

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4339601号
(P4339601)

(45) 発行日 平成21年10月7日(2009.10.7)

(24) 登録日 平成21年7月10日(2009.7.10)

(51) Int.Cl. F 1
B 2 3 H 1/02 (2006.01) B 2 3 H 1/02 D

請求項の数 10 (全 11 頁)

| | |
|--|--|
| <p>(21) 出願番号 特願2003-9649 (P2003-9649) (22) 出願日 平成15年1月17日 (2003.1.17) (65) 公開番号 特開2004-216534 (P2004-216534A) (43) 公開日 平成16年8月5日 (2004.8.5) 審査請求日 平成17年10月31日 (2005.10.31)</p> | <p>(73) 特許権者 000137694 株式会社ミットヨ 神奈川県川崎市高津区坂戸一丁目20番1号 (74) 代理人 100080458 弁理士 高矢 諭 (74) 代理人 100076129 弁理士 松山 圭佑 (74) 代理人 100089015 弁理士 牧野 剛博 (72) 発明者 原 外満 茨城県つくば市上横場430番地の1 株式会社ミットヨ内 審査官 奥 直也</p> |
|--|--|

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 放電状態検出方法及び放電加工機

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

パルス電源より発生するパルス電圧を、該電源に2本のリード線を介してそれぞれ接続されたワークと電極との間に形成されるギャップに印加して放電させ、該ギャップ位置の前記ワークを放電加工する際、

前記2本のリード線及びワークと電極とで形成されるループに沿って、それぞれ開放端を有し、且つ電磁的に結合された二つの環状の導体からなる、2回路のループアンテナを配設すると共に、各ループアンテナの前記開放端にそれぞれ負荷抵抗を接続し、

前記二つのループアンテナにそれぞれ接続された負荷抵抗の少なくとも一方を、放電だけに感応し、短絡には感応しない値に調節し、

一方のループアンテナの負荷抵抗両端に発生する高周波電圧を検波し、検波された高周波電圧の発生頻度を計数して、該発生頻度に基づいて放電状態を検出することを特徴とする放電状態検出方法。

【請求項2】

請求項1において、

前記ループアンテナに接続された負荷抵抗両端に発生する高周波電圧を、ベース接地されたトランジスタにより検波することを特徴とする放電状態検出方法。

【請求項3】

請求項1において、

前記ループアンテナに接続された負荷抵抗両端に発生する高周波電圧を、バイポーラロ

ジック IC によって検波し、且つ該 IC によりロジックレベルに変換することを特徴とする放電状態検出方法。

【請求項 4】

請求項 1 において、

前記ループアンテナに接続された負荷抵抗両端から検波された信号を、別途定める周波数で連続的にリフレッシュされるカウンタに入力し、該カウンタによるリフレッシュ直前の計数値を前記高周波電圧の発生頻度とすることを特徴とする放電状態検出方法。

【請求項 5】

請求項 4 において、

前記カウンタのリフレッシュ直前の計数値を DA 変換器によってアナログ値に変換し、変換後のアナログ電圧に基づいて放電発生頻度を判定することを特徴とする放電状態検出方法。

10

【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の放電状態検出方法を適用して、計数された高周波電圧の発生頻度に基づいて、前記ワークと電極との間の放電ギャップを調整する駆動手段に帰還を施す制御手段を備えたことを特徴とする放電加工機。

【請求項 7】

請求項 6 において、

放電ギャップを調整する前記駆動手段が、前記ワークを装着可能な、位置検出機能を有するワーク装着手段から出力される位置信号に、請求項 5 における前記アナログ電圧を重畳させて得られる制御信号に基づいて、前記制御手段により駆動制御されることを特徴とする放電加工機。

20

【請求項 8】

請求項 7 において、

前記駆動手段が、前記ワーク装着手段を 1 軸方向に移動させるモータであることを特徴とする放電加工機。

【請求項 9】

請求項 6 において、

放電ギャップを調整する前記駆動手段が、前記ワークを装着可能な、位置検出機能を持たないアクチュエータであり、該アクチュエータが、請求項 5 における前記アナログ電圧に基づいて、前記制御手段により駆動制御されることを特徴とする放電加工機。

