

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 698 630 A2

(51) Int. Cl.: F01D 21/12 (2006.01)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 00262/09

(22) Anmeldedatum: 20.02.2009

(43) Anmeldung veröffentlicht: 15.09.2009

(30) Priorität: 06.03.2008 US 12/075,059

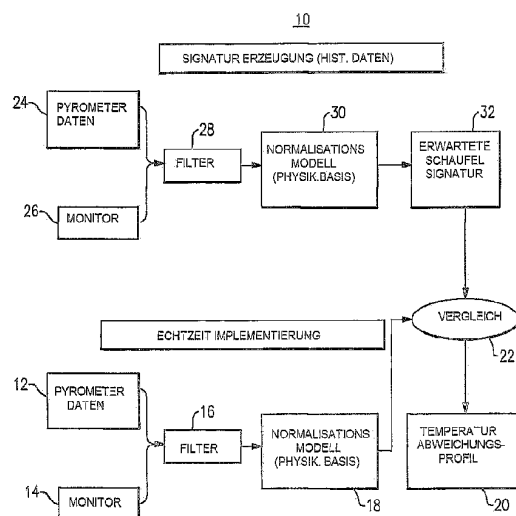
(71) Anmelder:
General Electric Company, 1 River Road
Schenectady, New York 12345 (US)

(72) Erfinder:
Vinay Bhaskar Jammu, 500066 Bangalore (IN)
Sudhanshu Rai, 560097 Bangalore (IN)
Srihari Balasubramanian,
12065 Clifton Park, New York (US)
Mandar Kalidas Chati, 45040 Mason, Ohio (US)
Omprakash Velagandula,
12309 Niskayuna, New York (US)
Nirm Velumylum Nirmalan,
12309 Niskayuna, New York (US)

(74) Vertreter:
Ritscher & Partner AG, Resirain 1
8125 Zollikoberg (CH)

(54) Defektmodus-Erkennungseinrichtung.

(57) Die Einrichtung dient zur Erkennung von Problemen an Turbinenschaufeln in Echtzeit und bietet durch Einbezug von physikalisch basierten Korrekturen und Temperaturmodellmethoden eine im Vergleich zu bekannten Methoden genauere Vorhersagefähigkeit für die Lebensdauerabschätzung von Turbinenteilen im Heissgaspfad. Die Einrichtung verwendet Pyrometerdaten (12, 24) und Betriebsdaten (14, 26) zur Generierung von physikalisch basierten Korrekturen (18, 30) der Pyrometerdaten sowie physikalisch basierte Schaufeltemperaturabschätzungen (20) und Defektsignaturen (32).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine vorzugsweise in Echtzeit arbeitende Einrichtung zur Erkennung der Defektmodi von Schaufeln einer Gasturbine oder eines Strahltriebwerkes.

[0002] Gasturbinen arbeiten bei relativen hohen Temperaturen. Ihre Leistungsfähigkeit ist in erheblichem Masse abhängig von der Fähigkeit des Materials der Turbinenschaufeln, den bei derart hohen Betriebstemperaturen auftretenden thermischen Belastungen standzuhalten. Das Problem stellt sich besonders bei industriellen Gasturbinen, weil deren Turbinenschaufeln relativ gross sind.

[0003] Um einen Betrieb bei höheren Betriebstemperaturen und eine erhöhte Effizienz ohne die Gefahr von Schaufeldefekten zu ermöglichen, werden häufig konvektionsgekühlte hohle Turbinenschaufeln verwendet. Solche Schaufeln haben im Allgemeinen innere Leitungspfade, die als Durchflussspassagen wirken und eine effiziente Kühlung sicherstellen, so dass alle Teile der Schaufel bei relativ gleichmässigen Temperaturen gehalten werden können.

[0004] Wärmesperrbeschichtungen von Gasturbinenschaufeln schützen das Basismaterial der Schaufel gegen die hohen Temperaturen, denen die Schaufeln wegen der Temperaturen der sich im Heissgaspfad der Turbine expandierenden Gase ausgesetzt sind. Wenn dieser Schutz versagt oder nicht ausreicht, kommt es zu unterschiedlichen Defekten oder Schäden an den Schaufeln, z.B. Splintern (in der Bruchmechanik auch als Spallation bezeichnet) oder Rissbildung der Wärmesperrbeschichtung an den Vorder- und Hinterkanten der Turbinenschaufeln sowie Rissbildungen an der Schaufelauflage als Folge der hohen Beanspruchungen im Heissgaspfad der Turbine. Andere problematische Schaufeldefekte sind unter anderen die Blockierungen der Kühlkanäle. All diese Defektmodi können ausserplanmässige Wartungsarbeiten erfordern, wenn sie zu schwerwiegenden Defekten, wie Schaufelbruch, führen. Auch kann durch Verlust von schadhafte und nicht mehr reparierbaren Teilen ein erheblicher Schaden ausgelöst werden. Betreibern von Energieerzeugungsanlagen können solche Sekundärschäden und die mit Betriebsausfall verbundenen Einnahmeausfall erhebliche Verluste verursachen.

