



(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der  
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2023/157244**  
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2  
IntPatÜbkG)  
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2022 005 535.9**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2022/006693**  
(86) PCT-Anmeldetag: **18.02.2022**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **24.08.2023**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **19.09.2024**

(51) Int Cl.: **G05B 19/4063 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**FANUC CORPORATION, Oshino-mura,  
Yamanashi, JP**

(72) Erfinder:  
**Ogiso, Tarou, Oshino-mura, Yamanashi, JP**

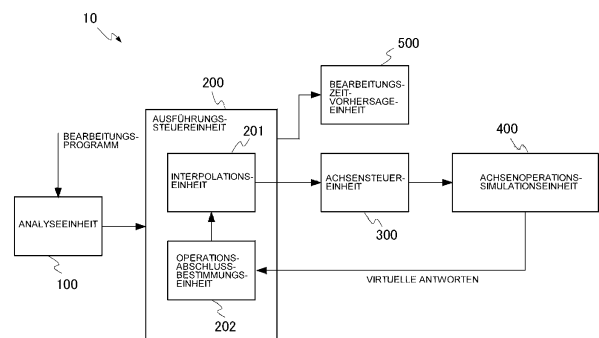
(74) Vertreter:  
**Grünecker Patent- und Rechtsanwälte PartG mbB,  
80802 München, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zur Bearbeitungszeitvorhersage und Verfahren zur Bearbeitungszeitvorhersage**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung ermöglicht eine genaue Vorhersage der Bearbeitungszeit ohne Verwendung tatsächlicher Bearbeitungsdaten. Eine Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung für eine Werkzeugmaschine, die mindestens eine Achse zur Bearbeitung eines Werkstücks auf der Grundlage eines Bearbeitungsprogramms steuert, wobei die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung umfasst: eine Analyseeinheit, die das Bearbeitungsprogramm analysiert und Operationsbefehle für die Achse erzeugt; eine Ausführungssteuereinheit, die die Ausführung von Betriebsanweisungen überwacht und eine Achsenoperation auf der Grundlage des Ergebnisses der Analyse des Bearbeitungsprogramms anweist, und einer Operationsabschlussbestimmungseinheit ausgestattet ist, die bestimmt, dass die Achsenoperation abgeschlossen ist; eine Achsensteuereinheit, die Steuerbefehle auf der Grundlage der Achsenoperationsbefehle erzeugt; eine Bearbeitungszeitvorhersageeinheit, die die zur Ausführung des Bearbeitungsprogramms erforderliche Zeit misst und die Bearbeitungszeit vorhersagt; und eine Achsenoperationssimulationseinheit, die die Achsenoperation auf der Grundlage der Steuerbefehle simuliert und virtuelle Antworten ausgibt. Die Operationsabschlussbestimmungseinheit bestimmt den Abschluss der Achsenoperation auf der Grundlage der virtuellen Antworten.



## Beschreibung

### Technisches Gebiet

**[0001]** Die vorliegende Offenbarung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Bearbeitungszeitvorhersage und ein Verfahren zur Bearbeitungszeitvorhersage für eine Werkzeugmaschine. Die vorliegende Offenbarung bezieht sich insbesondere auf eine Vorrichtung zur Bearbeitungszeitvorhersage zur Vorhersage, basierend auf einem Bearbeitungsprogramm, einer Bearbeitungszeit für eine Werkzeugmaschine zur maschinellen Bearbeitung eines Werkstücks durch Steuerung mindestens einer Achse, und ein Verfahren zur Bearbeitungszeitvorhersage.

### Stand der Technik

**[0002]** Um eine effiziente maschinelle Bearbeitung durchzuführen, ist es notwendig, die für jeden Prozess benötigte Zeit vor der Bearbeitung zu erfassen. Insbesondere ist es wichtig, die Zeit zu erfassen, die zur Ausführung des Bearbeitungsprogramms der CNC-Werkzeugmaschine erforderlich ist.

**[0003]** Patentdokument 1 beschreibt eine numerische Steuerung, die die kürzeste vorhergesagte Bearbeitungszeit innerhalb eines zulässigen Bearbeitungsfehlers erzielt. Insbesondere beschreibt das Patentdokument 1 die Angabe von Geschwindigkeitsdaten, die eine Bearbeitungsgeschwindigkeit für die Bearbeitung eines Werkstücks liefern, und von Genauigkeitsdaten, die die Bearbeitungsgenauigkeit liefern, dass eine Programmanalyseeinheit Interpolationsdaten für ein Bearbeitungsprogramm erzeugt, dass eine Interpolationseinheit Interpolationsdaten ( $\Delta P_n$ ) erzeugt, indem sie eine Interpolation gemäß den Interpolationsdaten auf der Grundlage der von einer Vorinterpolations-Beschleunigungs-/Verzögerungseinheit berechneten Geschwindigkeit durchführt, und dass eine Nachinterpolations-Beschleunigungs-/Verzögerungseinheit Servopositions-Befehlsdaten ( $V C_n$ ) erzeugt, indem sie eine Nachinterpolations-Beschleunigung-/Verzögerung an den Interpolationsdaten ( $\Delta P_n$ ) durchführt. Patentdokument 1 beschreibt ferner, dass eine Servosimulationseinheit die Servopositionsbefehlsdaten ( $V C_n$ ) empfängt und Servopositionsdaten ( $Q_n$ ) erzeugt, in denen der tatsächliche Servobetrieb simuliert wurde, und dass eine Bearbeitungszeitvorhersageeinheit eine Bearbeitungszeit unter Verwendung der Interpolationsdaten oder durch Zählen der Anzahl von Interpolationen messen kann, und dass eine Bearbeitungsfehlervorhersageeinheit die Interpolationsdaten ( $\Delta P_n$ ) und die Servopositionsdaten ( $Q_n$ ) verwendet, um einen vorhergesagten Bearbeitungsfehler zu berechnen.

**[0004]** Patentdokument 2 beschreibt eine numerische Steuerungsvorrichtung, die eine Vorhersage

einer Bearbeitungszeit mit hoher Genauigkeit unter Berücksichtigung einer in einer Maschine auftretenden Verzögerung ermöglicht. Insbesondere wird in Patentdokument 2 beschrieben, dass die numerische Steuerungsvorrichtung eine Referenzbearbeitungszeit-Vorhersageeinheit zum Vorhersagen einer Referenzbearbeitungszeit aufweist, die einer Bearbeitungszeit ohne Berücksichtigung der Beschleunigung/Verzögerung der Achse auf der Grundlage des Bearbeitungsprogramms entspricht, eine Beschleunigungs-/Verzögerungsfrequenz-Vorhersageeinheit zum Vorhersagen der Anzahl von Beschleunigungs-/Verzögerungszeiten der Achse bei der Bearbeitung auf der Grundlage des Bearbeitungsprogramms aufweist, eine Datenspeichereinheit zum Speichern von Informationen bezüglich einer Abweichungszeit, die einer Differenz zwischen einer tatsächlichen Bearbeitungszeit, die einer für die tatsächliche Bearbeitung durch die Maschine erforderlichen Bearbeitungszeit entspricht, und der bei der Bearbeitung vorhergesagten Referenzbearbeitungszeit entspricht, aufweist eine Korrekturzeit-Berechnungseinheit zum Berechnen einer Korrekturzeit zum Korrigieren der Referenz-Bearbeitungszeit auf der Grundlage der Anzahl von Beschleunigungs-/Verzögerungszeiten, die von der Beschleunigungs-/Verzögerungsfrequenz-Vorhersageeinheit vorhergesagt werden, und der Informationen, die sich auf die in der Datenspeichereinheit gespeicherte Abweichungszeit beziehen, aufweist und eine Bearbeitungszeit-Vorhersageeinheit zum Berechnen einer vorhergesagten Bearbeitungszeit aufweist, die durch Korrigieren der Referenz-Bearbeitungszeit unter Verwendung der Korrekturzeit erhalten wird.

**[0005]** Patentdokument 3 beschreibt eine Bearbeitungszeitberechnungsvorrichtung, die in der Lage ist, eine Bearbeitungszeit vor der Bearbeitung genau zu berechnen. Insbesondere beschreibt Patentdokument 3, dass ein Pfadsegmentberechnungseinheit einen segmentierten Pfad ermittelt, indem ein bestimmter Werkzeugpfad in Segmente unterteilt wird, so dass Teile des bestimmten Werkzeugpfades mit einer kleinen Krümmung in größeren Intervallen und Teile des bestimmten Werkzeugpfades mit einer großen Krümmung in kleineren Intervallen unterteilt werden, und dass eine Achsensteuerdaten-Berechnungseinrichtung ein Werkzeug über jeden segmentierten Weg mit einer Geschwindigkeit entsprechend einer bestimmten Werkzeugbewegungsgeschwindigkeit bewegt, um als Achsensteuerdaten A eine Zeitänderung in einer beliebigen Position auf dem segmentierten Weg zu erhalten, wenn das Werkstück bearbeitet wird, und die Werkzeugbewegungsgeschwindigkeit in jeder Achsenrichtung in vorbestimmten Zeitintervallen erhalten wird. In Patentdokument 3 wird ferner beschrieben, dass eine Bearbeitungszeitberechnungseinrichtung eine Bearbeitungszeit für die Bearbeitung eines bestimmten Bereichs berechnet.

## Liste der zitierten Schriften

## Patentschrift

Patentdokument 1: ungeprüfte japanische Patentanmeldung, Veröffentlichungsnr. 2012-243152

Patentdokument 2: ungeprüfte japanische Patentanmeldung, Veröffentlichungsnr. 2017-207823

Patentdokument 3: ungeprüfte japanische Patentanmeldung, Veröffentlichungsnr. 2009-098981

## Überblick über die Erfindung

## Durch die Erfindung zu lösende Probleme

**[0006]** Es ist schwierig, eine genaue Bearbeitungszeit vorherzusagen, wenn ein Stoppbefehl für eine Achse häufig in einem Bearbeitungsprogramm einer CNC-Werkzeugmaschine vorgegeben wird, oder wenn eine Achse mit einer hohen Trägheit (eine große Reaktionszeitkonstante) auf einer Werkzeugmaschine montiert ist. Darüber hinaus erfordert die Verwendung tatsächlicher Bearbeitungsdaten zur Vorhersage einer Bearbeitungszeit Zeit und Aufwand für die Erfassung der Daten. Daher besteht ein Bedarf an einer Vorrichtung zur Bearbeitungszeitvorhersage für eine Werkzeugmaschine, die in der Lage ist, ohne Verwendung tatsächlicher Bearbeitungsdaten eine genaue Bearbeitungszeit vorherzusagen, selbst wenn ein Stoppbefehl für eine Achse häufig in einem Bearbeitungsprogramm auftritt oder selbst wenn eine Achse mit einer hohen Trägheit an einer Werkzeugmaschine montiert ist.

## Mittel zur Lösung der Probleme

**[0007]** Ein erster Aspekt, der für die vorliegende Offenbarung repräsentativ ist, ist eine Vorrichtung zur Bearbeitungszeitvorhersage, die auf der Grundlage eines Bearbeitungsprogramms eine Bearbeitungszeit für eine Werkzeugmaschine zur Bearbeitung eines Werkstücks durch Steuerung mindestens einer Achse vorhersagt. Die Vorrichtung zur Bearbeitungszeitvorhersage weist auf: eine Analyseeinheit, die das Bearbeitungsprogramm zur Erzeugung eines Operationsbefehls für die Achse auswertet; eine Ausführungssteuereinheit, die eine Interpolationseinheit enthält, die die Ausführung des Operationsbefehls verwaltet und eine Achsenoperation bzw. Achsenaktivität auf der Grundlage eines Ergebnisses der Analyse des Bearbeitungsprogramms befiehlt, und eine Operationsabschlussbestimmungseinheit, die bestimmt, dass die Achsenoperation abgeschlossen ist; eine Achsensteuereinheit, die einen Steuerbefehl auf der Grundlage des Operationsbefehls für die Achse von der Interpolations-

einheit erzeugt; eine Bearbeitungszeit-Vorhersageeinheit, die die Bearbeitungszeit durch Messen einer für die Ausführung des Bearbeitungsprogramms erforderlichen Zeit vorhersagt; und eine Achsenoperationssimulationseinheit, die auf der Grundlage des Steuerbefehls den Betrieb der Achse bzw. die Achsenoperation simuliert und virtuelle Antworten ausgibt. Die Operationsabschlussbestimmungseinheit bestimmt auf der Grundlage der virtuellen Antworten, dass die Achsenoperation abgeschlossen ist.

**[0008]** Ein zweiter Aspekt, der für die vorliegende Offenbarung repräsentativ ist, ist ein Bearbeitungszeitvorhersageverfahren, das von einem Computer ausgeführt wird, der als Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung dient, die auf der Grundlage eines Bearbeitungsprogramms eine Bearbeitungszeit für eine Werkzeugmaschine zur Bearbeitung eines Werkstücks durch Steuerung mindestens einer Achse vorhersagt. Das Verfahren umfasst das Ausführen: eines Prozesses zum Analysieren des Bearbeitungsprogramms, um einen Operationsbefehl für die Achse zu erzeugen; eines Prozesses zum Verwalten der Ausführung des Operationsbefehls, zum Befehlen des Betriebes bzw. Operierens der mindestens einen Achse auf der Grundlage eines Ergebnisses der Analyse des Bearbeitungsprogramms und zum Bestimmen, dass der die Achsenoperation abgeschlossen wurde; eines Prozesses zum Erzeugen eines Steuerbefehls auf der Grundlage des Operationsbefehls für die Achse; eines Prozesses zum Vorhersagen der Bearbeitungszeit durch Messen einer Zeit, die für die Ausführung des Bearbeitungsprogramms erforderlich ist; und eines Achsenoperationssimulationssprozesses zum Simulieren der Achsenoperation auf der Grundlage des Steuerbefehls und zum Ausgeben von virtuellen Antworten. Das Verfahren zur Feststellung, dass die Achsenoperation abgeschlossen ist, umfasst ferner die Feststellung auf der Grundlage der virtuellen Antworten, dass die Achsenoperation abgeschlossen ist.

## Auswirkungen der Erfindung

**[0009]** Gemäß jedem Aspekt der vorliegenden Offenbarung ist es möglich, ohne Verwendung tatsächlicher Bearbeitungsdaten eine genaue Bearbeitungszeit vorherzusagen, selbst wenn ein Stoppbefehl für eine Achse häufig in einem Bearbeitungsprogramm auftritt oder selbst wenn eine Achse mit hoher Trägheit in einer Werkzeugmaschine montiert ist.

## Kurzbeschreibung der Zeichnungen

**Fig. 1** ist ein Blockdiagramm, das eine Konfiguration einer Vorrichtung zur Bearbeitungszeitvorhersage gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung zeigt.

**Fig. 2** ist ein Blockdiagramm von Transferfunktionen einer Achsenoperationssimulationseinheit, wenn die Achsenoperationssimulationseinheit eine Betätigung einer Vorschubachse simuliert.

**Fig. 3** ist ein Blockdiagramm der Transferfunktionen der Achsenoperationssimulationseinheit, wenn die Achsenoperationssimulationseinheit eine Spindelachsenoperation simuliert.

**Fig. 4** ist ein Blockdiagramm, das eine Konfiguration der Achsenoperationssimulationseinheit illustriert, wenn die Achse in der Achsenoperationssimulationseinheit die Spindelachse ist.

**Fig. 5** ist ein Diagramm, das ein Antriebssystem mit einem Motor, einer Kupplung und einer Kugelumlaufspindel darstellt.

**Fig. 6** ist eine Charakteristik, die die Beziehung zwischen einem Reibungsdrehmoment und einer Winkelgeschwindigkeit des Motors veranschaulicht.

**Fig. 7** ist ein Konfigurationsdiagramm, das ein Bearbeitungszentrum mit einer Konfiguration für die Bearbeitung einer Turbinenschaufel *W* darstellt.

**Fig. 8** ist eine Charakteristik, die eine In-Position-Prüfung beschreibt.

**Fig. 9** ist ein charakteristisches Diagramm, das ein drehzahlabhängiges Stopp-Bestimmungsfenster beschreibt.

**Fig. 10** ist ein charakteristisches Diagramm, das ein Ankunftszeitfenster für eine Geschwindigkeit und eine Wartezeit beschreibt, bis die Geschwindigkeit das Ankunftszeitfenster erreicht.

**Fig. 11** ist ein charakteristisches Diagramm, das eine X-Achsen-Sollgeschwindigkeit, eine X-Achsen-Geschwindigkeitsausgabe von der Achsenoperationssimulationseinheit und eine Wartezeit illustriert.

**Fig. 12** ist ein Flussdiagramm, das einen Bearbeitungszeitvorhersagevorgang der Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung veranschaulicht.

**Fig. 13** ist ein Blockdiagramm, das einen Aufbau einer Vorrichtung zur Bearbeitungszeitvorhersage gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung zeigt.

**Fig. 14** ist ein Blockdiagramm, das einen Aufbau veranschaulicht, in der eine Z-Achsen-Operationssimulationseinheit derart arbeitet, dass sie dem Betrieb einer Spindelachsenoperationssimulationseinheit folgt.

**Fig. 15** ist ein Diagramm zur Veranschaulichung eines Konfigurationsbeispiels, bei dem eine X-

Achsen-Operationssimulationseinheit und eine Z-Achsen-Operationssimulationseinheit mit demselben Gleichstrombus verbunden sind.

