(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 11 2023 000 142 T5** 2024.04.11

(12) # Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2023/176422**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜbkG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2023 000 142.1**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2023/007222**
(86) PCT-Anmeldetag: **28.02.2023**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **21.09.2023**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung in deutscher Übersetzung: **11.04.2024**

(51) Int Cl.: ***G07C 3/00*** (2006.01)
G01M 15/00 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
2022-042114 17.03.2022 JP

(71) Anmelder:
Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., Tokyo, JP

(74) Vertreter:
Henkel & Partner mbB Patentanwaltskanzlei, Rechtsanwaltskanzlei, 80333 München, DE

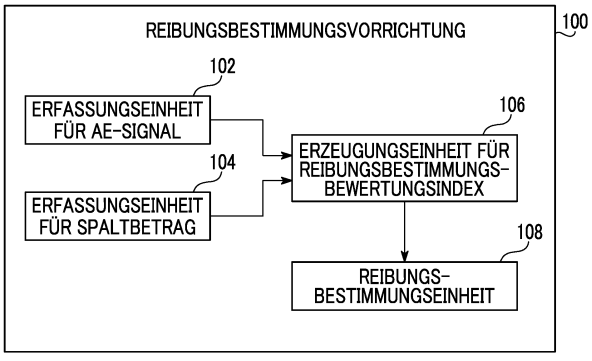
(72) Erfinder:
Imai, Yuta, Tokyo, JP; Miyagi, Yoshitomo, Tokyo, JP; Kumagai, Satoshi, Tokyo, JP; Yamashita, Masahiko, Tokyo, JP; Tanaka, Yoshinori, Tokyo, JP

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **REIBUNGSBESTIMMUNGSVORRICHTUNG, REIBUNGSBESTIMMUNGSVERFAHREN UND REIBUNGSBESTIMMUNGSPROGRAMM FÜR DREHMASCHINE**

(57) Zusammenfassung: Eine Reibungsbestimmungsvorrichtung bestimmt Reibung einer Drehmaschine, die ein fixiertes Teil und ein Drehteil enthält. Die vorliegende Vorrichtung erfasst ein AE-Signal, das mittels eines AE-Sensors, der bei der Drehmaschine vorgesehen ist, detektiert wurde, und erfasst einen Spaltbetrag zwischen dem fixierten Teil und dem Drehteil. Ein Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex wird auf der Grundlage des AE-Signals und des Spaltbetrags erzeugt, und Reibung bei der Drehmaschine wird auf der Grundlage des Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex bestimmt.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Offenbarung betrifft eine Reibungsbestimmungsvorrichtung, ein Reibungsbestimmungsverfahren und ein Reibungsbestimmungsprogramm für eine Drehmaschine.

[0002] Die vorliegende Anmeldung beansprucht die Priorität basierend auf der japanischen Patentanmeldung Nr. 2022-042114, die am 17. März 2022 in Japan eingereicht wurde und deren Inhalt hier durch Verweis aufgenommen wird.

Stand der Technik

[0003] Bei einer Drehmaschine, wie beispielsweise einer Dampfturbine, wird ein Spalt zwischen Dichtungsabschnitten aufgrund thermischer Verformung eines Außengehäuses oder eines Innengehäuses während eines Betriebs verringert, und somit kann Reibung (Kontakt) zwischen einem stationären Teil, wie beispielsweise einer Dichtungsrippe, und einem Drehteil, wie beispielsweise einem Rotor, auftreten. Da das Auftreten solcher Reibung Leistungsverschlechterung aufgrund einer Zunahme von Wellenschwingung der Drehmaschine und einer Vergrößerung des Spalts verursacht, gibt es einen Bedarf an einer Technik zum frühzeitigen Detektieren der Reibung.

[0004] Darüber hinaus gibt es, als ein Beispiel dieses Typs von Drehmaschine, eine Dampfturbine, die mit einem Generator bei einer Stromerzeugungsanlage verbunden ist. Bei einer solchen Anwendung gibt es, um eine Schwankung der Stromerzeugungsmenge aufgrund erneuerbarer Energie in einem Stromsystem zu decken, einen Bedarf daran, dass die Dampfturbine so betrieben wird, dass sie mit einer Lastschwankung zurechtkommt. Somit wird bei jüngsten Dampfturbinen der Spalt zum Zweck des Bewältigens einer solchen Lastschwankung und des Verbesserns der Leistung der Drehmaschine tendenziell verringert, und eine Wahrscheinlichkeit, dass Reibung auftritt, nimmt zu.

[0005] Beispielsweise ist in PTLs 1 und 2 eine Technik zum Bestimmen, ob Reibung auftritt oder nicht, und einer Position davon auf der Grundlage eines Ergebnisses des Detektierens eines akustischen Emissionssignals (AE-Signal), das zu dem Zeitpunkt, zu dem Reibung auftritt, von einem AE-Sensor erzeugt wird, als eine solche Technik zum Detektieren der Reibung bei der Drehmaschine offenbart.

Zitatliste

Patentliteratur

[PTL 1] Japanische ungeprüfte Patentanmeldungsveröffentlichung Nr. H08-43193

[PTL 2] Japanische ungeprüfte Patentanmeldungsveröffentlichung Nr. 2021-76533

Zusammenfassung der Erfindung

Technisches Problem

[0006] Obwohl in PTLs 1 und 2 oben die Reibungsbestimmung, wie oben beschrieben, auf der Grundlage des von dem AE-Sensor detektierten AE-Signals durchgeführt wird, kann ein AE-Signal aufgrund eines Einflusses von Rauschen oder dergleichen in Abhängigkeit von einem Grad an Reibung und einer Auftrittsposition abgeschwächt werden, und es kann schwierig sein, genaue Reibungsbestimmung durchzuführen.

[0007] Darüber hinaus gibt es, als ein weiteres Verfahren zur Reibungsbestimmung, auch eine Technik zum Messen oder Schätzen eines Spalts. In einem Fall, in dem der Spalt direkt durch Verwenden eines Sensors gemessen wird, gibt es jedoch ein Problem hinsichtlich von Kosten und Arbeitsaufwand aufgrund von Neuinstallation des Sensors. Darüber hinaus gibt es auch ein Verfahren des Schätzens eines Spalts durch Eingeben eines Betriebsparameters, wie beispielsweise einer Temperatur einer Drehmaschine, in ein Schätzmodell, das der Drehmaschine entspricht. Obwohl ein solches Verfahren dahingehend vorteilhaft ist, dass es nicht notwendig ist, einen Sensor neu zu installieren, tritt in einem Fall, in dem eine Alterungsverschlechterung, wie beispielsweise Verschleiß, bei der Drehmaschine auftritt, eine Diskrepanz zwischen der Drehmaschine und dem Schätzmodell auf, und es gibt Bedenken, dass Genauigkeit von Reibungsbestimmung abnehmen wird.

[0008] Es wurde mindestens eine Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung im Hinblick auf die obigen Umstände gemacht, und eine Aufgabe davon besteht darin, eine Reibungsbestimmungsvorrichtung, ein Reibungsbestimmungsverfahren und ein Reibungsbestimmungsprogramm für eine Drehmaschine bereitzustellen, die in der Lage sind, Reibung genau zu bestimmen, die bei einer Drehmaschine auftritt.

Lösung für das Problem

[0009] Um die obigen Probleme zu lösen, ist eine Reibungsbestimmungsvorrichtung für eine Drehmaschine gemäß mindestens einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung eine Reibungsbestim-

mungsvorrichtung für eine Drehmaschine, die ein fixiertes Teil und ein Drehteil enthält. Die Vorrichtung umfasst eine Erfassungseinheit für AE-Signal zum Erfassen eines von einem AE-Sensor, der bei der Drehmaschine vorgesehen ist, detektierten AE-Signals, eine Erfassungseinheit für Spaltbetrag zum Erfassen eines Spaltbetrags zwischen dem fixierten Teil und dem Drehteil, eine Erzeugungseinheit für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex zum Erzeugen eines Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex auf der Grundlage des AE-Signals und des Spaltbetrags und eine Reibungsbestimmungseinheit zum Bestimmen von Reibung bei der Drehmaschine auf der Grundlage des Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex.

[0010] Um die obigen Probleme zu lösen, ist ein Reibungsbestimmungsverfahren gemäß mindestens einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ein Reibungsbestimmungsverfahren für eine Drehmaschine, die ein fixiertes Teil und ein Drehteil enthält. Das Verfahren umfasst einen Schritt des Erfassens eines von einem AE-Sensor, der bei der Drehmaschine vorgesehen ist, detektierten AE-Signals, einen Schritt des Erfassens eines Spaltbetrags zwischen dem fixierten Teil und dem Drehteil, einen Schritt des Erzeugens eines Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex auf der Grundlage des AE-Signals und des Spaltbetrags und einen Schritt des Bestimmens von Reibung bei der Drehmaschine auf der Grundlage des Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex.

[0011] Um die obigen Probleme zu lösen, ist ein Drehmaschine-Reibungsprogramm gemäß mindestens einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ein Reibungsbestimmungsprogramm für eine Drehmaschine, die ein fixiertes Teil und ein Drehteil enthält, das einen Computer veranlasst, einen Schritt des Erfassens eines von einem AE-Sensor, der bei der Drehmaschine vorgesehen ist, detektierten AE-Signals, einen Schritt des Erfassens eines Spaltbetrags zwischen dem fixierten Teil und dem Drehteil, einen Schritt des Erzeugens eines Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex auf der Grundlage des AE-Signals und des Spaltbetrags und einen Schritt des Bestimmens von Reibung in der Drehmaschine auf der Grundlage des Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex auszuführen.

Vorteilhafte Effekte der Erfindung

[0012] Gemäß mindestens einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ist es möglich, die Reibungsbestimmungsvorrichtung, das Reibungsbestimmungsverfahren und das Reibungsbestimmungsprogramm für eine Drehmaschine bereitzustellen, die in der Lage sind, die Reibung genau zu bestimmen, die bei der Drehmaschine auftritt.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

Fig. 1 ist ein Querschnittsstrukturdiagramm einer Drehmaschine gemäß einer Ausführungsform.

Fig. 2 ist ein Blockdiagramm, das eine interne Konfiguration einer Reibungsbestimmungsvorrichtung von **Fig.** 1 darstellt.

Fig. 3 ist ein Flussdiagramm, das einen Ablauf zur Berechnung eines Schätzwerts eines Spaltbetrags schematisch darstellt.

Fig. 4 ist ein Flussdiagramm, das einen Ablauf zur Berechnung eines Schätzwerts eines Spaltbetrags unter Verwendung eines Modells für maschinelles Lernen schematisch darstellt.

Fig. 5 ist ein Blockdiagramm, das eine interne Konfiguration einer Erzeugungseinheit für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex von **Fig.** 1 darstellt.

Fig. 6 ist ein Graph, der eine Beziehung zwischen einer Differenz eines AE-Signals von einem Schwellenwert und einem ersten Reibungsauftrittsindex zeigt.

Fig. 7 ist ein Graph, der eine Beziehung zwischen einem Spaltbetrag und einem zweiten Reibungsauftrittsindex zeigt.

Fig. 8 ist ein Kennfeld, das eine Verteilung von Reibungsauftrittswahrscheinlichkeiten für den ersten Reibungsauftrittsindex und den zweiten Reibungsauftrittsindex darstellt.

Fig. 9 ist ein Flussdiagramm, das ein Reibungsbestimmungsverfahren gemäß der Ausführungsform darstellt.

Fig. 10 ist ein Beispiel, das eine zeitliche Änderung der Reibungsauftrittswahrscheinlichkeit darstellt, die ein Beispiel eines Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex ist.

Fig. 11A sind vergangene Daten, die zum Einstellen eines Schwellenwerts zur Reibungsbestimmung verwendet werden.

Fig. 11B ist ein Diagramm, das eine Korrelation zwischen einem Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex und einem Reibungsbestimmungsergebnis auf der Grundlage der vergangenen Daten von **Fig.** 9A darstellt.

