



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 251 302 A1

4(51) B 23 F 23/10

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP B 23 F / 292 794 5

(22) 23.07.86

(44) 11.11.87

(71) Forschungszentrum des Werkzeugmaschinenbaues Karl-Marx-Stadt, Karl-Marx-Allee 4, Karl-Marx-Stadt, 9010, DD

(72) Brandner, Gerhard, Dr. sc. techn.; Günther, Andreas, Dipl.-Ing.; Rietzel, Dieter, Dipl.-Ing.; Weigel, Frank, Dipl.-Ing., DD

(54) Verfahren zur Korrektur der Teilschneckenradfehler CNC-gesteuerter Zahnflankenschleifmaschinen

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Korrektur der Teilschneckenradfehler CNC-gesteuerter Zahnflankenschleifmaschinen während des Teilwälzens, wobei zur Ausführung der Wälzbewegung ein Bettschlitten mit darauf gelagertem Rundtisch vorgesehen ist, der Bettschlitten durch einen Stellmotor über eine Gewindespindel, der Rundtisch durch einen Stellmotor über ein Teilschneckengetriebe angetrieben wird und beiden Stellmotoren je ein Meßsystem sowie eine Rechnersteuerung und Steller zugeordnet sind. Der erfindungsgemäße Verfahrensablauf sieht vor, den Fehlerverlauf des Teilschneckenrades in beiden Drehrichtungen, ausgehend von einem Referenzpunkt zu ermitteln und jeder Fehlerart Exzenterfunktionen innerhalb der Verzahngeometrie zuzuordnen, die als Fehlerfunktionen dem Rechner übertragen, zur Korrektur der Fehler benutzt werden. Für verschiedene Fehlerarten sind unterschiedliche Exzenterfunktionen anwendbar.

Erfindungsanspruch:

Verfahren zur Korrektur der Teilschneckenradfehler CNC-gesteuerter Zahnflankenschleifmaschinen während des Teil-Wälzens, wobei die Maschine zur Ausführung der Wälzbewegung einen Bettschlitten und einen darauf gelagerten Rundtisch aufweist, der Bettschlitten durch einen Stellmotor über eine Gewindespindel antreibbar ist, der Rundtisch durch einen Stellmotor über ein Teilschneckengetriebe angetrieben wird und beiden Stellmotoren je ein Meßsystem sowie eine Rechnersteuerung und Steller zugeordnet sind, **gekennzeichnet dadurch**, daß der Fehlerverlauf des Teilschneckenrades (13) bezüglich Einzelteilung und Rundlauf, bezogen auf einen Verdrehwinkel (ψ) in beiden Drehrichtungen ausgehend von einem Referenzpunkt (T) ermittelt wird und jeder Fehlerart Exzenterfunktionen innerhalb der Verzahngeometrie des Teilschneckenrades (13) zugeordnet werden, die als Fehlerfunktionen (f_R ; f_L) dem Rechner (10) übertragen werden, der in vorbestimmten Intervallen in Abhängigkeit vom zurückgelegten Verdrehwinkel über die Steller (11; 12) und die Stellmotoren (6; 8) die den Fehlergrößen entgegengesetzten Stellwerte für die korrekte Verdrehwinkelposition des Teilschneckenrades (13) wirksam werden läßt.

Hierzu 3 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Korrektur der Teilschneckenradfehler CNC-gesteuerter Zahnflankenschleifmaschinen während des Teil-Wälzens, wobei die Maschine zur Ausführung der Wälzbewegung eines Bettschlitten und einen darauf gelagerten Rundtisch aufweist, der Bettschlitten durch einen Stellmotor über eine Gewindespindel antreibbar ist, der Rundtisch durch einen Stellmotor über ein Teilschneckengetriebe angetrieben wird und beiden Stellmotoren je ein Meßsystem sowie eine Rechnersteuerung und Steller zugeordnet sind.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

An die Fertigung und Montage der Teilträder von Verzahnmaschinen werden extreme Genauigkeitsforderungen gestellt. Trotzdem sind bestimmte Restfehler beim Aufspannen und Verzahn des Teilschneckenrades auf sogenannten Teilrad-Wälzfräsmaschinen unvermeidbar. Die Teilrad-Wälzfräsmaschine besitzt einen eigenen Wälzfehler, der sich im zu fertigenden Teilrad abbildet. Hinzu kommt eine durch Aufspannfehler verursachte Rundlaufabweichung am Teilrad.

