



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 657 299 A5

⑤① Int. Cl.⁴: B 23 H 1/02

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENTCHRIFT** A5

⑪ Gesuchsnummer: 4032/80

⑫ Anmeldungsdatum: 22.05.1980

⑩ Priorität(en): 24.05.1979 US 042024

⑭ Patent erteilt: 29.08.1986

⑮ Patentschrift
veröffentlicht: 29.08.1986

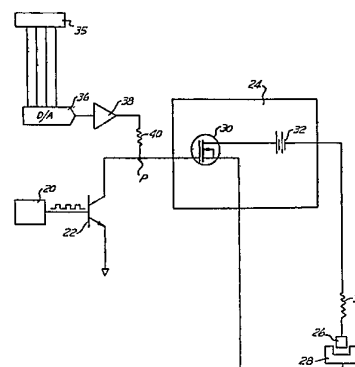
⑦③ Inhaber:
Colt Industries Operating Corp. (Elox Division),
Davidson/NC (US)

⑦② Erfinder:
Bell, Oliver A., jun., Wilmington/NC (US)
Gilleland, Randall C., Routman/NC (US)
Chance, Davey J., Concord/NC (US)

⑦④ Vertreter:
Patentanwalts-Bureau Isler AG, Zürich

⑤④ **Schaltungsanordnung zum Betrieb einer Funkenerosionsmaschine.**

⑤⑦ Die Schaltungsanordnung umfasst einen Strommodul (24) mit einem Leistungsfeldeffekttransistor (30), dessen Hauptelektroden in Reihe zur Bearbeitungsstromquelle und zum Bearbeitungsspalt (26, 28) geschaltet sind. Die Steuerung des Feldeffekttransistors (30) erfolgt an deren Torelektrode mittels eines Impulsgebers (20) und eines Treibertransistors (22). Der Spannungspegel für die Torelektrode wird durch Addition der Impulsspannung aus dem Treibertransistor (22) und einer einstellbaren Spannung aus einem Spannungsgeber erhalten. Der Spannungsgeber besteht beispielsweise aus einem digitalen Datengeber (35), einem Digital-Analogwandler (36) und einem Verstärker (38). Mit einer derartigen Anordnung lässt sich der Bearbeitungsstrom linear steuern und es sind keine aufwendigen Relaischaltungen zur An- und Abschaltung von Strombegrenzerwiderständen mehr notwendig.



PATENTANSPRÜCHE

1. Schaltungsanordnung zum Betrieb einer Funkenerosionsmaschine mit einer elektrischen Entladungsstrecke über einen Bearbeitungspalt, gebildet zwischen einem elektrisch leitenden Werkstück (28) und einer Werkzeuelektrode (26), gekennzeichnet durch einen Impulsgeber (20) zur Auslösung von Arbeitszeit- und Ruhezeitimpulsen, ferner mit einem Strommodul (24) mit einer Stromquelle (32) für den Bearbeitungsstrom und einem Leistungstransistor (30), der mit einem Paar seiner Elektroden zur Leitung des Bearbeitungsstromes in Reihe zwischen der Stromquelle (32) und den Spalt geschaltet ist und der ferner mit einer Steuerelektrode mit einem Anschluss des Impulsgebers (20) verbunden ist, und ferner dadurch gekennzeichnet, dass eine mit dem genannten Anschluss des Impulsgebers (20) verbundene, veränderbare Spannungsquelle (P) zur Steuerung des Ausgangsstromes des Strommoduls (24) vorhanden ist.

2. Anordnung nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Impulsgeber einen Multivibrator (20) zur Erzeugung von Auslöseimpulsen für die Steuerelektrode des Leistungstransistors (30) umfasst.

3. Anordnung nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Spannungsquelle zur Steuerung des Ausgangsstromes ein Potentiometer (56) zur wahlweisen Einstellung der Ausgangsspannung umfasst (Fig. 4).

4. Anordnung nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in der Reihenschaltung von Bearbeitungsstromquelle (32), Leistungstransistor (30) und Bearbeitungspalt ein Strombegrenzerwiderstand (34) zwischengeschaltet ist.