Fig. 12 ist ein Flussdiagramm, das ein Reibungsbestimmungsverfahren gemäß einer weiteren Ausführungsform darstellt.

Fig. 13 ist ein Graph, der eine zeitliche Änderung des Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex vor und nach Korrektur zeigt.

Beschreibung von Ausführungsformen

[0013] Nachstehend werden einige Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben. Als Ausführungsformen beschriebene oder in den Zeichnungen dargestellte Abmessungen, Materialien, Formen, relative Anordnungen und dergleichen von Komponenten sind nicht dazu bestimmt, den Schutzumfang der vorliegenden Offenbarung einzuschränken, sondern sind lediglich erläuternde Beispiele.

[0014] Zunächst wird eine Drehmaschine 1, die durch eine Reibungsbestimmungsvorrichtung 100 gemäß mindestens einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung zu bestimmen ist, beschrieben. **Fig.** 1 ist ein Querschnittsstrukturdiagramm der Drehmaschine 1 gemäß der Ausführungsform.

[0015] Die Drehmaschine 1 enthält ein stationäres Teil 2 und ein Drehteil 4, das in Bezug auf das stationäre Teil 2 drehbar ist. Das stationäre Teil 2 ist ein Gehäuse der Drehmaschine 1 und ist in Bezug auf eine Außenseite stationär. Das Drehteil 4 ist in Bezug auf das stationäre Teil 2 via ein Paar Lager 6a und 6b drehbar gelagert.

[0016] Ein Spalt D ist zwischen dem stationären Teil 2 und dem Drehteil 4 vorgesehen. Das Drehteil 4 wird durch ein Hydraulikfluid W angetrieben, das von einem bei dem stationären Teil 2 vorgesehenen Zufuhrsystem 3 dem Spalt D zugeführt wird. Das Hydraulikfluid W, das das Drehteil 4 antreibt, wird von einem bei dem stationären Teil 2 vorgesehenen Abgabeteil 5 nach außen abgegeben. Während eines Betriebs der Drehmaschine 1 wird mindestens eines von dem stationären Teil 2 und dem Drehteil 4 aufgrund eines Einflusses von Wärme oder dergleichen verformt, und somit kann der Spalt D verringert werden, und es kann Reibung auftreten. Ob es solche Reibung gibt oder nicht, kann auf der Grundlage eines AE-Signals, das von einem später zu beschreibenden AE-Sensor 10 detektiert wurde, und eines Messwerts oder eines Schätzwerts des Spalts D bestimmt werden.

[0017] Das Drehteil 4 ist beispielsweise ein Rotor (Drehwelle), der durch von dem Hydraulikfluid W erzeugte Energie drehbar ist. Das Drehteil 4 weist eine Rotorschaufel 4a zum Aufnehmen des Hydraulikfluids W auf, und das Drehteil 4 wird durch Aufnehmen des Hydraulikfluids W in der Rotorschaufel 4a drehend angetrieben. Die Drehmaschine 1 ist beispielsweise eine Dampfturbine, die Dampf als das Hydraulikfluid W verwendet.

[0018] Das Drehteil 4 ist durch das Paar Lager 6a und 6b (Radiallager) drehbar gelagert. Das Lager 6a ist an einer Endseite des Drehteils 4 vorgesehen, und das Lager 6b ist an der anderen Endseite des Drehteils 4 vorgesehen. Die Lager 6a und 6b sind entsprechend in Lagergehäusen 7a und 7b aufgenommen.

[0019] Der AE-Sensor 10 ist ein Sensor zum Detektieren des AE-Signals der Drehmaschine 1. Eine an einer Reibungsauftrittsstelle erzeugte AE-Welle breitet sich als eine elastische Welle durch das stationäre Teil 2 und das Drehteil 4 aus und wird von jedem AE-Sensor 10, der in der Drehmaschine 1 installiert ist, als das AE-Signal detektiert. Im Allgemeinen weist die AE-Welle eine Frequenz in einem Schallwellenbereich von mehreren zehn kHz bis mehreren MHz auf und wird von dem AE-Sensor 10 als das AE-Signal detektiert. Bei der vorliegenden Ausführungsform ist der einzige AE-Sensor 10 bei dem Lager 6a (Lagergehäuse 7a) vorgesehen, und somit kann die AE-Welle von der Reibungsauftrittsstelle detektiert werden.

[0020] Obwohl eine Position, an der der AE-Sensor 10 angebracht ist, nicht eingeschränkt ist, kann beispielsweise der AE-Sensor 10 an einem Lagerabschnitt, der die Lager 6a und 6b enthält, angebracht sein. In **Fig.** 1 ist ein Fall, in dem der AE-Sensor 10 an dem Lagerabschnitt, der das Lager 6a enthält, angebracht ist, als ein Konfigurationsbeispiel dargestellt und ist insbesondere der AE-Sensor 10 an dem Lagergehäuse 7a, in dem das Lager 6a aufgenommen ist, angebracht.

[0021] Die Reibungsbestimmungsvorrichtung 100 ist eine Vorrichtung zum Bestimmen von Reibung in der Drehmaschine 1 mit der obigen Konfiguration und enthält beispielsweise eine Zentraleinheit (CPU), einen Direktzugriffsspeicher (RAM), einen Festspeicher (ROM), ein computerlesbares Speichermedium und dergleichen. Dann wird eine Reihe von Verarbeitungen zum Realisieren verschiedener Funktionen in einem Speichermedium oder dergleichen in Form eines Programms als ein Beispiel gespeichert und werden verschiedene Funktionen realisiert, indem die CPU dieses Programm in den RAM oder dergleichen ausliest und Verarbeitung zur Informationsverarbeitung und Berechnung ausführt. Als das Programm kann eine Form, die im Voraus in dem ROM oder anderen Speichermedium installiert ist, eine Form, die in einem Zustand vorgesehen ist, in dem sie auf einem computerlesbaren Speichermedium gespeichert ist, oder eine Form, die via drahtgebundene oder drahtlose Kommunikationsmittel geliefert wird, oder dergleichen angewendet werden. Das computerlesbare Speichermedium ist eine Magnetplatte, eine magnetooptische Platte, eine CD-ROM, eine DVD-ROM, ein Halbleiterspeicher oder dergleichen.

[0022] **Fig.** 2 ist ein Blockdiagramm, das eine interne Konfiguration der Reibungsbestimmungsvor-

richtung 100 von **Fig.** 1 darstellt. Die Reibungsbestimmungsvorrichtung 100 umfasst eine Erfassungseinheit 102 für AE-Signal, eine Erfassungseinheit 104 für Spaltbetrag, eine Erzeugungseinheit 106 für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex und eine Reibungsbestimmungseinheit 108.

[0023] Die Erfassungseinheit 102 für AE-Signal ist so konfiguriert, dass sie das AE-Signal erfasst, das von dem oben beschriebenen in der Drehmaschine 1 angeordneten AE-Sensor 10 detektiert wurde.

[0024] Die Erfassungseinheit 104 für Spaltbetrag ist so konfiguriert, dass sie einen Spaltbetrag De erfasst, die einer Größe des Spalts D der Drehmaschine 1 entspricht. Der Spaltbetrag De, der von der Erfassungseinheit 104 für Spaltbetrag erfasst wird, weist mehrere Aspekte auf, wie nachstehend beschrieben, und kann ein Schätzwert oder ein Messwert sein.

[0025] Beispielsweise kann der Spaltbetrag De, der von der Erfassungseinheit 104 für Spaltbetrag erfasst wird, ein Schätzwert sein, der auf der Grundlage von Betriebsdaten Po der Drehmaschine 1 berechnet wird. Hier ist **Fig.** 3 ein Flussdiagramm, das einen Ablauf zur Berechnung des Schätzwerts des Spaltbetrags De schematisch darstellt. Bei diesem Beispiel ist ein Fall dargestellt, in dem der Schätzwert des Spaltbetrags De unter Verwendung eines Finite-Elemente-Verfahrens berechnet wird. Die Betriebsdaten Po enthalten mindestens einen Parameter, der sich auf einen Betriebszustand der Drehmaschine 1 bezieht, und werden in ein Schätzmodell Me eingegeben, das der Drehmaschine 1 entspricht und durch das Finite-Elemente-Verfahren konstruiert wurde. Bei der vorliegenden Ausführungsform werden eine Metalltemperatur des stationären Teils 2, eine Drehzahl des Drehteils 4 und eine Leistung oder eine Betriebszeit der Drehmaschine 1 als die Betriebsdaten Po in das Schätzmodell Me eingegeben und wird somit der Spaltbetrag De, der der Schätzwert ist, aus dem Schätzmodell ausgegeben.

[0026] Darüber hinaus kann der Spaltbetrag De, der von der Erfassungseinheit 104 für Spaltbetrag erfasst wird, ein Schätzwert sein, der dadurch berechnet wird, dass er in ein Modell Mm für maschinelles Lernen eingegeben wird. Hier ist **Fig.** 4 ein Flussdiagramm, das einen Ablauf zur Berechnung des Schätzwerts des Spaltbetrags De unter Verwendung des Modells Mm für maschinelles Lernen schematisch darstellt. Das Modell Mm für maschinelles Lernen ist beispielsweise ein Modell eines neuronalen Netzes, das eine Eingabeschicht 110, eine Zwischenschicht 112 und eine Ausgabeschicht 114 enthält, und ein Koeffizient wird durch Lernen unter Verwendung von im Voraus erstellten Trainingsdaten (vergangenen Betriebsdaten Po und tatsächlich gemessenen Werten des Spaltbetrags) optimiert. Die Erfassungseinheit 104 für Spaltbetrag erfasst den Schätzwert des Spaltbetrags De durch Eingabe der Betriebsdaten Po der Drehmaschine 1 in ein solches Modell Mm für maschinelles Lernen.

[0027] In diesem Fall kann das zum Berechnen des Schätzwerts verwendete Modell Mm für maschinelles Lernen durch Rückkoppeln eines Reibungsbestimmungsergebnisses in die Reibungsbestimmungseinheit 108 modifiziert werden. Infolgedessen kann Reibungsbestimmungsgenauigkeit der Drehmaschine 1 verbessert werden, indem das Modell Mm für maschinelles Lernen durch Lernen eines neuesten Reibungsbestimmungsergebnisses aktualisiert wird.

[0028] Darüber hinaus kann der Spaltbetrag De, der von der Erfassungseinheit 104 für Spaltbetrag erfasst wird, ein tatsächlich gemessener Wert sein, der von dem in der Drehmaschine 1 angeordneten Spaltsensor 13 detektiert wurde. Wie in **Fig.** 1 dargestellt, detektiert beispielsweise der Spaltsensor 13 einen tatsächlich gemessenen Wert des Spaltbetrags De, indem er an einer Position auf einer Innenfläche des stationären Teils 2 angeordnet ist, die dem Drehteil 4 zugewandt ist.

[0029] Die Erzeugungseinheit 106 für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex ist so konfiguriert, dass sie einen Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex auf der Grundlage des von der Erfassungseinheit 102 für AE-Signal erfassten AE-Signals und des von der Erfassungseinheit 104 für Spaltbetrag erfassten Spaltbetrags De erzeugt. Der Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex wird auf diese Weise unter Berücksichtigung sowohl des AE-Signals als auch des Spaltbetrags De erzeugt, und somit kann eine genauere Reibungsbestimmung im Vergleich zu einem Fall durchgeführt werden, in dem nur eines von dem AE-Signal und dem Spaltbetrag De berücksichtigt wird.

[0030] Die Erzeugungseinheit 106 für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex kann einen Kombinationsindex des AE-Signals und des Spaltbetrags als den Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex berechnen. Der Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex wird durch Kombinieren des AE-Signals und des Spaltbetrags De auf diese Weise erzeugt, und somit kann genaue Reibungsbestimmung durchgeführt werden.

