



(10) **DE 10 2014 000 374 B4** 2015.11.26

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 000 374.4**
 (22) Anmeldetag: **14.01.2014**
 (43) Offenlegungstag: **24.07.2014**
 (45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: **26.11.2015**

(51) Int Cl.: **B23Q 17/09 (2006.01)**
B23Q 17/00 (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:
2013-008535 **21.01.2013** **JP**
2013-240795 **21.11.2013** **JP**

(73) Patentinhaber:
FANUC CORPORATION, Oshino-mura, Yamanashi, JP

(74) Vertreter:
Wuesthoff & Wuesthoff, Patentanwälte PartG mbB, 81541 München, DE

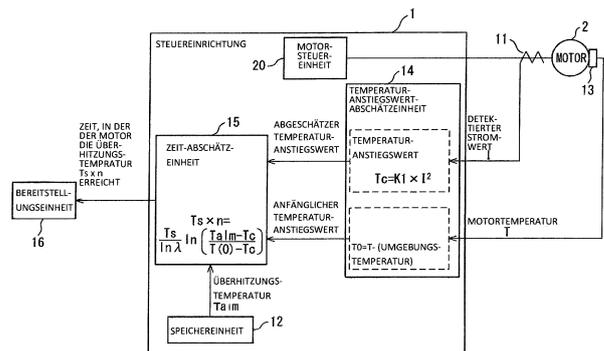
(72) Erfinder:
Tsutsumi, Tomohisa, Yamanashi, JP; Morita, Yuuki, Yamanashi, JP

(56) Ermittelte Stand der Technik:
DE 30 16 088 A1
DE 38 08 028 A1
DE 100 13 094 A1
DE 12 18 251 A

US	2009 / 0 189 561	A1
US	3 723 070	A
US	5 159 254	A
US	5 224 335	A
EP	1 447 729	B1
EP	0 479 136	A1
WO	2005/ 093 942	A1
WO	2012/ 118 625	A2
JP	2 853 023	B2
JP	S64- 15 421	A
JP	H07- 135 731	A
JP	H04- 136 413	A
JP	H09- 179 623	A
JP	2008- 154 424	A
JP	H09- 93 795	A
JP	H05- 321 645	A
JP	H09- 140 155	A
JP	2011- 036 095	A
JP	2000- 271 836	A
JP	2001- 069 787	A

(54) Bezeichnung: **STEUEREINRICHTUNG FÜR EINE WERKZEUGMASCHINE MIT EINER ZEITSCHÄTZEINHEIT ZUM ABSCHÄTZEN EINER ZEITSPANNE BIS EIN MOTOR EINE ÜBERHITZUNGSTEMPERATUR ERREICHT**

(57) Zusammenfassung: Eine Steuereinrichtung 1 für eine Werkzeugmaschine einschließlich eines Motors 2 zum Antreiben einer Spindel, umfasst: eine Strom-Detektoreinheit 11, die einen Strom detektiert, der den Motor 2 antreibt; eine Speichereinheit 12, die eine für den Motor 2 angegebene Überhitzungstemperatur abspeichert; eine Temperatur-Detektoreinheit 13, die eine Temperatur des Motors 2 detektiert; eine Zeit-Abschätzeinheit 15, die unter Verwendung der mittels der Temperatur-Detektoreinheit 13 und der Überhitzungstemperatur eine Zeitspanne abschätzt von der gerade durchgeführten Abschätzung bis zu dem Zeitpunkt, zu dem der Motor 2 die Überhitzungstemperatur erreicht wenn der von der Strom-Detektoreinheit 11 detektierte Strom kontinuierlich durch den Motor 2 fließt; und eine Informations- bzw. Anzeigeeinheit 16, welche die mittels der Zeit-Abschätzeinheit 15 abgeschätzte Zeit bereitstellt.



Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

1. Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Steuereinrichtung für eine Werkzeugmaschine, die einen Motor aufweist zum Antreiben einer Spindel der Werkzeugmaschine.

2. Beschreibung des Standes der Technik

[0002] Bei Schneidarbeiten mit einer Spindel einer Werkzeugmaschine wird der die Spindel antreibende Motor üblicherweise unter einer Last betrieben, die kleiner ist als die oder gleich der sogenannte(n) „kontinuierlich abgeschätzte(n) Last des Motors“. Die „kontinuierlich abgeschätzte Last“ zeigt den maximalen Lastpegel an, bei dem der Motor nicht überhitzt würde, auch dann, wenn die Last kontinuierlich für eine unbeschränkte Zeit an dem Motor anläge.

[0003] Bei Hochleistungsdreharbeiten bzw. spanabhebenden Bearbeitungen mit hoher Beanspruchung, ist es zur Verkürzung der Arbeitszeit gewünscht, für eine relativ kurze Zeitspanne die am Motor anliegende Last zu erhöhen, sodass der Motor für eine gewisse Zeitspanne unter Last arbeitet, welche die kontinuierlich abgeschätzte Last übersteigt.

[0004] Um unter Last zu arbeiten, welche die kontinuierlich abgeschätzte Last übersteigt, wird im Allgemeinen ein Graph (Diagramm) für jeden Motor vorgegeben, der die zulässigen Last-Daten angibt mit „unter n% Last, wie viele Minuten ist das Schneiden möglich, bevor der Motor heiß läuft“. (Unter „Schneiden“ werden hier insbesondere spanabhebende Arbeiten und auch Fräsen verstanden). Ein Maschinenbediener führt die Schneidarbeiten durch Aufsetzen eines Plans auf Basis von dem Graphen entnommenen Informationen aus. In einem Graphen, der die Daten bezüglich der zulässigen Last enthält, ist die mögliche Schneidzeit in Abhängigkeit von der Last definiert. Dies ermöglicht es dem Maschinenbediener festzustellen, wie lange eine bestimmte Last kontinuierlich an den Motor angelegt werden kann, bevor der Motor überhitzt, und zwar durch Bezugnahme auf einen entsprechenden Graphen, der die zulässige Last angibt.

[0005] Fig. 9 ist ein Graph, der ein Beispiel der zulässigen Lastcharakteristiken eines Motors anzeigt. In Fig. 9 zeigt die horizontale Achse eine Rotationsgeschwindigkeit des Motors und die vertikale Achse zeigt die an den Motor angelegte Last. Die „100 Prozent Last“ zeigt die kontinuierlich abgeschätzte Last und unter dieser Last überhitzt der Motor nicht, auch dann, wenn die Last kontinuierlich für eine unbeschränkte Zeit von dem Motor aufgebracht wird. Das in Fig. 9 gezeigte Beispiel zeigt, dass dann, wenn der Motor mit geringer Geschwindigkeit gedreht wird, ein Schneiden für 2,5 Minuten in einem 10-minütigen Zyklus möglich ist unter 200 Prozent Last, sowie ein Schneiden für 1 Minute in einem 10-minütigen Zyklus unter 230 Prozent Last.

[0006] Wird der Motor unter einer Last gedreht, welche die kontinuierlich abgeschätzte Last übersteigt, kann der Motor Hitze über der zulässigen Hitzeeerzeugungsrate erzeugen und dies kann zu einem Ausfall des Motors führen.

[0007] Um dieses Problem anzugehen, zeigt beispielsweise die japanische Patentveröffentlichung JP 2000-271836 A die nachfolgend skizzierte Steuereinrichtung. Die Steuereinrichtung schätzt die Wärme-Erzeugungsrate für ein ganzes Programm, und zwar auf Basis von geschätzten Werten der Wärme-Erzeugungsraten eines Motors bei Eilvorschub und bei Eilschneiden, sodann werden die Zeitkonstanten geändert, sodass die Wärme-Erzeugungsrate des gesamten Programms geringer ist oder gleich der zulässigen Wärme-Erzeugungsrate.

[0008] In der WO 2005/093942 A1 wird das folgende Verfahren zur Vermeidung einer Überlastung eines Motors beschrieben. Bei jenem Verfahren wird der Verlust (Kupferverlust und Eisenverlust), der am Motor auftritt, berechnet, und unter der Annahme, dass der Verlust, der sich ergibt durch Subtraktion des berechneten Verlustes von einem abgeschätzten Verlust durch den Motor tolerierbar ist, wird ein d-Achsenstrom entsprechend dem gewonnenen Verlust durch den Motor geschickt.

[0009] Die zulässigen Lastwerte variieren von Motor zu Motor. Auch wenn dies beachtet wird, ist die Arbeit einer Bedienungsperson wenig effizient wenn sie die Schneidarbeiten unter ständiger Berücksichtigung des Graphen bezüglich der zulässigen Lastdaten ausführen muss und deshalb besteht häufig wenig Neigung, sich

daran zu halten. Deshalb vertraut man bei Arbeiten mit Werkzeugmaschinen häufig auf die Erfahrung und Intuition der Bedienungsperson. Um ein Überhitzen des Motors zu vermeiden, wird deshalb der Motor häufig mit einer angemessenen Leistungstoleranz im Vergleich zur eigentlichen Leistung des Motors betrieben. Ein solcher Betrieb ist aber wenig effizient. Auch ein Vertrauen auf die Intuition der Bedienungsperson führt häufig zu Überlastungen und damit Überhitzungen, sodass in manchen Fällen die Maschine ausfällt.

[0010] Bei der in der japanischen Patentveröffentlichung JP 2000-2719836 A beschriebenen Erfindung wird zwar die Wärme-Erzeugungsrates des Motors geschätzt, jedoch ist es damit schwierig, wirklich zu wissen, wie lange die Maschine noch laufen kann, bevor der Motor überhitzt ist.

[0011] Auch wenn bei der oben genannten WO 2005/093942 A1 der Verlust einschließlich eines Eisenverlustes abgeschätzt wird, ist es gleichwohl schwierig, festzustellen, wie lange die Maschine noch laufen kann bis der Motor überhitzt.

[0012] Wenn es möglich ist, bei Betrieb einer Werkzeugmaschine mit Einsatz von Lasten, welche die kontinuierlich abgeschätzte Last überschreiten, festzustellen, wie lange die Arbeit unter der gerade herrschenden Überlastung des Motors fortgesetzt werden kann, ohne Überhitzung des Motors, dann kann der Motor optimal in Bezug auf Leistung eingesetzt werden.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0013] Angesichts der obigen Erläuterungen ist es ein Ziel der vorliegenden Erfindung, eine Steuereinrichtung für eine Werkzeugmaschine bereitzustellen, die in der Lage ist, auf einfache Weise die Zeit abzuschätzen, bis ein unter Last betriebener Motor seine Überhitzungstemperatur erreicht.

[0014] Um dieses Ziel zu erreichen wird gemäß einem ersten Merkmal eine Steuereinrichtung für eine Werkzeugmaschine mit einem Motor zum Antreiben einer Spindel vorgeschlagen, die Folgendes umfasst: eine Strom-Detektoreinheit, die einen den Motor antreibenden Strom detektiert; eine Speichereinheit, die für den Motor spezifizierte Überhitzungstemperaturen abspeichert; eine Temperatur-Detektoreinheit, die die Temperatur des Motors detektiert; eine Zeit-Abschätzeinheit, die unter Verwendung der mittels der Temperatur-Detektoreinheit detektierten Temperatur und der Überhitzungstemperatur die Zeitspanne abschätzt von dem Zeitpunkt der Abschätzung bis der Motor die Überhitzungstemperatur erreicht wenn der mittels der Strom-Detektoreinheit detektierte Strom kontinuierlich durch den Motor fließt; und eine Information- bzw. Anzeigeeinheit, welche die von der Zeit-Abschätzeinheit abgeschätzte Zeit angibt.

