



(10) **DE 11 2010 001 558 B4** 2017.02.09

(12)

## Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2010 001 558.9**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2010/053491**  
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2010/116825**  
(86) PCT-Anmeldetag: **25.02.2010**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **14.10.2010**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **31.10.2012**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **09.02.2017**

(51) Int Cl.: **B23Q 15/12 (2006.01)**  
**B23Q 17/12 (2006.01)**  
**G05B 19/404 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:  
**2009-113056**                      **10.04.2009**    **JP**

(73) Patentinhaber:  
**NT Engineering K.K., Takahama, Aichi, JP**

(74) Vertreter:  
**Puschmann Borchert Bardehle Patentanwälte  
Partnerschaft mbB, 82041 Oberhaching, DE**

(72) Erfinder:  
**Yamashita, Toru, Takahama-shi, Aichi, JP; Komai,  
Yasuhiro, Takahama-shi, Aichi, JP**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

<b>DE</b>	<b>35 15 061</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>10 2008 024 773</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2005 / 0 164 668</b>	<b>A1</b>
<b>WO</b>	<b>2006/ 042 845</b>	<b>A1</b>
<b>JP</b>	<b>2007- 044 852</b>	<b>A</b>

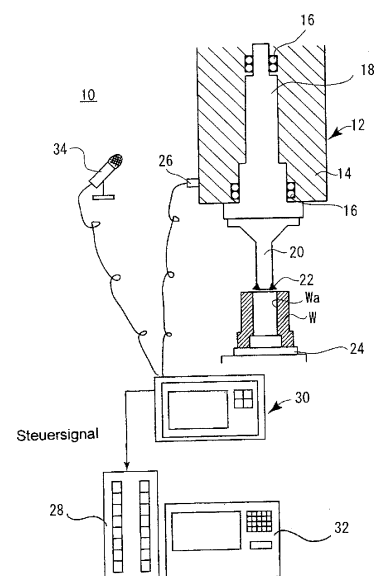
(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Ratterunterdrückung bei Arbeitsmaschinen**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Schwingungsunterdrückung für eine Arbeitsmaschine (12), um das Auftreten von Rattern bei der Bearbeitung eines Werkstücks mit einem Bearbeitungswerkzeug (20) zu verhindern, umfassend folgende Schritte:

Erfassen einer mit dem Anlauf der Drehung des Bearbeitungswerkzeugs (20) oder des Werkstücks auftretenden Schwingung;

Bestimmung, ob die seit dem Anlauf der Drehung erfasste Schwingung eine Schwelle überschritten hat; und

Analyse der Schwingung durch Fourier-Reihenentwicklung, wenn festgestellt wird, dass die Schwingung die Schwelle überschritten hat, und Einstellen der Drehzahl einer Maschinenspindel (18) auf der Grundlage eines arithmetischen Ausdrucks der Frequenz  $\times$  60/die Anzahl von Schneidezähnen (oder Multiplikation dieser), gekennzeichnet durch das Festlegen der bei Leerlauf der Maschinenspindel (18) auftretenden Eigenschwingung als Schwelle und durch Begrenzung der Analyse durch Fourier-Reihenentwicklung auf lediglich einen Schwingungsfrequenzbereich, bei dem Rattern tatsächlich auftritt.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Schwingungsunterdrückung für eine Arbeitsmaschine, um das Auftreten von Rattern bei der Bearbeitung eines Werkstücks durch ein Arbeitswerkzeug zu verhindern.

**[0002]** Im Allgemeinen kommen bei der Bearbeitung eines Werkstücks mit einem Bearbeitungswerkzeug diverse Werkzeugmaschinen zum Einsatz. Beim Ausbohren zum Beispiel handelt es sich um die Bearbeitung eines äußerst präzisen Bohrlochs an einer vorbestimmten Stelle mit einem Randbearbeitungsdurchmesser eines Bohrstangenwerkzeugs, wobei ein mit dem Bohrstangenwerkzeug(-rand) versehenes Bohrwerkzeug an einer Spindel einer Werkzeugmaschine angebracht ist und das Bohrwerkzeug, unter gleichzeitiger Drehung des Bohrwerkzeugs mit hoher Geschwindigkeit, sukzessive an einem vorbereiteten Loch entlang gefahren wird.

**[0003]** Bei dieser Art von Werkzeugmaschine kommt es aufgrund des Schnittwiderstands leicht zu einer Ablenkung des Bearbeitungswerkzeugs bzw. des Werkstücks. Diese Ablenkung verursacht Schwingungen bei Werkzeug und Werkstück, was dann bei der Bearbeitung als Rattern, einschließlich dem so genannten regenerativen Rattern, in Erscheinung treten kann.

**[0004]** Zur Unterdrückung des oben beschriebenen Ratterns werden im Stand der Technik verschiedene Verfahren angewandt.

**[0005]** Beispielsweise ist aus der DE 10 2008 024 773 A1 ein gattungsgemäßes Verfahren und ein gattungsgemäße Vorrichtung zur Schwingungsunterdrückung für eine Arbeitsmaschine bekannt, um das Auftretens von Rattern bei der Bearbeitung eines Werkstücks mit einem Bearbeitungswerkzeug zu verhindern. Hierbei wird mit dem Anlauf der Drehung eines Bearbeitungswerkzeugs oder des Werkstücks die auftretende Schwingung erfasst. Dann wird bestimmt, ob die seit dem Anlauf der Drehung erfasste Schwingung eine Schwelle überschritten hat. Schließlich wird die Schwingung durch Fourier-Reihenentwicklung analysiert. Wenn festgestellt wird, dass die Schwingung die Schwelle überschritten hat, wird die Drehzahl einer Maschinenspindel auf der Grundlage eines arithmetischen Ausdrucks der Frequenz  $\times 60$ /die Anzahl von Schneidezähnen (oder Multiplikation dieser) eingestellt.

**[0006]** Des Weiteren umfasst die in der offen gelegten ungeprüften japanischen Patentanmeldung Nr. 2007-44852 eine Schwingungsdetektionsvorrichtung zur Erfassung von Ratter-Schwingungsfrequenzen eines Schneidwerkzeugs, eines Arbeitsmaterials oder einer Bearbeitungsvorrichtung, sowie ei-

ne Rechenvorrichtung zur Berechnung der Drehzahl des Schneidwerkzeugs oder Arbeitsmaterials, um die Ratter-Schwingung auf Grundlage der erfassten Ratter-Schwingungsfrequenzen zu verringern.

**[0007]** Des Weiteren umfasst die Erfindung eine Ratter-Schwingungserkennungsvorrichtung zur Erkennung eines Typs von Ratter-Schwingung sowie eine Drehzahländerungsvorrichtung zum Ändern der Drehzahl des Schneidwerkzeugs bzw. der Anzahl der Umdrehungen des Arbeitsmaterials. Die Ratter-Schwingungserkennungsvorrichtung erkennt die Ratter-Schwingung auf der Grundlage einer Frequenzänderung der Ratter-Schwingung, wenn die Drehzahl der Drehvorrichtung von der Drehzahländerungsvorrichtung verändert wird.

**[0008]** Gemäß der oben genannten japanischen Patentanmeldung Nr. 2007-44852 erfolgt die Drehzahlberechnung des Schneidwerkzeugs bzw. der Anzahl der Umdrehungen des Arbeitsmaterials zur Verringerung einer Ratter-Schwingung jedoch erst nach dem tatsächlichen Auftreten von Rattern. Folglich kann das Arbeitsmaterial durch das Rattern leicht beeinflusst werden und wird somit möglicherweise nicht mit hoher Präzision bearbeitet.

**[0009]** Ferner erfolgt die Bestimmung, ob es sich um regeneratives oder um reibungsbedingtes Rattern handelt, auf Grundlage dessen, ob die Änderung der Ratter-Schwingungsfrequenz auf die Drehzahländerung der Spindel zurückzuführen war. Folglich ist ein Arbeitsgang zur Drehzahländerung der Spindel erforderlich, wodurch sich das Verfahren umständlich und zeitaufwändig gestaltet.

**[0010]** Durch die vorliegende Erfindung soll diesbezüglich Abhilfe geschaffen werden, und eine Aufgabe dieser Erfindung besteht darin, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Schwingungsunterdrückung für eine Arbeitsmaschine zur Verfügung zu stellen, damit sich das Auftreten von Rattern größtenteils verhindern lässt und eine höchst präzise Bearbeitung mit einfachen Vorgängen und einer einfachen Konfiguration effektiv stattfinden kann.

**[0011]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Schwingungsunterdrückung für eine Arbeitsmaschine, um das Auftreten von Rattern beim Bearbeiten eines Werkstücks mit einem Bearbeitungswerkzeug zu verhindern.

**[0012]** Dieses Schwingungsunterdrückungsverfahren beinhaltet die Schritte des Erkennens der mit dem Anlaufen der Drehung eines Bearbeitungswerkzeugs oder eines Werkstücks auftretenden Schwingung, des Bestimmens, ob die seit dem Anlauf der Drehung erfasste Schwingung eine Schwelle überschritten hat, und Analysieren der Schwingung mittels Fourier-Reihenentwicklung bei Feststellung einer

Schwellenwertüberschreitung der Schwingung, und Einstellen der Drehzahl einer Maschinenspindel auf Grundlage eines arithmetischen Frequenzausdrucks  $\times 60/\text{die Anzahl der Schneidezähne (oder Multiplikation dieser)}$ . Nach der Erfindung wird die bei Leerlauf der Maschinenspindel auftretende Eigenschwingung als Schwelle festgelegt und die Analyse durch Fourier-Reihenentwicklung auf lediglich einen Frequenzbereich begrenzt, bei dem Rattern tatsächlich auftritt.