[0031] Hier wird ein Verfahren zum Erzeugen des Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex in der Erzeugungseinheit 106 für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex spezifisch beschrieben. **Fig.** 5 ist ein Blockdiagramm, das eine interne Konfiguration der Erzeugungseinheit 106 für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex von **Fig.** 1 darstellt, und **Fig.** 6 ist ein Graph, der eine Beziehung zwischen

einer Differenz ΔAE von einem Schwellenwert des AE-Signals und einem ersten Reibungsauftrittsindex P_{AE} zeigt. **Fig.** 7 ist ein Graph, der eine Beziehung zwischen dem Spaltbetrag De und einem zweiten Reibungsauftrittsindex P_{VS} zeigt, und **Fig.** 8 ist ein Kennfeld M1, das eine Verteilung von Reibungsauftrittswahrscheinlichkeiten Pj, die Beispiele des Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex für den ersten Reibungsauftrittsindex P_{AE} und den zweiten Reibungsauftrittsindex P_{VS} sind, darstellt.

[0032] Wie in **Fig.** 5 dargestellt, enthält die Erzeugungseinheit 106 für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex gemäß einem Aspekt eine Berechnungseinheit 120 für ersten Reibungsauftrittsindex, eine Berechnungseinheit 122 für zweiten Reibungsauftrittsindex und eine Berechnungseinheit 124 für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex. Bei diesem Aspekt behandelt die Erzeugungseinheit 106 für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex die Reibungsauftrittswahrscheinlichkeit Pj als den Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex.

[0033] Die Berechnungseinheit 120 für ersten Reibungsauftrittsindex ist so konfiguriert, dass sie den ersten Reibungsauftrittsindex P_{AE}, der die Reibungsauftrittswahrscheinlichkeit ist, auf der Grundlage des AE-Signals berechnet. Wie in einem eingefügten Diagramm von **Fig.** 6 dargestellt, weist eine Intensität des von der Erfassungseinheit 102 für AE-Signal erfassten AE-Signals eine Spitzenwellenform auf, die sich in Bezug auf Zeit t kontinuierlich ändert. Unter der Annahme, dass eine Differenz zwischen einem Maximalwert (Spitzenwert), der in der Spitzenwellenform des AE-Signals enthalten ist, und einem voreingestellten Schwellenwert ΔAE beträgt, wird eine Korrelation zwischen der Differenz ΔAE und der Wahrscheinlichkeit P_{AE} für ersten Reibungsauftrittsindex, der die Reibungsauftrittswahrscheinlichkeit ist, im Voraus als ein charakteristischer Graph, der in **Fig.** 6 gezeigt ist, erstellt. Die Berechnungseinheit 120 für ersten Reibungsauftrittsindex berechnet den ersten Reibungsauftrittsindex P_{AE}, der die Reibungsauftrittswahrscheinlichkeit ist, durch Anwenden der Differenz ΔAE, die dem von der Erfassungseinheit 102 für AE-Signal erfassten AE-Signal entspricht, auf einen solchen charakteristischer Graphen.

[0034] Die Berechnungseinheit 122 für zweiten Reibungsauftrittsindex ist so konfiguriert, dass sie den zweiten Reibungsauftrittsindex Pvs, der die Reibungsauftrittswahrscheinlichkeit ist, auf der Grundlage des Spaltbetrags De berechnet. Wie in einem eingefügten Diagramm von **Fig.** 7 dargestellt, gibt der von der Erfassungseinheit 104 für Spaltbetrag erfasste Spaltbetrag De die Größe des Spalts D zwischen dem stationären Teil 2 und dem Drehteil 4 an. Eine Korrelation zwischen dem Spaltbetrag De und dem zweiten Reibungsauftrittsindex Pvs wird im Voraus als ein charakteristischer Graph, der in **Fig.** 7 gezeigt ist, erstellt. Die Berechnungseinheit 122 für zweiten Reibungsauftrittsindex berechnet den zweiten Reibungsauftrittsindex Pvs, der die Reibungsauftrittswahrscheinlichkeit ist, durch Anwenden des von der Erfassungseinheit 104 für Spaltbetrag erfassten Spaltbetrags De auf einen solchen charakteristischen Graphen.

[0035] Die Bewertungsindex-Berechnungseinheit 124 für Reibungsbestimmung erstellt im Voraus ein Kennfeld M1, das eine Korrelation zwischen dem ersten Reibungsauftrittsindex P_{AE}, dem zweiten Reibungsauftrittsindex Pvs und den Reibungsauftrittswahrscheinlichkeiten Pj, die die Reibungsbestimmung-Bewertungsindizes sind, definiert, und berechnet die Reibungsauftrittswahrscheinlichkeiten Pj, die dem ersten Reibungsauftrittsindex P_{AE}, der von der Berechnungseinheit 120 für ersten Reibungsauftrittsindex berechnet wurde, und dem zweiten Reibungsauftrittsindex Pvs, der von der Berechnungseinheit 122 für zweiten Reibungsauftrittsindex berechnet wurde, entsprechen, auf der Grundlage des Kennfelds M1. Wie in **Fig.** 8 dargestellt, definiert das Kennfeld M1 die Verteilung der Reibungsauftrittswahrscheinlichkeiten Pj für den ersten Reibungsauftrittsindex P_{AE} und den zweiten Reibungsauftrittsindex P_{VS}.

[0036] Die Erzeugungseinheit 106 für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex erzeugt die auf diese Weise berechnete Reibungsauftrittswahrscheinlichkeit Pj als den Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex, der der Kombinationsindex des AE-Signals und des Spaltbetrags De ist.

[0037] Die Reibungsbestimmungseinheit 108 ist so konfiguriert, dass sie Reibung in der Drehmaschine 1 auf der Grundlage des Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex bestimmt, der von der Erzeugungseinheit 106 für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex erzeugt wurde. In einem Fall, in dem die Reibungsbestimmungseinheit 108 bestimmt, dass Reibung vorliegt, kann ein Alarm oder eine Bildschirmanzeige von einer Ausgabevorrichtung (nicht dargestellt) durchgeführt werden.

[0038] Als Nächstes wird ein Reibungsbestimmungsverfahren beschrieben, das von der Reibungsbestimmungsvorrichtung 100 mit der obigen Konfiguration durchgeführt wird. **Fig.** 9 ist ein Flussdiagramm, das das Reibungsbestimmungsverfahren gemäß der Ausführungsform darstellt.

[0039] Zunächst erfasst die Erfassungseinheit 102 für AE-Signal das AE-Signal (Schritt S100) und erfasst die Erfassungseinheit 104 für Spaltbetrag den Spaltbetrag De (Schritt S101). Nachfolgend erzeugt die Erzeugungseinheit 106 für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex den Reibungsbestim-

mungs-Bewertungsindex, der die Reibungsauftrittswahrscheinlichkeit Pj ist, auf der Grundlage des bei Schritt S100 erfassten AE-Signals und des bei Schritt S101 erfassten Spaltbetrags De ist (Schritt S102). Die Reibungsbestimmungseinheit 108 bestimmt bei Schritt S102, ob der Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex, der die Reibungsauftrittswahrscheinlichkeit Pj ist, einen voreingestellten Schwellenwert Pj0 überschreitet oder nicht (Schritt S103). Infolgedessen wird in einem Fall, in dem die Reibungsauftrittswahrscheinlichkeit Pj, die der Reibungsbestimmung-Bewertungsindex ist, den Schwellenwert Pj0 überschreitet (Schritt S103: JA), eine Bestimmung von „Reibung“ vorgenommen (Schritt S104). Andererseits wird in einem Fall, in dem die Reibungsauftrittswahrscheinlichkeit Pj, die der Reibungsbestimmung-Bewertungsindex ist, gleich oder kleiner als der Schwellenwert Pj0 ist (Schritt S103: NO), eine Bestimmung von „keine Reibung“ vorgenommen (Schritt S105).

[0040] **Fig.** 10 ist ein Beispiel, das eine zeitliche Änderung der Reibungsauftrittswahrscheinlichkeit Pj darstellt, die ein Beispiel des Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex ist. **Fig.** 10 stellt ein Verhalten dar, bei dem die Reibungsauftrittswahrscheinlichkeit Pj mit der Zeit zunimmt. Zu Zeitpunkten t-1 und t-2 ist die Reibungsauftrittswahrscheinlichkeit Pj gleich oder kleiner als der Schwellenwert Pj0, der ein Bestimmungsreferenzwert ist. Zum Zeitpunkt t-3 überschreitet jedoch die Reibungsauftrittswahrscheinlichkeit Pj den Schwellenwert Pj0 und wird somit bestimmt, dass Reibung aufgetreten ist.

[0041] Die Erzeugungseinheit 106 für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex gemäß einem weiteren Aspekt kann den Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex erzeugen, der den ersten Reibungsauftrittsindex, der von der Berechnungseinheit 120 für ersten Reibungsauftrittsindex berechnet wurde, und den zweiten Reibungsauftrittsindex, der von der Berechnungseinheit 122 für zweiten Reibungsauftrittsindex berechnet wurde, enthält, und die Reibungsbestimmungseinheit 108 kann auf der Grundlage des Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex bestimmen, ob Reibung vorliegt oder nicht.

[0042] Bei diesem Aspekt wird im Voraus eine ausreichende Anzahl an vergangenen Daten, die den ersten Reibungsauftrittsindex, den zweiten Reibungsauftrittsindex und das Reibungsbestimmungsergebnis enthalten, erstellt. **Fig.** 11A ist ein Diagramm, das die vergangenen Daten darstellt, und **Fig.** 11B ist ein Kennfeld M2, das eine Korrelation zwischen dem Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex und dem Reibungsbestimmungsergebnis auf der Grundlage der vergangenen Daten von **Fig.** 11A darstellt. Wie in **Fig.** 11A dargestellt, enthalten die vergangenen Daten das von dem AE-Sensor 10 detektierte AE-Signal, den Spaltbetrag De, der der oben beschriebene Schätzwert oder tatsächlich gemessene Wert ist, und mehrere Messdaten, mit denen die auf der tatsächlichen Messung basierenden Reibungsbestimmungsergebnisse assoziiert sind. Die vergangenen Daten enthalten eine ausreichend große Anzahl solcher Messdaten, und somit wird in einem Fall, in dem das AE-Signal und der Spaltbetrag De aufgetragen sind, wie in **Fig.** 11B dargestellt, ein Kennfeld M2 erzeugt, in dem ein Bereich A, in dem das Reibungsbestimmungsergebnis „Reibung“ ist, und ein Bereich B, in dem das Reibungsbestimmungsergebnis „keine Reibung“ ist, spezifiziert sind.

[0043] Die Erzeugungseinheit 106 für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex erfasst als den ersten Reibungsauftrittskennwert das von dem AE-Sensor 10 detektierte AE-Signal und erfasst als den zweiten Reibungsauftrittskennwert den Spaltbetrag De, der der Schätzwert oder der tatsächlich gemessene Wert ist. Die Reibungsbestimmungseinheit 108 bestimmt, ob Reibung vorliegt oder nicht, indem sie das AE-Signal und den Spaltbetrag auf das in **Fig.** 11B dargestellte Kennfeld M2 anwendet.

[0044] Bei einer anderen Ausführungsform kann die Erzeugungseinheit 106 für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex den Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex durch Korrigieren des von der Erfassungseinheit 104 für Spaltbetrag erfassten Spaltbetrags De auf der Grundlage des Kombinationsindex erzeugen. Bei der vorliegenden Ausführungsform erzeugt die Erzeugungseinheit 106 für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex den Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex durch Korrigieren des von der Erfassungseinheit 104 für Spaltbetrag erfassten Spaltbetrags De so, dass er zu einem Zeitpunkt, zu dem die Reibungsauftrittswahrscheinlichkeit Pj, die der oben beschriebene Kombinationsindex ist, den Schwellenwert Pj0 überschreitet, null wird.