**Fig. 16** ist eine Charakteristik, die die Beziehung zwischen dem maximalen Drehmoment und der Motordrehzahl zeigt.

**Fig. 17** ist ein charakteristisches Diagramm zur Veranschaulichung einer vorhergesagten Wartezeit und einer Wartezeit, für die eine N-T-Charakteristik in Betracht gezogen wird, unter der Annahme, dass  $\tau_{\max}$  eines Bereichs R1 auch auf einen Bereich R2 angewendet wird.

Bevorzugte Art des Umsetzens der Erfindung

**[0010]** Im Folgenden werden Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen im Detail beschrieben.

(Erste Ausführungsform)

**[0011]** **Fig. 1** ist ein Blockdiagramm, das einen Aufbau einer Vorrichtung zur Bearbeitungszeitvorhersage bzw. Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung eine gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung zeigt. Die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung 10 hat eine Analyseeinheit 100, eine Ausführungssteuereinheit 200, eine Achsensteuereinheit 300, eine Achsenoperationssimulationseinheit 400 und eine Bearbeitungszeitvorhersageeinheit 500. Die Ausführungssteuereinheit 200 weist eine Interpolationseinheit 201 und eine Operationsabschlussbestimmungseinheit 202 auf. Die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung 10 sagt auf der Grundlage eines Bearbeitungsprogramms eine Bearbeitungszeit (eine Ausführungszeit eines Bearbeitungsprogramms) für eine Werkzeugmaschine voraus, die zur Bearbeitung eines Werkstücks durch Steuerung mindestens einer Achse dient. Die Analyseeinheit 100, die Interpolationseinheit 201 und die Achsensteuereinheit 300 bilden eine numerische Steuerungsvorrichtung (im Folgenden als NC-Vorrichtung bezeichnet). Die Operationsabschlussbestimmungseinheit 202 kann innerhalb der NC-Vorrichtung zusammen mit der Interpolationseinheit 201 oder außerhalb der NC-Vorrichtung vorgesehen sein. Die Bearbeitungszeitvorhersageeinheit 500 kann in der NC-Vorrichtung vorgesehen sein. Im Folgenden wird jede Einheit beschrieben, die Bestandteil der Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung 10 ist.

**[0012]** Die Analyseeinheit 100 interpretiert ein numerisches Steuerprogramm (NC-Programm), das als Bearbeitungsprogramm dient, und analysiert das NC-Programm bezüglich Codes und Werten, um einen Bewegungspfad, einen Bewegungspfad und eine Sollgeschwindigkeit (die Operationsbefehle

für die Achse sind) zu erhalten. Das Bearbeitungsprogramm definiert eine Operation zur Positionierung einer Vorschubachse und zur Steuerung einer Geschwindigkeit einer Spindelachse.

**[0013]** Die Ausführungssteuereinheit 200 weist die Interpolationseinheit 201 und die Operationsabschlussbestimmungseinheit 202. Die Interpolationseinheit 201 verwaltet die Ausführung der Operationsbefehle und befiehlt eine Achsenoperation basierend auf den Ergebnissen der Analyse des NC-Programms. Insbesondere erzeugt die Interpolationseinheit 201 auf der Grundlage der Bewegungsstrecke, des Bewegungspfades, wie z.B. einer geraden Linie oder eines Bogens, und der Sollgeschwindigkeit, die von der Analyseeinheit 100 erhalten wurden, Interpolationsdaten (die ein Operationsbefehl für die Achse sind), indem sie eine Interpolationsberechnung eines Punktes auf dem Bewegungspfad in einem Interpolationszyklus durchführt und die Interpolationsdaten an die Achsensteuereinheit 300 ausgibt.

**[0014]** Die Operationsabschlussbestimmungseinheit 202 bestimmt, dass die Achsenoperation bzw. Achsenaktivität abgeschlossen ist basierend auf Steuerbefehlen, die von der Achsensteuereinheit 300 oder der Achsenoperationssimulationseinheit 400 ausgegeben werden, und basierend auf virtuellen Antworten, die von der Achsenoperationssimulationseinheit 400 ausgegeben werden. Die virtuellen Antworten umfassen Ausgaben von der Achsenoperationssimulationseinheit 400, und die Ausgaben umfassen zum Beispiel eine Position, eine Positionsabweichung und eine Geschwindigkeit oder eine Geschwindigkeitsabweichung, die sich auf die Vorschubachse beziehen, und eine Drehgeschwindigkeit, die sich auf die Spindelachse bezieht. Die Operationsabschlussbestimmungseinheit 202 führt beispielsweise eine Operationsabschlussbestätigung in Bezug auf einen Bewegungsbefehl (Positionierung) für die Vorschubachse und eine Operationsabschlussbestätigung in Bezug auf eine Änderung der Drehzahl (Drehzahländerung) der Spindelachse auf der Grundlage der virtuellen Antworten durch. Der Vorgang der Operationsabschlussbestätigung durch die Operationsabschlussbestimmungseinheit 202 wird später im Detail beschrieben.

**[0015]** Die Achsensteuereinheit 300 erzeugt basierend auf dem Operationsbefehl für eine Achse von der Interpolationseinheit 201 den Steuerbefehl und gibt den Steuerbefehl an die Achsenoperationssimulationseinheit 400 aus. Insbesondere erzeugt die Achsensteuereinheit 300 ein Beschleunigungs-/Verzögerungsprofil auf der Grundlage der Interpolationsdaten und übergibt das Beschleunigungs-/Verzögerungsprofil an jede Steuerachse, wodurch der Achsenoperationssimulationseinheit 400 ein Positionssollwert oder ein Geschwindigkeitssollwert für jede Steuerperiode eines Servomotors und eines

Spindelachsenmotors bereitgestellt wird, die als ein Elektromotorantrieb der Vorschubachse bzw. ein Elektromotorantrieb der Spindelachse dienen.

**[0016]** Die Achsenoperationssimulationseinheit 400 führt zu einer Simulation der Servosteuerung durch, die bewirkt, dass der Elektromotorantrieb zum Antreiben der Vorschubachse und der Elektromotorantrieb zum Antreiben der Spindel dem Positionssollwert oder dem Geschwindigkeitssollwert folgen, und führt zu einer anderen Simulation eines Betriebs der Werkzeugmaschine durch. Die Achsenoperationssimulationseinheit 400 gibt dann die virtuellen Antworten an die Operationsabschlussbestimmungseinheit 202 aus. Die Achsenoperationssimulationseinheit 400 gibt den Steuerbefehl, wie den Positionssollwert und den Geschwindigkeitssollwert, an die Operationsabschlussbestimmungseinheit 202 aus. Die Achsenoperationssimulation durch die Achsenoperationssimulationseinheit 400 wird später im Detail beschrieben.

**[0017]** Die Bearbeitungszeitvorhersageeinheit 500 verwendet die Bewegungsstrecke, den Bewegungspfad, die Sollgeschwindigkeit und ähnliches, die von der Analyseeinheit 100 erhalten werden, um eine Sollzeit des Bearbeitungsprogramms zu erhalten, und sagt die Bearbeitungszeit (die Ausführungszeit des Bearbeitungsprogramms) aus der erhaltenen Sollzeit und einer Wartezeit voraus. Die Wartezeit wird aus dem Steuerbefehl, der von der Achsensteuereinheit 300 oder der Operationsabschlussbestimmungseinheit 202 ausgegeben wird, und der Benachrichtigung über die Abschlussbestätigung von der Operationsabschlussbestimmungseinheit 202 erhalten. Darüber hinaus kann der Steuerbefehl, der in die Bearbeitungszeitvorhersageeinheit 500 eingegeben wird, von der Achsensteuereinheit 300 oder der Achsenoperationssimulationseinheit 400 ausgegeben werden. Der Vorgang zur Bearbeitungszeitvorhersage durch die Bearbeitungszeitvorhersageeinheit 500 wird später im Detail beschrieben. Die Wartezeit ist beispielsweise eine Zeitspanne von einem Zeitpunkt, zu dem der Geschwindigkeitssollwert auf eine Geschwindigkeit „0“ (angehalten) gesetzt wird, bis zu einem Zeitpunkt, zu dem der Geschwindigkeitssollwert abnimmt, um einen Positionsbereich in einem bestimmten Fenster oder einen Bereich in einem Stopbestimmungsfenster zu erreichen, in dem festgestellt wird, dass er mit einer Geschwindigkeit von „0“ angehalten hat. Die Wartezeit ist beispielsweise eine Zeitspanne von einem Zeitpunkt, zu dem der Geschwindigkeitssollwert auf eine Zielgeschwindigkeit gesetzt wird, bis zu einem Zeitpunkt, zu dem eine Geschwindigkeit zunimmt und einen Bereich in dem Ankunftszeitfenster für die Zielgeschwindigkeit erreicht. In einem Fall, in dem ein Befehl zum Beschleunigen und Anhalten der Achse durch das Bearbeitungsprogramm wiederholt wird, addiert die Bearbeitungszeitvorhersageeinheit

500 eine Summe der Sollzeiten und eine Summe der Wartezeiten, um die Bearbeitungszeit vorherzusagen.

**[0018]** Als nächstes werden die Achsenoperationssimulationseinheit 400, die Operationsabschluss-Bestimmungseinheit 202 und die Bearbeitungszeitvorhersageeinheit 500 näher beschrieben.

(Achsenoperationssimulationseinheit 400)

**[0019]** Die Achsenoperationssimulationseinheit 400 simuliert die Operation bzw. Aktivität einer Vorschubachse, die eine Bahn basierend auf dem Bearbeitungsprogramm durchläuft, und eine Operation einer Spindelachse, die ein Werkzeug oder ein Werkstück dreht. In einem Fall, in dem die zu simulierende Achse die Vorschubachse ist, kann die Achsensimulationseinheit 400 zum Beispiel als Blockdiagramm der Transferfunktionen in **Fig. 2** dargestellt werden. Das Blockdiagramm in **Fig. 2** hat eine ähnliche Konfiguration wie ein Blockdiagramm, das in der japanischen Patentanmeldung Nr. H03-110607 offenbart ist. Die Achsenoperationssimulationseinheit 400 setzt sich zusammen aus einer Kombination von Transferfunktionen einschließlich der Transferfunktionen 401 bis 407.

**[0020]** In **Fig. 2** ist die Transferfunktion 401 eine Transferfunktion zur Angabe einer Positionsschleife, in der  $K_p$  eine Positionsverstärkung darstellt. Die Transferfunktion 402 ist eine Transferfunktion zur Anzeige eines Geschwindigkeitsregelkreises, in dem  $k_1$  eine integrale Verstärkung und  $k_2$  eine proportionale Verstärkung darstellt. Die Transferfunktionen 403 und 404 sind Transferfunktionen eines Motors.  $K_t$  steht für eine Drehmomentkonstante und  $J_m$  für eine Motorträgheit (ein Trägheitsmoment). Die Transferfunktion 405 stellt eine Kugelumlaufspindel oder ähnliches dar, die ein Kupplungsteil zwischen dem Servomotor und einer Maschine ist. Die Transferfunktion 406 ist eine Transferfunktion der Maschine, und  $J_L$  stellt eine Trägheit der Maschine dar. Die Transferfunktion 407 ist eine Transferfunktion eines Integrationselements zum Integrieren einer Geschwindigkeit eines beweglichen Teils der Maschine, um eine Position der Maschine zu erhalten.

**[0021]** Die durch die Transferfunktion 401 angezeigte Positionsschleife und die durch die Transferfunktion 402 angezeigte Geschwindigkeitsschleife bilden ein Servoregelungsmodell, und der Motor, die Kugelumlaufspindel und dergleichen sowie das durch die Transferfunktionen 403, 404, 405, 406 und 407 gegebene Integrationselement bilden ein Anlagenmodell. Der Servomotor hat eine Winkelgeschwindigkeit, die durch eine Differentialgleichung in Gleichung 1 (Gl. 1 unten) erhalten werden kann. Das Anlagenmodell enthält eine numerische Lösung, in

der die Differentialgleichung verwendet wird. In Gleichung 1 steht  $\omega$  für eine Winkelgeschwindigkeit,  $\tau$  für ein Drehmoment und  $J_m$  für eine Motorträgheit.

$$d\omega / dt = r(t) / J_m \quad (\text{Gl. 1})$$

**[0022]** Die Positionsabweichung erhält man, indem man von einem Positionssollwert  $P_c$ , der von der Achsensteuereinheit 300 ausgegeben wird, ein Rückkopplungssignal  $P_f$  für die Position der Maschine subtrahiert, das von einem Linearmaßstab oder dergleichen erfasst wird. Die Positionsabweichung wird mit der Positionsverstärkung  $K_p$  multipliziert, um einen Geschwindigkeitssollwert  $V_c$  zu erhalten. Die Geschwindigkeitsabweichung erhält man, indem man vom Geschwindigkeitsbefehl  $V_c$  einen Rückkopplungswert  $V_f$  für die Motordrehzahl subtrahiert, der von einem am Servomotor angebrachten Impulsgeber o.ä. erfasst wird. Die Geschwindigkeitsabweichung wird proportional integriert, um einen Drehmomentbefehl  $T_c$  (Strombefehl) zu erhalten. Der Servomotor wird auf der Grundlage des Drehmomentbefehls  $T_c$  angesteuert, und die Position und die Geschwindigkeit des Servomotors werden mit der Rückkopplung eines geschlossenen Regelkreises gesteuert. Die Achsenoperationssimulationseinheit 400 kann so ausgebildet sein, dass die Transferfunktion 407 die Winkelgeschwindigkeit des Servomotors integriert, um den Winkel des Servomotors zu erhalten, und der Winkel des Servomotors in die Position der Maschine umgewandelt wird, um einen Wert zu erhalten, der als die Position der Maschine angesehen wird.

**[0023]** In einem Fall, in dem zum Beispiel die Spindelachse simuliert werden soll, kann die Achsenoperationssimulationseinheit 400 als Blockdiagramm der Transferfunktionen in **Fig. 3** dargestellt werden. Das in **Fig. 3** dargestellte Blockdiagramm entspricht dem in **Fig. 2** dargestellten Blockdiagramm, aus dem die Transferfunktionen 401, 407, die sich auf die Schleife des Rückkopplungssignals  $P_f$  für die Position der Maschine beziehen, entfernt wurden.

**[0024]** Die in **Fig. 3** dargestellten Transferfunktionen 402, 403 und 404 sind die gleichen wie die in **Fig. 2** dargestellten Transferfunktionen 402, 403 und 404. Der durch die Transferfunktionen 403 und 404 in **Fig. 3** dargestellte Motor ist jeweils ein Servomotor oder ein Induktionsmotor. Die Transferfunktion 406 in **Fig. 3** ist eine Transferfunktion für die Spindelachse. Die in **Fig. 3** dargestellte Transferfunktion 405 stellt einen Kopplungsabschnitt zwischen dem Motor und der Spindelachse dar. Der Kopplungsabschnitt kann durch eine Kupplung gebildet werden, die die Drehachse des Motors direkt mit der Spindelachse koppelt, oder durch ein Getriebe oder einen Riemenscheibenmechanismus, der die Drehzahl des Motors reduziert und erhöht und die Drehzahl auf die Spindelachse überträgt. Die Transferfunktion

404 des Motors gibt einen Wert  $V_f$  aus, der durch Umwandlung einer Winkelgeschwindigkeit des Motors in die Drehgeschwindigkeit der Spindelachse erhalten wird, und die Transferfunktion 402 des Geschwindigkeitsregelkreises führt eine Geschwindigkeitsregelung durch, um einen Drehgeschwindigkeitsbefehl  $V_c$  der Spindelachse mit dem Ausgang  $V_f$  der Transferfunktion 404 in Einklang zu bringen.

**[0025]** Die Transferfunktionen in **Fig. 3** fungieren als die Spindelachsen-Operationssimulationseinheit auch in einem Fall, in dem die Transferfunktionen so konfiguriert sind, dass der Ausgang der Transferfunktion 406 auf  $V_f$  gesetzt ist. Ferner fungieren die Transferfunktionen in **Fig. 3** als die Spindelachsen-Operationssimulationseinheit, in der  $J_m$  die Summe der Motorträgheit und der Spindelachsentragheit darstellt, selbst in einem Fall, in dem die Transferfunktion 405 und die Transferfunktion 406 entfernt sind.

**[0026]** In einem Fall, in dem die Spindelachse und der Motor zu simulieren sind, kann die Achsenoperationssimulationseinheit 400 beispielsweise als das Blockdiagramm der Transferfunktionen in **Fig. 4** dargestellt werden. Das Blockdiagramm in **Fig. 4** hat eine ähnliche Konfiguration wie ein Blockdiagramm, das in der ungeprüften japanischen Patentanmeldung mit der Veröffentlichungsnr. 2020-5406 offenbart ist. Das in **Fig. 4** dargestellte Blockdiagramm entspricht dem in der ungeprüften japanischen Patentanmeldung mit der Veröffentlichungsnr. 2020-5406 dargestellten Blockdiagramm, aus dem ein Näherungsschalter, eine Drehzahlberechnungseinheit, die die Anzahl der vom Näherungsschalter erfassten Impulse verwendet, und eine Drehzahlsollwertkompensationseinheit entfernt worden sind. Mit Ausnahme des entfernten Näherungsschalters, der Drehzahlberechnungseinheit, die die Anzahl der von dem Näherungsschalter erfassten Impulse verwendet, und der Drehzahlsollwertkompensationseinheit sind die Konfiguration und der Betrieb der Achsenoperationssimulationseinheit 400 die gleichen wie die Konfiguration und der Betrieb, die in der ungeprüften japanischen Patentanmeldung mit der Veröffentlichungsnr. 2020-5406 beschrieben sind, und daher wird eine detaillierte Beschreibung davon weggelassen.

