über die Antenne 214, d.h. die Steuereinrichtung 216 befiehlt der Transceivervorrichtung 215, jede Sensorvorrichtung 350/360 abzufragen, während jede Vorrichtung 350/360 an der zugehörigen stationären Antenne 214 vorbei rotiert. Jedes Anforderungssignal 518 wird durch die zugehörige Sensorvorrichtung 350/360 empfangen, und es werden Echtzeiteigenschaften der zugehörigen Verdichterschaukel 122 oder Turbinenschaukel 124, z.B. Temperatur und Dehnung, gemessen. Ein HF-Antwortsignal 520 wird zu der Leseinheit 212 über die Antenne 214 und die Transceivervorrichtung 215 übermittelt. Daten in dem Antwortsignal 520 werden durch die Steuereinrichtung 216 ausgewertet.

[0050] Fig. 6 zeigt eine schematische Darstellung einer beispielhaften Positionierung von Teilen des Kriechlebensdauermanagement-systems 500 innerhalb der Gasturbine 100. In der beispielhaften Ausführungsform ist die Leseinheit 212 an einem stationären Abschnitt des Verdichterabschnitts 104 positioniert, d.h. wenigstens eine Leseinheit 212 ist mit einer Verdichtereinlasswand 670 gekoppelt. Alternativ sind die Leseinheiten 212 an einer beliebigen Stelle positioniert, die einen Betrieb des Kriechlebensdauermanagement-systems 500 in der hierin beschriebenen Weise ermöglicht. Zum Beispiel können die Leseinheiten 212, ohne Beschränkung, irgendwo innerhalb der drahtlosen HF-Kommunikationsreichweite der zugehörigen Sensorvorrichtung 202 positioniert sein.

[0051] Ausserdem sind in der beispielhaften Ausführungsform mehrere Sensorvorrichtungen 202 (wie in den Fig. 2 und 3 veranschaulicht) mit jeder Verdichterschaukel 122 in einer letzten Stufe 672 des Verdichterabschnitts 104 verbunden. Die letzte Stufe 672 des Verdichterabschnitts 104 ist gewöhnlich einer verdichteten Luft 152 (wie in Fig. 1 veranschaulicht) bei deren höchsten Drücken und Temperaturen ausgesetzt, bevor diese in den Brennkammerabschnitt 106 eingeleitet wird. Wenigstens einer von sowohl den Temperatursensoren 350 als auch dem Dehnungssensor 360 ist mit jeder Schaufel 122 gekoppelt, und jeder der Sensoren 350 und 360 an jeder Schaufel 122 enthält einen eindeutigen alphanumerischen Identifikationscode. Alternativ wird eine beliebige Konfiguration der Sensorvorrichtung 202 an einer beliebigen Stufe des Verdichterabschnitts 104 verwendet, die einen Betrieb des Kriechlebensdauermanagement-systems 500 in der hierin beschriebenen Weise ermöglicht.

[0052] Ferner ist die Leseinheit 212 in der beispielhaften Ausführungsform an einem stationären Abschnitt des Auslassabschnitts 110 positioniert, d.h. wenigstens eine Leseinheit 212 ist mit einer Turbinenauslasswand 674 verbunden. Alternativ sind die Leseinheiten 212 an einer beliebigen Stelle positioniert, die einen Betrieb des Kriechlebensdauermanagement-systems 500 in der hierin beschriebenen Weise ermöglicht. Zum Beispiel können die Leseinheiten 212, ohne Beschränkung, irgendwo innerhalb der drahtlosen HF-Kommunikationsreichweite der zugehörigen Sensorvorrichtung 202 angeordnet sein.

[0053] Ausserdem sind in der beispielhaften Ausführungsform mehrere Sensorvorrichtungen 202 mit jeder Turbinenschaukel 124 in einer letzten Stufe 676 des Turbinenabschnitts 108 verbunden. Die dritte oder letzte Stufe 676 des Turbinenabschnitts 108 ist gewöhnlich den Verbrennungsgasen 154 (wie in Fig. 1 veranschaulicht) bei deren niedrigsten Drücken und Temperaturen ausgesetzt, bevor diese in den Auslassabschnitt 110 eingeleitet werden. Wenigstens einer von sowohl den Temperatursensoren 350 als auch dem Dehnungssensor 360 ist mit jeder Schaufel 124 gekoppelt, und jeder der Sensoren 350 und 360 an jeder Schaufel 124 enthält einen eindeutigen alphanumerischen Identifikationscode. Alternativ wird eine beliebige Konfiguration der Sensorvorrichtung 202 an einer beliebigen Stufe des Turbinenabschnitts 108 verwendet, die einen Betrieb des Kriechlebensdauermanagement-systems 200 in der hierin beschriebenen Weise ermöglicht.

[0054] Im Betrieb fragt jede Leseinheit 212 jede zugehörige Sensorvorrichtung 202 in vorbestimmten Intervallen ab. Zum Beispiel wird, ohne Beschränkung, jede einzelne Laufschaufel 124 mit wenigstens einer an dieser angekoppelten Sensorvorrichtung 202 durch die zugehörige Leseinheit 212 einmal pro Stunde im Betrieb abgefragt, wobei jede Sensorvorrichtung 202 in Intervallen von einer Sekunde abgefragt wird. Folglich weist für diejenigen Turbinenabschnitte 108, die 91 Laufschaufeln 124 mit der Sensorvorrichtung 202 aufweisen, ein Zyklus der Datenerfassung von den Schaufeln 124 eine Länge von ungefähr 91 Sekunden auf. Die Sensorvorrichtung 202 kann abgefragt werden und eine Antwort unabhängig von der Betriebsdrehgeschwindigkeit der Gasturbine senden. Ausserdem kann ein Bediener von Hand eine Datenerfassungsfolge für jede Laufschaufel 122 und Laufschaufel 124 mit der Sensorvorrichtung 202 durch die Verwendung der eindeutigen Kennung hervorrufen. Ausserdem kann die Datenerfassung im Wesentlichen kontinuierlich erfolgen.

[0055] In alternativen Ausführungsformen kann das System 400 (wie in Fig. 4 veranschaulicht) oder das System 500 anstelle des (in Fig. 2 veranschaulichten) Systems 200 gesetzt werden. Ferner enthalten die Systeme 200, 400 und 500 in alternativen Ausführungsformen eine beliebige Konfiguration, die einen Betrieb derartiger Systeme 200, 400 und 500 passend zu der spezifischen Konfiguration der Gasturbine 100 ermöglicht.

[0056] Fig. 7 zeigt eine schematische Ansicht eines Monitors 700 und einer beispielhaften Bildschirmdarstellung 702, die durch die Kriechlebensdauermanagementsysteme 200, 400 und 500 erzeugt wird, d.h. eine Bildschirmdarstellung eines Echtzeit-Dehnungsprofils 702. Das Profil 702 enthält eine y-Achse 704, die eine Dehnung in einheitslosen Schritten von 0,0005 repräsentiert, und eine x-Achse 706, die jede der 91 Laufschaufeln 124 in der dritten oder letzten Stufe 676 des Turbinenabschnitts 108 (wie sie alle in Fig. 6 veranschaulicht sind) repräsentiert. Das Profil 702 enthält ferner mehrere, d.h. 91 Schaufel-Echtzeit-Dehnungsmessungen 708. Die Messungen 708 enthalten 2 Gruppen von erhöhten Schaufel-Dehnungsmesswerten 710. Das Profil 702 enthält ferner einen Dehnungsparameter 712 mit einem Wert von 0,003. Alternativ wird eine beliebige inkrementale Bemessung der y-Achse 704 und ein beliebiger Wert des Dehnungsparameters 712 verwendet, die einen Betrieb der Systeme 200, 400 und 500, wie hierin beschrieben, ermöglichen. Ebenso können alternativ eine beliebige Anzahl von Laufschaufeln 124 in einer beliebigen Stufe des Turbinenabschnitts 108 und eine beliebige Anzahl von Laufschaufeln 122 in einer beliebigen Stufe des Verdichterabschnitts 104 (wie sie alle in Fig. 1 veranschaulicht sind) überwacht werden, die einen Betrieb der Systeme 200, 400 und 500 in der hierin beschriebenen Weise ermöglichen.

[0057] Bezugnehmend auf die Fig. 6 und 7 enthalten im Betrieb die Daten, die erfasst werden, um ein Kriechprofil zu erzeugen, Echtzeit-Messwerte der Temperatur und Dehnung an jeder abgefragten Schaufel 122 und Schaufel 124. Die Daten werden gesammelt und für eine Echtzeit-Analyse und eine zukünftige Analyse abgespeichert. Zum Beispiel wird, ohne Beschränkung, die Bildschirmdarstellung der Echtzeit-Dehnungsprofile 702 auf dem Monitor 700 für einen (nicht veranschaulichten) Bediener angezeigt, wodurch eine Echtzeit-Überwachung der Komponentendehnung ermöglicht wird.

[0058] Ferner können vorbestimmte Sollwerte für die Echtzeit-Dehnung, z.B., ohne Beschränkung, ein Wert des Dehnungsparameters 712 von 0,003, in die Steuereinrichtung 216 einprogrammiert werden, so dass ein Alarm und/oder eine Warnung ausgegeben wird, um einen Betreiber zu alarmieren, wenn irgendein Dehnungsmesswert 718 (wie in Fig. 7 veranschaulicht) an den überwachten Komponenten sich einem derartigen Wert annähert, diesen erreicht oder überschreitet, wodurch ein «Frühwarnungs»-Merkmal der Kriechlebensdauermanagementsysteme 200, 400 und 500 ermöglicht wird. Für bestimmte Werte der Dehnung, z.B., ohne Beschränkung, des Dehnungsparameters 712, können derartige Messwerte eine Eingabe zu Entscheidungsfindungsalgorithmen und Instruktionen innerhalb der Programmierung der Steuereinrichtung 216 (wie in Fig. 2 veranschaulicht) sein, wozu einschliesslich, ohne Beschränkung, eine kurzfristige oder sofortige Ausserbetriebnahme der Anlage/Maschine 100 gehört.