[0015] Passend zum vorstehend genannten ersten Merkmal weist die Steuereinrichtung für eine Werkzeugmaschine weiterhin eine Abschätzeinheit bezüglich des Anstiegswertes der Temperatur auf, welche einen Temperaturanstiegswert aufgrund von Kupferverlust des Motors abschätzt wenn der mittels der Strom-Detektoreinheit detektierte Strom kontinuierlich durch den Motor fließt, wobei die Zeit-Abschätzeinheit die Zeit abschätzt unter Verwendung der mittels der Temperatur-Detektoreinheit detektierten Temperatur, der Überhitzungstemperatur, und dem Temperatur-Anstiegswert aufgrund des Kupferverlustes.

[0016] Passend zu dem obigen ersten Merkmal kann die Steuereinrichtung für eine Werkzeugmaschine weiterhin eine Detektoreinheit bezüglich der Rotationsgeschwindigkeit aufweisen, welche die Rotationsgeschwindigkeit des Motors detektiert. In diesem Falle schätzt die Schätzeinheit bezüglich des Temperaturanstiegswertes den Temperatur-Anstiegswert aufgrund des Kupferverlustes und einen Temperatur-Anstiegswert aufgrund des Eisenverlustes des Motors, die auftreten, wenn der Motor kontinuierlich mit der Rotationsgeschwindigkeit rotiert, welche die Rotationsgeschwindigkeitsdetektoreinheit detektiert, und die Zeit-Abschätzeinheit schätzt unter Verwendung der von der Temperatur-Detektoreinheit detektierten Temperatur, der Überhitzungstemperatur, dem Temperatur-Anstiegswert aufgrund von Kupferverlust, und dem Temperatur-Anstiegswert aufgrund von Eisenverlust, die Zeitspanne von der gerade durchgeführten Schätzung bis zu einer Überhitzung des Motors, wenn dieser kontinuierlich mit der von der Rotationsgeschwindigkeitsdetektoreinheit detektierten Rotationsgeschwindigkeit rotiert und der von der Strom-Detektoreinheit detektierte Strom kontinuierlich durch den Motor läuft.

[0017] Gemäß einem zweiten Merkmal weist eine Steuereinrichtung für eine Werkzeugmaschine einschließlich eines Motors zum Antreiben einer Spindel Folgendes auf: eine Strom-Detektoreinheit, welche einen den Motor treibenden Strom detektiert; eine Temperaturanstiegswertabschätzeinheit, welche einen Temperaturanstiegswert aufgrund von Kupferverlust des Motors abschätzt wenn der mittels der Stromdetektoreinheit detektierte Strom kontinuierlich durch den Motor fließt; eine Speichereinheit, welche für den Motor spezifische

Überhitzungstemperaturen speichert; eine Zeit-Abschätzeinheit, welche unter Verwendung des Temperaturanstiegswertes aufgrund von Kupferverlust und der Überhitzungstemperatur die Zeit abschätzt vom Zeitpunkt der gerade durchgeführten Abschätzung bis der Motor die Überhitzungstemperatur erreicht wenn der für die Abschätzung des Temperaturanstiegswertes aufgrund von Kupferverlust verwendete Strom kontinuierlich durch den Motor fließt; und eine Anzeigeeinrichtung, welche die mittels der Zeit-Abschätzeinheit abgeschätzte Zeit angibt.

[0018] Passend zum obigen zweiten Merkmal kann die Steuereinheit für eine Werkzeugmaschine weiterhin eine Rotationsgeschwindigkeitsdetektoreinheit aufweisen, welche eine Rotationsgeschwindigkeit des Motors detektiert. In diesem Falle schätzt die Temperaturanstiegswertschätzeinheit den Temperaturanstiegswert aufgrund von Kupferverlust und einen Temperaturanstiegswert aufgrund von Eisenverlust des Motors wenn der Motor kontinuierlich mit der Rotationsgeschwindigkeit dreht, welche die Rotationsgeschwindigkeitsdetektoreinheit detektiert, und die Zeitabschätzeinheit schätzt unter Verwendung des Temperaturanstiegswertes aufgrund von Kupferverlust, des Temperaturanstiegswertes aufgrund von Eisenverlust und aufgrund der Überhitzungstemperatur die Zeitspanne von der gerade durchgeführten Schätzung bis zum Erreichen der Überhitzungstemperatur des Motors wenn dieser kontinuierlich mit der Rotationsgeschwindigkeit dreht, welche die Rotationsgeschwindigkeitsdetektoreinheit detektiert, und der Strom, welcher beim Abschätzen des Temperaturanstiegswertes aufgrund von Kupferverlust verwendet wurde, kontinuierlich durch den Motor läuft.

[0019] Passend zu einem oder beiden der oben aufgeführten ersten und zweiten Merkmale kann die Anzeigeeinheit auch eine Darstellungseinheit oder beliebige Informationseinheit im Zusammenhang mit der numerischen Steuerung einer Werkzeugmaschine sein.

[0020] Ebenfalls passend zu den obigen ersten und/oder zweiten Merkmalen kann die Anzeigeeinheit auch irgendeine externe Einrichtung sein, die mit der numerischen Steuerung einer Werkzeugmaschine verbunden ist.

KURZBESCHREIBUNG DER FIGUREN

[0021] Die Erfindung ist besser verständlich mit Blick auf die beigefügten Figuren:

[0022] Fig. 1 ist ein Blockdiagramm einer Steuereinrichtung für eine Werkzeugmaschine gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel;

[0023] Fig. 2 ist ein Flussdiagramm zur Erläuterung des Betriebs der Steuereinrichtung für eine Werkzeugmaschine gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel;

[0024] Fig. 3 ist ein Blockdiagramm einer Steuereinrichtung für eine Werkzeugmaschine gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel;

[0025] Fig. 4 ist ein Flussdiagramm des Betriebs der Steuereinrichtung für eine Werkzeugmaschine gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel;

[0026] Fig. 5 ist ein Blockdiagramm einer Steuereinrichtung für eine Werkzeugmaschine gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel;

[0027] Fig. 6 ist ein Flussdiagramm des Betriebs der Steuereinrichtung für eine Werkzeugmaschine gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel;

[0028] Fig. 7 ist ein Blockdiagramm einer Steuereinrichtung für eine Werkzeugmaschine gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel;

[0029] Fig. 8 ist ein Flussdiagramm des Betriebs der Steuereinrichtung für eine Werkzeugmaschine gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel; und

[0030] Fig. 9 ist ein Graph der beispielhaft die zulässigen Lastdaten eines Motors zeigt.

BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

[0031] Nachfolgend werden Steuereinrichtungen für eine Werkzeugmaschine mit einer Zeit-Abschätzeinheit zum Abschätzen einer Zeitspanne bis zum Erreichen einer Überhitzungstemperatur des Motors. beschrieben unter Bezugnahme auf die Figuren. Jedoch versteht sich, dass die vorliegende Erfindung nicht auf diese Figuren und die beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt ist.

[0032] Fig. 1 ist ein Blockdiagramm zur Darstellung einer Steuereinrichtung für eine Werkzeugmaschine gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel. Nachfolgend sind gleiche oder funktionsähnliche Komponenten in den Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

[0033] Beim ersten Ausführungsbeispiel weist eine Steuereinrichtung **1** für eine Werkzeugmaschine einschließlich eines Motors zum Antreiben einer Spindel, Folgendes auf: eine Strom-Detektoreinheit **11**, eine Speichereinheit **12**, eine Temperatur-Detektoreinheit **13**, eine Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14**, eine Zeit-Abschätzeinheit **15**, und eine Informations- oder Anzeigeeinheit bzw. Bereitstellungseinheit **16**. Weiterhin weist die Steuereinrichtung **1** eine Motor-Steuereinheit **20** auf, welche Strom zum Antreiben eines Motors **2** bereitstellt. Aufgrund eines Motorantriebsbefehls, der von einer Steuereinrichtung auf höherem Niveau (nicht dargestellt) empfangen wird, wandelt die Motor-Steuereinheit **20** einen empfangenen Wechselstrom in Gleichstrom um und wandelt anschließend den Gleichstrom wieder in einen Wechselstrom zum Antrieb des Motors **2** und gibt diesen so gewonnenen Wechselstrom an den Motor **2**.

[0034] Die Strom-Detektoreinheit **11** detektiert einen Wert des Stromes I , welcher den Motor **2** antreibt.

[0035] Die Speichereinheit **12** speichert im Voraus eine Überhitzungstemperatur T_{alm} , die spezifisch für den Motor **2** ist.

[0036] Die Temperatur-Detektoreinheit **13** detektiert eine Temperatur T des Motors **2**.

[0037] Die Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14** wird weiter unter beschrieben.

[0038] Die Zeit-Abschätzeinheit **15** schätzt unter Verwendung der von der Temperatur-Detektoreinheit **13** und der in der Speichereinheit **12** abgespeicherten Überhitzungstemperatur T_{alm} die Zeitspanne von der gerade durchgeführten Schätzung bis zum Zeitpunkt, zu dem der Motor **2** die Überhitzungstemperatur T_{alm} erreicht, und zwar unter der Bedingung, dass der mittels der Strom-Detektoreinheit **11** detektierte Strom I kontinuierlich durch den Motor **2** fließt.

[0039] Die Informations- bzw. Anzeigeeinheit bzw. Bereitstellungseinheit **16** liefert die mittels der Zeit-Abschätzeinheit **15** abgeschätzte Zeit.

[0040] Nun werden die Grundzüge des Betriebs der Steuereinrichtung **1** für eine Werkzeugmaschine gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel beschrieben.

[0041] Der Motor **2** erzeugt Wärme aufgrund des Kupferverlustes und des Eisenverlustes; der Kupferverlust entsteht in den Kupferwindungen des Motors wenn der den Motor **2** antreibende Strom durch die Windungen fließt, während der Eisenverlust durch Wirbelströme entsteht, die durch den Kern des Motors **2** fließen. Wird der Motor **2** mit geringer Geschwindigkeit betrieben, dann haben die Kupferverluste größeren Einfluss auf die Wärmeerzeugung durch den Motor im Vergleich zu den Eisenverlusten. Beim ersten Ausführungsbeispiel wird die Zeitspanne, in der der Motor **2** die Überhitzungstemperatur T_{alm} erreicht ohne Berücksichtigung der Eisenverluste abgeschätzt, also unter der Annahme, dass der Motor **2** mit geringer Geschwindigkeit betrieben wird.

[0042] Der Temperaturanstiegswert aufgrund des Kupferverlustes im Motor **2** durch den kontinuierlich durch den Motor **2** fließenden Strom I ist proportional dem Quadrat des Stromes I . Mit anderen Worten, der Temperatur-Anstiegswert T_c des Motors **2** kann letztlich ausgedrückt werden durch die Formel 1.

$$T_c = K_1 \times I^2 \quad (1)$$

[0043] In dieser Formel wird K_1 im Voraus gewonnen durch sogenannte Rückrechnung des Temperatur-Anstiegswertes, der gewonnen wird bei Anlegen vorgegebener Stromwerte an den Motor **2**.

