



(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2023/218516**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2
IntPatÜbkG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2022 007 172.9**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2022/019769**
(86) PCT-Anmeldetag: **10.05.2022**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **16.11.2023**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **27.02.2025**

(51) Int Cl.: **H02P 29/028 (2016.01)**

(71) Anmelder:
Mitsubishi Electric Corporation, Tokyo, JP
(74) Vertreter:
**Diehl & Partner Patent- und Rechtsanwaltskanzlei
mbB, 80636 München, DE**

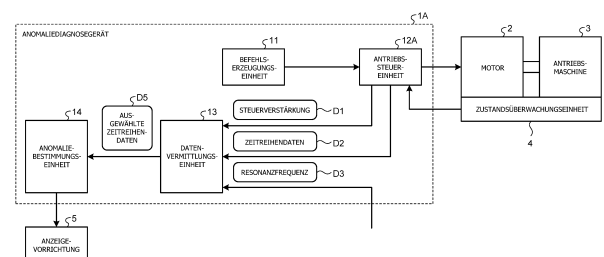
(72) Erfinder:
**Sumida, Daiki, Tokyo, JP; Takano, Naoto, Tokyo,
JP; Kon, Takayuki, Tokyo, JP; Ueda, Koichiro,
Tokyo, JP; Horisawa, Yoichi, Tokyo, JP;
Nishimura, Shunichi, Tokyo, JP**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Gerät zur Diagnose von Anomalien und Verfahren zur Diagnose von Anomalien**

(57) Zusammenfassung: Ein Anomaliediagnosegerät (1A) umfasst eine Befehlserzeugungseinheit (11), die einen Befehlswert erzeugt, um den Betrieb eines Motors (2) oder einer Antriebsmaschine (3) zu spezifizieren, eine Antriebss-
teuereinheit (12A), die eine Rückkopplungssteuerung an dem Motor auf Basis einer Steuerverstärkung (D1) durch-
führt, so dass der Betrieb des Motors oder der Antriebsma-
schine dem Befehlswert folgt, eine Datenvermittlungseinheit
(13), die ausgewählte Zeitreihendaten (D5) vermittelt, indem
sie Daten aus Zeitreihendaten (D2) auf Basis des Ergebnis-
ses eines Vergleichs zwischen einer aus der Steuerverstär-
kung bestimmten Steuerungsbandbreite und einem durch
die Antriebsmaschine bestimmten Schwellenwert auswählt,
die den Zustand des Motors oder der Antriebsmaschine
angeben, und eine Anomaliebestimmungseinheit (14), die
einen anomalen Zustand des Motors oder der Antriebsma-
schine auf Basis der ausgewählten Zeitreihendaten
bestimmt.



Beschreibung

Gebiet

[0001] Die vorliegende Offenbarung bezieht sich auf ein Anomaliediagnosegerät und ein Anomaliediagnoseverfahren zur Diagnose von Anomalien eines Motors oder einer Antriebsmaschine.

Hintergrund

[0002] In Produktionsstätten wie Fabriken führt der Ausfall einer Antriebsmaschine, die einen Motor als Antriebsquelle (engl. motor as a power source) nutzt, zu einer Verringerung der Ausbringungsrates (engl. field rate). Um eine Verringerung der Ausbringungsrates zu verhindern, wurde in den Produktionsstätten eine als TBM (Time Based Maintenance) bekannte Wartungsmethode verwendet, bei der die Antriebsmaschine regelmäßig gewartet wird, um Teile zu ersetzen, die über bestimmte Zeiträume verwendet wurden. In jüngster Zeit wurde in den Produktionsstätten zunehmend anstelle von TBM eine als CMB (Condition Based Maintenance) bezeichnete Wartungsmethode angewandt, bei der auf Basis von Daten, die von der Antriebsmaschine gesammelt werden (interne Daten der Antriebseinrichtung oder externe Sensordaten eines Beschleunigungssensors usw.), entschieden wird, ob Teile ausgetauscht werden müssen oder nicht. Als CBM ist beispielsweise ein Verfahren bekannt, mit dem durch statistische Verarbeitung, maschinelles Lernen oder Berechnungen mit künstlicher Intelligenz (KI) anhand der gesammelten Daten festgestellt werden kann, ob die Antriebsmaschine normal oder anomal läuft.

[0003] Ein in Patentdokument 1 beschriebenes Motorsteuerungssystem bestimmt eine Datenanomalie auf Basis eines Vergleichs zwischen einer Datenanomalie-Bestimmungsschwelle und dem Mahalanobis-Abstand, der auf Basis der zum Zeitpunkt des Motorantriebs erfassten Zeitreihendaten berechnet wird.

Liste der Zitate

Patentliteratur

[0004] Patentdokument 1: Japanische Offenlegungsschrift Nr. 2019-024305

Kurzbeschreibung

Technische Problemstellung

[0005] Bei der Technik des Patentdokuments 1 werden die Daten jedoch ohne Selektion der gesammelten Daten analysiert, so dass eine riesige Menge an Daten, einschließlich redundanter Daten mit geringer Relevanz für Anomalien, analysiert wird, was ein

Problem darstellt, da die Genauigkeit der Anomaliediagnose verringert wird.

[0006] Die vorliegende Offenbarung entstand in Anbetracht der obigen Ausführungen, wobei eine Aufgabe darin besteht, ein Anomaliediagnosegerät anzugeben, das eine hochgenaue Anomaliediagnose durchführen kann.

Lösung der Problemstellung

[0007] Um die obigen Probleme zu lösen und die Aufgabe zu erfüllen, umfasst ein Anomaliediagnosegerät gemäß der vorliegenden Offenbarung: eine Befehlserzeugungseinheit, um einen Befehlswert zu erzeugen, der den Betrieb eines Motors oder einer Antriebsmaschine, die durch den Motor angetrieben wird, spezifiziert; und eine Antriebssteuereinheit, um an dem Motor eine Rückkopplungssteuerung (engl. feedback control) basierend auf einer Steuerverstärkung durchzuführen, so dass der Betrieb des Motors oder der Antriebsmaschine dem Befehlswert folgt. Ferner umfasst das Anomaliediagnosegerät eine Datenvermittlungseinheit/Datenswitchereinheit (engl. data switching unit) zum Vermitteln ausgewählter Zeitreihendaten durch Auswählen von Daten aus Zeitreihendaten, die einen Zustand des Motors oder der Antriebsmaschine angeben, basierend auf dem Ergebnis eines Vergleichs zwischen einer Steuerungsbandbreite, die sich aus der Steuerverstärkung bestimmt, und einem Schwellenwert, der sich aus der Antriebsmaschine bestimmt; und eine Anomaliebestimmungseinheit zum Bestimmen eines anomalen Zustands des Motors oder der Antriebsmaschine basierend auf den ausgewählten Zeitreihendaten.

Vorteilhafte Wirkungen der Erfindung

[0008] Das Anomaliediagnosegerät gemäß der vorliegenden Offenbarung hat den Effekt, dass eine hochgenaue Anomaliediagnose durchgeführt werden kann.

Kurzbeschreibung der Figuren

Fig. 1 zeigt eine Darstellung zur Veranschaulichung eines Beispiels für die Konfiguration eines Anomaliediagnosegeräts gemäß einer ersten Ausführungsform.

Fig. 2 zeigt eine Darstellung zur Veranschaulichung eines Beispiels für die Konfiguration einer Antriebssteuereinheit, die in einem Anomaliediagnosegerät gemäß der ersten Ausführungsform enthalten ist.

Fig. 3 zeigt ein Flussdiagramm, das den Ablauf einer Prozedur veranschaulicht, die von einer Datenvermittlungseinheit durchgeführt wird, die in einem Anomaliediagnosegerät gemäß der ersten Ausführungsform enthalten ist.

Fig. 4 zeigt eine Darstellung zur Erläuterung eines Verfahrens zur Berechnung einer Steuerungsbandbreite aus einer Steuerverstärkung durch ein Anomaliediagnosegerät gemäß der ersten Ausführungsform.

Fig. 5 zeigt eine Darstellung zur Veranschaulichung eines weiteren Beispiels für die Konfiguration einer Antriebssteuereinheit, die in einem Anomaliediagnosegerät gemäß der ersten Ausführungsform enthalten ist.

Fig. 6 zeigt eine Darstellung zur Veranschaulichung eines Beispiels für die Konfiguration eines Anomaliediagnosegeräts gemäß einer zweiten Ausführungsform.

Fig. 7 zeigt eine Darstellung zur Veranschaulichung eines Beispiels für eine Sollgeschwindigkeit, die von einem Anomaliediagnosegerät gemäß der zweiten Ausführungsform verwendet wird.

Fig. 8 zeigt ein Flussdiagramm, das den Ablauf einer Prozedur veranschaulicht, die von einer Datenvermittlungseinheit durchgeführt wird, die in einem Anomaliediagnosegerät gemäß der zweiten Ausführungsform enthalten ist.

Fig. 9 zeigt eine Darstellung zur Veranschaulichung eines Beispiels für die Konfiguration eines Anomaliediagnosegeräts gemäß einer dritten Ausführungsform.

Fig. 10 zeigt eine Darstellung zur Veranschaulichung eines Beispiels für die Konfiguration von Zahnrädern, die in einer Antriebsmaschine enthalten sind, an der eine Anomaliediagnose durch ein Anomaliediagnosegerät gemäß der dritten Ausführungsform durchgeführt wird.

Fig. 11 zeigt ein Flussdiagramm, das den Ablauf einer Prozedur veranschaulicht, die von einer Datenvermittlungseinheit durchgeführt wird, die in einem Anomaliediagnosegerät gemäß der dritten Ausführungsform enthalten ist.

Fig. 12 zeigt eine Darstellung zur Veranschaulichung eines Beispiels für die Konfiguration eines Wälzlagers, an dem eine Anomaliediagnose durch ein Anomaliediagnosegerät gemäß der dritten Ausführungsform durchgeführt wird.

Fig. 13 zeigt eine Darstellung zur Erläuterung des Kontaktwinkels eines in **Fig. 12** dargestellten Wälzlagers.

Fig. 14 zeigt eine Darstellung zur Veranschaulichung eines Beispiels für die Konfiguration eines Anomaliediagnosegeräts gemäß einer vierten Ausführungsform.

Fig. 15 zeigt ein Flussdiagramm, das den Ablauf einer Prozedur veranschaulicht, die von einer Datenvermittlungseinheit durchgeführt wird, die

in einem Anomaliediagnosegerät gemäß der vierten Ausführungsform enthalten ist.

Fig. 16 zeigt eine Darstellung zur Veranschaulichung eines Beispiels für eine Hardwarekonfiguration zur Implementierung des Anomaliediagnosegeräts gemäß der ersten Ausführungsform.

Beschreibung von Ausführungsformen

[0009] Nachfolgend werden ein Anomaliediagnosegerät und ein Anomaliediagnoseverfahren gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung unter Bezugnahme auf die Figuren ausführlich beschrieben.

Erste Ausführungsform

[0010] **Fig. 1** zeigt eine Darstellung zur Veranschaulichung eines Beispiels für die Konfiguration eines Anomaliediagnosegeräts gemäß einer ersten Ausführungsform. Das Anomaliediagnosegerät 1A ist ein Gerät, das Anomalien eines Motor 2 oder einer Antriebsmaschine 3 diagnostiziert. Die Antriebsmaschine 3 ist mit dem Motor 2 verbunden und arbeitet unter Verwendung des Motors 2 als Antriebsquelle (Energiequelle (engl. power source)). Der Motor 2 und die Antriebsmaschine 3 sind mit einer Zustandsüberwachungseinheit 4 verbunden. Das Anomaliediagnosegerät 1A ist mit der Zustandsüberwachungseinheit 4 und dem Motor 2 verbunden.

[0011] Das Anomaliediagnosegerät 1A umfasst eine Befehlserzeugungseinheit 11, eine Antriebssteuereinheit 12A, eine Datenvermittlungseinheit 13 und eine Anomaliebestimmungseinheit 14.

[0012] Die Befehlserzeugungseinheit 11 erzeugt einen Befehlswert, um den Motor 2 und die Antriebsmaschine 3 zu veranlassen, einen gewünschten Antriebsvorgang durchzuführen (einen Befehlswert, der einen Betrieb spezifiziert), und gibt den erzeugten Befehlswert an die Antriebssteuereinheit 12A aus. Die Antriebssteuereinheit 12A liefert einen Antriebsstrom auf Basis einer voreingestellten Steuerverstärkung D1 (wie eine später zu beschreibende Positionssteuerverstärkung oder Geschwindigkeitssteuerverstärkung) an den Motor 2, so dass der Betrieb des Motors 2 oder der Antriebsmaschine 3 dem von der Befehlserzeugungseinheit 11 eingegebenen Befehlswert folgt. Die Antriebssteuereinheit 12A führt eine Rückkopplungssteuerung an dem Motor 2 durch, die auf den von der Zustandsüberwachungseinheit 4 bezogenen Daten und dem von der Befehlserzeugungseinheit 11 eingegebenen Befehlswert basiert. Die Antriebssteuereinheit 12A gibt die Steuerverstärkung D1 an die Datenvermittlungseinheit 13 aus.

[0013] Die erste Ausführungsform beschreibt als Beispiel einen Fall, in dem die Befehlserzeugungseinheit 11 den Befehlswert eines Positionsbefehls (eines später zu beschreibenden Positionsbefehls P1) erzeugt und die Antriebssteuereinheit 12A eine tatsächliche Position (eine später zu beschreibende tatsächliche Position P11) veranlasst, dem Positions-befehl P1 zu folgen, wobei der Befehlswert jedoch nicht auf den Positionsbefehl P1 beschränkt ist. Die Befehlserzeugungseinheit 11 kann daher auch den Befehlswert eines Geschwindigkeitsbefehls (engl. speed command) erzeugen, und die Antriebssteuer-einheit 12A kann bewirken, dass eine tatsächliche Geschwindigkeit (engl. actual speed) dem Geschwindigkeitsbefehl folgt, oder es kann eine andere Verarbeitung durchgeführt werden. Der Posi-tionsbefehl P1 ist ein Befehl für die Position (z. B. die Rotationsposition oder die Bewegungsposition) des Motors 2 oder ein Befehl für die Antriebsposition der Antriebsmaschine 3. Der Geschwindigkeitsbefehl ist ein Befehl für die Geschwindigkeit (z. B. die Drehzahl oder die Fahrgeschwindigkeit) des Motors 2 oder ein Befehl für die Antriebsgeschwindigkeit der Antriebs-maschine 3.

[0014] Im Folgenden wird hauptsächlich ein Fall beschrieben, bei dem der Positionsbefehl P1 ein Positions-befehl an den Motor 2 ist, wobei der Posi-tionsbefehl P1 jedoch ein Positions-befehl an die Antriebsmaschine 3 sein kann. Im Folgenden wird hauptsächlich der Fall beschrieben, dass die tat-sächliche Position P11 die Position des Motors 2 ist, die tatsächliche Position P11 kann aber auch die Position der Antriebsmaschine 3 sein. Im Folgenden wird hauptsächlich der Fall beschrieben, dass der Geschwindigkeitsbefehl ein Geschwindigkeitsbefehl an den Motor 2 ist, der Geschwindigkeitsbefehl kann jedoch ein Geschwindigkeitsbefehl an die Antriebsmaschine 3 sein. Im Folgenden wird haupt-sächlich ein Fall beschrieben, in dem die tatsächliche Geschwindigkeit die Geschwindigkeit des Motors 2 ist, wobei die tatsächliche Geschwindigkeit auch die Geschwindigkeit der Antriebsmaschine 3 sein kann.

[0015] Der Motor 2 arbeitet gemäß dem Antriebs-strom. Der Motor 2 überträgt ein Antriebsmoment auf die Antriebsmaschine 3, um diese zu betreiben. Der Motor 2 kann ein Drehmotor oder ein Linearmotor sein, der eine translatorische Bewegung ausführt.

[0016] Mit der Antriebsmaschine 3 ist zumindest ein Motor 2 verbunden. Die Antriebsmaschine 3 umfasst beispielsweise einen XY-Tisch, der sich in einer XY-Ebene bewegt, ein mechanisches Element wie eine Kugelumlaufspindel, ein Getriebe oder einen Riemen oder eine Gruppe von Elementen, die diese kombi-niert.

[0017] Die Zustandsüberwachungseinheit 4 beobachtet den Zustand des Motors 2 und/oder der

Antriebsmaschine 3 und bezieht die Überwachungs-ergebnisse als Zeitreihendaten D2. Bei der ersten Ausführungsform sammelt die Zustandsüberwa-chungseinheit 4 Positionsdaten des Motors 2 und gibt die Zeitreihendaten D2 der Positionsdaten an die Antriebssteuereinheit 12A aus. Ein konkretes Beispiel für die Zustandsüberwachungseinheit 4 ist ein Messgeber, der an einem Servomotor ange-bracht ist. Die Zustandsüberwachungseinheit 4 ist nicht auf einen Messgeber beschränkt. Wenn bei-spielsweise ein Wegmesser (engl. linear scale) ver-wendet wird, der die Verschiebung der Antriebsma-schine 3 erfassen kann, entspricht der Wegmesser ebenfalls der Zustandsüberwachungseinheit 4.

[0018] Es wird darauf hingewiesen, dass die Zustandsüberwachungseinheit 4 die gesammelten Zeitreihendaten D2 an die Datenvermittlungseinheit 13 ausgeben kann, ohne die gesammelten Zeitrei-hendaten D2 an die Antriebssteuereinheit 12A aus-zugeben. Alternativ kann die Zustandsüberwa-chungseinheit 4 einen Teil der Zeitreihendaten D2 an die Antriebssteuereinheit 12A ausgeben und die restlichen Zeitreihendaten D2 an die Datenvermitt-lungseinheit 13 ausgeben. In diesem Fall kann die Zustandsüberwachungseinheit 4 Zeitreihendaten D2, die an die Antriebssteuereinheit 12A auszuge-bende Zeitreihendaten D2 umfassen, an die Daten-vermittlungseinheit 13 ausgeben, oder sie kann Zeit-reihendaten D2, die an die Datenvermittlungseinheit 13 auszugebende Zeitreihendaten D2 umfassen, an die Antriebssteuereinheit 12A ausgeben. Das heißt, die Zustandsüberwachungseinheit 4 kann einige oder alle der gesammelten Zeitreihendaten D2 an die Antriebssteuereinheit 12A und die Datenvermitt-lungseinheit 13 ausgeben.

[0019] Die Datenvermittlungseinheit 13 empfängt die von der Zustandsüberwachungseinheit 4 oder der Antriebssteuereinheit 12A ausgegebenen Zeit-reihendaten D2. **Fig. 1** zeigt einen Fall, in dem die Datenvermittlungseinheit 13 die Zeitreihendaten D2 von der Antriebssteuereinheit 12A empfängt.

[0020] Die Zeitreihendaten D2, die von der Daten-vermittlungseinheit 13 von der Zustandsüberwa-chungseinheit 4 oder der Antriebssteuereinheit 12A empfangen werden, sind die Zeitreihendaten D2, die von der Zustandsüberwachungseinheit 4 bezogen werden, oder verarbeitete Zeitreihendaten, die durch arithmetische Verarbeitung (Verarbeitung) der von der Zustandsüberwachungseinheit 4 bezogenen Zeitreihendaten D2 erhalten werden. Bei der ersten Ausführungsform können die Zeitreihendaten D2 demnach verarbeitete Zeitreihendaten enthalten. Die arithmetische Verarbeitung der Zeitreihendaten D2 wird von der Zustandsüberwachungseinheit 4 oder der Antriebssteuereinheit 12A durchgeführt.

[0021] Es wird darauf hingewiesen, dass die Zeitreihendaten D2 nicht auf die von der Zustandsüberwachungseinheit 4 bezogenen Daten beschränkt sind, sondern auch von der Antriebssteuereinheit 12A oder von der Befehlserzeugungseinheit 11 erzeugte Daten sein können. Die Zeitreihendaten D2 umfassen von der Zustandsüberwachungseinheit 4 erfasste Daten (erste Daten) und/oder von der Antriebssteuereinheit 12A erzeugte Daten (zweite Daten) und/oder von der Befehlserzeugungseinheit 11 erzeugten Daten (dritte Daten).

[0022] Bei den verarbeiteten Zeitreihendaten handelt es sich um Zeitreihendaten, die durch Durchführung der vier arithmetischen Grundoperationen, einer Differenzierungsoperation, einer Integrationsoperation, einer Filterung oder einer kombinierten Verarbeitung der Zeitreihendaten D2 erhalten werden. Beispielsweise entsprechen eine Positionsabweichung, ein Störmomentschätzwert, bei dem es sich um einen Schätzwert eines Störmoments am Motor 2 oder an der Antriebsmaschine 3 handelt, oder dergleichen den verarbeiteten Zeitreihendaten. Die Positionsabweichung ist die Differenz zwischen dem zu der tatsächlichen Position P11 gehörenden Positionsbefehl P1 und der tatsächlichen Position P11 und wird durch Subtraktion der tatsächlichen Position P11 von dem Positionsbefehl P1 ermittelt.