[0059] Fig. 8 zeigt eine schematische Ansicht eines Monitors 800 und einer weiteren beispielhaften Bildschirmdarstellung 802, die von den Kriechlebensdauermanagementsystemen 200, 400 und 500 erzeugt wird, d.h. eine Ansicht eines Echtzeit-Kriechdehnungs-Historienprofilbildschirms 802. Der Profilbildschirm 802 enthält eine y-Achse 804, die typische Werte einer Kriechdehnung repräsentiert. Ferner enthält der Profilbildschirm 802 eine x-Achse 806, die die Zeit repräsentiert. Ausserdem enthält der Profilbildschirm 802 eine z-Achse 808, die jede der mehreren Schaufeln 122 oder Schaufeln 124 (wie sie alle in Fig. 6 veranschaulicht sind) repräsentiert. Der Profilbildschirm 802 enthält ferner mehrere einzelne Kriechdehnungs-Historienprofile 810 für jede der mehreren Schaufeln 122 und/oder Schaufeln 124 in der Gasturbine 100 (wie in Fig. 6 veranschaulicht). In der beispielhaften Ausführungsform sind einzelne Stufen entweder der Laufschaufeln 122 oder der Laufschaufeln 124 veranschaulicht. Alternativ kann in dem Profilbildschirm 802 eine beliebige Kombination von einzelnen Profilen 810 für beliebige Laufschaufeln 122 und beliebigen Laufschaufeln 124 dargestellt sein.

[0060] Derartige Echtzeit-Kriechbestimmungen werden von der Steuereinrichtung 216 durchgeführt, um jedes einzelne Echtzeit-Kriechdehnungsprofil 810 der Komponenten unter Verwendung der bekannten Beziehungen zwischen der Kriechgeschwindigkeit, der Temperatur und der Dehnung zu erzeugen, wodurch eine Echtzeitüberwachung der Komponenten-kriechrate ermöglicht wird, die integriert wird, um die gesamte Komponenten-kriechung zu bestimmen.

[0061] Der Profilbildschirm 802 ist in die drei Phasen der Kriechhistorie unterteilt und ermöglicht es, einem Betreiber der Gasturbine 100 ein Anzeichen darüber zu liefern, welche Kriechphase derzeit jede veranschaulichte Laufschaufel 122 und/oder Laufschaufel 124, die überwacht wird, zeigt. Eine Phase I repräsentiert die primäre Kriechphase, die gewöhnlich durch eine anfänglich grosse Kriechrate definiert ist, die sich mit der Zeit verlangsamt, bis sie einen im Wesentlichen minimalen Wert erreicht. Eine Phase II repräsentiert eine sekundäre Kriechphase, die gewöhnlich durch eine Kriechrate definiert ist, die im Wesentlichen konstant bei dem minimalen Wert an dem Ende der Phase I liegt. Eine Phase III reprä-

sentiert eine tertiäre Kriechphase, die gewöhnlich durch eine Kriechrate definiert ist, die sich mit der Zeit beschleunigt. Die beschleunigende Kriechrate rührt wenigstens teilweise von der Verformung der überwachten Komponente her. Eine derartige Verformung ist gewöhnlich ein Anzeichen für einen drohenden permanenten Schaden und Komponentenausfall.

[0062] Der Profilbildschirm 802 enthält visuelle Anzeigemerkmale, die mit der Phase III der einzelnen Kriechdehnungs-Historienprofile 810 im Zusammenhang stehen. Zum Beispiel und ohne Beschränkung, ist eine optische und/oder akustische Alarmstufe 1 für die frühen Stadien der Verformung gemäss Phase III kennzeichnend, und sie fordert den Betreiber auf, die Überwachung der zugehörigen Komponente durch die Systeme 200, 400 und 500 zu verstärken. Ferner enthält der Bildschirm 802, ohne Beschränkung, eine optische und/oder akustische Alarmstufe 2, die eine zunehmende Verformungsrate der überwachten Komponente kennzeichnet und den Betreiber auffordert, Entscheidungen in Bezug auf eine verstärkte Überwachung durch die Systeme 200, 400 und 500 und eine mögliche Überprüfung, Reparatur und/oder einen Austausch während der nächsten Unterbrechung zu treffen. Ferner können die Alarmstufe 1 und die Alarmstufe 2 einen Betreiber auffordern, Betriebsanpassungen an der Gasturbine 100 vorzunehmen, um den Betrieb zu verbessern/optimieren, um eine Verlängerung einer Restnutzungsdauer (RND) (wie nachstehend näher beschrieben) für jede überwachte und eindeutig identifizierbare Laufschaufel 122 und Laufschaufel 124 zu ermöglichen.

[0063] Ferner enthält der Bildschirm 802, ohne Beschränkung, eine optische und/oder akustische Alarmstufe 3, die einen möglichen Ausfall der überwachten Komponente in nächster Zeit anzeigt und den Betreiber auffordert, Entscheidungen in Bezug auf eine mögliche Überprüfung, Reparatur und/oder einen Austausch während der nächsten Unterbrechung und eine kurzfristige Ausserbetriebnahme der Anlage/Maschine 100 zu treffen. Ferner kann die Alarmstufe 3 einen Betreiber auffordern, Betriebsanpassungen an der Gasturbine 100 vorzunehmen, um den Betrieb zu verbessern/optimieren, um eine Verlängerung einer RND (wie nachstehend näher beschrieben) für jede überwachte und eindeutig identifizierbare Laufschaufel 122 und Laufschaufel 124, wenigstens in der kurzen Zeit, bis die Anlage/ Maschine 100 ausser Betrieb genommen werden kann, zu ermöglichen.

[0064] Die Alarmstufe 3 kann ferner eine Eingabe für Entscheidungsfindungsalgorithmen und Instruktionen innerhalb der Programmierung der Steuereinrichtung 216 (wie in Fig. 2 veranschaulicht) sein, wozu einschliesslich, ohne Beschränkung, eine kurzfristige oder sofortige Ausserbetriebnahme der Anlage/Maschine 100 gehört. Alternativ enthält der Bildschirm 802 eine beliebige Anzahl von Alarmstufen in einer beliebigen Reihenfolge des Schweregrads, die einen Betrieb der Systeme 200, 400 und 500 in der hierin beschriebenen Weise ermöglicht.

[0065] Derartige Alarmstufen, optische Anzeigemerkmale und akustische Anzeigemerkmale, wenn die überwachten Komponenten die zugehörigen Parameter annähernd erreichen, erreichen oder überschreiten, ermöglichen die Operation einer «Frühwarnungs»-Einrichtung der Kriechlebensdauermanagementsysteme 200, 400 und 500. Für bestimmte Werte der gemessenen Merkmale, z.B. ohne Beschränkung, einzelne Kriechdehnungs-Historienprofile 810, können derartige Messungen eine Eingabe für Entscheidungsfindungsalgorithmen und Instruktionen innerhalb der Programmierung der Steuereinrichtung 216 (wie in Fig. 2 veranschaulicht) sein, einschliesslich, ohne Beschränkung, einer kurzfristigen oder sofortigen Ausserbetriebnahme der Anlage/Maschine 100.

[0066] Fig. 9 zeigt eine schematische Ansicht eines Monitors 900 und einer noch weiteren Bildschirmdarstellung 902, wie sie durch die Kriechlebensdauermanagementsysteme 200, 400 und 500 erzeugt wird, d.h. eine Darstellung eines Echtzeit-Komponententemperaturprofilbildschirms 902. Der Profilbildschirm 902 enthält eine y-Achse 904, die typische Werte der Kriechdehnung repräsentiert. Ferner enthält der Profilbildschirm 902 eine x-Achse 906, die die Zeit repräsentiert. Ausserdem enthält der Profilbildschirm 902 eine z-Achse 908, die jede von mehreren Laufschaufeln 122 oder Laufschaufeln 124 (wie sie alle in Fig. 6 veranschaulicht sind) repräsentiert. Der Profilbildschirm 902 enthält ferner mehrere einzelne Komponententemperaturprofile 910 für jede der mehreren Laufschaufeln 122 und/oder Laufschaufeln 124 in der Gasturbine 100 (wie in Fig. 6 veranschaulicht). In der beispielhaften Ausführungsform ist eine einzelne Stufe entweder der Laufschaufeln 122 oder der Laufschaufeln 124 veranschaulicht. Alternativ kann eine beliebige Kombination einzelner Profile 910 für beliebige Laufschaufeln 122 und beliebige Laufschaufeln 124 in dem Profilbildschirm 902 veranschaulicht sein.

[0067] In der beispielhaften Ausführungsform werden die Echtzeit-Komponententemperaturprofile 910 für jede abgefragte Laufschaufel 122 und Laufschaufel 124 angezeigt. Es wird eine Echtzeit-Komponententemperaturbestimmung durch die Steuereinrichtung 216 durchgeführt, um ein Echtzeit-Temperaturprofil der Komponenten zu erzeugen.