[0005] Bei dieser Sachlage wäre es vorteilhaft und nützlich, über eine Einrichtung oder ein System zu verfügen, das eine zuverlässige Erkennung von Turbinenproblemen bei Gasturbinen und Strahltriebwerken in Echtzeit ermöglicht.

[0006] Gemäss einer ersten Ausführungsform betrifft die Erfindung eine Einrichtung zur Erkennung der Defektmodi von Schaufeln einer Gasturbine oder eines Strahltriebwerkes mit den in Anspruch 1 angegebenen Merkmalen.

[0007] Bevorzugte Ausführungsformen der Einrichtung haben die in den Ansprüchen 2 bis 9 angegebenen Merkmale.

[0008] Gemäss einer weiteren Ausführungsform betrifft die Erfindung ein System bzw. eine Anlage mit den in Anspruch 10 angegebenen Merkmalen.

[0009] Gemäss einer ersten Ausführungsform ist die erfindungsgemässe Einrichtung zur Erkennung der Defektmodi von Schaufeln einer Gasturbine oder eines Strahltriebwerkes so ausgebildet, dass Veränderungen zwischen gemessenen relativen oder absoluten Schaufeltemperaturen und Grundlinientemperaturen erkannt werden.

[0010] Gemäss einer weiteren Ausführungsform betrifft die Erfindung eine Einrichtung zur Erkennung von Defektmodi bei Gasturbinen oder Strahltriebwerken umfassend:

ein erstes Pyrometer und mindestens einen vor Ort befindlichen Monitor, die gemeinsam so ausgebildet sind, dass sie die Betriebsparameter einer Gasturbine oder eines Strahltriebwerkes generieren;
einen ersten modellbasierten Filter, der so ausgebildet ist, dass er Veränderungen von Pyrometersignalen, die auf Änderungen der Betriebsparameter beruhen, vermindert und daraus ein erstes korrigiertes Pyrometersignal generiert;
einen ersten Prozessor für physikalische Daten, der so konfiguriert ist, dass er die normalisierte Schaufeltemperaturursignatur einer Gasturbine oder eines Strahltriebwerkes in Abhängigkeit vom korrigierten Pyrometersignal generiert;
eine Schaufeldefektmodussignatur-Datenbasis; und
einen ersten Komparator, der so ausgebildet ist, dass er die normalisierte Schaufeltemperaturursignatur einer Gasturbine oder eines Strahltriebwerkes mit Schaufeldefektmodussignaturdaten in der Datenbasis vergleicht, um den mit einer defekten Schaufel zusammenhängenden Defektmodus zu identifizieren.

[0011] Gemäss einer weiteren Ausführungsform bietet die Erfindung ein Verfahren zur Erkennung von Defektmodi bei Gasturbinen oder Strahltriebwerken umfassend:

- das Überwachen der Betriebsparameter einer Gasturbine oder eines Strahltriebwerkes in Echtzeit über ein Pyrometer und mindestens einen vor Ort befindlichen Monitor;
- die Filterung der Pyrometersignale auf Basis von Veränderungen der Betriebsparameter und Generierung eines daraus resultierenden Pyrometersignals hieraus;
- das Generieren einer normalisierten Temperatursignatur der Gasturbinen- oder Strahltriebwerksschaufel in Abhängigkeit vom korrigierten Pyrometersignal;
- die Bereitstellung einer Datenbasis für Schaufeldefektmodussignaturen und
- das Vergleichen der normalisierten Temperatursignatur der Gasturbinen- oder Strahltriebwerksschaufel mit den Schaufeldefektmodussignaturdaten in der Datenbasis zur Identifizierung des mit einer defekten Schaufel zusammenhängenden Defektmodus.

[0012] Die Erfindung wird nun mit den beiliegenden Zeichnungen anhand von die Erfindung nicht beschränkenden Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 ein Blockdiagramm zur Darstellung einer Einrichtung und eines Verfahrens zur Erkennung von Schaufelproblemen an Gasturbinen oder Strahltriebwerken in Echtzeit gemäss einem Ausführungsbeispiel;
- Fig. 2 eine Übersicht zur Darstellung einer Einrichtung und eines Verfahrens zur Erkennung von Schaufelproblemen an Gasturbinen oder Strahltriebwerken gemäss einer anderen Ausführungsform der Erfindung;
- Fig. 3 ein Diagramm, das die Variationsbreite der rohen Betriebsdaten zeigt, die allgemein auf dem in Echtzeit gewonnenen Pyrometersignal einer Gasturbine oder eines Strahltriebwerkes beruhen;
- Fig. 4 ein weiteres Diagramm der in Fig. 3 dargestellten Daten, und zwar nach Korrektur mit dem in Fig. 1 gezeigten Überwachungssystem; und
- Fig. 5 ein Diagramm der Pyrometermesswerte einer Gasturbine oder eines Strahltriebwerkes, wobei die Werte mit mehreren Schaufeln zusammenhängen und in Echtzeit durch das in Fig. 1 dargestellte Überwachungssystem generiert wurden.