30

【請求項 10】

請求項 9 において、

前記アクチュエータが、移動台又は固定台に取付けられた圧電素子であることを特徴とする放電加工機。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明が属する技術分野】

本発明は、放電状態検出方法及び放電加工機、特にマイクロ波放電加工をする際に適用して好適な、放電状態検出方法及び放電加工機に関する。

40

【0002】

【従来の技術】

一般に、放電加工機によりワークを加工する際には、加工時における放電を安定させたいという要望が強い。そのためには、放電加工時の 3 状態、つまり 1 無放電、2 加工に寄与する放電、3 短絡の各状態を、それぞれ確実に捉えることが重要であり、中でも特に 2 の放電状態において加工速度に関連する情報を検知することが重要である。

【0003】

加工速度に影響する因子には、ピーク電流、パルス時間幅、平均電流があり、これらをパラメータにした加工速度の計算式が公表されている（例えば、非特許文献 1 参照）。

50

【 0 0 0 4 】

従来より、最も普通に行なわれている加工速度に関連する情報を検知する方法には、平均電流をモニタする方法がある。この方法は、非特許文献 1 に記載されている式に従えば、加工速度も把握できるし、短絡状態も確実に検知することができる。

【 0 0 0 5 】

【非特許文献 1】

「放電加工技術 - 基礎から将来展望まで」第 3 1 頁、斎藤長男他 3 名共著、1997 年 9 月 30 日、日刊工業新聞社発行

【 0 0 0 6 】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、前記平均電流をモニタする方法の場合には、電流検出回路の時定数が問題となる。即ち、放電は 1 秒当り数万回から数十万回という非常に速いパルスの繰り返しで発生させるのに対し、モニタされる電流の平均化時定数は、0.01 秒～1 秒程度となる。つまり、この方法は、短絡頻度が低く放電が一定強度で数秒間継続する場合、例えば荒加工のような加工速度の大きい場合には有効であるが、放電状態が時々刻々と頻繁に変化するような対象の場合には、変化に直ぐに追従できないという問題がある。

【 0 0 0 7 】

なお、他にも、パルス印加から放電開始までの時間、即ち放電パルス 1 回毎に放電に至るまでの時間を測定する方法がある。しかし、この方法は、放電ギャップ長と放電ギャップ中の加工屑の濃度に左右されるため、加工速度とは何の関係も見出せず、単に放電であったか短絡であったかの区別しかできない。

【 0 0 0 8 】

本発明は、前記従来の問題点を解決するべくなされたもので、放電と短絡とが頻繁に入り混じり、放電状態が頻繁に変化する場合でも、加工に寄与する放電を正確に検出し、放電の強弱を監視することができる放電状態検出方法を提供することを第 1 の課題とする。

【 0 0 0 9 】

本発明は、又、上記放電状態検出方法を適用することにより、安定した放電加工を実現できる放電加工機を提供することを第 2 の課題とする。

【 0 0 1 0 】

【課題を解決するための手段】

請求項 1 の発明は、放電状態検出方法において、パルス電源より発生するパルス電圧を、該電源に 2 本のリード線を介してそれぞれ接続されたワークと電極との間に形成されるギャップに印加して放電させ、該ギャップ位置の前記ワークを放電加工する際、前記 2 本のリード線及びワークと電極とで形成されるループに沿って、それぞれ開放端を有し、且つ電磁的に結合された二つの環状の導体からなる、2 回路のループアンテナを配設すると共に、各ループアンテナの前記開放端にそれぞれ負荷抵抗を接続し、前記二つのループアンテナにそれぞれ接続された負荷抵抗の少なくとも一方を、放電だけに感応し、短絡には感応しない値に調節し、一方のループアンテナの負荷抵抗両端に発生する高周波電圧を検波し、検波された高周波電圧の発生頻度を計数して、該発生頻度に基づいて放電状態を検出することにより、前記第 1 の課題を解決したものである。