[0044] Unter der Annahme, dass die thermische Zeitkonstante des Motors **2** durch τ gegeben ist und die Abtastzeit durch T_s kann der Temperatur-Anstiegswert $T(n)$ unter Verwendung der Rekurrenzformel gemäß Formel 2 berechnet werden.

$$T(n) = \lambda \times T(n-1) + (1-\lambda) \times T_c, \text{ wobei } \lambda = e^{-\frac{T_s}{\tau}} \quad (2)$$

[0045] Durch Reduzieren der Rekurrenzformel **2** ergibt sich die Formel 3.

$$T(n) = \lambda^n \times (T(0) - T_c) + T_c \quad (3)$$

[0046] In der Formel 3 ist $T(0)$ der Anfangswert des Temperatur-Anstiegswertes $T(n)$ des Motors **2**. Durch Vorgabe des anfänglichen Temperatur-Anstiegswertes $T(0)$ kann mit der Formel 3 der Temperatur-Anstiegswert $T(n)$ des Motors abgeschätzt werden.

[0047] Die Formel 3 kann gemäß Formel 4 umgeschrieben werden.

$$n = \frac{1}{\ln \lambda} \times \ln\left(\frac{T_{alm} - T_c}{T(0) - T_c}\right) \quad (4)$$

[0048] Es wird angenommen, dass die Überhitzungstemperatur den Anstieg von der detektierten Temperatur T ausdrückt und durch T_{alm} bezeichnet wird. Wenn der anfängliche Temperatur-Anstiegswert $T(0)$ zu einem bestimmten Zeitpunkt gewonnen wird, dann ergibt sich die Zeit „ $T_s \times n$ “ vom Zeitpunkt der gerade durchgeführten Abschätzung bis zu dem Zeitpunkt, zu dem der Motor **2** die Überhitzungstemperatur T_{alm} erreicht, und zwar unter der Bedingungen, dass der Strom I kontinuierlich durch den Motor **2** fließt, gemäß der Formel 5.

$$T_s \times n = \frac{T_s}{\ln \lambda} \times \ln\left(\frac{T_{alm} - T_c}{T(0) - T_c}\right) \quad (5)$$

[0049] Beim ersten Ausführungsbeispiel wird die Temperatur T mittels der Temperatur-Detektoreinheit **13** detektiert und der durch den Motor **2** fließende Strom I wird mit der Strom-Detektoreinheit **11** detektiert. Der Begriff „detektieren“ umfasst im Rahmen dieser Patentanmeldung insbesondere auch „messen“.

[0050] Unter Verwendung der Formel 1 wird mittels der Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14** der Temperatur-Anstiegswert T_c aufgrund des Kupferverlustes im Motor **2** bei Fließen des Stromes I abgeschätzt. Allgemein und insbesondere beim ersten Ausführungsbeispiel wird die Differenz zwischen der Temperatur T nahe dem Motor **2**, wie sie von der Temperatur-Detektoreinheit **13** detektiert wird, und der Umgebungstemperatur der Werkzeugmaschine, in der sich der Motor **2** befindet, eingesetzt, um zu einem bestimmten Zeitpunkt den anfänglichen Temperatur-Anstiegswert $T(0)$ zu bestimmen.

[0051] Sodann berechnet die Zeit-Abschätzeinheit **15** unter Verwendung der Formel 5 und der Überhitzungstemperatur (erhöhter Wert) T_{alm} , der im Voraus in der Speichereinheit **12** abgespeichert ist, sowie dem Temperatur-Anstiegswert T_c aufgrund des durch die Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14** abgeschätzten Kupferverlustes, und dem anfänglichen Temperatur-Anstiegswert $T(0)$ entsprechend der Differenz zwischen der mit der Temperatur-Detektoreinheit **13** detektierten Temperatur T und der Umgebungstemperatur, die Zeitspanne „ $T_s \times n$ “ zwischen dem Zeitpunkt der gerade durchgeführten Abschätzung bis zu dem Zeitpunkt, zu dem der Motor **2** die Überhitzungstemperatur T_{alm} erreicht, und zwar unter der Bedingung, dass der Strom I kontinuierlich durch den Motor **2** fließt. Mit anderen Worten: beim ersten Ausführungsbeispiel berechnet die Zeit-Abschätzeinheit **15** die Zeitspanne „ $T_s \times n$ “ vom Zeitpunkt der Abschätzung bis zum Zeitpunkt, in der der Motor **2** die Überhitzungstemperatur T_{alm} erreicht, unter Verwendung der Temperatur T , die durch die Temperatur-Detektoreinheit **13** detektiert wurde, der Überhitzungstemperatur T_{alm} und der Temperatur-Anstiegswertes T_c aufgrund des Kupferverlustes.

[0052] Die berechnete Zeit „ $T_s \times n$ “ wird durch die Informations- bzw. Anzeigeeinheit **16** bereitgestellt.

[0053] Fig. 2. ist ein Flussdiagramm zur Veranschaulichung des Betriebs einer Steuereinrichtung für eine Werkzeugmaschine gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel.

[0054] Zunächst detektiert in Schritt S101 die Strom-Detektoreinheit **11** einen Wert für den Strom I , der den Motor **2** antreibt.

[0055] Sodann schätzt im Schritt S102 die Temperaturanstiegsabschätzeinheit **18** unter Verwendung der Formel 1 den Temperatur-Anstiegswert T_c aufgrund des Kupferverlustes des Motors **2**, der auftritt wenn der Strom I , gemessen durch die Strom-Detektoreinheit **11**, kontinuierlich durch den Motor **2** fließt.

[0056] In Schritt S103 detektiert die Temperatur-Detektoreinheit **13** die Temperatur T des Motors **2**. Die Ausführungsreihenfolge der Schritte S102 und S103 kann ausgetauscht werden.

[0057] Im Schritt S104 berechnet die Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14** die Differenz zwischen der mittels der Temperatur-Detektoreinheit **13** gemessenen Temperatur T und der Umgebungstemperatur, welche als Ausgangs-Temperaturanstiegswert $T(0)$ zu einem bestimmten Zeitpunkt genommen wird.

[0058] Sodann berechnet in Schritt S105 die Zeit-Abschätzeinheit **15** unter Verwendung der Überhitzungstemperatur (erhöhter Betrag) T_{alm} , die im Voraus in der Speichereinheit **12** abgelegt wurde, des Temperatur-Anstiegswertes T_c aufgrund des Kupferverlustes, geschätzt durch die Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14**, und des anfänglichen Temperaturanstiegswertes $T(0)$ entsprechend der Differenz zwischen der von der Temperatur-Detektoreinheit **13** detektierten Temperatur T und der Umgebungstemperatur die Zeitspanne „ $T_s \times n$ “ vom Zeitpunkt der Abschätzung bis zum Zeitpunkt, zu dem der Motor **2** die Überhitzungstemperatur T_{alm} erreicht, und zwar unter der Bedingung, dass der Strom I kontinuierlich durch den Motor **2** fließt.

[0059] Im Schritt S106 stellt die Informations- bzw. Anzeigeeinheit **16** die Zeitspanne „ $T_s \times n$ “ vom Zeitpunkt der gerade durchgeführten Abschätzung bis zur Überhitzung des Motors **2** unter der Bedingung, dass der Strom I kontinuierlich durch den Motor **2** fließt, bereit, wobei die Zeitspanne „ $T_s \times n$ “ durch die Zeit-Abschätzeinheit **15** berechnet worden ist.

[0060] Nun folgt die Beschreibung eines zweiten Ausführungsbeispiels. Beim zweiten Ausführungsbeispiel wird angenommen, dass der Motor **2** mit hoher Geschwindigkeit läuft. Beim obigen ersten Ausführungsbeispiel wurde die Zeit, in welcher der Motor **2** die Überhitzungstemperatur T_{alm} erreicht, ohne Berücksichtigung des Eisenverlustes geschätzt aufgrund der Annahme, dass der Motor **2** mit relativ geringer Geschwindigkeit betrieben wird. Beim zweiten Ausführungsbeispiel hingegen wird die Zeit bis der Motor die Überhitzungstemperatur T_{alm} erreicht unter Berücksichtigung der Wärmeerzeugung durch den Eisenverlust als auch des Kupferverlustes geschätzt, da der Motor mit relativ hoher Geschwindigkeit dreht.

[0061] Fig. 3 ist ein Blockdiagramm einer Steuereinrichtung für eine Werkzeugmaschine gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel. Bei diesem zweiten Ausführungsbeispiel enthält eine Steuereinrichtung **1** für eine Werkzeugmaschine, einschließlich eines Motors zum Antreiben einer Spindel, Folgendes: die Strom-Detektoreinheit **11**, die Speichereinheit **12**, die Temperatur-Detektoreinheit **13**, eine Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14**, eine Zeit-Schätzeinheit **15**, die Informations- bzw. Anzeigeeinheit **16**, und eine Rotationsgeschwindigkeitsdetektoreinheit **17**. Weiterhin weist die Steuereinrichtung **1** zusätzlich eine Motor-Steuereinheit **20** auf.

[0062] Da die Strom-Detektoreinheit **11**, die Speichereinheit **12**, die Temperatur-Detektoreinheit **13**, die Informations- bzw. Anzeigeeinheit **16** und die Motor-Steuereinheit **20** mit Bezug auf Fig. 1 beschrieben sind, wird nachfolgend auf eine detaillierte Beschreibung derselben verzichtet.

[0063] Die Rotationsgeschwindigkeitsdetektoreinheit **17** detektiert eine Rotationsgeschwindigkeit des Motors **2**. (Wie oben bereits festgestellt, umfasst in dieser Patentanmeldung der Begriff „Detektieren“ insbesondere auch ein „Messen“).

[0064] Die Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14** schätzt den Temperaturanstiegswert T_c aufgrund des oben beim ersten Ausführungsbeispiel beschriebenen Kupferverlustes, und eines Temperatur-Anstiegswertes T_i aufgrund des Eisenverlustes des Motors **2** wenn der Motor **2** kontinuierlich mit einer Rotationsgeschwindigkeit dreht, die mittels der Rotationsgeschwindigkeitsdetektoreinheit **17** detektiert wird.

[0065] Dreht der Motor **2** mit geringer Geschwindigkeit, überwiegt der Kupferverlust bei den Motorverlusten. Wenn hingegen der Motor **2** mit hoher Geschwindigkeit dreht, haben auch die Eisenverluste einen großen Einfluss. Beim zweiten Ausführungsbeispiel wird unter der Annahme, dass der Motor **2** mit hoher Geschwindigkeit dreht, die Zeit in welcher der Motor **2** die Überhitzungstemperatur T_{alm} erreicht, geschätzt unter Berücksichtigung des Kupferverlustes und des Eisenverlustes.