**[0013]** Ferner betrifft die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zur Schwingungsunterdrückung für eine Arbeitsmaschine, um das Auftreten von Rattern bei der Bearbeitung eines Werkstücks mit einem Bearbeitungswerkzeug zu verhindern.

**[0014]** Diese Vorrichtung zur Schwingungsunterdrückung weist einen Schwingungsdetektionsmechanismus auf, der eine bei Anlaufen der Drehung eines Arbeitswerkzeugs oder eines Werkstücks auftretende Schwingung erfasst, einen Bestimmungsmechanismus, der bestimmt, ob die seit Anfang der Drehung an erfasste Schwingung eine Schwelle überschritten hat, sowie einen Rechenmechanismus, der die von Anfang der Drehung an erfasste Schwingung durch Fourier-Reihenentwicklung analysiert, wenn festgestellt wird, dass die Schwingung die Schwelle überschritten hat, und die Drehzahl einer Maschinenspindel gemäß einem arithmetischen Frequenzausdruck  $\times 60/\text{die Anzahl von Schneidezähnen (oder Multiplikation dieser)}$  anpasst. Nach der Erfindung ist die Analyse der seit Beginn der Drehung erfassten Schwingungen durch Fourier-Reihenentwicklung des Rechenmechanismus auf den Frequenzbereich begrenzt ist, bei dem Rattern tatsächlich auftritt, und ist die Schwelle durch eine durch Leerlaufdrehung der entsprechenden Maschinenspindel **(18)** verursachte Eigenschwingung gebildet.

**[0015]** Bei dem Verfahren und der Vorrichtung gemäß vorliegender Erfindung zur Schwingungsunterdrückung bei einer Arbeitsmaschine wird die Schwingung bereits ab dem Anfang der Drehung ermittelt und dann mittels Fourier-Reihenentwicklung analysiert. Die Fourier-Reihenentwicklung ermöglicht eine einfache Berechnung und eine schnelle Verarbeitung, was eine ausgezeichnete Verbesserungsmöglichkeit für die unmittelbare Umsetzbarkeit bietet. Dadurch lässt sich eine Ratter-Schwingung bereits vor dem tatsächlichen Auftreten von Rattern vorhersagen.

**[0016]** Somit lässt sich ein regeneratives Rattern, dessen Schwingung mit dem Beginn der Drehung von Null ansteigt, schnellstmöglich vorhersagen. Somit kann die Drehzahl der Maschinenspindel noch vor einer Beeinträchtigung aufgrund von Rattern angepasst werden und das Auftreten von regenerativem Rattern zuverlässig verhindert werden.

**[0017]** Gemäß einer ersten vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird eine Spitzenfrequenz in einem Integrationsintervall, das ein ganzzahliges Vielfaches einer Periode ( $1/\text{Frequenz}$ ) ist, durch die Fourier-Reihenentwicklung berechnet.

**[0018]** Vorzugsweise ist beinhaltet das Verfahren einen Prozess zur Bestimmung, ob es sich bei den Frequenzkomponenten, die berechnet werden, nachdem harmonische Komponenten aus Frequenzkomponenten entfernt wurden, die durch die Fourier-Reihenentwicklung berechnet wurden, so dass nur mit der Ursache der Schwingung in Zusammenhang stehende Frequenzkomponenten übrig bleiben, um eine durch regeneratives Rattern verursachte Schwingung handelt oder nicht.

**[0019]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung beinhaltet das Verfahren einen Prozess zur Bestimmung, dass der Spitzenwert der Frequenzkomponenten, die nach Entfernung der harmonischen Komponenten übrig bleiben, die Frequenz des regenerativen Ratterns ist, wenn der Spitzenwert nicht mit der Schwingung der Drehfrequenz des Bearbeitungswerkzeugs und der Schwingungsfrequenz der Anzahl von Schneidezähnen des Bearbeitungswerkzeugs übereinstimmt.

**[0020]** Bei der Vorrichtung zur Schwingungsunterdrückung für eine Arbeitsmaschine ist insbesondere der Rechenmechanismus eine Spitzenfrequenz in einem Integrationsintervall, das ein ganzzahliges Vielfaches einer Periode ( $1/\text{Frequenz}$ ) ist, durch die Fourier-Reihenentwicklung berechnet.

**[0021]** Vorzugsweise bestimmt der Rechenmechanismus, ob es sich bei den Frequenzkomponenten, die aus Frequenzkomponenten berechnet werden, welche durch die besagte Fourier-Reihenentwicklung berechnet wurden, aus denen harmonische Komponenten entfernt wurden, so dass nur mit der Ursache der Schwingung in Zusammenhang stehende Frequenzkomponenten übrig bleiben, um eine durch regeneratives Rattern verursachte Schwingung handelt oder nicht.

**[0022]** Der Rechenmechanismus kann auch bestimmen, ob der Spitzenwert in den besagten Frequenzkomponenten, aus denen die besagten harmonischen Komponenten entfernt wurden, die Frequenz des regenerativen Ratterns ist, wenn der besagte Spitzenwert nicht mit der Schwingung der Drehfrequenz der besagten Maschinenspindel und der Schwingungsfrequenz der Anzahl von Schneidezähnen des Bearbeitungswerkzeugs übereinstimmt. Weitere Vorteile, Merkmale und Anwendungsmöglichkeiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung in Verbindung

mit den in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen.

**[0023]** In der Beschreibung, in den Ansprüchen und in der Zeichnung werden die in der unten aufgeführten Liste der Bezugszeichen verwendeten Begriffe und zugeordneten Bezugszeichen verwendet. In der Zeichnung bedeutet:

**[0024]** Fig. 1 eine veranschaulichende Schemadarstellung einer Vorrichtung zur Schwingungsunterdrückung für eine Arbeitsmaschine gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung;

**[0025]** Fig. 2 eine veranschaulichende Darstellung einer Steuerung zur Schwingungsunterdrückung, die die Vorrichtung zur Schwingungsunterdrückung darstellt;

**[0026]** Fig. 3 eine erste Stufe eines Ablaufdiagramms zur Beschreibung eines Verfahrens zur Schwingungskontrolle mittels der Vorrichtung zur Schwingungsunterdrückung;

**[0027]** Fig. 4 eine zweite Stufe des Ablaufdiagramms;

**[0028]** Fig. 5 eine veranschaulichende Darstellung jeweils der im Leerlauf bzw. der während des Schneidens auftretenden Schwingung;

**[0029]** Fig. 6 ein Ablaufdiagramm der Schwellwert-einstellung;

**[0030]** Fig. 7 eine veranschaulichende Darstellung dessen, wenn die Spindeldrehzahl auf der Stabilitätskeule liegt;

**[0031]** Fig. 8 eine veranschaulichende Darstellung eines stabilen Schneidvorgangs;

**[0032]** Fig. 9 eine veranschaulichende Darstellung dessen, wenn der Oberschwingungen während eines stabilen Schneidvorgangs entfernt werden;

**[0033]** Fig. 10 eine veranschaulichende Darstellung dessen, wenn die Anzahl der Spindelumdrehungen auf der Stabilitätskeule liegt;

**[0034]** Fig. 11 eine erläuternde Darstellung von Spitzenpegeln bei Auftreten eines Anzeichens für Rattern;

**[0035]** Fig. 12 eine veranschaulichende Schemadarstellung einer Vorrichtung zur Schwingungsunterdrückung für eine Arbeitsmaschine gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

**[0036]** Fig. 13 eine erläuternde Schemadarstellung einer Vorrichtung zur Schwingungsunterdrückung für eine Arbeitsmaschine gemäß einer dritten Ausführungsform der Erfindung.

**[0037]** Wie in Fig. 1 gezeigt, ist die Vorrichtung 10 gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zur Schwingungsunterdrückung für eine Arbeitsmaschine an einer Werkzeugmaschine 12 angebracht.

**[0038]** Diese Werkzeugmaschine 12 weist eine Spindel 18 auf, die mittels Lager 16 drehbar im Inneren eines Gehäuses 14 gelagert ist, und eine abnehmbar an der Spindel 18 befestigte Bohrstange – Bearbeitungswerkzeug – 20 sowie ein am Ende der Spitze der Bohrstange 20 angebrachtes Bohrstangenwerkzeug 22. Auf dem Werkstück 24 befindet sich ein Werkstück W.

**[0039]** Die Vorrichtung 10 zur Schwingungsunterdrückung weist einen an einem Seitenabschnitt des Gehäuses 14 angebrachten Beschleunigungssensor, Schwingungsdetektionsmechanismus, 26 zur Erfassung der beim Drehanlauf der Bohrstange 20 auftretenden Schwingung auf sowie eine Steuereinheit 30 zur Schwingungsunterdrückung, die die zu Beginn der Drehung der Bohrstange 20 erfasste Schwingung mittels Fourier-Reihenentwicklung analysiert, die Drehzahl der Spindel 18 anpasst und eine aktualisierte Anzahl an eine Maschinensteuervorrichtung 28 ausgibt. Die Maschinensteuervorrichtung 28 steuert die Werkzeugmaschine 12 und ist mit einer Betriebssteuerkonsole 32 verbunden.

**[0040]** Zusätzlich zu dem Beschleunigungssensor 26 verwendet der Schwingungsdetektionsmechanismus auch ein Mikrofon 34 zur Erfassung von Schwingungsgeräuschen durch Schallwellen. Außerdem kann der Beschleunigungssensor 26 auch seitlich zu einem Werkstück W angebracht werden, zum Beispiel am Werkstück 24 statt am Gehäuse 14.

**[0041]** Wie es in Fig. 2 gezeigt ist, weist die Steuereinheit 30 zur Schwingungsunterdrückung eine Recheneinheit – Rechenmechanismus – 38 zur Schwingungsunterdrückung auf, die die vom Beschleunigungssensor 26 etc. erfasste mechanische Schwingung – Bearbeitungsschwingung – durch eine Verstärker- und Filterschaltung 36 verstärkt und aufnimmt.