[0045] **Fig.** 12 ist ein Flussdiagramm, das ein Reibungsbestimmungsverfahren gemäß einer weiteren Ausführungsform darstellt. Schritte S200 bis S205 sind ähnlich wie Schritte S100 bis S105 in **Fig.** 10. In einem Fall, in dem die Bestimmung von „Reibung“ bei Schritt S204 vorgenommen wird, wird bestimmt, ob der bei Schritt S201 von der Erfassungseinheit 104 für Spaltbetrag erfasste Spaltbetrag De größer als null ist oder nicht (Schritt S206). Infolgedessen korrigiert, wenn der Spaltbetrag De größer als null ist (Schritt S206: JA), die Erzeugungseinheit 106 für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex den Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex derart, dass der Spaltbetrag De null wird (Schritt S207). Danach wird Verarbeitung zu Schritt S100 zurückgeführt und wird eine Reihe von Verarbeitungen wiederholt durchgeführt. In diesem Fall wird bei der nachfolgenden Verarbeitung die in Schritt S207 durchgeführte

Korrektur auf den in Schritt S201 erfassten Spaltbetrag De angewendet und wird die nachfolgende Reibungsbestimmung auf der Grundlage des korrigierten Spaltbetrags De durchgeführt.

[0046] **Fig.** 13 ist ein Graph, der eine zeitliche Änderung des Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex vor und nach Korrektur zeigt. In **Fig.** 13 ist eine zeitliche Änderung des von der Erfassungseinheit 104 für Spaltbetrag erfassten Spaltbetrags De ab Zeitpunkt t0 dargestellt. In einem Fall, in dem die Reibungsauftrittswahrscheinlichkeit Pj den Schwellenwert Pj0 zum Zeitpunkt t1 überschreitet, korrigiert die Erzeugungseinheit 106 für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex den Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex derart, dass der Spaltbetrag De null wird. Nach Zeitpunkt t1 wird der zum Zeitpunkt t1 korrigierte Spaltbetrag De als der Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex ausgegeben. Ein auf diese Weise korrigiertes Verhalten des Spaltbetrags De wird um einen bestimmten Betrag in Bezug auf den Spaltbetrag De verschoben, der von der Erfassungseinheit 104 für Spaltbetrag vor Zeitpunkt t1 erfasst wurde (in **Fig.** 13 ist ein Verhalten des Spaltbetrags De in einem Fall, in dem der Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex nach Zeitpunkt t1 nicht korrigiert wird, durch eine gestrichelte Linie angegeben).

[0047] Auf diese Weise wird der Spaltbetrag De zu einem Zeitpunkt, zu dem die Reibungsauftrittswahrscheinlichkeit Pj, die der Kombinationsindex ist, den Schwellenwert Pj0 erreicht, auf null korrigiert und wird somit die Bestimmung, ob Reibung vorliegt oder nicht, genau durchgeführt. Infolgedessen kann beispielsweise selbst in einem Fall, in dem sich Bedingungen der Drehmaschine 1 aufgrund einer Alterungsänderung ändern, ein genauer Spaltbetrag De erhalten werden. Somit wird der auf diese Weise korrigierte Spaltbetrag De als der Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex verwendet und kann somit genaue Reibungsbestimmung durchgeführt werden.

[0048] Wie oben beschrieben, wird gemäß der oben beschriebenen Ausführungsform die Reibungsbestimmung auf der Grundlage des Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex durchgeführt, der auf der Grundlage des von dem AE-Sensor detektierten AE-Signals und des Spaltbetrags, der der Messwert oder der Schätzwert ist, erzeugt wird. Infolgedessen kann im Vergleich zu der Reibungsbestimmung, die nur auf dem AE-Signal oder den Spaltinformationen basiert, bessere Bestimmungsgenauigkeit erhalten werden.

[0049] Darüber hinaus ist es möglich, die Komponenten bei den oben beschriebenen Ausführungsformen durch bekannte Komponenten innerhalb des Schutzumfangs, der nicht vom Kern der vorliegenden Offenbarung abweicht, geeignet zu ersetzen, und die oben beschriebenen Ausführungsformen können geeignet kombiniert werden.

[0050] Die bei jeder Ausführungsform beschriebenen Inhalte werden beispielsweise wie folgt verstanden.

[0051] (1) Eine Reibungsbestimmungsvorrichtung für eine Drehmaschine gemäß mindestens einem Aspekt ist eine Reibungsbestimmungsvorrichtung (100) für eine Drehmaschine, die ein fixiertes Teil und ein Drehteil enthält. Die Vorrichtung umfasst eine Erfassungseinheit (102) für AE-Signal zum Erfassen eines von einem AE-Sensor, der bei der Drehmaschine vorgesehen ist, detektierten AE-Signals, eine Erfassungseinheit (104) für Spaltbetrag zum Erfassen eines Spaltbetrags zwischen dem fixierten Teil und dem Drehteil, eine Erzeugungseinheit (106) für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex zum Erzeugen eines Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex auf der Grundlage des AE-Signals und des Spaltbetrags und eine Reibungsbestimmungseinheit (108) zum Bestimmen von Reibung bei der Drehmaschine auf der Grundlage des Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex.

[0052] Gemäß dem Aspekt des obigen (1) wird die Reibungsbestimmung auf der Grundlage des Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex durchgeführt, der auf der Grundlage des von dem AE-Sensor detektierten AE-Signals und des Spaltbetrags, der der Messwert oder der Schätzwert ist, erzeugt wird. Infolgedessen kann im Vergleich zu der Reibungsbestimmung, die nur auf dem AE-Signal oder den Spaltinformationen basiert, bessere Bestimmungsgenauigkeit erhalten werden.

[0053] (2) Bei einem weiteren Aspekt berechnet bei dem Aspekt des obigen (1) die Erzeugungseinheit für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex einen Kombinationsindex des AE-Signals und des Spaltbetrags als den Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex.

[0054] Gemäß dem Aspekt des obigen (2) wird der Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex durch Kombinieren des AE-Signals und des Spaltbetrags auf diese Weise erzeugt, und somit kann genaue Reibungsbestimmung durchgeführt werden.

[0055] (3) Bei einem weiteren Aspekt enthält bei dem Aspekt des obigen (2) die Erzeugungseinheit für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex eine Berechnungseinheit für ersten Reibungsauftrittsindex zum Berechnen einer ersten Reibungsauftrittswahrscheinlichkeit auf der Grundlage des AE-Signals, eine Berechnungseinheit für zweiten Reibungsauftrittsindex zum Berechnen einer zweiten Reibungsauftrittswahrscheinlichkeit auf der Grundlage des Spaltbetrags und eine Berechnungseinheit

für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex zum Berechnen von Reibungsauftrittswahrscheinlichkeiten, die dem von der Berechnungseinheit für ersten Reibungsauftrittsindex berechneten ersten Reibungsauftrittsindex und dem von der Berechnungseinheit für zweiten Reibungsauftrittsindex berechneten zweiten Reibungsauftrittsindex entsprechen, als den Kombinationsindex, durch Verwenden eines Kennfelds, das die Reibungsauftrittswahrscheinlichkeiten für den ersten Reibungsauftrittsindex und den zweiten Reibungsauftrittsindex definiert.

[0056] Gemäß dem Aspekt des obigen (3) kann genaue Reibungsbestimmung durch Verwenden der Reibungsauftrittswahrscheinlichkeiten durchgeführt werden, die auf der Grundlage des ersten Reibungsauftrittsindex, der dem AE-Signal entspricht, und des zweiten Reibungsauftrittsindex, der dem Spaltbetrag entspricht, berechnet werden.

[0057] (4) Bei einem weiteren Aspekt erzeugt bei dem Aspekt des obigen (2) oder (3) die Erzeugungseinheit für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex den Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex durch Korrigieren des Spaltbetrags auf der Grundlage des Kombinationsindex.

[0058] Gemäß dem Aspekt des obigen (4) kann selbst in einem Fall, in dem die Bedingungen für die Drehmaschine aufgrund einer Alterungsverschlechterung geändert werden, Bewertung mit einem genauen Spaltbetrag durch Korrigieren des Spaltbetrags durch Verwenden des Kombinationsindex, mit dem genaue Reibungsbestimmung durchgeführt werden kann, durchgeführt werden.

[0059] (5) Bei einem weiteren Aspekt korrigiert bei dem Aspekt des obigen (4) die Erzeugungseinheit für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex den Spaltbetrag so, dass er null wird, wenn der Kombinationsindex einen voreingestellten Schwellenwert erreicht.

[0060] Gemäß dem Aspekt des obigen (5) wird der erfasste Wert des Spaltbetrags so korrigiert, dass er zu einem Zeitpunkt, zu dem der Kombinationsindex den Schwellenwert erreicht und somit genauer Reibungsauftritt bestimmt wird, null wird. Infolgedessen ist es beispielsweise selbst in einem Fall, in dem sich die Bedingungen für die Drehmaschine aufgrund einer Alterungsverschlechterung ändern, durch Korrigieren des Spaltbetrags möglich, den Spaltbetrag genau zu bewerten.

[0061] (6) Bei einem weiteren Aspekt ist bei einem Aspekt der obigen (1) bis (5) der Spaltbetrag ein Schätzwert, der auf der Grundlage von Betriebsdaten der Drehmaschine berechnet wird.

[0062] Gemäß dem Aspekt des obigen (6) wird der Schätzwert, der auf der Grundlage der Betriebsdaten der Drehmaschine berechnet wird, als der Spaltbetrag verwendet. Selbst in einem Fall, in dem der Schätzwert auf diese Weise als der Spaltbetrag verwendet wird, wird der Schätzwert zusammen mit dem AE-Signal zum Erzeugen des Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex verwendet, und somit kann genaue Reibungsbestimmung durchgeführt werden.

[0063] (7) Bei einem weiteren Aspekt ist bei einem Aspekt der obigen (1) bis (5) der Spaltbetrag ein Schätzwert, der durch Eingeben von Betriebsdaten der Drehmaschine in ein Modell für maschinelles Lernen berechnet wird, und das Modell für maschinelles Lernen wird durch Rückkoppeln des Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex modifiziert.

[0064] Gemäß dem Aspekt des obigen (7) wird der Schätzwert durch Eingeben der Betriebsdaten der Drehmaschine als der Spaltbetrag in das Modell für maschinelles Lernen berechnet. Selbst in einem Fall, in dem der durch Verwenden des Modells für maschinelles Lernen berechnete Schätzwert auf diese Weise als der Spaltbetrag verwendet wird, kann genaue Reibungsbestimmung durchgeführt werden, indem der Schätzwert zusammen mit dem AE-Signal zum Erzeugen des Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex verwendet wird. Darüber hinaus wird das Modell für maschinelles Lernen auf der Grundlage des Reibungsbestimmung-Bewertungsindex, der auf der Grundlage des AE-Signals und des Spaltbetrags (Schätzwert) erzeugt wurde, modifiziert, und somit wird die Schätzgenauigkeit des Spaltbetrags verbessert. Infolgedessen kann Reibungsbestimmung, die weiter ausgezeichnete Genauigkeit aufweist, durchgeführt werden.

[0065] (8) Bei einem weiteren Aspekt ist bei einem Aspekt der obigen (1) bis (5) der Spaltbetrag ein tatsächlich gemessener Wert, der von einem Spaltsensor, der bei der Drehmaschine vorgesehen ist, detektiert wurde.

[0066] Gemäß dem Aspekt des obigen (8) kann selbst in einem Fall, in dem der tatsächlich gemessene Wert des Sensors als der Spaltbetrag verwendet wird, genaue Reibungsbestimmung durchgeführt werden.

[0067] (9) Bei einem weiteren Aspekt wird bei einem Aspekt der obigen (1) bis (8) das AE-Signal von dem AE-Sensor, der in einem Lagerabschnitt, der das Drehteil in Bezug auf ein stationäres Teil drehbar lagert, vorgesehen ist, erfasst.

[0068] Gemäß dem Aspekt des obigen (9) kann das AE-Signal, das zum Erzeugen des Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex verwendet wird, von dem

AE-Sensor, der in dem Lagerabschnitt installiert ist, erfasst werden.

[0069] (10) Bei einem weiteren Aspekt ist bei einem Aspekt der obigen (1) bis (9) die Drehmaschine eine Dampfturbine.

