



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 647 707 A5

⑤① Int. Cl.4: B 23 H 1/02

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENTSCHRIFT** A5

⑫① Gesuchsnummer: 4815/80

⑫② Anmeldungsdatum: 23.06.1980

⑫③ Priorität(en): 22.06.1979 JP 54-78859

⑫④ Patent erteilt: 15.02.1985

⑫⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 15.02.1985

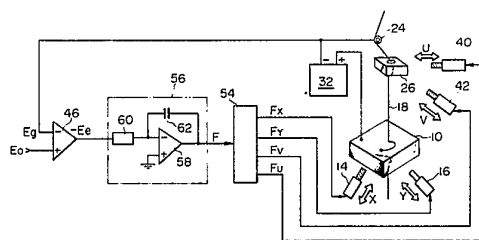
⑫⑦ Inhaber:
Mitsubishi Denki Kabushiki Kaisha,
Chiyoda-ku/Tokyo (JP)

⑫⑦② Erfinder:
Tanaka, Yutaka, Nagoya-shi/Aichi (JP)

⑫⑦④ Vertreter:
Bovard AG, Bern 25

⑫⑤④ **Vorrichtung zum Schneiden von Werkstücken durch elektrische Entladung.**

⑫⑤⑦ Eine Fehlerspannung ($-E_e$), die ein Ausgangssignal des Komparators (46) ist, wird an einen Integrator (56) angelegt. Der Komparator (46) dient zum Vergleichen einer Spaltspannung (E_g) mit einer Referenzspannung (E_o). Das integrierte Ausgangssignal dient als Tischverstell-Geschwindigkeitssignal (F). Der Integrator umfasst einen Operationsverstärker (58), einen Integrierwiderstand (60) und einen Integrierkondensator (62). Die Spaltspannung (E_g) wird so gesteuert, dass sie völlig konstant ist. Aus diesem Grunde ist es möglich, das Auftreten eines Anstieges der Schneidrollenbreite infolge der Überschussenergie von der Energieversorgung (32) zu eliminieren. Es ist eine elektrische Entladungsbearbeitung mit extrem hoher Genauigkeit möglich.



1. Vorrichtung zum elektrischen Schneiden eines Materials mit einer drahtförmigen Elektrode, wobei das Material elektrisch geschnitten wird, indem ein elektrischer Strom durch eine Schneidflüssigkeit in einem durch die drahtförmige Elektrode und das Material gebildeten Spalt geleitet wird, wobei die drahtförmige Elektrode und das Material relativ zueinander bewegt werden und die drahtförmige Elektrode so gesteuert wird, dass sie einen gewünschten Winkel mit einer Referenzschneidachse einschliesst, so dass das Material in einen Gegenstand mit einer gewünschten Konfiguration konisch geschnitten wird, gekennzeichnet durch Vergleichsmittel zum Vergleichen einer Spaltspannung über der drahtförmigen Elektrode und dem Material mit einer Referenzspannung, um eine Fehlerspannung zu erzeugen, Integrationsmittel zur Integration der Fehlerspannung sowie Steuermittel zur Steuerung der Bewegungsgeschwindigkeit der drahtförmigen Elektrode relativ zum Material entsprechend dem Ausgang der Integrationsmittel, wobei das Material elektrisch konisch zu einer gewünschten Konfiguration geschnitten wird mit mindestens einem gerundeten Eckteil und/oder gekrümmten Teil, die in der Krümmung voneinander verschieden sind, unter der Bedingung, dass die Spaltspannung unverändert gelassen wird.

2. Vorrichtung nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Integrationsmittel einen Operationsverstärker, einen Integrierwiderstand und einen Integrierkondensator umfassen.

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zum elektrischen Schneiden eines Materials gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

Es wurde eine Vorrichtung zum elektrischen Schneiden eines Werkstückes in eine gewünschte Form durch Hin- und Herbewegung einer drahtförmigen Elektrode in bezug auf das Werkstück und Anlegen eines elektrischen Stromes an die drahtförmige Elektrode und ein Werkstück, durch eine in einem Spalt zwischen der drahtförmigen Elektrode und dem Werkstück vorgesehene Arbeitsflüssigkeit, vorgeschlagen. Ferner ist eine Vorrichtung zum elektrischen konischen Schneiden eines Werkstückes durch eine elektrische Entladung bekannt, mit welchem ein Werkstück in eine gewünschte konische Konfiguration geschnitten werden kann, indem die drahtförmige Elektrode mit einem gewünschten Winkel in bezug auf einer Referenzschneidachsenrichtung, im allgemeinen die Z-Achsenrichtung, gesteuert wird. Es ist leicht möglich, die Schneidoperation zur Erzeugung einer gewünschten Schneidkonfiguration durch eine N/C-Steuervorrichtung od. dgl. zu steuern. Deshalb sind die obenwähnten Vorrichtungen zum elektrischen Schneiden eines Werkstückes durch elektrische Entladung ganz brauchbar zum Schneiden und Formen eines Werkstückes in eine gewünschte, komplizierte Konfiguration mit hoher Genauigkeit.