**[0042]** An die Recheneinheit 38 zur Schwingungsunterdrückung ist folgendes angeschlossen: Eine Anweisungseinheit 40 zur Vorgabe einer – nachstehend beschriebenen – Schwelle zum Beginn der Rechenverarbeitung aus einem Schwingungsüberwachungszustand, eine Eingabeeinheit 42 zur Eingabe von Bearbeitungsbedingungen, wie die Drehzahl der Spindel 18 und die Anzahl von Schneidezähnen des

Stangenwerkzeugs **22**, eine Anzeigeeinheit **44** zur Anzeige des Bearbeitungszustands etc. nach außen, sowie eine Ausgabeinheit **46** für eine aktualisierten Anzahl zur Ausgabe der von der – nachstehend beschriebenen – Rechenverarbeitung angepassten Anzahl von Spindelumdrehungen. Die Ausgabeinheit **46** für eine aktualisierte Anzahl gibt die von der Werkzeugmaschinensteuervorrichtung **28** der Werkzeugmaschine **12** aktualisierte Spindeldrehzahl automatisch aus.

**[0043]** Es folgt nunmehr eine Beschreibung eines Verfahrens zur Schwingungsunterdrückung, bei dem die Vorrichtung **10** zur Schwingungsunterdrückung mit der oben beschriebenen Konfiguration zum Einsatz kommt, unter Bezugnahme auf das in **Fig. 3** dargestellte Ablaufdiagramm und die nachfolgenden Zeichnungen.

**[0044]** Wie **Fig. 1** zeigt, wird in der Werkzeugmaschine **12** die Spindel **18** mit daran befestigter Bohrstange **20** in Drehung versetzt und das Werkzeug in bzw. an einem vorbereiteten Loch **Wa** in einem Werkstück **W** entlang gefahren. Dann bewegt sich die Bohrstange **20** relativ zur Seite des vorbereiteten Lochs **Wa** des Werkstücks **W**. Somit dreht sich die Bohrstange **20**, wobei dann die Innenwandfläche, die das vorbereitete Loch **Wa** darstellt, mittels des an der Bohrstange **20** angebrachten Stangenwerkzeugs **22** ausgebohrt wird.

**[0045]** Die Spindel **18** beginnt mit einem Drehantrieb – Schritt **S1** – und gleichzeitig beginnt die Vorrichtung **10** zur Schwingungsunterdrückung eine Überwachung der Bearbeitungsschwingung über den Beschleunigungssensor **26** und/oder das Mikrofon **34** – Schritt **S2**. Bei der Recheneinheit **38** zur Schwingungsunterdrückung wird bestimmt, ob eine über die Verstärker- und Filterschaltung **36** aufgenommene Bearbeitungsschwingung eine automatisch voreingestellte Schwelle überschritten hat, zum Beispiel eine während des Leerlaufs der Spindel **18** auftretende Schwingung – Schritt **S3**.

**[0046]** Hier erfolgt ein Vergleich der beim Leerlauf der Spindel **18** vor Beginn des Bearbeitungsvorgangs auftretenden Schwingung mit der bei Änderung des Schneidvorganges tatsächlich auftretenden Schwingung, wie in **Fig. 5** gezeigt. Durch Einstellung der beim Leerlauf der Spindel **18** auftretenden Schwingung als Toleranz erfolgt eine Berechnung der Schwelle der Schwingungsanalyse. Im Einzelnen wird, wie in **Fig. 6** gezeigt, zu Beginn des Leerlaufs der Spindel **18** – Schritt **S31** die bei diesem Leerlauf auftretende Schwingung erfasst – Schritt **S32**. In Eingabeeinheit **42** zur Eingabe des Bearbeitungszustands erfolgt dann die Berechnung der Einstellung der Schwelle – Schwingungsamplitude – und eine Leerlauftoleranzschwelle wird eingestellt – Schritt **S33**.

**[0047]** Bei der Feststellung, dass die Bearbeitungsschwingung die Schwelle überschritten hat – JA in Schritt **S3** – geht der Vorgang dann weiter zu Schritt **S4** und es wird eine arithmetische Analyse der Bearbeitungsschwingung gemäß einer Fourier-Transformation – Fourier-Reihenentwicklung – durchgeführt. Im Einzelnen wird die Schwingung  $f(t)$  über die Zeit wie folgt ausgedrückt:

$$f(t) = \sum (a_j \cos 2\pi Jt + b_j \sin 2\pi Jt)$$

**[0048]** Dabei ist  $a_j$  ein Fourier-Koeffizient der harmonischen Kosinus-Komponente der Frequenz  $J$  und  $b_j$  ist ein Fourier-Koeffizient der harmonischen Sinus-Komponente der Frequenz  $J$ .

**[0049]** Die Fourier-Koeffizienten bezüglich der Frequenz  $J$  werden einer Fourier-Reihenentwicklung auf der Grundlage von  $a_j = 1/2T \int_0^T f(t) \cos(2\pi Jt) dt$  und  $b_j = 1/2T \int_0^T f(t) \sin(2\pi Jt) dt$  unterzogen. Das Integrationsintervall ist 0 bis  $T$ , und dieses Komponentenintervall  $T$  ist ein ganzzahliges Vielfaches der Periode  $1/J$ .

**[0050]** Hier wird zur Verbesserung der Echtzeitleistung (unmittelbare Umsetzbarkeit) durch Fourier-Reihenentwicklung die Schwingungsfrequenz, bei der Rattern tatsächlich auftritt, beispielsweise auf 20 Hz bis 4000 Hz beschränkt, um die zu analysierende Datenmenge zu minimieren.

**[0051]** Dann geht das Verfahren weiter zu Schritt **S5** und auf der Grundlage der erhaltenen Fourier-Koeffizienten wird ein Leistungsspektrum  $P(J)$  – maximale Schwingungsamplitude – anhand von  $P(J) = a_j^2 + b_j^2$  berechnet.

**[0052]** Als nächstes geht es im Verfahren weiter zu Schritt **S6**, und es wird grob nach einer Frequenzspitze gesucht. Die grobe Suche ist eine Suche nach einem Spitzenwert für eine grob abgetastete Spitze des Leistungsspektrums eines durch Fourier-Reihenentwicklung verarbeiteten Schwingungssignals. Genauer gesagt wird dabei ein Frequenzbereich zwischen 20 Hz und 4000 Hz in Einheiten von 10 Hz abgetastet – erste Frequenz.

**[0053]** Ist darin kein Spitzenwert vorhanden – NEIN in Schritt **S7**, kehrt das Verfahren zurück zu Schritt **S2** und es erfolgt eine Schwingungsüberwachungsverarbeitung. Wird andererseits bestimmt, dass der Spitzenwert enthalten ist – JA in Schritt **S7**, dann geht der Prozess weiter zu Schritt **S8**, und ein grob gesuchter Spitzenwert wird genau gesucht. Eine genaue Suche ist das Abtasten von mehreren zehn Hz vor und nach dem grob gesuchten Spitzenwert in Einheiten von 1 Hz – zweite Frequenz.

**[0054]** Dann geht der Prozess weiter zu Schritt **S9** und wenn kein Spitzenwert vorhanden ist – NEIN in Schritt **S9**, kehrt der Prozess zu Schritt **S2** zurück und

es erfolgt eine Schwingungsüberwachungsverarbeitung. Wird andererseits festgestellt, dass ein Spitzenwert enthalten ist – JA in Schritt S9, geht der Prozess weiter zu Schritt S10 und eine Frequenzspitze – Grundschiwingung – maximaler Leistung wird gesucht.

**[0055]** Wird eine mechanische Schwingung einer Fourier-Reihenentwicklung unterzogen, dann werden hier eine Grundfrequenzkomponente und harmonische Komponenten – Harmonische zweiter und dritter Ordnung, etc. – berechnet. Die harmonischen Komponenten sind Frequenzen, die ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz sind, und es handelt sich dabei um unnötige Signale, die in keinem Zusammenhang zur physikalischen Ursache der Schwingung stehen, die die Grundfrequenz ursprünglich aufweist. Wird in Schritt S11 geurteilt, dass eine harmonische Komponente enthalten ist – JA in Schritt S11, geht daher der Prozess weiter zu Schritt S12, und diese Harmonische wird entfernt. Entsprechend wird nur eine Grundschiwingung in Zusammenhang mit der Ursache der Schwingung erhalten.

**[0056]** Normalerweise liegt während einer stabilen Bearbeitung durch die Werkzeugmaschine **12**, wie in **Fig. 7** und **Fig. 8** gezeigt, die Drehzahl der Spindel **18** in einem Stabilitätsbereich. **Fig. 7** zeigt eine Veränderung der Schneidgrenze, bei der Rattern auftritt, auf die Drehzahl der Spindel **18** bezogen, und die Stabilitätsgrenze wird besonders hoch, d. h. es ist ein Stabilitätsloch vorhanden. Insbesondere wird dabei die Ratter-Schwingung unterdrückt, indem die Drehzahl der Spindel **18** auf einen Wert gleich der Ratter-Schwingungsfrequenz  $\times 60$ /die Anzahl von Schneidezähnen oder einen ganzzahligen Bruchteil davon eingestellt wird.

**[0057]** Wie in **Fig. 8** gezeigt, beinhalten andererseits die zu berechnenden Frequenzkomponenten zum Beispiel eine Grundfrequenzkomponente A – die Leerlaufdrehzahl der Spindel **18**, eine Schwingungskomponente B vor dem Anwachsen zu Rattern sowie eine harmonische Komponente zweiter Ordnung C sowie eine harmonische Komponente dritter Ordnung D. Die Grundfrequenzkomponente A ist ein numerischer Wert, der der Eingabeeinheit **42** für Bearbeitungsbedingungen im Voraus eingegeben wird, und sie wird nicht angewiesen, den numerischen Wert zu ändern.