[0013] Fig. 1 ist ein als Blockdiagramm dargestelltes Fließbild eines erfindungsgemässen Verfahrens bzw. einer erfindungsgemässen Einrichtung 10 zur Erkennung von Schaufelproblemen in Echtzeit bei einer Gasturbine oder einem Strahltriebwerk. Das Verfahren bzw. die Einrichtung 10 bietet ein Mittel zur Echtzeiterkennung von Gasturbinen- oder Strahltriebwerksschaufelproblemen einschliesslich von aber ohne Beschränkung auf Splintern der Wärmesperrbeschichtung, Rissbildung und Blockierungen der Kühlleitungen an Gasturbinen- oder Strahltriebwerksschaufeln bei betriebsmässig laufender Turbine oder betriebsmässig laufendem Strahltriebwerk und unter Verwendung der Betriebsdaten von Gasturbinen bzw. Strahltriebwerken und optischer Pyrometerdaten.

[0014] Gemäss einer Ausführungsform verwendet das Verfahren bzw. die Einrichtung 10 mindestens ein optisches Pyrometer 12 zur Gewinnung der optischen Pyrometerdaten. Ein Überwachungssystem auf Basis optischer Pyrometerdaten ist jedoch wegen der Notwendigkeit der Erkennung der absoluten Temperaturwerte der Schaufel nur schwierig zu realisieren. Bei den mit dem optischen Pyrometer 12 erhaltenen Signalen kann es schwierig sein, die Basis oder Bezugslinie in Bezug auf eine absolute Temperatur zu gewinnen, die beispielsweise durch Änderungen der Emissivität und/oder durch Blockierungen der optischen Wege bedingt ist.

[0015] Die obigen Schwierigkeiten lassen sich durch die Einrichtung 10 zur Erkennung von Schaufelproblemen von Gasturbinen oder Strahltriebwerken in Echtzeit beheben. Die Einrichtung 10 verwendet zur Durchführung der gewünschten Diagnose die relativen Temperaturveränderungen. Eine mit neuen Schaufeln in Echtzeit gewonnene Basis- oder Grundlinie wird mit späteren Pyrometerwerten zur Identifizierung von Abweichungen verglichen, die auf Schaufeldefekte hinweisen können.

[0016] Die Einrichtung 10 löst zwei Probleme einer mit relativer Temperatur operierenden Methode, nämlich 1) die Schwierigkeit bei der Identifizierung einer anormalen Abweichung in Gegenwart signifikanter Variationen der Basislinienwerte normaler Schaufeln, bedingt durch Betriebsbedingungen, wie Umgebungstemperaturen, Auslastung und so weiter, und 2) die Schwierigkeit der Entwicklung einer Sammlung von Signaturen defekter Schaufeln, die zur Korrelation bekannter Signaturwerte mit speziellen Defektmodi verwendet werden können.

[0017] Die eben beschriebenen beiden Probleme werden durch die Einrichtung 10 gelöst, die eine Verminderung der Variationen der Pyrometerwerte bei Änderungen von Betriebsbedingungen unter Verwendung eines auf physikalischen Messgrössen beruhenden Signalprozessors 18 zur Erzeugung von Signaturen für defekte Schaufeln ermöglicht. Die Einrichtung 10 wird im Folgenden unter Bezug auf Fig. 1 ausführlicher beschrieben.

[0018] Die in Fig. 1 dargestellte Einrichtung 10 zur Erkennung von Gasturbinen- oder Strahltriebwerksschaufelproblemen in Echtzeit umfasst mindestens ein Pyrometer 12, das in Echtzeit Temperaturen misst und Pyrometertemperatursignale erzeugt. Das System 10 bzw. die Einrichtung 10 verwendet mindestens einen vor Ort befindlichen Monitor 14. Dieser mindestens eine vor Ort befindliche Monitor 14 arbeitet gemäss einer Ausführungsform, um zusätzliche Temperaturdaten, Druckdaten, Belastungsdaten, Verbrennungsdynamikdaten und andere wünschbare Betriebsparameter zu überwachen und zu generieren.

[0019] Die obigen Pyrometertemperaturdaten und die Daten des vor Ort befindlichen Monitors werden gemeinsam über einen Filter 16 verarbeitet, wo modellbasierte Korrekturen der Pyrometerdaten durchgeführt werden und die durch Änderungen der Betriebsbedingungen verursachten Änderungen des Pyrometersignals vermindert werden. Die zur vorliegenden Erfindung führenden Untersuchungen ergaben, dass dadurch die Veränderungen der Schaufelsignaturen um ungefähr 70% bis etwa 80% vermindert werden, wenn die Standardabweichung als Abweichungsmass verwendet wird. Der Filter 16 erzeugt dann eine korrigierte Pyrometertemperatursignatur, die als Grenzzustand für einen Signalprozessor verwendet wird, der als ein auf physikalischen Daten beruhendes Normalisierungsmodell 18 wirkt.

[0020] Das auf physikalischen Daten basierende Normalisierungsmodell 18, welches die korrigierte Pyrometertemperatursignatur als Grenzzustand verwendet, führt dann eine Extrapolation durch, um zu der erforderlichen vollständigen Schaufeltemperatur bzw. den erforderlichen vollständigen Schaufeltemperaturen zu gelangen.