In Fig. 1 ist eine bekannte Vorrichtung zum elektrischen Schneiden eines Werkstückes durch elektrische Entladung schematisch dargestellt.

Die Vorrichtung gemäss Fig. 1 umfasst einen X-Y-Kreuztisch 12, auf welchem ein zu schneidendes und formendes Werkstück 10 fest angeordnet ist. Der X-Y-Kreuztisch 12 wird in den X- und Y-Achsenrichtungen durch einen X-Achsenantriebsmotor 14 einen Y-Achsenantriebsmotor 16 angetrieben, wobei eine gewünschte Hin- und Herbewegung zwischen einer drahtförmigen Elektrode 18 und dem Werkstück 10 erzielt wird. Die drahtförmige Elektrode 18 wird von einer Drahtzuführungshaspel 20 zugeführt und auf eine Drahtaufwindehaspel 30 aufgewunden, wobei sie durch eine Spannrolle 22, einen elektrischen Stromzuführungsteil 24, eine obere Drahtführung 26, das Werkstück 10 und eine untere Drahtführung 28 in der angeführten Reihenfolge durchtritt. Eine Schneidflüssigkeit wird von einer Schneidflüssigkeitszuführvorrichtung (nicht dargestellt) in

einen zwischen der drahtförmigen Elektrode 18 und dem Werkstück 10 gebildeten Schneidspalt zugeführt. Von einer elektrischen Energieversorgung 32 wird elektrische Energie zum zwischen der drahtförmigen Elektrode 18 und dem Werkstück 10 gebildeten Spalt zugeführt. Ein gewünschtes Schneiden des Werkstückes 10 mit einer elektrischen Entladung wird durch Anlegen eines elektrischen Stromes an den Schneidspalt durch die Schneidflüssigkeit erzielt. Die elektrische Energieversorgung 32 ist z. B. eine Razalenko-Entladeschaltung, welche eine Gleichspannungsquelle 34, einen den Entladungsstrom begrenzenden Widerstand 36 und einen Kondensator 38 umfasst.

Um das Werkstück 10 konisch zu schneiden, wird die drahtförmige Elektrode 18 so gesteuert, dass sie in einem gewünschten Winkel in bezug auf eine Referenzschneidachse (Z-Achse) senkrecht zu einer durch die X-Achse und die Y-Achse definierte X-Y-Ebene geneigt ist. Die obere Drahtführung 26, welche einen Teil der drahtförmigen Elektrode 18 hält, wird so gesteuert, dass sie bei einer gewünschten Position durch einen U-Achsenantriebsmotor 40 und einen V-Achsenmotor 42 positioniert wird.

Jeder der oben beschriebenen Antriebsmotoren 14, 16, 40 und 42 wird durch eine Steuervorrichtung 44 gesteuert. Diese Motoren werden verwendet, um das Werkstück 10 in bezug auf die drahtförmige Elektrode 18 zu bewegen und/oder den Neigungswinkel der drahtförmigen Elektrode 18 in bezug auf die Z-Achse einzustellen, so dass das Werkstück 10 in die gewünschte Form geschnitten und geformt wird. Die Steuervorrichtung 44 besteht aus einer Kopierfrässteuervorrichtung, einer N/C-Steuervorrichtung oder einer elektronischen Recheneinheit.

Fig. 2 zeigt ein Werkstück, welches einem konischen Schneidverfahren ausgesetzt wird, um einen Stempel herzustellen, wobei die herkömmliche Vorrichtung gemäss Fig. 1 verwendet wird. Gemäss Fig. 2 wird der Stempel geformt, indem das Werkstück 10 konisch geschnitten wird. Der Stempel wird gebildet, indem ein Pyramidenstumpf 10a aus dem Werkstück 10 herausgeschnitten und entfernt wird. Die untere Begrenzungsfläche des Stempels bildet eine Schneidkante. Die obere Fläche des Stempels ist grösser als die untere, wie das durch den Wert r angegeben wird, so dass die innere Fläche des fertigen Stempels eine konische Form aufweist. Deshalb wird bei der Erzeugung von Stempeln ein konisches Schneiden gefordert, bei welchem die drahtförmige Elektrode 18 geneigt ist.