**[0058]** Daher werden bei der Verarbeitung zum Entfernen von Harmonischen zunächst die aufgenommenen Schwingungsfrequenzen einer Fourier-Reihenentwicklung unterzogen und dann in ein Leistungsspektrum umgewandelt, und aus den Daten eine Frequenz mit der höchsten Leistungsspitze ausgewählt. Als nächstes wird diese als Grundschiwingung definiert, eine Frequenz, die ein ganzzahliges Vielfaches der Grundschiwingung ist, wird als Har-

monische betrachtet, und die Harmonische wird mit dem berechneten Spitzenwert des Leistungsspektrum verglichen.

**[0059]** Der Vergleich erfolgt in ansteigender Reihenfolge der Frequenzspitze, und bei jedem Spitzenwert, der der Harmonischen entspricht, wird diese entfernt. Als Ergebnis werden Harmonische (die harmonische Komponente zweiter Ordnung C und die harmonische Komponente dritter Ordnung D) entfernt und es bleibt nur eine Grundfrequenzkomponente übrig. Dies bedeutet, dass nur eine Schwingungsfrequenz, die in Zusammenhang mit einer physikalischen Ursache der Schwingung steht, erfasst wird, siehe **Fig. 9**.

**[0060]** Mit dieser Verarbeitung zum Löschen harmonischer Komponenten können auch Signale, bei denen es sich nicht um Rattern handelt, d. h. Störsignale etc., gelöscht werden, so dass die Zuverlässigkeit der Signalanalyse gesteigert werden kann. Dies dient der Erfassungssicherheit, und ist insbesondere bei der Erfassung von Schwingung über das Mikrofon **34** wirkungsvoll.

**[0061]** Ähnlich wird dann eine nächste Frequenzspitze – Grundschiwingung – maximaler Leistung gesucht – Schritt S13 – und bei Feststellung, dass keine Spitze vorhanden ist – JA in Schritt S14, geht der Prozess weiter zu Schritt S15 und es wird bestimmt, ob es sich bei der Schwingung um Ratter-Schwingung handelt.

**[0062]** Bei der ersten Ausführungsform wird eine Analyse in einem praktischen Schwingungsbereich durchgeführt, zum Beispiel 20 Hz bis 4000 Hz, und die Schwingungsfrequenz schließt die Schwingungsfrequenz, einschließlich Harmonischer, der Drehzahl der Spindel **18**, die Schwingungsfrequenz, einschließlich Harmonischer, die durch Multiplikation der Anzahl von Schneidezähnen des für die Spindel zu verwendenden Stangenwerkzeugs **22** erhalten wurde, sowie eine bearbeitungsbedingte Ratter-Schwingungsfrequenz ein.

**[0063]** Daher wird die Drehzahl der Spindel **18** sowie die Anzahl von Schneidezähnen des Stangenwerkzeugs **22** etc. der Recheneinheit **38** zur Schwingungsunterdrückung im Voraus eingegeben. Somit wird eine Schwingung, die nicht der Schwingungsfrequenz der Drehzahl der Spindel **18** und der durch Multiplikation der Anzahl von Schneidezähnen des Stangenwerkzeugs **22** erhaltenen Schwingungsfrequenz entspricht, zu einer Ratter-Schwingungsfrequenz oder ein Anzeichen dafür. Indem stets diese Verarbeitungsreihe ab dem Beginn der Bearbeitung durchgeführt wird, lässt sich ein Anzeichen für Ratter-Schwingung automatisch aus mechanischer Schwingung berechnen.

**[0064]** Genauer gesagt wird ein Vergleich durchgeführt um zu bestimmen, ob ein Spitzenwert der be-

rechneten Frequenz, aus der harmonische Komponenten entfernt wurden, gleich der Schwingungsfrequenz – Drehzahl/60 – der Spindel **18**, die im Voraus als Bearbeitungsbedingung eingegeben wurde, oder der Schwingungsfrequenz – Drehzahl  $\times$  der Anzahl von Schneidezähnen/60 – des Stangenwerkzeugs **22** ist – Schritt S16 und Schritt S17.

**[0065]** Entspricht hier der Spitzenwert der berechneten Frequenz dem im Voraus eingegebenen Informationswert – JA in Schritt S16 und S17, dann wird sie als erzwungene Schwingung bestimmt, die auf Schwankung der Bearbeitungskraft bei der Drehbearbeitung der Spindel **18** oder intermittierende Wiederholung des Schneidvorgangs durch die Schneidezähne des Stangenwerkzeugs **22** zurückzuführen ist – Schritt S18, und der Prozess kehrt zur Schwingungsüberwachung – Schritt S19 – zurück.

**[0066]** Andererseits wird bei Erfassung einer berechneten Frequenzspitze, die diese Bedingung nicht erfüllt, NEIN in Schritt S16 und S17, diese als Frequenz eines regenerativen Ratterns bestimmt – Schritt S20 – und der Prozess geht weiter, um eine Änderung der Anzahl mechanischer Umdrehungen zur Anpassung der Drehzahl der Spindel **18** anzuweisen – Schritt S21.

**[0067]** Zum Beispiel kommt es bei niedriger Schnittbearbeitbarkeit des Werkstücks W oder bei einem Werkstück W von geringer Stärke und bei sich im Verlauf der Bearbeitung leicht änderndem Bearbeitungszustand mit fortschreitender Bearbeitung leicht zu einem Rattern.

**[0068]** Stufen eines derartigen Anzeichens für Ratter-Schwingung sind in **Fig. 10** und **Fig. 11** dargestellt. Insbesondere bei einer Verschiebung der Stabilitätskeule aufgrund von alterungsbedingtem Verschleiß bewegt sich die Drehzahl der Spindel **18** auf die Keule des Stabilitätslochs. In diesem Zustand vergrößert sich die Schwingungsamplitude einer spezifischen Frequenz trotz stabiler Drehung der Spindel **18** während der Bearbeitung. Bei diesem Zustand tritt dann eine vorhersehbare Ratter-Schwingung auf. Ferner steigt bei fortgesetzter Bearbeitung in diesem Zustand die Ratter-Schwingung kontinuierlich an und das Anzeichen wird zu einer schädlichen Schwingung.

**[0069]** Daher wird bei der ersten Ausführungsform zur Unterdrückung der Ratter-Schwingung der Bearbeitungszustand in Echtzeit überwacht, und bei Auftreten einer vorhersehbaren Ratter-Schwingung wird durch Verwendung deren Schwingungsfrequenz die Frequenz  $\times$  60/die Anzahl der Schneidezähne, oder Multiplikation dieser auf der Grundlage des Verfahrens des Stabilitätslochs berechnet. Dementsprechend wird eine aktualisierte Drehzahl der Spindel **18**

berechnet, und dies zeigt automatisch eine mittlere Drehzahl des Stabilitätsloch-Verfahrens an.

**[0070]** Als nächstes zeigt die Recheneinheit **38** zur Schwingungsunterdrückung die berechnete aktualisierte Drehzahl der Spindel **18** auf der Anzeigeeinheit **44** an, und gibt sie als Rückkopplung automatisch von der Ausgabeeinheit **46** für die aktualisierte Anzahl als Signal der Änderung der Drehzahl der Maschine an die Steuervorrichtung **28** für die Werkzeugmaschine aus, zum Beispiel eine Korrekturanweisung zur Änderung der Drehzahl der Spindel **18** von außen. Daher wird die Drehzahl der Werkzeugmaschine **12** sofort zur angewiesenen Drehzahl der Spindel **18** geändert, und dies ermöglicht eine Schneidbearbeitung ohne schädliches Rattern.

**[0071]** Somit wird die Schwingung bei der Bearbeitung in Echtzeit ab dem Beginn der Drehung der Spindel **18** überwacht, d. h. ab einem Zeitpunkt, zu der die Bearbeitung in einem ratterfreien Zustand beginnt (= Überwachungsbeginn-Anweisungszeit). Dann wird auf der Grundlage einer vorhersehbaren Ratter-Schwingung die Drehzahl der Spindel **18** gemäß dem Stabilitätsloch-Verfahren sofort zu einer optimalen Bearbeitungsdrehzahl geändert, die kein Rattern verursacht, und das Rattern wird innerhalb der Zeitdauer unterdrückt, in der das Anzeichen auftritt.

**[0072]** Dementsprechend wird durch Anwenden dieser Methode selbst bei Beginn der Bearbeitung bei einer Drehzahl der Spindel **18**, die im Stabilitätsbereich des Stabilitätsloch-Verfahrens liegt, selbst bei einer Verschiebung des Stabilitätsbereichs aufgrund alterungsbedingtem Bearbeitungsverschleiß, zum Beispiel Bearbeitungsspitzenwechsel, Änderung der Stärke des Werkstücks W etc., und bei Verschiebung der Drehzahl der Spindel **18** in den Stabilitätskeulenbereich des Stabilitätsloch-Verfahrens, und selbst bei einer weiteren Verschiebung der Drehzahl der Spindel **18** in einen instabilen Bereich des Stabilitätsloch-Verfahrens, anhand dieser Schwingungen sofort eine Berechnung begonnen, und die Drehzahl der Spindel **18** kann zur mittleren Drehzahl in den Stabilitätsbereich des Stabilitätsloch-Verfahrens verschoben werden. Insbesondere geht durch sofortige Änderung der Drehzahl der Spindel **18** der Werkzeugmaschine **12** aufgrund dieser Anweisung die Werkzeugmaschine automatisch in einen Zustand über, in dem die Drehzahl zur mittleren Drehzahl in dem Stabilitätsbereich, in dem kein Rattern auftritt, verändert wird.