[0070] Gemäß dem Aspekt des obigen (10) ist es möglich, die Reibungsbestimmungsvorrichtung zu realisieren, die in der Lage ist, Reibung bei der Dampfturbine genau zu bestimmen.

[0071] (11) Ein Reibungsbestimmungsverfahren für eine Drehmaschine gemäß mindestens einem Aspekt ist ein Reibungsbestimmungsverfahren für eine Drehmaschine, die ein fixiertes Teil und ein Drehteil enthält. Das Verfahren umfasst einen Schritt des Erfassens eines von einem AE-Sensor, der bei der Drehmaschine vorgesehen ist, detektierten AE-Signals, einen Schritt des Erfassens eines Spaltbetrags zwischen dem fixierten Teil und dem Drehteil, einen Schritt des Erzeugens eines Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex auf der Grundlage des AE-Signals und des Spaltbetrags und einen Schritt des Bestimmens von Reibung bei der Drehmaschine auf der Grundlage des Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex.

[0072] Gemäß dem Aspekt des obigen (11) wird Reibungsbestimmung auf der Grundlage des Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex durchgeführt, der auf der Grundlage des von dem AE-Sensor detektierten AE-Signals und des Spaltbetrags, der der Messwert oder der Schätzwert ist, erzeugt wird. Infolgedessen kann im Vergleich zu der Reibungsbestimmung, die nur auf dem AE-Signal oder den Spaltinformationen basiert, bessere Bestimmungsgenauigkeit erhalten werden.

[0073] (12) Ein Reibungsbestimmungsprogramm für eine Drehmaschine gemäß mindestens einem Aspekt ist ein Reibungsbestimmungsprogramm für eine Drehmaschine, die ein fixiertes Teil und ein Drehteil enthält, das einen Computer veranlasst, einen Schritt des Erfassens eines von einem AE-Sensor, der bei der Drehmaschine vorgesehen ist, detektierten AE-Signals, einen Schritt des Erfassens eines Spaltbetrags zwischen dem fixierten Teil und dem Drehteil, einen Schritt des Erzeugens eines Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex auf der Grundlage des AE-Signals und des Spaltbetrags und einen Schritt des Bestimmens von Reibung in der Drehmaschine auf der Grundlage des Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex auszuführen.

[0074] Gemäß dem Aspekt des obigen (12) wird Reibungsbestimmung auf der Grundlage des Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex durchgeführt, der auf der Grundlage des von dem AE-Sensor detektierten AE-Signals und des Spaltbetrags, der der Messwert oder der Schätzwert ist, erzeugt wird. Infolgedessen kann im Vergleich zu der Reibungsbestimmung, die nur auf dem AE-Signal oder den Spaltinformationen basiert, bessere Bestimmungsgenauigkeit erhalten werden.

Bezugszeichenliste

1	Drehmaschine
2	stationäres Teil
3	Zufuhrsystem
4	Drehteil
4a	Rotorschaufel
5	Abgabeteil
6a, 6b	Lager
7a, 7b	Lagergehäuse
10	Sensor
13	Spaltsensor
100	Reibungsbestimmungsvorrichtung
102	Signalerfassungseinheit
104	Erfassungseinheit für Spaltbetrag
106	Erzeugungseinheit für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex
108	Reibungsbestimmungseinheit
110	Eingabeschicht
112	Zwischenschicht
114	Ausgabeschicht
120	Berechnungseinheit für ersten Reibungsauftrittsindex
122	Berechnungseinheit für zweiten Reibungsauftrittsindex
124	Berechnungseinheit für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- JP 2022042114 [0002]
- JP H0843193 [0005]
- JP 202176533 [0005]

Patentansprüche

1. Reibungsbestimmungsvorrichtung für eine Drehmaschine, die ein fixiertes Teil und ein Drehteil enthält, wobei die Vorrichtung umfasst:
eine Erfassungseinheit für AE-Signal zum Erfassen eines von einem AE-Sensor, der bei der Drehmaschine vorgesehen ist, detektierten AE-Signals;
eine Erfassungseinheit für Spaltbetrag zum Erfassen eines Spaltbetrags zwischen dem fixierten Teil und dem Drehteil;
eine Erzeugungseinheit für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex zum Erzeugen eines Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex auf der Grundlage des AE-Signals und des Spaltbetrags; und
eine Reibungsbestimmungseinheit zum Bestimmen von Reibung bei der Drehmaschine auf der Grundlage des Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex.

2. Reibungsbestimmungsvorrichtung für eine Drehmaschine nach Anspruch 1, wobei die Erzeugungseinheit für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex einen Kombinationsindex des AE-Signals und des Spaltbetrags als den Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex berechnet.

3. Reibungsbestimmungsvorrichtung für eine Drehmaschine nach Anspruch 2, wobei die Erzeugungseinheit für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex enthält:
eine Berechnungseinheit für ersten Reibungsauftrittsindex zum Berechnen einer ersten Reibungsauftrittswahrscheinlichkeit auf der Grundlage des AE-Signals,
eine Berechnungseinheit für zweiten Reibungsauftrittsindex zum Berechnen einer zweiten Reibungsauftrittswahrscheinlichkeit auf der Grundlage des Spaltbetrags, und
eine Berechnungseinheit für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex zum Berechnen von Reibungsauftrittswahrscheinlichkeiten, die dem von der Berechnungseinheit für ersten Reibungsauftrittsindex berechneten ersten Reibungsauftrittsindex und dem von der Berechnungseinheit für zweiten Reibungsauftrittsindex berechneten zweiten Reibungsauftrittsindex entsprechen, als den Kombinationsindex, durch Verwenden eines Kennfelds, das die Reibungsauftrittswahrscheinlichkeiten für den ersten Reibungsauftrittsindex und den zweiten Reibungsauftrittsindex definiert.

4. Reibungsbestimmungsvorrichtung für eine Drehmaschine nach Anspruch 2, wobei die Erzeugungseinheit für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex durch Korrigieren des Spaltbetrags auf der Grundlage des Kombinationsindex den Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex erzeugt.

5. Reibungsbestimmungsvorrichtung für eine Drehmaschine nach Anspruch 4, wobei die Erzeugungseinheit für Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex den Spaltbetrag so korrigiert, dass er null wird, wenn der Kombinationsindex einen voreingestellten Schwellenwert erreicht.

6. Reibungsbestimmungsvorrichtung für eine Drehmaschine nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Spaltbetrag ein Schätzwert ist, der auf der Grundlage von Betriebsdaten der Drehmaschine berechnet wird.

7. Reibungsbestimmungsvorrichtung für eine Drehmaschine nach Anspruch 1 oder 2,
wobei der Spaltbetrag ein Schätzwert ist, der durch Eingeben von Betriebsdaten der Drehmaschine in ein Modell für maschinelles Lernen berechnet wird, und
das Modell für maschinelles Lernen durch Rückkoppeln des Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex modifiziert wird.

8. Reibungsbestimmungsvorrichtung für eine Drehmaschine nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Spaltbetrag ein tatsächlich gemessener Wert ist, der von einem Spaltsensor, der bei der Drehmaschine vorgesehen ist, detektiert wurde.

9. Reibungsbestimmungsvorrichtung für eine Drehmaschine nach Anspruch 1 oder 2, wobei das AE-Signal von dem AE-Sensor, der in einem Lagerabschnitt, der das Drehteil in Bezug auf ein stationäres Teil drehbar lagert, vorgesehen ist, erfasst wird.

10. Reibungsbestimmungsvorrichtung für eine Drehmaschine nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Drehmaschine eine Dampfturbine ist.

11. Reibungsbestimmungsverfahren für eine Drehmaschine, die ein fixiertes Teil und ein Drehteil enthält, wobei das Verfahren umfasst:
einen Schritt des Erfassens eines von einem AE-Sensor, der bei der Drehmaschine vorgesehen ist, detektierten AE-Signals;
einen Schritt des Erfassens eines Spaltbetrags zwischen dem fixierten Teil und dem Drehteil;
einen Schritt des Erzeugens eines Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex auf der Grundlage des AE-Signals und des Spaltbetrags; und
einen Schritt des Bestimmens von Reibung bei der Drehmaschine auf der Grundlage des Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex.

12. Reibungsbestimmungsprogramm für eine Drehmaschine, die ein fixiertes Teil und ein Drehteil enthält, wobei das Programm einen Computer veranlasst auszuführen:
einen Schritt des Erfassens eines von einem AE-Sensor, der bei der Drehmaschine vorgesehen ist,

detektierten AE-Signals;
einen Schritt des Erfassens eines Spaltbetrags zwischen dem fixierten Teil und dem Drehteil;
einen Schritt des Erzeugens eines Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex auf der Grundlage des AE-Signals und des Spaltbetrags; und
einen Schritt des Bestimmens von Reibung bei der Drehmaschine auf der Grundlage des Reibungsbestimmungs-Bewertungsindex.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