[0066] Zwar ist es schwierig, den Temperaturanstiegswert T_i aufgrund des Eisenverlustes genau zu schätzen, jedoch ist ein Verfahren zum Schätzen des Temperaturanstiegswertes T_i aufgrund des Eisenverlustes unter Verwendung der Formel 6 empirisch aus der WO 2005/093942 bekannt, beispielsweise:

$$T_i = K_2 \times f_\phi^{1.6} \quad \dots (6)$$

[0067] Hier bezeichnet f_ϕ eine Anregungsfrequenz des magnetischen Flusses und dies ist „Rotationsgeschwindigkeit des Motors **2** \times Anzahl der Pol-Paare/60“. Wenn deshalb die Anzahl der Drehungen des Motors **2** pro Zeiteinheit mittels des Rotationsgeschwindigkeitsdetektors **17** gewonnen wird, können die Rotationsgeschwindigkeit des Motors **2** und auch die Anregungsfrequenz f_ϕ gefunden werden. K_2 in Formel 6 wird im Voraus durch Rückrechnung des Temperatur-Anstiegswertes gewonnen, wenn der Motor **2** mit geringer Last betrieben wird.

[0068] Wenn die thermische Zeitkonstante des Motors **2** mit τ bezeichnet wird und die Abtastzeit mit T_s , dann kann der Temperatur-Anstiegswert $T(n)$ berechnet werden unter Verwendung der Rekurrenzformel Nr. 7.

$$T(n) = \lambda \times T(n-1) + (1-\lambda) \times (T_c + T_i) \quad , \quad \lambda = e^{-\frac{T_s}{\tau}} \quad (7)$$

[0069] Durch Reduktion der Rekurrenzformel 7 wird die Formel 8 gewonnen.

$$T(n) = \lambda^n \times \{T(0) - (T_c + T_i)\} + (T_c + T_i) \quad (8)$$

[0070] In der Formel 8 bezeichnet $T(0)$ den Anfangswert des Temperatur-Anstiegswertes $T(n)$ des Motors **2**. Durch Bestimmung des anfänglichen Temperatur-Anstiegswertes $T(0)$ kann der Temperatur-Anstiegswert $T(n)$ des Motors unter Verwendung der Formel 8 abgeschätzt werden.

[0071] Durch Neuschreiben folgt aus der Formel 8 die Formel 9.

$$n = \frac{1}{\ln \lambda} \times \ln \left(\frac{T_{alm} - (T_c + T_i)}{T(0) - (T_c + T_i)} \right) \quad (9)$$

[0072] Es kann angenommen werden, dass die Überhitzungstemperatur dargestellt wird durch den Anstieg der detektierten Temperatur T und sie wird mit T_{alm} bezeichnet. In diesem Falle kann die Zeitspanne „ $T_s \times n$ “ vom Zeitpunkt der gerade durchgeführten Abschätzung bis zum Zeitpunkt, zu dem der Motor **2** die Überhitzungstemperatur T_{alm} erreicht, und zwar unter der Bedingung, dass der Strom I kontinuierlich durch den Motor **2** fließt, berechnet werden mittels der Formel 10.

$$T_s \times n = \frac{T_s}{\ln \lambda} \times \ln \left(\frac{T_{alm} - (T_c + T_i)}{T(0) - (T_c + T_i)} \right) \quad (10)$$

[0073] Beim zweiten Ausführungsbeispiel wird die Temperatur T mittels der Temperatur-Detektoreinheit **13** detektiert und der durch den Motor **2** fließende Strom I wird mittels der Strom-Detektoreinheit **11** detektiert. Darüber hinaus wird die Rotationsgeschwindigkeit des Motors **2** mittels der Rotationsgeschwindigkeitsdetektoreinheit **17** detektiert.

[0074] Der Temperaturanstiegswert T_c aufgrund des Kupferverlustes des Motors **2** bei Detektierung des Stromes I mittels der Strom-Detektoreinheit **11**, wobei der genannte Strom den Motor **2** kontinuierlich durchfließt, wird abgeschätzt unter Verwendung der Formel 1. Darüber hinaus wird der Temperatur-Anstiegswert T_i aufgrund des Eisenverlustes des Motors **2** bei kontinuierlicher Drehung des Motors mit der von der Rotationsgeschwindigkeitsdetektoreinheit **17** detektierten Rotationsgeschwindigkeit und mittels der Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14** unter Verwendung der Formel 6 abgeschätzt.

[0075] Insbesondere wird beim zweiten Ausführungsbeispiel die Differenz zwischen der Temperatur T nahe dem Motor **2**, detektiert durch die Temperatur-Detektoreinheit **13**, und der Umgebungstemperatur der Werkzeugmaschine einschließlich des Motors, verwendet als anfänglicher Temperatur-Anstiegswert $T(0)$ zu einem bestimmten Zeitpunkt.

[0076] Unter Verwendung der Überhitzungstemperatur (erhöhter Wert) T_{alm} , die im Voraus in der Speichereinheit **12** abgespeichert ist, des Temperatur-Anstiegswertes T_c aufgrund des Kupferverlustes, und des Tem-

peratur-Anstiegswertes T_i aufgrund des Eisenverlustes, wie von der Temperaturanstiegswertabschätzeinheit **14** abgeschätzt, und des anfänglichen Temperatur-Anstiegswertes $T(0)$ entsprechend der Differenz zwischen der von der Temperatur-Detektoreinheit **15** detektierten Temperatur T und der Umgebungstemperatur, berechnet die Zeitabschätzeinheit **15** unter Verwendung der Formel 10 die Zeit „ $T_s \times n$ “ vom Zeitpunkt der gerade durchgeführten Abschätzung bis zum Zeitpunkt, zu dem der Motor **2** die Überhitzungstemperatur T_{alm} erreicht, und zwar unter der Bedingung, dass der Motor **2** kontinuierlich mit der Rotationsgeschwindigkeit dreht, welche die Rotationsgeschwindigkeitdetektoreinheit **17** detektiert, und der Strom I kontinuierlich durch den Motor **2** fließt. Mit anderen Worten: Beim zweiten Ausführungsbeispiel berechnet die Zeit-Abschätzeinheit **15** die Zeit „ $T_s \times n$ “ vom Zeitpunkt der Schätzung bis zur Überhitzung des Motors bei der Temperatur T_{alm} unter Verwendung der Temperatur T , die mittels der Temperatur-Detektoreinheit **13** detektiert wird, der Überhitzungstemperatur T_{alm} , dem Temperatur-Anstiegswert T_c aufgrund des Kupferverlustes, und dem Temperatur-Anstiegswert T_i aufgrund des Eisenverlustes. Die so berechnete Zeitspanne „ $T_s \times n$ “ wird über die Informations- bzw. Anzeigeeinheit **16** bereitgestellt.

[0077] Fig. 4 ist ein Flussdiagramm des Betriebs einer Steuereinrichtung für eine Werkzeugmaschine gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel.

[0078] Zunächst detektiert in Schritt S201 die Strom-Detektoreinheit **11** den Wert des Stromes I , welcher den Motor **2** treibt.

[0079] In Schritt S202 detektiert die Rotationsgeschwindigkeitsdetektoreinheit **17** die Rotationsgeschwindigkeit des Motors **2** und so wird die Anregungsfrequenz gewonnen.

[0080] In Schritt S203 schätzt die Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14** unter Verwendung der Formel 1 den Temperatur-Anstiegswert T_c aufgrund des Kupferverlustes des Motors **2** wenn der mittels der Strom-Detektoreinheit **11** detektierte Strom I kontinuierlich durch den Motor **2** fließt. Darüber hinaus schätzt die Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14** unter Verwendung der Formel 6 den Temperatur-Anstiegswert T_i aufgrund des Eisenverlustes des Motors **2**, der erzeugt wird wenn der Motor kontinuierlich mit der von der Rotationsgeschwindigkeitsdetektoreinheit **17** detektierten Rotationsgeschwindigkeit dreht.

[0081] In Schritt S204 detektiert die Temperatur-Detektoreinheit **13** die Temperatur T des Motors **2**. Anzumerken ist, dass die Ausführung der Schritte S203 und S204 in der Zeitfolge austauschbar ist.

[0082] In Schritt S205 berechnet die Temperaturanstiegswertabschätzeinheit **14** die Differenz zwischen der Temperatur T , die mittels der Temperatur-Detektoreinheit detektiert wird, und der Umgebungstemperatur und dies ergibt den anfänglichen Temperatur-Anstiegswert $T(0)$ zu einem bestimmten Zeitpunkt.

[0083] Sodann berechnet in Schritt S206 die Zeit-Abschätzeinheit **15** unter Berücksichtigung der Überhitzungstemperatur (erhöhter Wert) T_{alm} , die im Voraus in der Speichereinheit **12** gespeichert wurde, des Temperatur-Anstiegswertes T_c aufgrund des Kupferverlustes und des Temperatur-Anstiegswertes T_i aufgrund des Eisenverlustes, geschätzt durch die Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14**, und des anfänglichen Temperatur-Anstiegswertes $T(0)$ entsprechend der Differenz zwischen der Temperatur T , die durch die Temperatur-Detektoreinheit **13** detektiert wurde, und der Umgebungstemperatur, unter Verwendung der Formel 10 die Zeitspanne „ $T_s \times n$ “ vom Zeitpunkt der gerade durchgeführten Abschätzung bis zum Zeitpunkt, zu dem der Motor **2** die Überhitzungstemperatur T_{alm} erreicht, und zwar unter der Bedingung, dass der Motor **2** kontinuierlich mit der von der Rotationsgeschwindigkeitsdetektoreinheit **17** detektierten Rotationsgeschwindigkeit rotiert und der Strom I kontinuierlich durch den Motor **2** fließt.

[0084] In Schritt S207 stellt die Informations- bzw. Anzeigeeinheit **16** die Zeitspanne „ $T_s \times n$ “ gemäß der gerade durchgeführten Abschätzung, also die Zeit bis zum Erreichen der Überhitzungstemperatur T_{alm} , wie sie über die Abschätzeinheit **15** gewonnen wurde, und unter der Bedingung, dass der Strom I kontinuierlich durch den Motor **2** fließt, zur Verfügung.

[0085] Nunmehr folgt die Beschreibung eines dritten Ausführungsbeispiels. Im obigen ersten Ausführungsbeispiel wurde die Zeitspanne, in welcher der Motor **2** die Überhitzungstemperatur T_{alm} erreicht, abgeschätzt ohne Berücksichtigung des Eisenverlustes, nämlich unter Verwendung der Differenz zwischen der Temperatur T am Motor **2**, gemessen durch die Temperatur-Detektoreinheit **13**, und der Umgebungstemperatur der Werkzeugmaschine, als anfänglicher Temperatur-Anstiegswert $T(0)$ und unter der Annahme, dass der Motor **2** mit geringer Geschwindigkeit dreht. Beim dritten Ausführungsbeispiel hingegen wird der Temperatur-Anstiegswert T_c aufgrund von Kupferverlust kontinuierlich berechnet unter Verwendung, als Bezugsgröße, des anfänglichen

Wertes der Umgebungstemperatur beim Einschalten der Werkzeugmaschine und sodann wird der Temperaturanstiegswert $T(n)$ des Motors kontinuierlich berechnet durch Einsetzen des berechneten Temperaturanstiegswertes T_c in die Formel 2. Durch Verwendung des so berechneten Temperatur-Anstiegswertes $T(n)$ als anfänglichen Temperatur-Anstiegswert $T(0)$, wird dann die Zeitspanne „ $T_s \times n$ “ von der gerade laufenden Abschätzung bis zum Erreichen der Überhitzungstemperatur T_{alm} des Motors unter der Bedingung, dass der Strom I kontinuierlich durch den Motor **2** fließt, unter Verwendung der Formel 5 berechnet.