[0021] Eine Datenbasis für die Schaufeldefektmodussignaturen wird unabhängig offline, und zwar unter Verwendung eines entsprechenden Filters 28 und eines entsprechenden auf physikalischen Daten beruhenden Normalisierungsmodells 30 erzeugt. Der Filter 28 erzeugt Korrekturen für die Pyrometerdaten 24 auf Modellbasis und verringert die Veränderungen des zugehörigen Pyrometersignals als Folge von induzierten Änderungen der Betriebsbedingungen. Der Filter 28 erzeugt dann eine korrigierte Pyrometertemperatursignatur, die als eine Grenzbedingung für einen Signalprozessor verwendet wird, der als ein auf physikalischen Daten beruhendes Normalisierungsmodell 30 zur Erzeugung der vollständigen Schaufeltemperaturprofile arbeitet. Wenn die vollständigen Schaufeltemperaturen bestimmt sind, wird die vom optischen Pyrometer aufgenommene Pyrometersignatur aus dem auf physikalischen Daten beruhenden Modell 30 extrahiert und in einer Bibliothek normaler und anormaler Signaturen, die defekte Schaufeln darstellen, gespeichert.

[0022] Die Bibliothek der normalen und der defekte Schaufeln darstellenden anormalen Signaturen 32 werden dann mittels eines Komparators 22 mit der Schaufelsignatur oder den Schaufelsignaturen verglichen, die in Echtzeit mittels des auf physikalischen Daten beruhenden Normalisierungsmodells 18 bestimmt wurden. Die Echtzeitsignatur, welche am besten mit der defekten Schaufelsignatur 32, die in der Bibliothek (Datenbasis) gespeichert ist, übereinstimmt, wird dann als diejenige identifiziert, die den Defektmodus aufweist.

[0023] Die Bibliothek (Datenbasis) normaler und die defekte Schaufeln darstellenden anormaler Signaturen kann dann unter Verwendung von Daten weiter verfeinert werden, die durch offline Validierungsmethoden unter Verwendung von Felddaten erhalten werden, die bei individuellen Schaufelinspektionen gewonnen wurden. Diese Felddaten können dann zur Validierung von Voraussagen des Systems 10 verwendet werden und dessen Leistung verbessern.

[0024] Zusammenfassend ermöglicht ein Verfahren und ein System 10 zur Erkennung von Schaufelproblemen an Gasturbinen oder Strahltriebwerken in Echtzeit eine genauere Vorhersagefähigkeiten als die bekannten Methoden, und zwar als Folge der Berücksichtigung von auf physikalischen Daten beruhenden Korrekturen und Temperaturmodellierungsmethoden für die Lebensdauerbestimmung von sich im Heissgaspfad befindlichen Teilen. Das System 10 verwendet Pyrometerdaten und Betriebsdaten zur Erzeugung von auf physikalischen Daten beruhenden Korrekturen von Pyrometerdaten und auf physikalischen Daten beruhende Schaufeltemperaturschätzungen und Defektsignaturen.

[0025] Für Fachpersonen auf dem Gebiet von Strahltriebwerken versteht sich ohne weiteres, dass die eben beschriebenen Prinzipien ohne weiteres sowohl für Gasturbinen als auch für Strahltriebwerke und andere Applikationen angewendet werden können.

[0026] In Fig. 2 ist ein vereinfachtes Fließbild dargestellt, das ein Verfahren und ein System 100 für die Erkennung von Schaufelproblemen an Gasturbinen oder Strahltriebwerken gemäss einer anderen Ausführungsform der Erfindung erläutert. Die Echtzeitdaten 102 einschliesslich von aber ohne Beschränkung auf Pyrometerdaten, vor Ort-Monitordaten und Daten zur Verbrennungsdynamik, die mit induzierten Defektmodi assoziiert sind, werden wie in Block 104 dargestellt überwacht und verarbeitet, um eine Datenbasis von Defektmodus-Signaturen von Schaufeln oder anderen Betriebsteilen unabhängig offline in Halbechtzeit wie in Block 106 dargestellt zu erzeugen.

[0027] Das System 100 arbeitet dann in Echtzeit, um Schaufeldefekte oder andere Defektmodi einschliesslich von aber ohne Einschränkung auf Splintern der thermischen Sperrbeschichtung, LE-Rissbildung, TE-Rissbildung, Risse am Schaufelträger und Blockierungen von Kühlleitungen zu erfassen, wie in Block 108 dargestellt. Defektsignaturen entsprechend den verschiedenen Defektmodi werden erzeugt, wie dies in Block 110 dargestellt ist.

[0028] Die in Echtzeit bestimmten Defektmodussignaturen werden dann mit der Datenbasis für Schaufeldefektmodussignaturen oder anderen Arten von Defektmodissignaturen verglichen, die unabhängig in Halbechtzeit bestimmt sind, um diejenige Echtzeitsignatur zu bestimmen, die einer der in der Datenbank gespeicherten Schaufeldefektsignaturen oder anderen Arten von Defektsignaturen am besten entspricht, um den zu bestimmenden Defektmodus korrekt zu identifizieren, wie dies durch Block 112 dargestellt ist. (Modus/Modi kontrollieren).