Häufig wird zur Fehlerverminderung das Teilrad mit dem Rundtisch verschraubt, auf der Teilrad-Wälzfräsmaschine gespannt und das Teilrad nach der Rundtischführung ausgerichtet. Aber auch die Führung des z. B. Tischuntersatzes besitzt einen Eigenfehler, der sich nach Montage des Rundtisches als Wälzfehler abbildet.

Um solche Fehler und Abweichungen zu reduzieren, sind Lösungen bekannt, die mit einer mit dem Rundtisch verbundenen Plankurve arbeiten. Hierbei werden die Wälzabweichungen in Abhängigkeit vom Drehwinkel des Rundtisches auf diese Plankurve übertragen. Diese Plankurve wird dann von einer Rolle abgetastet und deren Tastweg über ein Hebelsystem und der das Teilrad antreibenden Schnecke als Zusatzdrehung oder Zusatzverschiebung im entsprechenden Verhältnis zugeführt (DD-PS 15 695; 47 i 5). Das Herstellen solcher Plankurven ist sehr aufwendig und allgemein für Produktionsmaschinen technisch-ökonomisch nicht vertretbar. So ist diese Lösung auch auf Sondermaschinen, z. B. solche Teilrad-Wälzfräsmaschinen begrenzt geblieben. Aber selbst für derartige Hochgenauigkeitsmaschinen ist die Anwendungsbreite gering, da zur Bewegungsübertragung von der Plankurve bis zum Verschieben bzw. Drehen der Schnecke zusätzliche elastische Elemente und Lose einzubauen sind, die letztlich die auf die Plankurve übertragenen Abweichungen verfälschen. Es entsteht z. B. zwangsläufig bei Bewegungsumkehr der Tastrolle in Verbindung mit den übertragenden Elementen eine störende Umkehrspanne, die Sprünge zur Folge haben kann.

Hinzu kommt, daß in der Regel z. B. die Teilungs- und auch die Teilungsgesamtabweichungen zwischen den Links- und Rechtsflanken des Teiltrades sich nicht nur in der Größe, sondern auch in ihrer Phasenlage voneinander unterscheiden. Das bedeutet, daß für Links- und Rechtslauf des Rundtisches einer Verzahnmaschine zwei voneinander verschiedene Plankurven herzustellen, mit Korrekturwerten zu versehen und einzusetzen sind.

Tritt ein häufiger Wechsel zwischen diesen beiden Drehrichtungen auf, wie es z. B. bei im Einzelteilverfahren arbeitenden Zahnflankenschleifmaschinen der Fall ist, so sind auch zwei selbsttätig umschaltbare Hebelsysteme zur Übertragung der Zusatzbewegung von der jeweiligen Plankurve auf die das Teilrad antreibende Schnecke erforderlich. Es ist leicht einzusehen, daß diese Forderung bezüglich des Drehrichtungswechsels eine weitere der Genauigkeitserhöhung abträgliche Wirkung ergibt und sehr schwer beherrschbar ist.

Diese Darlegung erhärtet den bereits o. a. Sachverhalt, daß derartige Lösungen für Produktionsmaschinen technisch-ökonomisch nicht vertretbar sind.

Eine weitere Lösung sieht vor, daß bei einer zur Erzeugung eines Evolventenprofil notwendigen Wälzbewegung ein Sollübersetzungsverhältnis festgelegt und während eines ersten Bearbeitungsdurchganges das Istübersetzungsverhältnis bestimmt wird. Die Differenz zwischen dem Soll- und Istübersetzungsverhältnis kann dann bei den nachfolgenden Bearbeitungsdurchgängen von Zahn zu Zahn berücksichtigt werden. Um diesen Vorschlag zu realisieren, werden zur Einhaltung dieser Wälzbewegung zwei geregelte Achsen verwendet, zusätzlich zwei weitere Meßsysteme zur Erfassung des Istübersetzungsverhältnisses und eine dritte Achse zum Ausgleich des Differenzbetrages zwischen Soll- und Istübersetzungsverhältnis. Dieser Aufwand ist erheblich, da ein indirektes Regelsystem mit einem direkt messenden