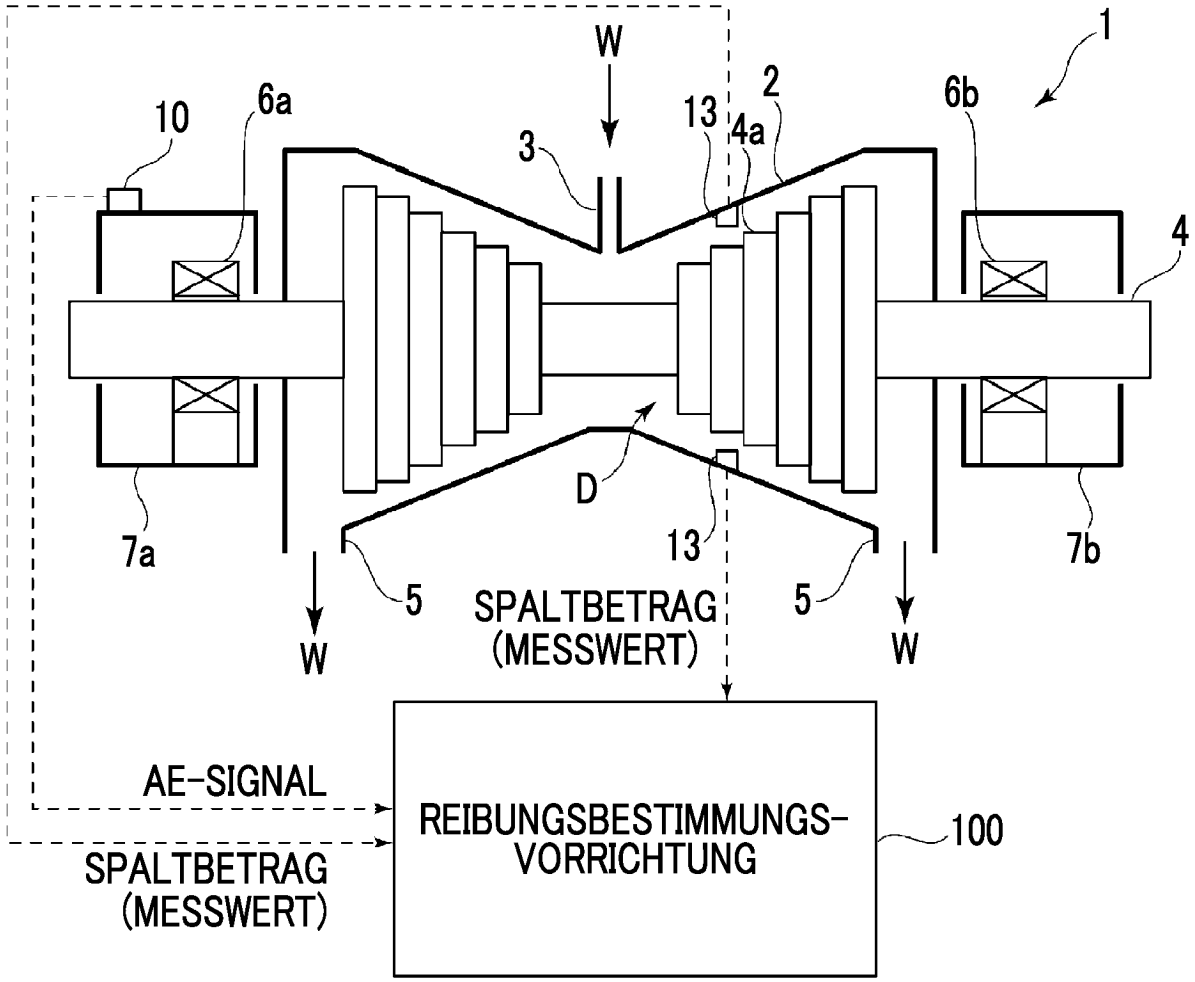


FIG. 2

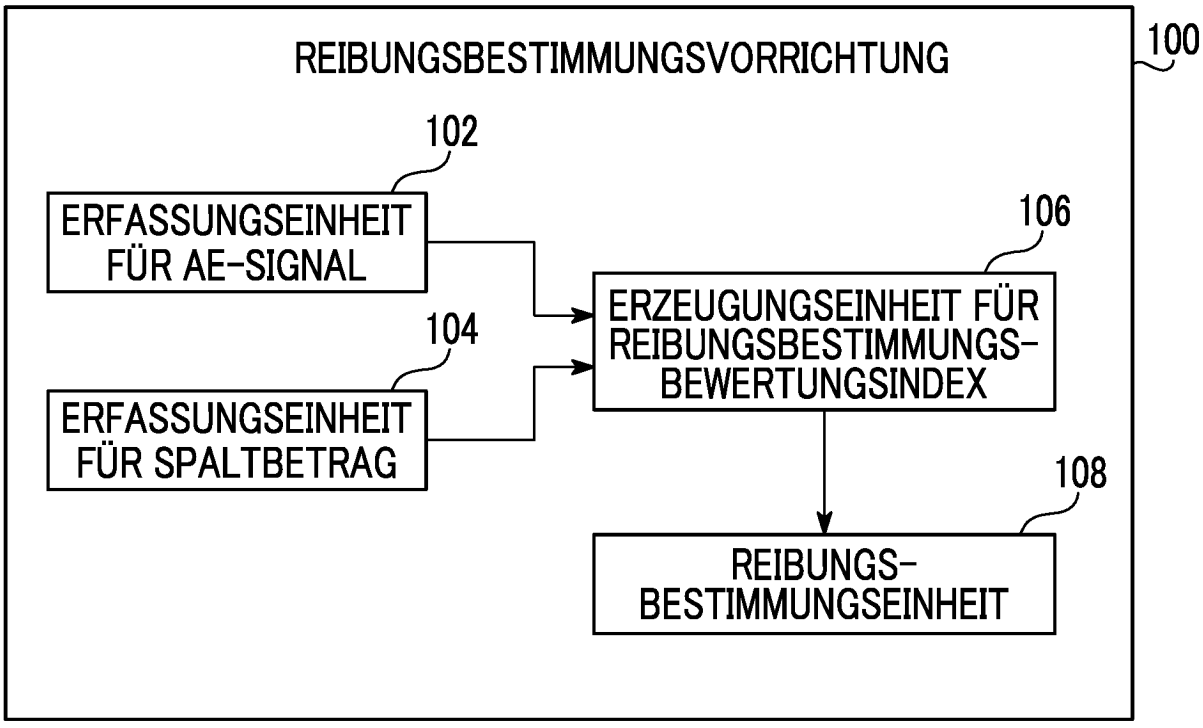


FIG. 3

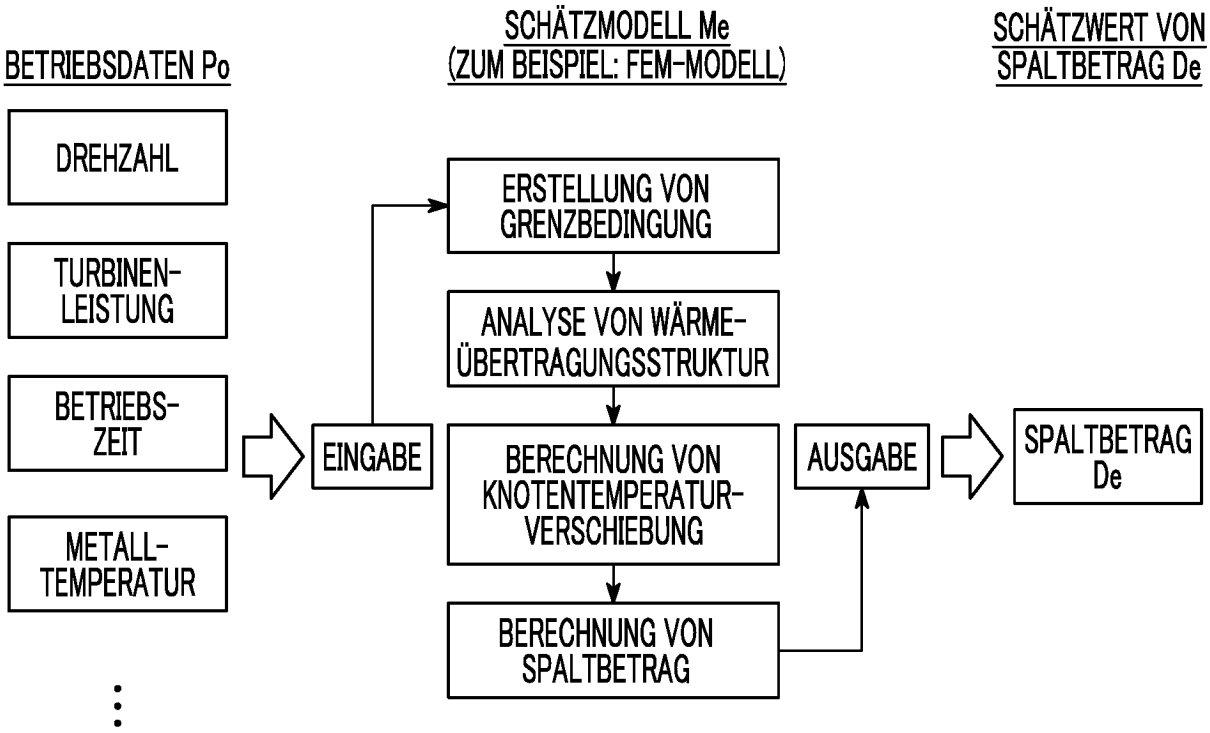

BETRIEBSDATEN Po
SCHÄTZMODELL Me
(ZUM BEISPIEL: FEM-MODELL)
SCHÄTZWERT VON
SPALTBETRAG De
DREHZAHL
TURBINEN-
LEISTUNG
BETRIEBS-
ZEIT
METALL-
TEMPERATUR
EINGABE
ERSTELLUNG VON
GRENZBEDINGUNG
ANALYSE VON WÄRME-
ÜBERTRAGUNGSSTRUKTUR
BERECHNUNG VON
KNOTENTEMPERATUR-
VERSCHIEBUNG
BERECHNUNG VON
SPALTBETRAG
AUSGABE
SPALTBETRAG
De

FIG. 4

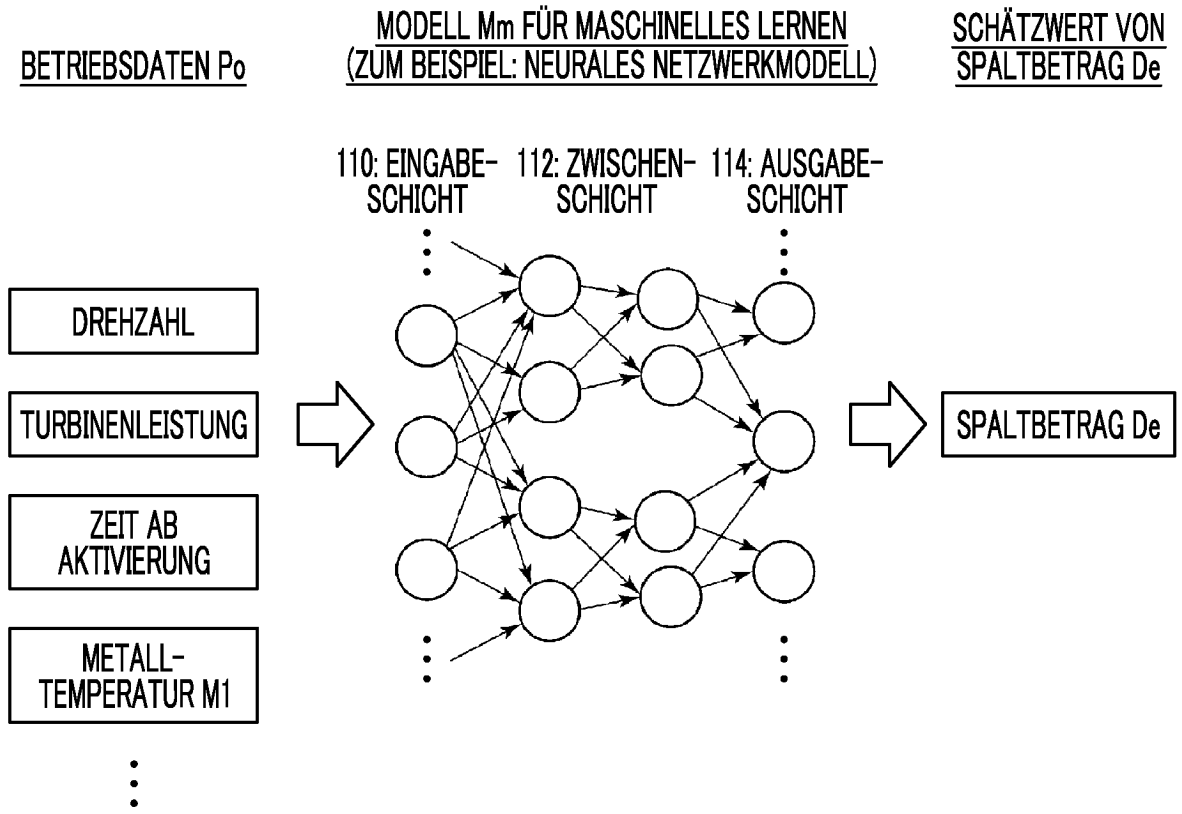

BETRIEBSDATEN Po
MODELL Mm FÜR MASCHINELLES LERNEN
(ZUM BEISPIEL: NEURALES NETZWERKMODELL)
SCHÄTZWERT VON
SPALTBETRAG De
110: EINGABE-
SCHICHT
112: ZWISCHEN-
SCHICHT
114: AUSGABE-
SCHICHT
DREHZAHL
TURBINENLEISTUNG
ZEIT AB
AKTIVIERUNG
METALL-
TEMPERATUR M1
SPALTBETRAG De