[0029] Die durch offline-Validierungsmethoden erhaltenen Daten, wie Kundenreperaturdaten und/oder Inspektionsberichte, die beispielsweise bei individuellen Schaufelinspektionen gewonnen worden sind, können zur Validierung von Voraussagen des Systems 100 verwendet werden und dessen Leistung verbessern, wie dies in Block 114 angedeutet ist.

[0030] Fig. 3 ist ein die grossen Variationen von Betriebsrohdaten aufzeigendes Diagramm, das mit dem Pyrometersignal bei Betrieb einer Gasturbine in Echtzeit erhalten ist. Das Diagramm zeigt, dass ein bestimmter Defektmodus aus den Rohdaten wegen der grossen Variationsbreite schwer zu identifizieren ist.

[0031] Fig. 4 ist ein Diagramm, das die in Fig. 3 wiedergegebenen Rohdaten nach Korrektur durch das oben unter Bezug auf Fig. 1 beschriebene Überwachungssystem darstellt. Das Diagramm zeigt, dass bestimmte Defektmodi unter Verwendung der korrigierten Rohdaten, deren Pyrometerdaten nun eine wesentlich geringere Schwankung zeigen, erheblich leichter zu identifizieren sind.

[0032] Fig. 5 ist ein Diagramm, das die Gasturbinen-Pyrometermesswerte erläutert, die mit einer Mehrzahl von Schaufeln zusammenhängen und in Echtzeit vom Überwachungssystem 10 erzeugt worden sind. Der Bereich der mit den Schaufeln

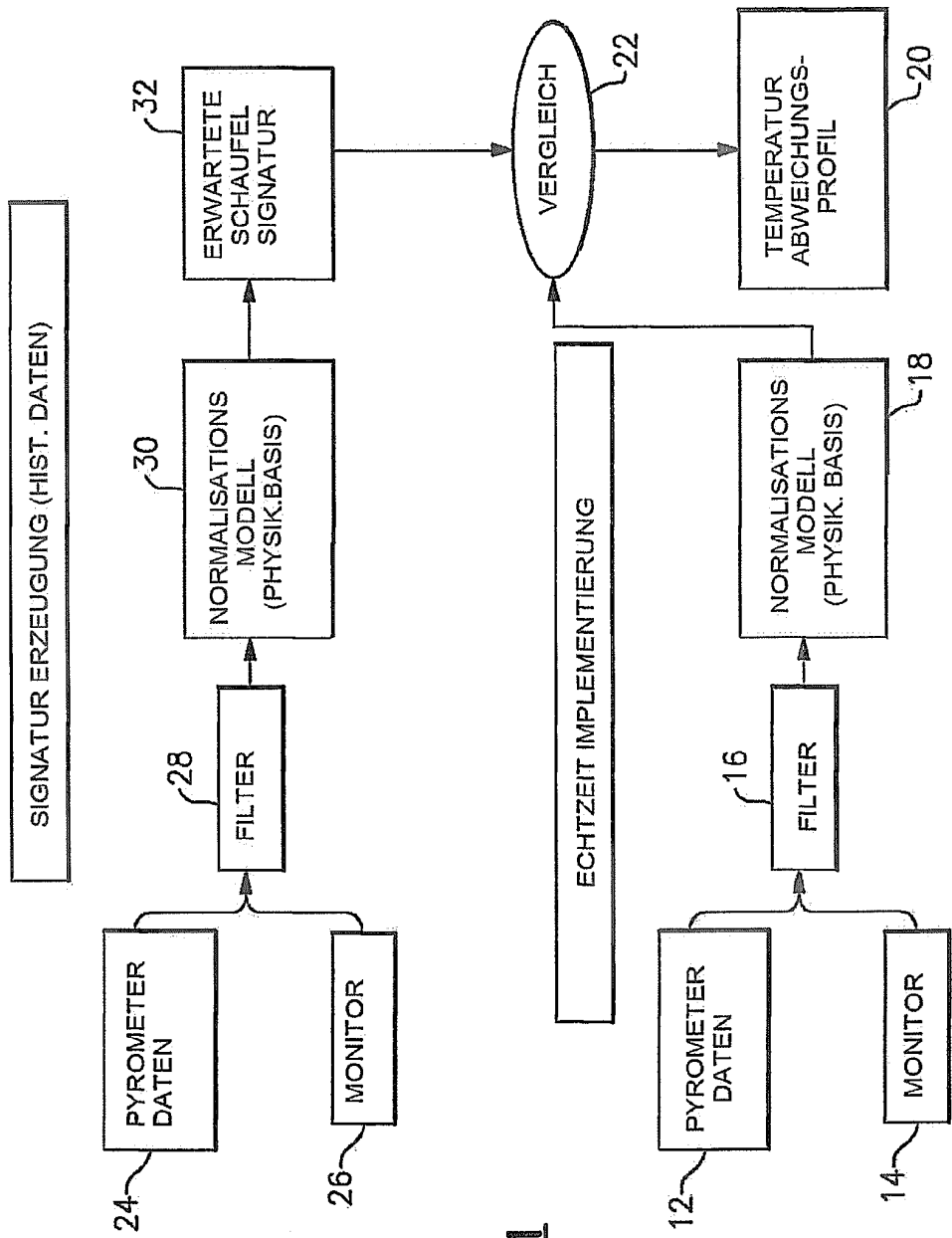
zusammenhängenden Werte, der durch das Überwachungssystem 10 erzeugt wird, ist sehr klein, wobei das mit Änderungen der Pyrometerdaten zusammenhängende Konfidenzintervall hoch ist und etwa 95% beträgt, was die Fähigkeiten des Systems 10 aufzeigt, um ein Gasturbinen- oder Strahltriebwerk-Schaufeldefektmoduserkennungssystem zu ergeben, das so ausgebildet ist, dass es Veränderungen zwischen gemessenen relativen oder absoluten Schaufeltemperaturen und Basislinientemperaturen identifiziert.