**[0073]** In diesem Fall werden bei der ersten Ausführungsform Schwingungen ab dem Beginn der Drehung erfasst und durch Fourier-Reihenentwicklung analysiert. Die Fourier-Reihenentwicklung ermöglicht eine einfache Berechnung und somit eine schnelle Verarbeitung, so dass sich die unmittelbare Umsetz-

barkeit sehr gut verbessert und eine ratterbedingte Schwingung noch vor dem tatsächlichen Auftreten von Rattern vorhergesagt werden kann.

**[0074]** Dadurch lässt sich regeneratives Rattern, dessen Schwingung bei Beginn der Drehung von Null ansteigt, schnellstmöglich vorhersehen. Entsprechend kann die Drehzahl der Spindel **18** bereits vor einer tatsächlichen Beeinträchtigung durch Rattern angepasst werden, so dass sich regeneratives Rattern zuverlässig verhindern lässt.

**[0075]** Außerdem wird durch Einstellung der beim Leerlauf der Spindel **18** auftretenden Schwingung als Toleranz eine Schwelle berechnet. Wird daher eine Bearbeitungsschwingung bei der tatsächlichen Bearbeitung überwacht und eine die Schwelle der Leerlauf-toleranz überschreitende Schwingung erfasst, so kann diese schnell als Anzeichen für Ratter-Schwingung erkannt werden.

**[0076]** Fig. 12 ist eine veranschaulichende Schemadarstellung einer Vorrichtung **50** zur Schwingungsunterdrückung für eine Betriebsmaschine gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

**[0077]** Dabei tragen Teile, die mit denjenigen der Vorrichtung **10** zur Schwingungsunterdrückung gemäß der ersten Ausführungsform identisch sind, dieselben Bezugsziffern, und es wird auf eine ausführliche Beschreibung dieser verzichtet. Entsprechend wird auch auf eine ausführliche Beschreibung identischer Teile bei der nachstehend beschriebenen dritten Ausführungsform verzichtet.

**[0078]** Bei der Vorrichtung **10** zur Schwingungsunterdrückung gemäß der ersten Ausführungsform zeigt die Recheneinheit **38** zur Schwingungsunterdrückung eine Anweisung zum Ändern der Drehzahl der Spindel **18** auf der Anzeigeeinheit **44** an, und die Ausgabeeinheit **46** für eine aktualisierte Anzahl gibt automatisch die aktualisierte Spindeldrehzahl an die Werkzeugmaschinen-Steuervorrichtung **28** der Werkzeugmaschine **12** aus.

**[0079]** Zum einen wird in der Vorrichtung **50** zur Schwingungsunterdrückung eine Anweisung zur Änderung der Drehzahl der Spindel **18** auf der Anzeigeeinheit **44** angezeigt, und zum anderen wird eine Änderung der Drehzahl der Spindel **18** der Werkzeugmaschine **12**, zum Beispiel Änderung des Korrekturwerts zur Änderung der Spindeldrehzahl, manuell durch eine Betriebsperson an der Steuerkonsole **32** vorgenommen. Dadurch wird das System, das ein zur automatischen Aktualisierung verwendetes Anweisungssignal empfängt und dieses Anweisungssignal für eine Änderung der Drehzahl der Spindel **18** rückkoppelt, überflüssig.

**[0080]** Fig. 13 ist eine veranschaulichende Schemadarstellung der Vorrichtung **60** zur Schwingungsunterdrückung für eine Betriebsmaschine gemäß der dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

**[0081]** Zum Erfassen von Schwingung, die auftritt, wenn die Bohrstange **20** in Drehung versetzt wird, weist die Vorrichtung **60** zur Schwingungsunterdrückung Beschleunigungssensoren – Schwingungserfassungsmechanismen – **62**, **64** und **66** auf, die Schwingungen in drei Richtungen, der X-Achsenrichtung, der Y-Achsenrichtung und der Z-Achsenrichtung am Gehäuse **14** erfassen.

**[0082]** Eine mechanische Schwingung ist richtungsabhängig und hat einzigartige Eigenschaften, d. h. zum Beispiel tritt eine Schwingung in der Z-Achsenrichtung kaum je auf, etc., während es leicht zu einer Schwingung in X-Achsenrichtung kommt. In einem Fall, in dem eine mechanische Schwingung erfasst wird, wenn sie noch sehr gering ist, wie ein Anzeichen für Rattern, muss die Schwingung mit hoher Sensibilität unabhängig von ihrer Richtung erfasst werden.

**[0083]** Daher sind bei der dritten Ausführungsform die Beschleunigungssensoren **62**, **64**, und **66** senkrecht zueinander in drei Richtungen angebracht, der X-Achsenrichtung, der Y-Achsenrichtung und der Z-Achsenrichtung. Somit lässt sich die Genauigkeit der Schwingungserfassung effektiv verbessern, und ein Anzeichen für eine Ratter-Schwingung kann zuverlässiger und schneller erkannt werden.

**[0084]** Sind die Beschleunigungssensoren **62**, **64** und **66** auf der Seite des Werkstücks **W** angebracht, ergibt sich derselbe Effekt. Selbst beim Einsatz von Mikrofonen, die ohne direkte Anbringung der Beschleunigungssensoren **62**, **64** und **66** am Gehäuse **14** mechanische Schwingung als Übertragung von Schallwellen erfassen, stellt sich derselbe Effekt ein. In diesem Fall lässt sich die Genauigkeit der Schwingungserfassung durch Vorsehen einer Vielzahl von Mikrofonen auf dieselbe Weise wie die Beschleunigungssensoren **62**, **64** und **66** erhöhen.

**[0085]** Durch das Verfahren und die Vorrichtung gemäß vorliegender Erfindung zur Schwingungsunterdrückung bei einer Arbeitsmaschine wird Schwingung ab dem Beginn der Drehung erfasst und durch Fourier-Reihenentwicklung analysiert. Bei der Fourier-Reihenentwicklung ist die Berechnung einfach und eine schnelle Verarbeitung ist möglich, so dass sich die unmittelbare Umsetzbarkeit sehr stark verbessern lässt und eine Ratter-Schwingung noch vor dem tatsächlichen Auftreten von Rattern vorhersehbar ist.

**[0086]** Daher lässt sich ein regeneratives Rattern, dessen Schwingung bei Beginn der Drehung von Null an ansteigt, schnellstmöglich vorhersagen. Entspre-



chend lässt sich die Maschinenspindeldrehzahl noch vor dem Auftreten einer tatsächlichen Beeinflussung durch das Rattern modifizieren, so dass ein regeneratives Rattern zuverlässig verhindert werden kann.

#### Bezugszeichenliste

10	Vorrichtung
12	Werkzeugmaschine
14	Gehäuse
16	Lager
18	Spindel
20	Bohrstange
22	Stangenwerkzeug
24	Werktisch
26	Beschleunigungssensor
28	Steuervorrichtung
30	Steuereinheit
32	Steuerkonsole
34	Mikrofon
36	Verstärker- und Filterschaltung
38	Recheneinheit
40	Anweisungseinheit
42	Eingabeeinheit
44	Anzeigeeinheit
46	Ausgabeeinheit
50	Vorrichtung
60	Vorrichtung
62	Beschleunigungssensor
64	Beschleunigungssensor
66	Beschleunigungssensor

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Schwingungsunterdrückung für eine Arbeitsmaschine (12), um das Auftreten von Rattern bei der Bearbeitung eines Werkstücks mit einem Bearbeitungswerkzeug (20) zu verhindern, umfassend folgende Schritte:

Erfassen einer mit dem Anlauf der Drehung des Bearbeitungswerkzeugs (20) oder des Werkstücks auftretenden Schwingung;

Bestimmung, ob die seit dem Anlauf der Drehung erfasste Schwingung eine Schwelle überschritten hat; und

Analyse der Schwingung durch Fourier-Reihenentwicklung, wenn festgestellt wird, dass die Schwingung die Schwelle überschritten hat, und Einstellen der Drehzahl einer Maschinenspindel (18) auf der Grundlage eines arithmetischen Ausdrucks der Frequenz  $\times 60/\text{die Anzahl von Schneidezähnen}$  (oder Multiplikation dieser), gekennzeichnet durch das Festlegen der bei Leerlauf der Maschinenspindel (18) auftretenden Eigenschwingung als Schwelle und durch Begrenzung der Analyse durch Fourier-Reihenentwicklung auf lediglich einen Schwingungsbereich, bei dem Rattern tatsächlich auftritt.

2. Verfahren zur Schwingungsunterdrückung für eine Arbeitsmaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**,

**gekennzeichnet**, dass eine Spitzenfrequenz in einem Integrationsintervall, das ein ganzzahliges Vielfaches einer Periode (1/Frequenz) ist, durch die Fourier-Reihenentwicklung berechnet wird.

3. Verfahren zur Schwingungsunterdrückung für eine Arbeitsmaschine nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch einen Prozess zur Bestimmung, ob es sich bei den Frequenzkomponenten, die berechnet werden, nachdem harmonische Komponenten aus Frequenzkomponenten entfernt wurden, die durch die Fourier-Reihenentwicklung berechnet wurden, so dass nur mit der Ursache der Schwingung in Zusammenhang stehende Frequenzkomponenten übrig bleiben, um eine durch regeneratives Rattern verursachte Schwingung handelt oder nicht.

4. Verfahren zur Schwingungsunterdrückung für eine Arbeitsmaschine nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch einen Prozess zur Bestimmung, dass der Spitzenwert der Frequenzkomponenten, die nach Entfernung der harmonischen Komponenten übrig bleiben, die Frequenz des regenerativen Ratterns ist, wenn der Spitzenwert nicht mit der Schwingung der Drehfrequenz des Bearbeitungswerkzeugs und der Schwingungsfrequenz der Anzahl von Schneidezähnen des Bearbeitungswerkzeugs (20) übereinstimmt.