FIG. 5

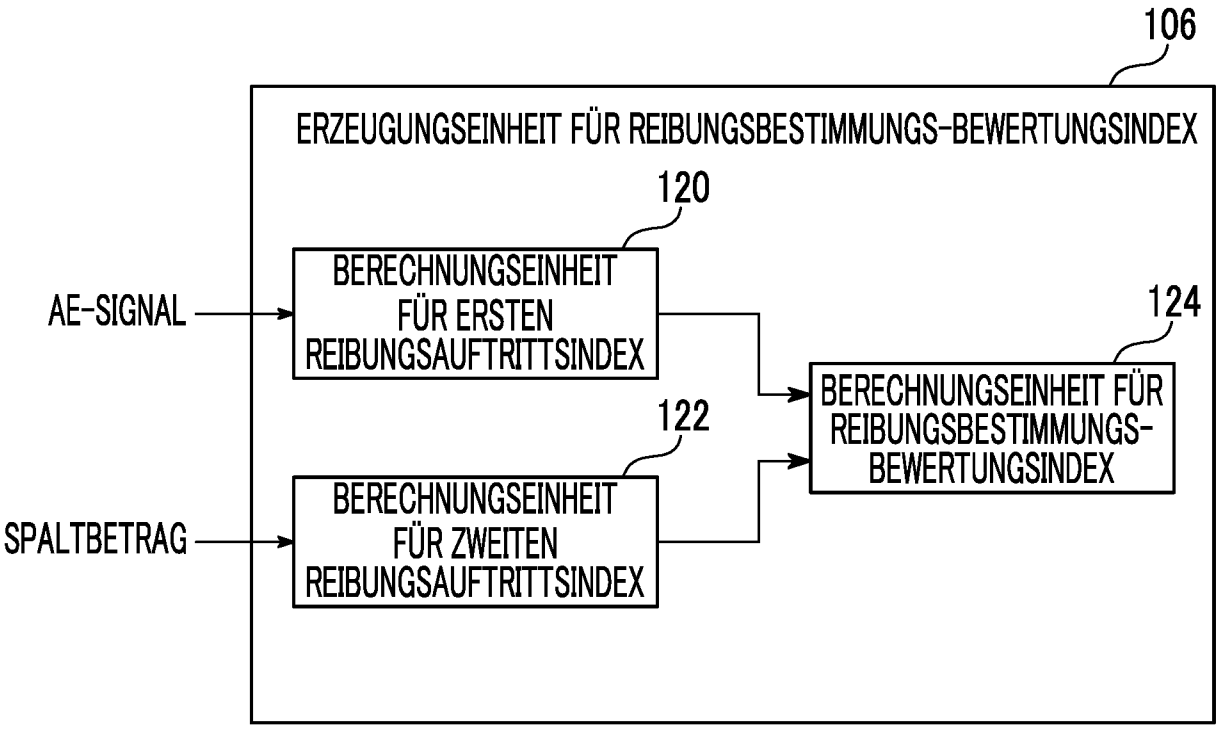

106
ERZEUGUNGSEINHEIT FÜR REIBUNGSBESTIMMUNGS-BEWERTUNGSINDEX
120
AE-SIGNAL
BERECHNUNGSEINHEIT FÜR ERSTEN REIBUNGSAUFTRITTSINDEX
124
BERECHNUNGSEINHEIT FÜR REIBUNGSBESTIMMUNGS-BEWERTUNGSINDEX
122
SPALTBETRAG
BERECHNUNGSEINHEIT FÜR ZWEITEN REIBUNGSAUFTRITTSINDEX

FIG. 6

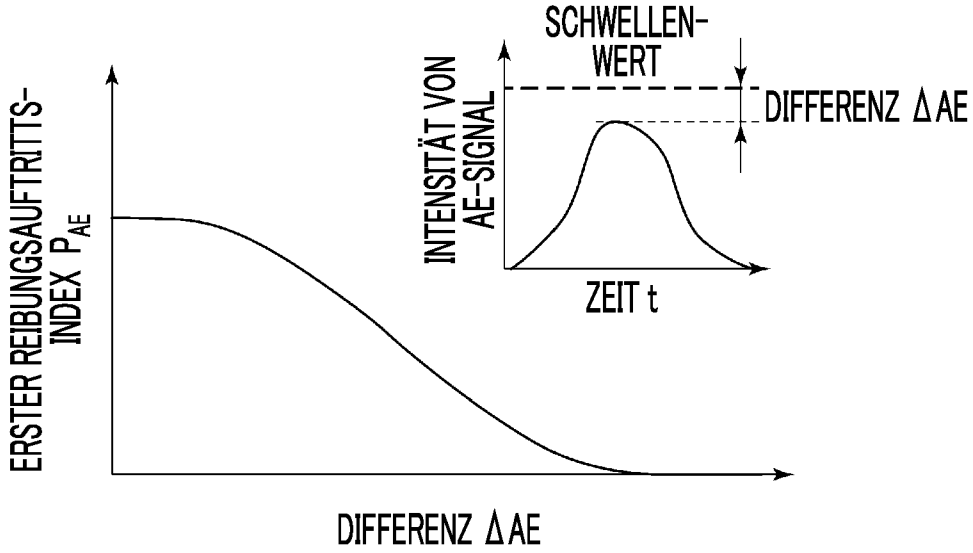

SCHWELLEN-WERT
DIFFERENZ ΔAE
INTENSITÄT VON AE-SIGNAL
ZEIT t
ERSTER REIBUNGSAUFTRITTS-INDEX P_{AE}
DIFFERENZ ΔAE

FIG. 7

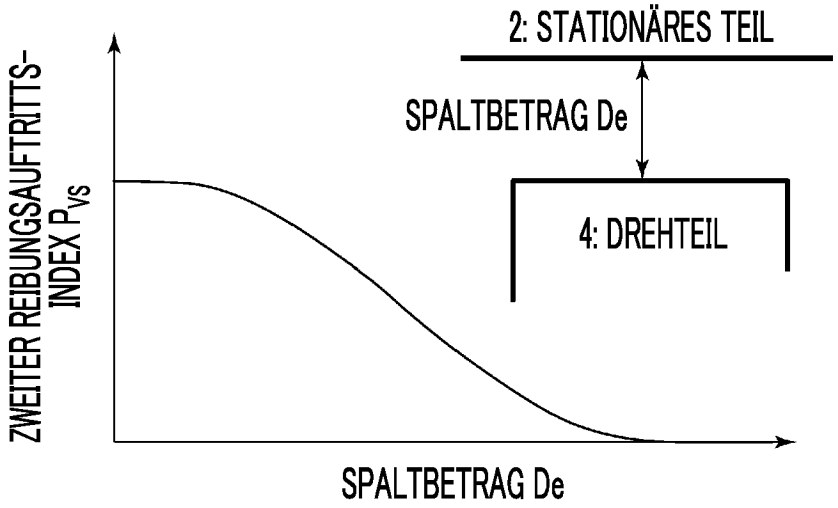

2: STATIONÄRES TEIL
SPALTBETRAG De
4: DREHTEIL
ZWEITER REIBUNGSAUFTRITTS-INDEX P_{VS}
SPALTBETRAG De

FIG. 8

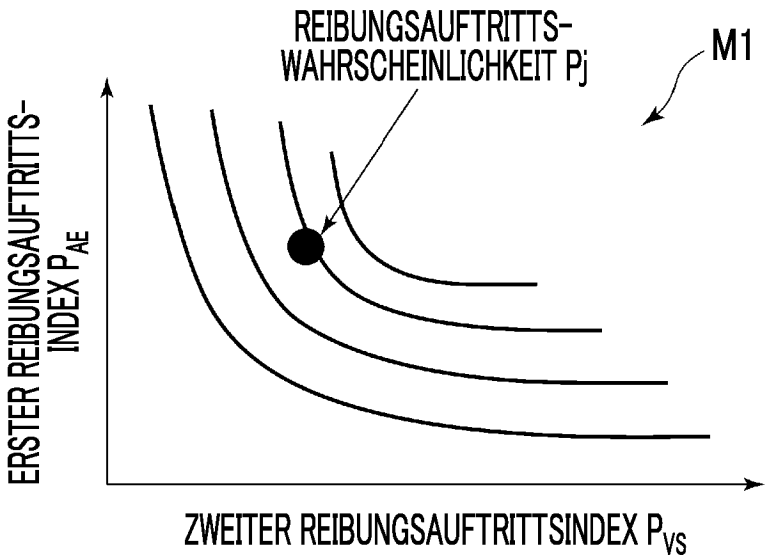

REIBUNGSAUFTRITTS-WAHRSCHEINLICHKEIT Pj
M1
ERSTER REIBUNGSAUFTRITTS-INDEX P_{AE}
ZWEITER REIBUNGSAUFTRITTSINDEX P_{VS}

FIG. 9

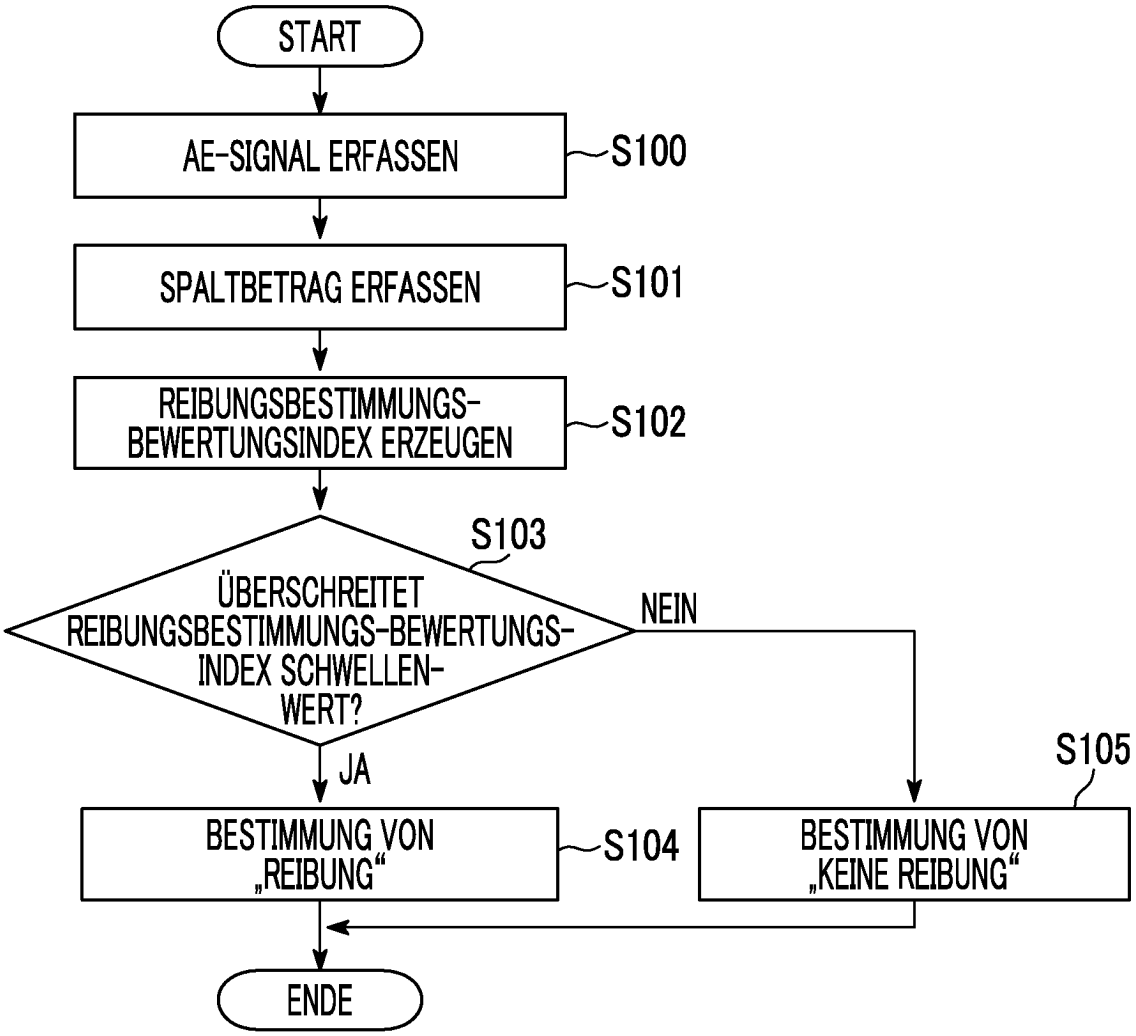

START
AE-SIGNAL ERFASSEN
S100
SPALTBETRAG ERFASSEN
S101
REIBUNGSBESTIMMUNGS-BEWERTUNGSINDEX ERZEUGEN
S102
S103
ÜBERSCHREITET REIBUNGSBESTIMMUNGS-BEWERTUNGS-INDEX SCHWELLEN-WERT?
NEIN
JA
S105
BESTIMMUNG VON „REIBUNG“
S104
BESTIMMUNG VON „KEINE REIBUNG“
ENDE