[0033] Fachleute erkennen, dass die hier beschriebenen Grundsätze gleichermassen sowohl auf Gasturbinen als auch auf Strahltriebwerke anwendbar sind, und dass Pyrometerdaten zur Überwachung der Betriebsdaten von Strahltriebwerken geeignet sind und dass auf Grund der Beschreibung zahlreiche Abänderungen im Rahmen der Ansprüche möglich sind.

Patentansprüche

1. Einrichtung zur Erkennung des Defektmodus von Schaufeln einer Gasturbine oder eines Strahltriebwerkes, welche Einrichtung ausgebildet ist, um Veränderungen zwischen gemessenen relativen oder absoluten Schaufeltemperaturen und Grundlinientemperaturen zu erkennen.
2. Einrichtung nach Anspruch 1, bei der die Grundlinientemperaturen auf Pyrometerüberwachungsdaten beruhen und wobei mindestens ein vor Ort befindlicher Monitor so ausgebildet ist, dass er gewünschte Betriebsparameter überwacht.
3. Einrichtung nach Anspruch 2, bei welcher die Betriebsparameter gewählt sind aus den Temperatur-, Druck-, Belastungs- und Verbrennungsdynamikparametern einer Gasturbine oder eines Strahltriebwerkes gewählt sind.
4. Einrichtung nach Anspruch 2, bei welcher das Pyrometer und der mindestens einer vor Ort befindlicher Monitor gemeinsam so ausgebildet sind, dass sie die Betriebsparameter der Gasturbine oder des Strahltriebwerkes in Echtzeit überwachen.
5. Einrichtung nach Anspruch 1, bei welcher die Relativtemperatur der Schaufel über einen Modell-basierten Filter generiert wird, der ausgebildet ist, um Änderungen der Pyrometersignale zu vermindern, die auf Veränderungen der gewünschten Betriebsparameter basieren, und daraus ein korrigiertes Pyrometersignal zu generieren.
6. Einrichtung nach Anspruch 5, die überdies so ausgebildet ist, dass sie in Abhängigkeit von dem korrigierten Pyrometersignal eine normalisierte Temperatursignatur der Gasturbine oder des Strahltriebwerkes erzeugt.
7. Einrichtung nach Anspruch 1, die ausserdem so ausgebildet ist, dass sie einen Defektmodus identifiziert, der mit dem Versagen einer Schaufel zusammenhängt.
8. Einrichtung nach Anspruch 7, bei welcher der Defektmodus über eine Schaufeldefektmodussignatur-Datenbasis und einen Komparator identifiziert wird, der so ausgebildet ist, dass er eine normalisierte Schaufeltemperatursignatur der Gasturbine oder des Strahltriebwerkes mit Schaufeldefektmodussignaturdaten vergleicht, die sich in der Datenbasis befinden, um den mit einer defekten Schaufel zusammenhängenden Defektmodus zu identifizieren.
9. Einrichtung nach Anspruch 1, bei der die relativen Schaufeltemperaturdifferenzen mit Schaufeldefektmodi korrelieren, die gewählt sind aus Splittern der Wärmedämmbeschichtung der Schaufel, Schaufelrissen, Rissen in der Schaufelauflage und Blockierungen der Schaufelkühlungswege gewählt sind.
10. Einrichtung zur Erkennung von Defektmodi bei Gasturbinen oder Strahltriebwerken umfassend:
ein erstes Pyrometer und mindestens einen vor Ort befindlichen Monitor, die gemeinsam so ausgebildet sind, dass sie die Betriebsparameter einer Gasturbine oder eines Strahltriebwerkes generieren;
einen ersten modellbasierten Filter, der so ausgebildet ist, dass er Veränderungen von Pyrometersignalen, die auf Änderungen der Betriebsparameter beruhen, vermindert und daraus ein erstes korrigiertes Pyrometersignal erzeugt;
einen ersten physikalischen Signalprozessor, der so konfiguriert ist, dass er die normalisierte Schaufeltemperatursignatur einer Gasturbine oder eines Strahltriebwerkes in Abhängigkeit vom korrigierten Pyrometersignal generiert;
eine Schaufeldefektmodussignatur-Datenbasis; und
einen ersten Komparator, der so ausgebildet ist, dass er die normalisierte Schaufeltemperatursignatur einer Gasturbine oder eines Strahltriebwerkes mit Schaufeldefektmodussignaturdaten in der Datenbasis vergleicht, um einen mit einer defekten Schaufel zusammenhängenden Defektmodus zu identifizieren.