5. Anordnung nach Patentanspruch 1, gekennzeichnet durch eine Spannungsquelle mit einer Vorrichtung zur Steuerung der abgegebenen Spannung mit einem Speicher (35) zur Abgabe einer codierten Darstellung einer gespeicherten Stromstärke, ferner durch einen Digital-Analogwandler (36) zwischen dem genannten Speicher (35) und dem Anschluss des Impulsgebers (20).

6. Anordnung nach Patentanspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen den Ausgang des Digital-Analogwandlers (36) und den Anschluss des Impulsgebers (20) ein Spannungsverstärker (38) und ein Reihenwiderstand (40) geschaltet sind.

7. Anordnung nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Spannungsquelle (P) mit einem vom Bearbeitungsstrom abhängigen Spannungseingang (S) gespeist ist.

8. Anordnung nach Patentanspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass ein erstes Signal (S), das die Spannung über dem Bearbeitungspalt darstellt, und ein zweites Signal (T), das den Bearbeitungsstrom darstellt, einem Analogvervielfacher (54) zugeführt sind, um die Steuerspannung an der Spannungsquelle (P) zu bilden.

9. Anordnung nach Patentanspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass dem Analogvervielfacher (54) die genannten Signale zwecks Abgabe einer für den Bearbeitungsstrom repräsentativen Spannung zugeführt sind.

10. Anordnung nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Impulsgeber (20) einen Multivibrator umfasst, dass das Paar Hauptelektroden des Leistungsfeldeffekttransistors (30) in Reihe mit der Stromquelle (32) und dem Bearbeitungspalt liegen, und dass die Torelektrode mit dem Impulsausgang des Multivibrators verbunden ist.

11. Anordnung nach Patentanspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Spannungsquelle für eine veränderbare Spannung eine Gleichspannungsquelle (V) und ein damit verbundenes Potentiometer (56) umfasst (Fig. 4).

12. Anordnung nach Patentanspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Spannungsquelle für eine veränderbare

2

Spannung eine Vorrichtung (35) zur Speicherung digitaler Signale und einen Digital-Analogwandler (36) umfasst (Fig. 1).

13. Anordnung nach Patentanspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Spannungsquelle (D) für eine veränderbare Spannung eine Einrichtung (54) zur Abgabe einer vom Bearbeitungsstrom abhängigen und diesen repräsentierenden Steuerspannung (S) umfasst.

14. Anordnung nach Patentanspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass ein Strombegrenzerwiderstand (34) in Reihe zum Spalt und den Hauptelektroden des Leistungsfeldeffekttransistors (30) geschaltet ist.

15. Anordnung nach Patentanspruch 1, gekennzeichnet, durch Mittel (35, 36, 38, 40, 56) zur Zufuhr einer wahlweisen veränderbaren Steuerspannung zur genannten Torelektrode des Leistungsfeldeffekttransistors (30) zwecks linearer Veränderung der Stromstärke der Bearbeitungsstromimpulse.

16. Anordnung nach Patentanspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zur Zufuhr der Steuerspannung ein Potentiometer (56) aufweisen.

17. Anordnung nach Patentanspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zur Zufuhr der Steuerspannung eine Vorrichtung (35) zur Speicherung digitaler Signale und einen Digital-Analogwandler (36) umfassen, welcher Digital-Analogwandler (36) mit der Torelektrode über einen zwischengeschalteten Verstärker (38) verbunden ist.

18. Anordnung nach Patentanspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass ein Analog-Spannungsvervielfacher (54) zur Bildung der Signale, die für die Spaltspannung und den Bearbeitungsstrom repräsentativ sind, zwecks Erzeugung der wahlweisen veränderbaren Steuerspannung vorhanden ist.

19. Anordnung nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Impulsgeber (20) einen Multivibrator umfasst, und dass Mittel (38, 40, 50, 52, 54) zur Zufuhr einer veränderbaren Steuerspannung mit der Torelektrode verbunden sind, um die Stromstärke der Bearbeitungsstromimpulse als Ausgangsimpulse des Leistungsfeldeffekttransistors (30) zu steuern.