Gemäss Fig. 2 ist die Dicke des Werkstückes 10 mit t angegeben, wobei der Konizitätswinkel, d. h. der Neigungswinkel θ der drahtförmigen Elektrode 18, der folgenden Beziehung gehorcht

$$\theta = \tan^{-1} \frac{r}{t}$$

Bei gebräuchlichen Vorrichtungen wird die drahtförmige Elektrode 18 durch U-Achsen- und V-Achsenantriebsmotor 40 und 42 gesteuert, so dass der Neigungswinkel immer den Wert θ aufweist.

Zur Bildung eines Stempels mit einer geraden Innenwand ist es nötig, jederzeit den Neigungswinkel θ der drahtförmigen Elektrode 18 in bezug auf das Werkstück genau aufrechtzuerhalten. Da die Konfiguration eines zu formenden Stempels eine Mehrzahl von zu formenden Teilen mit verschiedener Krümmung umfasst, ist es notwendig, beim Formen der Eckteile und der konischen Teile die obere Drahtführung 26 zu einer gewünschten Position in der U-V-Achsenrichtung anzutreiben, indem der U-Achsenantriebsmotor 40 und der V-Achsenantriebsmotor 42 gesteuert werden, so dass die drahtförmige Elektrode 18 immer unter einem Winkel senkrecht zur Schneidlinie geneigt gehalten wird. So ist es z. B. gemäss Fig. 2 notwendig, an jedem Eckteil des Pyramidenstumpfes entsprechend dem Fortschreiten des Schneidvorganges, den Neigungswinkel der drahtförmigen Elektrode kontinuierlich zu ändern und zu korrigieren.

Aus Fig. 3 ist in einer vergrösserten Ansicht die Änderung in der Neigung der drahtförmigen Elektrode 18 in bezug auf das Werkstück 10 ersichtlich, welche bewirkt wird, wenn der Schneidvorgang entlang der Kurve ausgeführt wird. Das Werkstück 10 wird geschnitten, indem die Bewegung der drahtförmigen Elektrode 18

entlang der Oberfläche eines Kreiskegels mit der Spitze a gesteuert wird.

Wenn der Kurvenradius der Drahtelektrode 18, welche sich vom Punkt b zum Punkt c auf der unteren Fläche des Werkstückes 10 bewegt, als R_d bezeichnet wird, so beträgt der Kurvenradius R_u der drahtförmigen Elektrode 18, welches sich vom Punkt B zum Punkt C auf der oberen Fläche des Werkstückes bewegt

$$R_u = R_d + r = R_d + t \cdot \tan \theta$$

Die Schneidstrecke pro Zeiteinheit an der oberen Fläche des Werkstückes 10 ist verschieden von derjenigen an der unteren Fläche. D.h., dass die Schneidgeschwindigkeit der oberen Fläche verschieden von derjenigen der unteren Fläche ist. Wenn gekrümmte Teile des Stempels mit einer Schneidgeschwindigkeit, welche derjenigen für die geraden Teile entspricht, geschnitten werden, wird die Schneidgeschwindigkeit an der unteren Fläche des Werkstückes 10 vermindert, wodurch eine Verminderung der Schneidgeschwindigkeit an den geraden Teilen verursacht wird. Als Folge der Abnahme der Schneidgeschwindigkeit tritt der Nachteil auf, dass die Breite der Schneidrinne angesichts der Charakteristik der elektrischen Entladebearbeitungsvorrichtung (EDM) breiter wird. Wenn angenommen wird, dass die elektrischen Bearbeitungsbedingungen der Energieversorgung 32, wie z. B. Leerlaufspannung, Spitzenladestrom, Pulsbreite, Ruheintervall od. dgl. konstant sind, wenn die Bearbeitungsgeschwindigkeit vermindert wird, wird zusätzliche Energie von der Energieversorgung 32 im Bearbeitungsspalt konzentriert. Da die Überschussenergie in der Schneidrinne entlang der Kurve der unteren Fläche des Werkstückes 10, welche einer Bearbeitung mit niedriger Geschwindigkeit ausgesetzt ist, konzentriert ist, wird die Breite der Schneidrinne bemerkenswert vergrößert, was den Nachteil hat, dass ein fertiges Produkt mit einer höchst genauen Konfiguration nicht erhalten werden kann.