[0023] Die Resonanzfrequenz D3 (Information über die Resonanzfrequenz) der Antriebsmaschine 3 wird vorab in die Datenvermittlungseinheit 13 eingegeben. Die Datenvermittlungseinheit 13 empfängt die Resonanzfrequenz D3 der Antriebsmaschine 3 von einer Vorrichtung zur Messung der Resonanzfrequenz D3 oder dergleichen. Die Resonanzfrequenz D3 der Antriebsmaschine 3 wird gemessen, indem vorab eine Sinus-Sweep-Vibration an der Antriebsmaschine 3 vorgenommen oder indem vorab ein Stoßversuch an der Antriebsmaschine 3 durchgeführt wird. Die gemessene Resonanzfrequenz D3 wird als Eingangsdaten der Datenvermittlungseinheit 13 in das Anomaliediagnosegerät 1A eingegeben.

[0024] Die Datenvermittlungseinheit 13 berechnet einen von der Antriebsmaschine 3 bestimmten Schwellenwert, der auf der Resonanzfrequenz D3 basiert. Bei diesem Schwellenwert handelt es sich um einen Schwellenwert, der mit einer Steuerungsbandbreite (z. B. einer Geschwindigkeitssteuerungsbandbreite) verglichen wird.

[0025] Da die Resonanzfrequenz D3 von der Antriebsmaschine 3 abhängt, hängt der auf Basis der Resonanzfrequenz D3 berechnete Schwellenwert von der Antriebsmaschine 3 ab. Das heißt, der Schwellenwert ist ein von der Antriebsmaschine 3 bestimmter Wert. Die Datenvermittlungseinheit 13 vermittelt Zeitreihendaten, die an die Anomaliebestimmungseinheit 14 auszugeben sind (ausgewählte

Zeitreihendaten D5), auf Basis der bezogenen Steuerverstärkung D1, der bezogenen Zeitreihendaten D2 und dem von der Antriebsmaschine 3 bestimmten Schwellenwert.

[0026] Konkret berechnet die Datenvermittlungseinheit 13 die Steuerungsbandbreite auf Basis der Steuerverstärkung D1. Wenn die Steuerverstärkung D1 die Geschwindigkeitssteuerverstärkung ist, berechnet die Datenvermittlungseinheit 13 die Geschwindigkeitssteuerungsbandbreite auf Basis der Geschwindigkeitssteuerverstärkung.

[0027] Beispielsweise wählt die Datenvermittlungseinheit 13 die tatsächliche Position P11 als Typ der ausgewählten Zeitreihendaten D5 aus, wenn die Geschwindigkeitssteuerungsbandbreite kleiner als der Schwellenwert ist, und den tatsächlichen Strom des Motors 2 als Typ der ausgewählten Zeitreihendaten D5, wenn die Geschwindigkeitssteuerungsbandbreite größer als der Schwellenwert ist. Die tatsächliche Position P11 ist die tatsächliche Position des Motors 2 oder der Antriebsmaschine 3. Die ausgewählten Zeitreihendaten D5 sind Zeitreihendaten, die von der Datenvermittlungseinheit 13 aus den Zeitreihendaten D2 ausgewählt und ausgegeben werden. Die Datenvermittlungseinheit 13 gibt die ausgewählten Zeitreihendaten D5 an die Anomaliebestimmungseinheit 14 aus.

[0028] Die Anomaliebestimmungseinheit 14 bestimmt basierend auf den ausgewählten Zeitreihendaten D5, die von der Datenvermittlungseinheit 13 ausgegeben werden, ob der zu beurteilende Motor 2 oder die zu beurteilende Antriebsmaschine 3 normal oder anomal laufen. Die Anomaliebestimmungseinheit 14 führt die Normal- und Anomaliebestimmung zum Beispiel durch unüberwachtes Lernen durch. Unüberwachtes Lernen ist ein Verfahren, bei dem nur normale Daten (die Zeitreihendaten D2, wenn die Bestimmungsbeurteilung normal ist) als Trainingsdaten verwendet werden und die Bestimmung der Anomalie an den ausgewählten Zeitreihendaten D5 nach dem Lernen durchgeführt wird. Beispiele für unüberwachtes Lernen sind Clusteranalyse und Hauptkomponentenanalyse.

[0029] Es wird darauf hingewiesen, dass die Anomaliebestimmungseinheit 14 überwachtes Lernen, bei dem die Zeitreihendaten D2 mit korrekten, an die Trainingsdaten angehängten Labeln verwendet werden, oder Verstärkungslernen für das Erlernen von Aktionen zur Maximierung einer dem Zweck entsprechend festgelegten Belohnung oder andere Methoden verwenden kann.

[0030] Die Anomaliebestimmungseinheit 14 gibt das Ziel der Bestimmung, ein Element der Bestimmung und ein Bestimmungsergebnis an eine externe Vor-

richtung, wie z. B. eine Anzeigevorrichtung 5, aus. Das von der Anomaliebestimmungseinheit 14 ausgegebene Bestimmungsziel ist der Motor 2 oder die Antriebsmaschine 3. Das von der Anomaliebestimmungseinheit 14 ausgegebene Bestimmungselement ist die Positionsabweichung, der Störmoment-schätzwert oder dergleichen. Das von der Anomaliebestimmungseinheit 14 ausgegebene Bestimmungsergebnis ist eine Anomalie oder Normalzustand. Die Anzeigevorrichtung 5 zeigt das Ziel der Bestimmung, das Element der Bestimmung und das Bestimmungsergebnis an.

[0031] Fig. 2 zeigt eine Darstellung zur Veranschaulichung eines Beispiels für die Konfiguration einer Antriebssteuereinheit, die in einem Anomaliediagnosegerät gemäß der ersten Ausführungsform enthalten ist. Die Antriebssteuereinheit 12A umfasst einen Subtrahierer 21, eine Positionssteuereinheit 121, einen Subtrahierer 22, eine Geschwindigkeitssteuereinheit 122, einen Subtrahierer 23, eine Stromsteuereinheit 123 und eine Geschwindigkeitswandlereinheit 124.

[0032] Die Zustandsüberwachungseinheit 4 bezieht die tatsächliche Position P11 und den tatsächlichen Strom P10 in Form von Zeitreihendaten D2 und gibt die tatsächliche Position P11 und den tatsächlichen Strom P10 an die Antriebssteuereinheit 12A aus. Die tatsächliche Position P11 und der tatsächliche Strom P10 werden über die Antriebssteuereinheit 12A auch an die Datenvermittlungseinheit 13 gesendet. Die tatsächliche Position P11 ist eine am Motor 2 erfasste tatsächliche Position, und der tatsächliche Strom P10 ist ein am Motor 2 erfasster tatsächlicher Strom.

[0033] Der Subtrahierer 21 erhält den von der Befehlserzeugungseinheit 11 ausgegebenen Positionsbefehl P1 und die von der Zustandsüberwachungseinheit 4 ausgegebene tatsächliche Position P11. Die tatsächliche Position P11 ist die tatsächliche Position (z. B. die Rotationsposition oder Verfahrsposition) des Motors 2 oder die tatsächliche Antriebsposition der Antriebsmaschine 3. Der Subtrahierer 21 berechnet eine Positionsabweichung P2, indem er die tatsächliche Position P11 von dem Positionsbefehl P1 subtrahiert, und gibt die berechnete Positionsabweichung P2 an die Positionssteuereinheit 121 aus.

[0034] Die Positionssteuereinheit 121 berechnet einen Geschwindigkeitsbefehl P3 zum Beispiel durch Proportional-Integral-Differential (PID)-Regelung basierend auf der Positionsabweichung P2 und gibt den Geschwindigkeitsbefehl P3 aus. Der Geschwindigkeitsbefehl P3 ist ein Geschwindigkeitsbefehl (z. B. Drehgeschwindigkeit oder Bewegungsgeschwindigkeit) an den Motor 2 oder ein Geschwindigkeitsbefehl (z. B. Antriebsgeschwindigkeit) an die Antriebsmaschine 3. Die PID-Regelung weist die

Steuerverstärkung D1 auf. Bei der ersten Ausführungsform wird die Steuerverstärkung D1 der Positionssteuereinheit 121 als Positionssteuerverstärkung bezeichnet. Die Positionssteuereinheit 121 gibt den Geschwindigkeitsbefehl P3 an den Subtrahierer 22 aus.

[0035] Die Geschwindigkeitswandlereinheit 124 berechnet die tatsächliche Geschwindigkeit P8, indem sie beispielsweise die von der Zustandsüberwachungseinheit 4 ausgegebene tatsächliche Position P11 zeitlich differenziert. Die Geschwindigkeitswandlereinheit 124 gibt die tatsächliche Geschwindigkeit P8 an den Subtrahierer 22 aus. Die tatsächliche Geschwindigkeit P8 ist die tatsächliche Geschwindigkeit (z. B. Drehgeschwindigkeit oder Bewegungsgeschwindigkeit) des Motors 2 oder die tatsächliche Antriebsgeschwindigkeit der Antriebsmaschine 3.

[0036] Der Subtrahierer 22 empfängt den von der Positionssteuereinheit 121 ausgegebenen Geschwindigkeitsbefehl P3 und die von der Geschwindigkeitswandlereinheit 124 ausgegebene tatsächliche Geschwindigkeit P8. Der Subtrahierer 22 subtrahiert die tatsächliche Geschwindigkeit P8 von dem Geschwindigkeitsbefehl P3, um die Geschwindigkeitsabweichung P4 zu berechnen, bei der es sich um die Differenz zwischen dem Geschwindigkeitsbefehl P3 und der tatsächlichen Geschwindigkeit P8 handelt. Der Subtrahierer 22 gibt die berechnete Geschwindigkeitsabweichung P4 an die Geschwindigkeitssteuereinheit 122 aus.

[0037] Die Geschwindigkeitssteuereinheit 122 berechnet einen Strombefehl P5, z. B. durch PID-Regelung auf Basis der Geschwindigkeitsabweichung P4, und gibt den Strombefehl P5 aus. Der Strombefehl P5 ist ein Strombefehl für den Betrieb des Motors 2. Wie oben beschrieben wurde, weist die PID-Regelung die Steuerverstärkung D1 auf. Bei der ersten Ausführungsform wird die Steuerverstärkung D1 der Geschwindigkeitssteuereinheit 122 als Geschwindigkeitssteuerverstärkung P9 bezeichnet. Die Geschwindigkeitssteuerverstärkung P9 ist ein Beispiel für die oben beschriebene Steuerverstärkung D1. Die erste Ausführungsform beschreibt hauptsächlich einen Fall, in dem die Steuerverstärkung D1 die Geschwindigkeitssteuerverstärkung P9 ist. Die Geschwindigkeitssteuereinheit 122 gibt den Strombefehl P5 an den Subtrahierer 23 aus. Die Geschwindigkeitssteuereinheit 122 gibt die Geschwindigkeitssteuerverstärkung P9 an die Datenvermittlungseinheit 13 aus.

[0038] Der Subtrahierer 23 erhält den von der Geschwindigkeitssteuereinheit 122 ausgegebenen Strombefehl P5 und den von der Zustandsüberwachungseinheit 4 ausgegebenen tatsächlichen Strom P10. Der tatsächliche Strom P10 ist der tatsächliche

Stromwert beim Betrieb des Motors 2. Der Subtrahierer 23 subtrahiert den tatsächlichen Strom P10 von dem Strombefehl P5, um die Stromabweichung P6 zu berechnen, bei der es sich um die Differenz zwischen dem Strombefehl P5 und dem tatsächlichen Strom P10 handelt. Der Subtrahierer 23 gibt die berechnete Stromabweichung P6 an die Stromsteuereinheit 123 aus.

[0039] Die Stromsteuereinheit 123 berechnet den Antriebsstrom P7 durch Leistungskonvertierung auf Basis der Stromabweichung P6 und gibt den Antriebsstrom P7 aus, wodurch der Motor 2 mit Strom versorgt wird. Bei der Beschreibung der Steuerung der Positionssteuereinheit 121 und der Geschwindigkeitssteuereinheit 122 wird hier die PID-Regelung als Beispiel angeführt, die Steuerung ist jedoch nicht auf die PID-Regelung beschränkt. Die Positionssteuereinheit 121 und/oder die Geschwindigkeitssteuereinheit 122 können eine Steuerung unter Verwendung einer PI-Regelung, P-Regelung oder Vorwärtskompensation (engl. feed-forward compensation) in Kombination durchführen.

[0040] Es wird nun der Betrieb der Datenvermittlungseinheit 13 im Detail beschrieben. **Fig. 3** zeigt ein Flussdiagramm, das den Ablauf einer Prozedur veranschaulicht, die von der Datenvermittlungseinheit durchgeführt wird, die in einem Anomaliediagnosegerät gemäß der ersten Ausführungsform enthalten ist.

[0041] Die Datenvermittlungseinheit 13 bezieht die Geschwindigkeitssteuerverstärkung P9, die in der Antriebssteuereinheit 12A, die eine Antriebseinrichtung ist, festgelegt ist, von der Antriebssteuereinheit 12A (Schritt S1). Die Datenvermittlungseinheit 13 berechnet die Geschwindigkeitssteuerungsbandbreite auf Basis der Geschwindigkeitssteuerverstärkung P9 (Schritt S2).

[0042] Es wird nun ein Beispiel für die Berechnung der Steuerungsbandbreite ausgehend von der Steuerverstärkung D1 beschrieben. Hier wird ein Verarbeitungsbeispiel für eine Prozedur zur Berechnung der Geschwindigkeitssteuerungsbandbreite, die ein Beispiel für die Steuerungsbandbreite ist, aus der Geschwindigkeitssteuerverstärkung P9, die ein Beispiel für die Steuerverstärkung D1 ist, beschrieben.

[0043] **Fig. 4** zeigt eine Darstellung zur Erläuterung eines von einem Anomaliediagnosegerät gemäß der ersten Ausführungsform durchgeführten Verfahrens zur Berechnung der Steuerungsbandbreite aus der Steuerverstärkung. **Fig. 4** zeigt ein Blockschaltbild, das sich auf die Übertragungseigenschaften des Motors 2, der Antriebsmaschine 3, der Zustandsüberwachungseinheit 4 und der Antriebssteuereinheit 12A konzentriert. **Fig. 4** veranschaulicht einen

Fall, bei dem die Antriebssteuereinheit 12A eine proportionale Steuerung durchführt.

[0044] In **Fig. 4** werden der Motor 2 und die Antriebsmaschine 3 als starre Körper betrachtet, wobei J die Summe aus der Trägheit des Motors 2 und der Trägheit der Antriebsmaschine 3 bedeutet. s ist der Laplace-Operator. K_{vp} ist die Geschwindigkeitssteuerungsverstärkung (engl. speed control gain) und K_t ist eine Konstante für die Umwandlung von Strom in (Dreh-)Moment (engl. torque).

[0045] In **Fig. 4** wird die Steuerungsbandbreite der Stromsteuereinheit 123 als wesentlich höher als die Steuerungsbandbreite der Geschwindigkeitssteuereinheit 122 und als direkt und Strombefehl P5 = tatsächlicher Strom P10 angenommen. **Fig. 4** illustriert demnach einen Fall, in dem der von der Befehlserzeugungseinheit 11 ausgegebene Geschwindigkeitsbefehl P3 in die Geschwindigkeitssteuereinheit 122 eingegeben wird, der von der Geschwindigkeitssteuereinheit 122 ausgegebene Strombefehl P5 (der tatsächliche Strom P10) in den Motor 2 eingegeben wird und die Stromsteuereinheit 123 weggelassen wird.

[0046] Der Geschwindigkeitsbefehl P3 von der Befehlserzeugungseinheit 11 und die am Motor 2 erfasste tatsächliche Geschwindigkeit P8x werden in den Subtrahierer 24 eingegeben. Der Subtrahierer 24 berechnet die Geschwindigkeitsabweichung P4, indem er die tatsächliche Geschwindigkeit P8x von dem Geschwindigkeitsbefehl P3 subtrahiert, und gibt die berechnete Geschwindigkeitsabweichung P4 an die Geschwindigkeitssteuereinheit 122 aus.

[0047] Die Geschwindigkeitsabweichung P4 wird durch K_{vp} in der Geschwindigkeitssteuereinheit 122 zum Drehmomentbefehl P12. Der Drehmomentbefehl P12 wird unter der Wirkung von $1/K_t$ in der Geschwindigkeitssteuereinheit 122 zum Strombefehl P5. Der Strombefehl P5 wird unter der Wirkung von K_t im Motor 2 zum tatsächlichen Drehmoment P13. Das tatsächliche Drehmoment P13 wird durch $1/Js$ im Motor 2 zur tatsächlichen Geschwindigkeit P8x. Die tatsächliche Geschwindigkeit P8x wird an die Geschwindigkeitssteuereinheit 122 gesendet. Die Geschwindigkeitssteuereinheit 122 führt eine Steuerung anhand der tatsächlichen Geschwindigkeit P8x durch, wodurch ein Regelkreis realisiert wird. In diesem Fall wird eine Regelkreis-Übertragungsfunktion $G(s)$ vom Geschwindigkeitsbefehl P3 zur tatsächlichen Geschwindigkeit P8x durch die nachstehende Gleichung (1) ausgedrückt, wobei es sich um eine lag-Übertragungsfunktion erster Ordnung handelt. Gleichung 1:

$$G(s) = \frac{\frac{K_{vp}}{J}}{s + \frac{K_{vp}}{J}} \quad (1)$$

[0048] Daher weist die Übertragungsfunktion vom Geschwindigkeitsbefehl P3 zur tatsächlichen Geschwindigkeit P8x eine lag-Charakteristik erster Ordnung auf, die durch eine in der nachstehenden Gleichung (2) dargestellte Frequenz ω_{sc} bestimmt wird, wobei sie die Eigenschaft hat, eine Frequenz von ungefähr ω_{sc} oder niedriger durchzulassen, aber Frequenzen blockiert, die höher als ω_{sc} sind. Gleichung 2:

$$\omega_{sc} = \frac{K_{vp}}{J} \quad (2)$$

[0049] ω_{sc} ist die Geschwindigkeitssteuerungsbandbreite und kann aus der Geschwindigkeitssteuerverstärkung K_{vp} nach den obigen Gleichungen (1) und (2) berechnet werden. Auch wenn in **Fig. 4** der Fall der Durchführung einer proportionalen Steuerung als Beispiel beschrieben wurde, kann die Geschwindigkeitssteuerungsbandbreite auch bei einer PI- oder PID-Steuerung berechnet werden, wenn die Proportionalverstärkung als K_{vp} betrachtet wird.

[0050] Als Nächstes bezieht die Datenvermittlungseinheit 13 die Resonanzfrequenz D3 der Antriebsmaschine 3 (Schritt S3). Die Datenvermittlungseinheit 13 speichert die vorab gemessene Resonanzfrequenz D3 und bezieht die Resonanzfrequenz D3 durch Lesen der gespeicherten Resonanzfrequenz D3. Die Resonanzfrequenz D3 kann außerhalb der Datenvermittlungseinheit 13 gespeichert werden.

[0051] Als Nächstes berechnet die Datenvermittlungseinheit 13 den Schwellenwert auf Basis der Resonanzfrequenz D3 der Antriebsmaschine 3 (Schritt S4). Beispielsweise legt die Datenvermittlungseinheit 13 den Schwellenwert = Resonanzfrequenz D3 oder den Schwellenwert = Resonanzfrequenz D3×c fest. Dabei liegt c z. B. im Bereich von etwa $0,5 \leq c \leq 2$.

[0052] Als Nächstes vergleicht die Datenvermittlungseinheit 13 die Geschwindigkeitssteuerungsbandbreite mit dem Schwellenwert und bestimmt, ob die Geschwindigkeitssteuerungsbandbreite unter dem Schwellenwert liegt oder nicht (Schritt S5). Die Datenvermittlungseinheit 13 stellt demnach fest, ob die Geschwindigkeitssteuerungsbandbreite niedriger als der Schwellenwert ist oder nicht.

[0053] Wenn festgestellt wird, dass die Geschwindigkeitssteuerungsbandbreite niedriger als der

Schwellenwert ist (Schritt S5, Ja), wählt die Datenvermittlungseinheit 13 die tatsächliche Position P11 als Datentyp aus (Schritt S6) und gibt die tatsächliche Position P11 an die Anomaliebestimmungseinheit 14 aus. Das heißt, die Datenvermittlungseinheit 13 wählt die tatsächliche Position P11 aus den Zeitreihendaten D2 aus und gibt die ausgewählte tatsächliche Position P11 an die Anomaliebestimmungseinheit 14 als ausgewählte Zeitreihendaten D5 aus.

[0054] Wenn die Datenvermittlungseinheit 13 andererseits feststellt, dass die Geschwindigkeitssteuerungsbandbreite höher als der Schwellenwert ist (Schritt S5, Nein), wählt sie den tatsächlichen Strom P10 als Datentyp aus (Schritt S7) und gibt den tatsächlichen Strom P10 an die Anomaliebestimmungseinheit 14 aus. Das heißt, die Datenvermittlungseinheit 13 wählt den tatsächlichen Strom P10 aus den Zeitreihendaten D2 aus und gibt den ausgewählten tatsächlichen Strom P10 an die Anomaliebestimmungseinheit 14 als ausgewählte Zeitreihendaten D5 aus.