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung zum Betrieb einer Funkenerosionsmaschine gemäss dem Gattungsbegriff des unabhängigen Patentanspruchs 1.

Die Technik der Funkenerosionsmaschinen hat sich vom anfänglichen Stand, bei dem Kipposzillatoren zur Erzeugung der Bearbeitungsimpulse verwendet wurden, weiterentwickelt. Unabhängige zeitlich und amplitudenmässig gesteuerte Impulsgeneratoren sind nun bald allgemein in Verwendung, und bei derartigen Impulsgeneratoren werden elektronische Schalter in Form von Festkörperschaltern oder Reihen von parallel geschalteten Schaltern insbesondere Transistoren verwendet. Diese Schalter dienen zur Zuleitung der Bearbeitungsimpulse zum Bearbeitungspalt.

Beim Bearbeitungsverfahren mit solchen Funkenerosionsmaschinen, die im nachhinein mit FEM bezeichnet werden, ist es notwendig, dass mit der Entfernung des Werkstückmaterials ein vorbestimmter Spalt zwischen der Werkzeuelektrode und dem Werkstück mittels eines Nachlaufsystems beibehalten wird, welches Nachlaufsystem einen kontinuierlichen Vorschub in das Werkstück hinein und in Richtung zu demselben hin gewährleistet und zwar in dem Masse, wie Material entfernt wird. Während des Funkenerosionsprozesses wird ein flüssiges Kühlmittel durch den Bearbeitungspalt geführt, um die entfernten Werkstückpartikeln vom Spalt wegzuspülen. Das Kühlmittel wird gewöhnlich unter Druck mittels einer Pumpe durch eine oder mehrere Öffnungen in der Elektrode und/oder im Werkstück abgegeben.

Eine bestimmende Eigenschaft von Funkenerosionsmaschinen liegt darin, dass die Kühlflüssigkeit eine dielektrische Flüssigkeit wie Kerosin, Transformeröl, destilliertes Wasser oder dgl. ist. Die dielektrische Flüssigkeit wird sehr rasch zersetzt und bildet begrenzte Gebiete durch die Wirkung der Bearbeitungsimpulse, die zwischen den nahe beieinanderliegenden Oberflächen der Werkzeugelektrode einerseits und des Werkstücks andererseits geleitet werden. Zur Steuerung des Nachlaufsteuersystems wird im allgemeinen ein elektrisches Signal aus dem Bearbeitungsspalt erzeugt, um die Grösse und Richtung des Nachlaufs zu steuern. In vielen Fällen wird dieses Bearbeitungsspaltsignal mit einer einstellbaren Referenzspannung verglichen, so dass der Maschinenoperator die Nachlaufgeschwindigkeit auswählen kann.

In Präzisions-FEM ist es notwendig, den Bearbeitungsstrom, der dem Bearbeitungsspalt zugeführt wird, genauestens zu steuern. Diese Steuerung wurde bisher im allgemeinen durch Anschalten von einem oder mehreren Strombegrenzungswiderständen im Leitungszug des Bearbeitungsstroms durchgeführt. Dies führt notwendigerweise zu einer nichtlinearen Stromsteuerung. Zusätzliche Probleme ergaben sich durch die Relais, mit denen die Widerstände in den Stromkreis geschaltet wurden.

Es ist Aufgabe der Erfindung, diese Nachteile zu beheben und eine einfache Schaltungsanordnung zu schaffen, mit der eine lineare Stromsteuerung ermöglicht wird.

Erfindungsgemäss wird dies durch die Merkmale im kennzeichnenden Teil des unabhängigen Patentanspruchs 1 erreicht.