【 0 0 1 1 】

即ち、本発明においては、放電加工時における放電時に発生する高周波の発生頻度を検出できるようにしたので、加工に寄与した放電だけをカウントし、所定の単位時間内におけるカウント数であるカウント密度をもって放電の強度とし、放電の強弱を監視することが可能となる。このような放電強度のモニタ値は、加工速度と極めて相関が強いため、加工状態を正確に把握することが可能となる。

【 0 0 1 3 】

請求項 2 の発明は、請求項 1 の放電状態検出方法において、前記ループアンテナに接続された負荷抵抗両端に発生する高周波電圧を、ベース接地されたトランジスタにより検波するようにしたものである。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 4 】

請求項3の発明は、請求項1の放電状態検出方法において、前記ループアンテナに接続された負荷抵抗両端に発生する高周波電圧を、バイポーラロジックICによって検波し、且つ該ICによりロジックレベルに変換するようにしたものである。

【 0 0 1 5 】

請求項4の発明は、請求項1の放電状態検出方法において、前記ループアンテナに接続された負荷抵抗両端から検波された信号を、別途定める周波数で連続的にリフレッシュされるカウンタに入力し、該カウンタによるリフレッシュ直前の計数値を前記高周波電圧の発生頻度とするようにしたものである。

【 0 0 1 6 】

請求項5の発明は、請求項4の放電状態検出方法において、前記カウンタのリフレッシュ直前の計数値をDA変換器によってアナログ値に変換し、変換後のアナログ電圧に基づいて放電発生頻度を判定することを特徴とするようにしたものである。

【 0 0 1 7 】

請求項6の発明は、放電加工機において、請求項1乃至5のいずれかに記載の放電状態検出方法を適用して、計数された高周波電圧の発生頻度に基づいて、前記ワークと電極との間の放電ギャップを調整する駆動手段に帰還を施す制御手段を備えたことにより、前記第2の課題を解決したものである。

【 0 0 1 8 】

請求項7の発明は、請求項6の放電加工機において、放電ギャップを調整する前記駆動手段が、前記ワークを装着可能な、位置検出機能を有するワーク装着手段から出力される位置信号に、請求項5における前記アナログ電圧を重畳させて得られる制御信号に基づいて、前記制御手段により駆動制御されるようにしたものである。

【 0 0 1 9 】

請求項8の発明は、請求項7の放電加工機において、前記駆動手段が、前記ワーク装着手段を1軸方向に移動させるモータであるようにしたものである。

【 0 0 2 0 】

請求項9の発明は、請求項6の放電加工機において、放電ギャップを調整する前記駆動手段が、前記ワークを装着可能な、位置検出機能を持たないアクチュエータであり、該アクチュエータが、請求項5における前記アナログ電圧に基づいて、前記制御手段により駆動制御されるようにしたものである。

【 0 0 2 1 】

請求項10の発明は、請求項9の放電加工機において、前記アクチュエータが、移動テーブル又は固定台に取付けられた圧電素子であるようにしたものである。

【 0 0 2 2 】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

【 0 0 2 3 】

図1には、本発明に係る第1実施形態の放電加工機の全体構成の概要を示す。本実施形態の放電加工機には、パルス電圧を時間幅を制御して発生することができる直流パルス化電源（パルス電源）10と、該パルス電源10のプラス極と加工対象であるワークWとを電氣的に接続する+リード線12Aと、該パルス電源10のマイナス極と加工用電極14とを接続する-リード線12Bとを備え、パルス電源10からパルス電圧を、ワークWと電極14との間に形成されるギャップに印加して放電を生じさせ、該ギャップに位置するワークWを部分的に溶解させることにより、該ワークWに対する放電加工を行なうことができるようになっている。

【 0 0 2 4 】

又、この放電加工機では、上記+リード線12A及びワークWと、-リード線12B及び電極14とで形成されるループに沿って、円環状の導体を電磁的に密に結合させた二重（2回路）のループアンテナ16が配設されている。この二重ループアンテナ16は、図2