[0068] Der Profilbildschirm 902 enthält optische Anzeigemerkmale, die den Echtzeit-Komponententemperaturprofilen 910 zugeordnet sind. Zum Beispiel, und ohne Beschränkung, kennzeichnet eine optische und/oder akustische Alarmstufe 1 Komponententemperaturen, die einen vorbestimmten Wert für eine vorbestimmte Zeitdauer annähernd erreichen, erreicht haben oder überschritten haben, der mit einem ersten vorbestimmten Sollwert verbunden ist. Der erste vorbestimmte Temperatursollwert kann eine kurzzeitige Übertemperatur in der Anlage/ Maschine 100 (wie in Fig. 6 veranschaulicht) anzeigen, und er fordert den Betreiber auf, die Überwachung der zugehörigen Komponente über die Systeme 200, 400 und 500 zu verstärken. Ferner enthält der Bildschirm 902, ohne Beschränkung, eine optische und/oder akustische Alarmstufe 2, die dafür kennzeichnend ist, dass Komponententemperaturen einen vorbestimmten Wert annähernd erreichen, erreichen oder überschreiten, der einem zweiten vorbestimmten Sollwert zugeordnet ist. Der zweite vorbestimmte Temperatursollwert kann eine längere Übertemperatur innerhalb der Anlage/Maschine 100 für eine vorbestimmte Zeitdauer anzeigen, und er fordert den Betreiber auf, Entscheidungen in Bezug auf eine verstärkte Überwachung über die Systeme 200, 400 und 500 und eine mögliche Überprüfung, Reparatur und/oder Austauschmassnahme während der nächsten

Unterbrechung zu treffen. Ferner können die Alarmstufe 1 und die Alarmstufe 2 einen Betreiber auffordern, Betriebseinstellungen an der Gasturbine 100 vorzunehmen, um den Betrieb zu verbessern/optimieren, um eine Verlängerung einer Restnutzungsdauer (RND) (wie weiter nachstehend beschrieben) für jede überwachte und eindeutig identifizierbare Laufschaufel 122 und Laufschaufel 124 zu ermöglichen.

[0069] Ferner enthält der Bildschirm 902, ohne Beschränkung, eine optische und/oder akustische Alarmstufe 3, die dafür kennzeichnend ist, dass Komponententemperaturen einen vorbestimmten Wert, der einem dritten vorbestimmten Sollwert zugeordnet ist, für eine vorbestimmte Zeitdauer annähernd erreichen, erreichen oder überschreiten. Der dritte vorbestimmte Sollwert kann einen möglichen Ausfall der überwachten Komponente in nächster Zeit anzeigen und fordert den Betreiber auf, Entscheidungen in Bezug auf eine mögliche Überprüfung, Reparatur und/oder Austauschmassnahme während der nächsten Unterbrechung und eine kurzfristige Ausserbetriebnahme der Anlage/Maschine 100 zu treffen. Ferner kann die Alarmstufe 3 einen Betreiber auffordern, Betriebseinstellungen an der Gasturbine 100 vorzunehmen, um den Betrieb zu verbessern/optimieren, um eine Verlängerung einer RND (wie nachstehend weiter beschrieben) für jede überwachte und eindeutig identifizierbare Laufschaufel 122 und Laufschaufel 124, wenigstens in der kurzen Zeit, bis die Anlage/Maschine 100 ausser Betrieb genommen werden kann, zu ermöglichen.

[0070] Die Alarmstufe 3 kann ferner eine Eingabe für Entscheidungsfindungsalgorithmen und Instruktionen innerhalb der Programmierung der Steuereinrichtung 216 (wie in Fig. 2 veranschaulicht), einschliesslich, ohne Beschränkung, einer kurzfristigen oder sofortigen Ausserbetriebnahme der Anlage/ Maschine 100, sein. Alternativ enthält der Bildschirm 902 eine beliebige Anzahl von Alarmstufen in einer beliebigen Reihenfolge des Schweregrads, die einen Betrieb der Systeme 200, 400 und 500 in der hierin beschriebenen Weise ermöglicht.

[0071] Derartige Alarmstufen, optische Anzeigemerkmale und akustische Anzeigemerkmale ermöglichen, wenn die überwachten Komponenten die zugehörigen Parameter annähernd erreichen, erreichen oder überschreiten, eine «Frühwarungs»-Einrichtung der Kriechlebensdauermanagementsysteme 200, 400 und 500. Für bestimmte Werte der gemessenen Merkmale, z.B., ohne Beschränkung, Echtzeit-Komponententemperaturprofile 910, können derartige Messungen eine Eingabe für Entscheidungsfindungsalgorithmen und Instruktionen innerhalb der Programmierung der Steuereinrichtung 216 (wie sie in Fig. 2 veranschaulicht ist), einschliesslich, ohne Beschränkung, einer kurzfristigen oder sofortigen Ausserbetriebnahme der Anlage/Maschine 100, sein.

[0072] Zusätzlich zu den Echtzeit-Kriech-, -Kriechrate-, Temperatur- und -Dehnungsmessungen und -bestimmungen enthalten die Kriechlebensdauermanagementsysteme 200, 400 und 500 ferner Historien- und Trendmerkmale für jede einzelne Laufschaufel 122 und Laufschaufel 124, die überwacht wird. Zum Beispiel ist die Steuereinrichtung 216, ohne Beschränkung, programmiert, um ein historisches Temperaturprofil, ein historisches Dehnungsprofil und ein historisches Kriechprofil für jede einzelne Laufschaufel 122 und Laufschaufel 124, die überwacht wird, zu bestimmen und anzuzeigen.

[0073] Bezugnehmend auf die Fig. 6, 7, 8 und 9 als ein Beispiel und ohne Beschränkung werden Dehnungs-, Temperatur- und Kriechhistorien für jede überwachte Laufschaufel 122 und Laufschaufel 124 von dem Zeitpunkt der Installation der Laufschaufeln 122 und Laufschaufeln 124 und/oder der Inbetriebsetzung des Systems 200 ab bis zu dem Zeitpunkt der letzten Datenerfassung bestimmt. Ferner wird zum Beispiel und ohne Beschränkung eine Echtzeit-Restnutzungsdauer(RND)-Schätzung für jede überwachte Laufschaufel 122 und Laufschaufel 124 von dem Zeitpunkt der Installation der Laufschaufeln 122 und der Laufschaufeln 124 und/oder Inbetriebsetzung des Systems 200 ab bis zu dem Zeitpunkt der letzten Datenerfassung bestimmt. Höhere Kriech- und Temperaturniveaus zeigen an, dass die Turbine möglicherweise heisser läuft, und könnten eine Notwendigkeit kennzeichnen, andere Turbinenparameter hinsichtlich Anomalien zu überprüfen, so dass frühzeitige Korrekturmassnahmen vorgenommen werden können.

[0074] Ausserdem sind die Kriechlebensdauermanagementsysteme 200, 400 und 500 ferner programmiert, um einen Vergleich zwischen jeder RND-Schätzung für jede überwachte Komponente vorzunehmen, wobei der Vergleich wenigstens teilweise eine priorisierte Reihenfolge von Instandhaltungsmassnahmen für die überwachten Komponenten repräsentiert. Ferner wird ein Vergleich zwischen jeder RND-Schätzung für jede überwachte Komponente und wenigstens einem vorbestimmten RND-Parameter derart bestimmt, dass diese Komponenten, die sich einem Ende der Nutzungsdauer annähern, für eine Überprüfung, Reparatur und/oder Austauschmassnahme «gekennzeichnet» werden können. Ferner sind die Kriechlebensdauermanagementsysteme 200, 400 und 500 weiter programmiert, um für einen Betreiber eine vergleichende Betriebshistorie mehrerer der überwachten Komponenten anzuzeigen, wodurch eine Identifizierung von Betriebsbedingungen, die Verlängerungen einer Nutzungslebensdauer der Komponenten unterstützen, ermöglicht wird.

[0075] Ausserdem werden die Komponententemperatur- und -dehnungsdaten im Betrieb mit einem Datum- und Zeitstempel versehen, so dass derartige Komponentendaten mit anderen Betriebsdaten, einschliesslich, ohne Beschränkung, Verbrennungsgastemperaturen, korreliert werden können. Demgemäss können für diejenigen Laufschaufeln 122 und/oder Laufschaufeln 124, die sich unterscheidenden Betriebsbedingungen, z.B., ohne Beschränkung, höheren Gastemperaturen, im Vergleich zu ähnlichen Komponenten, ausgesetzt worden sind, Komponenten für eine häufigere Überwachung gekennzeichnet werden. Derartige gekennzeichnete Komponenten können derart ausgewählt werden, dass sie einen anderen Dehnungswarn-/alarmsollwert als gleichartige Komponenten haben. Ferner können bestimmte Komponenten, die ein höheres Risiko als andere Komponenten haben können, z.B., ohne Beschränkung, die Laufschaufeln 124, die keine Kühleinrichtungen haben, häufiger abgefragt werden. Ausserdem ermöglichen Echtzeit-Temperatur- und -Dehnungsdaten für jede der Laufschaufeln 122 und/oder der Laufschaufeln 124 eine Identifizierung derjenigen Komponenten, die schneller

oder langsamer als ähnliche Komponenten unter ähnlichen Betriebsbedingungen «altern», mit ähnlichen Betriebshistorien, und diese Komponenten können häufiger abgefragt werden.

[0076] Ferner kann für diejenigen Laufschaufeln 122 und/ oder Laufschaufeln 124, die ein beschleunigtes ermitteltes Kriechen zeigen und/oder sich einem vorbestimmten Dehnungsparameter annähern, ein frühzeitiger Austausch während geplanter Instandhaltungsunterbrechungen eingeplant werden. Ausserdem können für diejenigen Laufschaufeln 122 und/ oder Laufschaufeln 124, bei denen festgestellt worden ist, dass sie höhere Überwachungshäufigkeiten haben, spezielle Prüfmassnahmen für derartige Komponenten während geplanter Instandhaltungsunterbrechungen eingeplant werden. Folglich ermöglichen spezielle Dehnungs- und/oder Kriechbestimmungen für jede einzelne Laufschaufel 122 und Laufschaufel 124 im Betrieb eine Verringerung unnötiger Instandhaltungsprüf- und Austauschmassnahmen, wodurch die Kosten des Betriebs und der Aufrechterhaltung der Gasturbine 100 verringert werden.