**[0027]** Wie in **Fig. 4** dargestellt, umfasst die Achsenoperationssimulationseinheit 400 einen Subtrahierer 411, eine Geschwindigkeitssteuereinheit 412, eine Stromsteuereinheit 413, eine Primärfrequenzsteuereinheit 414, eine Schlupffrequenzberechnungseinheit 415, einen Subtrahierer 416, eine 2-Phasen-3-Phasen-Umwandlungseinheit 417 und einen Induktionsmotor 418.

**[0028]** Der Subtrahierer 411 berechnet eine Differenz zwischen einem Drehzahlsollwert, der von der

Achsensteuereinheit 300 ausgegeben wird, und einem Drehzahlschätzwert, der von einem Subtrahierer 416 ausgegeben wird, der später beschrieben wird, und gibt eine Geschwindigkeitsabweichung aus. Die Geschwindigkeitsregleinheit 412 erzeugt einen Stromsollwert (Drehmomentsollwert), indem sie beispielsweise eine PI-Regelung (Proportional-, Integralregelung) an der von dem Subtrahierer 411 erhaltenen Geschwindigkeitsabweichung durchführt.

**[0029]** Die Stromsteuereinheit 413 erzeugt einen Spannungssollwert (einen d-Phasen-Spannungssollwert und einen q-Phasen-Spannungssollwert) auf der Grundlage des von der Geschwindigkeitssteuereinheit 412 erzeugten Stromsollwerts (Drehmomentsollwerts) und eines Antriebsstromwerts des Induktionsmotors 418, der später beschrieben wird.

**[0030]** Die Primärfrequenzsteuereinheit 414 erzeugt einen Primärfrequenzsollwert auf der Grundlage des von der Geschwindigkeitssteuereinheit 412 erzeugten Stromsollwerts (Drehmomentsollwerts).

**[0031]** Die Schlupffrequenzberechnungseinheit 415 berechnet einen Schlupffrequenzschätzwert auf der Grundlage des aktuellen Sollwertes (Drehmomentsollwert), der von der Geschwindigkeitssteuereinheit 412 erzeugt wird.

**[0032]** Der Subtrahierer 416 berechnet eine Differenz zwischen dem Primärfrequenzsollwert von der Primärfrequenzsteuereinheit 414 und dem von der Schlupffrequenzberechnungseinheit 415 erhaltenen Schlupffrequenzschätzwert und gibt die Differenz als einen Drehzahlberechnungswert des Induktionsmotors 418 aus.

**[0033]** Die 2-Phasen-3-Phasen-Umwandlungseinheit 417 wandelt den d-Phasen-Spannungssollwert und den q-Phasen-Spannungssollwert, die von der Stromsteuereinheit 413 erzeugt werden, in Spannungssollwerte der U-, V- und W-Phasen auf der Grundlage des Primärfrequenzsollwertes von der Primärfrequenzsteuereinheit 414 um, wodurch ein Spannungssollwert zum Antreiben des Induktionsmotors 418 erzeugt wird.

**[0034]** Der Antriebsstromwert des Induktionsmotors 418 kann beispielsweise berechnet werden, indem ein zuvor erzeugter Spannungssollwert einer Zustandsgleichung des Induktionsmotors 418 als Spannung zugeführt wird. Die Zustandsgleichung des Induktionsmotors und das Verfahren zur Berechnung des Stroms sind beispielsweise in einem Nicht-Patent-Dokument beschrieben: Murata, Tsuchiya, Takeda, „Vector Control for Induction Machine by Primary Flux Linkage Control“, Collected papers of the Society of Instrument and Control Engineers, Band 25, Nr. 11, Seiten 1194-1201 (1989).

**[0035]** Die Winkelgeschwindigkeit des Motors unter Berücksichtigung der Reibung kann wie folgt berechnet werden. **Fig. 5** zeigt ein Antriebssystem mit einem Motor 4001, einer Kupplung 4002, einer Kugelumlaufspindel 4003 und einem Tisch 4004, wobei der Motor 4001 einem Reibungsdrehmoment  $f_m$  unterliegt, das durch Gleichung 2 (Gl. 2 unten) dargestellt wird. Das Reibungsdrehmoment  $f_m$  und die Winkelgeschwindigkeit  $\omega_m$  des Motors stehen in Beziehung zueinander, wie die Charakteristik in **Fig. 6** zeigt. In Gleichung 2 steht  $J_m$  für die Summe der Trägheitsmomente des Rotors des Motors, der Kupplung und der Kugelumlaufspindel und  $\omega_m$  für die Winkelgeschwindigkeit des Motors. Es wird eine Simulation durchgeführt, bei der die Winkelgeschwindigkeit  $\omega_m$  zu jedem Zeitpunkt  $\Delta t$  aktualisiert wird. Die Anzahl der Aktualisierungen wird mit  $k$  bezeichnet, und die Winkelgeschwindigkeit zum Zeitpunkt  $k\Delta t$  wird mit  $\omega_m[k]$  bezeichnet.

$$\begin{aligned} f_m[k] &= C_{1m}\omega_m[k-1] + F_m \quad (C_{2m}\omega_m[k-1] > F_m) \\ f_m[k] &= C_{1m}\omega_m[k-1] - F_m \quad (C_{2m}\omega_m[k-1] < F_m) \\ f_m[k] &= C_{1m}\omega_m[k-1] + F_m + C_{2m}\omega_m[k-1] \\ &\quad (C_{2m}\omega_m[k-1] > F_m, C_{2m}\omega_m[k-1] < \\ &\quad \text{außer } f \text{ oder } F_m) \end{aligned} \quad (\text{Gl. 2})$$

**[0036]** Wenn man die Indizes in Gleichung 2 und **Fig. 6** von „m“ in „L“ ändert, erhält man ein Reibungsmoment  $f_L[k]$ , das auf den Tisch wirkt.  $J_L$  bezeichnet einen Wert, der durch Umrechnung einer Masse des Tisches in ein Trägheitsmoment erhalten wird, und  $\omega_L$  bezeichnet einen Wert, der durch Umrechnung einer Geschwindigkeit des Tisches in eine Winkelgeschwindigkeit erhalten wird.

**[0037]** Das auf den Motor ausgeübte Drehmoment  $\tau_m[k]$  und das auf den Tisch ausgeübte Drehmoment  $\tau_L[k]$  ergeben sich aus Gleichung 3. In Gleichung 3 bezeichnet  $\tau_{in}$  ein Eingangsdrehmoment, das dem Motor zugeführt wird, und  $K_s$  eine Torsionssteifigkeit zwischen dem Motor und dem Tisch.

$$\begin{aligned} \tau_m[k] &= \tau_{in}[k] - K_s\delta[k] - f_m[k] \\ \tau_L[k] &= K_s\delta[k] - f_L[k] \\ \delta[k] &= \Delta t(\omega_m[k-1] - \omega_L[k-1]) + \delta[k-1] \end{aligned} \quad (\text{Gl. 3})$$

**[0038]** Mit Hilfe des Drehmoments  $\tau_m[k]$  und des Drehmoments  $\tau_L[k]$ , die in Gleichung 3 dargestellt sind, kann man den relationalen Ausdruck der Gleichung 4 (Gl. 4 unten) erhalten. In Gleichung 4 steht  $\omega_m$  für die Winkelgeschwindigkeit des Motors und  $\omega_L$  für eine Winkelgeschwindigkeit, die durch Umrechnung der Geschwindigkeit des Tisches erhalten wird.

$$\begin{aligned} \omega_m[k] &= \frac{\Delta t}{J_m}\tau_m[k] + \omega_m[k-1] \\ \omega_L[k] &= \frac{\Delta t}{J_L}\tau_L[k] + \omega_L[k-1] \end{aligned} \quad (\text{Gl. 4})$$

**[0039]** Die Haftreibung  $F$  führt dazu, dass sich die Regelbarkeit des Servos bei niedrigeren Geschwindigkeiten verschlechtert. Durch Berücksichtigung der Haftreibung bei der Berechnung der Winkelgeschwindigkeit kann die Vorhersagegenauigkeit der später beschriebenen Wartezeit bis zum Abschluss des Vorgangs erhöht werden.

**[0040]** Zum Beispiel kann in einem Fall, in dem die Achse eine konturgesteuerte Drehachse ist, die Achsensimulationseinheit in die Lage versetzt werden, mit einem Befehl im Bearbeitungsprogramm zu ändern, ob die Achsensimulation die Vorschubachse oder die Spindelachse ist. Die Kontursteuerungs-Rotationsachse ist zum Beispiel wie folgt definiert in „9. Die Kontursteuerungs-Rotationsachse und die Indexierungsachse (2018.7.24)“ von <https://www.jmtba.or.jp/exportcontrol/>

„Eine kontursteuerungsfähige Drehachse ist eine Achse, die einen Achsnamen hat, von einer numerischen Steuerung (NC) gesteuert wird, die am Hauptkörper der Werkzeugmaschine angebracht ist, zum Drehen, Fräsen oder Schleifen (im Folgenden als „Zerspanen bzw. Schneiden“ bezeichnet) bestimmt ist und alle folgenden Bedingungen erfüllt.

- (1) Eine Achse, deren Rotationsbewegung als Schnittvorschub verwendet werden kann.
- (2) Eine Achse, für die ein Schnittvorschubbefehl gleichzeitig mit Befehlen für andere lineare Achsen und andere rotierende Achsen ausgegeben werden kann.
- (3) Eine Achse, die, wenn ein entsprechender Befehl gleichzeitig mit Befehlen für andere lineare Achsen oder Drehachsen erteilt wird, eine Interpolationsoperation entlang einer bestimmten Bahn durchführt“.

**[0041]** Als Beispiel für eine konturgesteuerte Rotationsachse offenbart beispielsweise die japanische Patentanmeldung Nr. 2014-121746 ein Bearbeitungszentrum, das eine Turbinenschaufel  $W$  bearbeitet. **Fig. 7** ist ein Konfigurationsdiagramm, das ein Bearbeitungszentrum mit einer Konfiguration zur Bearbeitung einer Turbinenschaufel  $W$  zeigt. Das in **Fig. 7** dargestellte Bearbeitungszentrum umfasst zwei Ständer 421a und 421b als Paar mit Klemmmechanismen 424a und 424b, die in der Lage sind, die Turbinenschaufel  $W$  zu halten, und einen Ständer 423, auf dem ein Werkzeug  $T$  montiert werden kann. Der Ständer 421a und der Ständer 421b enthalten einen Servomotor 422a bzw. einen Servomo-

tor 422b zum Drehen einer Achse (nicht dargestellt). Der Ständer 421a ist so ausgerichtet, dass die Achse um eine Achse A1 drehbar ist, die parallel zu einer horizontalen Achse verläuft. Der Ständer 421b hingegen ist so ausgerichtet, dass die Klemmmechanismen 424a und 424b einander zugewandt sind und die Spindelachse um eine Achse A2 drehbar ist, die koaxial zur Achse A1 verläuft.

**[0042]** Der Ständer 421b ist in einer U-Achsen-Richtung gleitend verschiebbar, die parallel zur A1-Achse und zur A2-Achse verläuft (in **Fig. 1** auch eine X-Achse). Der Ständer 423 ist um eine B-Achse drehbar, die parallel zu einer Vorwärts-Rückwärts-Richtung (Y-Achsen-Richtung) in **Fig. 7** ist. Ferner ist das Werkzeug T auf der Spindelachse (nicht dargestellt) montiert, die innerhalb des Ständers 423 installiert ist, und wird zusammen mit der Spindelachse durch den Servomotor (nicht dargestellt) gedreht.

**[0043]** Das Bearbeitungszentrum von **Fig. 7** führt ein Bearbeitungsprogramm zur Bearbeitung eines Werkstücks W zu einer Turbinenschaufel aus. Bei der Bearbeitung des Werkstücks W zu einer Turbinenschaufel mit einem Schaufelabschnitt agieren die A1-Achse und die A2-Achse als Vorschubachse. Ein zentraler Teil des Werkstücks wird durch das rotierende Werkzeug T, z. B. einen Schafffräser, in eine Schaufelform gebracht. Bei der Bearbeitung einer zylindrischen Form an einem Ende des Werkstücks fungieren die A1-Achse und die A2-Achse dagegen als Spindelachse. Das Drehen erfolgt an einem rotierenden Werkstück W unter Verwendung eines Werkzeugs T, z. B. eines Drehwerkzeugs. Das heißt, die A1-Achse und die A2-Achse sind rotierende Achsen, die von den Servomotoren 422a und 422b angetrieben werden und in Übereinstimmung mit einem Befehl im Bearbeitungsprogramm als Vorschubachse und Spindelachse während des Bearbeitungsprogramms dienen können.

(Operationsabschlussbestimmungseinheit 202)

**[0044]** Wie oben beschrieben, bestimmt bzw. ermittelt die Operationsabschlussbestimmungseinheit 202, dass die Operation abgeschlossen ist basierend auf dem Steuerbefehl, der von der Achsensteuereinheit 300 oder der Achsenoperationssimulationseinheit 400 ausgegeben wird, und basierend auf virtuellen Antworten, die von der Achsenoperationssimulationseinheit 400 ausgegeben werden.

**[0045]** (1) Vorgang zur Bestimmung des Abschlusses des Vorgangs, wenn die Vorschubachse oder die Spindelachse angehalten ist

**[0046]** In einem Fall, in dem der Geschwindigkeitssollwert auf die Geschwindigkeit „0“ (gestoppt) gesetzt ist, bestimmt die Operationsabschlussbestimmungseinheit 202 den Abschluss der Operation basierend darauf, ob die Vorschubachse oder die Spindelachse abgebremst hat und in einen Positionsbereich innerhalb eines bestimmten Fensters eingetreten ist oder in einen Bereich mit einem Stopp-Bestimmungsfenster eingetreten ist, in dem bestimmt wird, dass sie mit einer Geschwindigkeit von „0“ gestoppt hat

**[0047]** Ob die Vorschubachse oder die Spindelachse abgebremst hat und in den Positionsbereich in dem angegebenen Fenster eingetreten ist oder nicht, wird von der Operationsabschlussbestimmungseinheit 202 ermittelt, die die Positionierung der Vorschubachse oder der Spindelachse mit einer In-Position-Prüfung ermittelt. In einem Fall, in dem der Geschwindigkeitssollwert auf die Geschwindigkeit „0“ (angehalten) gesetzt ist, führt die Operationsabschlussbestimmungseinheit 202 die Positionsprüfung durch und bestimmt, dass der Betrieb abgeschlossen ist, wenn die Vorschubachse oder die Spindelachse in Position ist. Die In-Position bedeutet, dass der Motor in das Fenster der befohlenen Positionen eintritt.

**[0048]** **Fig. 8** ist ein charakteristisches Diagramm, das die In-Position-Prüfung beschreibt. Das in **Fig. 8** dargestellte charakteristische Diagramm veranschaulicht eine Beziehung zwischen einer Zeit T, einem X-Achsen-Drehzahlsollwert zur Zeit T und einem Positionsabweichungsbetrag. Der Betrag der Positionsabweichung bildet eine der virtuellen Antworten. Die Operationsabschlussbestimmungseinheit 202 erhält sequenziell den Geschwindigkeitssollwert der X-Achse zum Zeitpunkt T von der Achsensteuereinheit 300 oder der Achsenoperationssimulationseinheit 400 und erhält sequenziell den Positionsabweichungsbetrag zum Zeitpunkt T von der Achsenoperationssimulationseinheit 400. Dann führt die Operationsabschlussbestimmungseinheit 202 die In-Position-Prüfung durch, wenn der X-Achsen-Geschwindigkeitssollwert die Geschwindigkeit „0“ (gestoppt) in einem Block Nxx des Bearbeitungsprogramms annimmt, und wenn der Positionsabweichungsbetrag gleich oder kleiner als ein voreingestelltes In-Position-Fenster wird, bestimmt sie, dass die Operation abgeschlossen ist, und benachrichtigt die Interpolationseinheit 201 über die Bestätigung des Operationsabschlusses. Nach Erhalt der Meldung über die Bestätigung des Operationsabschlusses beginnt die Interpolationseinheit 201 mit dem Abarbeiten eines nächsten Blocks Nyy. **Fig. 8** zeigt als Positionsprüfung einen Zeitraum von dem Zeitpunkt, an dem der X-Achsen-Drehzahlsollwert in einem Block Nxx des Bearbeitungsprogramms die Drehzahl „0“ (gestoppt) annimmt, bis zu dem Zeitpunkt, an dem die Abarbeitung des nächsten Blocks Nyy beginnt. Die Operationsabschlussbestimmungseinheit 202 meldet die Bestätigung des Abschlusses des Vorgangs an die Bearbeitungs-

zeitvorhersageeinheit 500. Nach Erhalt der Meldung über die Bestätigung des Operationsabschlusses erkennt die Bearbeitungszeitvorhersageeinheit 500 ein Ende des Blocks Nxx und misst die Bearbeitungszeit.