[0086] Fig. 5 ist ein Blockdiagramm einer Steuerungseinrichtung für eine Werkzeugmaschine gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel. Beim dritten Ausführungsbeispiel enthält die Steuerungseinrichtung **1** für die Werkzeugmaschine, einschließlich eines Motors zum Antrieb einer Spindel, die Strom-Detektoreinheit **11**, die Speichereinheit **12**, eine Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14**, eine Zeit-Schätzeinheit **15**, und die Informations- bzw. Anzeigeeinheit **16**. Darüber hinaus weist die Steuerungseinrichtung **1** eine Motor-Steuereinheit **20** auf.

[0087] Da die Strom-Detektoreinheit **11**, die Speichereinheit **12**, die Informations- bzw. Anzeigeeinheit **16** und die Motor-Steuereinheit **20** bereits oben mit Bezug auf Fig. 1 beschrieben sind, wird anschließend auf eine Wiederholung dieser Beschreibungen verzichtet.

[0088] Die Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14** berechnet unter Verwendung der Formel 1 kontinuierlich den Temperatur-Anstiegswert T_c aufgrund des Kupferverlustes des Motors **2**, der entsteht, wenn der Strom I , detektiert durch die Strom-Detektoreinheit **11**, kontinuierlich durch den Motor **2** fließt, wobei als Bezugsgröße (Referenz) der Anfangswert der Umgebungstemperatur beim Einschalten der Werkzeugmaschine dient. Die Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14** setzt den berechneten Temperatur-Anstiegswert T_c in die Formel 2 ein um so kontinuierlich den Temperatur-Anstiegswert $T(n)$ des Motors zu gewinnen. Der so berechnete Temperatur-Anstiegswert $T(n)$ wird als anfänglicher Temperatur-Anstiegswert $T(0)$ eingesetzt.

[0089] Sodann berechnet die Zeit-Abschätzeinheit **15** unter Verwendung der Überhitzungstemperatur (erhöhter Betrag) T_{alm} , die zuvor in der Speichereinheit **12** abgelegt wurde, des Temperatur-Anstiegswertes T_c aufgrund des Kupferverlustes, wie er durch die Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14** geschätzt wurde, und des anfänglichen Temperatur-Anstiegswertes $T(0)$, wie er durch die Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14** berechnet worden ist, unter Verwendung der Formel 5 die Zeitspanne „ $T_s \times n$ “ von der gerade laufenden Abschätzung bis zum Erreichen der Heißlauftemperatur T_{alm} des Motors **2**, und zwar unter der Bedingung, dass der Strom I kontinuierlich durch den Motor **2** fließt. Mit anderen Worten: beim dritten Ausführungsbeispiel berechnet die Zeit-Schätzeinheit **15** die Zeitspanne „ $T_s \times n$ “ von der Schätzung bis zum Erreichen der Heißlauftemperatur T_{alm} des Motors durch Verwendung des Temperatur-Anstiegswertes T_c aufgrund des Kupferverlustes und der Überhitzungstemperatur T_{alm} . Die berechnete Zeitspanne „ $T_s \times n$ “ wird über die Informations- bzw. Darstellungseinheit **16** bereitgestellt.

[0090] Fig. 6 ist ein Flussdiagramm des Betriebs der Steuerungseinrichtung für eine Werkzeugmaschine gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel.

[0091] Zunächst detektiert im Schritt S301 die Strom-Detektoreinheit **11** den Wert des Stromes I , der den Motor **2** antreibt.

[0092] Sodann schätzt im Schritt S302 die Temperatur-Anstiegswertschätzeinheit **14** unter Verwendung der Formel 1 den Temperatur-Anstiegswert T_c aufgrund des Kupferverlustes des Motors **2** bei Fluss des Stromes I durch den Motor **2**, gemessen mittels der Strom-Detektoreinheit **11**.

[0093] Sodann berechnet im Schritt S303 die Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14** den Temperatur-Anstiegswert $T(n)$ des Motors **2** unter Verwendung des Temperatur-Anstiegswertes T_c aufgrund des Kupferverlustes, wie er im Schritt S302 berechnet wurde und sie setzt den so berechneten Temperatur-Anstiegswert $T(n)$ als den anfänglichen Temperatur-Anstiegswert $T(0)$.

[0094] Sodann berechnet die Zeit-Schätzeinheit **15** unter Verwendung der Formel 5 und unter Berücksichtigung der Überhitzungstemperatur (erhöhter Betrag) T_{alm} , wie er zuvor in der Speichereinheit **12** abgelegt wurde, des Temperatur-Anstiegswertes T_c aufgrund des Kupferverlustes, wie er durch die Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14** abgeschätzt wurde, und des anfänglichen Temperatur-Anstiegswertes $T(0)$, wie er mittels der Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14** berechnet wurde, die Zeit „ $T_s \times n$ “ vom Zeitpunkt der gerade laufenden Abschätzung bis der Motor **2** die Überhitzungstemperatur T_{alm} erreicht, wieder unter der Bedingung, dass der detektierte Strom I kontinuierlich durch den Motor **2** fließt.

[0095] Im Schritt S305 stellt die Informations- bzw. Anzeigeeinheit **16** die Zeit „ $T_s \times n$ “ von der gegenwärtigen Abschätzung bis zum Heisslaufen des Motors **2** auf die Überhitzungstemperatur Talm dar, wieder unter der Bedingung, dass der Strom I kontinuierlich durch den Motor **2** fließt, wobei die Zeit „ $T_s \times n$ “ durch die Zeit-Schätzeinheit **15** berechnet worden ist.

[0096] Nunmehr wird ein viertes Ausführungsbeispiel beschrieben. Beim obigen dritten Ausführungsbeispiel wurde die Zeit bis zum Heisslaufen des Motors **2** auf die Überhitzungstemperatur Talm abgeschätzt ohne Berücksichtigung des Eisenverlustes, aufgrund der Annahme, dass der Motor **2** mit relativ geringer Geschwindigkeit betrieben wird. Beim vierten Ausführungsbeispiel hingegen wird die Zeit bis der Motor **2** die Überhitzungstemperatur Talm erreicht abgeschätzt unter Berücksichtigung der Wärmeerzeugung aufgrund des Eisenverlustes und auch des Kupferverlustes, wobei angenommen wird, dass der Motor **2** mit relativ hoher Geschwindigkeit betrieben wird.

[0097] Fig. 7 ist ein Blockdiagramm einer Steuereinrichtung für eine Werkzeugmaschine gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel. Gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel weist eine Steuereinrichtung **1** für eine Werkzeugmaschine einschließlich eines Motors zum Antreiben einer Spindel, Folgendes auf: die Strom-Detektoreinheit **11**, die Speichereinheit **12**, eine Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14**, eine Zeit-Schätzeinheit **15**, die Informations- bzw. Anzeigeeinheit **16**, und die Rotationsgeschwindigkeitsdetektoreinheit **17**. Darüber hinaus weist die Steuereinrichtung **1** eine Motor-Steuereinheit **20** auf.

[0098] Da die Strom-Detektoreinheit **11**, die Speichereinheit **12**, die Informations- bzw. Darstellungseinheit **16**, und die Motor-Steuereinheit **20** den oben anhand der

[0099] Fig. 1 beschriebenen entsprechenden Bauteilen gleichen, und die Rotationsgeschwindigkeitsdetektoreinheit **17** oben anhand der Fig. 3 beschrieben wurde, wird nachfolgend auf eine wiederholte Beschreibung dieser Komponenten verzichtet.

[0100] Wie oben beschrieben ist dann, wenn der Motor **2** mit geringer Geschwindigkeit dreht, der Einfluss des Kupferverlustes prägend für den Verlust des Motors. Wenn der Motor **2** hingegen mit höherer Geschwindigkeit dreht, hat auch der Eisenverlust einen großen Einfluss auf den Gesamtverlust des Motors. Beim vierten Ausführungsbeispiel wird vorausgesetzt, dass der Motor **2** mit relativ hoher Geschwindigkeit betrieben wird und die Zeit bis der Motor **2** die Überhitzungstemperatur Talm erreicht, wird abgeschätzt unter Berücksichtigung des Kupferverlustes und des Eisenverlustes. Der Eisenverlust wird berechnet, wie oben anhand des zweiten Ausführungsbeispiels beschrieben ist.

[0101] Die Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14** berechnet kontinuierlich unter Einsatz der Formel 1 den Temperatur-Anstiegswert T_c aufgrund des Kupferverlustes des Motors **2** bei Fließen des Stromes I, wie er durch die Strom-Detektoreinheit **11** gemessen wird und der kontinuierlich durch den Motor **2** fließt, wobei weiterhin, als Referenz, der anfängliche Wert der Umgebungstemperatur beim Einschalten der Maschine verwendet wird. Darüber hinaus berechnet die Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14** kontinuierlich den Temperatur-Anstiegswert T_i aufgrund des Eisenverlustes des Motors wenn der Motor **2** kontinuierlich mit der Rotationsgeschwindigkeit dreht, die mittels der Rotationsgeschwindigkeitsdetektoreinheit **17** detektiert ist, unter Verwendung der Formel 6. Sodann setzt die Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14** den berechneten Temperatur-Anstiegswert T_c aufgrund des Kupferverlustes und den berechneten Temperatur-Anstiegswert T_i aufgrund des Eisenverlustes in die Formel 8 ein, um so kontinuierlich den Temperatur-Anstiegswert $T(n)$ des Motors **2** zu gewinnen. Der so berechnete Temperatur-Anstiegswert $T(n)$ wird als der anfängliche Temperatur-Anstiegswert $T(0)$ gesetzt.

[0102] Sodann berechnet die Zeit-Abschätzeinheit **15** unter Verwendung der Formel 10 und unter Berücksichtigung der Überhitzungstemperatur (erhöhter Wert) Talm, wie sie vorher in der Speichereinheit **12** abgelegt wurde, des Temperatur-Anstiegswertes T_c aufgrund des Kupferverlustes und des Temperatur-Anstiegswertes T_i aufgrund des Eisenverlustes, jeweils abgeschätzt durch die Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14**, und des anfänglichen Temperatur-Anstiegswertes $T(0)$, wie er durch die Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14** berechnet wurde, die Zeitspanne „ $T_s \times n$ “ von der gerade laufenden Schätzung bis der Motor **2** die Überhitzungstemperatur Talm erreicht, unter der Bedingung, dass der Motor **2** kontinuierlich mit der Drehgeschwindigkeit dreht, die mittels der Rotationsgeschwindigkeitsdetektoreinheit **17** detektiert wurde, und der Strom I kontinuierlich durch den Motor **2** fließt. Mit anderen Worten: beim vierten Ausführungsbeispiel berechnet die Zeit-Abschätzeinheit **15** die Zeit „ $T_s \times n$ “ von der gerade laufenden Abschätzung bis der Motor **2** die Überhitzungstemperatur Talm erreicht unter Verwendung des Temperatur-Anstiegswertes T_c aufgrund des Kupfer-

verlustes, des Temperatur-Anstiegswertes T_i aufgrund des Eisenverlustes, und der Überhitzungstemperatur T_{alm} . Die so berechnete Zeitspanne „ $T_s \times n$ “ wird über die Informations- bzw. Anzeigeeinheit **16** bereitgestellt.