[0055] Hier wurde ein Beispiel beschrieben, bei dem es sich bei den ausgewählten Daten um den tatsächlichen Strom P10 oder die tatsächliche Position P11 handelt. Der tatsächliche Strom P10 kann jedoch durch den Strombefehl P5 für den Antrieb des Motors 2, den Drehmomentbefehl P12 für den Antrieb des Motors 2 oder der Antriebsmaschine 3, das vom Motor 2 oder der Antriebsmaschine 3 erfasste tatsächliche Drehmoment P13, den Störmoment-schätzwert, der ein Schätzwert eines Störmoments am Motor 2 oder der Antriebsmaschine 3 ist, die Stromabweichung P6 oder eine Drehmomentabweichung (Differenz zwischen dem Drehmomentbefehl P12 für den Motor 2 und dem tatsächlichen Drehmoment P13) ersetzt werden. Die tatsächliche Position P11 kann durch den Geschwindigkeitsbefehl P3 an den Motor 2 oder die Antriebsmaschine 3, die tatsächliche Geschwindigkeit P8 des Motors 2 oder der Antriebsmaschine 3, die Beschleunigung des Motors 2 oder der Antriebsmaschine 3, die Positionsabweichung P2 des Motors 2 oder der Antriebsmaschine 3 oder die Geschwindigkeitsabweichung P4 des Motors 2 oder der Antriebsmaschine 3 ersetzt werden. Zu den Beschleunigungsdaten des Motors 2 oder der Antriebsmaschine 3 gehören auch Vibrationsinformationen.

[0056] Wenn die Geschwindigkeitssteuerungsbandbreite höher als der Schwellenwert ist, wählt die Datenvermittlungseinheit 13 somit die ausgewählten Zeitreihendaten D5 zur Ausgabe an die Anomaliebestimmungseinheit 14 aus einer ersten Datengruppe der Zeitreihendaten D2 aus. Andererseits wählt die Datenvermittlungseinheit 13 die ausgewählten Zeitreihendaten D5 aus einer zweiten Datengruppe der Zeitreihendaten D2 aus, um sie an

die Anomaliebestimmungseinheit 14 auszugeben, wenn die Geschwindigkeitssteuerungsbandbreite niedriger als der Schwellenwert ist.

[0057] Die erste Datengruppe umfasst den tatsächlichen Strom P10, den Strombefehl P5, den Drehmomentbefehl P12, das tatsächliche Drehmoment P13, den Störmomentschätzwert, die Stromabweichung P6 oder die Drehmomentabweichung. Die zweite Datengruppe umfasst die tatsächliche Position P11, den Geschwindigkeitsbefehl P3, die tatsächliche Geschwindigkeit P8, die Beschleunigung, die Positionsabweichung P2 oder die Geschwindigkeitsabweichung P4.

[0058] Wenn die Geschwindigkeitssteuerungsbandbreite höher als der Schwellenwert ist, kann die Datenvermittlungseinheit 13 ein Datenelement oder mehrere einzelne Daten aus der ersten Datengruppe auswählen. Wenn die Geschwindigkeitssteuerungsbandbreite niedriger als der Schwellenwert ist, kann die Datenvermittlungseinheit 13 ein Datenelement oder mehrere einzelne Daten aus der zweiten Datengruppe auswählen.

[0059] Es wird nun die Konfiguration einer Antriebssteuereinheit bei der Berechnung eines Schätzwerts für ein Störmoment beschrieben. **Fig. 5** zeigt eine Darstellung zur Veranschaulichung eines weiteren Beispiels für die Konfiguration einer Antriebssteuereinheit, die in einem Anomaliediagnosegerät gemäß der ersten Ausführungsform enthalten ist. **Fig. 5** zeigt die Konfiguration einer Antriebssteuereinheit 12B, die einen Störmomentschätzwert P14 schätzt. Die Antriebssteuereinheit 12B enthält zusätzlich zu den Komponenten der Antriebssteuereinheit 12A einen Störungsbeobachter 125. Der Störungsbeobachter 125 ist mit der Geschwindigkeitswandlereinheit 124 und der Geschwindigkeitssteuereinheit 122 verbunden.

[0060] In der Antriebssteuereinheit 12B berechnet die Geschwindigkeitssteuereinheit 122 den Drehmomentbefehl P12, der dem Strombefehl P5 entspricht. Konkret berechnet die Geschwindigkeitssteuereinheit 122 den Drehmomentbefehl P12 durch Multiplikation des Strombefehls P5 mit der Drehmomentkonstante (der Umrechnungskonstante K_t) des Motors 2. Die Geschwindigkeitssteuereinheit 122 gibt den berechneten Drehmomentbefehl P12 an den Störungsbeobachter 125 aus. Die Geschwindigkeitswandlereinheit 124 gibt die berechnete tatsächliche Geschwindigkeit P8 an den Subtrahierer 22 und den Störungsbeobachter 125 aus.

[0061] Der Störungsbeobachter 125 berechnet den Störmomentschätzwert P14 auf Basis des Drehmomentbefehls P12 und der tatsächlichen Geschwindigkeit P8. Konkret berechnet der Störungsbeobachter 125 den Störmomentschätzwert P14, indem er vom

Drehmomentbefehl P12 Daten subtrahiert, die durch Multiplikation von durch Differenzieren der tatsächlichen Geschwindigkeit P8 erhaltenen Daten mit dem Gesamtwert der Trägheit des Motors 2 und der Trägheit der Antriebsmaschine 3 erhalten werden. Der Störungsbeobachter 125 gibt den berechneten Störmomentschätzwert P14 an die Datenvermittlungseinheit 13 aus.

[0062] Wie oben beschrieben wurde, wählt das Anomaliediagnosegerät 1A für den Motor 2 oder die Antriebsmaschine 3 basierend auf der Beziehung zwischen einem physikalischen Merkmal (der Resonanzfrequenz D3) der Antriebsmaschine 3 oder des Motors 2 und der Steuerungsbandbreite Daten aus, in denen Anomalien wahrscheinlich auftreten (die ausgewählten Zeitreihendaten D5), und führt eine Anomaliediagnose für den Motor 2 oder die Antriebsmaschine 3 auf Basis der ausgewählten Daten durch. Folglich kann das Anomaliediagnosegerät 1A einen Anstieg der Rechenlast reduzieren oder vermeiden und eine Abnahme der Genauigkeit der Anomaliediagnose reduzieren oder verhindern, da keine redundanten Daten (Daten mit geringer Relevanz für Anomalien) verwendet werden. Darüber hinaus erfordert das Anomaliediagnosegerät 1A kein Fachwissen und keine Zeit zur Auswahl von Daten, wenn eine Anomaliediagnose am Motor 2 oder der Antriebsmaschine 3 durchgeführt wird. Somit kann das Anomaliediagnosegerät 1A eine Anomaliediagnose des Motors 2 oder der Antriebsmaschine 3 in einfacher Weise und mit hoher Genauigkeit durchführen.

[0063] Es wird nun der Grund, warum das Anomaliediagnosegerät 1A eine Anomaliediagnose des Motors 2 oder der Antriebsmaschine 3 in einfacher Weise und mit hoher Genauigkeit durchführen kann, ausführlich beschrieben. Wenn eine Anomalie in der Antriebsmaschine 3 auftritt, wirkt sich die Anomalie auf den Motor 2 als Störung aus, die sich in dem tatsächlichen Strom P10 und/oder der tatsächlichen Position P11 zeigt, die von der Zustandsüberwachungseinheit 4 ausgegeben werden. Das heißt, wenn eine Anomalie in der Antriebsmaschine 3 auftritt, zeigt zumindest einer der beiden von der Zustandsüberwachungseinheit 4 ausgegebenen Werte für den tatsächlichen Strom P10 und die tatsächliche Position P11 einen anomalen Zahlenwert. Wenn eine Anomalie in der Antriebsmaschine 3 auftritt, treten beispielsweise Mikrovibrationen mit der Resonanzfrequenz D3 der Antriebsmaschine 3 oder einer Frequenz nahe der Resonanzfrequenz D3 auf, die sich als Störung auf den Motor 2 auswirken.

[0064] Wenn die Antriebssteuereinheit 12A den Motor 2 in einer Rückkopplungsschleife steuert, hängt es von der aus der Steuerverstärkung D1 ermittelten Steuerungsbandbreite ab, ob eine Störung einer bestimmten Frequenz leicht unterdrückt

wird oder nicht. Je größer beispielsweise die Steuerungsbandbreite ist, desto größer ist der Bereich der Frequenzen, die in der Antriebssteuereinheit 12A unterdrückt werden können.

[0065] Wenn beispielsweise die Frequenz einer Störung niedriger ist als die Geschwindigkeitssteuerungsbandbreite, ist es unwahrscheinlich, dass sich die Störung in der tatsächlichen Position P11 auswirkt, bei der es sich um eine Regelgröße handelt. Dies bedeutet jedoch nicht, dass der Effekt in der tatsächlichen Position P11 überhaupt nicht auftritt, wobei eine durch die Störvibration verursachte Frequenz gleichwohl geringfügig auftritt. Wenn die Steuerungsbandbreite größer ist als die Frequenz der Störvibration, nimmt auch die der Steuerungsbandbreite entsprechende Steuerverstärkung D1 zu.

[0066] Bei der Erstellung einer Rückkopplungsschleife multipliziert die Antriebssteuereinheit 12A die Abweichung zwischen Befehlsdaten wie dem Positionsbefehl P1 oder dem Geschwindigkeitsbefehl P3 und einer Regelgröße wie der tatsächlichen Position P11 oder der tatsächlichen Geschwindigkeit P8 mit der Steuerverstärkung D1, um eine Stellgröße zu berechnen. Bei dem Anomaliediagnosegerät 1A werden, wenn die Steuerverstärkung D1 groß ist, die tatsächliche Position P11 oder die tatsächliche Geschwindigkeit P8, die eine kleine Frequenzkomponente der Störung enthalten, größer, so dass die Frequenz der Störung im Strombefehl P5, der die Stellgröße ist, wahrscheinlich erscheint.

[0067] Wenn andererseits die Frequenz einer Störung höher ist als die Geschwindigkeitssteuerungsbandbreite, kann die Antriebssteuereinheit 12A die Wirkung der Störung nicht vollständig beseitigen, selbst wenn eine Rückkopplungsschleife erstellt wird, und die Störung wird sich wahrscheinlich in der Regelgröße auswirken. Folglich ist es wahrscheinlich, dass die Frequenz der Störung in der tatsächlichen Position P11, die die Regelgröße ist, auftritt.

[0068] Der Drehmomentbefehl P12, der eine Stellgröße darstellt, gleicht eine Störung durch eine Rückkopplungsschleife nur in geringem Maße aus. Somit hat der Drehmomentbefehl P12 die Eigenschaft, dass die Frequenz einer Störung wahrscheinlich nicht auftreten wird.

[0069] Somit vergleicht das Anomaliediagnosegerät 1A der ersten Ausführungsform die aus der Steuerverstärkung D1 ermittelte Steuerungsbandbreite mit dem Schwellenwert, der auf Basis der von der Antriebsmaschine 3 bestimmten Resonanzfrequenz D3 berechnet wird, und wählt auf Basis des Vergleichsergebnisses automatisch Daten aus, die die Anregung der Frequenz einer mit einer Anomalie verbundenen Störung (die ausgewählten Zeitreihenda-

ten D5) begünstigen. Dann bestimmt die Anomaliebestimmungseinheit 14 des Anomaliediagnosegeräts 1A eine Anomalie in der Antriebsmaschine 3 oder dem Motor 2 auf Basis der ausgewählten Zeitreihendaten D5, und kann somit eine Anomalie präzise feststellen.

[0070] Anstelle des tatsächlichen Stroms P10 kann die Datenvermittlungseinheit 13 den Strombefehl P5, den Drehmomentbefehl P12, der in einem proportionalen Verhältnis zum Strombefehl P5 steht, das tatsächliche Drehmoment P13, die durch Subtraktion des tatsächlichen Stroms P10 vom Strombefehl P5 erhaltene Stromabweichung P6, die durch Subtraktion des tatsächlichen Drehmoments P13 vom Drehmomentbefehl P12 erhaltene Drehmomentabweichung oder den Störmomentschätzwert P14 auswählen. In diesem Fall wird die Frequenzkomponente der Resonanzfrequenz D3, die dem tatsächlichen Strom P10 überlagert ist, auch verschiedenen Arten von verarbeiteten Daten überlagert, die aus dem tatsächlichen Strom P10 oder aus Daten, die anstelle des tatsächlichen Stroms P10 ausgewählt werden, berechnet werden, so dass das Anomaliediagnosegerät 1A Effekte erzielen kann, die den Effekten bei einer Auswahl des tatsächlichen Stroms P10 entsprechen.

[0071] Anstelle der tatsächlichen Position P11 kann die Datenvermittlungseinheit 13 die durch Differenzieren der tatsächlichen Position P11 erhaltene tatsächliche Geschwindigkeit P8 oder die durch zweifaches Differenzieren der tatsächlichen Position P11 erhaltene Beschleunigung, die durch Subtraktion der tatsächlichen Position P11 vom Positionsbefehl P1 erhaltene Positionsabweichung P2 oder die durch Subtraktion der tatsächlichen Geschwindigkeit P8 vom Geschwindigkeitsbefehl P3 erhaltene Geschwindigkeitsabweichung P4 auswählen. In diesem Fall wird die Frequenzkomponente der Resonanzfrequenz D3, die der tatsächlichen Position P11 überlagert ist, auch verschiedenen Arten von verarbeiteten Daten überlagert, die aus der tatsächlichen Position P11 berechnet werden, oder Daten, die anstelle der tatsächlichen Position P11 ausgewählt werden, so dass das Anomaliediagnosegerät 1A Effekte erzielen kann, die den Effekten bei einer Auswahl der tatsächlichen Position P11 entsprechen.

[0072] Obwohl bei der ersten Ausführungsform der Fall beschrieben wurde, dass der von der Antriebsmaschine 3 bestimmte Schwellenwert die Resonanzfrequenz D3 ist, ist der Schwellenwert nicht auf die Resonanzfrequenz D3 beschränkt. Beispielsweise kann die von der Antriebsmaschine 3 bestimmte Resonanzfrequenz D3 in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen variieren, und der Schwellenwert kann in Abhängigkeit von der Einstellung der Steuerverstärkung D1 leicht von der Resonanzfre-

quenz D3 abweichen. Daher kann bei dem Anomaliediagnosegerät 1A, wie oben beschrieben, ein Wert, der durch Multiplikation der Resonanzfrequenz D3 der Antriebsmaschine 3 mit einer bestimmten Konstante c (z. B. etwa $0,5 \leq c \leq 2$) erhalten wird, als der von der Antriebsmaschine 3 bestimmte Schwellenwert festgelegt werden.

[0073] Es wird darauf hingewiesen, dass die Steuerungsbandbreite nicht auf die Geschwindigkeitssteuerungsbandbreite beschränkt ist und eine Positionssteuerungsbandbreite oder eine Stromsteuerungsbandbreite (Drehmomentsteuerungsbandbreite) sein kann. Wenn die Steuerungsbandbreite die Positionssteuerungsbandbreite oder die Stromsteuerungsbandbreite (Drehmomentsteuerungsbandbreite) ist, berechnet die Datenvermittlungseinheit 13 den Schwellenwert auf Basis der Resonanzfrequenz D3.

[0074] Wie oben beschrieben wurde, vermittelt das Anomaliediagnosegerät 1A bei der ersten Ausführungsform die ausgewählten Zeitreihendaten D5, die aus den Zeitreihendaten D2, die den Zustand des Motors 2 oder der Antriebsmaschine 3 angeben, auszuwählen und auszugeben sind, basierend auf dem Ergebnis eines Vergleichs zwischen der aus der Steuerverstärkung D1 bestimmten Steuerungsbandbreite und dem aus der Antriebsmaschine 3 bestimmten Schwellenwert. Dann bestimmt das Anomaliediagnosegerät 1A einen anomalen Zustand des Motors 2 oder der Antriebsmaschine 3 auf Basis der ausgewählten Zeitreihendaten D5. Somit kann das Anomaliediagnosegerät 1A gesammelte Daten auswählen und die Daten analysieren und folglich einen anomalen Zustand mit einer kleinen Datenmenge bestimmen, die keine redundanten Daten mit geringer Relevanz für Anomalien enthält. Daher kann das Anomaliediagnosegerät 1A eine hochgenaue Anomaliediagnose durchführen. Darüber hinaus kann das Anomaliediagnosegerät 1A eine Anomaliediagnose in kurzer Zeit durchführen.

Zweite Ausführungsform

[0075] Als Nächstes wird eine zweite Ausführungsform unter Bezugnahme auf die **Fig. 6** bis **8** beschrieben. Bei der zweiten Ausführungsform werden aus den ausgewählten Zeitreihendaten D5, denen wahrscheinlich eine mit einer Anomalie verbundene Störung überlagert ist, Daten, bei denen sich der Betriebszustand des Motors 2 oder der Antriebsmaschine 3 in einer Beschleunigungs- oder Verzögerungsphase befindet, als Daten ausgewählt, die zur Bestimmung einer Anomalie und Durchführung einer Anomaliediagnose vorteilhafter sind.

[0076] **Fig. 6** zeigt eine Darstellung zur Veranschaulichung eines Beispiels für die Konfiguration eines Anomaliediagnosegeräts gemäß der zweiten Aus-

führungsform. Von den Komponenten in **Fig. 6** sind Komponenten, die die gleichen Funktionen wie die Komponenten des in **Fig. 1** dargestellten Anomaliediagnosegeräts 1A der ersten Ausführungsform erfüllen, ohne doppelte Beschreibung mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

[0077] Ein Anomaliediagnosegerät 1B der zweiten Ausführungsform weist zusätzlich zu den in dem Anomaliediagnosegerät 1A enthaltenen Komponenten eine Betriebsbestimmungseinheit 15 auf. Die Betriebsbestimmungseinheit 15 ist mit der Befehlserzeugungseinheit 11 und der Datenvermittlungseinheit 13 verbunden.

[0078] Die Betriebsbestimmungseinheit 15 empfängt beispielsweise einen von der Befehlserzeugungseinheit 11 erzeugten und ausgegebenen Befehlswert. Die Betriebsbestimmungseinheit 15 bestimmt den Betriebszustand des Motors 2 oder der Antriebsmaschine 3 beispielsweise auf Basis des von der Befehlserzeugungseinheit 11 erzeugten Befehlswerts. Wenn die Befehlserzeugungseinheit 11 konkret den Positionsbefehl P1 erzeugt, berechnet die Betriebsbestimmungseinheit 15 eine Sollgeschwindigkeit P21 durch Differenzieren des Positionsbefehls P1 und bestimmt den Betriebszustand des Motors 2 oder der Antriebsmaschine 3 basierend auf der berechneten Sollgeschwindigkeit P21. Die Betriebsbestimmungseinheit 15 gibt Betriebsinformationen P22, die den Betriebszustand angeben, an die Datenvermittlungseinheit 13 aus.

[0079] Es wird nun ein Beispiel für die Sollgeschwindigkeit P21 beschrieben. **Fig. 7** zeigt eine Darstellung zur Veranschaulichung eines Beispiels für eine Sollgeschwindigkeit, die von einem Anomaliediagnosegerät gemäß der zweiten Ausführungsform verwendet wird. Die horizontale Achse der in **Fig. 7** gezeigten Darstellung gibt die Zeit an, die vertikale Achse gibt die Sollgeschwindigkeit P21 an.

[0080] Wie in **Fig. 7** dargestellt ist, wird die Sollgeschwindigkeit P21 in eine Beschleunigungsphase, in der der Absolutwert der Geschwindigkeit (Betriebsgeschwindigkeit) ansteigt, eine Phase mit konstanter Geschwindigkeit, in der der Absolutwert der Geschwindigkeit ein konstanter Wert größer als 0 (UpM) ist, eine Verzögerungsphase, in der der Absolutwert der Geschwindigkeit abnimmt, und eine Stoppphase unterteilt, in der die Sollgeschwindigkeit P21 konstant bei 0 (UpM) liegt. Die Betriebsbestimmungseinheit 15 bestimmt, welcher Phase die Sollgeschwindigkeit P21 zu einem bestimmten Zeitpunkt entspricht, und gibt die Betriebsinformationen P22, bei denen es sich um ein Bestimmungsergebnis handelt, an die Datenvermittlungseinheit 13 aus. Die Betriebsbestimmungseinheit 15 gibt die Betriebsinformationen P22 für jeden Zeitpunkt an die Datenvermittlungseinheit 13 aus.