FIG. 10

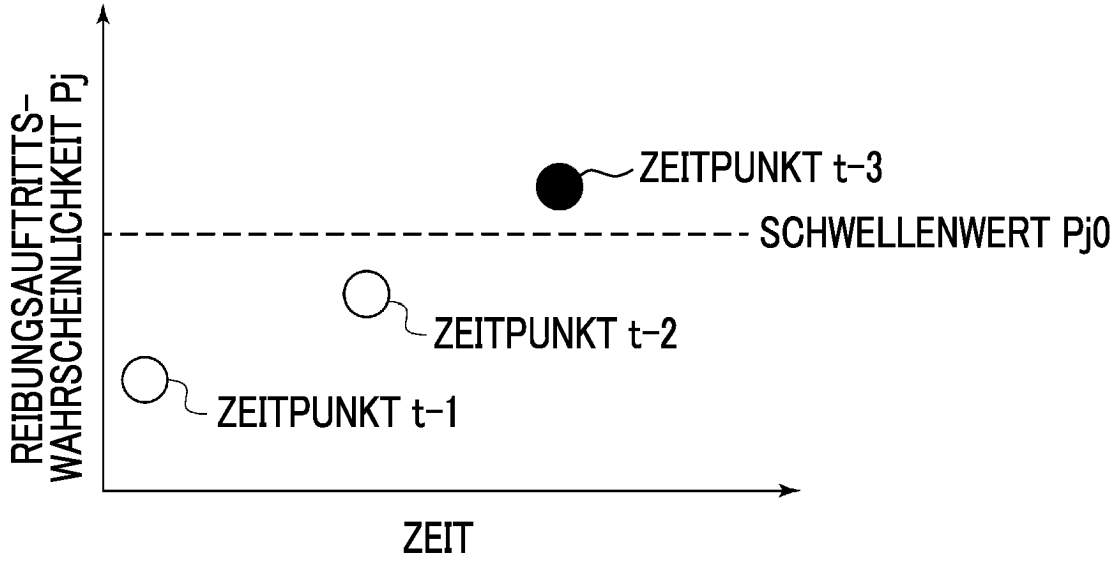

REIBUNGSAUFTRITTS-WAHRSCHEINLICHKEIT Pj
ZEITPUNKT t-3
SCHWELLENWERT Pj0
ZEITPUNKT t-2
ZEITPUNKT t-1
ZEIT

FIG. 11A

ELEMENT	MESSDATEN 1	MESSDATEN 2	MESSDATEN 3	...
ERSTER REIBUNGS-BESTIMMUNGSINDEX (INTENSITÄT VON AE-SIGNAL)	AAA	BBB	CCC	...
ZWEITER REIBUNGS-BESTIMMUNGSINDEX (SPALTBETRAG De)	aaa	bbb	ccc	...
TATSÄCHLICH GEMESSENE REIBUNGSBESTIMMUNG (O: REIBUNG, x: KEINE REIBUNG)	O	x	x	...

FIG. 11B

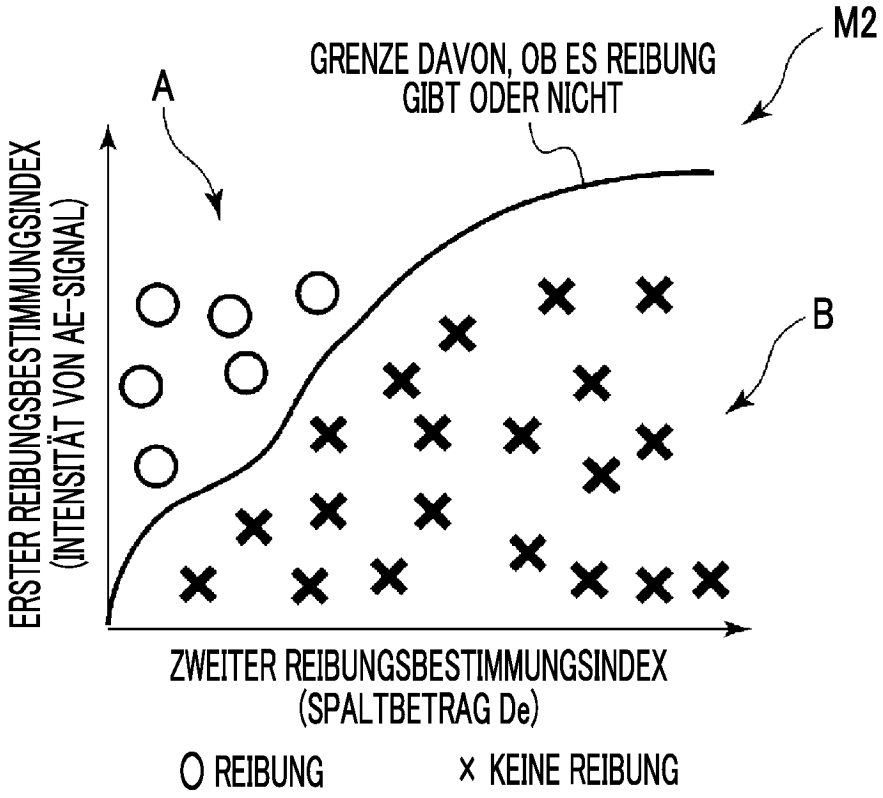


FIG. 12

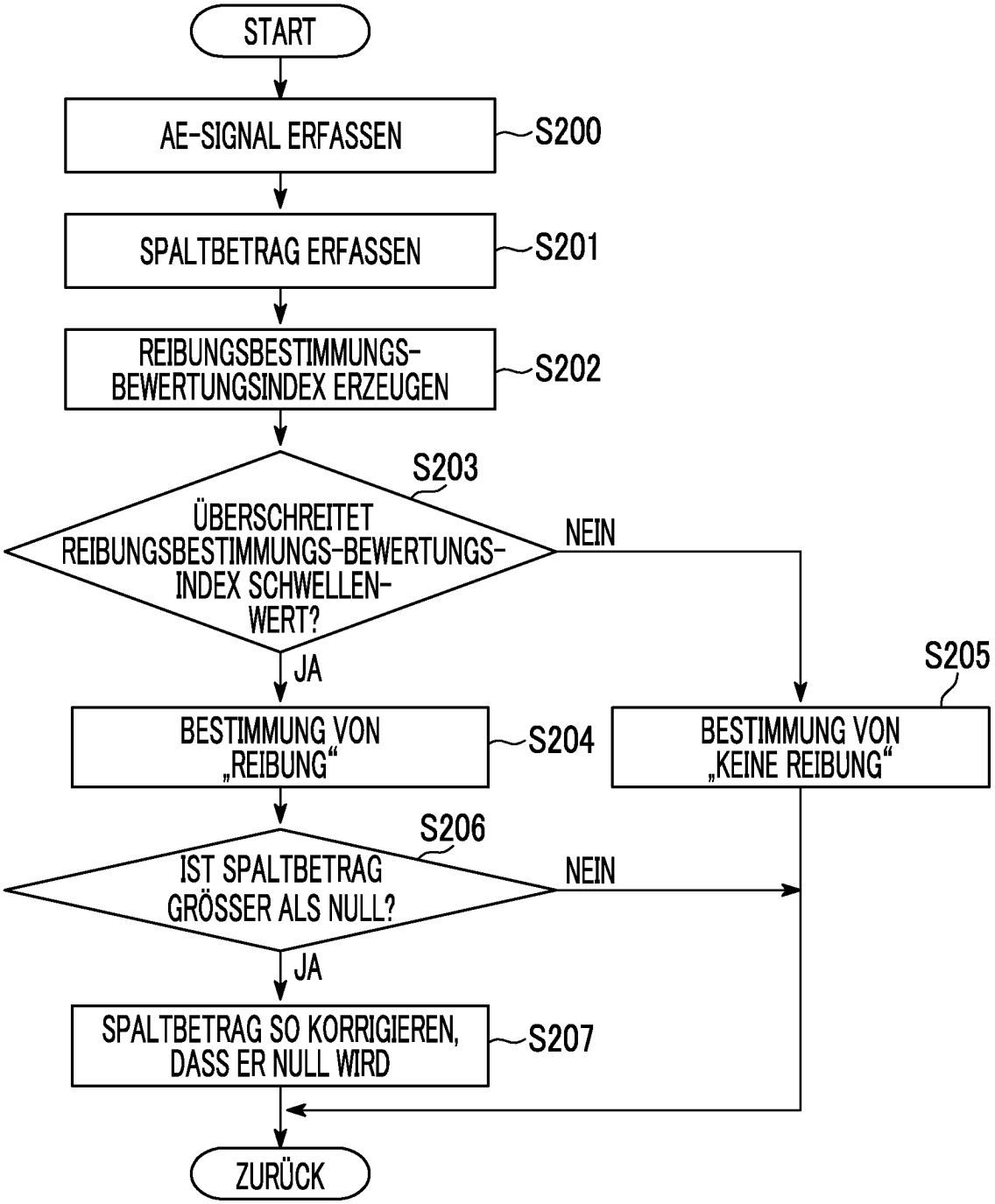
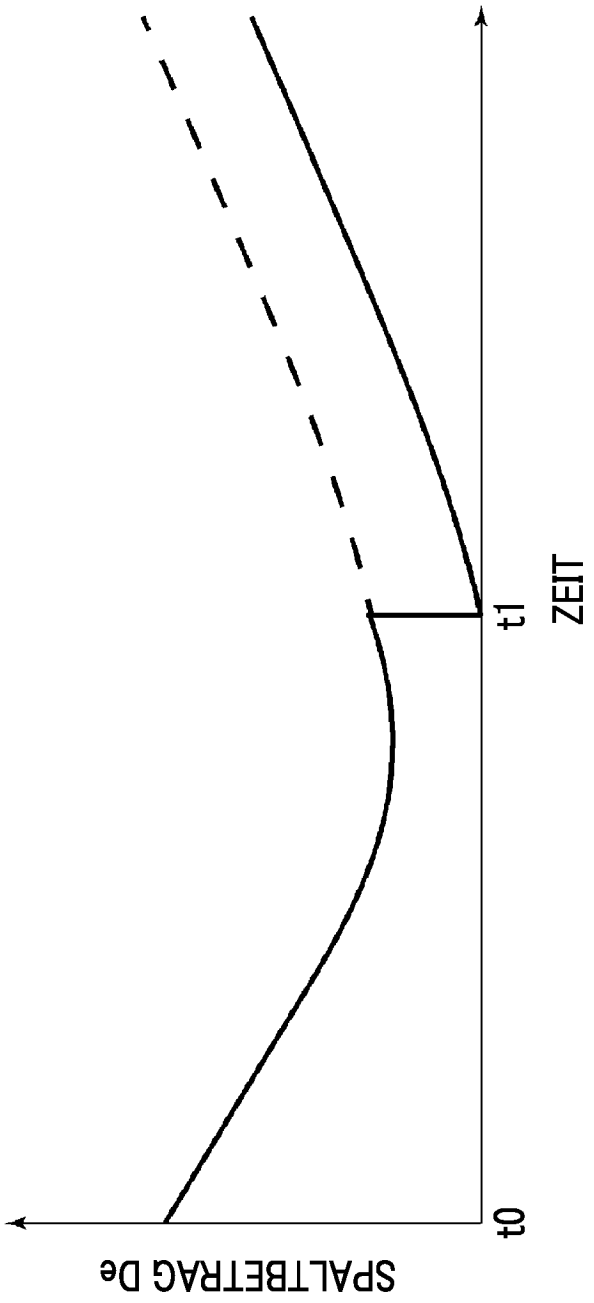

START
AE-SIGNAL ERFASSEN
S200
SPALTBETRAG ERFASSEN
S201
REIBUNGSBESTIMMUNGS-BEWERTUNGSINDEX ERZEUGEN
S202
S203
ÜBERSCHREITET REIBUNGSBESTIMMUNGS-BEWERTUNGS-INDEX SCHWELLEN-WERT?
NEIN
JA
S205
BESTIMMUNG VON „REIBUNG“
S204
BESTIMMUNG VON „KEINE REIBUNG“
S206
IST SPALTBETRAG GRÖSSER ALS NULL?
NEIN
JA
SPALTBETRAG SO KORRIGIEREN, DASS ER NULL WIRD
S207
ZURÜCK

FIG. 13



 Das Dokument wurde durch die Firma Luminess hergestellt.