[0103] Fig. 8 ist ein Flussdiagramm des Betriebs der Steuereinrichtung für eine Werkzeugmaschine gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel.

[0104] Zunächst detektiert im Schritt S401 die Strom-Detektoreinheit **11** den Wert des Stromes I , der den Motor **2** antreibt.

[0105] Im Schritt S402 detektiert die Rotationsgeschwindigkeitsdetektoreinheit **17** die Rotationsgeschwindigkeit des Motors **2** und gewinnt die Anregungsfrequenz.

[0106] Sodann schätzt im Schritt S403 die Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14** unter Verwendung der Formel 1 den Temperatur-Anstiegswert T_c aufgrund des Kupferverlustes des Motors **2**, der entsteht, wenn der Strom I , wie er durch die Strom-Detektoreinheit **11** festgestellt wurde, kontinuierlich durch den Motor **2** fließt. Darüber hinaus schätzt die Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14** unter Verwendung der Formel 6 den Temperatur-Anstiegswert T_i aufgrund des Eisenverlustes des Motors **2**, der entsteht, wenn der Motor **2** kontinuierlich mit detektierten Rotationsgeschwindigkeit dreht.

[0107] Sodann berechnet im Schritt S404 die Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14** den Temperatur-Anstiegswert $T(n)$ des Motors **2** unter Verwendung des Temperatur-Anstiegswertes T_c aufgrund des Kupferverlustes und des Temperatur-Anstiegswertes T_i aufgrund des Eisenverlustes, jeweils berechnet in Schritt S403, und setzt den so berechneten Temperatur-Anstiegswert $T(n)$ als anfänglichen Temperatur-Anstiegswert $T(0)$.

[0108] Sodann berechnet die Zeit-Abschätzeinheit **15** unter Verwendung der Formel 10 und unter Berücksichtigung der Überhitzungstemperatur (erhöhter Betrag) T_{alm} , wie sie vorab in der Speichereinheit **12** abgelegt worden ist, des Temperatur-Anstiegswertes T_c aufgrund des Kupferverlustes und des Temperatur-Anstiegswertes T_i aufgrund des Eisenverlustes, geschätzt mittels der Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14**, und des anfänglichen Temperatur-Anstiegswertes $T(0)$, wie er durch die Temperaturanstiegswertschätzeinheit **14** berechnet wurde, die Zeitspanne „ $T_s \times n$ “ von der gerade durchgeführten Schätzung bis zum Zeitpunkt, zu dem der Motor **2** die Überhitzungstemperatur T_{alm} erreicht, unter der Bedingung, dass der Motor **2** kontinuierlich mit der Drehgeschwindigkeit dreht, die die Rotationsgeschwindigkeitsdetektoreinheit **17** detektiert, und der Strom I kontinuierlich durch den Motor **2** fließt.

[0109] In Schritt S406 stellt die Informations- bzw. Anzeigeeinheit **16** die Zeitspanne „ $T_s \times n$ “ von der gerade durchgeführten Abschätzung bis zum Heisslaufen des Motors **2** auf die Überhitzungstemperatur T_{alm} dar, und zwar unter der Bedingung, dass der Strom I kontinuierlich durch den Motor **2** fließt, wobei die Zeitspanne „ $T_s \times n$ “ durch die Zeit-Schätzeinheit **15** berechnet wurde.

[0110] Die Informations- bzw. Anzeigeeinheit **16** bei den obigen ersten bis vierten Ausführungsbeispielen kann beispielsweise implementiert sein durch einen Informationsgeber für eine numerische Steuereinrichtung (nicht dargestellt) zum Steuern des Antriebs des Motors **2** der Werkzeugmaschine, oder beispielsweise durch einen Indikator, der extern mit der numerischen Steuereinrichtung der Werkzeugmaschine verbunden ist.

[0111] Die beschriebene Erfindung ist insbesondere einsetzbar für eine Steuereinrichtung einer Werkzeugmaschine einschließlich eines Motors zum Antreiben einer Spindel.

[0112] Die Erfindung ermöglicht es, eine Steuereinrichtung für eine Werkzeugmaschine bereitzustellen, die eine einfache Abschätzung der Zeit erlaubt, in der ein Motor seine Überhitzungstemperatur erreicht, und zwar unter der Bedingung, dass der Motor unter Last betrieben wird. Es ist damit möglich bei Maschinenarbeiten, die eine Belastung beinhalten, welche die kontinuierlich abgeschätzte Last übersteigen, festzustellen, wie lange die Maschinenarbeiten noch fortgesetzt werden können unter der gerade herrschenden Überlastung des Motors und es ist so möglich, den Motor optimal in den Grenzen seiner Leistungsfähigkeit zu betreiben, ohne ihn zu überhitzen.

Patentansprüche

1. Steuereinrichtung (**1**) für eine Werkzeugmaschine einschließlich eines Motors (**2**) zum Antreiben einer Spindel, wobei die Steuereinrichtung (**1**) aufweist:
eine Strom-Detektoreinheit (**11**), welche einen den Motor (**2**) antreibenden Strom detektiert;

eine Speichereinheit (12), welche eine für den Motor (2) angegebene Überhitzungstemperatur speichert;
 eine Temperatur-Detektoreinheit (13), welche eine Temperatur des Motors (2) detektiert;
 eine Zeit-Abschätzeinheit (15), welche unter Verwendung der mittels der Temperatur-Detektoreinheit (13) detektierten Temperatur und der Überhitzungstemperatur die Zeit abschätzt von der gerade durchgeführten Abschätzung bis der Motor (2) die Überhitzungstemperatur erreicht wenn der mittels der Strom-Detektoreinheit (11) detektierte Strom kontinuierlich durch den Motor (2) fließt; und
 eine Informations- bzw. Anzeigeeinheit (16), welche die mittels der Zeit-Schätzeinheit (15) abgeschätzte Zeit bereitstellt.

2. Steuereinrichtung (1) für eine Werkzeugmaschine gemäß Anspruch 1, weiterhin aufweisend:
 eine Temperaturanstiegswertabschätzeinheit (14), welche einen Temperatur-Anstiegswert aufgrund von Kupferverlust des Motors abschätzt, der erzeugt wird wenn der mittels der Strom-Detektoreinheit (11) detektierte Strom kontinuierlich durch den Motor (2) fließt, wobei
 die Zeit-Abschätzeinheit (15) unter Verwendung der mittels der Temperatur-Detektoreinheit (13), der Überhitzungstemperatur, und des Temperatur-Anstiegswertes aufgrund von Kupferverlust die genannte Zeit abschätzt.

3. Steuereinrichtung für eine Werkzeugmaschine gemäß Anspruch 2, weiterhin aufweisend:
 eine Rotationsgeschwindigkeitsdetektoreinheit (17), welche eine Rotationsgeschwindigkeit des Motors (2) detektiert, wobei die Temperaturanstiegswertabschätzeinheit (14) den Temperatur-Anstiegswert aufgrund von Kupferverlust und einen Temperatur-Anstiegswert aufgrund von Eisenverlust des Motors (2) abschätzt, die erzeugt werden, wenn der Motor (2) kontinuierlich mit der Rotationsgeschwindigkeit dreht, welche die Rotationsgeschwindigkeitsdetektoreinheit (17) detektiert, und
 wobei die Zeit-Abschätzeinheit (15) unter Verwendung der mittels der Temperatur-Detektoreinheit (13) detektierten Temperatur, der Überhitzungstemperatur, des Temperatur-Anstiegswertes aufgrund von Kupferverlust und des Temperatur-Anstiegswertes aufgrund von Eisenverlust die Zeit abschätzt von der gerade durchgeführten Abschätzung bis der Motor (2) die Überhitzungstemperatur erreicht, wenn der Motor (2) kontinuierlich mit der von der Rotationsgeschwindigkeitsdetektoreinheit (17) detektierten Rotationsgeschwindigkeit dreht und der mittels der Strom-Detektoreinheit (11) detektierte Strom kontinuierlich durch den Motor (2) fließt.

4. Steuereinrichtung (1) für eine Werkzeugmaschine einschließlich eines Motors (2) zum Antreiben einer Spindel, wobei die Steuereinrichtung (1) aufweist:
 eine Strom-Detektoreinheit (11), welche einen den Motor (2) antreibenden Strom detektiert;
 eine Temperatur-Anstiegswertabschätzeinheit (14), welche einen Temperatur-Anstiegswert aufgrund von Kupferverlust des Motors (2) abschätzt wenn der von der Strom-Detektoreinheit (11) detektierte Strom kontinuierlich durch den Motor (2) fließt;
 eine Speichereinheit (12), welche eine für den Motor (2) spezifizierte Überhitzungstemperatur abspeichert;
 eine Zeit-Abschätzeinheit (15), welche unter Verwendung des Temperatur-Anstiegswertes aufgrund von Kupferverlust und der Überhitzungstemperatur die Zeitspanne abschätzt von der gerade durchgeführten Abschätzung bis zu dem Zeitpunkt, zu dem der Motor (2) die Überhitzungstemperatur erreicht, wenn der für die Abschätzung des Temperatur-Anstiegswertes aufgrund von Kupferverlust verwendete Strom kontinuierlich durch den Motor (2) fließt; und
 eine Informations- bzw. Anzeigeeinheit 16, welche die mittels der Zeit-Abschätzeinheit (15) abgeschätzte Zeitspanne zur Verfügung stellt.

5. Steuereinrichtung (1) für eine Werkzeugmaschine gemäß Anspruch 4, weiterhin aufweisend:
 eine Rotationsgeschwindigkeitsdetektoreinheit (17), welche eine Rotationsgeschwindigkeit des Motors (2) detektiert, wobei
 die Temperaturanstiegswertabschätzeinheit (14) den Temperatur-Anstiegswert aufgrund von Kupferverlust und einen Temperatur-Anstiegswert aufgrund von Eisenverlust des Motors (2) abschätzt wenn der Motor (2) kontinuierlich mit der von der Rotationsgeschwindigkeitsdetektoreinheit (17) detektierten Rotationsgeschwindigkeit dreht, und wobei
 die Zeit-Abschätzeinheit (15) unter Verwendung des Temperatur-Anstiegswertes aufgrund von Kupferverlust, des Temperatur-Anstiegswertes aufgrund von Eisenverlust und der Überhitzungstemperatur die Zeitspanne abschätzt von der gerade durchgeführten Abschätzung bis zu dem Zeitpunkt, zu dem der Motor (2) die Überhitzungstemperatur erreicht, wenn der Motor (2) kontinuierlich mit der von der Rotationsgeschwindigkeitsdetektoreinheit (17) detektierten Rotationsgeschwindigkeit dreht und der bei der Abschätzung des Temperatur-Anstiegswertes aufgrund von Kupferverlust verwendete Strom kontinuierlich durch den Motor (2) fließt.

6. Steuereinrichtung (1) für eine Werkzeugmaschine gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Informations- bzw. Anzeigeeinheit (16) eine Information bereitstellt, die einer numerischen Steuerung für die Werkzeugmaschine zur Verfügung gestellt wird.