In der Beschreibung wird unter dem Ausdruck «elektronischer Schalter» jede elektrische Steueranordnung verstanden, die verschiedene Elektroden aufweist, von denen wenigstens zwei als Haupt- oder Leistungsstromelektroden bezeichnet werden können und die den Stromfluss steuern, und bei denen die Leitfähigkeit zwischen den Hauptelektroden im allgemeinen durch eine Steuerelektrode gesteuert wird, wodurch die Leitfähigkeit der stromführenden Leitung statisch oder elektrisch ohne Bewegung von mechanischen Elementen innerhalb des Schalters gesteuert wird. In dieser Definition sind Transistoren eingeschlossen, bei denen die Leitendschaltung mittels einer Steuerspannung an die Steuerelektrode vorgenommen wird und die Sperrendschaltung automatisch erfolgt, wenn die Steuerspannung entfernt wird. Diese Definition umfasst aber auch Torschaltungen, bei denen die Leitendschaltung mittels einer Steuerspannung an einer Steuerelektrode erreicht wird, welche Steuerspannung dann abgeschaltet wird und bei denen dann die Sperrendschaltung durch Anlegen einer folgenden Steuerspannung an die Steuerelektrode bewirkt wird. Eine zusätzliche Klasse von elektronischen Schaltern werden «elektronische Auslöseschaltungen» genannt und umfassen Thyratrone, gesteuerte Halbleiter, Gleichrichter und dgl. Unter dem Ausdruck elektronische Auslöseschaltung wird jeder elektronische Schalter verstanden, der an seiner Steuerelektrode durch einen Impuls ausgelöst wird und der durch eine umgekehrte Spannung während einer genügend langen Zeit über ihren Hauptelektroden ausgeschaltet wird.

Eine ganz besondere Art eines elektronischen Schalters ist in der Technik als Leistungsfeldeffekttransistor bekannt geworden. Ein solcher Transistor insbesondere ein VMOS-Leistungsfeldeffekttransistor wird in der nachfolgenden Beschreibung abgekürzt als Leistungs-FET bezeichnet. Leistungs-FET, die sich in Strommodulen für FEM-Anlagen eignen, werden durch Siliconix Incorporated, 401 Broad Hollow Road, Melville, New York 11 746, hergestellt und betrieben.

Die vorliegende Erfindung schafft einen verbesserten Ausgabemodul zur Erzeugung und Abgabe eines Bearbeitungs-

stroms zu einem FEM-Spalt. Der Ausgangsstrom wird in linearer Weise gemäss einer von aussen zugeführten Steuerspannung gesteuert. Die Steuerspannung wird z.B. der Torelektrode eines Leistungs-FET zugeführt, welcher FET sich z.B. als elektronisches Schaltelement in diesem Strommodul befindet. Die Steuerspannung kann von einem peripheren Eingabemittel wie ein Tastenfeld oder ein Mikroprozessor gegeben werden, der eine binäre Darstellung der gewünschten Stromstärke aufweist. Die Spannung wird dann durch einen Digital-Analogwandler geleitet und dann dazu verwendet, um die Amplitude der Spannungsimpulse, die dem Leistungs-FET zugeleitet werden, zu steuern.

Es ist auch möglich, eine Steuerspannung mittels eines Potentiometers zu erzeugen, das dann von Hand durch den Operator eingestellt werden kann.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein kombiniertes Block- und Linienschema zur Darstellung der Grundausrüstung einer FEM-Stromversorgung,

Fig. 2 eine Strom/Spannungskurve zur Erläuterung des Betriebs der erfinderischen Anordnung,

Fig. 3 ein kombiniertes Block- und Linienschema einer andern Ausführungsform der Erfindung, und

Fig. 4 ein kombiniertes Block- und Linienschema einer dritten Ausführungsform der Erfindung.

Fig. 1 zeigt die Grundelemente der Stromversorgung einer Funkenerosionsmaschine. Diese umfasst einen Multivibrator 20 und einen Treibertransistor 22. Auslöseimpulse gelangen vom Multivibrator 20 an die Basis des Treibertransistors 22. Ein Strommodul 24 dient zur Erzeugung der Bearbeitungsimpulse für einen FEM-Bearbeitungsspalt mit einer Elektrode 26 und einem Werkstück 28. Der Strommodul 24 ist ein elektronisches Schaltelement, das einen Leistungs-FET 30 umfasst. Der Leistungs-FET 30 ist mit der Torelektrode an den Ausgang des Treibertransistors 22 angeschlossen. Er wird damit leitend und sperrend geschaltet, um einzelne Bearbeitungsimpulse an den Spalt zu liefern. Die Hauptgleichstromversorgung 32 ist in Reihe mit dem Bearbeitungsspalt und dem Quellen- und Senkanschluss des Leistungs-FET 30 geschaltet. Ein weiterer strombegrenzender Widerstand 34 liegt ebenfalls in Reihe mit dem Spalt, um eine genügende Sicherheitsgrenze für den Bearbeitungsstrom zu bewirken.