Lagemeßsystem verbunden werden, deren Differenzbeträge über eine dritte Achse auszuregulieren sind. Diese Anordnung zwingt dazu, die Fehlerermittlung und Fehlerbeseitigung in zeitlich nacheinander erfolgenden kompletten Umläufen zu realisieren. Infolge dieser zeitlichen Einflüsse sind thermische Verlagerungen während des Messens und auch während des Korrigierens nicht auszuschließen, die die einzuhaltende Qualität des zu schleifenden Zahnrades ungünstig beeinflussen. Insbesondere tritt dies markant beim Schleifen von Zahnrädern mit großen Zähnezahlen in Erscheinung. Verlaufen die thermischen Einflüsse während des zeitlich verlagerten Messens und Korrigierens unterschiedlich, was im Regelfall eintreten wird, so wird während der Bearbeitung des Stirnrades ein fehlerhafter Korrekturwert übertragen, der im ungünstigen Falle größer sein kann als jener, der ohne jede Korrektureinrichtung entsteht (DE-PS 3345068; B 23 F 23/10).

Eine dritte Lösung betrifft eine Einrichtung zum Teilwälzschleifen von Evolventenverzahnungen auf Zahnflankenschleifmaschinen im Einflankenschliff, wobei die thermisch und durch Werkzeugverschleiß bedingten Abweichungen zwischen der zuerst und den nachfolgend geschliffenen Zahnflanken durch ein kugelförmiges Meßelement gemessen und anschließend kompensiert werden (DD-PS 132412; B 23 F 23/10).

Mit dem kugelförmigen Meßelement können in der gemäß Vorschlag ausgeführten Weise nur die zwischen den Flanken einer Lücke auftretenden mittleren Teilungsabweichungen bestimmt werden. Es kann dabei nicht unterschieden werden, ob diese Fehler durch thermische Einflüsse oder durch fehlerhafte Wälzverhältnisse verursacht werden. Besonders nachteilig ist bei dieser Ausführung, daß das Messen der Flanken über einen längeren Zeitraum erfolgt, in der die Meßeinrichtung selbst thermischen Einflüssen unterworfen ist.

Ziel der Erfindung

Als Ziel der Erfindung wird angestrebt, die Verzahnungsgenauigkeit an CNC-gesteuerten Zahnflankenschleifmaschinen zu verbessern und dabei mit einem geringen steuerungstechnischen Aufwand auszukommen, der die Anwendung von zwei gesteuerten Achsen nicht übersteigt.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Korrektur der Teilschneckenradfehler CNC-gesteuerter Zahnflankenschleifmaschinen, gemäß dem Anwendungsgebiet der Erfindung zu entwickeln, welches eine Korrektur für beide Drehrichtungen des Rundtisches unter Vermeidung der Fehlersprünge verursachenden Umkehrspanne ermöglicht, wobei der Verfahrensablauf gewährleistet, daß thermische Einflüsse die Meßwerterfassung und den Fehlerausgleich nicht negativ beeinflussen.

Erfindungsgemäß wird das dadurch erreicht, daß der Fehlerverlauf des Teilschneckenrades bezüglich Einzelteilung und Rundlauf, bezogen auf einen Verdrehwinkel in beiden Drehrichtungen, ausgehend von einem Referenzpunkt ermittelt wird und jeder Fehlerart exzenterfunktionen innerhalb der Verzahngeometrie des Teilschneckenrades zugeordnet werden, die als Fehlerfunktionen dem Rechner übertragen werden, der in vorbestimmten Intervallen in Abhängigkeit vom zurückgelegten Verdrehwinkel über die Steller und die Stellmotoren die den Fehlergrößen entgegengesetzten Stellwerte für die korrekte Verdrehwinkelposition des Teilschneckenrades wirksam werden läßt.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung ist nachstehend anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels näher erläutert. In den zugehörigen Zeichnungen zeigen:

- Fig. 1: Ein Diagramm über den Verlauf einer ersten Fehlerfunktion,
- Fig. 2: ein Diagramm über den Verlauf einer zweiten Fehlerfunktion
- Fig. 3: die Lage der Exzenter innerhalb der Verzahngeometrie des Teilschneckenrades
- Fig. 4: eine schematische Draufsicht auf den Bettschlitten einer Zahnflankenschleifmaschine und ein Blockschaltbild der Antriebs-Steuer- und Regeleinrichtungen.