5. Vorrichtung (10) zur Schwingungsunterdrückung für eine Arbeitsmaschine (12), um das Auftreten von Rattern bei der Bearbeitung eines Werkstücks mit einem Bearbeitungswerkzeug (20) zu verhindern, mit:

Einem Schwingungsdetektionsmechanismus (26), der eine bei Anlauf der Drehung des Bearbeitungswerkzeugs (20) oder des Werkstücks auftretende Schwingung erfasst;

einen Bestimmungsmechanismus, der bestimmt, ob die seit Anlauf der Drehung erfasste Schwingung eine Schwelle überschritten hat,

einen Rechenmechanismus (38), der die seit Beginn der Drehung erfasste Schwingung durch Fourier-Reihenentwicklung bei Frequenzen analysiert, wenn festgestellt wird, dass die Schwingung die besagte Schwelle überschritten hat, und der die Drehzahl der Maschinenspindel (18) auf der Grundlage eines arithmetischen Ausdrucks der Frequenz  $\times 60/\text{die Anzahl von Schneidezähnen}$  (oder Multiplikation dieser) einstellt, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Analyse der seit Beginn der Drehung erfassten Schwingungen durch Fourier-Reihenentwicklung des Rechenmechanismus (38) auf den Frequenzbereich begrenzt ist, bei dem Rattern tatsächlich auftritt, und dass die Schwelle durch eine durch Leerlaufdrehung der entsprechenden Maschinenspindel (18) verursachte Eigenschwingung gebildet ist.

6. Vorrichtung zur Schwingungsunterdrückung für eine Arbeitsmaschine nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Rechenmechanismus (38)

eine Spitzenfrequenz in einem Integrationsintervall, das ein ganzzahliges Vielfaches einer Periode ( $1/\text{Frequenz}$ ) ist, durch die Fourier-Reihenentwicklung berechnet.

7. Vorrichtung zur Schwingungsunterdrückung für eine Arbeitsmaschine nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Rechenmechanismus (38) bestimmt, ob es sich bei den Frequenzkomponenten, die aus Frequenzkomponenten berechnet werden, welche durch die besagte Fourier-Reihenentwicklung berechnet wurden, aus denen harmonische Komponenten entfernt wurden, so dass nur mit der Ursache der Schwingung in Zusammenhang stehende Frequenzkomponenten übrig bleiben, um eine durch regeneratives Rattern verursachte Schwingung handelt oder nicht.

8. Vorrichtung zur Schwingungsunterdrückung für eine Arbeitsmaschine nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Rechenmechanismus (38) bestimmt, dass der Spitzenwert in den besagten Frequenzkomponenten, aus denen die besagten harmonischen Komponenten entfernt wurden, die Frequenz des regenerativen Ratterns ist, wenn der besagte Spitzenwert nicht mit der Schwingung der Drehfrequenz der besagten Maschinenspindel (18) und der Schwingungsfrequenz der Anzahl von Schneidezähnen des Bearbeitungswerkzeugs übereinstimmt.