[0081] Als Nächstes wird die Funktionsweise der Datenvermittlungseinheit 13 ausführlich beschrieben. **Fig. 8** zeigt ein Flussdiagramm, das den Ablauf einer Prozedur veranschaulicht, die von einer Datenvermittlungseinheit durchgeführt wird, die in einem Anomaliediagnosegerät gemäß der zweiten Ausführungsform enthalten ist. Von der in **Fig. 8** dargestellten Prozedur wird der Teil nicht beschrieben, der der in **Fig. 3** dargestellten, von dem Anomaliediagnosegerät 1A der ersten Ausführungsform durchgeführten Prozedur entspricht.

[0082] Das Anomaliediagnosegerät 1B der zweiten Ausführungsform führt die Prozedur der Schritte S1 bis S7 wie das Anomaliediagnosegerät 1A durch. Das heißt, in den Schritten S1 bis S7 wählt das Anomaliediagnosegerät 1B den Typ der Daten (die ausgewählten Zeitreihendaten D5) auf Basis der aus der Geschwindigkeitsverstärkung berechneten Geschwindigkeitssteuerungsbandbreite und des aus der Resonanzfrequenz D3 berechneten Schwellenwerts aus.

[0083] Das Anomaliediagnosegerät 1B führt die Prozedur der Schritte S11 bis S13 nach den Schritten S6 und S7 durch. Konkret bezieht die Datenvermittlungseinheit 13 des Anomaliediagnosegeräts 1B die Betriebsinformationen P22, die von der Betriebsbestimmungseinheit 15 ausgegeben werden (Schritt S11).

[0084] Danach bestimmt die Datenvermittlungseinheit 13, ob der durch die Betriebsinformationen P22 angegebene Betriebszustand der Beschleunigungsphase oder der Verzögerungsphase entspricht oder nicht (Schritt S12). Wenn der durch die Betriebsinformationen P22 angegebene Betriebszustand die Beschleunigungsphase oder die Verzögerungsphase ist (Schritt S12, Ja), wählt die Datenvermittlungseinheit 13 die Beschleunigungsphase oder Verzögerungsphase als Datenintervall aus, das aus den ausgewählten Zeitreihendaten D5 ausgewählt werden soll (Schritt S13). Dann schneidet die Datenvermittlungseinheit 13 die ausgewählten Zeitreihendaten D5, die die Zeitspanne der Beschleunigungsphase oder der Verzögerungsphase der ausgewählten Zeitreihendaten D5 umfassen, aus (engl. sample) (wählt sie aus) und gibt die ausgeschnittenen ausgewählten Zeitreihendaten D5 an die Anomaliebestimmungseinheit 14 aus.

[0085] Wenn in Schritt S12 der durch die Betriebsinformationen P22 angegebene Betriebszustand weder die Beschleunigungsphase noch die Verzögerungsphase ist (Schritt S12, Nein), gibt die Datenvermittlungseinheit 13 die ausgewählten Zeitreihendaten D5 nicht an die Anomaliebestimmungseinheit 14 aus. Wenn der Betriebszustand des Motors 2 oder der Antriebsmaschine 3 weder die Beschleunigungsphase noch die Verzögerungsphase ist, gibt die

Datenvermittlungseinheit 13 demnach die ausgewählten Zeitreihendaten D5 nicht an die Anomaliebestimmungseinheit 14 aus.

[0086] Bei der Datenvermittlungsprozedur der ersten Ausführungsform wird die Datenauswahl automatisch so gelenkt, dass Daten, die wahrscheinlich von einer mit einer Anomalie verbundenen Störung überlagert werden, d. h. Daten, die für die Anomaliebestimmungseinheit 14 zur Durchführung der Anomaliebestimmung vorteilhaft sind (die ausgewählten Zeitreihendaten D5), in die Anomaliebestimmungseinheit 14 eingegeben werden können.

[0087] Um Daten zu extrahieren, die für die Bestimmung von Anomalien noch vorteilhafter sind, führt das Anomaliediagnosegerät 1B der zweiten Ausführungsform zusätzlich zur Auswahl des Datentyps eine Auswahl des Datenintervalls durch. In der Beschleunigungsphase oder der Verzögerungsphase arbeiten der Motor 2 und die Antriebsmaschine 3 im steilen Betrieb. Folglich wird eine große Erregerkraft auf den Motor 2 und die Antriebsmaschine 3 ausgeübt. Eine große Erregerkraft regt eher Vibrationen an, und es ist wahrscheinlicher, dass eine große Vibrationskomponente in einer mit einer Anomalie verbundenen Störung enthalten ist. Daher schneidet die Datenvermittlungseinheit 13 nur die ausgewählten Zeitreihendaten D5 der Beschleunigungsphase oder der Verzögerungsphase aus und gibt die ausgeschnittenen ausgewählten Zeitreihendaten D5 an die Anomaliebestimmungseinheit 14 aus, so dass die Anomaliebestimmungseinheit 14 eine Anomaliebestimmung mit höherer Genauigkeit als bei der ersten Ausführungsform durchführen kann.

[0088] Auch wenn das Anomaliediagnosegerät 1B der zweiten Ausführungsform auf Basis der Sollgeschwindigkeit P21 bestimmt, ob der Betriebszustand die Beschleunigungsphase, die Verzögerungsphase, die Phase mit konstanter Geschwindigkeit oder die Stoppphase ist, kann das Anomaliediagnosegerät 1B den Betriebszustand auf der Grundlage anderer Daten als der Sollgeschwindigkeit P21 bestimmen. Beispielsweise kann die Betriebsbestimmungseinheit 15 auf Basis der tatsächlichen Geschwindigkeit P8 des Motors 2 oder der Antriebsmaschine 3 oder auf Basis von Daten, die durch Filtern der Sollgeschwindigkeit P21 oder der tatsächlichen Geschwindigkeit P8 erhalten werden, bestimmen, ob der Betriebszustand die Beschleunigungsphase, die Verzögerungsphase, die Phase mit konstanter Geschwindigkeit oder die Stoppphase ist. Die Betriebsbestimmungseinheit 15 kann Daten nur in der Beschleunigungsphase oder nur in der Verzögerungsphase oder in beiden Phasen ausschneiden. Die Betriebsbestimmungseinheit 15 schneidet also Daten in der Beschleunigungsphase und/oder der Verzögerungsphase aus.

[0089] Bei der zweiten Ausführungsform wurden ein Motor 2 und eine Antriebsmaschine 3 beschrieben, bei denen eine Störung, die mit einer Anomalie verbunden ist, wahrscheinlich in der Beschleunigungsphase oder der Verzögerungsphase auftritt. Es gibt jedoch auch Antriebsmaschinen 3, bei denen sich eine mit einer Anomalie verbundene Störung auf ein Reibungsphänomen zurückführen lässt. Bei einer solchen Antriebsmaschine 3 kann das Anomaliediagnosegerät 1B eine hochgenaue Anomaliediagnose durchführen, indem sie Daten der Phase mit konstanter Geschwindigkeit statt der Beschleunigungsphase oder Verzögerungsphase ausschneidet.

[0090] Wie oben beschrieben wurde, führt das Anomaliediagnosegerät 1B gemäß der zweiten Ausführungsform eine Anomaliediagnose an den ausgewählten Zeitreihendaten D5 der Beschleunigungsphase, der Verzögerungsphase, der Phase mit konstanter Geschwindigkeit oder der Stoppphase durch, so dass die Anomaliediagnose mit höherer Genauigkeit als bei der ersten Ausführungsform durchgeführt werden kann.

Dritte Ausführungsform

[0091] Als Nächstes wird eine dritte Ausführungsform unter Bezugnahme auf die **Fig. 9** bis **13** beschrieben. Bei der ersten Ausführungsform wurde als Beispiel die Auswahl von Daten beschrieben, die für die Bestimmung von Anomalien vorteilhaft sind, wobei ein Schwellenwert verwendet wird, der aus der Resonanzfrequenz D3 der Antriebsmaschine 3 ermittelt wird, wenn eine Anomalie in der Antriebsmaschine 3 auftritt. Die dritte Ausführungsform beschreibt ein weiteres Beispiel für einen aus der Antriebsmaschine 3 berechneten Schwellenwert.

[0092] **Fig. 9** zeigt eine Darstellung zur Veranschaulichung eines Beispiels für die Konfiguration eines Anomaliediagnosegeräts gemäß der dritten Ausführungsform. Von den Komponenten der **Fig. 9** sind die Komponenten, die die gleichen Funktionen wie die Komponenten des in **Fig. 1** dargestellten Anomaliediagnosegeräts 1A der ersten Ausführungsform erfüllen, ohne doppelte Beschreibung mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

[0093] Ein Anomaliediagnosegerät 1C der dritten Ausführungsform unterscheidet sich von dem Anomaliediagnosegerät 1A dadurch, dass eine Datenvermittlungseinheit 13C anstelle der Datenvermittlungseinheit 13 vorgesehen ist. Die Datenvermittlungseinheit 13C und die Datenvermittlungseinheit 13 unterscheiden sich in der Dateneingabe.

[0094] In die Datenvermittlungseinheit 13C des Anomaliediagnosegeräts 1C werden die Steuerver-

stärkung D1, die Zeitreihendaten D2, eine tatsächliche Geschwindigkeit P32 des Motors 2 und die Anzahl der Zähne P31 an der Antriebsmaschine 3 pro Umdrehung des Motors 2 eingegeben. Konkret werden in die Datenvermittlungseinheit 13C die Steuerverstärkung D1 und die Zeitreihendaten D2 von der Antriebssteuereinheit 12A und die tatsächliche Geschwindigkeit P32 des Motors 2 von der Zustandsüberwachungseinheit 4 eingegeben. Die Anzahl der Zähne P31 wird von einer externen Vorrichtung in die Datenvermittlungseinheit 13C eingegeben. Die Anzahl der Zähne P31 ist die Anzahl der Zähne der Antriebsmaschine 3, die sich drehen, wenn der Motor 2 eine Umdrehung macht. Es wird darauf hingewiesen, dass die Anzahl der Zähne P31 vom Benutzer in die Datenvermittlungseinheit 13C eingegeben werden kann.

[0095] Die dritte Ausführungsform beschreibt einen Fall, in dem die in **Fig. 9** dargestellte Antriebsmaschine 3 eine Antriebsmaschine mit Zahnrädern ist. **Fig. 10** zeigt eine Darstellung zur Veranschaulichung eines Beispiels für die Konfiguration von Zahnrädern, die in einer Antriebsmaschine enthalten sind, an der eine Anomaliediagnose durch ein Anomaliediagnosegerät gemäß der dritten Ausführungsform durchgeführt wird.

[0096] **Fig. 10** zeigt Stirnräder als Beispiel für die in der Antriebsmaschine 3 enthaltenen Zahnräder. In der Antriebsmaschine 3 wird die Kraft des Motors 2 über ein antriebsseitiges Zahnrad 44 auf ein lastseitiges Zahnrad 43 übertragen, wodurch eine mit dem lastseitigen Zahnrad 43 verbundene mechanische Last 41 angetrieben wird.

[0097] Als Nächstes wird die Funktionsweise der Datenvermittlungseinheit 13C im Detail beschrieben. **Fig. 11** zeigt ein Flussdiagramm, das den Ablauf einer Prozedur veranschaulicht, die von einer Datenvermittlungseinheit durchgeführt wird, die in einem Anomaliediagnosegerät gemäß der dritten Ausführungsform enthalten ist. Von der in **Fig. 11** dargestellten Prozedur wird der Teil nicht beschrieben, der der in **Fig. 3** dargestellten, von dem Anomaliediagnosegerät 1A der ersten Ausführungsform durchgeführten Prozedur entspricht.

[0098] Im Vergleich mit dem Anomaliediagnosegerät 1A führt das Anomaliediagnosegerät 1C der dritten Ausführungsform die Prozedur der Schritte S21 bis S24 anstelle der Schritte S3 und S4 durch. Das Anomaliediagnosegerät 1C führt demnach nach der Prozedur der Schritte S1 und S2 die Prozedur der Schritte S21 bis S24 und daran anschließend die Prozedur der Schritte S5 bis S7 durch.

[0099] Konkret bezieht die Datenvermittlungseinheit 13C die Geschwindigkeitssteuerverstärkung P9 von der Antriebssteuereinheit 12A (Schritt S1) und

berechnet die Geschwindigkeitssteuerungsbandbreite auf Basis der Geschwindigkeitssteuerverstärkung P9 (Schritt S2).

[0100] Anschließend bezieht die Datenvermittlungseinheit 13C die Anzahl der Zähne P31 an der Antriebsmaschine 3 pro Umdrehung des Motors 2 (Schritt S21). Die Anzahl der Zähne P31 wird vorab in die Datenvermittlungseinheit 13C eingegeben. Die Datenvermittlungseinheit 13C speichert die eingegebene Anzahl der Zähne P31 und bezieht die Anzahl der Zähne P31 durch Lesen der gespeicherten Anzahl der Zähne P31. Beispielsweise weisen das antriebsseitige Zahnrad 44 und das lastseitige Zahnrad 43, die in **Fig. 10** dargestellt sind, jeweils sechzehn Zähne auf, so dass die Anzahl der Zähne P31 sechzehn beträgt.

[0101] Als Nächstes bezieht die Datenvermittlungseinheit 13C die tatsächliche Geschwindigkeit P32 des Motors 2 von der Zustandsüberwachungseinheit 4 (Schritt S22). Dann berechnet die Datenvermittlungseinheit 13C eine Eingriffsfrequenz basierend auf der bezogenen Anzahl von Zähnen P31 und der bezogenen tatsächlichen Geschwindigkeit P32 des Motors 2 (Schritt S23). Die Eingriffsfrequenz ist eine Frequenz, die angibt, wie oft die an den mechanischen Teilen vorgesehenen Zähne beim Betrieb des Motors 2 pro Zeiteinheit aneinanderstoßen. Als Beispiel wird die Eingriffsfrequenz des antriebsseitigen Zahnrads 44 und des lastseitigen Zahnrads 43, die in **Fig. 10** dargestellt sind, beschrieben. Da die in **Fig. 10** dargestellten Stirnräder ein Übersetzungsverhältnis von 1:1 haben, wird die Eingriffsfrequenz f_m [Hz] auf Basis der in Schritt S22 bezogenen tatsächlichen Geschwindigkeit P32 (=tatsächliche Geschwindigkeit V_{fb} [UpM]) und der in Schritt S21 bezogenen Anzahl der Zähne P31 (=Anzahl der Zähne Z) durch die nachstehende Gleichung (3) ermittelt.

Gleichung 3:

$$f_m = \frac{V_{fb}}{60} * Z \quad (3)$$

[0102] Als Nächstes berechnet die Datenvermittlungseinheit 13C den Schwellenwert auf Basis der berechneten Eingriffsfrequenz (Schritt S24). Wie das Anomaliediagnosegerät 1A der ersten Ausführungsform legt das Anomaliediagnosegerät 1C beispielsweise den Schwellenwert = Eingriffsfrequenz oder den Schwellenwert = Eingriffsfrequenz x c fest, wobei c im Bereich von etwa $0,5 \leq c \leq 2$ liegt. Dann führt das Anomaliediagnosegerät 1C die Prozedur der Schritte S5 bis S7 wie das Anomaliediagnosegerät 1A durch.

[0103] Als Nächstes werden die Effekte der dritten Ausführungsform und der Grund, warum die Effekte erzielt werden, beschrieben. Das Anomaliediagnose-

gerät 1A der ersten Ausführungsform wählt den an die Anomaliebestimmungseinheit 14 auszugebenden Datentyp (die ausgewählten Zeitreihendaten D5) auf Basis des Ergebnisses eines Vergleichs zwischen dem aus der Resonanzfrequenz D3 der Antriebsmaschine 3 berechneten Schwellenwert und der aus der Geschwindigkeitssteuerverstärkung P9 bestimmten Geschwindigkeitssteuerungsbandbreite aus.

[0104] Wenn die Antriebsmaschine 3 einen Kraftübertragungsmechanismus enthält, der das Ineinandergreifen mechanischer Teile verwendet, wählt das Anomaliediagnosegerät 1C der dritten Ausführungsform im Gegensatz dazu den Datentyp, der an die Anomaliebestimmungseinheit 14 ausgegeben werden soll (die ausgewählten Zeitreihendaten D5), auf Basis des Ergebnisses eines Vergleichs zwischen dem Schwellenwert, der aus der Eingriffsfrequenz der Antriebsmaschine 3 berechnet wird, und der Geschwindigkeitssteuerungsbandbreite aus, die aus der Geschwindigkeitssteuerverstärkung P9 bestimmt wird.

[0105] Bei einer Antriebsmaschine 3, die mechanische Teile enthält, die durch Ineinandergreifen beim Übertragungsmechanismus Kraft übertragen, wie das antriebsseitige Zahnrad 44 und das lastseitige Zahnrad 43, weist die Erregerkraft, die zum Zeitpunkt des Aneinanderstoßens der Zähne erzeugt wird, tendenziell die Eigenschaft auf, eine Störung zu verursachen, die mit einer Anomalie der Eingriffsfrequenz oder einer Frequenz nahe der Eingriffsfrequenz verbunden ist. Daher berechnet das Anomaliediagnosegerät 1C die Eingriffsfrequenz, und die Datenvermittlungseinheit 13C wählt basierend auf dem Ergebnis eines Vergleichs zwischen dem aus der Eingriffsfrequenz berechneten Schwellenwert und der aus der Geschwindigkeitssteuerverstärkung P9 berechneten Steuerungsbandbreite Daten aus, die für die Bestimmung der Anomalie vorteilhaft sind. Folglich kann das Anomaliediagnosegerät 1C Anomalien auch dann präzise erfassen, wenn die Antriebsmaschine 3 mechanische Teile wie das antriebsseitige Zahnrad 44 und das lastseitige Zahnrad 43 aufweist, die beim Übertragungsmechanismus Kraft durch Ineinandergreifen übertragen.

[0106] Abhängig von der Antriebsmaschine 3 kann eine mit einer Anomalie verbundene Störung nicht nur bei der Eingriffsfrequenz, sondern auch bei einer Frequenz nahe der Eingriffsfrequenz auftreten, wie z. B. einem Seitenband. Daher kann, wie oben beschrieben, die Datenvermittlungseinheit 13C des Anomaliediagnosegeräts 1C einen Wert, der durch Multiplikation der Eingriffsfrequenz mit der speziellen Konstante c (z. B. etwa $0,5 \leq c \leq 2$) erhalten wird, als den für die Antriebsmaschine 3 ermittelten Schwellenwert festlegen.

[0107] Auch wenn bei der dritten Ausführungsform ein Beispiel beschrieben wurde, bei dem das Anomaliediagnosegerät 1C bei der Berechnung der Eingriffsfrequenz die Eingriffsfrequenz aus der tatsächlichen Geschwindigkeit P32 (tatsächliche Geschwindigkeit= V_{fb}) berechnet, kann das Anomaliediagnosegerät 1C die Eingriffsfrequenz aus anderen Daten als der tatsächlichen Geschwindigkeit P32 berechnen. Das Anomaliediagnosegerät 1C kann beispielsweise Geschwindigkeitsinformationen über den Motor 2 auf Basis einer Befehlsgeschwindigkeit berechnen, die durch Differenzieren des Positionsbefehls P1 erhalten wird, und die Eingriffsfrequenz dann auf Basis der Geschwindigkeitsinformationen berechnen.

[0108] Auch wenn bei der dritten Ausführungsform der Fall beschrieben wurde, dass die Antriebsmaschine 3 Stirnräder umfasst, wie in **Fig. 10** dargestellt ist, kann es sich bei der Antriebsmaschine 3 um jede Antriebsmaschine handeln, bei der die Eingriffsfrequenz berechnet werden kann. Beispielsweise kann die Antriebsmaschine 3 eine Antriebsmaschine sein, bei der die Eingriffsfrequenz aus der Anzahl der Zähne P31 pro Umdrehung des Motors 2 und den Geschwindigkeitsinformationen des Motors 2 berechnet werden kann, wie eine Antriebsmaschine mit Planetengetriebe oder eine Antriebsmaschine mit Riemenscheiben, die zum Spannen eines Zahnriemens verwendet werden.

[0109] Hier wurde der Fall beschrieben, dass die Anzahl der Zähne der Zahnräder auf der Seite des Motors 2 : der Lastseite = $Z:Z$ (1:1) ist. Aber auch wenn die Anzahl der Zähne der Zahnräder auf der Seite des Motors 2 : der Lastseite = $Z:Z_1$ ($Z < Z_1$) ist, erhält man die Eingriffsfrequenz f_m [Hz] durch die oben beschriebene Gleichung (3). Wenn die Anzahl der Zähne der Zahnräder auf der Seite des Motors 2 : der Lastseite = $Z_2:Z$ ($Z_2 > Z$) ist, kann die Datenvermittlungseinheit 13C die Eingriffsfrequenz f_m [Hz] erhalten, indem in Gleichung (3) $Z=Z_2$ gesetzt wird.