Aus Fig. 4 ist der prinzipielle Aufbau des Wälz-Antriebes einer CNC-gesteuerten Zahnflankenschleifmaschine dargestellt. Der Schleifkörper 1 befindet sich an einem Werkzeugträger, der als nicht zur Erfindung gehörig zu betrachten ist und deshalb keiner besonderen Darstellung bedarf. Der Rundtisch 2, der zur Aufnahme des Zahnrades 3 dient, ist drehbar in einem Bettschlitten 4 gelagert, der auf dem Bett 5 mit Hilfe eines Stellmotores 6, linear beweglich Aufnahme findet.

Dem Stellmotor 6 ist ein Meßsystem 7 zugeordnet. Der Antrieb des Rundtisches 2 erfolgt über einen weiteren Stellmotor 8 mit Meßsystem 9. Beide Meßsysteme 7; 9 sind mit einem Rechner 10 verbunden, dem auch die Steller 11; 12 zugeordnet sind. Das mit dem Rundtisch 2 verbundene Teilschneckenrad 13 ist vom Stellmotor 8 aus über die Schnecke 14 angetrieben. Der Bettschlitten 4 erhält seine Linearbewegung vom Stellmotor 6 über die Gewindespindel 15 und Mutter 16.

Dem Rechner 10 ist ein Funktionsgenerator 17 zugeordnet, der über den Rechner 10 die Sollwerte der Wälzbewegung vorgibt. Ausgehend von dieser Grundausstattung der Zahnflankenschleifmaschine wird im folgenden das Prinzip des erfindungsgemäßen Verfahrens erläutert und ein Beispiel für dessen Ablauf gegeben.

Fig. 1 stellt den Fehlerverlauf eines Fehlers f des Teilschneckenrades 13 über den Drehwinkel $\psi = 0$ bis $\psi = 360^\circ$ dar. Gemäß dieser Darstellung eilt im Ergebnis das Teilschneckenrad 13 in der Istposition gegenüber der Sollposition vor. Um diesen Fehler zu kompensieren, ist der Teilbewegung eine Zusatzbewegung entgegengesetzt zur Fehlerbewegung zu überlagern. Der Verfahrensablauf werde mit Hilfe eines Exzenters erläutert. Das Teilschneckenrad 13 dreht sich von der Bezugsposition $\psi = 0$ in die Lage $\psi = \psi_{10}$.

Dort beginnt der Einfluß des Fehlers f_1 . Zu diesem Zeitpunkt wird der Exzenter E_1 (Fig. 3) mit x-Komponente e_{1x} der Exzentrizität e_1 wirksam, z. B. mit der Funktion

$$f_1 = -e_1 (1 - \cos n_1 (\psi_i - \psi_{10})) \quad (1)$$

wobei n für die Drehzahl des Exzentrers steht:
im Intervall $\psi_i = \psi_{10}$ bis $\psi_i = \psi_{1E}$.

Liegt ein weiterer Fehler f_2 des Teilschneckenrades 13, z. B. in der gem. Fig. 2 dargestellten Weise als Rundlauffehler vor, dann wird ein zweiter Exzenter mit der Exzentrizität e_2 wirksam gemäß der Funktion

$$f_2 = -e_2 \cos n_2 (\psi_i - \psi_{20}) \quad (2)$$

im Intervall $\psi_i = \psi_{20}$ bis $\psi_i = \psi_{20} + 360^\circ$ mit $n_2 = 1$.

In der beschriebenen Weise lassen sich weitere Exzenter hinzufügen, bis der vorliegende Fehlerverlauf exakt mit entgegengesetztem Vorzeichen abgebildet wird.

Alle diese Funktionen können dem Funktionsgenerator 17 übertragen werden, der in vorbestimmten Intervallen in Abhängigkeit z. B. von dem zurückzulegenden Winkel ψ des Teiltrades die Korrekturwerte f_1, f_2 usw. an eine CNC-Steuerung überträgt und die entsprechenden ψ -Positionen des Teilschneckenrades 13 korrigiert.