**[0049]** Die Operationsabschlussbestimmungseinheit 202 kann die Beendigung der Operation zum Zeitpunkt der Verlangsamung ohne Durchführung der Positionsprüfung jedoch basierend auf der Geschwindigkeit, die in dem Stopp-Bestimmungsfenster liegt, bestimmen. **Fig. 9** ist ein charakteristisches Diagramm, das ein auf der Geschwindigkeit basierendes Stopp-Bestimmungsfenster beschreibt. Die Operationsabschlussbestimmungseinheit 202 erhält sequentiell die Geschwindigkeit der X-Achse zum Zeitpunkt T von der Achsenoperationssimulationseinheit 400. Wenn dann die Geschwindigkeit der X-Achse innerhalb eines voreingestellten Stopp-Bestimmungsfensters liegt und eine vorbestimmte Anzahl von Schwankungen der Geschwindigkeit innerhalb eines Stopp-Bestimmungsfensters für eine vorbestimmte Anzahl von Schwankungen fällt, bestimmt die Operationsabschlussbestimmungseinheit 202, dass die Operation abgeschlossen ist und meldet die Bestätigung des Abschlusses an die Interpolationseinheit 201. Nach Erhalt der Meldung über die Bestätigung des Operationsabschlusses beginnt die Interpolationseinheit 201 mit dem Abarbeiten eines nächsten Blocks. Die Operationsabschlussbestimmungseinheit 202 meldet die Bestätigung für den Abschluss der Operation an die Bearbeitungszeitvorhersageeinheit 500. Nach Erhalt der Meldung zur Bestätigung des Operationsabschlusses erkennt die Bearbeitungszeitvorhersageeinheit 500 ein Ende des Blocks und misst die Bearbeitungszeit.

Ablauf zur Bestimmung des Abschlusses der Operation während der Beschleunigung oder Verlangsamung

**[0050]** In einem Fall, in dem sich die Geschwindigkeit oder die Drehgeschwindigkeit der Spindelachse ändert, prüft die Operationsabschlussbestimmungseinheit 202, ob die Geschwindigkeit einen voreingestellten Wert erreicht hat, und bestimmt den Abschluss der Operation. **Fig. 10** ist ein charakteristisches Diagramm, das für eine Zeit der Beschleunigung ein Ankunftszeitfenster für eine Geschwindigkeit und eine Wartezeit beschreibt, bis die Geschwindigkeit im Ankunftszeitfenster liegt. Die Operationsabschlussbestimmungseinheit 202 erhält sequentiell die Geschwindigkeit der Vorschubachse oder die Spindelachsendrehzahl zum Zeitpunkt T von der Achsenoperationssimulationseinheit 400. Wenn dann die Geschwindigkeit der Vorschubachse oder die Drehzahl der Spindelachse in ein voreingestelltes Ankunftszeitfenster fallen, bestimmt die Operationsabschlussbestimmungseinheit 202, dass die Operation abgeschlossen ist, und meldet die Bestätigung des

Operationsabschlusses an die Interpolationseinheit 201. Die Operationsabschlussbestimmungseinheit 202 meldet Bestätigung des Abschlusses der Operation an die Bearbeitungszeitvorhersageeinheit 500. Nach Erhalt der Meldung über die Bestätigung des Operationsabschlusses misst die Bearbeitungszeitvorhersageeinheit 500 die Bearbeitungszeit. Auch beim Abbremsen kann, wenn die Geschwindigkeit der Vorschubachse oder die Drehzahl der Spindelachse in das voreingestellte Ankunftszeitfenster fällt, die Operationsabschlussbestimmungseinheit 202 bestimmen, dass der Vorgang abgeschlossen ist.

(Bearbeitungszeitvorhersageeinheit 500)

**[0051]** Die Bearbeitungszeit-Vorhersageeinheit 500 sagt eine Bearbeitungszeit voraus, indem sie eine Zeit misst, die für die Ausführung des Bearbeitungsprogramms erforderlich ist. Wie zum Beispiel oben erwähnt, verwendet die Bearbeitungszeitvorhersageeinheit 500 die Bewegungstrecke, den Bewegungspfad, die Sollgeschwindigkeit und ähnliches, die durch die Analyseeinheit 100 erhalten werden, um eine Sollzeit des Bearbeitungsprogramms zu erhalten, misst die Zeit, die für die Ausführung des Bearbeitungsprogramms erforderlich ist, und sagt die Bearbeitungszeit aus der erhaltenen Sollzeit und der Wartezeit voraus. Die Wartezeit wird aus dem Steuerbefehl, der von der Achsensteuereinheit 300 oder der Operationsabschlussbestimmungseinheit 202 ausgegeben wird, und der Meldung zur Bestätigung des Abschlusses von der Operationsabschlussbestimmungseinheit 202 gewonnen. Die Bearbeitungszeit kann durch die Summe der Sollzeit und der Wartezeit ermittelt werden. **Fig. 11** ist ein charakteristisches Diagramm, das eine X-Achsen-Sollgeschwindigkeit, eine X-Achsen-Geschwindigkeitsausgabe von der Achsenoperationssimulationseinheit und eine Wartezeit zeigt.

**[0052]** Ein Verfahren zum Erhalten der Sollzeit des Bearbeitungsprogramms aus einem Analyseergebnis der Analyseeinheit 100 kann unter Verwendung einer bekannten Technik durchgeführt werden, zum Beispiel einer Technik, die sich auf eine Vorrichtung zur Vorhersage der Bearbeitungszeit bezieht, die in der japanischen ungeprüften Patentanmeldung mit Veröffentlichungsnr. 2012-093975 offenbart ist. Die japanische ungeprüfte Patentanmeldung mit der Veröffentlichungsnr. 2012-093975 offenbart eine Vorrichtung zur Vorhersage der Bearbeitungszeit, die eine NC-Befehlsdekodiereinheit, die einen NC-Befehl dekodiert, eine Segmentdatenerzeugungseinheit, die einen Werkzeugpfad in eine Vielzahl von diskreten Segmenten unterteilt, einen Zwischenspeicher, der Segmentdaten speichert, eine Geschwindigkeitsbegrenzungs-Verarbeitungseinheit, die eine Geschwindigkeit in tangentialer Richtung der Segmente berechnet, eine Segmentbewegungszeit-Berechnungseinheit, die eine

Geschwindigkeit in tangentialer Richtung der Segmente berechnet, und eine Segmentbewegungszeit-Berechnungseinheit, die eine Geschwindigkeit in tangentialer Richtung der Segmente berechnet, umfasst, und offenbart ferner eine Segmentbewegungszeit-Berechnungseinheit, die eine Zeit, die das Werkzeug benötigt, um sich über jedes Segment zu bewegen, basierend auf der Geschwindigkeit, die durch die Geschwindigkeitsbegrenzungs-Verarbeitungseinheit bestimmt wird, berechnet, und eine Gesamtbewegungszeit-Berechnungseinheit, die eine Gesamtzeit für die Bewegung des Werkzeugs über jedes Segment als eine Werkzeugbewegungszeit berechnet. Die Vorrichtung zur Vorhersage der Bearbeitungszeit berechnet eine Zeit, die das Werkzeug benötigt, um sich entlang eines durch einen NC-Befehl bestimmten Pfads zu bewegen.

**[0053]** Wie zum Beispiel in **Fig. 11** gezeigt, beinhaltet ein Verfahren zur Ermittlung der Wartezeit, wenn die Spindelachse oder die Vorschubachse angehalten ist, die Berechnung einer Differenz zwischen einer Operationsabschlusszeit  $t_2$ , die von der Operationsabschlussbestimmungseinheit 202 bestimmt wird, und einer Zeit  $t_1$ , bei der die Geschwindigkeit der X-Achsen-Sollgeschwindigkeit „0“ (angehalten) wird. Das Verfahren zur Berechnung der Wartezeit für die Zeit der Beschleunigung kann ebenfalls auf die gleiche Weise durchgeführt werden. In einem Fall, in dem der Befehl zum Beschleunigen und Anhalten der Achse durch das Bearbeitungsprogramm wiederholt wird, addiert die Bearbeitungszeitvorhersageeinheit 500 die Summe der Sollzeiten und die Summe der Wartezeiten (summiert die Sollzeiten und die Wartezeiten), um die Bearbeitungszeit vorherzusagen.

**[0054]** Die Zeit, die für die Ausführung des Bearbeitungsprogramms benötigt wird, bedeutet beispielsweise eine Zeit ausgehend von einem Zeitpunkt, an dem eine Analyse des Bearbeitungsprogramms beginnt, bis zu einem Zeitpunkt, an dem eine Operation in einem letzten Block des Bearbeitungsprogramms als abgeschlossen festgestellt wird. Es ist möglich, einige Mittel zur Implementierung zusätzlich zu dem oben beschriebenen Beispiel einzusetzen, wobei die Zeit, zu der die Ausführung des Bearbeitungsprogramms gestartet wird, und die Zeit, zu der die Ausführung des Bearbeitungsprogramms abgeschlossen ist, durch die Summe der Sollzeiten und der Wartezeiten erhalten werden. In Anbetracht der Tatsache, dass die vorliegende Offenbarung auf die Fokussierung auf die Sollzeit der Achsenoperation und die Wartezeit für den Abschluss der Operation abstellt, bleibt jedoch der Grundgedanke der vorliegenden Offenbarung davon unberührt, ob der Ausführungsstart vor der Sollstartzeit der ersten Achsenoperation festgesetzt wird oder ob der Ausführungsabschluss nach der Bestimmung des

Operationsabschlusses der letzten Achsenoperation gesetzt wird.

**[0055]** Das Vorstehende beschreibt einen Aufbau der Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung 10. Im Folgenden wird die Funktionsweise der Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung 10 unter Bezugnahme auf ein Flussdiagramm beschrieben, wobei ein Beispiel für einen Fall verwendet wird, in dem der Befehl zum Beschleunigen und Anhalten einer Achse im Bearbeitungsprogramm wiederholt wird. **Fig. 12** ist ein Flussdiagramm, das die Funktionsweise der Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung 10 darstellt. In Schritt S11 interpretiert bzw. übersetzt die Analyseeinheit 100 das NC-Programm und ermittelt eine Bewegungsstrecke, einen Bewegungspfad und eine Sollgeschwindigkeit. Dann erzeugt die Interpolationseinheit 201 Interpolationsdaten, und basierend auf den Interpolationsdaten erzeugt die Achsensteuereinheit 300 einen Positionssollwert oder einen Geschwindigkeitssollwert.

**[0056]** In Schritt S12 simuliert die Achsenoperationssimulationseinheit 400 die Servosteuerung und einen Betrieb der Werkzeugmaschine, um virtuelle Antworten an die Operationsabschlussbestimmungseinheit 202 auszugeben. Bei der Simulation des Betriebs der Servosteuerung und der Werkzeugmaschine werden der Elektromotorantrieb für den Antrieb der Vorschubachse und der Elektromotorantrieb für den Antrieb der Spindelachse so angesteuert, dass sie dem Positionssollwert oder dem Drehzahlsollwert folgen.

**[0057]** In Schritt S13 wird auf der Grundlage eines Befehls, der von der Interpolationseinheit 201 ausgegeben wird, und der virtuellen Antworten, die von der Achsenoperationssimulationseinheit 400 ausgegeben werden, bestimmt, dass die Operation abgeschlossen ist.

**[0058]** In Schritt S14 erhält die Bearbeitungszeitvorhersageeinheit 500 die Sollzeit bzw. Befehlszeit des Bearbeitungsprogramms aus den von der Interpolationseinheit 201 erhaltenen Interpolationsdaten und erhält eine Wartezeit aus der Meldung zur Betätigung des Operationsabschlusses von der Operationsabschlussbestimmungseinheit 202.

**[0059]** In Schritt S15 addiert die Bearbeitungszeitvorhersageeinheit 500 die Summe der Sollzeiten und die Summe der Wartezeiten (summiert die Sollzeit und die Wartezeit), um die Bearbeitungszeit vorherzusagen.

(Zweite Ausführungsform)

**[0060]** **Fig. 13** ist ein Blockdiagramm, das einen Aufbau einer Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorlie-

genden Offenbarung zeigt. Die in **Fig. 13** dargestellte Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung 10A unterscheidet sich von der in **Fig. 1** dargestellten Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung 10 dadurch, dass die Achsensteuereinheit 300 in eine X-Achsen-Steuerungseinheit 300A, eine Z-Achsen-Steuerungseinheit 300B und eine Spindelachsen-Steuerungseinheit 300C unterteilt ist, die Achsenoperationssimulationseinheit 400 in eine X-Achsen-Operationssimulationseinheit 400A, eine Z-Achsen-Operationssimulationseinheit 400B und eine Spindelachsen-Operationssimulationseinheit 400C unterteilt ist und eine Modelleinstellungseinheit 600 hinzugefügt wurde. Ferner ist in der Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung 10A die Interpolationseinheit 201 in eine Vorschubachsen-Interpolationseinheit 201A und eine Spindelachsen-Befehlseinheit 203 unterteilt, die jeweils separate Funktionen haben. Die Modelleinstellungseinheit 600 legt Konstanten für Simulationsmodelle der X-Achsen-Operationssimulationseinheit 400A, der Z-Achsen-Operationssimulationseinheit 400B und der Spindelachsen-Operationssimulationseinheit 400C fest. Zum Beispiel legt in einem Fall, in dem die Simulationsmodelle der X-Achsen-Operationssimulationseinheit 400A und der Z-Achsen-Operationssimulationseinheit 400B durch das in **Fig. 2** dargestellte Blockdiagramm von Transferfunktionen dargestellt werden, die Modelleinstellungseinheit 600 die Konstanten für die integrale Verstärkung  $k_1$ , die proportionale Verstärkung  $k_2$ , die Drehmomentkonstante  $K_t$ , die Motorträgheit  $J_m$  und die Trägheit  $J_L$  der Maschinenträgheit fest.

**[0061]** Die Vorschubachsen-Interpolationseinheit 201A und die Spindelachsen-Befehlseinheit 203 erlauben einen Betrieb unter gegenseitiger Bezugnahme auf die virtuellen Antworten. Beispielsweise bezieht sich die Spindelachsen-Befehlseinheit 203 in einem Fall der Drehbearbeitung, in dem eine konstante Umfangsgeschwindigkeitssteuerung durchgeführt wird, um eine Drehgeschwindigkeit einer Drehmaschine in Richtung eines Zentrums der Drehmaschine zu erhöhen, auf eine virtuelle Antwort, die von der Z-Achsen-Operationssimulationseinheit 400B ausgegeben wird. In einem Fall, in dem eine Steuerung zum starren Gewindeschneiden durchgeführt wird, bei der die Spindelachse und die Vorschubachse gleichzeitig interpoliert werden und die Drehung des Werkzeugs und eine Bewegung der Z-Achse genau synchronisiert sind, bezieht sich die Vorschubachsen-Interpolationseinheit 201A auf eine virtuelle Antwortausgabe von der Spindelachsen-Operationssimulationseinheit 400C.

(Erstes modifiziertes Beispiel)

**[0062]** In der Werkzeugmaschine kann die Servosteuerungseinheit der Vorschubachse erforderlich sein, um einen Vorschub der Vorschubachse zu

steuern und zu veranlassen, dem Vorgang der Spindelachse zu folgen. Dies gilt beispielsweise für einen Synchronbetrieb (ein sogenanntes Master-Slave-Synchronverfahren), bei dem eine Vorschubachse so gesteuert wird, dass sie dem Drehbetrieb der Spindelachse folgt, und zwar unter Berücksichtigung einer durch ein Gewindebohrer-Bearbeitungsprogramm festgelegten Spindelsteigung. Im Folgenden wird unter Bezugnahme auf **Fig. 14** ein Ablauf einer Achsenoperationssimulation in einem Fall beschrieben, in dem der Vorschubbetrieb der Vorschubachse gesteuert und veranlasst wird, dem Betrieb der Spindelachse zu folgen.

**[0063]** **Fig. 14** ist ein Blockdiagramm, das eine Konfiguration eines modifizierten Beispiels veranschaulicht, bei dem eine Z-Achsen-Operationssimulationseinheit 400B so betrieben wird, dass sie der Operation einer Spindelachsen-Operationssimulationseinheit 400C folgt. Der Aufbau der Z-Achsen-Operationssimulationseinheit 400B ist der gleiche wie der in **Fig. 2** dargestellte, und der Aufbau der Spindelachsen-Operationssimulationseinheit 400C ist der gleiche wie der in **Fig. 3** dargestellte Aufbau. Wie in **Fig. 14** dargestellt, gibt die Drehzahlberechnungseinheit 421 der Spindelachsen-Operationssimulationseinheit 400C einen Drehzahlberechnungswert der Spindelachse (die eine virtuelle Antwort einer anderen Achse ist) an die Z-Achsen-Steuerungseinheit 300B aus. Die Z-Achsen-Steuerungseinheit 300B berechnet aus dem Drehzahlberechnungswert der Spindelachse einen Arbeitsbetrag der Vorschubachse, der der Operation der Spindelachse folgt, und gibt einen in **Fig. 2** dargestellten Positionsbefehl  $P_c$  (der ein Steuerbefehl der Achse ist) an die Z-Achsen-Operationssimulationseinheit 400B aus. Die Z-Achsen-Steuerungseinheit 300B kann einen Vorschuboperationsbetrag der Vorschubachse berechnen, der der Operation der Spindelachse folgt, indem sie den Berechnungswert der Drehgeschwindigkeit der Spindelachse addiert, um den Drehbetrag der Spindelachse zu erhalten, und den Drehbetrag der Spindelachse mit der Spindelsteigung multipliziert.

(Zweites modifiziertes Beispiel)

**[0064]** Die vorliegende Modifikation beschreibt ein Beispiel, bei dem die X-Achsen-Operationssimulationseinheit 400A und die Z-Achsen-Operationssimulationseinheit 400B der in **Fig. 13** dargestellten Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung 10A an denselben Gleichstrombus angeschlossen sind.