10

**FIG.1**

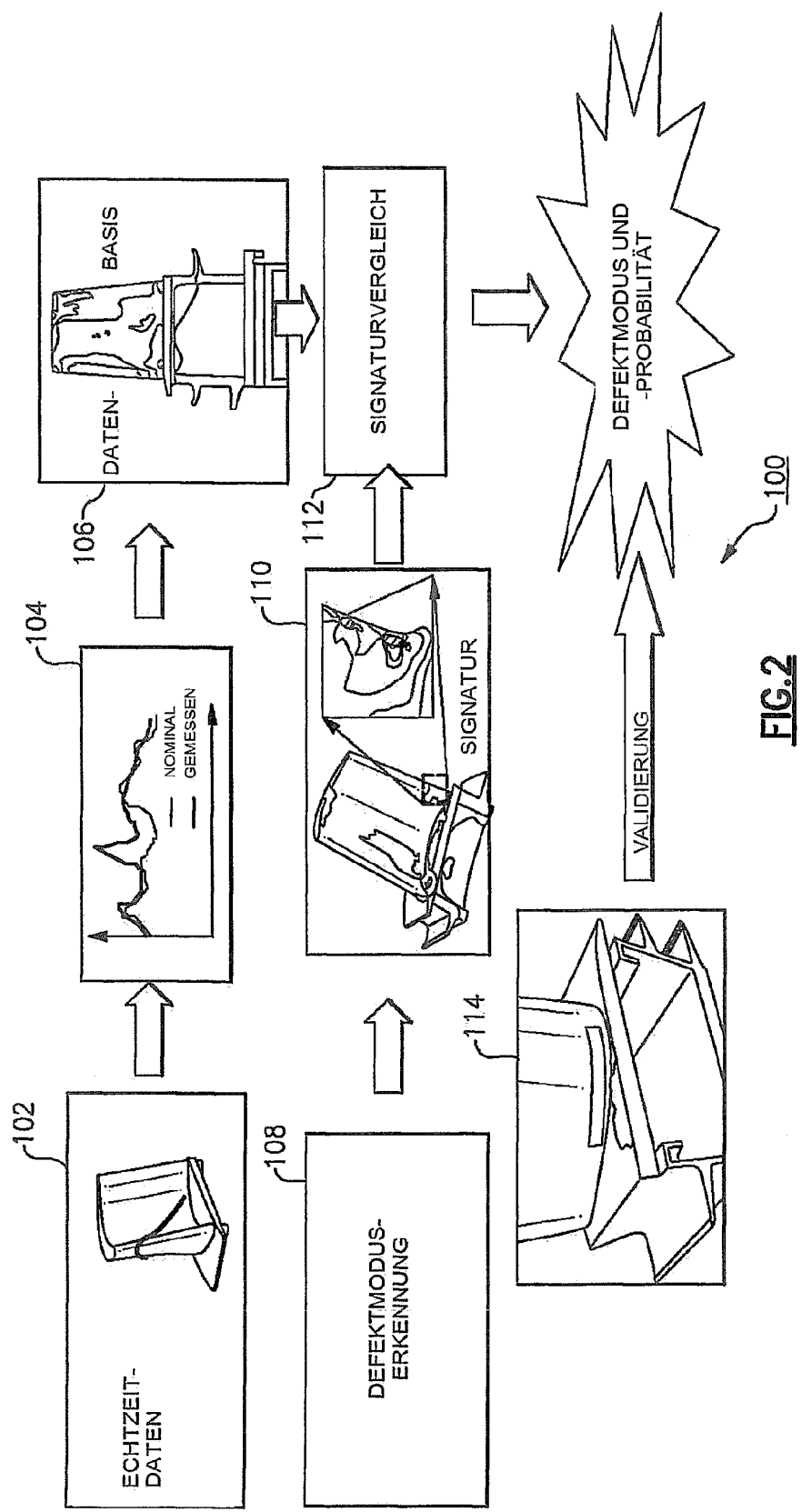


FIG. 2

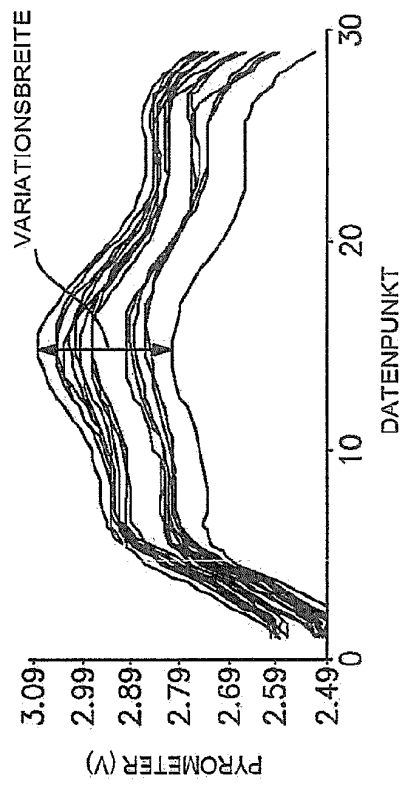