Falls das Werkstück in einen Stempel gemäss den Fig. 2 und 3 geschnitten wird, so dient die untere Fläche des Stempels als Schneidkantenteil, welcher eine hohe Genauigkeit erfordert. Infolge einer kleineren Genauigkeit an der Schneidkante ist es schwierig, einen solchen Stempel mit den gebräuchlichen Vorrichtungen herzustellen. Der oben beschriebene Nachteil, dass die Schneidrinnebreite erhöht wird, verunmöglicht eine zusätzliche spätere Formung des Stempels in die gewünschte Konfiguration. Praktisch war es sehr schwierig, das konische Schneiden mit grosser Genauigkeit durchzuführen, um einen Stempel mit Teilen verschiedener Krümmung zu erhalten.

Um die oben beschriebenen Nachteile, welche die gebräuchlichen Vorrichtungen aufweisen, zu eliminieren, wurde eine Vorrichtung gemäss Fig. 4 vorher vorgeschlagen. Bei den herkömmlichen EDM-Vorrichtungen gemäss Fig. 4 wird die Zuführgeschwindigkeit einer drahtförmigen Elektrode 18 in bezug auf ein Werkstück 10 als Antwort auf die zwischen dem Werkstück 10 und der drahtförmigen Elektrode angelegte Spannung E_g gesteuert. Die Spannung E_g wird mit einer Referenzspannung E_0 durch einen Komparator 46 verglichen, um eine Fehlerspannung $-E_e$ zu erzeugen. Der Komparator 46 besteht aus einem Fehlerverstärker od. dgl. Die Fehlerspannung $-E_e$ wird über einen Widerstand 48 an einen invertierenden Eingangsanschluss eines Operationsverstärkers 50 angelegt. Ein Widerstand 52 wird zwischen die Ein- und Ausgangsanschlüsse gelegt. Die Widerstandswerte der Widerstände 48 und 52 betragen R_1 und R_2 . Der Verstärkungsfaktor des Steuersystems wird durch die Widerstandswerte R_1 und R_2 bestimmt. Die Fehlerspannung $-E_e$ wird durch das Verhältnis der Widerstandswerte der Widerstände 48 und 52, d. h. R_2/R_1 , im Operationsverstärker 50 multipliziert, wobei dann der Ausgang des Operationsverstärkers 50 an eine Antriebssteuervorrichtung 54 als Tischantriebsgeschwindigkeitssignal F angelegt wird. Die Antriebssteuervorrichtung 54 umfasst einen Geschwindigkeitsverteiler, welcher in der Steuervorrichtung 44 gemäss Fig. 1 enthalten ist. In der Antriebssteuervorrichtung 54 wird das Tischantriebsgeschwindigkeitssignal F an die Antriebsmotoren 14 und 16 als X-Achsen Geschwindigkeitssignal F_X und als Y-

Achsen Geschwindigkeitssignalsignal F_Y verteilt. In diesem Falle ist einleuchtend, dass $F^2 = F_X^2 + F_Y^2$ ist. Ähnlich wird der Neigungswinkel der drahtförmigen Elektrode 18 ebenfalls durch die Ausgänge F_U und F_V der Antriebssteuervorrichtung 45 gesteuert, wobei eine gewünschte konische elektrische Entladungsbearbeitung ausgeführt werden kann.

Gemäss der bekannten Vorrichtung gemäss Fig. 4 steigt die Spaltspannung E_g an, wenn der Schneidvorgang vom geraden Teil zum gekrümmten Teil übergeht, und die Schneidgeschwindigkeit in der unteren Fläche des Werkstückes 10 kleiner wird. Als Folge davon steigt die Fehlerspannung $-E_e$, welche an den Komparator 46 angelegt wird, an, wobei das Tischantriebsgeschwindigkeitssignal F ebenfalls entsprechend ansteigt. Infolgedessen ist es bis zu einem gewissen Ausmass möglich, die Erzeugung von Überschussenergie in eine Energieversorgung 32 zu verhindern. Entsprechend ist es möglich, eine Endkonfiguration mit einer relativ hohen Genauigkeit zu erhalten, indem das Auftreten einer Vergrößerung der Schneidrinnebreite infolge Verminderung der Schneidgeschwindigkeit verhindert wird. Bei der gebräuchlichen Vorrichtung gemäss Fig. 4 werden Änderungen der Schneidgeschwindigkeit bei der konischen Bearbeitung entlang des gekrümmten Teils als Änderungen der Spaltspannung E_g detektiert. Das Tischantriebsgeschwindigkeitssignal F wird in Antwort auf die Änderungen der Spaltspannung E_g gesteuert, wobei eine Vergrößerung der Schneidrinnebreite verhindert wird.