**[0065]** **Fig. 15** ist ein Diagramm, das ein Beispiel eines Aufbaus veranschaulicht, in dem die X-Achsen-Operationssimulationseinheit und die Z-Achsen-Operationssimulationseinheit mit demselben Gleichstrombus verbunden sind. In diesem Aufbau sind die X-Achsen-Operationssimulationseinheit und die Z-Achsen-Operationssimulationseinheit mit

demselben Gleichstrombus verbunden, und die X-Achsen-Operationssimulationseinheit und die Z-Achsen-Operationssimulationseinheit können mit jeweiligen zugeordneten Gleichstrombussen verbunden sein. Die in **Fig. 15** dargestellte Achsenoperationssimulationseinheit deckt viele Maschinen ab, die von Motoren angetrieben werden.

**[0066]** Die X-Achsen-Operationssimulationseinheit 400A beinhaltet eine Servosteuereinheit 441, einen Umrichter 442, einen Motor 443, eine Kupplung 444, eine Kugelumlaufspindel 445 und einen Tisch 446. Die Servosteuereinheit 441 stellt das Servosteuerungsmodell dar. Der Umrichter 442, der Motor 443, die Kupplung 444, die Kugelumlaufspindel 445 und der Tisch 446 bilden ein Anlagenmodell. Die Z-Achsen-Operationssimulationseinheit 400B beinhaltet eine Servosteuereinheit 451, einen Umrichter 452, einen Motor 453, eine Kupplung 454, eine Kugelumlaufspindel 455 und einen Tisch 456. Die Servosteuereinheit 451 stellt das Servosteuerungsmodell dar. Der Umrichter 452, der Motor 453, die Kupplung 454, die Kugelumlaufspindel 455 und der Tisch 456 bilden ein Anlagenmodell. Die Servosteuereinheit 441 und die Servosteuereinheit 451 werden in **Fig. 2** durch die Positionsregelkreis-Transferfunktion 401 bzw. die Geschwindigkeitsregelkreis-Transferfunktion 402 dargestellt. Der Motor 443 und der Motor 453 werden durch die Transferfunktionen 403 bzw. 404 des Motors in **Fig. 2** dargestellt. Die Kupplung 444 und die Kugelumlaufspindel 445 werden durch die Transferfunktion 405 in **Fig. 2** dargestellt. Die Kupplung 444 und die Kugelumlaufspindel 445 werden in **Fig. 2** durch die Transferfunktion 405 dargestellt. Die Tische 446 und der Tisch 456 werden jeweils durch die Transferfunktion 406 in **Fig. 2** dargestellt. In einem Fall, in dem die Umrichter 442 und 452 nicht modelliert sind, werden die Umrichter 442 und 452 als Verzögerungselement ( $1/(T_s + 1)$ ) oder als direkte Übertragung (Drehmomentsollwert = vom Motor aufgebrachtes Drehmoment) dargestellt.

**[0067]** Eine von einer Wechselstromversorgung 431 gelieferte Wechselspannung wird durch einen Gleichrichter 432 gleichgerichtet und anschließend durch einen Glättungskondensator 433 geglättet. Ein Rückspeisewiderstand 434 verbraucht Rückspeiseleistung, wenn übermäßige Rückspeiseleistung erzeugt wird und eine Gleichstrombusspannung (Busleitungsspannung)  $V_D$  einen Standardwert erreicht, und ein Rückspeisetransistor 435 schaltet durch, wenn die Busleitungsspannung einen Standardwert erreicht, und veranlasst den Rückspeisewiderstand 434, im Glättungskondensator 433 gespeicherte Leistung zu verbrauchen. Ein Gleichstrombus ist mit einem Umrichter 442 und dem Umrichter 452 verbunden, und die Zwischenkreisspannung  $V_D$  wird an den Umrichter 442 und den Umrichter 452 angelegt. Die in **Fig. 13** dargestellte Modelleinstelleinheit 600 stellt einen Kapazitätswert des Glättungskon-

densators 433 und einen Widerstandswert des Rückspeisewiderstands 434 ein. Die Zwischenkreisspannung kann aus der Wechselspannung der Wechselstromversorgung 431, dem Kapazitätswert des Glättungskondensators 433, dem Widerstandswert des Rückspeisewiderstands 434 und ähnlichem berechnet werden. Die Servosteuereinheit 441 liefert einen Spannungssollwert an den Umrichter 442 auf der Grundlage eines Positionssollwertes oder eines Geschwindigkeitssollwertes, der von der X-Achsen-Steuereinheit 300A ausgegeben wird. Die Servosteuereinheit 451 liefert einen Spannungssollwert an den Umrichter 452 auf der Grundlage eines Positionssollwertes oder eines Geschwindigkeitssollwertes, der von der Steuereinheit 300B für die Z-Achse ausgegeben wird. Die Umrichter 442 und 452 führen jeweils einen Pulsweitenmodulationsbetrieb (PWM) oder ähnliches an der Zwischenkreisspannung  $V_D$  durch und führen eine Leistungsumwandlung aus, so dass ein Spannungssollwert an die Motoren 443 und 453 angelegt wird, wodurch die Motoren 443 und 453 mit Strom versorgt werden.

**[0068]** Wie im Kennliniendiagramm von **Fig. 16** dargestellt, ändert sich ein maximales Drehmoment  $T$  des Motors in Abhängigkeit von der Drehzahl  $N$ . Eine  $N$ - $T$ -Kennlinie ändert sich auch in Abhängigkeit von einer Zwischenkreisspannung. Wenn die Zwischenkreisspannung sinkt, wird der in **Fig. 16** dargestellte Bereich R1 schmaler. Die Zwischenkreisspannung  $V_D$  und der Bereich R1 sind wie folgt miteinander verknüpft. Der Bereich R1 ist ein Bereich, in dem Gleichung 5 (Gl. 5 unten) erfüllt ist. In Gleichung 5 steht  $\tau_{LIM}$  für das zulässige elektrische und mechanische Drehmoment des Motors,  $K_t$  für eine Drehmomentkonstante und  $R_m$  für einen Wicklungswiderstand.

$$\tau_{LIM} < K_t (V_D - K_t \omega_m) / R_m \quad (\text{Gl. 5})$$

**[0069]** Im Bereich R1 ist  $\tau_{max} = \tau_{LIM}$  erfüllt, und der Übergang zum Bereich R2 erfolgt bei Erfüllung von Gleichung 6 (Gl. 6 unten) und hängt von der Zwischenkreisspannung  $V_D$  ab.

$$\omega_m = \frac{V_D}{R_m} - \frac{\tau_{LIM}}{K_t} \quad (\text{Gl. 6})$$

**[0070]** Im Bereich R2 ist die Gleichung 7 (Gl. 7 unten) erfüllt, und  $\tau_{max}$  hängt von der Zwischenkreisspannung  $V_D$  ab.

$$\tau_{max} = K_t (V_D - K_t \omega_m) / R_m \quad [\text{Gl. 7}]$$

**[0071]** In einem Fall, in dem eine Torsionssteifigkeit, eine Tischträgheit und eine Reibung in Gleichung 4 ignoriert werden, kann der in Gleichung 8 dargestellte relationale Ausdruck für die Winkelgeschwindigkeit  $\omega_m$  erhalten werden. Der in Gleichung 8 dargestellte relationale Ausdruck für die

Winkelgeschwindigkeit  $\omega_m$  ergibt sich aus der in Gleichung 1 angegebenen Differentialgleichung.

$$\omega_m[k] = \frac{\Delta t}{J_m} \tau_{in}[k] + \omega_m[k-1] \quad (\text{Gl. 8})$$

**[0072]**  $\tau_{in}$  wird durch die Geschwindigkeits-Servoregelung berechnet und kann den durch die N-T-Kennlinie bestimmten Höchstwert  $\tau_{max}$  nicht überschreiten. Die Spindelachse der Werkzeugmaschine muss häufig zwischen einem niedrigen und einem hohen Drehzahlbereich mit einem maximalen Drehmoment beschleunigen und abbremsen. Während die Spindelachse beschleunigt oder abbremsst, wird durch die Berechnung von  $\omega_m$  mit Gleichung 8 unter Berücksichtigung der N-T-Kennlinie die Vorhersagegenauigkeit der Wartezeit erhöht, bis eine Drehzahl eine vorgegebene Drehzahl erreicht. In **Fig. 17** stellt eine Zeit T1 eine vorhergesagte Wartezeit unter der Annahme dar, dass  $\tau_{max}$  des Bereichs R1 auch auf den Bereich R2 angewendet wird, und eine Zeit T2 stellt eine Wartezeit unter Berücksichtigung der N-T-Kennlinie dar.

**[0073]** Gemäß jeder der oben beschriebenen Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung ist es möglich, ohne Verwendung tatsächlicher Bearbeitungsdaten eine genaue Bearbeitungszeit vorherzusagen, selbst wenn ein Stoppbefehl für eine Achse häufig in einem Bearbeitungsprogramm auftritt oder selbst wenn eine Achse mit einer hohen Trägheit in einer Werkzeugmaschine montiert ist. Gemäß jeder Ausführungsform ist es in einem Fall, in dem ein Bewegungsbetrag oder eine Sequenz aus Sollwerten an eine periphere Achse gegeben wird, die für einen Betrieb eines Hilfsmechanismus wie einer automatischen Werkzeugwechsellvorrichtung verantwortlich ist, möglich, eine Betriebszeit der peripheren Achse vorherzusagen.

**[0074]** Zur Implementierung der Funktionsblöcke, die in der Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung in der vorliegenden Ausführungsform enthalten sind, kann die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung durch Hardware, Software oder eine Kombination davon implementiert werden. In diesem Fall bedeutet die Implementierung durch Software, dass sie durch einen Computer implementiert wird, der ein Programm liest und ausführt.

**[0075]** Um die Funktionsblöcke, die in der Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung in der vorliegenden Ausführungsform enthalten sind, durch Software oder eine Kombination davon zu implementieren, umfasst die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung insbesondere eine arithmetische Verarbeitungseinheit wie eine Zentraleinheit (CPU). Die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung schließt auch eine Hilfsspeichervorrichtung mit ein, wie z.B. ein Festplattenlaufwerk (HDD), in der verschiedene

Steuerprogramme, wie z.B. Anwendungssoftware oder ein Betriebssystem (OS), gespeichert sind, und schließt eine Hauptspeichervorrichtung mit ein, wie z.B. ein RAM (Speicher mit wahlfreiem Zugriff), der Daten speichert, die vorübergehend für die arithmetische Verarbeitungseinheit zur Ausführung eines Programms erforderlich sind.

**[0076]** Dann liest die arithmetische Verarbeitungseinheit in der Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung die Anwendungssoftware oder das Betriebssystem aus der Hilfsspeichervorrichtung aus und führt eine arithmetische Verarbeitung auf der Grundlage der Anwendungssoftware oder des Betriebssystems durch, während sie in der Hauptspeichervorrichtung die Anwendungssoftware oder das Betriebssystem, die ausgelesen werden, initialisiert. Auf der Grundlage dieser arithmetischen Ergebnisse werden verschiedene in jeder Vorrichtung enthaltene Hardware-Einrichtungen gesteuert. Mit dieser Konfiguration werden die Funktionsblöcke der vorliegenden Ausführungsform implementiert.

**[0077]** Jede Komponente, die in der Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung enthalten ist, kann mit Hardware wie einer elektronischen Schaltung implementiert werden. In einem Fall, in dem die Vorrichtung zur Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung mit Hardware konfiguriert ist, kann ein Teil oder die Gesamtheit der Funktionen der jeweiligen Komponenten, die in der Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung enthalten sind, mit einer integrierten Schaltung (IC) wie einer anwendungsspezifischen integrierten Schaltung (ASIC), einem Gatter-Array, einem Vor-Ort-programmierbaren Gatter-Array (FPGA), einer komplex programmierbaren Logikeinrichtung (CPLD) und dergleichen konfiguriert werden.

**[0078]** Die Programme können auf verschiedenen nicht-flüchtigen computerlesbaren Medien gespeichert und einem Computer zur Verfügung gestellt werden. Zu den nicht-flüchtigen computerlesbaren Medien gehören verschiedene materielle Speichermedien. Beispiele für nicht-flüchtige computerlesbare Medien sind magnetische Aufzeichnungsmedien (z. B. Festplattenlaufwerke), magneto-optische Aufzeichnungsmedien (z. B. magneto-optische Platten), CD-ROMs (Festwertspeicher), CD-Rs, CD-RWs, Halbleiterspeicher (z. B. ein Masken-ROM, ein PROM (programmierbares ROM), ein EPROM (löschbares PROM), ein Flash-ROM und ein RAM (Direktzugriffsspeicher)). Die Programme können einem Computer auch durch verschiedene flüchtige computerlesbare Medien zur Verfügung gestellt werden.

**[0079]** Die oben beschriebenen Ausführungsformen sind bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung. Der Umfang der vorliegenden

Offenbarung ist nicht auf die oben beschriebenen Ausführungsformen beschränkt, und es können verschiedene Modifikationen vorgenommen werden, ohne vom Grundgedanken der vorliegenden Offenbarung abzuweichen.

**[0080]** Die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung und das Verfahren zur Vorhersage der Bearbeitungszeit für die Werkzeugmaschine gemäß der vorliegenden Offenbarung können verschiedene Ausführungsformen annehmen, die die folgenden Konfigurationen einschließlich der oben beschriebenen Ausführungsformen aufweisen.

(1) Eine Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung (z.B. eine Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung 10, 10A), die auf der Grundlage eines Bearbeitungsprogramms eine Bearbeitungszeit für eine Werkzeugmaschine zur Bearbeitung eines Werkstücks durch Steuerung mindestens einer Achse vorhersagt. Die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung weist auf: eine Analyseeinheit (z.B. eine Analyseeinheit 100), die das Bearbeitungsprogramm analysiert, um einen Operationsbefehl für die Achse zu erzeugen; eine Ausführungssteuereinheit (z.B. eine Ausführungssteuereinheit 200), die eine Interpolationseinheit (z.B. eine Interpolationseinheit 201) enthält, die die Ausführung des Operationsbefehls verwaltet und eine Achsenoperation auf der Grundlage eines Ergebnisses der Analyse des Bearbeitungsprogramms befiehlt, und eine Operationsabschlussbestimmungseinheit (z.B. eine Operationsabschlussbestimmungseinheit 202), die bestimmt, dass die Achsenoperation abgeschlossen ist; eine Achsensteuereinheit (z.B. eine Achsensteuereinheit 300), die einen Steuerbefehl auf der Grundlage des Operationsbefehls für die Achse von der Interpolationseinheit erzeugt; eine Bearbeitungszeitvorhersageeinheit (z.B. eine Bearbeitungszeitvorhersageeinheit 500), die die Bearbeitungszeit durch Messen einer für die Ausführung des Bearbeitungsprogramms erforderlichen Zeit vorhersagt; und eine Achsenoperationssimulationseinheit (z.B. eine Achsenoperationssimulationseinheit 400), die auf der Grundlage des Steuerbefehls den Betrieb der Achse simuliert und virtuelle Antworten ausgibt. Die Operationsabschlussbestimmungseinheit bestimmt auf der Grundlage der virtuellen Antworten, dass die Achsenoperation abgeschlossen ist. Gemäß dieser Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung ist es möglich, ohne Verwendung tatsächlicher Bearbeitungsdaten eine genaue Bearbeitungszeit vorherzusagen, selbst wenn ein Stoppbefehl für eine Achse häufig in einem Bearbeitungsprogramm auftritt oder selbst wenn eine Achse mit einer hohen Tragheit in einer Werkzeugmaschine montiert ist.

(2) Die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung gemäß (1), bei der die Achsenoperationssimulationseinheit eine Simulation einer Operation einer Vorschubachse und eine Simulation einer Operation einer Spindelachse durchführt, wobei die Vorschubachse eine Bahn basierend auf dem Bearbeitungsprogramm zeichnet und die Spindelachse ein Werkzeug oder ein Werkstück dreht.

(3) Die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung gemäß (2), in der die Achsenoperationssimulationseinheit ausgebildet ist, einer Operation einer anderen Achse basierend auf einer virtuellen Antwort der anderen Achse zu folgen.

(4) Die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung gemäß (2) oder (3), bei der die Achsenoperationssimulationseinheit die Achsenoperationssimulation der Vorschubachse oder der Spindelachse in einer veränderbaren Weise in Übereinstimmung mit einem Befehl in dem Bearbeitungsprogramm durchführt.

(5) Die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung gemäß einem der Punkte (1) bis (4), die ferner eine Modelleinstellungseinheit aufweist, die ausgebildet ist, die Eigenschaften der Achsenoperationssimulationseinheit zu ändern. Die Achsenoperationssimulationseinheit hat ein Servosteuermodell, das die virtuellen Antworten veranlasst, dem Steuerbefehl zu folgen, und ein Anlagenmodell. Das Anlagenmodell enthält eine numerische Lösung einer oder mehrerer Differentialgleichungen und berechnet die virtuellen Antworten als Reaktion auf eine Eingabe eines Arbeitsbetrags. Der Arbeitsbetrag ist eine Ausgabe des Servosteuermodells.

(6) Die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung gemäß (5), bei der das Anlagenmodell einen von einem Umrichter angesteuerten Elektromotor enthält, der als Energiequelle für die Achse dient. Die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung ist in der Lage, eine Zwischenkreisspannung zu berechnen, an die der Umrichter angeschlossen ist.

(7) Die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung gemäß (6), wobei die Achsenoperationssimulationseinheit mehrere Achsenoperationssimulationseinheiten aufweist, die für zwei oder mehr Achsen auf einer Eins-zu-Eins-Basis vorgesehen sind, und der Umrichter jeder Achsenoperationssimulationseinheit mit demselben Gleichstrombus verbunden ist.