Die folgenden Verfahrensschritte sind durchzuführen:

- Festlegung eines Referenzpunktes T (Fig. 4) des Rundtisches 2
- Bestimmung des Fehlerverlaufes f_R und f_L für beide Drehrichtungen des Rundtisches 2, bezogen auf den Referenzpunkt T
- Festlegung der Fehlerfunktionen f_R und f_L für beide Drehrichtungen des Rundtisches 2, bezogen auf den Referenzpunkt T nach dem Schema

Rechtsdrehung	im Intervall
$f_R = -e_{R1} (1 - \cos n_{1R} (\psi_i - \psi_{10R}))$	$\psi_i = \psi_{10R}$ bis $\psi_i = \psi_{1ER}$
$-e_{R2} \cos n_{2R} (\psi_i - \psi_{20R})$	$\psi_i = \psi_{20R}$ bis $\psi_i = \psi_{20R} + 360^\circ$
— ...	für $n_{2R} = 1$
Linksdrehung	
$f_L = -e_{L1} (1 - \cos n_{1L} (\psi_i - \psi_{10L}))$	$\psi_i = \psi_{10L}$ bis $\psi_i = \psi_{1EL}$
$-e_{L2} \cos n_{2L} (\psi_i - \psi_{20L})$	$\psi_i = \psi_{20L}$ bis $\psi_i = \psi_{20L} - 360^\circ$
— ...	für $n_{2L} = 1$

- Übertragung der Fehlerfunktionen f_R und f_L auf den Funktionsgenerator 17
- Kopplung des Funktionsgenerators 17 mit dem Rechner 10 in der Weise, daß bei der Berechnung der Folgeposition ψ_i der Funktionsgenerator 17 in Abhängigkeit von ψ_i die Fehlergröße $f_R (\psi_i)$ bzw. $f_L (\psi_i)$ bereitstellt und durch den Rechner 10 zu ψ_i vorzeichenbehaftet addiert wird.

Die Schrittgröße für die punktweise Übertragung der Fehlerfunktion für die jeweiligen Nachbarlagen des Rundtisches 2 ist eine Frage der absoluten Größe des Fehlers im Zusammenhang mit der zu erzielenden Genauigkeit der Bewegung und der Verarbeitungsgeschwindigkeit der Daten durch den Rechner 10.

Bei den hier in Betracht kommenden Teilschneckenrädern, die üblicherweise mit einer sehr hohen Genauigkeit gefertigt werden, dürfte z. B. beim Zahnflankenschleifen im Einzelteilverfahren die Übernahme je eines Fehlerwertes beim Schleifen jeweils einer Flanke einer Lücke genügen. Das hat in diesem Fall den Vorteil, daß keine Geschwindigkeitsbegrenzung entsteht, da der Fehlerwert bereits vor dem Schleifen dieser Flanke ermittelt und bereitgestellt werden kann.

Dieser Fehlerwert ist sowohl bei der Positionierung der Flanke im Sinne einer Teilung von Zahn zu Zahn als auch im Wälzprozeß zur Herstellung des Flankenprofils in der dafür erforderlichen Weise wie folgt zu berücksichtigen:

- Lagepositionierung des zu bearbeitenden Zahnades zum Referenzpunkt T des Rundtisches 2
Die Lagepositionierung des zu bearbeitenden Zahnades erfolgt beim Anschleifen einer Flanke. Die Position ψ_k des Kopfanschliffes ist von der Steuerung zu übernehmen.
- Ermittlung der Position des Zahnades bei Durchgang der Flanke durch den Wälzpunkt C bezogen auf den Referenzpunkt T

$$\psi_{2R} = \psi_k - (\tan \alpha_k - \tan \alpha_s)$$

Die genauen Positionen beim Teilen von Zahn zu Zahn sind dann absolut

$$\begin{array}{ccc} \psi_i & = & \psi_{1ER} \\ | & & \\ \psi & = & \psi_i + f_R \\ | & & \\ \psi_i & = & \psi_{10R} \end{array} \quad i = (0, 1, 2 \dots z-1)$$

wobei der Fehler f_R nur innerhalb der Grenzen $\psi_i = \psi_{10R}$ bis $\psi_i = \psi_{1ER}$ gerechnet wird.

- Das Verhältnis i_i der Bewegung zwischen Drehung des Rundtisches 2 und Verschieben des Bettschlittens 4 ist gemäß Fehlerverlauf (Fig. 1; Fig. 2) zu verändern.
Für dieses Verhältnis gilt mit Bezug auf (1) und (2)

$$i_i = \frac{r}{r_B} - \frac{n_1 e_1}{r_T} \sin(\psi_i - \psi_{10}) \left| - \frac{n_2 e_2}{r_T} \sin(\psi_i - \psi_{20}) \right| - \dots$$

$$\psi_i = \psi_{1E} \quad \psi_i = \psi_{2E}$$

$$\psi_i = \psi_{10} \quad \psi_i = \psi_{20}$$

unter Beachtung der angeführten Intervalle.