[0110] Bei der dritten Ausführungsform wurde ein Fall beschrieben, bei dem ein Beispiel für den Übertragungsmechanismus Zahnräder sind, aber der Übertragungsmechanismus ist nicht auf Zahnräder beschränkt. Zum Beispiel kann eine Wellengetriebevorrichtung (engl. wave gear device) als ein anderes Beispiel als Zahnräder für den Übertragungsmechanismus verwendet werden.

[0111] Es wird nun ein Fall beschrieben, bei dem der Übertragungsmechanismus eine Wellengetriebevorrichtung ist. Wenn der Motor 2 eine Last über das Wellengetriebe antreibt, treten bekanntlich aufgrund der Struktur des Wellengetriebes Vibrationen mit einer Frequenz auf, die doppelt so hoch ist wie die Motordrehzahl, d. h. einer Frequenz f_{m2} [Hz] in Gleichung (4) unten. Wenn eine Anomalie im Übertra-

gungsmechanismus auftritt, tritt auch eine Anomalie bei der Frequenz f_{m2} [Hz] der Gleichung (4) auf. Wenn das Wellengetriebe als Übertragungsmechanismus verwendet wird, wird ein Schwellenwert aus Gleichung (4) ermittelt, so dass Anomalien mit hoher Genauigkeit erkannt werden können.

Gleichung 4:

$$f_{m2} = \frac{V_{fb}}{60} * 2 \quad (4)$$

[0112] Als Übertragungsmechanismus kann ein Wälzlager verwendet werden. Wälzlager werden im Motor 2 und auch in der Antriebsmaschine 3 verwendet. Hier wird nun der Fall beschrieben, dass der Übertragungsmechanismus ein Wälzlager ist.

[0113] **Fig. 12** zeigt eine Darstellung zur Veranschaulichung eines Beispiels für die Konfiguration eines Wälzlagers, an dem eine Anomaliediagnose durch ein Anomaliediagnosegerät gemäß der dritten Ausführungsform durchgeführt wird. **Fig. 13** zeigt eine Darstellung zur Erläuterung des Kontaktwinkels eines in **Fig. 12** dargestellten Wälzlagers.

[0114] Ein Wälzlager 50 umfasst einen Innenring 52, Wälzkörper 53, einen Außenring 51, einen Käfig (nicht abgebildet) und weitere Elemente. Es ist bekannt, dass im Wälzlager 50 die Häufigkeit, mit der eine Anomalie auftritt, in Abhängigkeit von einem fehlerhaften Teil (wie dem Innenring 52, den Wälzkörpern 53 oder dem Außenring 51) oder einem Fehlerfaktor (wie Abplatzen 60 oder Abrieb) variiert.

[0115] Wenn zum Beispiel eine Abplatzung 60 im Innenring 52 auftritt, wie in **Fig. 12** dargestellt ist, tritt in der folgenden Gleichung (5) eine Anomalie bei einer Frequenz f_{m3} [Hz] auf. In Gleichung (5) bedeutet n die Anzahl der Wälzkörper 53, d ist der Durchmesser der Kugeln (der Wälzkörper 53), D ist der Teilkreisdurchmesser und ϕ ist der Kontaktwinkel des Wälzlagers 50.

Gleichung 5:

$$f_{m3} = n * \frac{V_{fb}}{60} * \left(1 + \frac{d}{D} \cos \phi \right) \quad (5)$$

[0116] Der Kontaktwinkel ϕ ist ein Winkel, der durch eine Wirkungslinie 56 im Wälzlager 50 und eine Ebene 57 senkrecht zur Mittelachse des Wälzlagers 50 gebildet wird. Jeder Wälzkörper 53 ist an einem Punkt 54 in Kontakt mit einem äußeren Lagerring, der ein Lagerring des Außenrings 51 ist, und an einem Punkt 55 in Kontakt mit einem inneren Lagerring, der ein Lagerring des Innenrings 52 ist. Bei der Wirkungslinie 56 der Last handelt es sich um eine Linie, die diese beiden Punkte 54 und 55 verbindet. Wenn das Wälzlager 50 an der Antriebsmaschine 3 angebracht ist, wird der Schwellenwert anhand der

Gleichung (5) bestimmt, so dass Anomalien mit hoher Genauigkeit erkannt werden können.

[0117] Wenn Abplatzungen 60 oder andere Fehler in den Wälzkörpern 53, dem Außenring 51 oder anderen Elementen auftreten, kann das Anomaliediagnosegerät 1C auch die Häufigkeit des Auftretens einer Anomalie anhand einer bekannten mathematischen Formel berechnen, um den Schwellenwert zu bestimmen. Auch wenn andere Fehlerfaktoren auftreten, kann das Anomaliediagnosegerät 1C die Häufigkeit mit Hilfe einer bekannten mathematischen Formel berechnen, um den Schwellenwert zu bestimmen.

[0118] Ferner kann es sich bei dem Übertragungsmechanismus um einen Übertragungsmechanismus handeln, bei dem Zahnräder, eine Wellengetriebevorrichtung, ein Wälzlager 50, ein Riemen usw. kombiniert werden. Selbst wenn verschiedene Arten oder Kombinationen von Übertragungsmechanismen verwendet werden, ist den oben beschriebenen Zahnradern, der Wellengetriebevorrichtung, dem Wälzlager 50 usw. gemeinsam, dass die Vibration aufgrund der Struktur proportional zur Geschwindigkeit des Motors 2 ist. Selbst wenn verschiedene Arten oder Kombinationen von Übertragungsmechanismen verwendet werden, werden demnach wahrscheinlich Vibrationen auftreten, die proportional zur Drehfrequenz des Motors 2 sind. Wenn eine Anomalie auftritt, treten auch Vibrationen auf, die proportional zur Geschwindigkeit des Motors 2 sind. In diesem Fall wird als Schwellenwert ein Wert gewählt, der proportional zu einer aus den Geschwindigkeitsinformationen des Motors 2 berechneten Frequenz ist, so dass Anomalien mit hoher Genauigkeit erkannt werden können.

[0119] Wie oben beschrieben wurde, wählt das Anomaliediagnosegerät 1C gemäß der dritten Ausführungsform den an die Anomaliebestimmungseinheit 14 auszugebenden Datentyp auf Basis des Ergebnisses eines Vergleichs zwischen dem aus der Eingriffsfrequenz der Antriebsmaschine 3 berechneten Schwellenwert und der aus der Geschwindigkeitssteuerverstärkung P9 bestimmten Geschwindigkeitssteuerungsbandbreite aus. Folglich kann das Anomaliediagnosegerät 1C eine Anomaliediagnose wie bei der ersten Ausführungsform in einfacher Weise und mit hoher Genauigkeit durchführen.

Vierte Ausführungsform

[0120] Als Nächstes wird eine vierte Ausführungsform unter Bezugnahme auf die **Fig. 14** und **15** beschrieben. Bei der ersten Ausführungsform wurde ein Beispiel für die Auswahl von Daten beschrieben, die für die Bestimmung von Anomalien vorteilhaft sind, wobei ein Schwellenwert verwendet wird, der aus der Resonanzfrequenz D3 der

Antriebsmaschine 3 bestimmt wird, wenn eine Anomalie bei der Antriebsmaschine 3 auftritt. Bei der vierten Ausführungsform werden, wenn in der ersten Ausführungsform der tatsächliche Strom P10 ausgewählt wird, für die Anomaliebestimmung vorteilhafte Daten auf Basis des Antriebszustands des Motors 2 erneut ausgewählt.

[0121] **Fig. 14** zeigt eine Darstellung zur Veranschaulichung eines Beispiels für die Konfiguration eines Anomaliediagnosegeräts gemäß der vierten Ausführungsform. Von den Komponenten der **Fig. 14** sind die Komponenten, die die gleichen Funktionen wie die Komponenten des in **Fig. 1** dargestellten Anomaliediagnosegeräts 1A der ersten Ausführungsform erfüllen, mit den gleichen Bezugszeichen versehen und werden nicht doppelt beschrieben.

[0122] Ein Anomaliediagnosegerät 1D der vierten Ausführungsform unterscheidet sich von dem Anomaliediagnosegerät 1A dadurch, dass eine Datenvermittlungseinheit 13D anstelle der Datenvermittlungseinheit 13 vorgesehen ist. Die Datenvermittlungseinheit 13D und die Datenvermittlungseinheit 13 unterscheiden sich in der Dateneingabe.

[0123] In die Datenvermittlungseinheit 13D des Anomaliediagnosegeräts 1D werden die Steuerverstärkung D1, die Zeitreihendaten D2, der dem Antriebsstrom P7 des Motors 2 entsprechende tatsächliche Strom P10 und ein Stromschwellenwert P41 eingegeben. Konkret werden in die Datenvermittlungseinheit 13D die Steuerverstärkung D1, die Zeitreihendaten D2 und der tatsächliche Strom P10 von der Antriebssteuereinheit 12 eingegeben, und der Stromschwellenwert P41 wird vom Benutzer eingegeben. Der tatsächliche Strom P10 kann von der Zustandsüberwachungseinheit 4 in die Datenvermittlungseinheit 13D eingegeben werden. Der Stromschwellenwert P41 ist ein Schwellenwert für den Effektivwert des tatsächlichen Stroms P10. Der Stromschwellenwert P41 wird verwendet, um zu bestimmen, ob der auszuwählende Datentyp (das auszuwählende Objekt) vom tatsächlichen Strom P10 auf die tatsächliche Position P11 geändert werden soll oder nicht.

[0124] Als Nächstes wird die Funktionsweise der Datenvermittlungseinheit 13D im Detail beschrieben. **Fig. 15** zeigt ein Flussdiagramm, das den Ablauf einer Prozedur veranschaulicht, die von einer Datenvermittlungseinheit durchgeführt wird, die in einem Anomaliediagnosegerät gemäß der vierten Ausführungsform enthalten ist. Von der in **Fig. 15** dargestellten Prozedur wird der Teil nicht beschrieben, der von dem in **Fig. 3** dargestellten Anomaliediagnosegerät 1A der ersten Ausführungsform durchgeführten Prozedur entspricht.

[0125] Verglichen mit dem Anomaliediagnosegerät 1A führt das Anomaliediagnosegerät 1D der vierten Ausführungsform die Prozedur der Schritte S41 bis S44 nach Schritt S7 durch. Das Anomaliediagnosegerät 1D führt in den Schritten S1 bis S7 die gleiche Prozedur durch wie das Anomaliediagnosegerät 1A.

[0126] Nach der Prozedur der Schritte S1 bis S7 führt das Anomaliediagnosegerät 1D die Prozedur der Schritte S41 bis S44 durch. Wenn die Geschwindigkeitssteuerungsbandbreite höher als der Schwellenwert ist, wählt die Datenvermittlungseinheit 13D demnach den tatsächlichen Strom P10 als Datentyp aus und führt dann die Prozedur der Schritte S41 bis S44 durch.

[0127] Konkret bezieht die Datenvermittlungseinheit 13D nach der Auswahl des tatsächlichen Stroms P10 als Datentyp den Effektivwert des tatsächlichen Stroms P10 für die letzten N Sekunden von der Antriebssteuereinheit 12A (Schritt S41). Dabei ist N eine reelle Zahl größer als 0.

[0128] Als Nächstes bezieht die Datenvermittlungseinheit 13D den Stromschwellenwert P41 (Schritt S42). Der Benutzer legt den Stromschwellenwert P41 vorab in der Datenvermittlungseinheit 13D fest. Die Datenvermittlungseinheit 13D speichert den vom Benutzer vorab festgelegten Stromschwellenwert P41 und bezieht den Stromschwellenwert P41 durch Lesen des gespeicherten Stromschwellenwerts P41.

[0129] Dann vergleicht die Datenvermittlungseinheit 13D den bezogenen Effektivwert des tatsächlichen Stroms P10 mit dem bezogenen Stromschwellenwert P41 und bestimmt, ob der Effektivwert des tatsächlichen Stroms P10 kleiner als der Stromschwellenwert P41 ist oder nicht (Schritt S43). Das heißt, die Datenvermittlungseinheit 13D bestimmt, ob der Effektivwert des tatsächlichen Stroms P10 kleiner als der Stromschwellenwert P41 ist oder nicht.

[0130] Wenn festgestellt wird, dass der Effektivwert des tatsächlichen Stroms P10 kleiner als der Stromschwellenwert P41 ist (Schritt S43, Ja), wählt die Datenvermittlungseinheit 13D die tatsächliche Position P11 als Datentyp aus (Schritt S44) und gibt die tatsächliche Position P11 an die Anomaliebestimmungseinheit 14 aus. Das heißt, wenn der Effektivwert des tatsächlichen Stroms P10 kleiner ist als der Stromschwellenwert P41, ändert die Datenvermittlungseinheit 13D den auszuwählenden Datentyp vom tatsächlichen Strom P10 zur tatsächlichen Position P11.

[0131] Wenn dagegen festgestellt wird, dass der Effektivwert des tatsächlichen Stroms P10 größer ist als der Stromschwellenwert P41 (Schritt S43, Nein), gibt die Datenvermittlungseinheit 13D den in

Schritt S7 ausgewählten tatsächlichen Strom P10 direkt an die Anomaliebestimmungseinheit 14 aus, ohne den Datentyp erneut auszuwählen.

[0132] Wenn festgestellt wird, dass der Effektivwert des tatsächlichen Stroms P10 und der Stromschwellenwert P41 gleich sind, kann die Datenvermittlungseinheit 13D die tatsächliche Position P11 als Datentyp auswählen oder den Datentyp nicht erneut auswählen.

[0133] Hier wurde ein Beispiel beschrieben, bei dem es sich bei den ausgewählten Daten um den tatsächlichen Strom P10 oder die tatsächliche Position P11 handelt, aber bei dem ausgewählten tatsächlichen Strom P10 kann es sich um alle in der ersten Datengruppe enthaltenen Daten handeln. Der ausgewählte tatsächliche Strom P10 kann demnach durch den Strombefehl P5, den Drehmomentbefehl P12, das tatsächliche Drehmoment P13, den Störmoment-schätzwert P14, die Stromabweichung P6 oder die Drehmomentabweichung ersetzt werden.

[0134] Bei der tatsächlichen Position P11 kann es sich um beliebige Daten handeln, die in der zweiten Datengruppe enthalten sind. Das heißt, die ausgewählte tatsächliche Position P11 kann durch den Geschwindigkeitsbefehl P3, die tatsächliche Geschwindigkeit P8, die Beschleunigung, die Positionsabweichung P2 oder die Geschwindigkeitsabweichung P4 ersetzt werden.

[0135] Zumindest ein Teil der in der ersten Datengruppe enthaltenen Daten sind strombezogene Informationen, die sich auf den tatsächlichen Strom P10 beziehen. Bei der Entscheidung, ob eine erneute Auswahl des Datentyps durchgeführt werden soll oder nicht, bestimmt die Datenvermittlungseinheit 13D auf Basis der strombezogenen Informationen, ob der Effektivwert der strombezogenen Informationen, der für eine vergangene bestimmte Zeitspanne erfasst wurde, niedriger ist als ein Leistungsschwellenwert, der ein Schwellenwert für den Effektivwert ist.

[0136] Wenn der Effektivwert der strombezogenen Informationen niedriger als der Leistungsschwellenwert ist, wählt die Datenvermittlungseinheit 13D zumindest ein in der zweiten Datengruppe enthaltenes Datenelement als Datentyp aus und gibt das ausgewählte Datenelement an die Anomaliebestimmungseinheit 14 aus. Andererseits wählt die Datenvermittlungseinheit 13D den Datentyp nicht erneut aus, wenn der Effektivwert der strombezogenen Informationen höher als der Leistungsschwellenwert ist, und gibt zumindest ein in Schritt S7 ausgewähltes Datenelement, das in der zweiten Datengruppe enthalten ist, direkt an die Anomaliebestimmungseinheit 14 aus.

[0137] Als Nächstes werden die Effekte der vierten Ausführungsform und der Grund, warum die Effekte erzielt werden, beschrieben. Das Anomaliediagnosegerät 1A der ersten Ausführungsform wählt den an die Anomaliebestimmungseinheit 14 auszugebenden Datentyp (die ausgewählten Zeitreihendaten D5) auf Basis des Ergebnisses eines Vergleichs zwischen dem aus der Resonanzfrequenz D3 der Antriebsmaschine 3 berechneten Schwellenwert und der aus der Geschwindigkeitssteuerverstärkung P9 bestimmten Geschwindigkeitssteuerungsbandbreite aus.

[0138] Im Gegensatz dazu vergleicht das Anomaliediagnosegerät 1D der vierten Ausführungsform, wenn der tatsächliche Strom P10 als Datentyp ausgewählt wird, den Antriebszustand des Motors 2, d. h. den Effektivwert des tatsächlichen Stroms P10, mit dem vom Benutzer festgelegten Stromschwellenwert P41. Dann wählt das Anomaliediagnosegerät 1D auf Basis des Vergleichsergebnisses den Datentyp erneut aus, der für die Anomaliebestimmung verwendet werden soll. Wenn zum Beispiel die Reibung der Antriebsmaschine 3 gering ist und die Geschwindigkeit des Motors 2 auf einer konstanten Geschwindigkeit gehalten werden muss, weist der Motor 2 keine Beschleunigungsphase und keine Verzögerungsphase auf, so dass der für den Betrieb erforderliche tatsächliche Strom P10 gering ist.

[0139] Wenn der tatsächliche Strom P10, der für den Betrieb erforderlich ist, in gewissem Maße groß ist, ist es auch etwas wahrscheinlicher, dass eine mit einer Anomalie verbundene Störung im tatsächlichen Strom P10 auftritt. Wenn der für den Betrieb erforderliche tatsächliche Strom P10 in gewissem Maße klein ist, ist auch eine mit einer Anomalie verbundene Störung selbst extrem klein. Daher kann in einer Situation, in der der tatsächliche Strom P10 extrem klein ist, die Verwendung des tatsächlichen Stroms P10 zur Bestimmung der Anomalie die Genauigkeit der Bestimmung der Anomalie beeinträchtigen. Wenn der tatsächliche Strom P10 in gewissem Maße klein ist, ist es daher vorteilhafter, die tatsächliche Position P11 anstelle des tatsächlichen Stroms P10 zu verwenden, um die Anomaliebestimmung durchzuführen. Das heißt, selbst wenn das Anomaliediagnosegerät 1D den tatsächlichen Strom P10 in Schritt S7 ausgewählt hat, ist es für die Anomaliediagnose vorteilhafter, die tatsächliche Position P11 auszuwählen, um die Anomaliediagnose durchzuführen, wenn der Effektivwert des tatsächlichen Stroms P10 niedriger als der Stromschwellenwert P41 ist.

[0140] Je nach dem Betriebsmodus des Motors 2 oder der Antriebsmaschine 3 kann der tatsächliche Strom P10 vorübergehend klein werden. Daher bezieht das Anomaliediagnosegerät 1D den Effektivwert des tatsächlichen Stroms P10 für die letzten N Sekunden im Voraus. Dann bestimmt das Anomalie-

diagnosegerät 1D, ob der bezogene Effektivwert des tatsächlichen Stroms P10 niedriger als der Stromschwellenwert P41 ist oder nicht, und wählt die tatsächliche Position P11 als Datentyp aus, wenn der Effektivwert des tatsächlichen Stroms P10 niedriger als der Stromschwellenwert P41 ist. Wie oben beschrieben wurde, wählt das Anomaliediagnosegerät 1D auch dann, wenn die Antriebsmaschine 3 mit einem kleinen tatsächlichen Strom P10 des Motors 2 arbeitet, den Datentyp erneut aus, um automatisch Daten auszuwählen, die für die Anomaliebestimmung vorteilhaft sind, und ist dadurch in der Lage, eine Anomaliediagnose an der Antriebsmaschine 3 durchzuführen.

[0141] Wie oben beschrieben wurde, wählt das Anomaliediagnosegerät 1D gemäß der vierten Ausführungsform die tatsächliche Position P11 als Datentyp aus, wenn der Effektivwert des tatsächlichen Stroms P10 niedriger als der Stromschwellenwert P41 ist, und führt eine Anomaliediagnose durch, wodurch eine Anomaliediagnose mit höherer Genauigkeit als bei der ersten Ausführungsform durchgeführt werden kann.

[0142] Er wird nun eine Hardwarekonfiguration der Anomaliediagnosegeräte 1A bis 1D beschrieben. Die Anomaliediagnosegeräte 1A bis 1D weisen die gleiche Hardwarekonfiguration auf, daher wird hier nur die Hardwarekonfiguration des Anomaliediagnosegeräts 1A beschrieben.

[0143] Fig. 16 zeigt eine Darstellung zur Veranschaulichung eines Beispiels für eine Hardwarekonfiguration zur Implementierung des Anomaliediagnosegeräts gemäß der ersten Ausführungsform. Das Anomaliediagnosegerät 1A kann durch eine Eingabevorrichtung 300, einen Prozessor 100, einen Speicher 200 und eine Ausgabevorrichtung 400 implementiert werden. Beispiele für den Prozessor 100 sind eine Zentraleinheit (CPU, auch Zentralprozessor, Verarbeitungsvorrichtung, Rechenvorrichtung, Mikroprozessor, Mikrocomputer oder digitaler Signalprozessor (DSP) genannt) oder ein LSI (Large Scale Integration)-System. Beispiele für den Speicher 200 sind Direktzugriffsspeicher (RAM) und Festwertspeicher (ROM).