FIG. 3

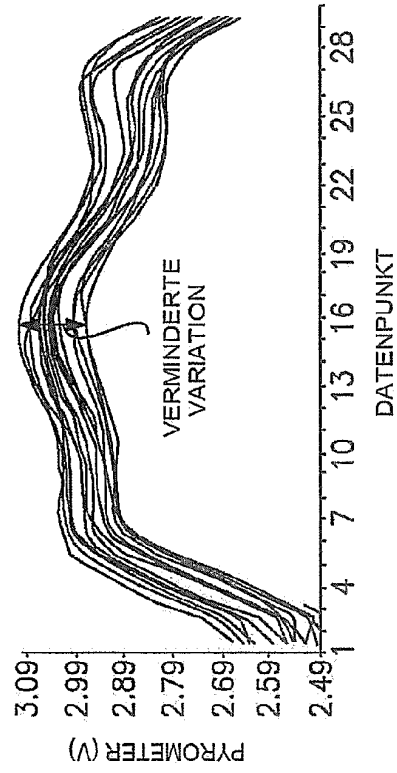
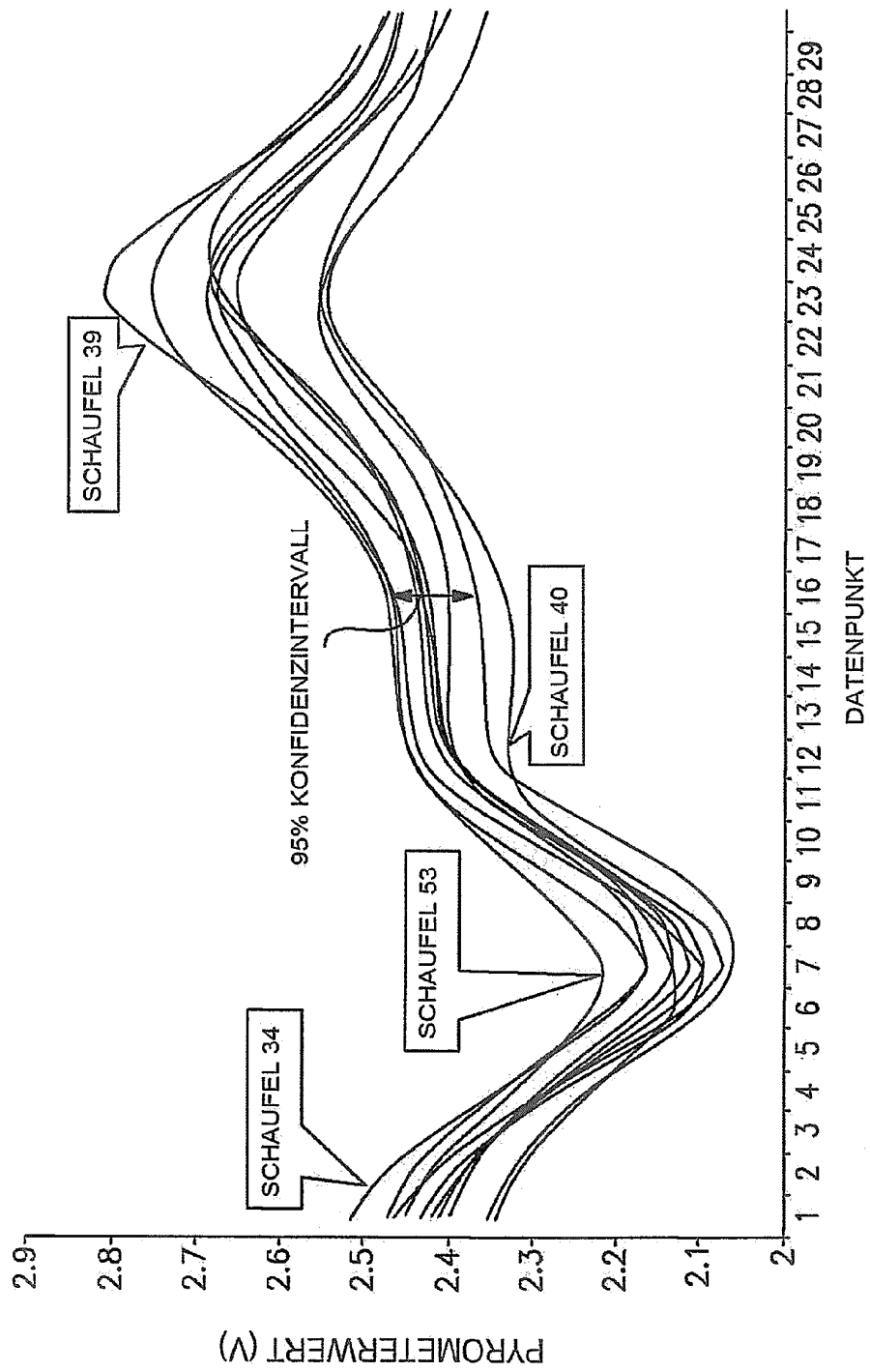


FIG. 4

**FIG.5**