(8) Ein Bearbeitungszeitvorhersageverfahren, das von einem Computer ausgeführt wird, der als Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung dient, die auf der Grundlage eines Bearbeitungsprogramms eine Bearbeitungszeit für eine Werkzeugmaschine zur Bearbeitung eines

Werkstücks durch Steuerung mindestens einer Achse vorhersagt, wobei das Verfahren das Ausführen umfasst von: einem Prozess zum Analysieren des Bearbeitungsprogramms, um einen Operationsbefehl für die Achse zu erzeugen; einem Prozess zum Verwalten der Ausführung des Operationsbefehls, zum Anweisen einer Operation der mindestens einen Achse auf der Grundlage eines Ergebnisses des Analysierens des Bearbeitungsprogramms und zum Bestimmen, dass der Betrieb der Achse abgeschlossen wurde; einem Prozess zum Erzeugen eines Steuerbefehls auf der Grundlage des Operationsbefehls für die Achse; einem Prozess zum Vorhersagen der Bearbeitungszeit durch Messen einer Zeit, die für die Ausführung des Bearbeitungsprogramms erforderlich ist; und einem Achsenoperationssimulationsprozess zum Simulieren der Operation der Achse auf der Grundlage des Steuerbefehls und zum Ausgeben virtueller Antworten, wobei der Prozess zum Bestimmen, dass der Betrieb der Achse abgeschlossen ist, ferner das Bestimmen auf der Grundlage der virtuellen Antworten umfasst, dass die Achsenoperation abgeschlossen ist. Gemäß diesem Bearbeitungszeitvorhersageverfahren ist es möglich, ohne Verwendung tatsächlicher Bearbeitungsdaten eine genaue Bearbeitungszeit vorherzusagen, selbst wenn ein Stoppbefehl für eine Achse häufig in einem Bearbeitungsprogramm auftritt oder selbst wenn eine Achse mit einer hohen Trägheit in einer Werkzeugmaschine montiert ist.

#### Erläuterung von Bezugszeichen

10, 10A	Vorrichtung zur Vorhersage der Bearbeitungszeit bzw. Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung
100	Analyseeinheit
200	Ausführungssteuereinheit
201	Interpolationseinheit
202	Einheit zur Bestimmung des Abschlusses der Operation bzw. Operationsabschlussbestimmungseinheit
300	Achsensteuereinheit
400	Achsenoperationssimulationseinheit
500	Bearbeitungszeitvorhersageeinheit
600	Modelleinstellungseinheit

**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 2012243152 [0005]
- JP 2017207823 [0005]
- JP 2009098981 [0005]
- JP 03110607 [0019]
- JP 20205406 [0026]
- JP 2014121746 [0041]
- JP 2012093975 [0052]

**Zitierte Nicht-Patentliteratur**

- Murata, Tsuchiya, Takeda, „Vector Control for Induction Machine by Primary Flux Linkage Control“, Collected papers of the Society of Instrument and Control Engineers, Band 25, Nr. 11, Seiten 1194-1201 (1989) [0034]

## Patentansprüche

1. Eine Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung, die auf der Grundlage eines Bearbeitungsprogramms eine Bearbeitungszeit für eine Werkzeugmaschine zur Bearbeitung eines Werkstücks durch Steuerung mindestens einer Achse vorhersagt, wobei die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung umfasst:

eine Analyseeinheit, die das Bearbeitungsprogramm zur Erzeugung eines Operationsbefehls für die Achse analysiert;

eine Ausführungssteuereinheit mit einer Interpolationseinheit, die die Ausführung des Operationsbefehls verwaltet und eine Achsenoperation auf der Grundlage eines Ergebnisses der Analyse des Bearbeitungsprogramms anweist, und mit einer Operationsabschlussbestimmungseinheit, die bestimmt, dass die Achsenoperation abgeschlossen ist;

eine Achsensteuereinheit, die einen Steuerbefehl auf der Grundlage des Operationsbefehls für die Achse von der Interpolationseinheit erzeugt;

eine Bearbeitungszeitvorhersageeinheit, die die Bearbeitungszeit durch Messen einer für die Ausführung des Bearbeitungsprogramms erforderlichen Zeit vorhersagt; und

eine Achsenoperationssimulationseinheit, die auf der Grundlage des Steuerbefehls den die Achsenoperation simuliert und virtuelle Antworten ausgibt, wobei die Operationsabschlussbestimmungseinheit auf der Grundlage der virtuellen Antworten bestimmt, dass die Achsenoperation abgeschlossen ist.

2. Die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Achsenoperationssimulationseinheit eine Simulation einer Operation einer Vorschubachse und eine Simulation einer Operation einer Spindelachse durchführt, die Vorschubachse eine Bahn auf der Grundlage des Bearbeitungsprogramms zeichnet und die Spindelachse ein Werkzeug oder ein Werkstück dreht.

3. Die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung nach Anspruch 2, wobei die Achsenoperationssimulationseinheit ausgebildet ist, einer Operation einer anderen Achse basierend auf einer virtuellen Antwort der anderen Achse zu folgen.

4. Die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, wobei die Achsenoperationssimulationseinheit die Achsenoperationssimulation der Vorschubachse oder der Spindelachse in einer veränderbaren Weise in Übereinstimmung mit einem Befehl in dem Bearbeitungsprogramm durchführt.

5. Die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, die ferner eine

Modelleinstelleinheit aufweist, die ausgebildet ist, die Eigenschaften der Achsenoperationssimulationseinheit zu ändern, wobei die Achsenoperationssimulationseinheit ein Servosteuermodell, das bewirkt, dass die virtuellen Antworten dem Steuerbefehl folgen, und ein Anlagenmodell umfasst, das eine numerische Lösung einer oder mehrerer Differentialgleichungen enthält und die virtuellen Antworten in Reaktion auf eine Eingabe eines Arbeitsbetrags berechnet, wobei der Arbeitsbetrag eine Ausgabe des Servosteuermodells ist.

6. Die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung nach Anspruch 5, wobei das Anlagenmodell einen von einem Umrichter angesteuerten Elektromotor enthält, der als Kraftquelle für die Achse dient, wobei die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung ausgebildet ist, eine Gleichstrombusspannung zu berechnen, an die der Umrichter angeschlossen ist.

7. Die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung nach Anspruch 6, wobei die Achsenoperationssimulationseinheit mehrere Achsenoperationssimulationseinheiten aufweist, die für zwei oder mehr Achsen auf einer Eins-zu-Eins-Basis vorgesehen sind, und der Umrichter jeder Achsenoperationssimulationseinheit mit demselben Gleichstrombus verbunden ist.

8. Ein Bearbeitungszeitvorhersageverfahren, das von einem Computer ausgeführt wird, der als Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung dient, die auf der Grundlage eines Bearbeitungsprogramms eine Bearbeitungszeit für eine Werkzeugmaschine zur Bearbeitung eines Werkstücks durch Steuerung mindestens einer Achse vorhersagt, wobei das Verfahren das Ausführen umfasst von:

einem Prozess zum Analysieren des Bearbeitungsprogramms, um einen Operationsbefehl für die Achse zu erzeugen

einem Prozess zum Verwalten der Ausführung des Operationsbefehls, der die Operation der mindestens einer Achse auf der Grundlage eines Ergebnisses der Analyse des Bearbeitungsprogramms anweist, und zum Bestimmen, dass die Achsenoperation abgeschlossen worden ist;

einem Prozess zum Erzeugen eines Steuerbefehls auf der Grundlage des Operationsbefehls für die Achse;

einem Prozess zum Vorhersagen der Bearbeitungszeit durch Messen einer für die Ausführung des Bearbeitungsprogramms erforderlichen Zeit; und einem Achsenoperationssimulationsprozess zum Simulieren der Achsenoperation basierend auf dem Steuerbefehl und zum Ausgeben virtueller Antworten,

wobei der Prozess zum Bestimmen, dass die Achsenoperation abgeschlossen worden ist, ferner umfasst: Bestimmen, dass die Achsenoperation

abgeschlossen worden ist auf der Grundlage der virtuellen Antworten.

**Geänderte Ansprüche**

1. Eine Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung (10, 10A), die auf der Grundlage eines Bearbeitungsprogramms eine Bearbeitungszeit für eine Werkzeugmaschine zur Bearbeitung eines Werkstücks durch Steuerung mindestens einer Achse vorhersagt, wobei die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung umfasst:  
 eine Analyseeinheit (100), die das Bearbeitungsprogramm zur Erzeugung eines Operationsbefehls für die Achse analysiert;  
 eine Ausführungssteuereinheit (200) mit einer Interpolationseinheit (201), die die Ausführung des Operationsbefehls verwaltet und eine Achsenoperation auf der Grundlage eines Ergebnisses der Analyse des Bearbeitungsprogramms anweist, und mit einer Operationsabschlussbestimmungseinheit (202), die bestimmt, dass die Achsenoperation abgeschlossen ist;  
 eine Achsensteuereinheit (300), die einen Steuerbefehl auf der Grundlage des Operationsbefehls für die Achse von der Interpolationseinheit erzeugt;  
 eine Bearbeitungszeitvorhersageeinheit (500), die die Bearbeitungszeit durch Messen einer für die Ausführung des Bearbeitungsprogramms erforderlichen Zeit vorhersagt; und  
 eine Achsenoperationssimulationseinheit (400), die auf der Grundlage des Steuerbefehls den die Achsenoperation simuliert und virtuelle Antworten ausgibt,  
 wobei die Operationsabschlussbestimmungseinheit (202) auf der Grundlage der virtuellen Antworten bestimmt, dass die Achsenoperation abgeschlossen ist.

2. Die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Achsenoperationssimulationseinheit (400) eine Simulation einer Operation einer Vorschubachse und eine Simulation einer Operation einer Spindelachse durchführt, die Vorschubachse eine Bahn auf der Grundlage des Bearbeitungsprogramms zeichnet und die Spindelachse ein Werkzeug oder ein Werkstück dreht.

3. Die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung nach Anspruch 2, wobei die Achsenoperationssimulationseinheit (400) ausgebildet ist, einer Operation einer anderen Achse basierend auf einer virtuellen Antwort der anderen Achse zu folgen.

4. Die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, wobei die Achsenoperationssimulationseinheit (400) die Achsenoperationssimulation der Vorschubachse oder der Spindelachse in einer veränderbaren Weise in Übereinstimmung mit einem Befehl in dem Bearbeitungsprogramm durchführt.

5. Die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, die ferner eine Modelleinstelleinheit (600) aufweist, die ausgebildet ist, die Eigenschaften der Achsenoperationssimulationseinheit (400) zu ändern, wobei die Achsenoperationssimulationseinheit (400) ein Servosteuermodell, das bewirkt, dass die virtuellen Antworten dem Steuerbefehl folgen, und ein Anlagenmodell umfasst, das eine numerische Lösung einer oder mehrerer Differentialgleichungen enthält und die virtuellen Antworten in Reaktion auf eine Eingabe eines Arbeitsbetrags berechnet, wobei der Arbeitsbetrags eine Ausgabe des Servosteuermodells ist.

6. Die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung nach Anspruch 5, wobei das Anlagenmodell einen von einem Umrichter angesteuerten Elektromotor enthält, der als Kraftquelle für die Achse dient, wobei die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung ausgebildet ist, eine Gleichstrombusspannung zu berechnen, an die der Umrichter angeschlossen ist.

7. Die Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung nach Anspruch 6, wobei die Achsenoperationssimulationseinheit (400) mehrere Achsenoperationssimulationseinheiten aufweist, die für zwei oder mehr Achsen auf einer Eins-zu-Eins-Basis vorgesehen sind, und der Umrichter jeder Achsenoperationssimulationseinheit mit demselben Gleichstrombus verbunden ist.

8. Ein Bearbeitungszeitvorhersageverfahren, das von einem Computer ausgeführt wird, der als Bearbeitungszeitvorhersagevorrichtung (10, 10A) dient, die auf der Grundlage eines Bearbeitungsprogramms eine Bearbeitungszeit für eine Werkzeugmaschine zur Bearbeitung eines Werkstücks durch Steuerung mindestens einer Achse vorhersagt, wobei das Verfahren das Ausführen umfasst von:  
 einem Prozess zum Analysieren des Bearbeitungsprogramms, um einen Operationsbefehl für die Achse zu erzeugen  
 einem Prozess zum Verwalten der Ausführung des Operationsbefehls, der die Operation der mindestens einer Achse auf der Grundlage eines Ergebnisses der Analyse des Bearbeitungsprogramms anweist, und zum Bestimmen, dass die Achsenoperation abgeschlossen worden ist;  
 einem Prozess zum Erzeugen eines Steuerbefehls auf der Grundlage des Operationsbefehls für die Achse;  
 einem Prozess zum Vorhersagen der Bearbeitungszeit durch Messen einer für die Ausführung des Bearbeitungsprogramms erforderlichen Zeit; und  
 einem Achsenoperationssimulationsprozess zum Simulieren der Achsenoperation basierend auf dem Steuerbefehl und zum Ausgeben virtueller Antworten,  
 wobei der Prozess zum Bestimmen, dass die Achsenoperation abgeschlossen worden ist, ferner

umfasst: Bestimmen, dass die Achsenoperation abgeschlossen worden ist auf der Grundlage der virtuellen Antworten.