Fig. 1 zeigt zudem eine veränderbare Steuerspannungsanordnung, die eine wahlweise veränderbare Gleichspannung beim Punkt P abgibt. Gemäss Fig. 1 wird ein Spannungseingang von einem Anschaltmittel abgegeben und liefert eine binäre Darstellung des gewünschten Ausgangsstromes. Das kann beispielsweise ein Rechneingang, Mikroprozessoreingang, Tastenfeldeingang oder dgl. sein. Die vier Bits sind dann als Eingangssignale an einem Digital-Analogwandler 36 eingespielt. Der Ausgang aus dem Digital-Analogkonverter 36 wird dann durch einen Spannungsgleichrichter 38 und durch einen Seriewiderstand 40 geleitet und ergibt eine Steuerspannung am Punkt P. Damit stellt der Spannungspegel am Punkt P die Steuerspannung dar, die der Torelektrode des Leistungs-FET 30 zugeleitet wird, und dient demgemäss zur Steuerung des Stromausgangs aus dem Strommodul für den Arbeitsspalt.

Im Betrieb bewirken die Ausgangsimpulse aus dem Multivibrator 20 eine Leitend- und Sperrendschaltung des Transistors 22.

Das Strommodul 24 wird durch den Leistungs-FET 30 betrieben. Nach jedem Ausschalten des Leistungs-FET 30 kehrt die Torelektrode des Leistungs-FET 30 auf den Spannungspegel zurück, der am Punkt P herrscht. Wie Fig. 2 zeigt, bedeutet eine höhere Steuerspannung am Punkt P einen niedrigeren Widerstand und entsprechend einen höheren Aus-

gangsstrom aus dem Strommodul 24. Diese Beziehung ist relativ linear, wie es aus der Darstellung Fig. 2 zu entnehmen ist. Fig. 3 zeigt eine andere Ausführungsform der Erfindung, bei der die Steuerspannung am Punkt D von verschiedenen FEM-Parametern abgeleitet ist. Die Anordnung gemäss Fig. 3 zeigt Eingangsanschlüsse S und T für Arbeitspaltspannung und Arbeitspaltstrom. Das Signal am Anschluss T kann mittels eines Nebenschlusswiderstandes 52 für ein Ampèremeter im FEM-Stromkreis abgeleitet werden. Aus Fig. 3 ist ersichtlich, dass die Ausgangsspannung aus dem nachfolgenden Verstärker 50 die Amplitude des Stroms im Nebenschlusswiderstand 52 darstellt. Die Spannung und der Strom der Entladungsstrecke werden als Eingangssignale zu einem Analogvervielfacher 54 geleitet, so dass der Spannungseingang ein Mass für die Leistung in der Entladungsstrecke ist. Diese Spannung wird dann durch einen Spannungsverstärker 38 und weiter durch einen Seriewiderstand 40 zum Punkt D geleitet, der dann für die Steuerspannung für die Torelektrode des Leistungs-FET im nachfolgenden Strommodul 24 Bedeutung hat. Somit, je höher die Spannung am Punkt D und an der Torelektrode des FET ist, umso kleiner ist der Widerstand des Strommoduls und umso mehr Strom wird geleitet. Der Reihenwiderstand 34 befindet sich in der Leitung zum Spalt, um den Strom durch den Strommodul auf einem sicheren Pegel zu halten.

Auch hier wird der Treibertransistor 22 leitend und sperrend geschaltet, um den Strommodul ein- und auszuschalten.

4

Wenn der Strommodul eingeschaltet ist, kehrt die Torelektrode auf den eingestellten Wert am Punkt D zurück.