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

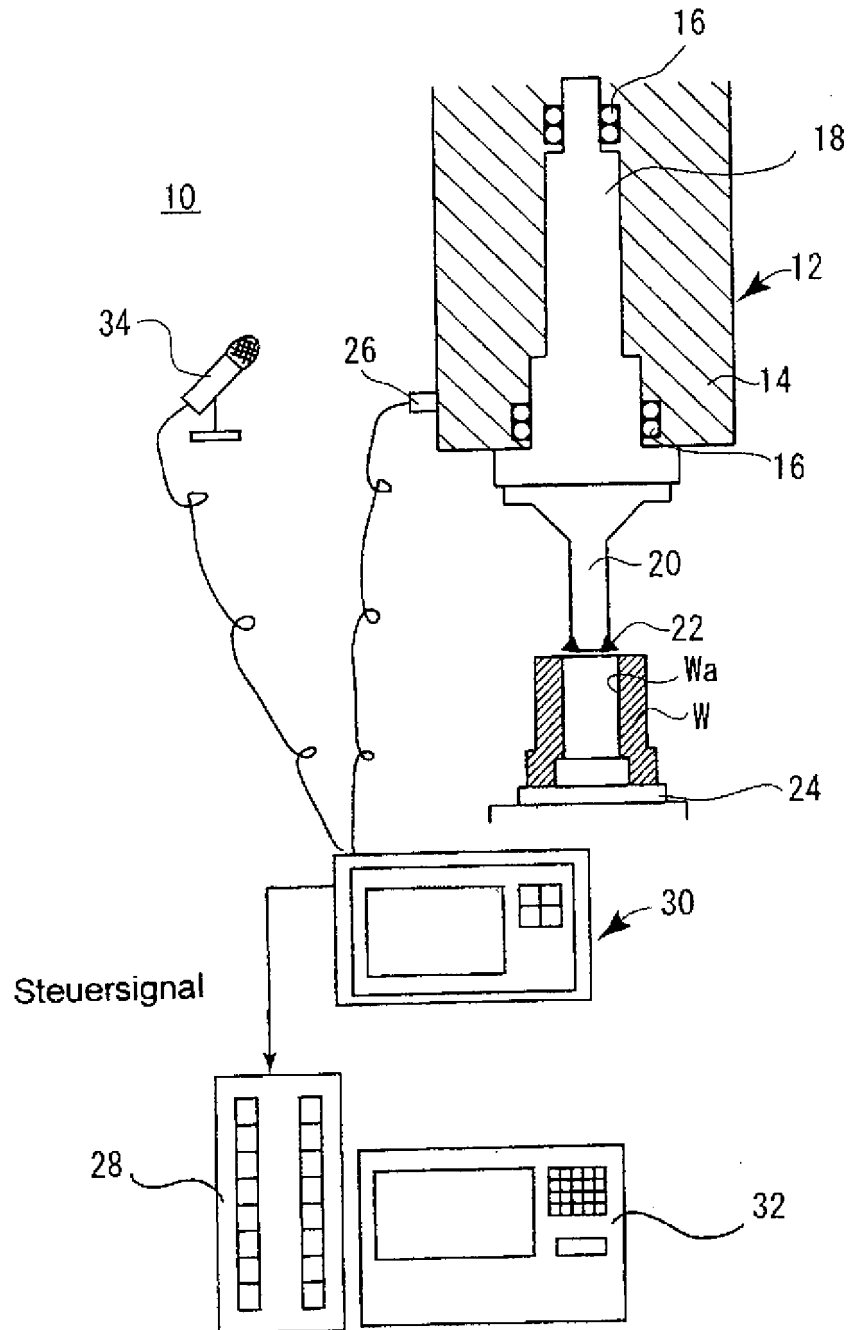


Fig. 2

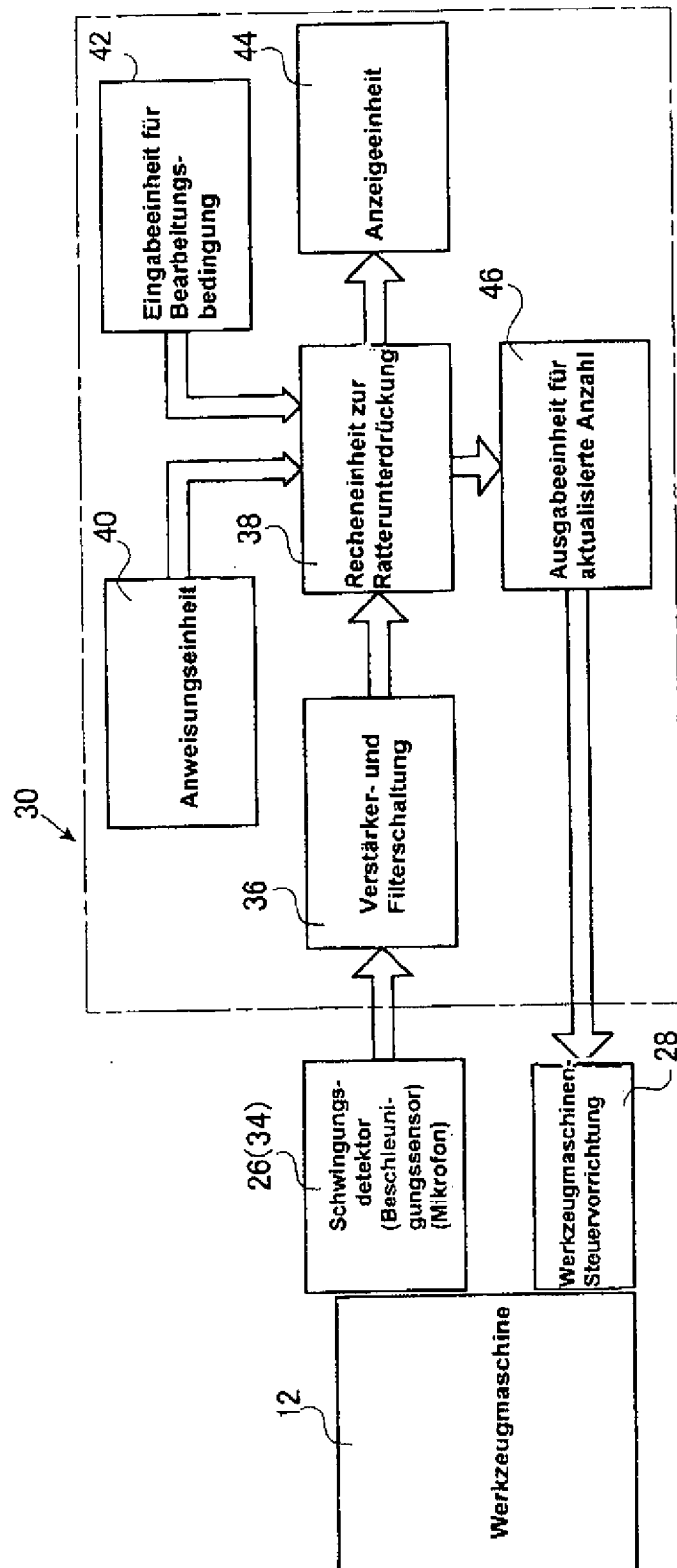


Fig. 3

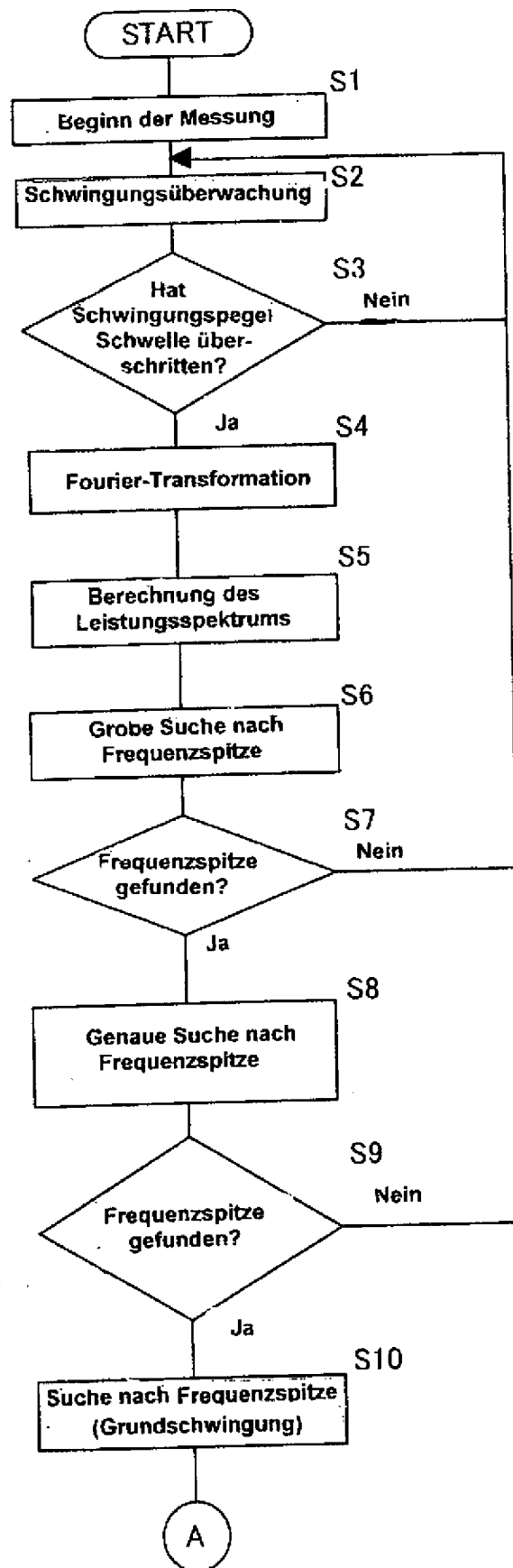


Fig. 4

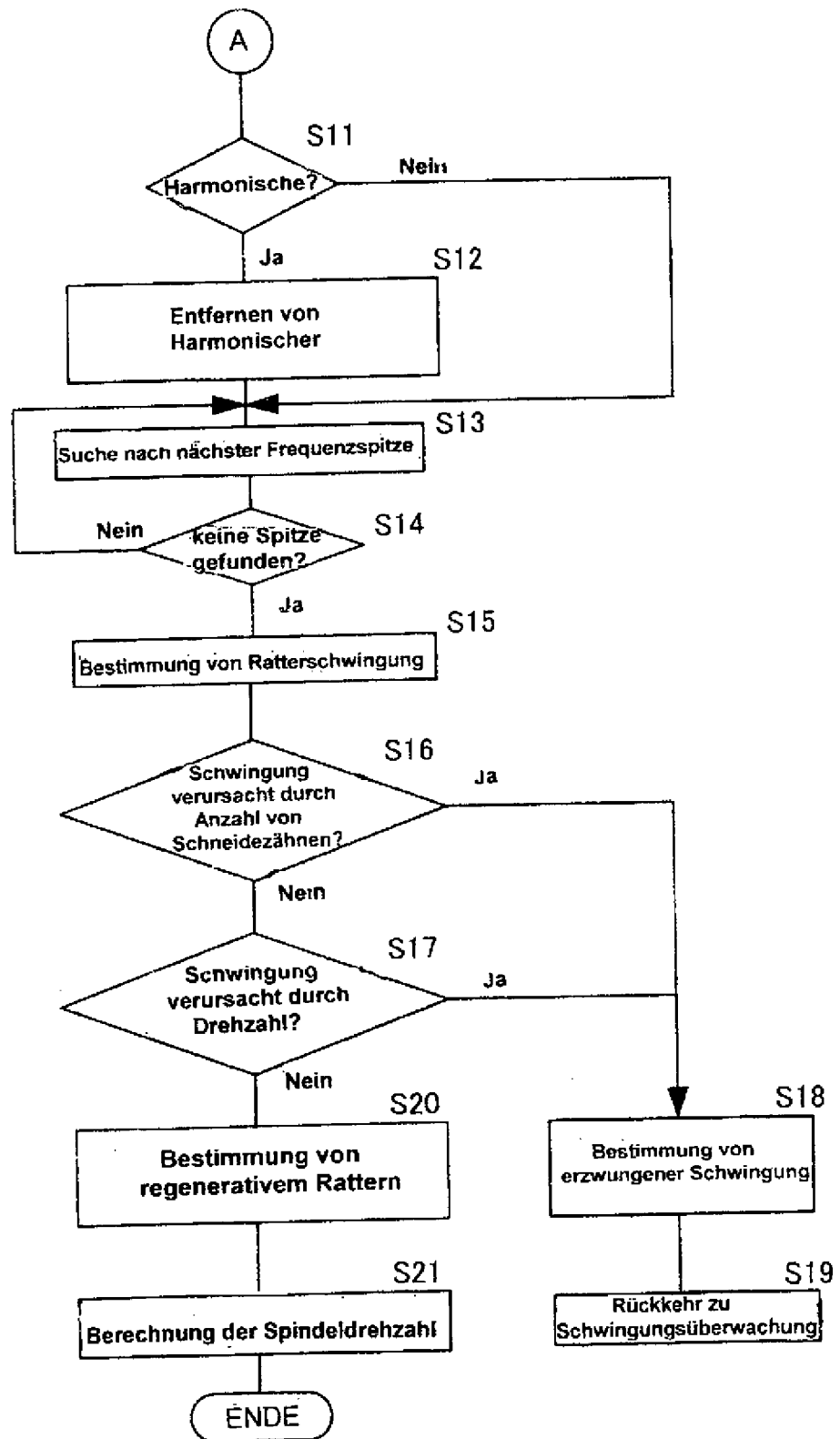


Fig. 5

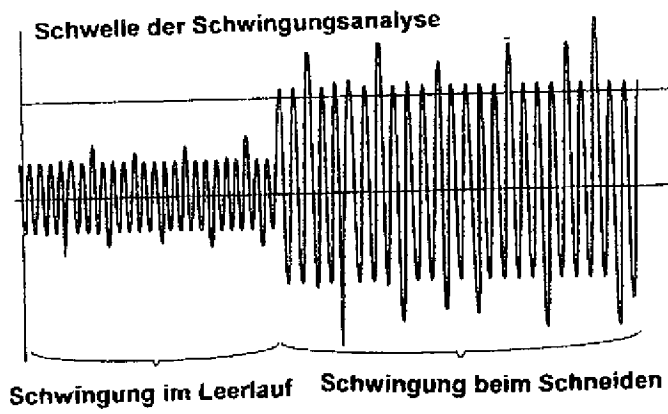


Fig. 6

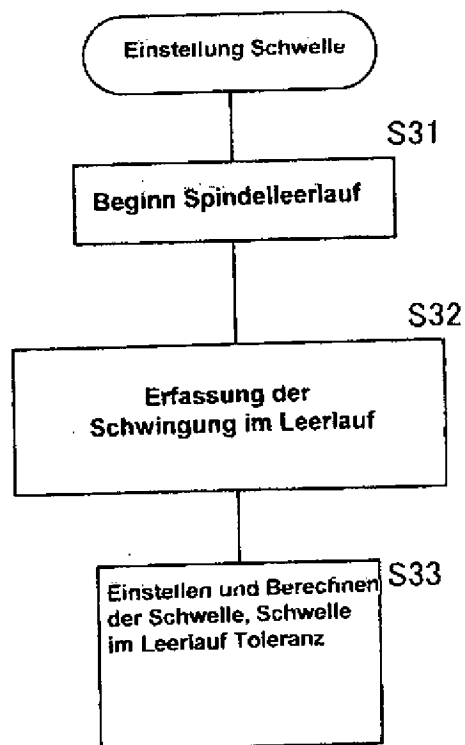


Fig. 7