Es folgen 14 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

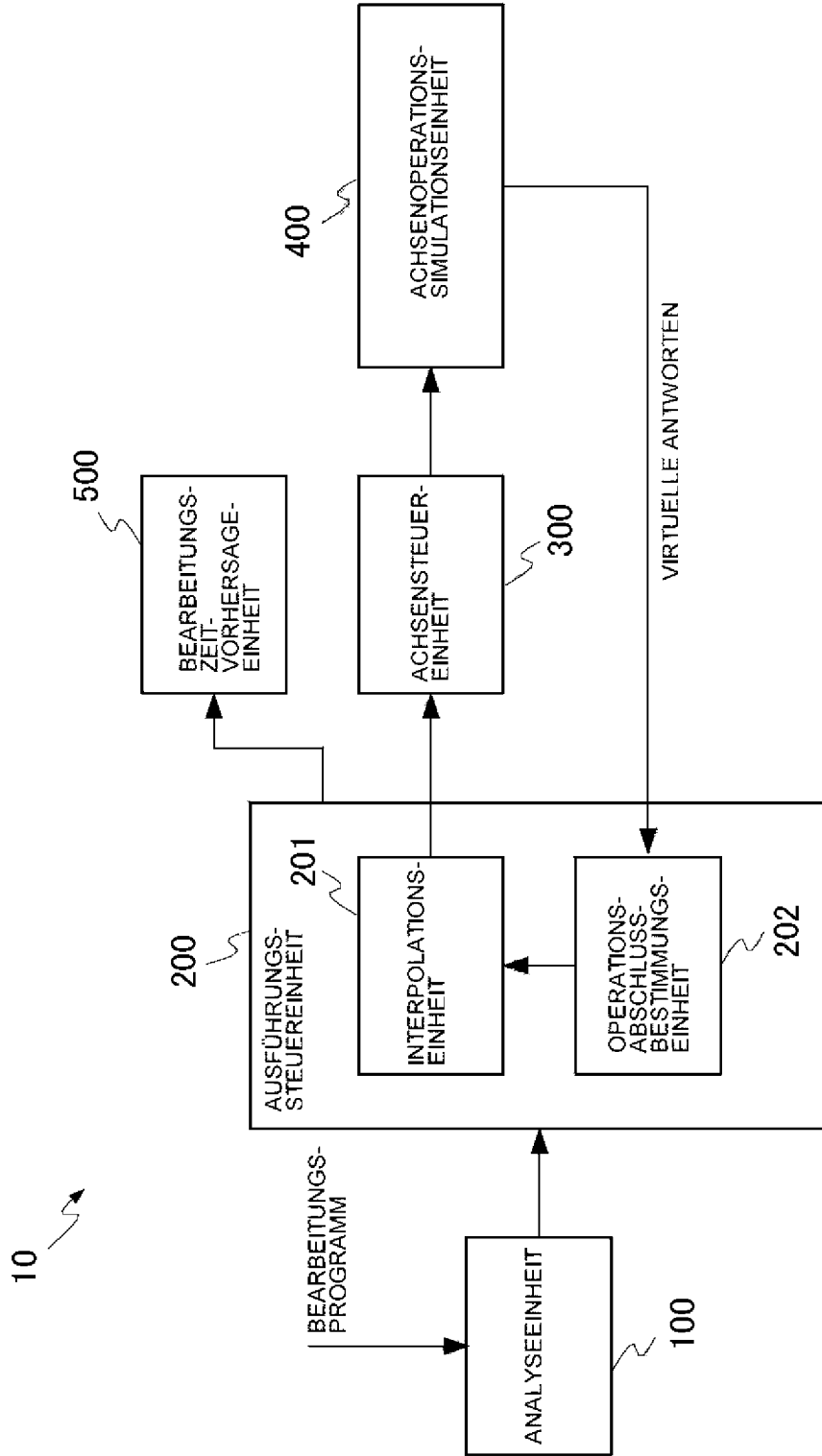


FIG. 2

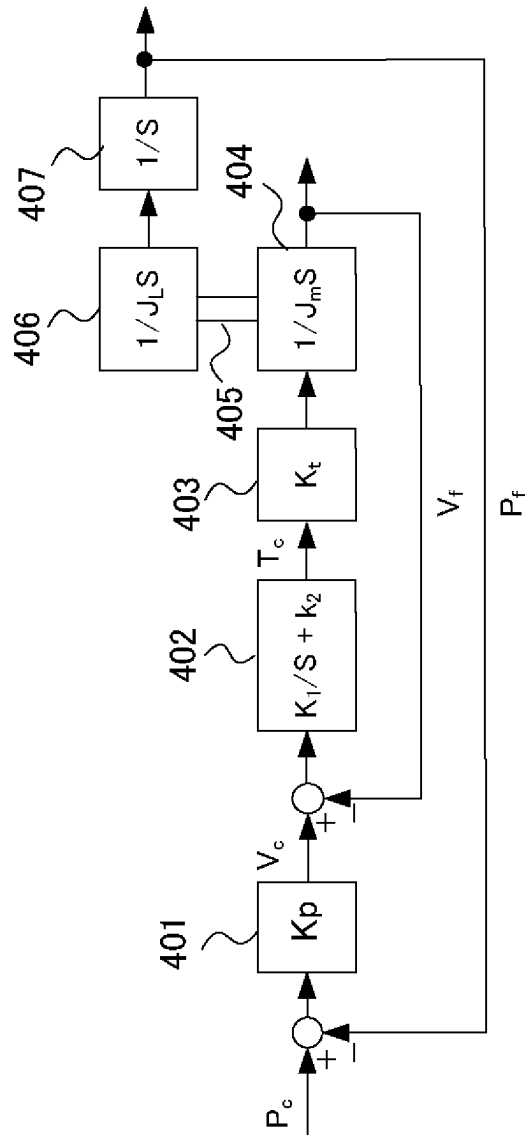


FIG. 3

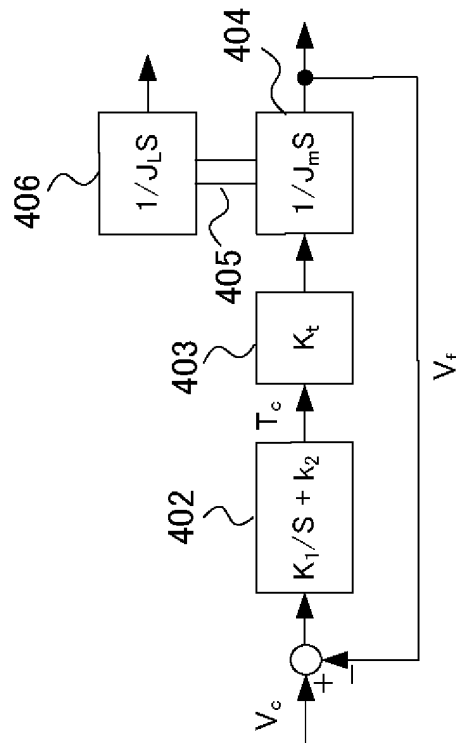


FIG. 4

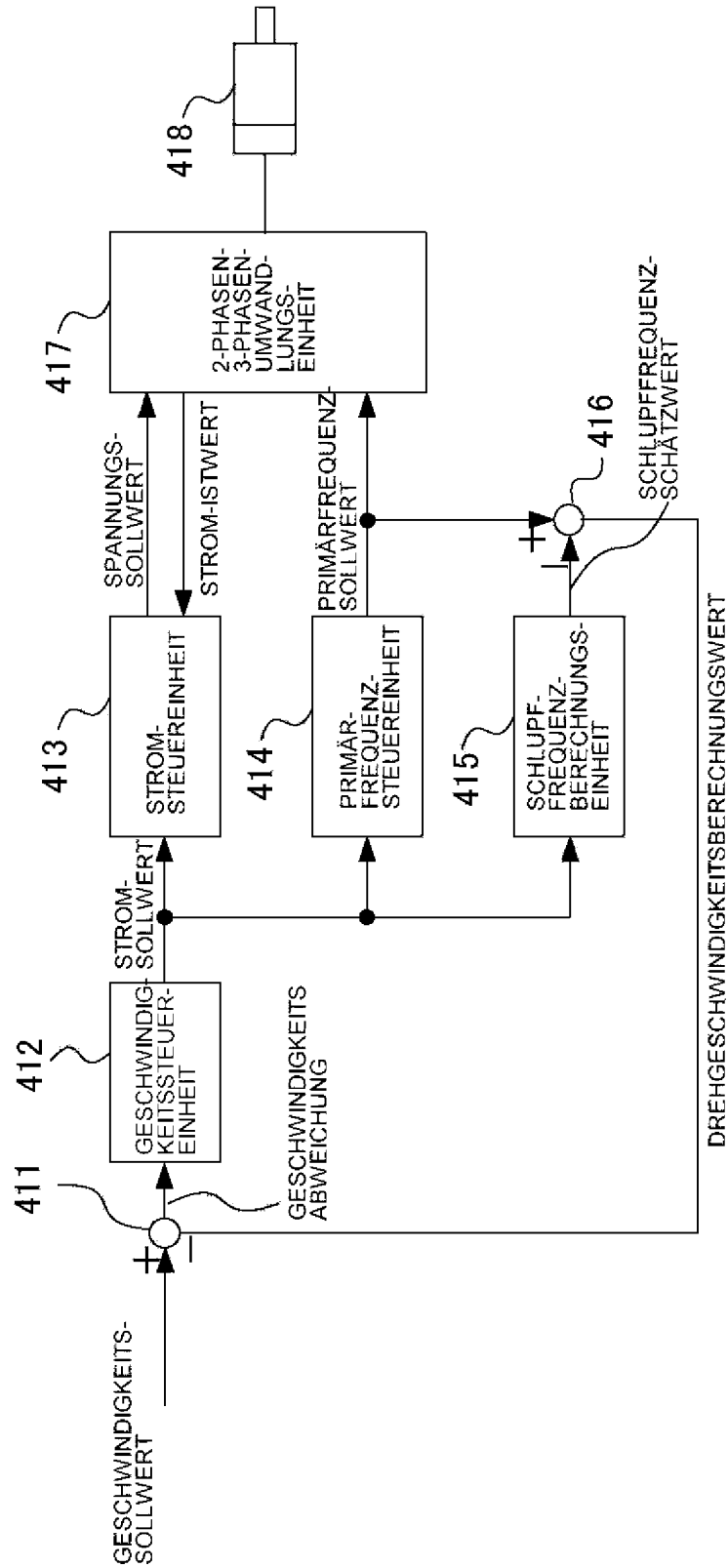


FIG. 5

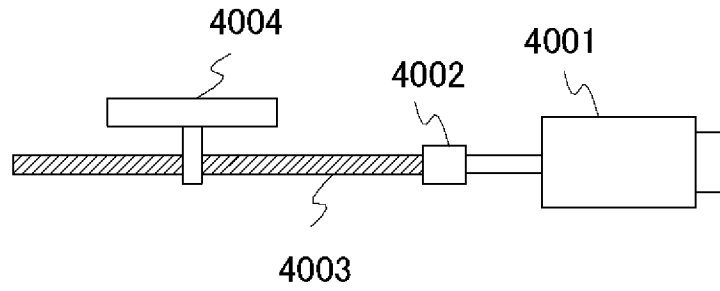


FIG. 6

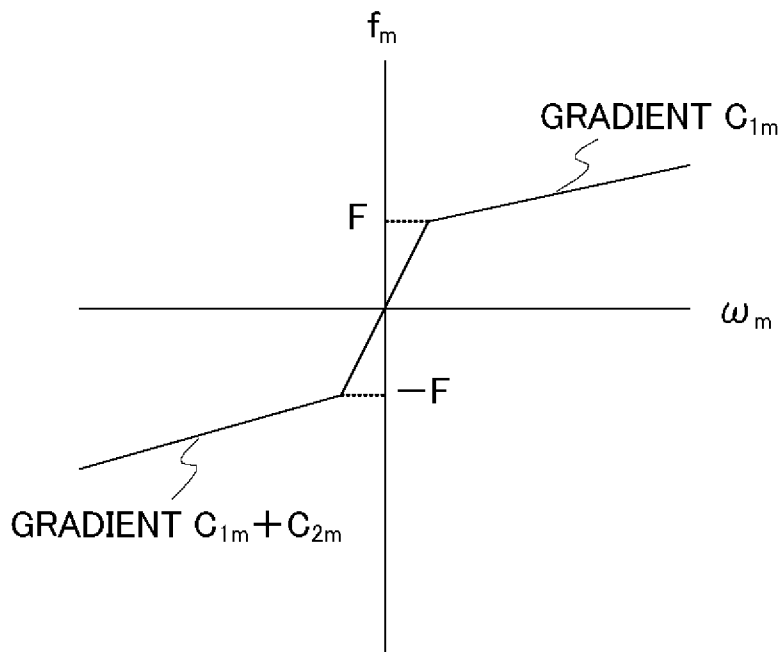


FIG. 7

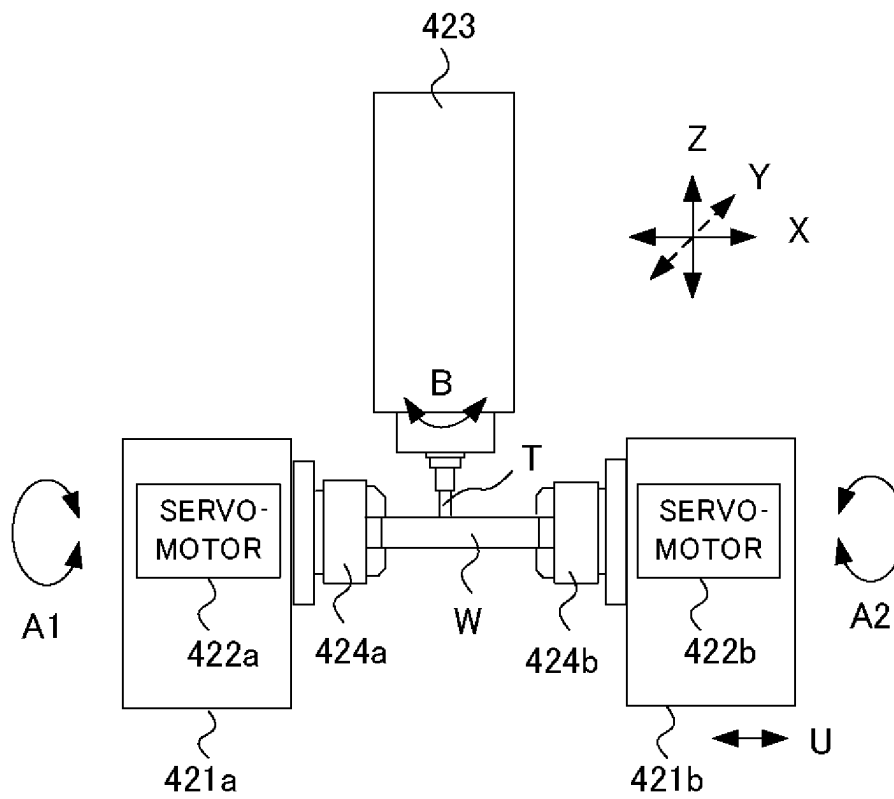


FIG. 8