In der obenerwähnten, bekannten Vorrichtung kann eine konstante Spaltspannung E_g nicht erhalten werden, da die Tischantriebsgeschwindigkeit durch die Fehlerspannung $-E_e$ gesteuert wird, welche durch die Differenz zwischen der Spaltspannung E_g und der Referenzspannung E_0 definiert ist, wodurch es unmöglich ist, die Vergrößerung der Schneidrinnebreite ganz zu verhindern. In Anbetracht des Obigen kann, um die Spaltspannung E_g konstant zu halten, der Verstärkungsfaktor des Operationsverstärkers 50, d. h. das Widerstandsverhältnis R_2/R_1 , erhöht werden, um dabei die Fehlerspannung $-E_e$ zu reduzieren. In diesem Fall hat ein Erhöhen des Verstärkungsfaktors des Steuersystems den Nachteil, dass das unerwünschte Pendelphänomen auftritt. Deshalb weist das bekannte Steuerverfahren ernsthafte Nachteile auf. Mit den bekannten Vorrichtungen ist es möglich, die Spaltspannung während des konischen Schneidens entlang des gekrümmten Teiles konstant zu halten, was eine Abnahme der Genauigkeit in der Endkonfiguration infolge von Überschussenergie von der Energieversorgung 32 zur Folge hat.

In Anbetracht der oben beschriebenen, bei den bekannten Vorrichtungen auftretenden Schwierigkeiten ist es eine Aufgabe der Erfindung, eine verbesserte Vorrichtung zum Schneiden eines Werkstückes mit einer Elektrode durch eine elektrische Entladung zu schaffen, welche Vorrichtung einfach im Aufbau ist und mit welcher die Möglichkeit besteht, eine zwischen einer drahtförmigen Elektrode und einem Werkstück angelegte Spaltspannung konstant zu halten, wobei eine elektrische Entladebearbeitung mit hoher Genauigkeit erreicht werden kann.

Dies wird erfindungsgemäss erreicht durch Vergleichsmittel zum Vergleichen einer Spaltspannung über der drahtförmigen Elektrode und dem Material mit einer Referenzspannung, um eine Fehlerspannung zu erzeugen, Integrationsmittel zur Integration der Fehlerspannung sowie Steuermittel zur Steuerung der Bewegungsgeschwindigkeit der drahtförmigen Elektrode relativ zum Material entsprechend dem Ausgang der Integrationsmittel.

Im folgenden wird anhand der beiliegenden Zeichnung ein Ausführungsbeispiel der Erfindung näher beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer herkömmlichen Vorrichtung zum elektrischen Schneiden eines Werkstückes durch elektrische Entladung,

Fig. 2 ein Werkstück, welches konisch mit der herkömmlichen Vorrichtung gemäss Fig. 1 geschnitten wird, um einen Stempel zu erzeugen,

Fig. 3 eine vergrösserte Ansicht zur Beschreibung des konischen Schneidvorganges entlang des gekrümmten Teiles gemäss Fig. 2,

Fig. 4 eine schematische Darstellung des Schaltkreises mit dem Steuersystem einer herkömmlichen Vorrichtung zum elektrischen Schneiden eines Werkstückes mit einer drahtförmigen Elektrode mit Hilfe einer elektrischen Entladung, und

Fig. 5 eine schematische Darstellung einer Schaltung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung für die elektrische Entladebearbeitung.

In Fig. 5 ist eine schematische Schaltung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung zum elektrischen Entladebearbeiten (EDM) dargestellt, wobei die Komponenten, welche der bekannten Vorrichtung entsprechen, die gleichen Bezugszeichen tragen.

Aus diesem Grunde wird auf eine detaillierte Beschreibung der herkömmlichen Schaltungskomponenten verzichtet.