[0144] Das Anomaliediagnosegerät 1A wird durch den Prozessor 100 implementiert, der ein computer-ausführbares Anomaliediagnoseprogramm D6 zur Ausführung der Funktionen des Anomaliediagnosegeräts 1A liest und ausführt, das im Speicher 200 gespeichert ist. Das Anomaliediagnoseprogramm D6, das ein Programm zur Ausführung der Funktionen des Anomaliediagnosegeräts 1A ist, ist als Programm zu betrachten, das einen Computer veranlasst, eine Prozedur bzw. ein Verfahren des Anomaliediagnosegeräts 1A auszuführen.

[0145] Das von dem Anomaliediagnosegerät 1A ausgeführte Anomaliediagnoseprogramm D6 weist eine Modulkonfiguration auf, die die Befehlserzeugungseinheit 11, die Antriebssteuereinheit 12A, die Datenvermittlungseinheit 13 und die Anomaliebestimmungseinheit 14 umfasst, wobei diese in eine Hauptspeichervorrichtung geladen und in der Hauptspeichervorrichtung erzeugt werden.	11	Befehlserzeugungseinheit
	12A, 12B	Antriebssteuereinheit
	13, 13C, 13D	Datenvermittlungseinheit
	14	Anomaliebestimmungseinheit
	15	Betriebsbestimmungseinheit
[0146] Die Eingabevorrichtung 300 empfängt die Zeitreihendaten D2 des Motors 2 oder der Antriebsmaschine 3 von der Zustandsüberwachungseinheit 4 und überträgt die Zeitreihendaten D2 an den Prozessor 100. Der Speicher 200 speichert das Anomaliediagnoseprogramm D6, die Steuerverstärkung D1, die Resonanzfrequenz D3 der Antriebsmaschine 3 usw.	21 bis 24	Subtrahierer
	41	mechanische Last
	43	lastseitiges Zahnrad
	44	antriebsseitiges Zahnrad
	50	Wälzlager
[0147] Die Steuerverstärkung D1, die Resonanzfrequenz D3 der Antriebsmaschine 3 usw. werden von dem Prozessor 100 aus dem Speicher 200 gelesen. Der Speicher 200 wird auch als Zwischenspeicher verwendet, wenn der Prozessor 100 verschiedene Arten der Verarbeitung durchführt. Die Ausgabevorrichtung 400 gibt ein Bestimmungsobjekt der Anomaliebestimmung, ein Bestimmungselement und ein Bestimmungsergebnis an ein externes Gerät wie die Anzeigevorrichtung 5 aus.	51	Außenring (engl. outer race)
	52	Innenring (engl. inner race)
	53	Wälzkörper
	54, 55	Punkt
	56	Wirkungslinie
[0148] Das Anomaliediagnoseprogramm D6 kann in einem computerlesbaren Speichermedium in einer Datei in einem installierbaren Format oder in einem ausführbaren Format gespeichert und als Computerprogrammprodukt bereitgestellt werden. Alternativ kann das Anomaliediagnoseprogramm D6 dem Anomaliediagnosegerät 1A über ein Netzwerk, wie z. B. das Internet, bereitgestellt werden. Die Funktionen des Anomaliediagnosegeräts 1A können teilweise durch dedizierte Hardware, wie z. B. eine spezielle Schaltung, und teilweise durch Software oder Firmware implementiert werden.	57	Ebene
	60	Abplattung
	100	Prozessor
	121	Positionssteuereinheit
	122	Geschwindigkeitssteuereinheit
[0149] Die in den obigen Ausführungsbeispielen beschriebenen Konfigurationen stellen ein Beispiel dar und können mit anderen bekannten Techniken kombiniert werden. Die Ausführungsformen können miteinander kombiniert werden. Die Konfigurationen können teilweise weggelassen oder geändert werden, ohne vom Kern abzuweichen.	123	Stromsteuereinheit
	124	Geschwindigkeitswandler-einheit
	125	Störungsbeobachter
	200	Speicher
	300	Eingabevorrichtung
	400	Ausgabevorrichtung
	D1	Steuerverstärkung
	D2	Zeitreihendaten
	D3	Resonanzfrequenz
	D5	ausgewählte Zeitreihendaten

Bezugszeichenliste

1A bis 1D	Anomaliediagnosegerät
2	Motor
3	Antriebsmaschine
4	Zustandsüberwachungseinheit
5	Anzeigevorrichtung

D6	Anomaliediagnoseprogramm
P1	Positionsbefehl
P2	Positionsabweichung
P3	Geschwindigkeitsbefehl
P4	Geschwindigkeitsabweichung
P5	Strombefehl

P6	Stromabweichung
P7	Antriebsstrom
P8, P8x, P32	tatsächliche Geschwindigkeit
P9	Geschwindigkeitssteuer- verstärkung
P10	tatsächlicher Strom
P11	tatsächliche Position
P12	Drehmomentbefehl
P13	tatsächliches Drehmoment
P14	Störmomentschätzwert
P21	Sollgeschwindigkeit
P22	Betriebsinformationen
P31	Anzahl der Zähne
P41	Stromschwellenwert

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 2019-024305 [0004]

Patentansprüche

1. Anomaliediagnosegerät, das aufweist:
 eine Befehlserzeugungseinheit zum Erzeugen eines Befehlswertes, um den Betrieb eines Motors oder einer von dem Motor angetriebenen Antriebsmaschine zu spezifizieren;
 eine Antriebssteuereinheit zum Durchführen einer Rückkopplungssteuerung an dem Motor auf Basis einer Steuerverstärkung, so dass der Betrieb des Motors oder der Antriebsmaschine dem Befehlswert folgt;
 eine Datenvermittlungseinheit zum Vermitteln ausgewählter Zeitreihendaten durch Auswählen von Daten aus Zeitreihendaten, die einen Zustand des Motors oder der Antriebsmaschine angeben, auf Basis des Ergebnisses eines Vergleichs zwischen einer aus der Steuerverstärkung bestimmten Steuerungsbandbreite und einem durch die Antriebsmaschine bestimmten Schwellenwert; und
 eine Anomaliebestimmungseinheit zum Bestimmen eines anomalen Zustands des Motors oder der Antriebsmaschine auf Basis der ausgewählten Zeitreihendaten.

2. Anomaliediagnosegerät nach Anspruch 1, wobei die Datenvermittlungseinheit die an die Anomaliebestimmungseinheit auszugebenden ausgewählten Zeitreihendaten aus einer ersten Datengruppe der Zeitreihendaten auswählt, wenn die Steuerungsbandbreite höher als der Schwellenwert ist, und die an die Anomaliebestimmungseinheit auszugebenden ausgewählten Zeitreihendaten aus einer zweiten Datengruppe der Zeitreihendaten auswählt, wenn die Steuerungsbandbreite niedriger als der Schwellenwert ist, die erste Datengruppe umfasst:

einen Strombefehl zum Antreiben des Motors, einen Drehmomentbefehl zum Antreiben des Motors oder der Antriebsmaschine, einen am Motor erfassten tatsächlichen Strom, ein am Motor oder der Antriebsmaschine erfasstes tatsächliches Drehmoment, einen Störmomentschätzwert, bei dem es sich um einen Schätzwert eines Störmoments am Motor oder der Antriebsmaschine handelt, eine Stromabweichung, bei der es sich um eine Differenz zwischen dem Strombefehl und dem tatsächlichen Strom handelt, und eine Drehmomentabweichung, bei der es sich um eine Differenz zwischen dem Drehmomentbefehl und dem tatsächlichen Drehmoment handelt, und die zweite Datengruppe umfasst:
 eine tatsächliche Position des Motors oder der Antriebsmaschine, einen Geschwindigkeitsbefehl für den Motor oder die Antriebsmaschine, eine tatsächliche Geschwindigkeit des Motors oder der Antriebsmaschine, eine Beschleunigung des Motors oder der Antriebsmaschine, eine Positionsabweichung, bei der es sich um eine Differenz zwischen einem der tatsächlichen Position entsprechenden Positionsbefehl und der tatsächlichen Position han-

delt, und eine Geschwindigkeitsabweichung, bei der es sich um eine Differenz zwischen dem Geschwindigkeitsbefehl und der tatsächlichen Geschwindigkeit handelt.

3. Anomaliediagnosegerät nach Anspruch 1 oder 2, das ferner aufweist:
 eine Betriebsbestimmungseinheit, um auf Basis des Befehlswerts zu bestimmen, ob die Zeitreihendaten einer Beschleunigungsphase oder einer Verzögerungsphase des Motors oder der Antriebsmaschine entsprechen oder nicht, und das Bestimmungsergebnisse als Betriebsinformationen auszugeben, wobei
 die Datenvermittlungseinheit auf Basis der Betriebsinformationen aus den Zeitreihendaten Daten auswählt, die die ausgewählten Zeitreihendaten der Beschleunigungsphase und/oder Verzögerungsphase umfassen, und die ausgewählten Daten an die Anomaliebestimmungseinheit ausgibt.

4. Anomaliediagnosegerät nach Anspruch 1 oder 2, das ferner aufweist:
 eine Betriebsbestimmungseinheit, um auf Basis des Befehlswerts zu bestimmen, ob die Zeitreihendaten einer Phase mit konstanter Geschwindigkeit des Motors oder der Antriebsmaschine entsprechen oder nicht, und das Bestimmungsergebnis als Betriebsinformationen auszugeben, wobei
 die Datenvermittlungseinheit auf Basis der Betriebsinformationen aus den Zeitreihendaten Daten auswählt, die die ausgewählten Zeitreihendaten der Phase mit konstanter Geschwindigkeit umfassen, und die ausgewählten Daten an die Anomaliebestimmungseinheit ausgibt.

5. Anomaliediagnosegerät nach Anspruch 1 oder 2, das ferner aufweist:
 eine Betriebsbestimmungseinheit, um auf Basis des Befehlswerts zu bestimmen, ob die Zeitreihendaten einer Stoppphase des Motors oder der Antriebsmaschine entsprechen oder nicht, und das Bestimmungsergebnis als Betriebsinformationen auszugeben, wobei
 die Datenvermittlungseinheit auf Basis der Betriebsinformationen aus den Zeitreihendaten Daten auswählt, die die ausgewählten Zeitreihendaten der Stoppphase umfassen, und die ausgewählten Daten an die Anomaliebestimmungseinheit ausgibt.

6. Anomaliediagnosegerät nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Schwellenwert ein Wert ist, der auf Basis einer Resonanzfrequenz der Antriebsmaschine berechnet wird.

7. Anomaliediagnosegerät nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Schwellenwert, wenn die Antriebsmaschine mechanische Teile zur Kraftübertragung durch Zahneingriff aufweist, ein Wert ist, der auf Basis einer Eingriffsfrequenz berechnet

wird, die anhand von Geschwindigkeitsinformationen über den Motor und die Anzahl der Zähne an den mechanischen Teilen ermittelt wird.

8. Anomaliediagnosegerät nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Schwellenwert ein Wert ist, der proportional zu einer Frequenz ist, die aus Geschwindigkeitsinformationen des Motors berechnet wird.

9. Anomaliediagnosegerät nach Anspruch 2, wobei die Datenvermittlungseinheit ein auszuwählendes Objekt ändert, indem sie die an die Anomaliebestimmungseinheit auszugebenden ausgewählten Zeitreihendaten aus der zweiten Datengruppe der Zeitreihendaten auswählt, wenn die Steuerungsbandbreite höher als der Schwellenwert ist und ein Effektivwert strombezogener Informationen, die sich auf den tatsächlichen Strom beziehen, der an dem Motor für eine bestimmte vergangene Zeitspanne erfasst wurde, niedriger als ein Leistungsschwellenwert ist, der ein Schwellenwert für den Effektivwert ist.

10. Anomaliediagnosegerät nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei die Zeitreihendaten erste Daten, die von einer Zustandsüberwachungseinheit bezogen werden, die den Zustand des Motors oder der Antriebsmaschine überwacht, und/oder zweite Daten, die von der Antriebssteuereinheit erzeugt werden, und/oder dritte Daten umfassen, die von der Befehlserzeugungseinheit erzeugt werden.

11. Anomaliediagnosegerät nach Anspruch 10, wobei die Zeitreihendaten Daten umfassen, die durch Ausführen von vier arithmetischen Operationen und/oder einer Integrationsoperation und/oder einer Differenzierungsoperation und/oder einer Filterung an den ersten Daten und/oder zweiten Daten und/oder dritten Daten erhalten werden.

12. Anomaliediagnoseverfahren, das umfasst: einen Befehlserzeugungsschritt zum Erzeugen eines Befehlswerts zur Spezifizierung des Betriebs eines Motors oder einer Antriebsmaschine durch ein Anomaliediagnosegerät zur Durchführung einer Diagnose des Betriebs des Motors oder der von dem Motor angetriebenen Antriebsmaschine; einen Antriebssteuerungsschritt zum Durchführen einer Rückkopplungssteuerung an dem Motor auf Basis einer Steuerverstärkung durch das Anomaliediagnosegerät, so dass der Betrieb des Motors oder der Antriebsmaschine dem Befehlswert folgt; einen Datenvermittlungsschritt zum Vermitteln ausgewählter Zeitreihendaten durch das Anomaliediagnosegerät, indem Daten aus Zeitreihendaten, die einen Zustand des Motors oder der Antriebsmaschine angeben, auf Basis des Ergebnisses eines Vergleichs zwischen einer Steuerungsbandbreite, die sich aus der Steuerverstärkung bestimmt, und

einem Schwellenwert, der sich aus der Antriebsmaschine bestimmt, ausgewählt werden; und einen Anomaliebestimmungsschritt zum Bestimmen eines anomalen Zustands des Motors oder der Antriebsmaschine durch das Anomaliediagnosegerät auf Basis der ausgewählten Zeitreihendaten.

13. Anomaliediagnoseverfahren nach Anspruch 12, wobei

in dem Datenvermittlungsschritt das Anomaliediagnosegerät die auszugebenden ausgewählten Zeitreihendaten aus einer ersten Datengruppe der Zeitreihendaten auswählt, wenn die Steuerungsbandbreite höher als der Schwellenwert ist, und die auszugebenden ausgewählten Zeitreihendaten aus einer zweiten Datengruppe der Zeitreihendaten auswählt, wenn die Steuerungsbandbreite niedriger als der Schwellenwert ist, die erste Datengruppe umfasst:

einen Strombefehl zum Antreiben des Motors, einen Drehmomentbefehl zum Antreiben des Motors oder der Antriebsmaschine, einen am Motor erfassten tatsächlichen Strom, ein am Motor oder der Antriebsmaschine erfasstes tatsächliches Drehmoment, einen Störmomentschätzwert, bei dem es sich um einen Schätzwert eines Störmoments am Motor oder der Antriebsmaschine handelt, eine Stromabweichung, bei der es sich um eine Differenz zwischen dem Strombefehl und dem tatsächlichen Strom handelt, und eine Drehmomentabweichung, bei der es sich um eine Differenz zwischen dem Drehmomentbefehl und dem tatsächlichen Drehmoment handelt, und die zweite Datengruppe umfasst: eine tatsächliche Position des Motors oder der Antriebsmaschine, einen Geschwindigkeitsbefehl für den Motor oder die Antriebsmaschine, eine tatsächliche Geschwindigkeit des Motors oder der Antriebsmaschine, eine Beschleunigung des Motors oder der Antriebsmaschine, eine Positionsabweichung, bei der es sich um eine Differenz zwischen einem dem Motor oder der tatsächlichen Position entsprechenden Positionsbefehl und der tatsächlichen Position handelt, und eine Geschwindigkeitsabweichung, bei der es sich um eine Differenz zwischen dem Geschwindigkeitsbefehl und der tatsächlichen Geschwindigkeit handelt.