7. Steuereinrichtung (1) für eine Werkzeugmaschine gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Informations- bzw. Anzeigeeinheit (16) ein Anzeiger ist, der extern mit der numerischen Steuerungseinrichtung der Werkzeugmaschine verbunden ist.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

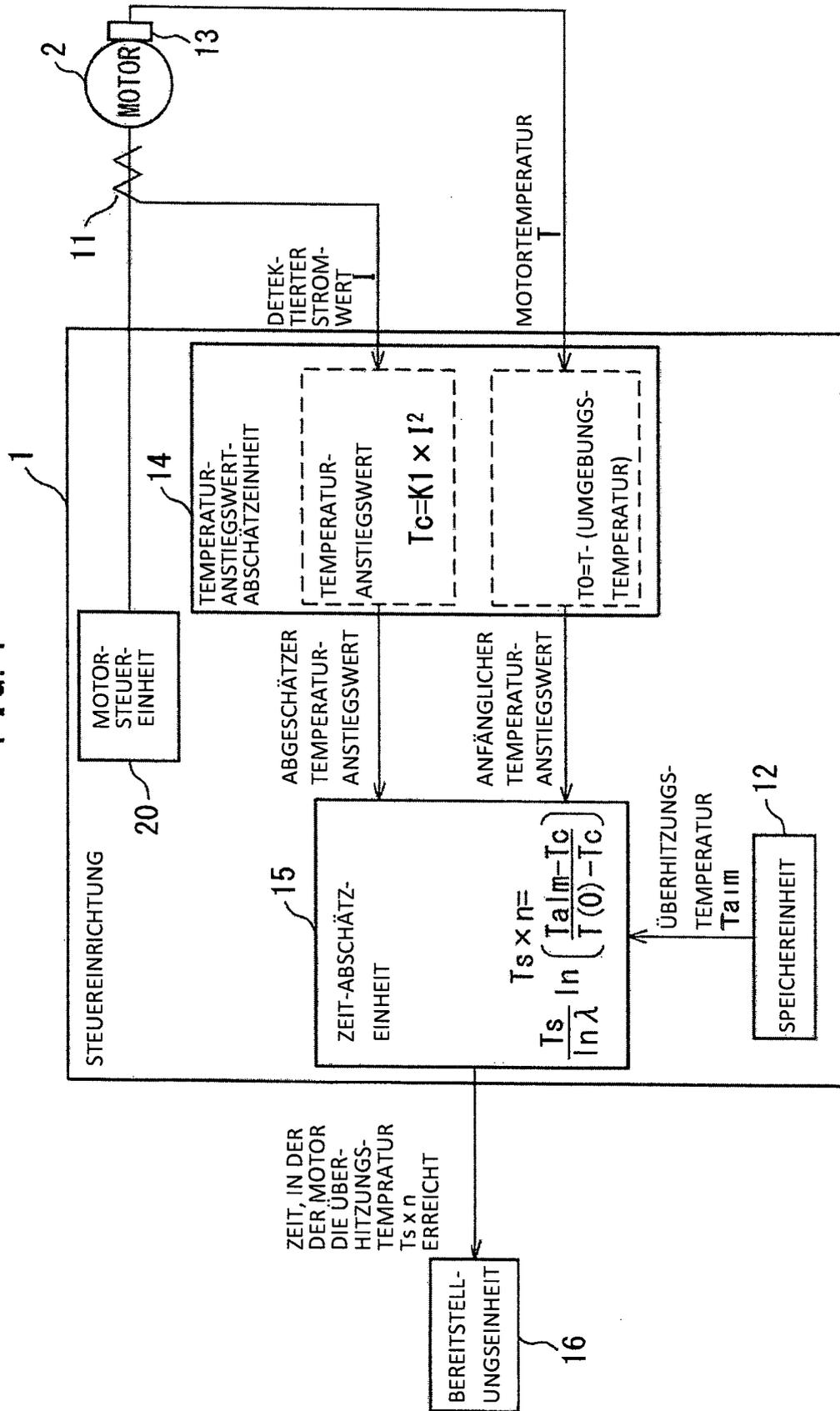


FIG. 2