- Es besteht die Möglichkeit, die Schrittgröße der punktwweisen Übertragung der Fehlerfunktion kleiner zu machen. Wird z.B. eine sehr kleine Schrittgröße mit sehr vielen Punkten bezogen auf das Teilrad angewendet, so wird man schließlich eine Grenzschriftgröße erreichen, für die keine Positionszuordnung zwischen dem zu schleifenden Zahnrad und dem Referenzpunkt T des Teilrades mehr erforderlich wird. Damit ist jedoch der Nachteil verbunden, daß eine sehr große Anzahl von Korrekturwerten in die Steuerung zu übertragen ist.

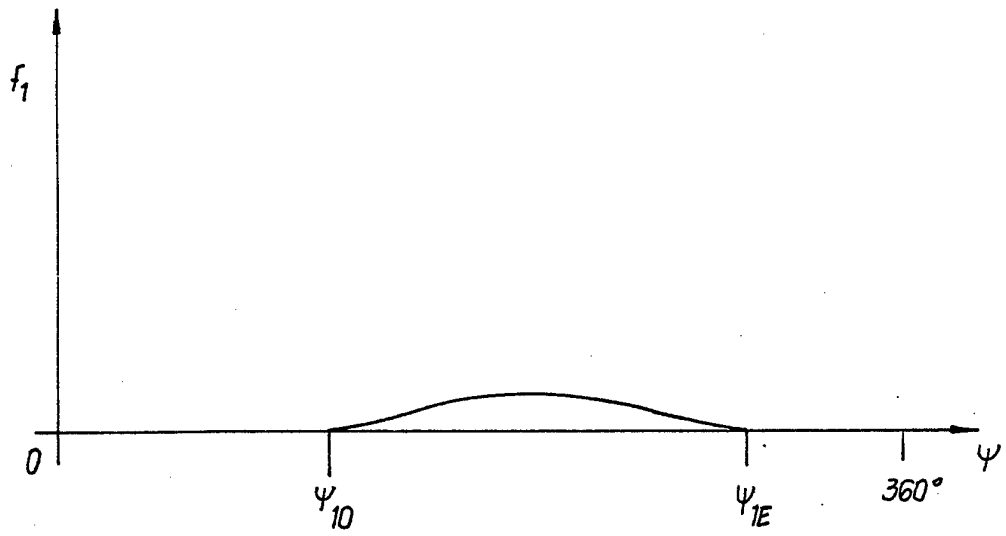


Fig. 1

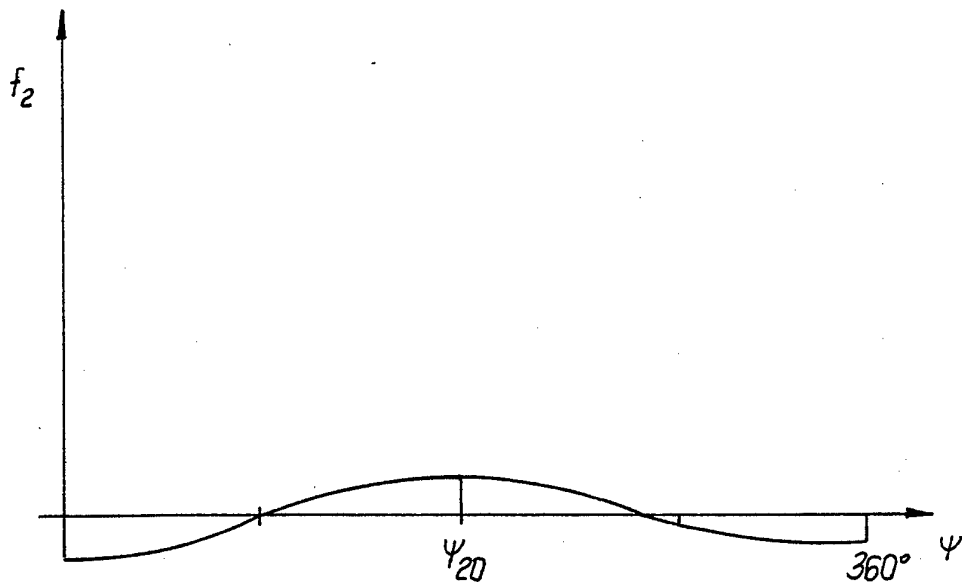


Fig. 2

251 302

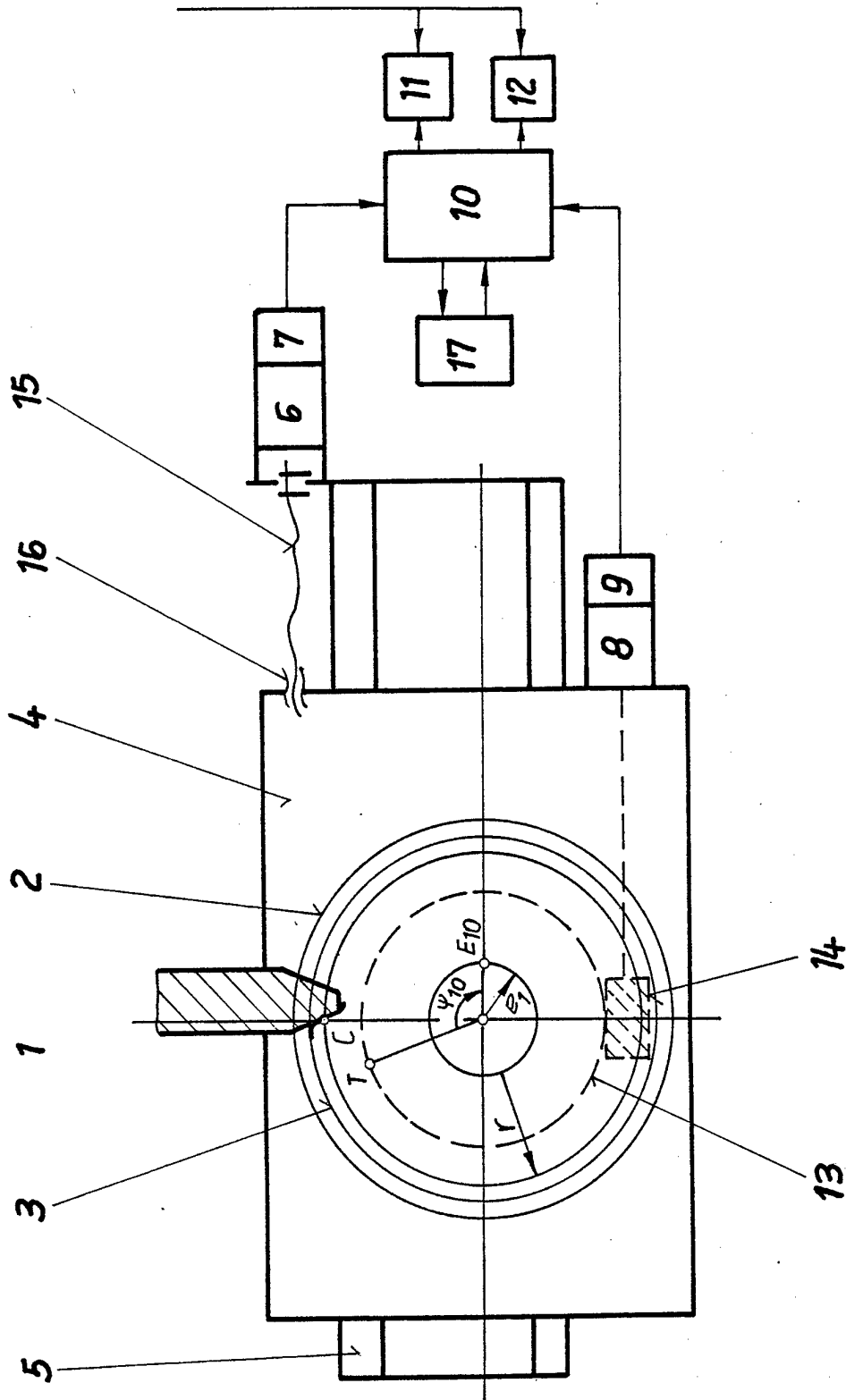


Fig. 4

23 JUL 1986 * 862 150