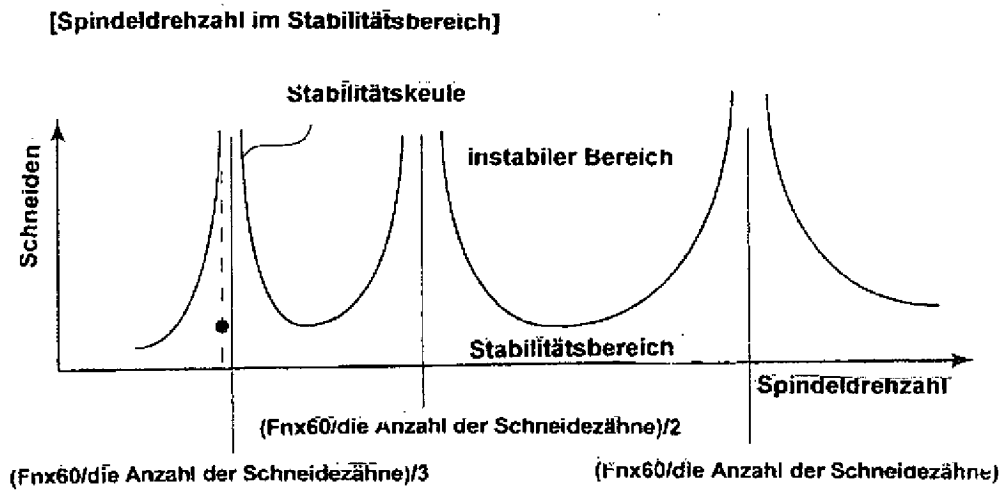


Fig. 8

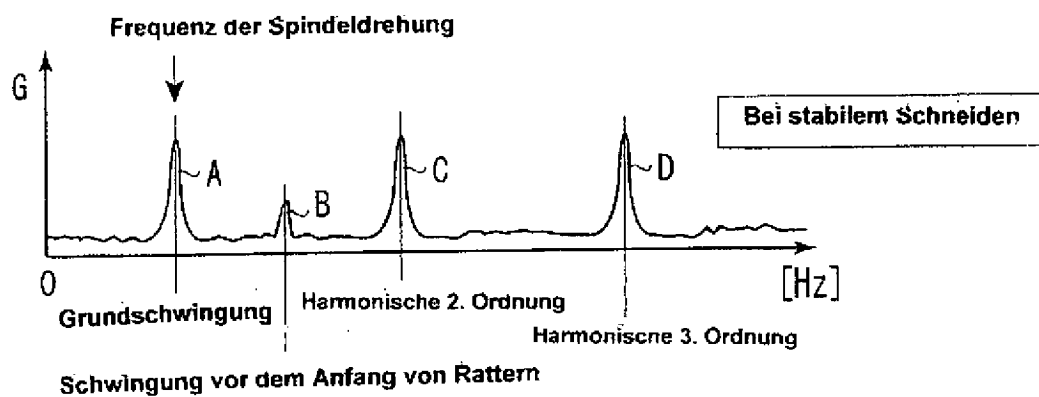




Fig. 9

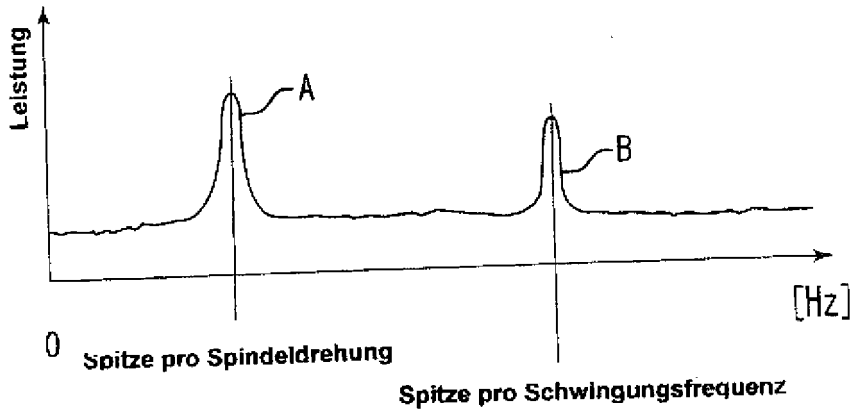


Fig. 10

[Im Fall der Spindeldrehzahl auf der Stabilitätskeule]

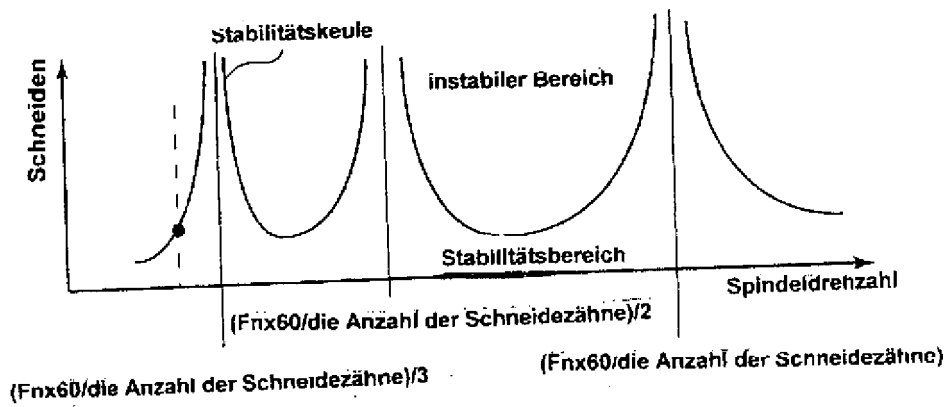


Fig. 11

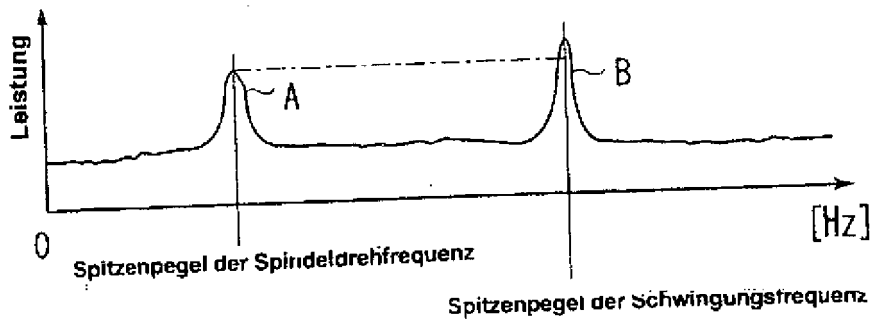


Fig. 12

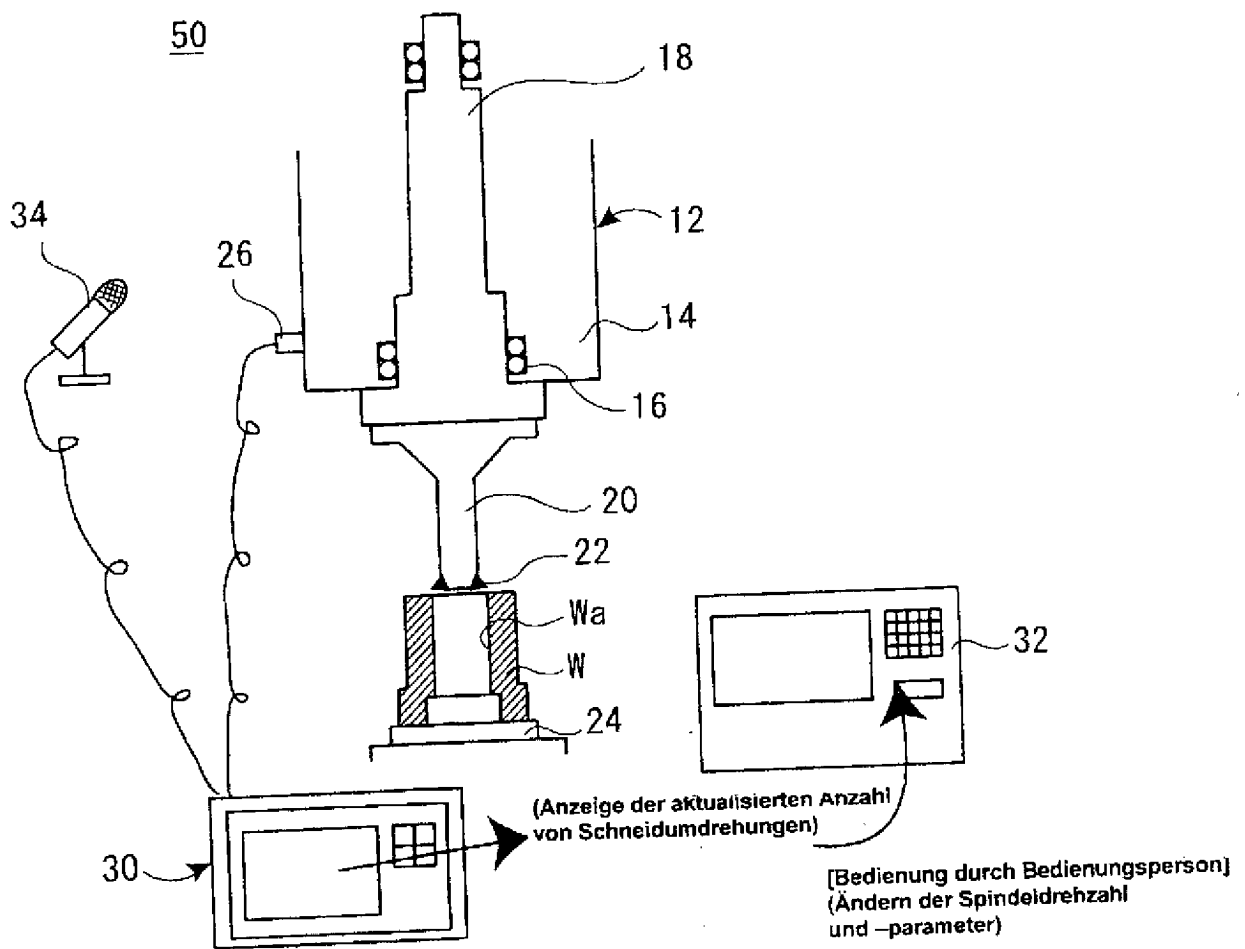


Fig. 13