Es folgen 15 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG.1

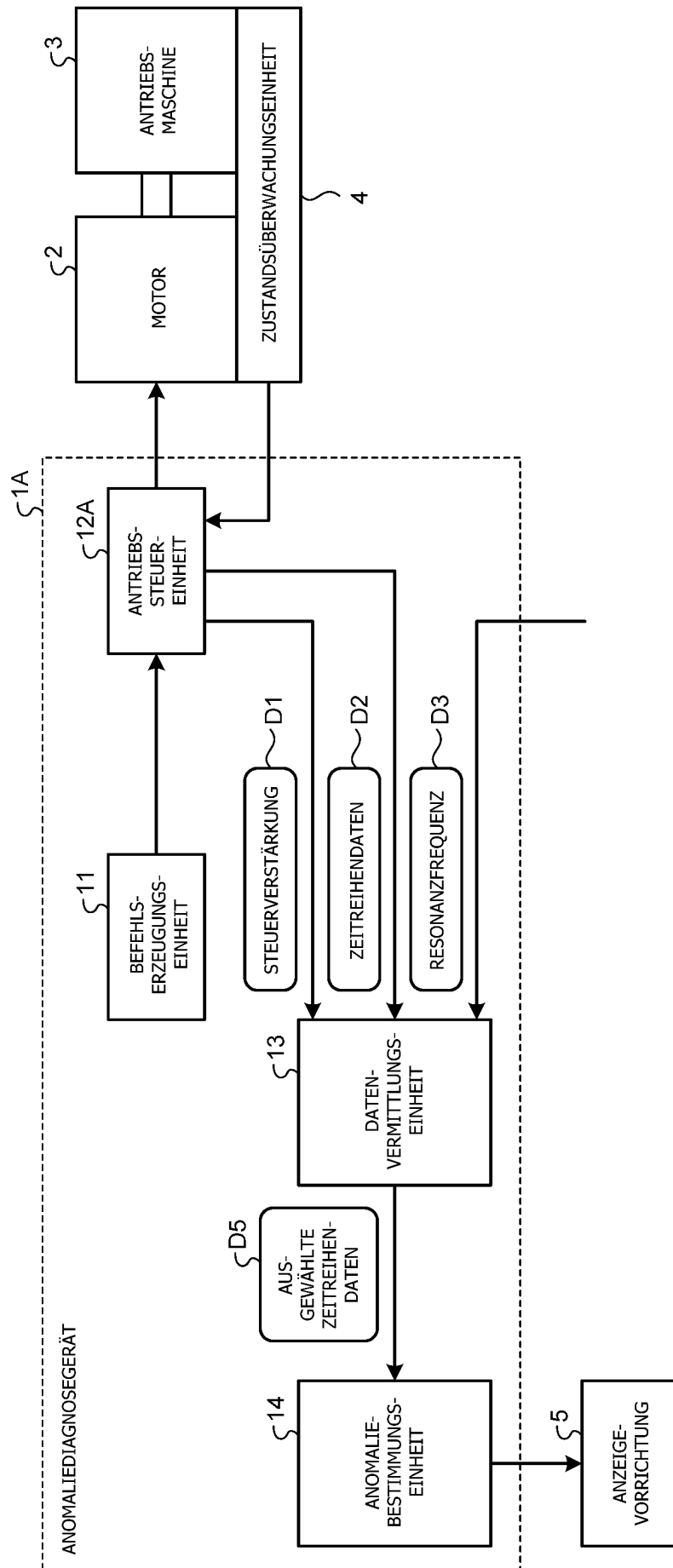


FIG.2

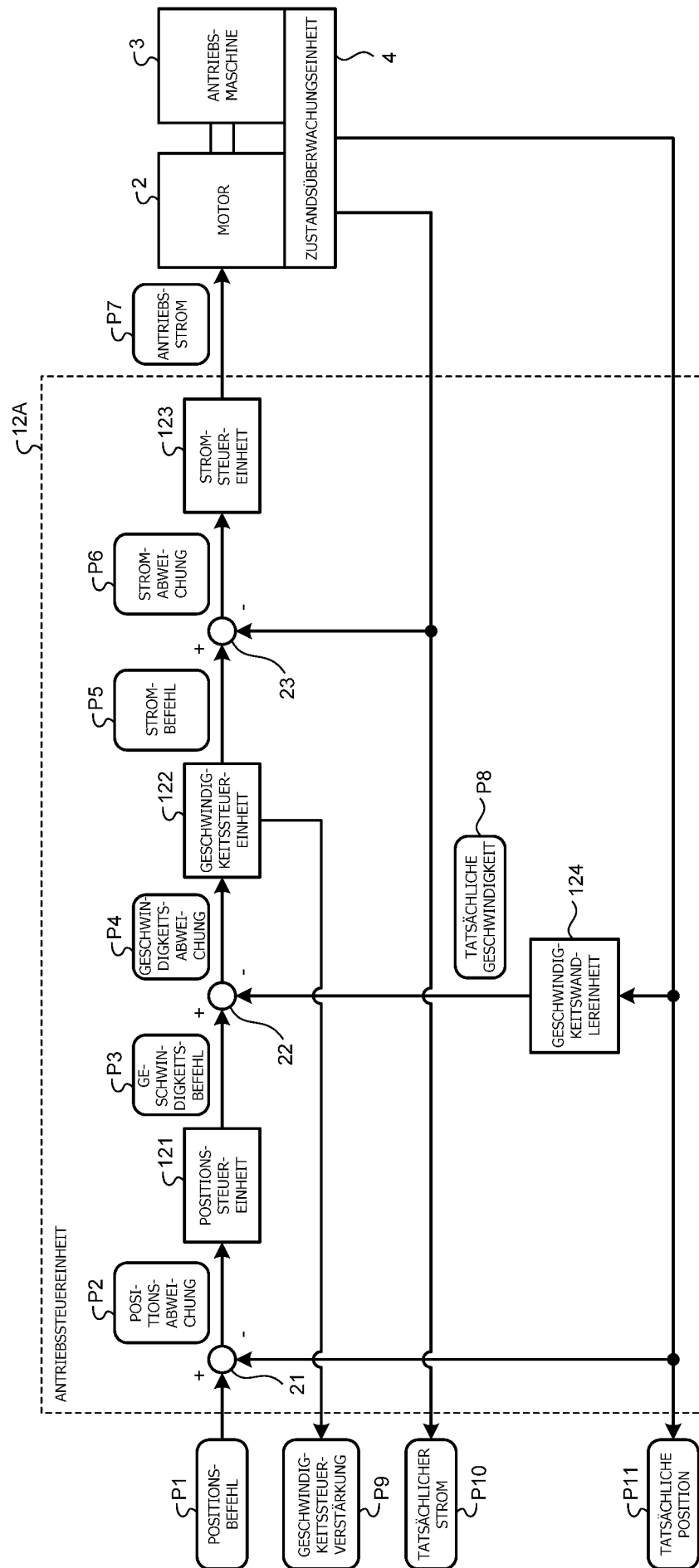


FIG.3

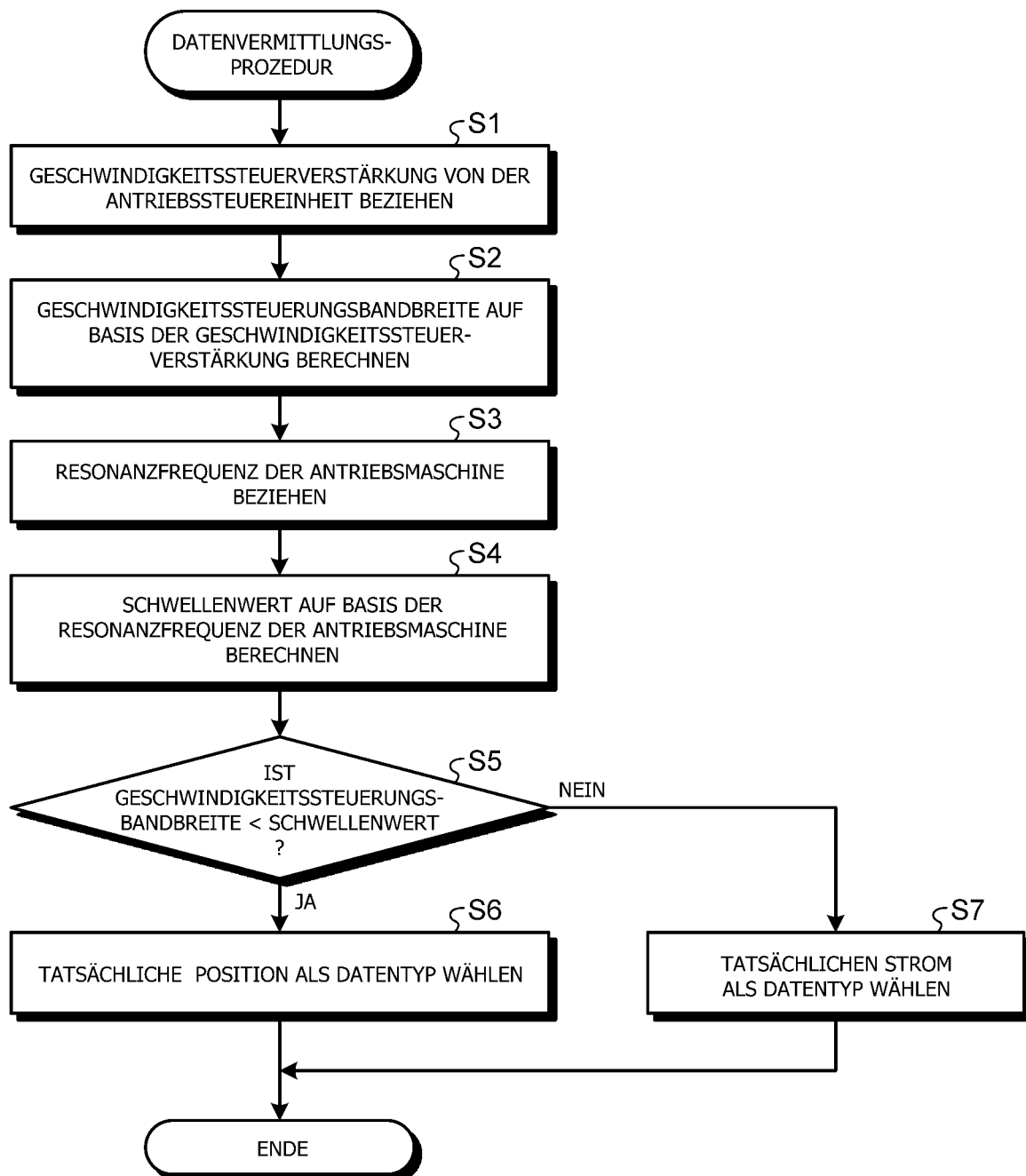


FIG.4

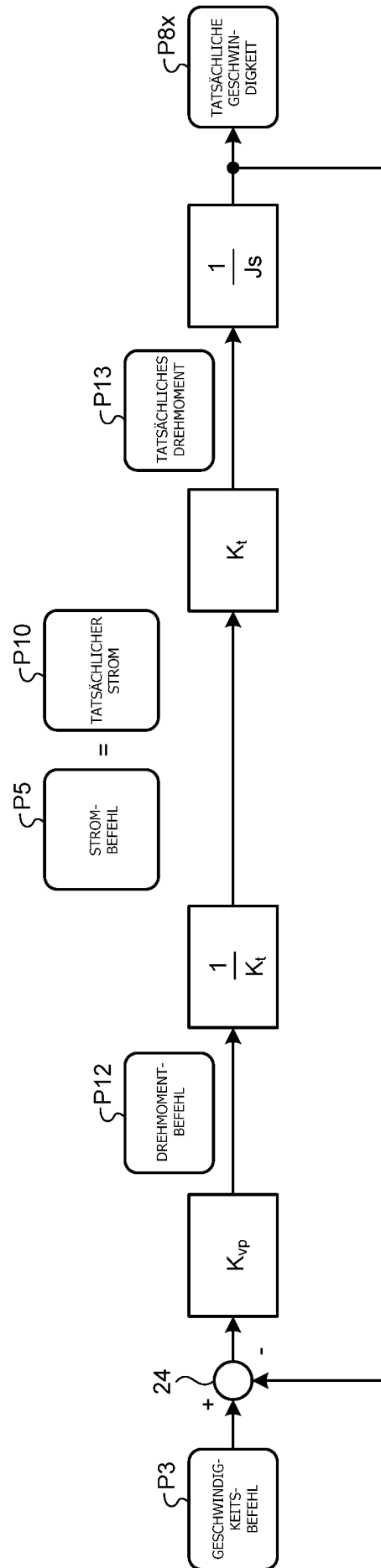


FIG.5

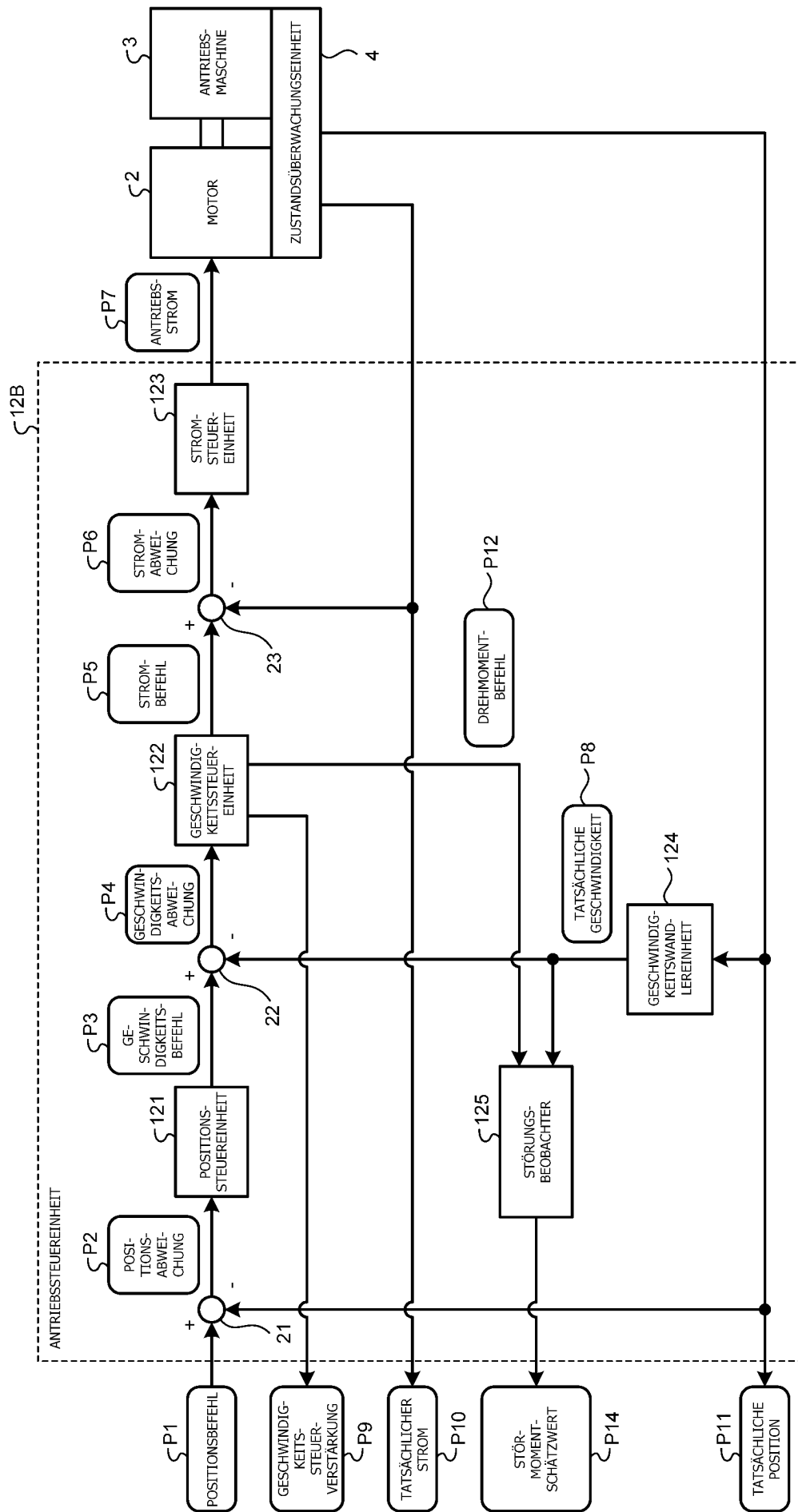


FIG.6

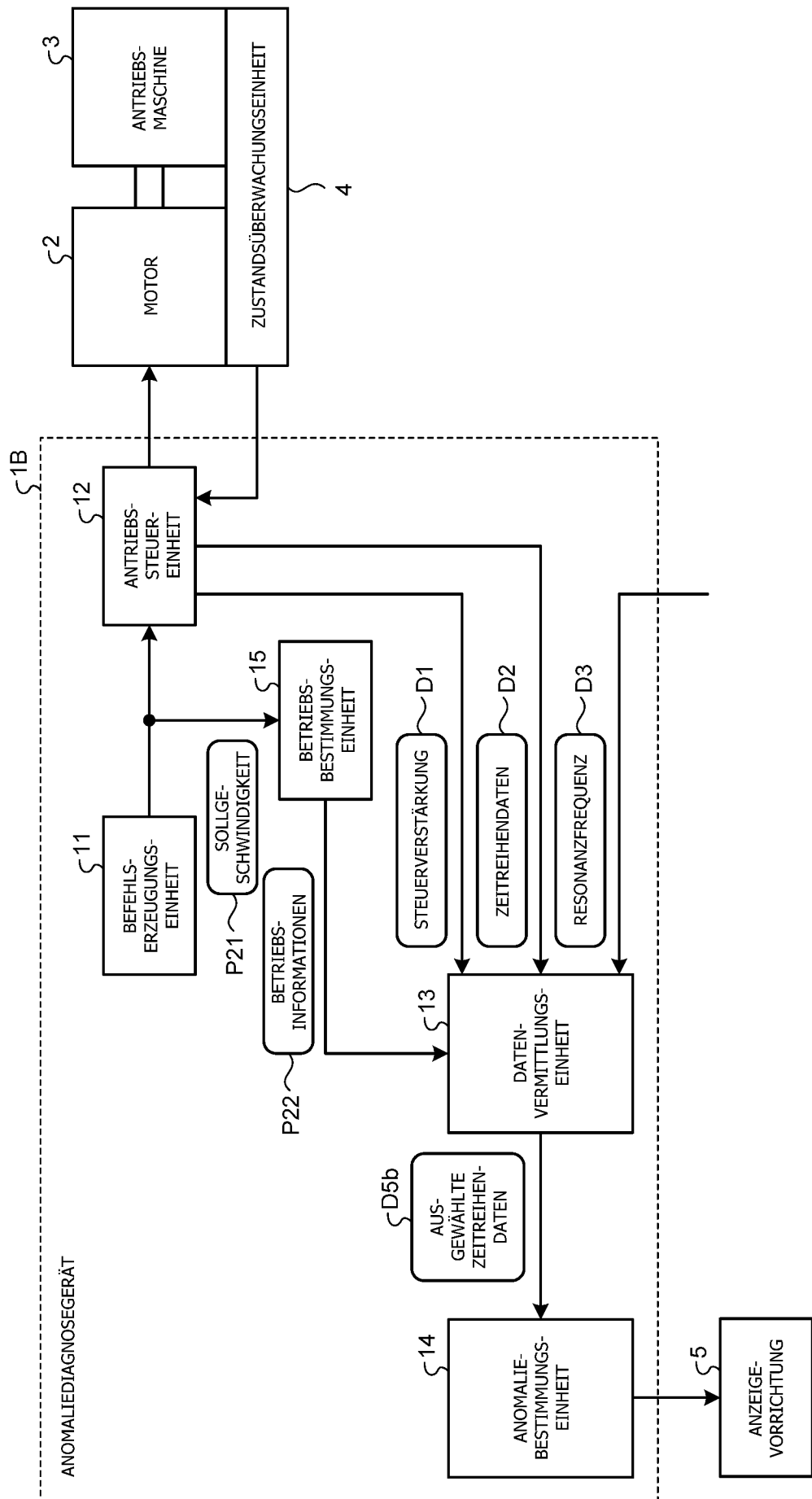


FIG.7

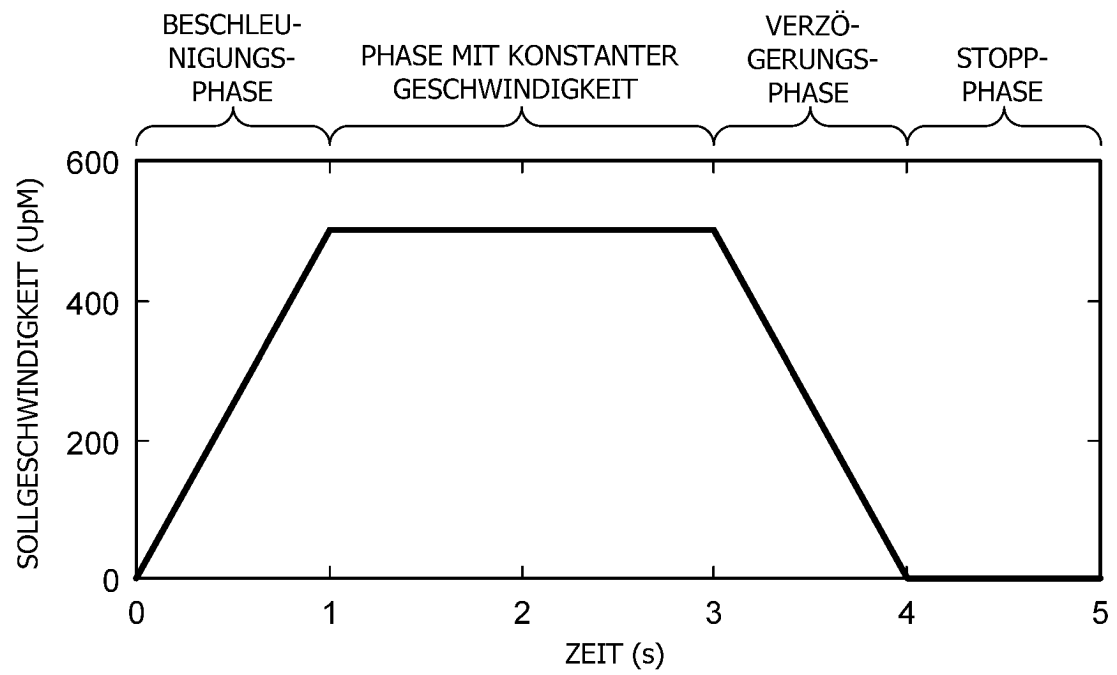