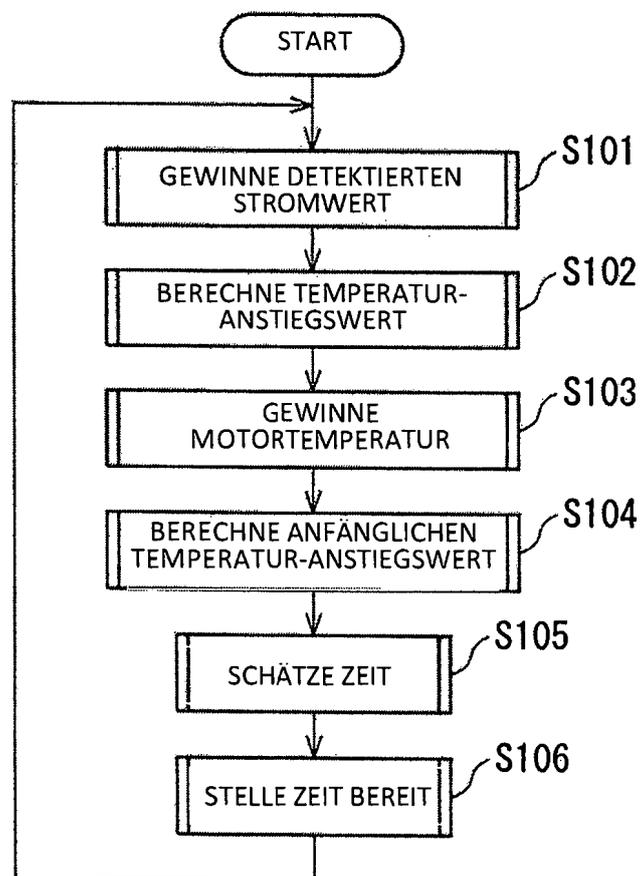


FIG. 3

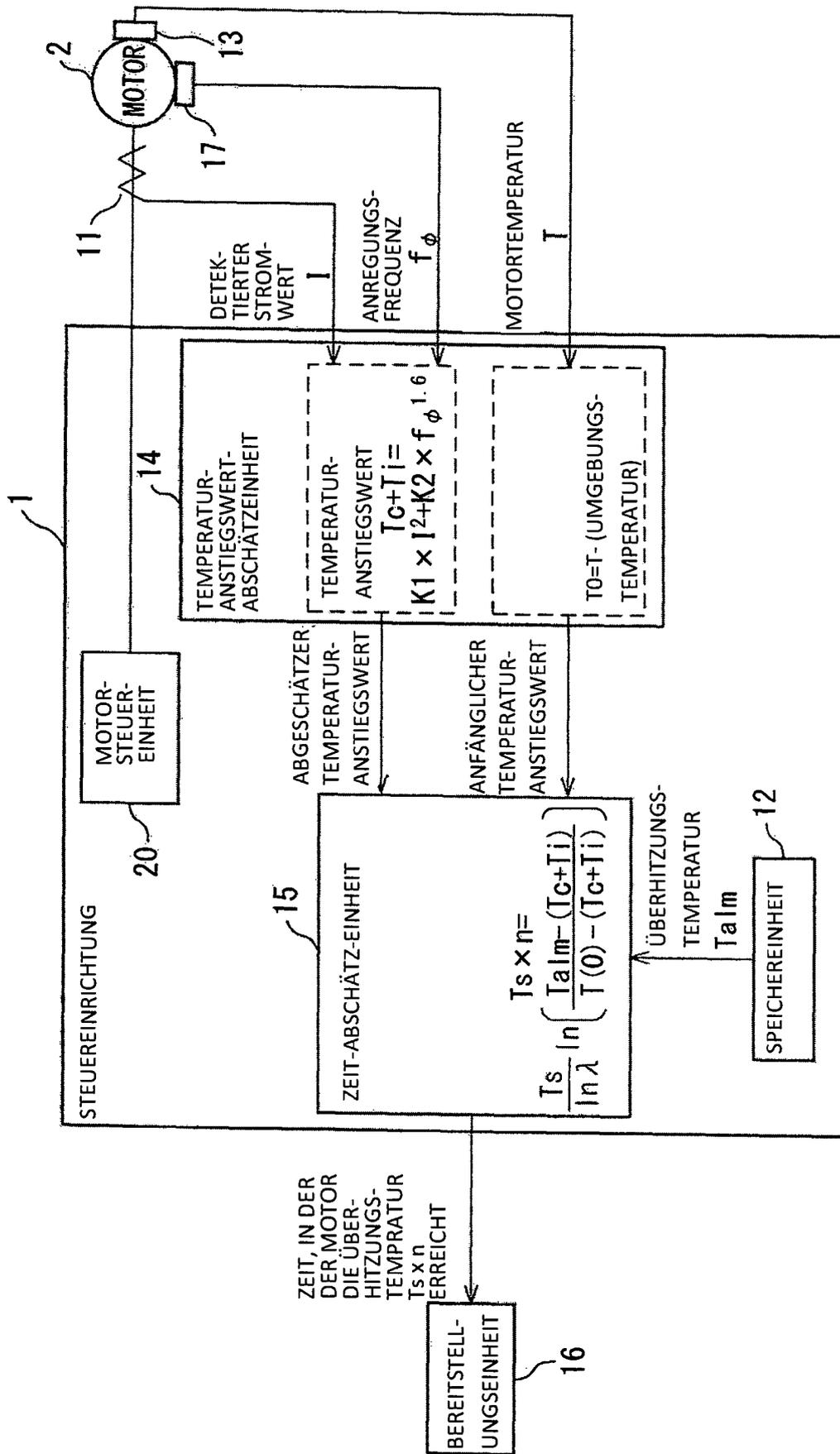


FIG. 4

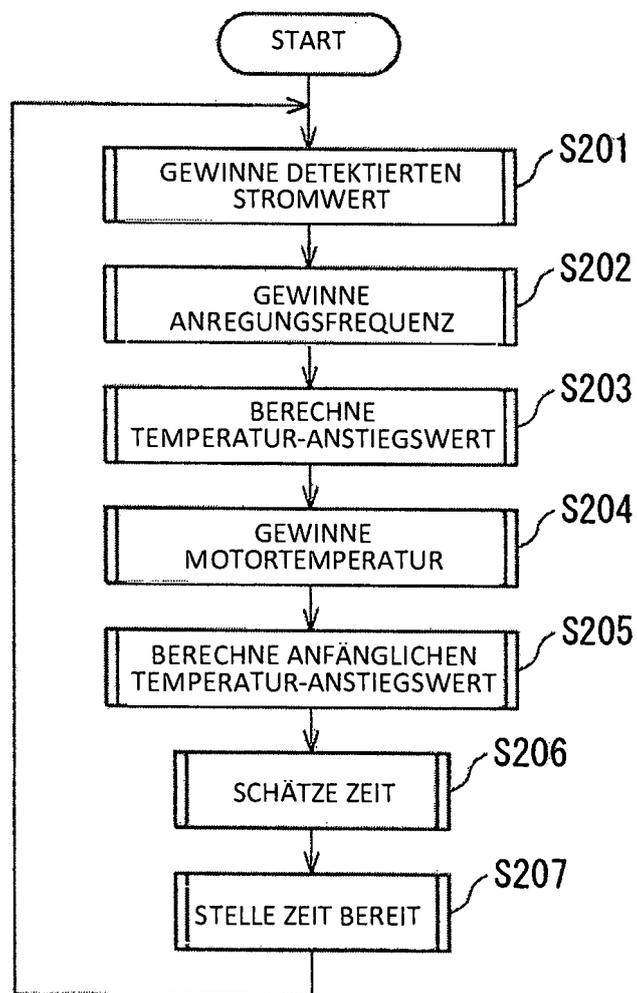


FIG. 5

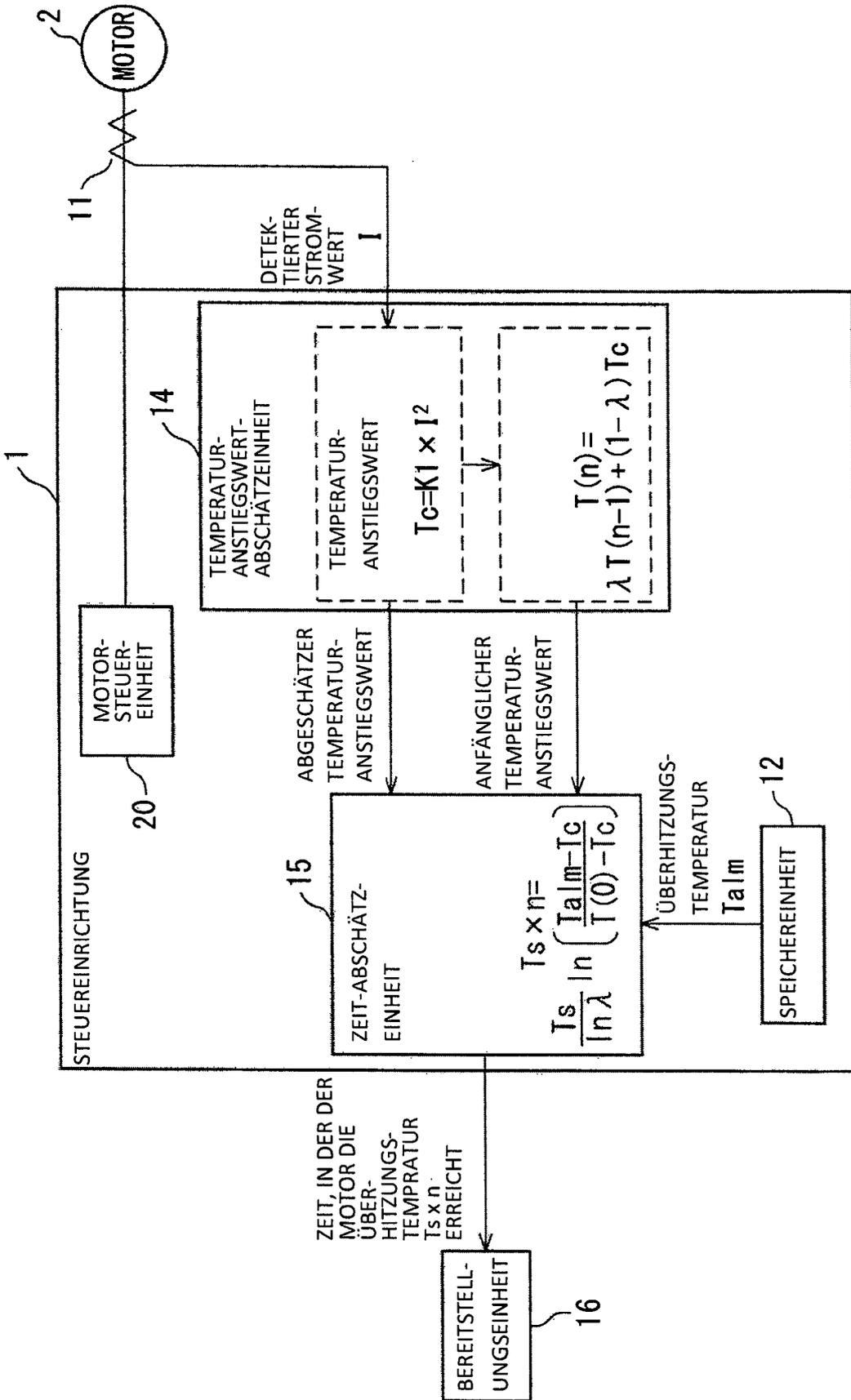


FIG. 6

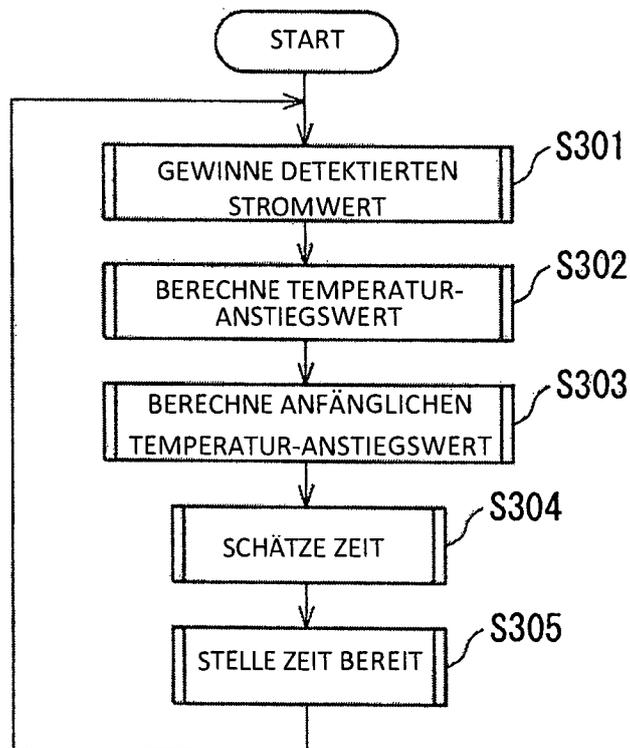


FIG. 7

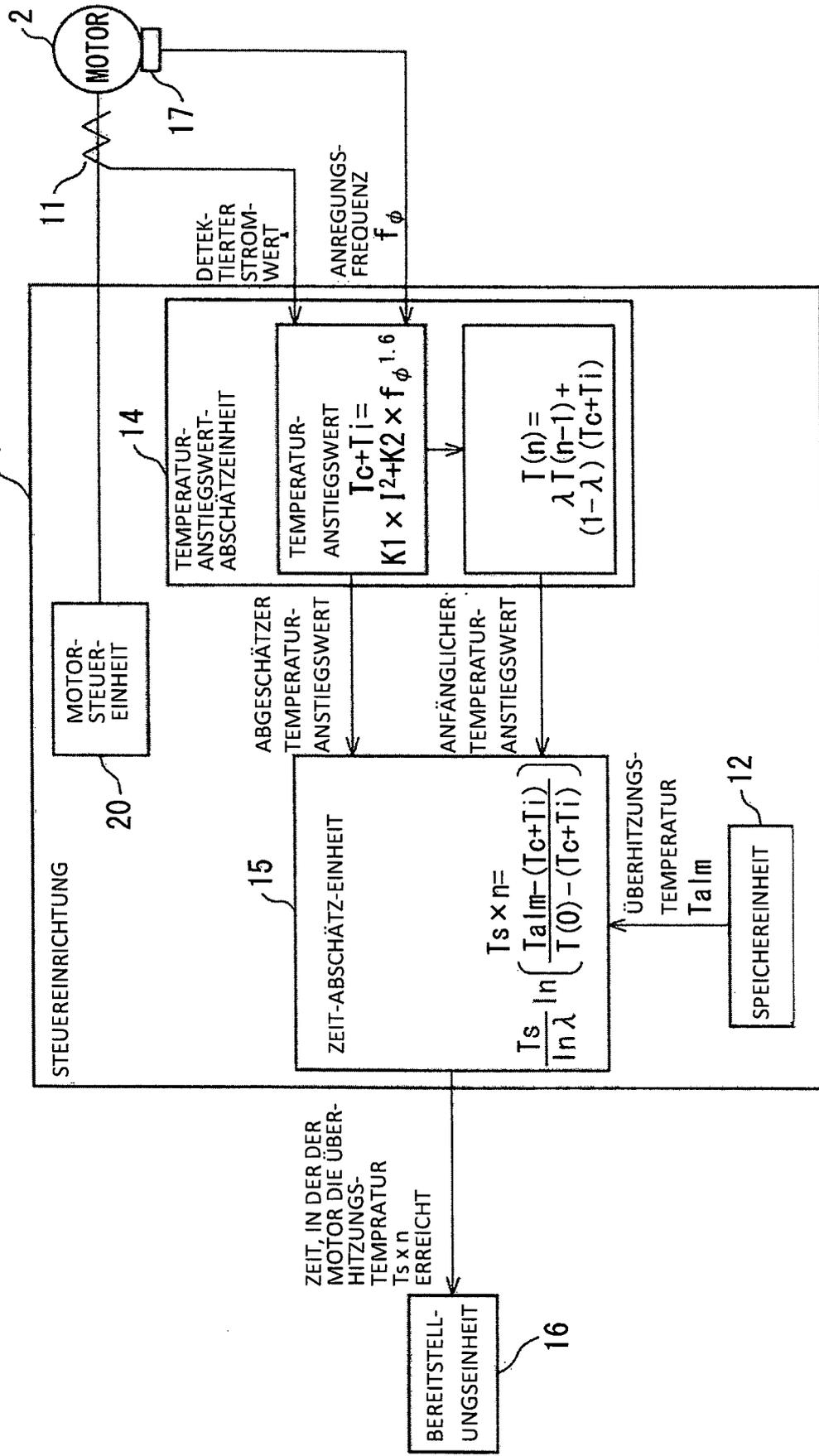


FIG. 8

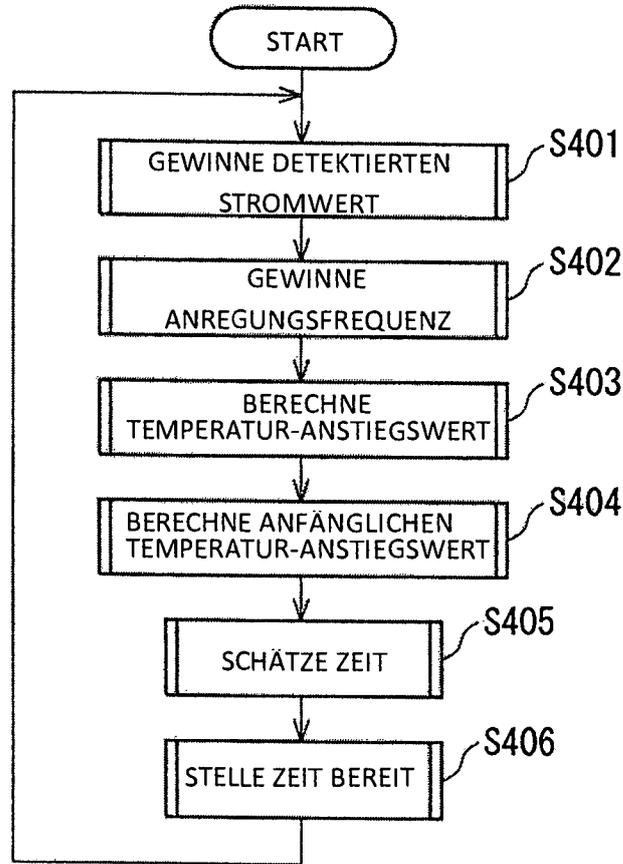


FIG. 9