Fig. 4 zeigt eine gerade Ausgangssteuerung, bei der ein Potentiometer 56 vorgesehen ist, um die wahlweise einstellbare Spannung abzugeben, um den Stromausgang aus dem Strommodul 24 zu steuern. Wiederum wird die Stromsteuerung durch eine Steuerung der Spannung an der Torelektrode des Leistungs-FET 30 im Strommodul 24 bewirkt wie in Fig. 1 deutlich gezeigt ist.

Die Steuerspannung ist somit entnehmbar aus verschiedenen Steuerspannungsquellen inklusive das Potentiometer 56 gemäss Fig. 4, dem stromsteuernden Kreis gemäss Fig. 2 oder durch ein digitales Eingangsmittel gemäss dem Ein-/Aus-Datengeber 35. Es ist möglich, eine binäre Darstellung des Ausgangsstroms vor einzustellen oder zu ändern, indem er aus einem Mikroprozessor eingeschrieben wird oder indem ein Dateneingangsmittel aus einem Tastenfeld oder dgl. vorgesehen wird. Mit einem vier-Bit-Signal oder dem Ein-/Aus-Datengeber 35 wären 16 Stromwerte möglich, aber dies könnte bekanntlich ohne weiteres erweitert werden, wenn zusätzliche Bits verwendet würden. Somit ist deutlich dargestellt, dass durch die Erfindung eine wesentlich verbesserte Steuerung für eine Funkenerosionsmaschine geschaffen wurde, insbesondere in bezug auf den Strommodul und den darin eingebauten Leistungs-FET. Die wahlweise veränderliche Spannung, die der Torelektrode des Leistungsfeldeffekttransistors zugeführt wird, macht es möglich, dass der Stromausgang aus dem Strommodul in einer Geradeausweise und linear steuerbar ist.

FIG. 3

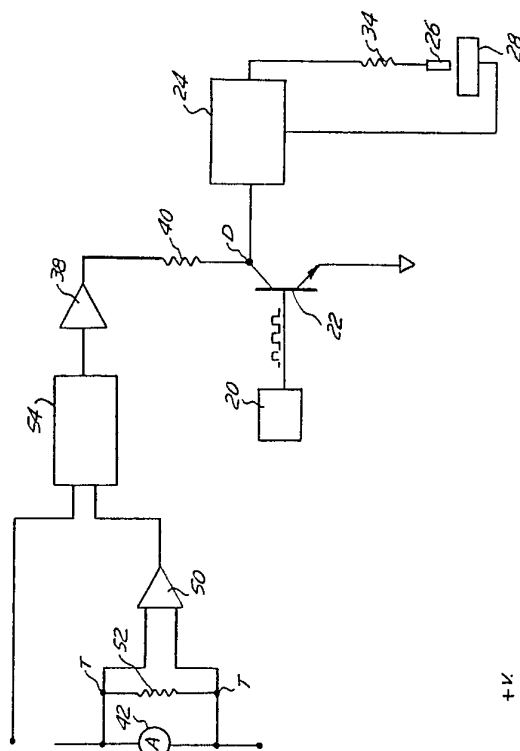


FIG. 4

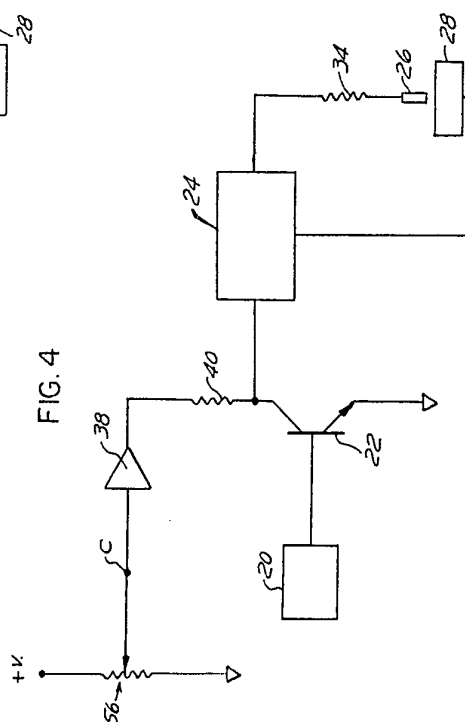


FIG. 1