[0077] Ausserdem können durch die Kriechlebensdauermanagementsysteme 200, 400 und 500 gesammelte und ermittelte Daten verwendet werden, um physikbasierte Modelle der Gasturbine 100, einschliesslich der Laufschaufeln 122 und der Laufschaufeln 124, zu verbessern und/oder zu kalibrieren. Die physikbasierten Modelle umfassen Details des Designs, der Konstruktion und Betriebsinformationen, wie beispielsweise, ohne Beschränkung, Komponentenmaterialien, Grössenbemessung und Ausrichtung der Komponenten und historische Gasturbinenbetriebsdaten. Derartige Informationen und Daten werden in ein Finite-Elementen-Modell (FEM) eingebettet, um, ohne Beschränkung, Komponentenbelastungen und -temperaturen zu berechnen, die wiederum verwendet werden, um die Komponenten-RND zu schätzen. Mit einer direkten Messung dieser Werte, wie hierin beschrieben, können die FEM-Modelle mit den erfassten Echtzeit-Daten verbessert und kalibriert werden. Diese verbesserten und kalibrierten Modelle können dann flottenweit angewandt werden, um Verfahren zur Abschätzung der RNDs weiter zu verbessern und die Genauigkeit derartiger RND-Schätzungen zu verbessern.

[0078] Im Gegensatz zu bekannten Kriechlebensdauermanagementsystemen ermöglichen die Kriechlebensdauermanagementsysteme, wie sie hierin beschrieben sind, eine Verbesserung der Erfassung und Ermittlung von Kriech- und Kriechermüdungsdaten, die Turbinenkomponenten zugeordnet sind. Insbesondere enthalten die Kriechlebensdauermanagementsysteme, wie sie hierin beschrieben sind, im Gegensatz zu bekannten Kriechlebensdauermanagementsystemen ein drahtloses Aussenden eines Abfragesignals von einer Leseinheit zu einer Sensorvorrichtung mit einer eindeutigen Kennung und ein drahtloses Empfangen von Messdaten für die zugehörige Komponente. Die drahtlosen Sensorvorrichtungen, wie sie hierin beschrieben sind, sind in diesen Komponenten eingebettet und/oder mit diesen Komponenten gekoppelt, die ansonsten schwer zu überwachen sind, wie beispielsweise diejenigen Komponenten, die mit hohen Geschwindigkeiten rotieren und/oder innerhalb einer rauen Umgebung positioniert sind, wie z.B. Verdichterlaufschaufeln und Turbinenlaufschaufeln. Folglich können Echtzeit-Betriebsdaten, einschliesslich Temperatur- und Dehnungsdaten, an einer Stelle gesammelt und an einer anderen Stelle, die für eine sichere, langzeitige Speicherung in der Leseinheit förderlich ist, oder einer mit dieser gekoppelten Speichervorrichtung gespeichert werden. Die hierin beschriebenen drahtlosen Sensorvorrichtungen sind passiv, und die zum Betreiben der Sensorvorrichtungen verwendete Energie wird von der Leseinheit gemeinsam mit dem Abfragesignal übertragen, so dass folglich keine bordeigenen Energieversorgungen für die Sensorvorrichtungen benötigt werden. Ferner kann jede drahtlose Sensorvorrichtung, wie hierin beschrieben, unter Verwendung der eindeutigen Kennung für jeden Sensor einzeln abgefragt werden, wobei eine derartige eindeutige Kennung auch der Verdichterschaufel oder Turbinenschaufel zugeordnet ist, mit der diese verbunden ist.

[0079] Die Kriechlebensdauermanagementsysteme, wie sie hierin beschrieben sind, ermöglichen eine Bestimmung von Auswirkungen von Betriebsbedingungen auf die Nutzungslebensdauer der Komponenten im Laufe der Lebensdauer der Komponenten. Ferner ermöglichen die Kriechlebensdauermanagementsysteme, wie sie hierin beschrieben sind, Bestimmungen der Restnutzungsdauer von Komponenten, und sie ermöglichen folglich eine Verbesserung von zustandsbasierten Instandhaltungssystemen. Ferner können die Kriechlebensdauermanagementsysteme, wie sie hierin beschrieben sind, vorbestimmte Parameter enthalten, die verwendet werden können, um eine Dehnungs- und/oder Temperaturschwelle festzulegen, um eine Überprüfung und/oder einen Austausch auszulösen. Ausserdem können die Kriechlebensdauermanagementsysteme, wie sie beschrieben sind, verwendet werden, um eine Verlängerung von Überprüfungs- und Austauschintervallen für diejenigen Komponenten, die längere Nutzungsdauern aufweisen, zu ermöglichen. Folglich können unnötige Instandhaltungsausfälle mit einem einfach zu verwendenden, leicht verfügbaren Diagnosesystem vermieden werden, so dass dadurch kumulative Kosteneinsparungen für Betriebs- und Instandhaltungsmanager ermöglicht werden. Wenn Muster und/oder Trends für ein beschleunigtes Kriechen festgestellt werden, kann ferner eine zusätzliche Untersuchung ausgelöst werden, um die Grundursachen zu ermitteln. Folglich können Instandhaltungsunterbrechungen geplant werden, um die Grundursachen vor irgendeinem dauerhaften Schaden zu korrigieren, wodurch weiter kumulative Kosteneinsparungen für Betriebs- und Instandhaltungsmanager ermöglicht werden.

[0080] Ein beispielhafter technischer Effekt der Verfahren, Systeme und Vorrichtungen, wie sie hierin beschrieben sind, umfasst wenigstens eines von: (a) drahtloses Abfragen von Sensorvorrichtungen, die mit Komponenten gekoppelt sind, die sich in rauen Umgebungen befinden; (b) drahtloses Übertragen von Echtzeit-Messdaten zu einem Datenaufbewahrungsort; (c) Durchführen einer Echtzeit-Kriechanalyse für Komponenten, die sich in einer rauen Umgebung befinden; (d) Korrelieren erfasster Messdaten mit einer eindeutig identifizierbaren Komponente; (e) Bestimmen eines Kriechprofils für eine Komponente und einer geschätzten Restnutzungsdauer; (f) Alarmieren eines Betreibers, wenn ein gemessener Echtzeit-Dehnungswert einer Komponente sich einem vorbestimmten Wert annähert, den vorbestimmten Wert erreicht oder den vorbestimmten Wert überschreitet; (g) Anweisen eines Betreibers, eine Überwachung der eindeutig identifizier-

baren Komponenten zu verstärken; (h) Anweisen eines Betreibers, den Betrieb der Turbine zu verbessern/optimieren, um eine Verlängerung der RND der eindeutig identifizierbaren Komponenten zu ermöglichen; (i) Anweisen eines Betreibers, eine Überprüfung der eindeutig identifizierbaren Komponenten zu planen; (j) Vergleichen jeder geschätzten Restnutzungsdauer für alle eindeutig identifizierbaren Komponenten miteinander, wodurch eine priorisierte Reihenfolge von Instandhaltungsmassnahmen für die eindeutig identifizierbaren Komponenten bestimmt werden; (k) Vergleichen jeder geschätzten Restnutzungsdauer für jede eindeutig identifizierbare Komponente mit vorbestimmten Nutzungsdauerparametern, wodurch eine priorisierte Reihenfolge von Instandhaltungsmassnahmen für die eindeutig identifizierbaren Komponenten bestimmt wird; (l) Erzeugen einer vergleichenden Betriebshistorie der eindeutig identifizierbaren Komponenten, wodurch eine Identifizierung von Betriebsbedingungen ermöglicht wird, die Verlängerungen einer Nutzungsdauer der eindeutig identifizierbaren Komponenten ermöglichen; und (m) Verbessern und/oder Kalibrieren von physikbasierten Modellen der Turbine und zugehöriger Komponenten unter Verwendung erfasster Daten, um Verfahren zur Schätzung von RNDs weiter zu verbessern, und Verbessern der Genauigkeit derartiger RND-Schätzungen.

[0081] Die hierin beschriebenen Verfahren und Systeme sind nicht auf die hierin beschriebenen speziellen Ausführungsformen beschränkt. Zum Beispiel können Komponenten jedes Systems und/oder Schritte jedes Verfahrens unabhängig und gesondert von anderen Komponenten und/oder Schritten, wie sie hierin beschrieben sind, verwendet und/oder in die Praxis umgesetzt werden. Ausserdem kann jede Komponente und/oder jeder Schritt auch bei anderen Anordnungen und Verfahren verwendet und/oder umgesetzt werden.

[0082] Einige Ausführungsformen umfassen die Verwendung einer oder mehrerer elektronischer oder Rechenvorrichtungen. Derartige Vorrichtungen enthalten gewöhnlich einen Prozessor oder Controller, wie beispielsweise eine Universalzweck-Zentralverarbeitungseinheit (CPU), eine Grafikverarbeitungseinheit (GPU), einen Mikrocontroller, einen Prozessor eines Computers mit reduziertem Befehlssatz (RISC), eine anwendungsspezifische integrierte Schaltung (ASIC), eine programmierbare Logikschaltung (PLC) und/oder jede beliebige sonstige Schaltung oder jeden beliebigen sonstigen Prozessor, die bzw. der in der Lage ist, die hierin beschriebenen Funktionen auszuführen. Die hierin beschriebenen Verfahren können als ausführbare Instruktionen codiert sein, die in einem computerlesbaren Medium, einschliesslich, ohne Beschränkung, einer Speichervorrichtung und/oder einer Memory-Vorrichtung enthalten sind. Derartige Instruktionen, wenn sie durch einen Prozessor ausgeführt werden, veranlassen den Prozessor, wenigstens einen Teil der hierin beschriebenen Verfahren auszuführen. Die obigen Beispiele sind lediglich beispielhaft und sind folglich nicht dazu bestimmt, die Definition und/oder Bedeutung des Begriffs Prozessor in irgendeiner Weise zu beschränken.