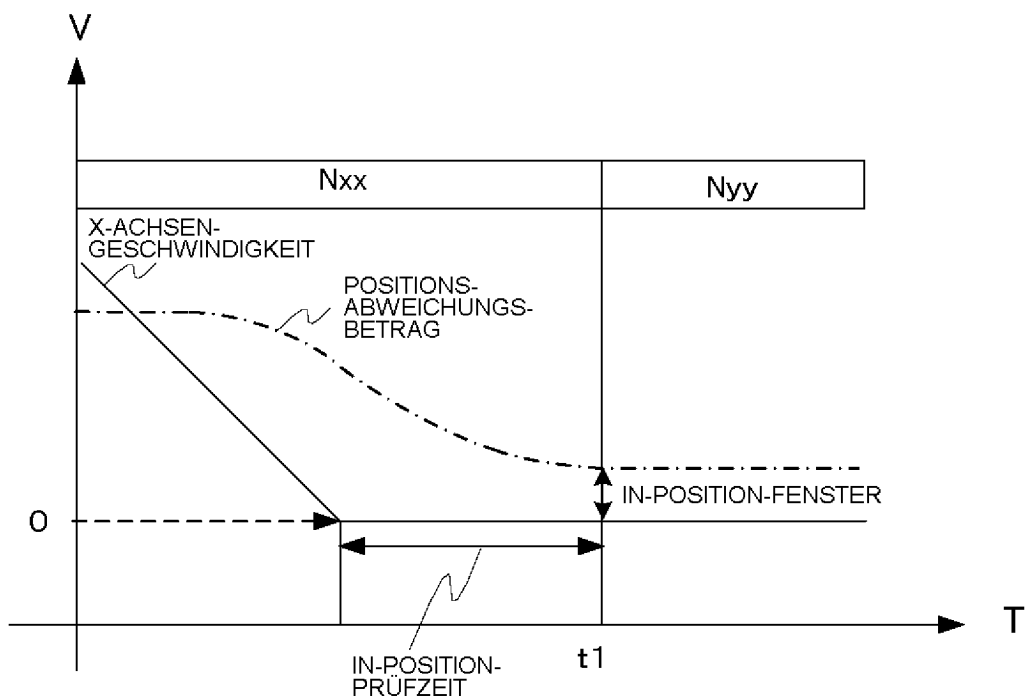


FIG. 9

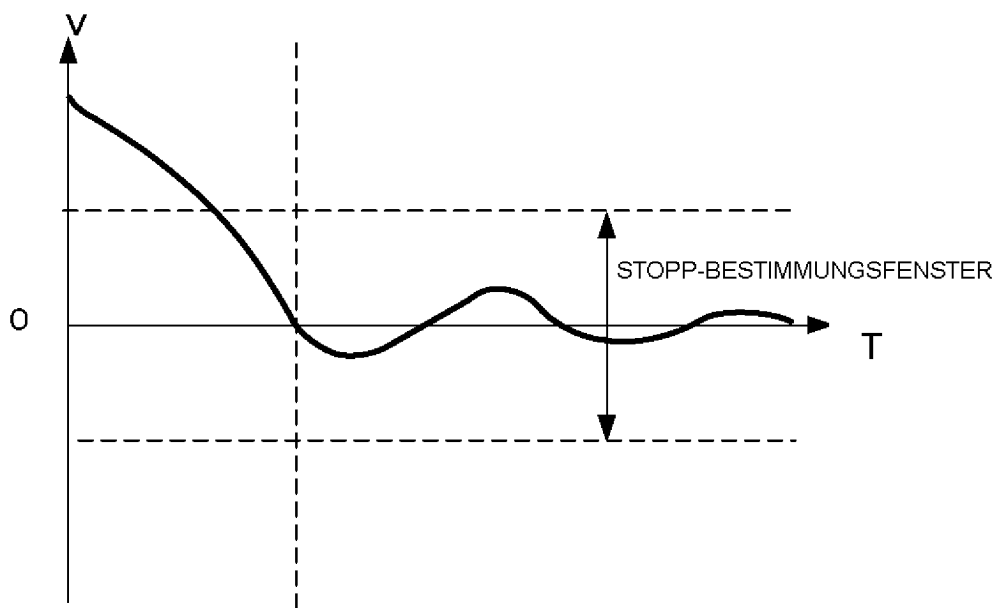


FIG. 10

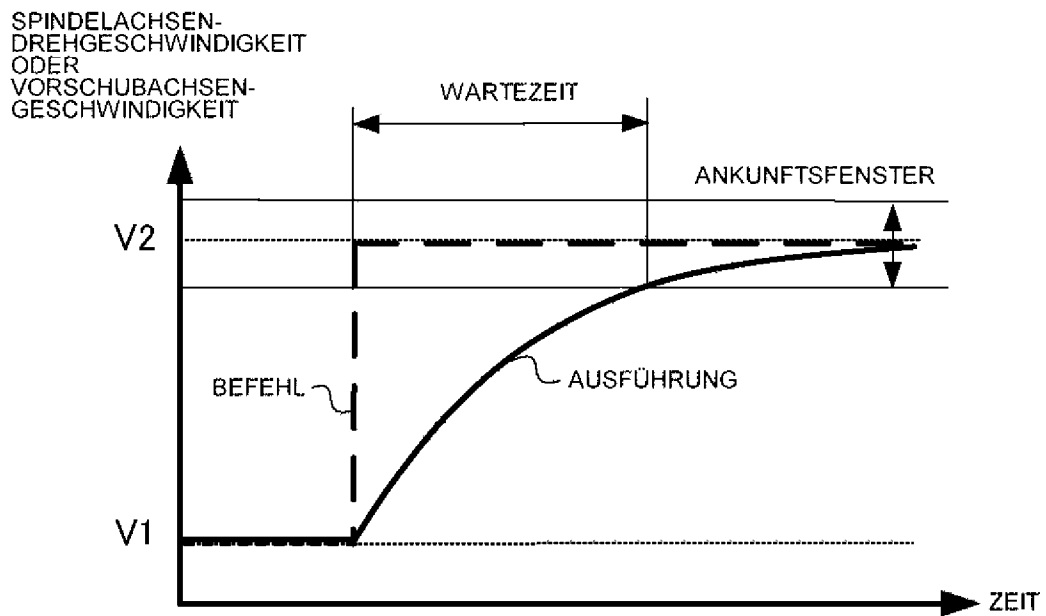


FIG. 11

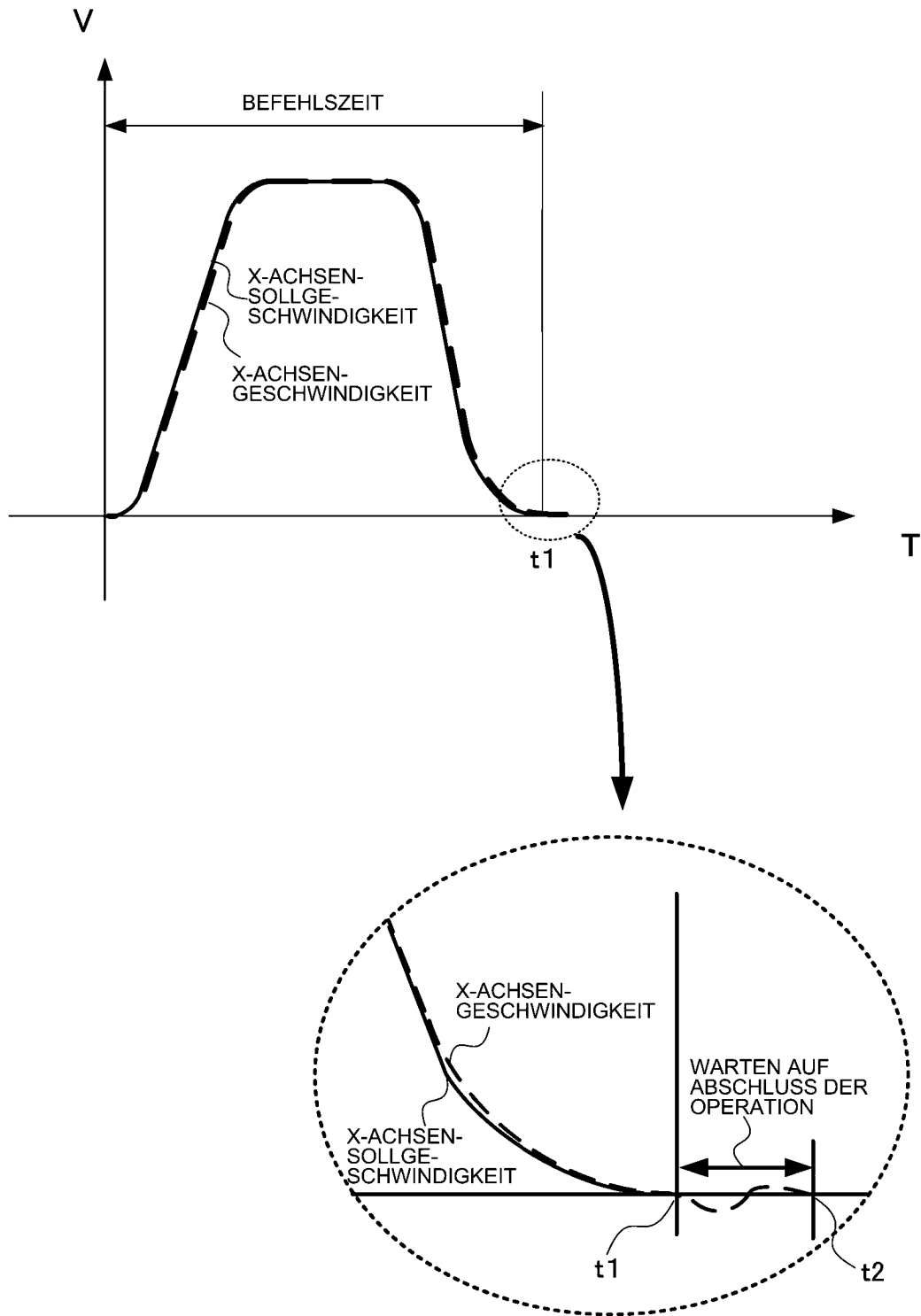


FIG. 12

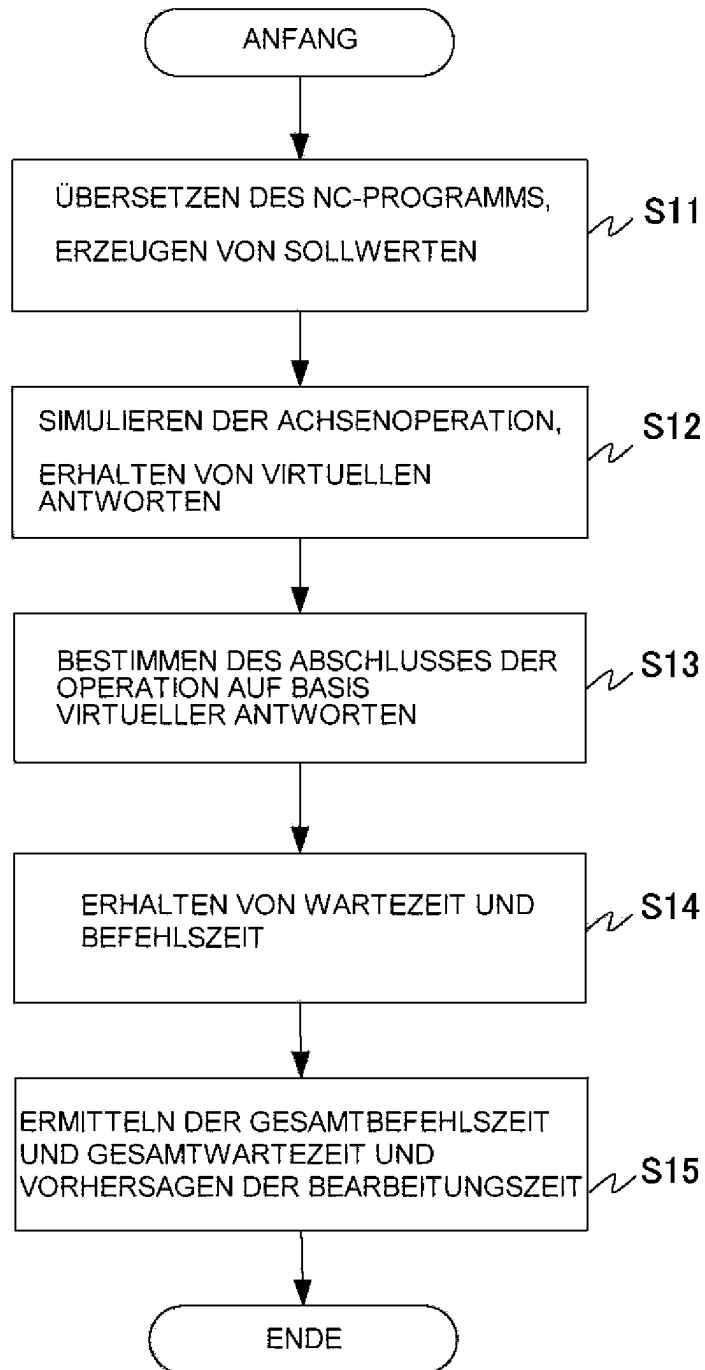


FIG. 13

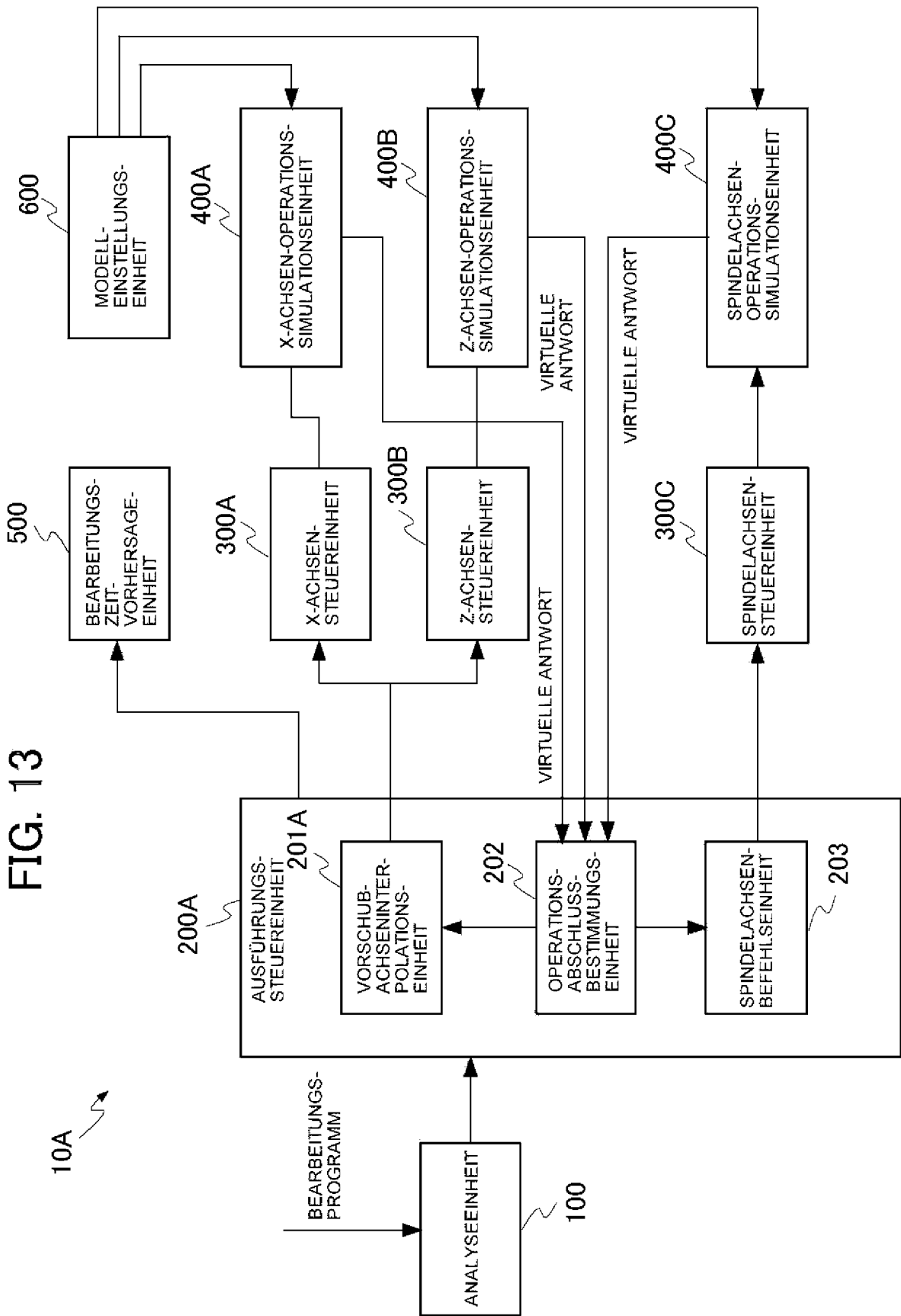


FIG. 14

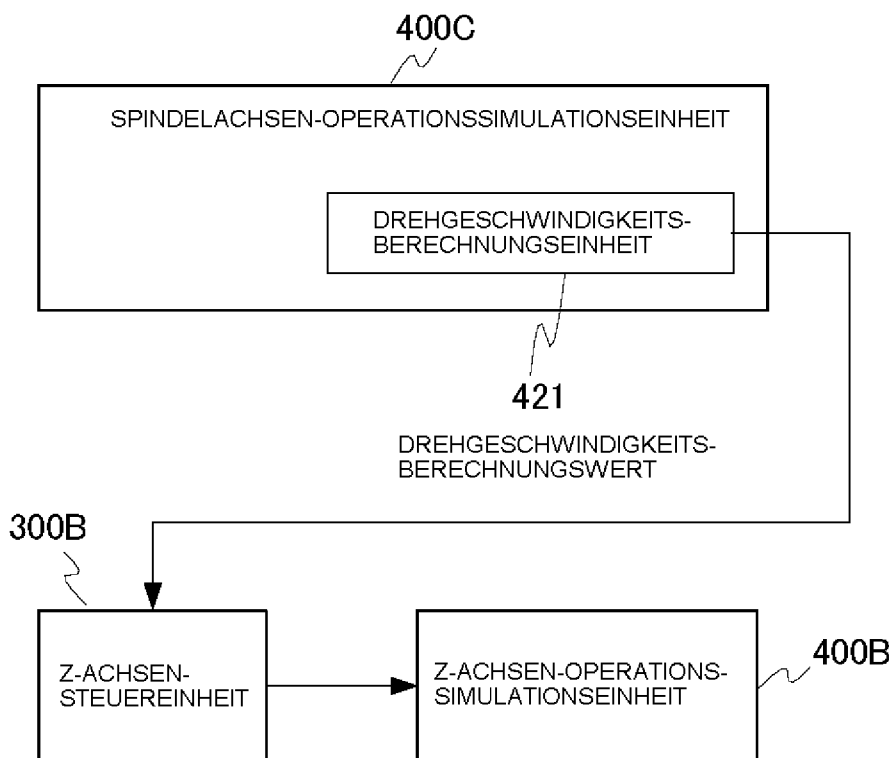


FIG. 15

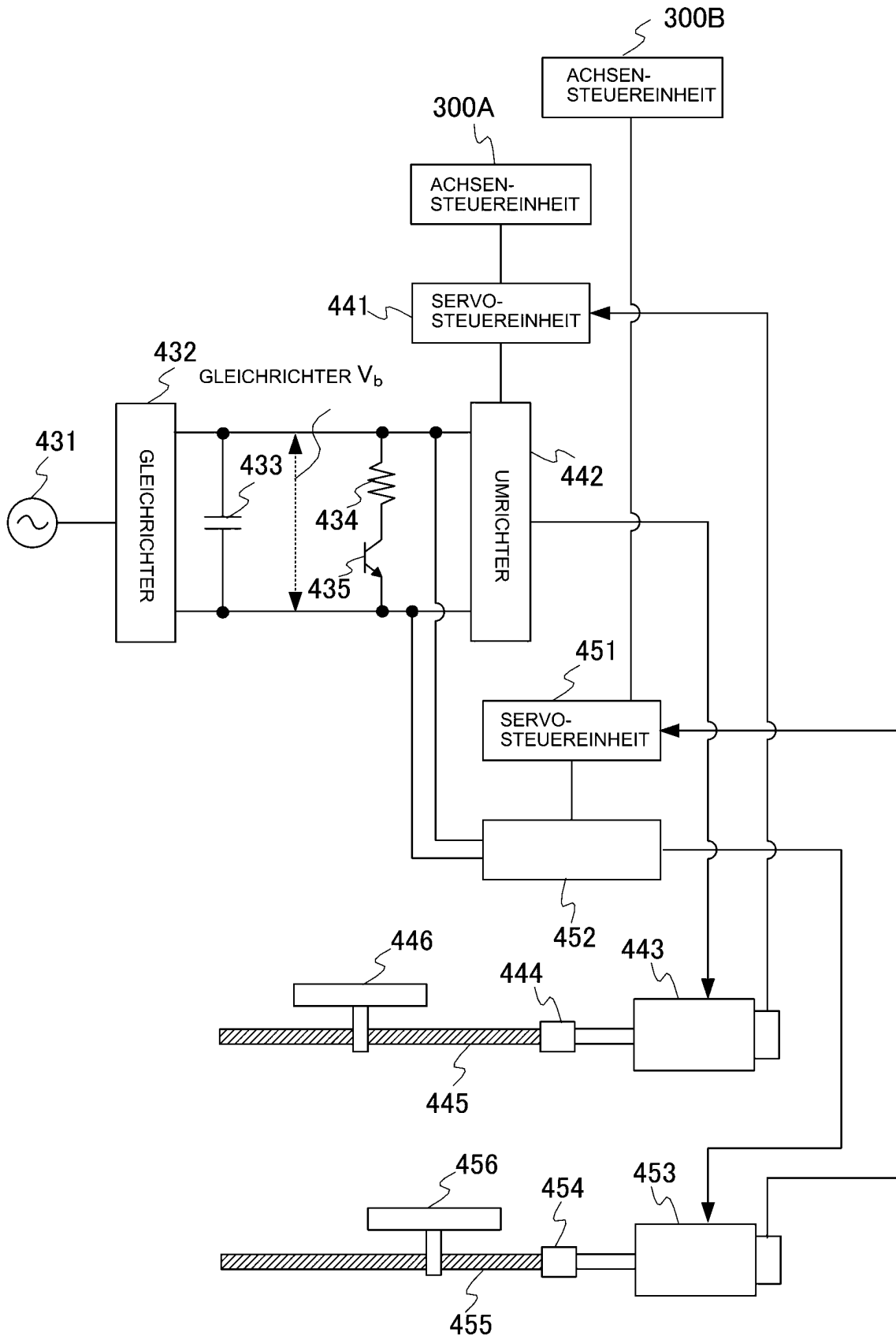


FIG. 16

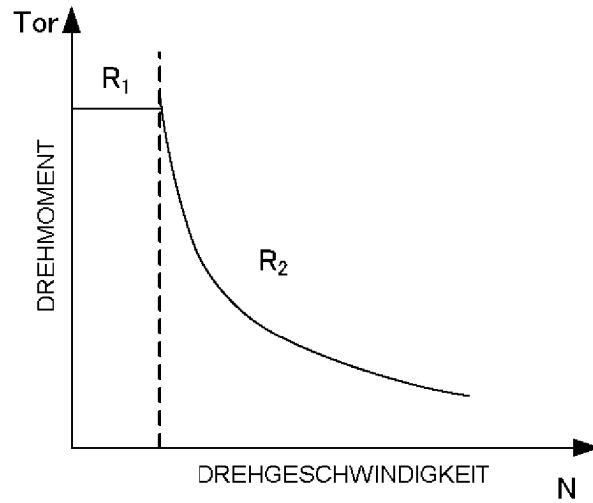


FIG. 17