Eine wichtige Eigenschaft der Erfindung besteht darin, dass die Fehlerspannung $-E_e$, welche ein Ausgangssignal des Komparators 46 darstellt, der zum Vergleichen der Spaltspannung E_g mit der Referenzspannung E_o dient, an einen Integrator 56 angelegt wird, wobei das integrierte Ausgangssignal des Integrators als Tischverstellgeschwindigkeitssignal F verwendet wird. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 5 umfasst der Integrator einen Operationsverstärker 58, einen Integrierwiderstand 60 und einen Integrierkondensator 62, wobei die Fehlerspannung $-E_e$ über den Integrierwiderstand 60 an einen invertierenden Eingangsanschluss des Operationsverstärkers 58 angeschlossen ist.

Mit der Integration der Fehlerspannung, wie oben beschrieben, wird der Verstärkungsfaktor des Steuersystems im stationären Zustand unendlich, wobei die Fehlerspannung $-E_e$ als Null be-

trachtet werden kann. Selbst wenn die Schneidgeschwindigkeit in der unteren Fläche des Werkstückes herabgesetzt wird, was eine Abnahme des totalen Schneidbetrages pro Zeiteinheit zur Folge hat, nimmt das integrierte Ausgangssignal vom Integrator 56 ab, so dass die Spaltspannung E_g so gesteuert wird, dass sie völlig konstant ist. Deshalb ist es möglich, das Auftreten eines Anstieges der Schneidritzenbreite infolge der Überschussenergie von der Energieversorgung 32 zu eliminieren, wobei eine elektrische Entladungsbearbeitung (EDM) mit extrem hoher Genauigkeit möglich wird. Wenn eine Störung an den Servosteuerungsmechanismus angelegt wird, wird, da die Einschwingimpedanz des Integrationskondensators 62 im Integrator 56 extrem tief ist, der Einschwingverstärkungsfaktor des Servosteuerungsmechanismus niedrig. Deshalb ist es möglich, den Servosteuerungsmechanismus unter sehr stabilen Bedingungen zu betreiben.

Wie oben beschrieben, kann mit der Vorrichtung zum Schneiden eines Werkstückes mit einer drahtförmigen Elektrode durch eine elektrische Entladung im Falle, wo die elektrische Entladungsbearbeitung kontinuierlich entlang in ihrer Krümmung verschiedenen Teilen durchgeführt wird, die Spaltspannung unverändert gelassen und das Auftreten von Überschussenergie eliminiert werden. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 5 wird der Integrator durch einen Operationsverstärker, einen Integrator, einen integrierenden Widerstand und einen integrierenden Kondensator gebildet, wobei Abänderungen dieser Ausführungsform möglich sind, ohne dass vom wesentlichen Bereich der Erfindung abgewichen wird. Der Integrator kann durch eine die Integration durchführende Vorrichtung in der Steuervorrichtung, wie z. B. einen elektronischen Rechner, ersetzt werden.

FIG. 4

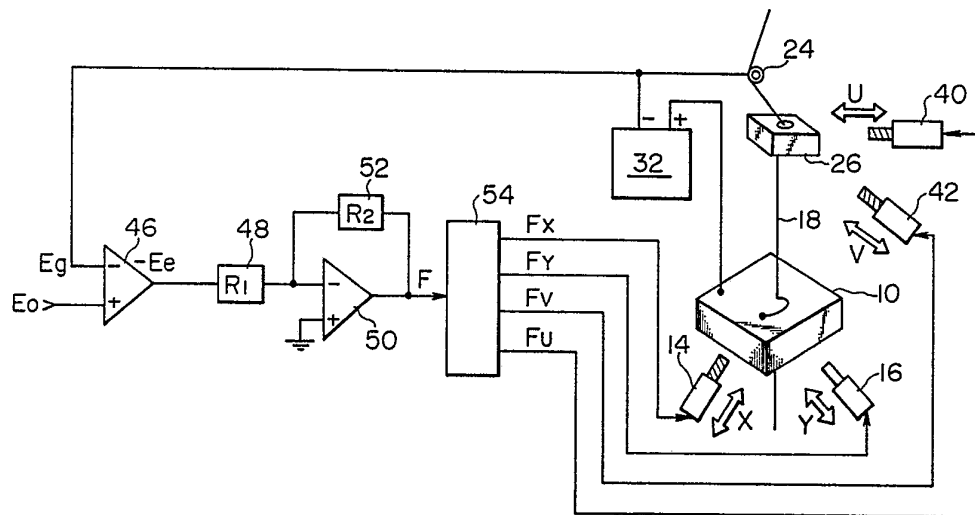


FIG. 5