[0083] Während die Erfindung anhand verschiedener spezieller Ausführungsformen beschrieben worden ist, werden Fachleute auf dem Gebiet erkennen, dass die Erfindung innerhalb des Rahmens und Umfangs der Ansprüche mit Modifikationen ausgeführt werden kann.

[0084] Ein Kriechlebensdauermanagementsystem (200/400/500) enthält wenigstens eine Sensorvorrichtung (202/350/360) die mit einer ersten Komponente (122/124) gekoppelt ist. Die wenigstens eine Sensorvorrichtung ist mit einer eindeutigen Kennung eingerichtet. Das Kriechlebensdauermanagementsystem enthält ferner wenigstens eine Leseinheit (212), die mit einer zweiten Komponente (105/109/110/670/674) gekoppelt ist. Die wenigstens eine Leseinheit ist konfiguriert, um ein Abfrageanforderungssignal (218/418/518) zu der wenigstens einen Sensorvorrichtung zu senden und ein Messantwortsignal (220/420/520) zu empfangen, das von der wenigstens einen Sensorvorrichtung übermittelt wird. Das Kriechlebensdauermanagementsystem enthält ferner wenigstens einen Prozessor (216), der programmiert ist, um ein Echtzeit-Kriechprofil (802) der ersten Komponente in Abhängigkeit von dem Messantwortsignal, das von der wenigstens einen Sensorvorrichtung übermittelt wird, zu bestimmen.

Bezugszeichenliste

[0085]

- 100 Gasturbine (Turbomaschine)
- 102 Lufteinlassabschnitt
- 104 Verdichterabschnitt
- 105 Verdichtergehäuse
- 106 Brennkammerabschnitt
- 108 Turbinenabschnitt
- 109 Turbinengehäuse
- 110 Auslassabschnitt
- 112 Rotoranordnung
- 114 Antriebswelle des Verdichters (Rotors)

115	Antriebswelle der Turbine (des Rotors)
116	Brennkammern
118	Brennstoffdüsenanordnung
120	Last
122	Verdichterlaufschauafelanordnung
123	Leitschauafelanordnung
124	Turbinenlaufschauafelanordnung
125	Leitschauafelanordnung
150	Einlassluft
152	verdichtete Luft
154	Verbrennungsgase
156	Abgase
200	Kriechlebensdauermanagementsystem
202	HF-Sensorvorrichtung
204	piezoelektrisches Kristallsubstrat
206	Reflektoren
208	interdigitaler Transducer
210	Antenne
212	Leseinheit
214	Antenne
215	Transceivervorrichtung
216	Controller
218	Anforderungs(Abfrage)-Signal
220	Antwortsignal
330	Fussabschnitt
340	Schaufelblattabschnitt
342	Spitzenabschnitt
344	Vorderkante
346	Hinterkante
L	Schaufelblattlänge
350	Temperatursensor
360	Dehnungssensor
400	Kriechlebensdauermanagementsystem
402	Antennenverlängerung
404	Antenne
418	Anforderungs(Abfrage)-Signal

- 420 Antwortsignal
- D Abstand
- 500 Kriechlebensdauermanagementsystem
- 518 Anforderungs(Abfrage)-Signal
- 420 Antwortsignal
- 670 Verdichtereinlasswand
- 672 letzte Stufe des Verdichters
- 674 Turbinenauslasswand
- 676 letzte Stufe der Turbine
- 700 Monitor
- 702 Bildschirmansicht des Echtzeit-Dehnungsprofils
- 704 y-Achse
- 706 x-Achse
- 708 Echtzeit-Dehnungsmesswerte der Laufschaufel
- 710 erhöhte Dehnungsmesswerte der Laufschaufel
- 712 Dehnungsparameter der Laufschaufel
- 800 Monitor
- 802 Echtzeit-Kriechdehnungshistorienprofilbildschirm
- 804 y-Achse
- 806 x-Achse
- 808 z-Achse
- 810 einzelne Kriechdehnungshistorienprofile
- 900 Monitor
- 902 Echtzeit-Komponententemperaturprofilbildschirm
- 904 y-Achse
- 906 x-Achse
- 908 z-Achse
- 910 einzelne Komponententemperaturprofile

Patentansprüche

1. Kriechlebensdauermanagementsystem (200/400/500), das aufweist:
 - wenigstens eine Sensorvorrichtung (202/350/360), die mit einer ersten Komponente (122/124) gekoppelt ist, wobei die wenigstens eine Sensorvorrichtung mit einer eindeutigen Kennung eingerichtet ist;
 - wenigstens eine Leseinheit (212), die mit einer zweiten Komponente (105/109/110/670/674) gekoppelt ist, wobei die wenigstens eine Leseinheit eingerichtet ist, um ein Abfrageanforderungssignal (218/418/518) zu der wenigstens einen Sensorvorrichtung zu senden und ein Messantwortsignal (220/420/ 520) zu empfangen, das von der wenigstens einen Sensorvorrichtung übermittelt wird; und
 - wenigstens einen Prozessor (216), der programmiert ist, um ein Echtzeit-Kriechprofil (802) der ersten Komponente in Abhängigkeit von dem von der wenigstens einen Sensorvorrichtung übermittelten Messantwortsignal zu bestimmen.

2. Kriechlebensdauermanagementsystem (200/400/500) nach Anspruch 1, wobei der wenigstens eine Prozessor (216), der programmiert ist, um ein Echtzeit-Kriechprofil (802) zu bestimmen, programmiert ist, um wenigstens eines von einem historischen Temperaturprofil (910), einem historischen Dehnungsprofil (810) und einem historischen Kriechprofil (810) der ersten Komponente (122/124) zu bestimmen.
3. Kriechlebensdauermanagementsystem (200/400/500) nach Anspruch 1 oder 2, wobei der wenigstens eine Prozessor (216) ferner programmiert ist, um einen Betreiber zu alarmieren, wenn ein gemessener Echtzeit-Dehnungswert (802) der ersten Komponente (122/124) wenigstens entweder sich einem vorbestimmten Wert annähert und/oder den vorbestimmten Wert erreicht und/oder den vorbestimmten Wert überschreitet.
4. Kriechlebensdauermanagementsystem (200/400/500) nach einem beliebigen der vorhergehenden Ansprüche, wobei der wenigstens eine Prozessor (216), der programmiert ist, um ein Echtzeit-Kriechprofil (802) zu bestimmen, programmiert ist, um eine Echtzeit-Restnutzungsdauer (RND) -Schätzung für die erste Komponente (122/124) in Abhängigkeit von dem Messantwortsignal (220/420/520), das von der wenigstens einen Sensorvorrichtung (202/350/360) übermittelt wird, zu bestimmen.
5. Kriechlebensdauermanagementsystem (200/400/500) nach Anspruch 4, wobei der wenigstens eine Prozessor (216) ferner programmiert ist, um die RND-Schätzung für mehrere erste Komponenten (122/124) zu bestimmen, wobei der wenigstens eine Prozessor ferner programmiert ist, um wenigstens einen zu bestimmen von:
einem Vergleich zwischen jeder RND-Schätzung für jede erste Komponente der mehreren ersten Komponenten, wobei der Vergleich wenigstens teilweise eine priorisierte Reihenfolge von Instandhaltungsmassnahmen für die mehreren ersten Komponenten repräsentiert; und
einem Vergleich zwischen jeder RND-Schätzung für jede erste Komponente der mehreren ersten Komponenten und wenigstens einem vorbestimmten RND-Parameter.
6. Kriechlebensdauermanagementsystem (400) nach einem beliebigen der vorhergehenden Ansprüche, das ferner wenigstens eines aufweist von:
mehrere erste Antennen (404), die mit der wenigstens einen Leseinheit (212) gekoppelt sind; und
mehrere Sensorvorrichtungen (202/350/360), die mehrere zweite Antennen (210) aufweisen, wobei all die mehreren ersten Antennen und die mehreren zweiten Antennen derart positioniert sind, dass:
ein Abstand (D) zwischen all den mehreren ersten Antennen wenigstens entweder wenigstens 3 einer Wellenlänge und/oder wenigstens ein räumlicher Kohärenzabstand (D) ist, der einem drahtlosen Kanal zugeordnet ist, der durch wenigstens eine der mehreren ersten Antennen und wenigstens eine der mehreren zweiten Antennen definiert ist; und
ein Abstand (D) zwischen all den mehreren zweiten Antennen wenigstens entweder wenigstens 3 einer Wellenlänge und/oder wenigstens ein räumlicher Kohärenzabstand (D) ist, der dem drahtlosen Kanal zugeordnet ist, der durch die wenigstens eine der mehreren ersten Antennen und wenigstens eine der mehreren zweiten Antennen definiert ist.
7. Kriechlebensdauermanagementsystem (200/400/500) nach einem beliebigen der vorhergehenden Ansprüche, wobei:
die wenigstens eine Sensorvorrichtung (202/350/360) und die wenigstens eine Leseinheit (212) in drahtloser Kommunikationsverbindung stehen; und
die wenigstens eine Sensorvorrichtung wenigstens entweder einen Dehnungsmesssensor (350) und/oder einen Temperaturmesssensor (360) aufweist.
8. Turbine (100), die aufweist:
wenigstens eine drehbare Komponente (112/114/115/122/ 124/672/676);
wenigstens eine stationäre Komponente (105/109/110/670/ 674) und
ein Kriechlebensdauermanagementsystem (200/400/500), das aufweist:
wenigstens eine Sensorvorrichtung (202/350/360), die mit der wenigstens einen drehbaren Komponente (122/ 124) gekoppelt ist, wobei die wenigstens eine Sensorvorrichtung mit einer eindeutigen Kennung eingerichtet ist;
wenigstens eine Leseinheit (212), die mit der wenigstens einen stationären Komponente gekoppelt ist, wobei die wenigstens eine Leseinheit eingerichtet ist, um ein Abfrageanforderungssignal (218/418/518) zu der wenigstens einen Sensorvorrichtung zu senden und ein Messantwortsignal (220/420/520) zu empfangen, das von der wenigstens einen Sensorvorrichtung übermittelt wird; und
wenigstens einen Prozessor (216), der programmiert ist, um ein Echtzeit-Kriechprofil (802) der wenigstens einen drehbaren Komponente in Abhängigkeit von dem Messantwortsignal, das von der wenigstens einen Sensorvorrichtung übermittelt wird, zu bestimmen.
9. Turbine (100) nach Anspruch 8, wobei:
die wenigstens eine Sensorvorrichtung (202/350/360) mehrere Sensorvorrichtungen aufweist, wobei jede der Sensorvorrichtungen eine Sensorantenne (210) aufweist; und
die wenigstens eine Leseinheit (212) mehrere Leseantennen (404) aufweist, wobei jede der Leseantennen mit den mehreren Sensorantennen in entweder einer Eine-zu-viele-Beziehung oder einer Eine-zu-eine-Beziehung kommunikationsmässig verbunden ist.
10. Turbine (100) nach Anspruch 8, wobei:

CH 706 827 A2

die wenigstens eine Sensorvorrichtung (202/350/360) mehrere Sensorvorrichtungen aufweist, wobei jede der Sensorvorrichtungen eine Sensorantenne (210) aufweist; und
die wenigstens eine Leseinheit (212) eine einzige Leseantenne (214) aufweist, wobei die Leseantenne mit jeder der Sensorantennen in einer Eine-zu-viele-Beziehung kommunikationsmässig verbunden ist.

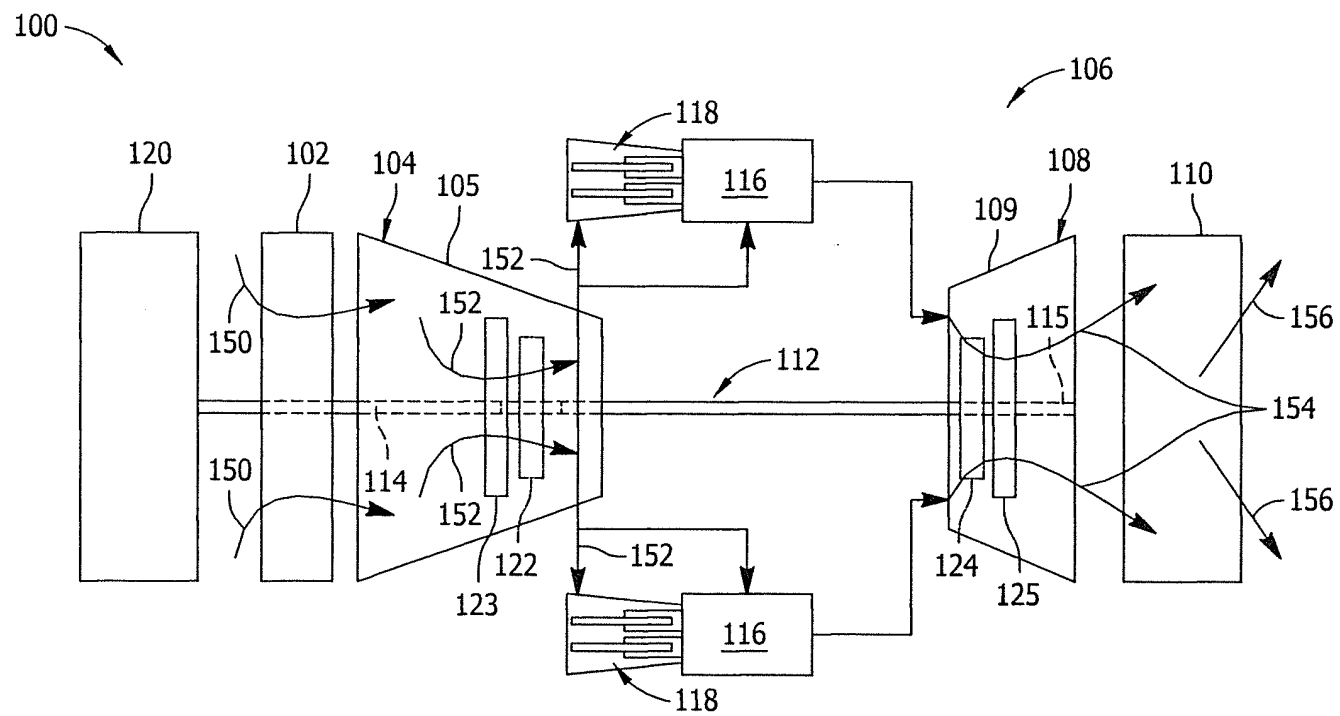


FIG. 1



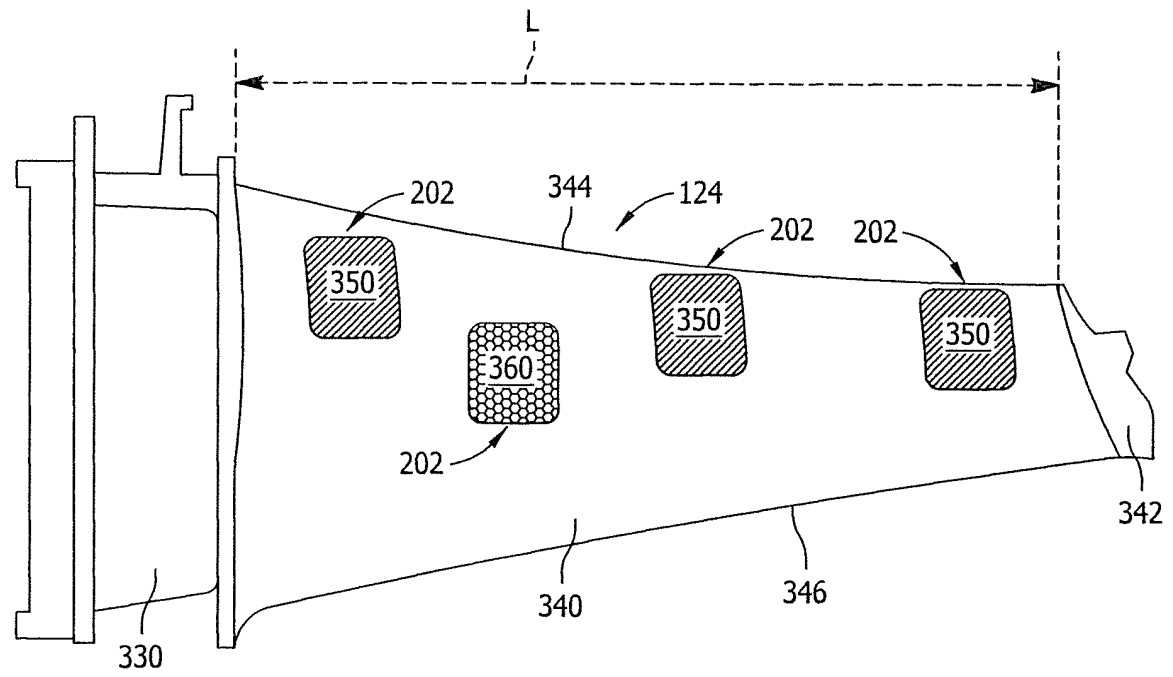


FIG. 3

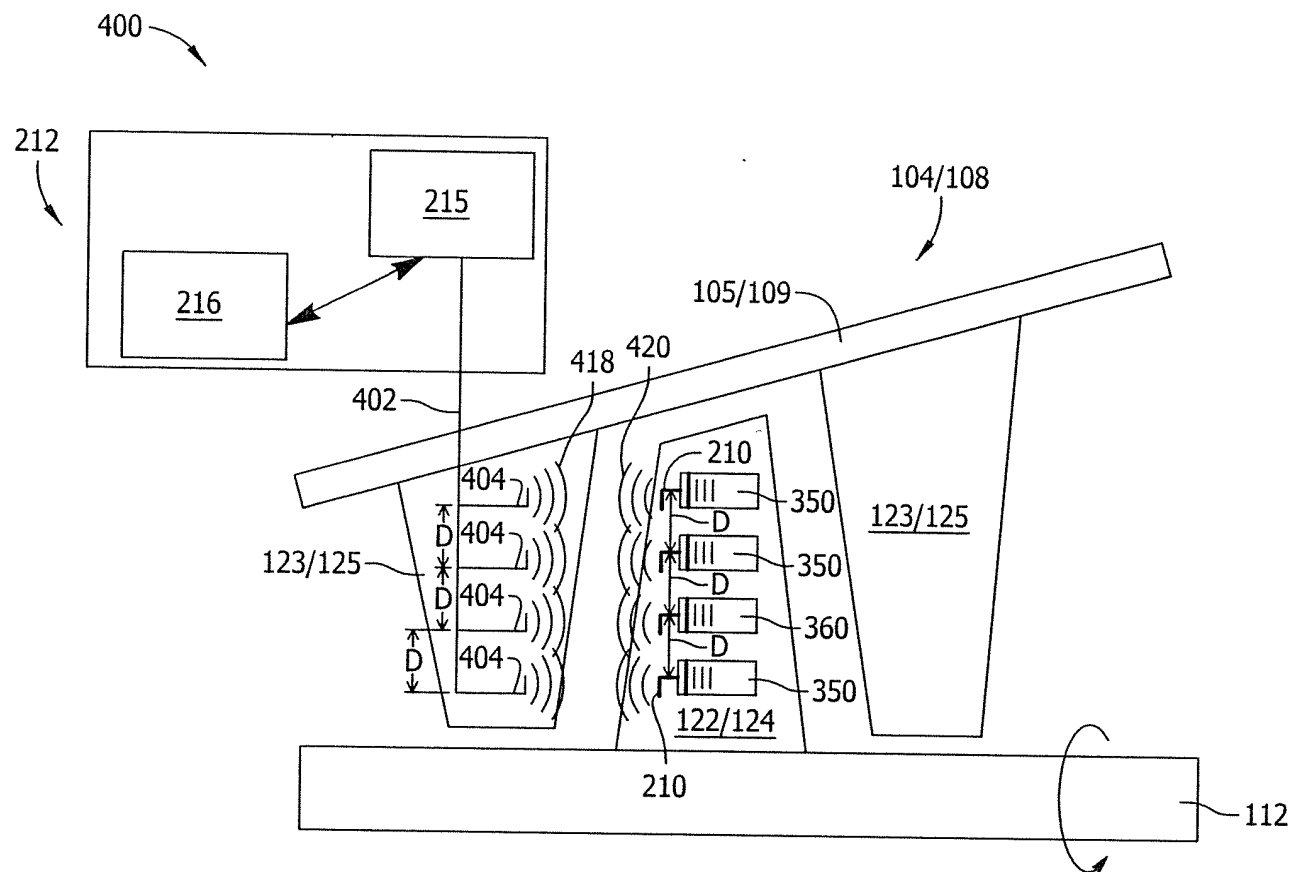