FIG.8

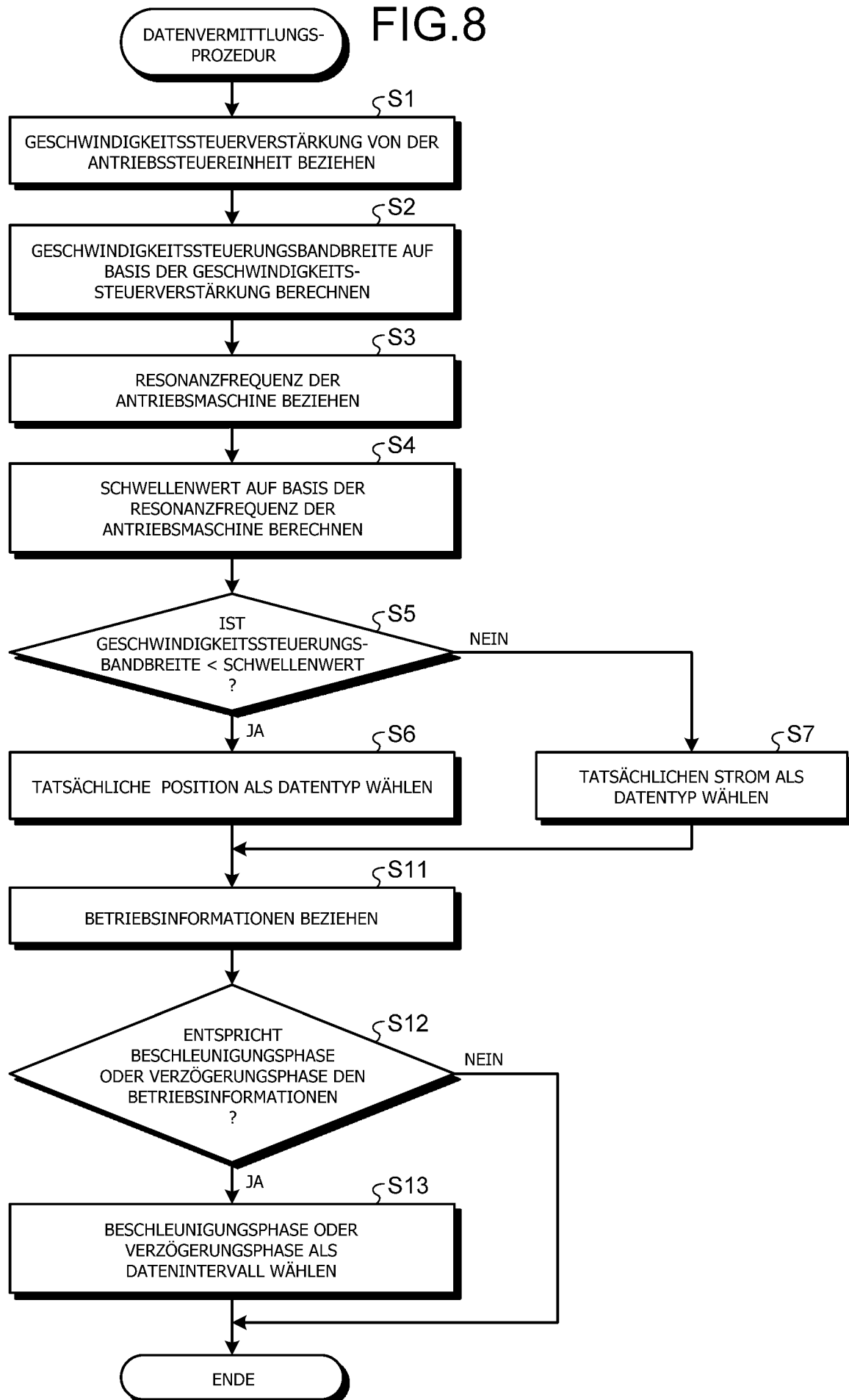


FIG.9

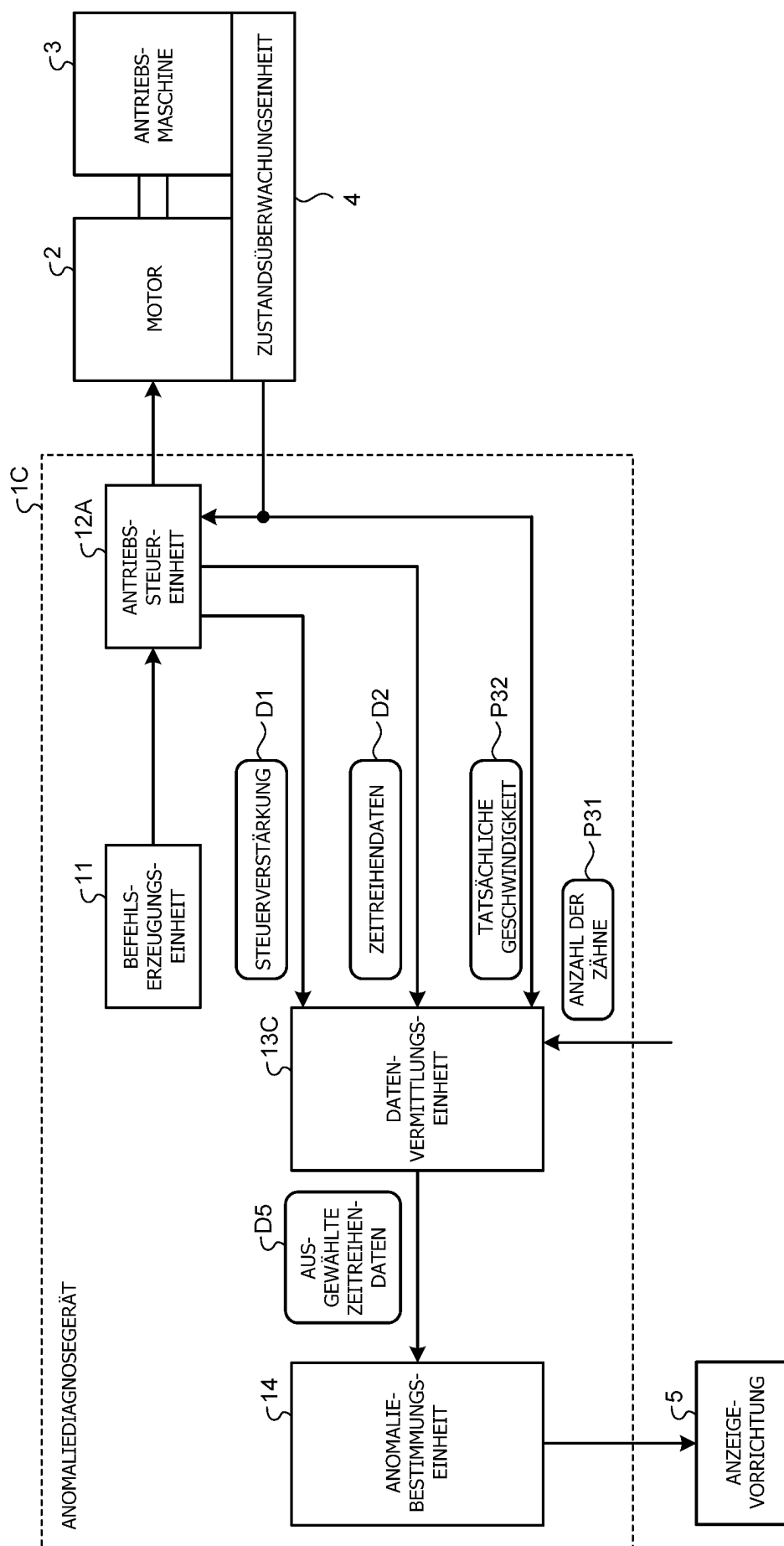


FIG.10

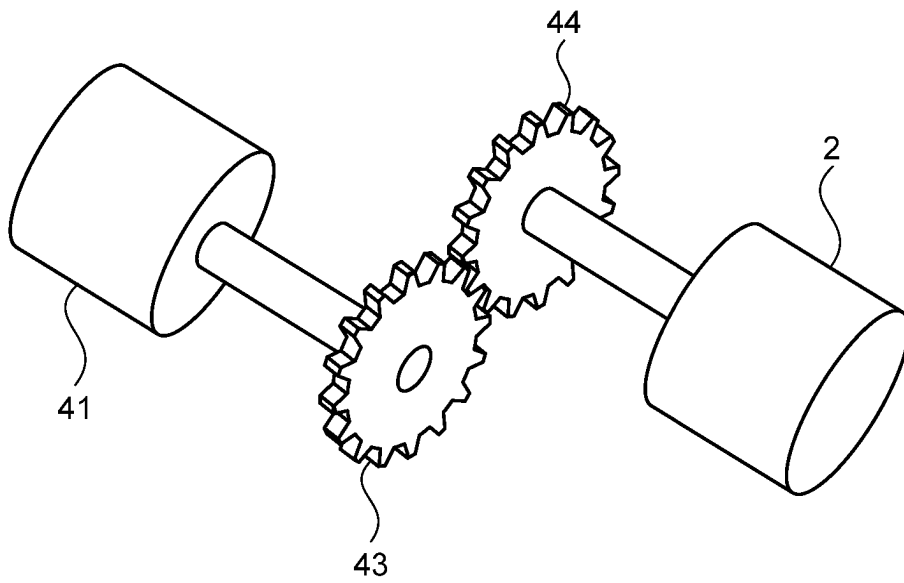


FIG.11

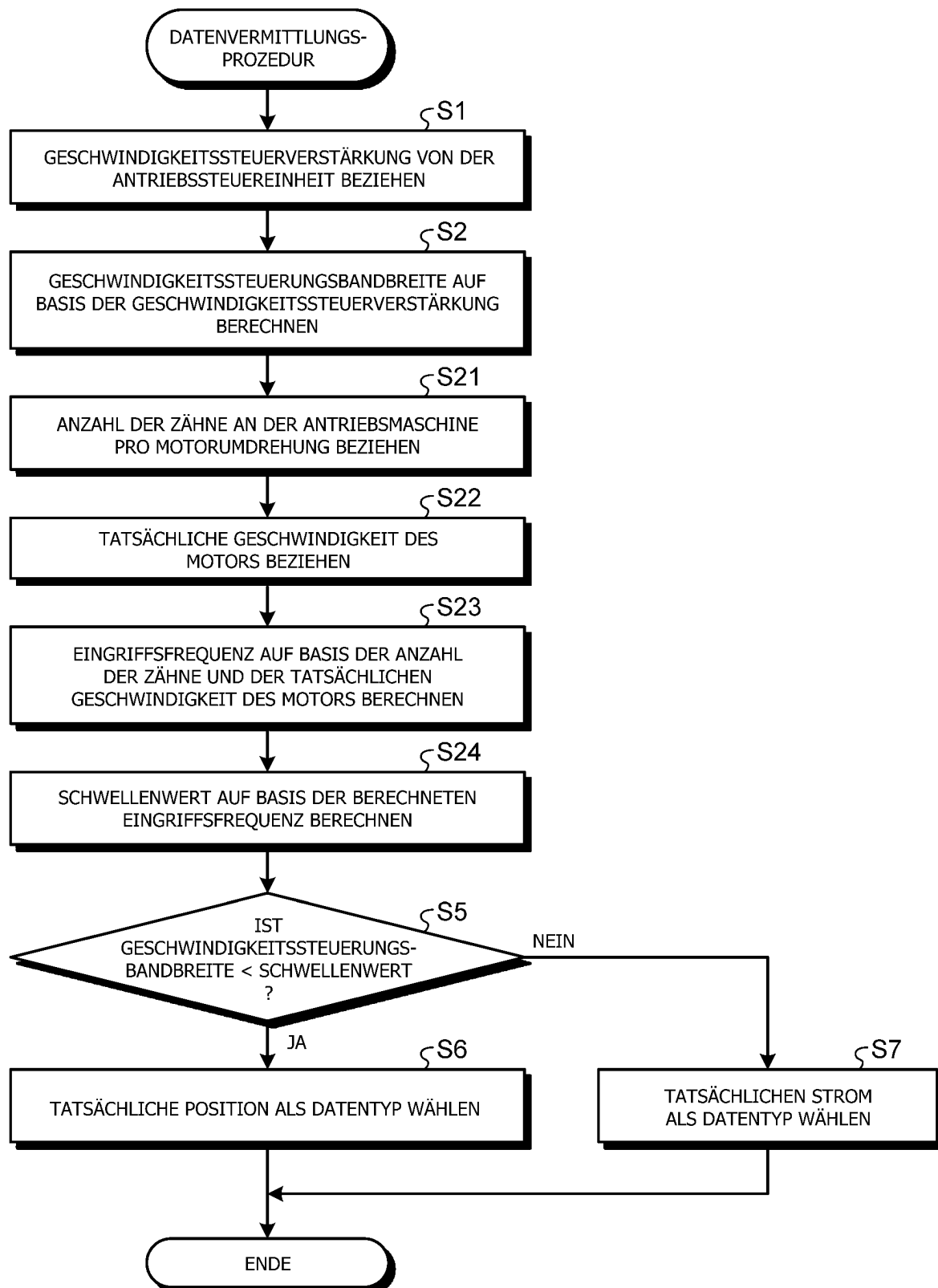


FIG.12

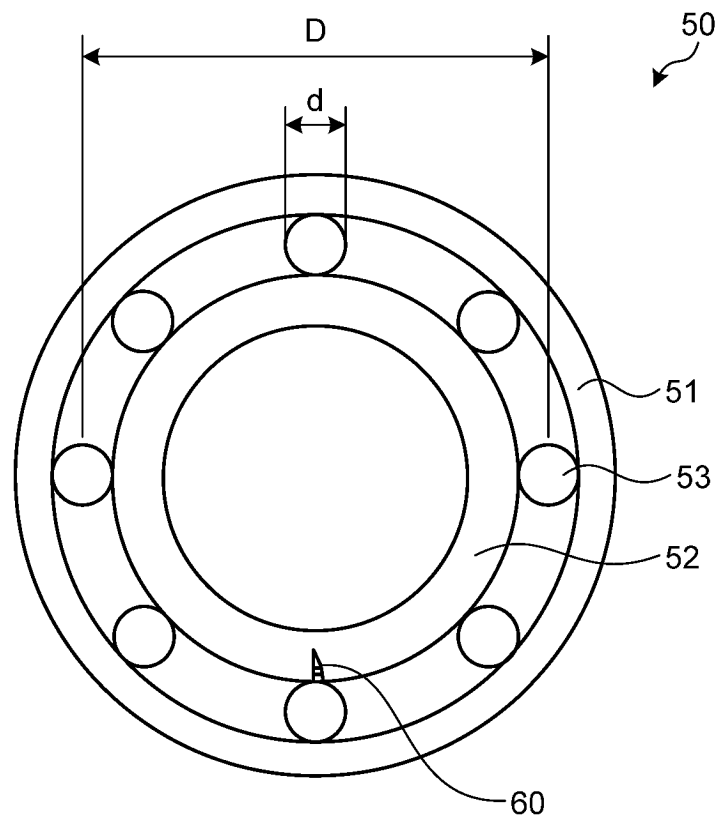


FIG.13

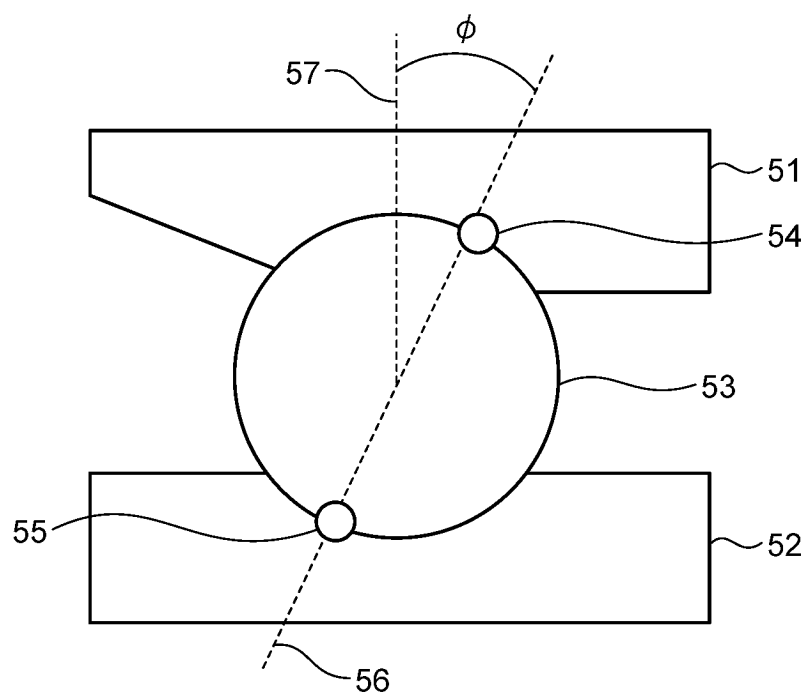


FIG.14

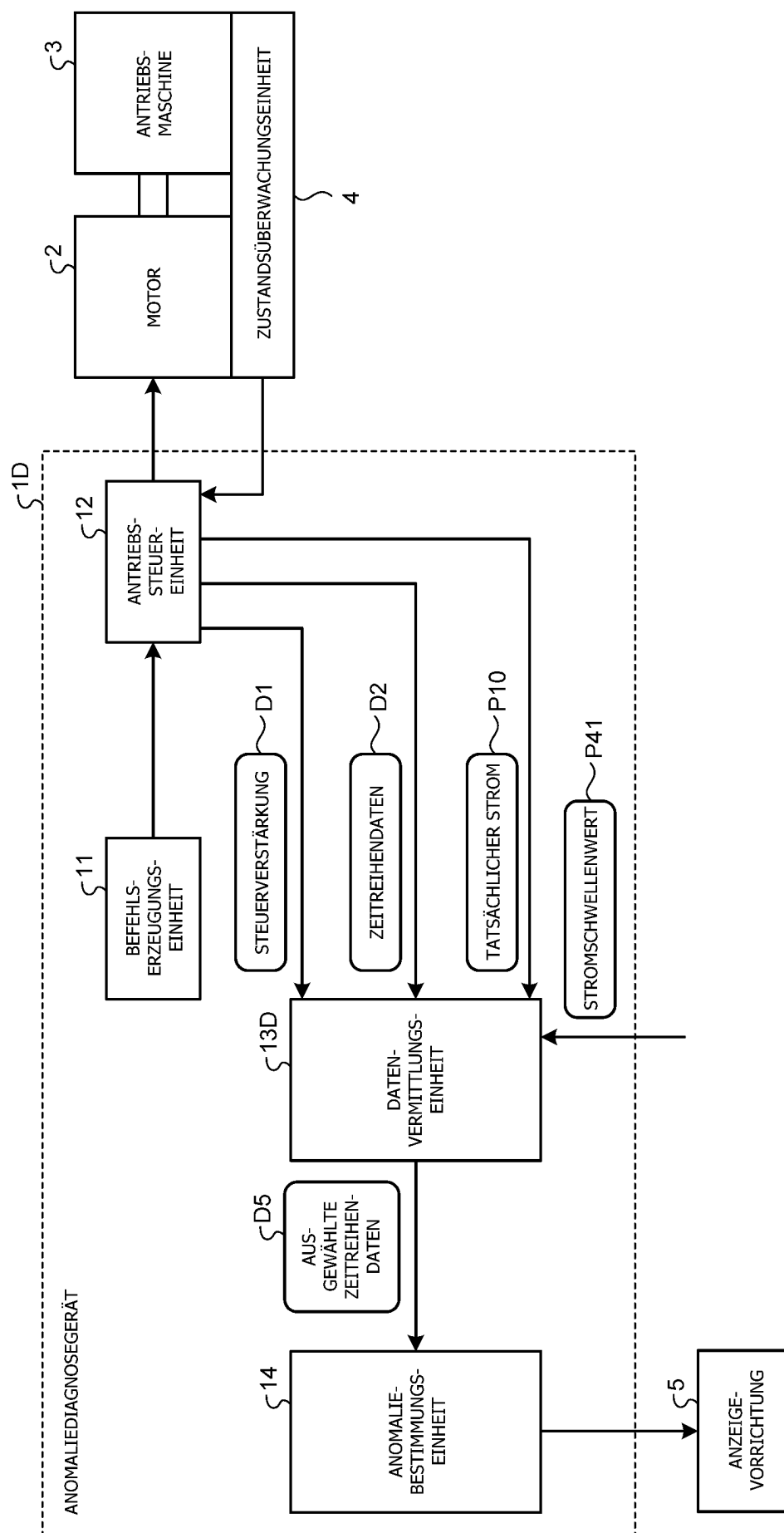


FIG.15

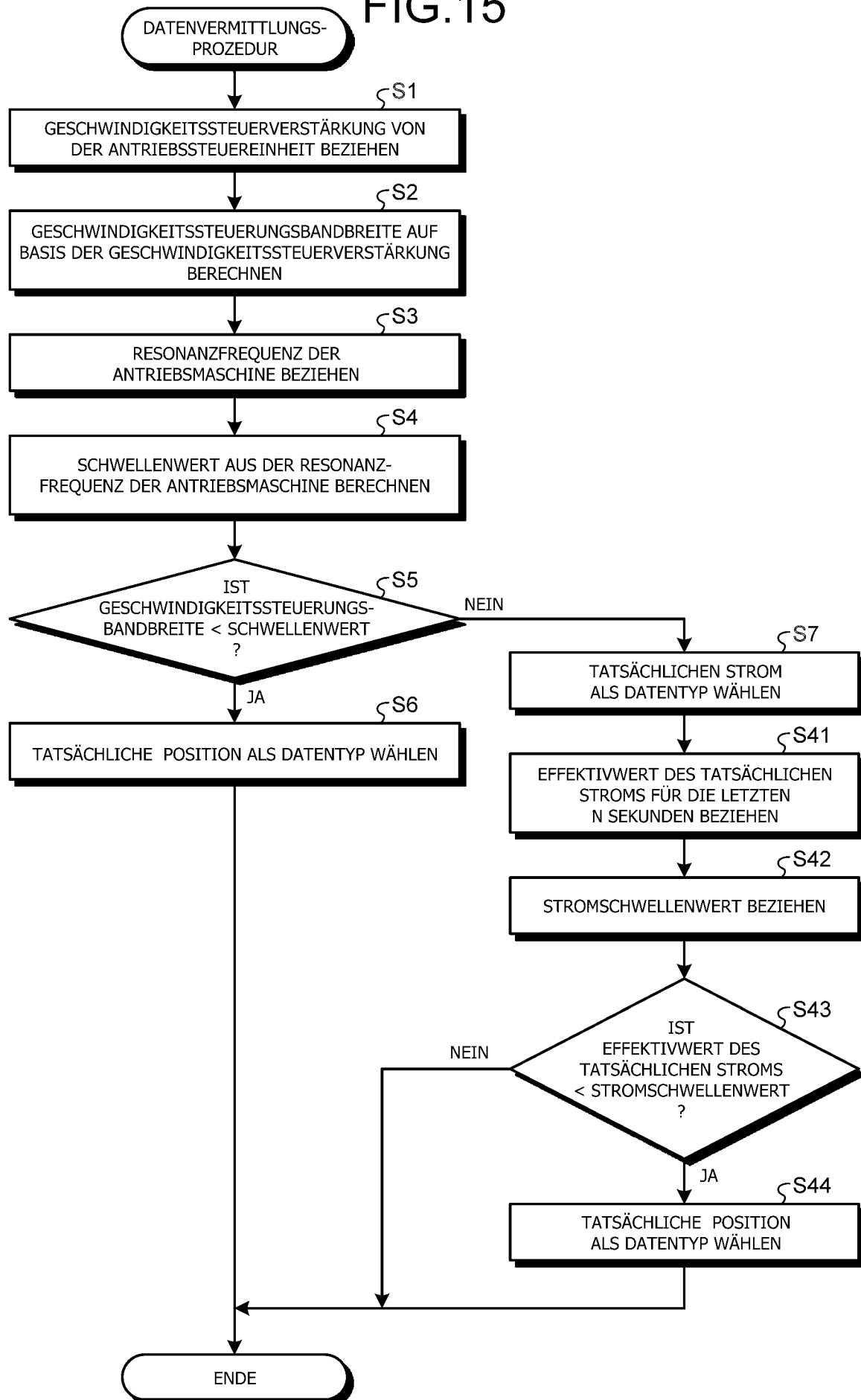


FIG.16