FIG. 4

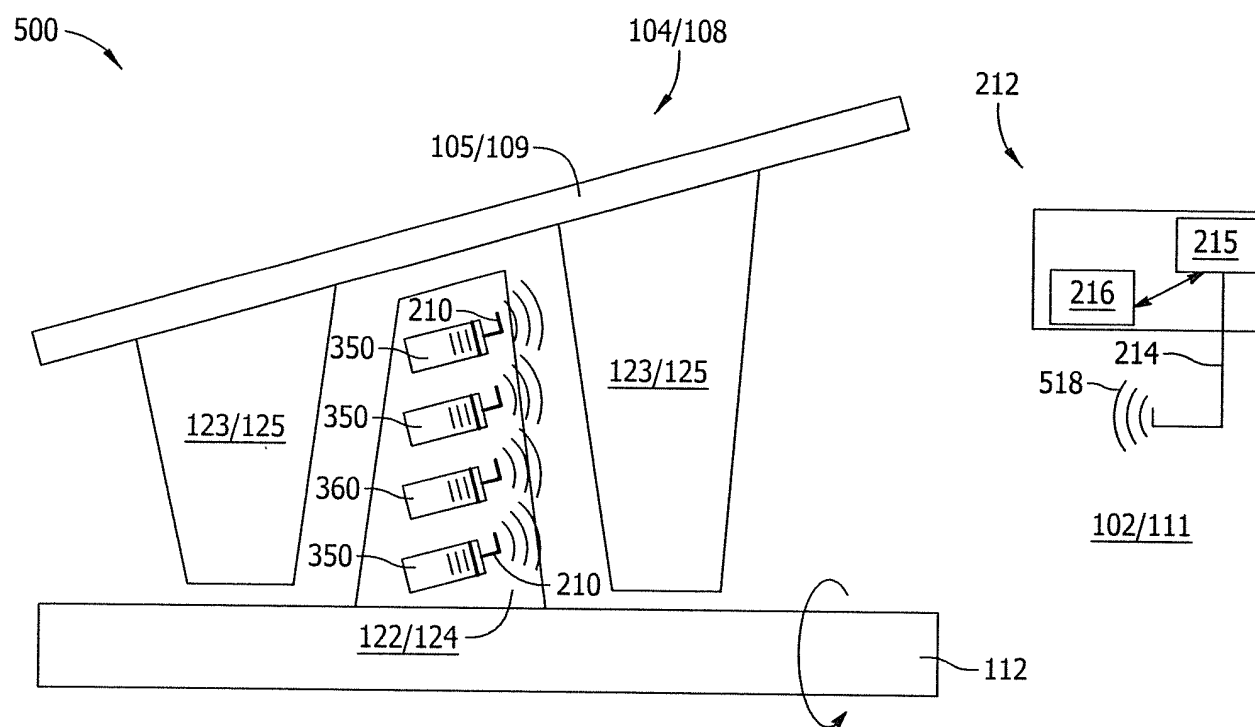


FIG. 5

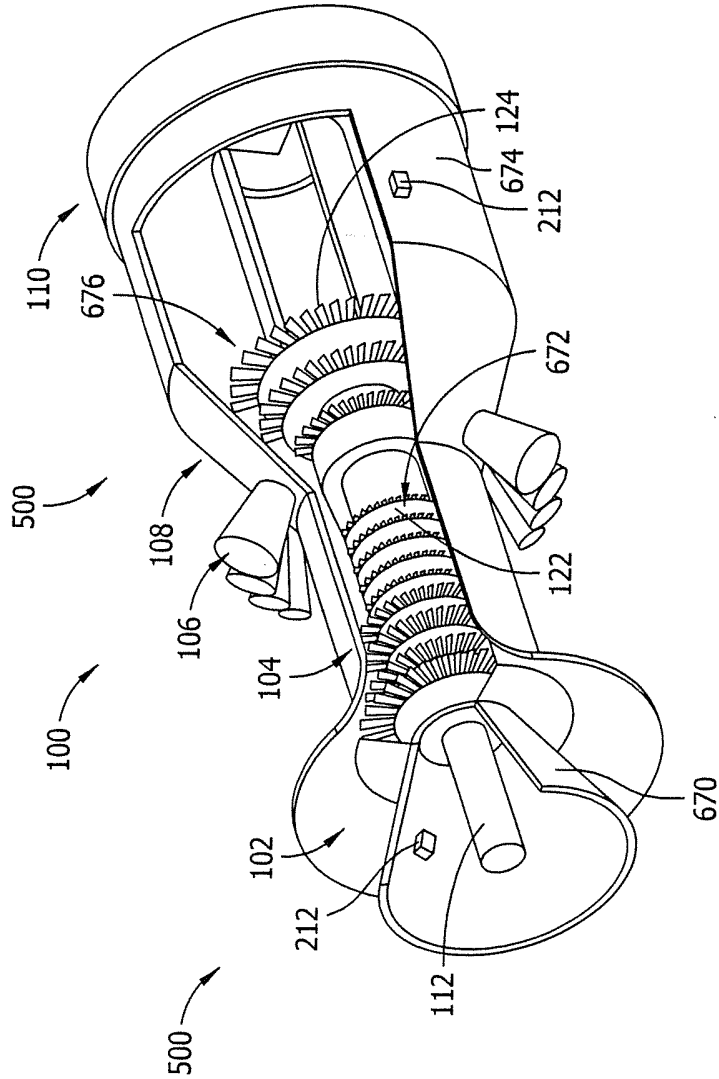


FIG. 6

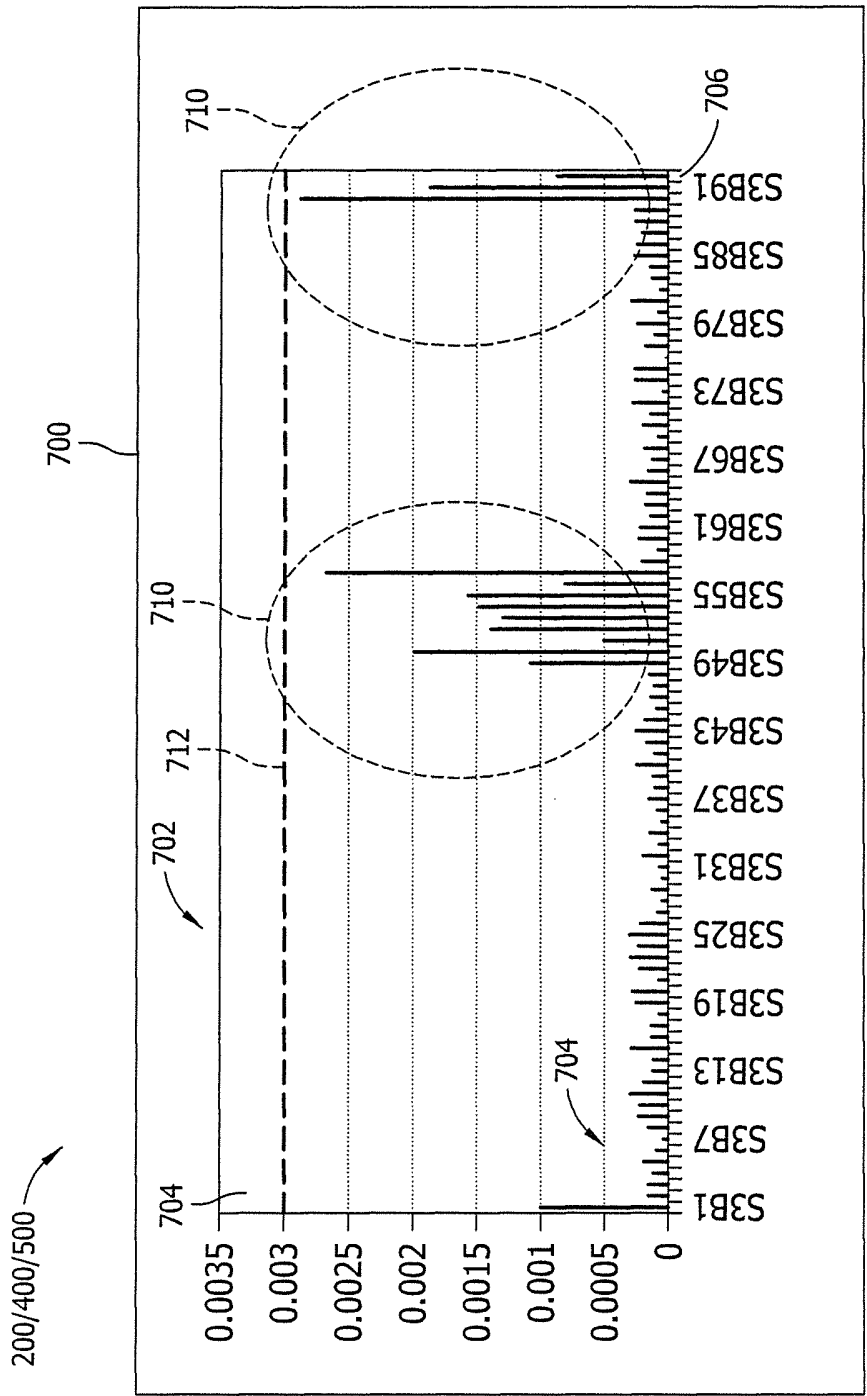


FIG. 7

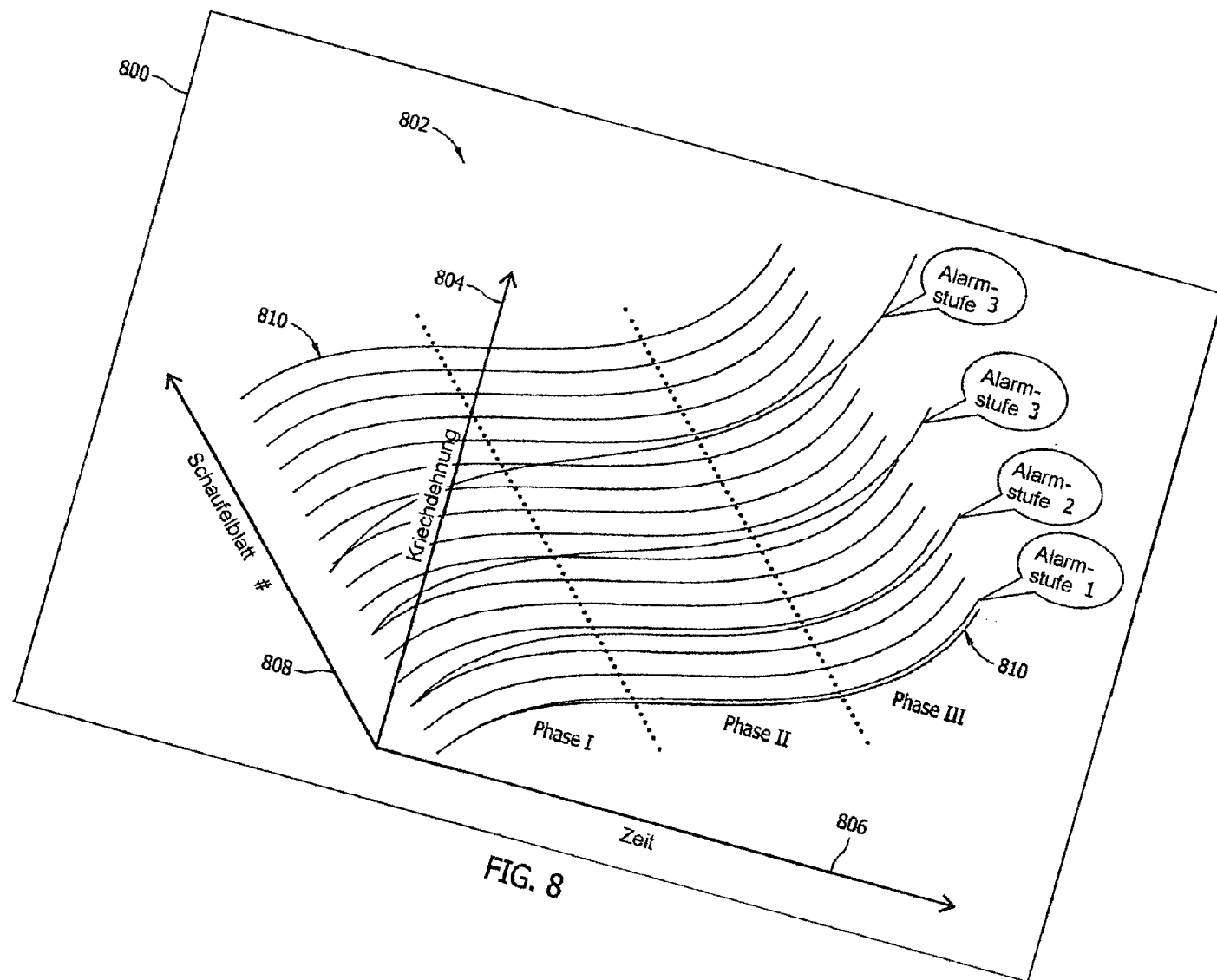


FIG. 8

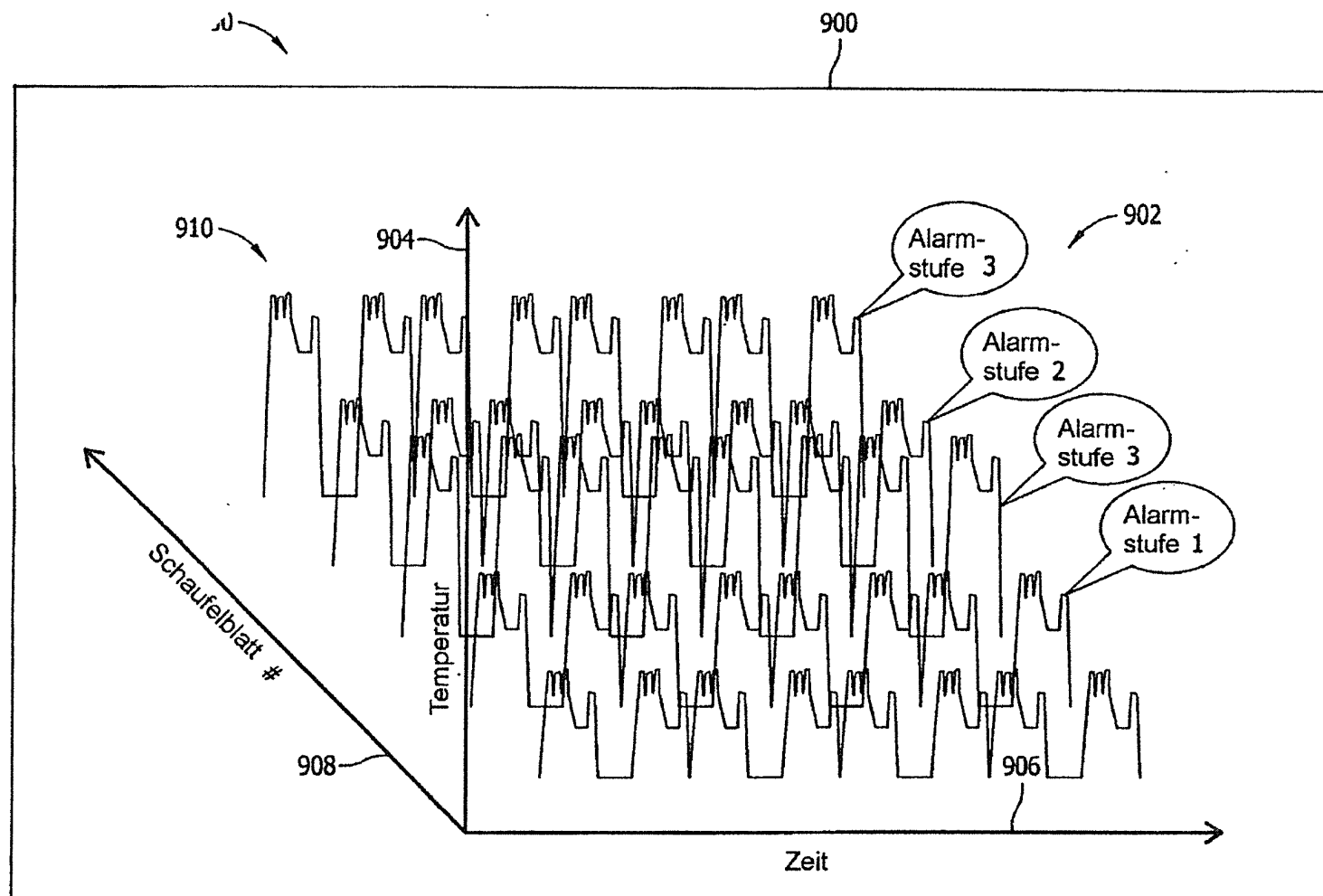


FIG. 9