10

20

30

40

50

(A)に拡大して模式的に示すように、それぞれ開放端を有する2本の円環状の導体からなるループアンテナ16Aと16Bとで構成され、各ループアンテナ16A、16Bの開放端にはそれぞれ固定抵抗R1と可変抵抗R2からなる負荷抵抗が接続されている。そして、一方の固定側の負荷抵抗R1の両端には、加工時に発生する高周波電圧を検波する検波手段18が接続されていると共に、該検波手段18により検波された高周波電圧を計数するカウンタ20と、該カウンタ20から出力される計数信号を、アナログの放電強度信号に変換するDA変換器22とが設置され、該変換器22から出力される信号が、前記ワークWを装着するワーク装着手段24が有する移動テーブル24Aの駆動制御部に出力され、該ワークWと電極14とのギャップが適切に制御されるようになっている。

【0025】

この放電加工機について更に詳述すると、前記二重ループアンテナ16は、+リード線12A・ワークW・電極14・-リード線12Bからなる前記ループに沿って括り付ける(配設する)ことにより、ワークWと電極14の間で放電が起きたときの高周波成分のみを検出することが可能となっている。このように、2つのループアンテナ16A、16Bを用いることにより、後の信号処理の自由度を増やすことができる。又、この2つのループアンテナ16A、16Bは、信号の同一性を確保するために電磁的に密に結合させる必要があるため、バイファイラ巻にすることが有効である。

【0026】

又、この二重ループアンテナ16では、一方(固定側)のループアンテナ16Aに接続されている負荷抵抗R1の両端から信号を検波して放電発生時の検出信号とするが、その際可変側の負荷抵抗R2を調整することにより、加工に寄与する放電だけに感応し、短絡には感応しないようにすることができる。なお、負荷抵抗の調整は、検波側で調整しても、両方で調整しても良いことは言うまでもない。

【0027】

又、この検波信号が入力される前記カウンタ20は、一定時間間隔で後述するリフレッシュ信号が入力され、リフレッシュされるようになっているため、この時間間隔で発生する放電回数を計数することになり、この計数値が前記DA変換器22を通してアナログ電圧に換算されるようになっている。

【0028】

このDA変換器22の出力は、放電発生頻度を表わし、この発生頻度が少ない場合には放電ギャップが狭くなる方向に、逆に発生頻度が多すぎる場合には放電ギャップが広くなる方向に、前記移動テーブル24Aを動かす帰還(フィードバック)をかける制御が実行される。この制御については後述する。

【0029】

前記図2(B)には、前記パルス電源10により、周期Tでパルス幅 t_p のパルス電圧を印加した場合に、ループアンテナ16に誘起され、検波されたオシログラフの波形を示す。この図に示されるように、加工に寄与する放電とそれ以外の状態とが明確に区別できることが分る。即ち、上述したように放電状態が明確に区別できるように可変抵抗R2の値を決めている。この例では、同図(A)に併記したように、各ループアンテナ16A、16Bの負荷抵抗R1、R2として、いずれも47 Ω とすることにより、ちょうど良い峻別性が得られた。これらの抵抗値は、大きくすると短絡時の波形が大きくなって具合が悪く、逆に小さくすると加工に寄与する放電の波形も小さくなるため、適切な値に調整することが重要である。

【0030】

図3に、検波手段18を構成する具体的な回路の例を示す。パルス幅は1nsecと狭いために、一般的な高速ダイオードでは上手く検波できない。そこで、トランジスタによるベース接地回路を利用している。このようなベース接地動作のトランジスタとしては、一般に市販されている6GHz程度のものを利用できる。又、ここでは閾値 V_{th} を設けて、入力波形をスライスするようになっている。なお、検波出力は、高速コンパレータを介してロジックICへ接続するべきであるが、バイアス条件をマッチさせれば、このままでもロジッ

10

20

30

40

50

クICへ接続可能である。

【0031】

図4(A)には、検波手段18の他の例として、一般に市販されているJKフリップフロップからなるバイポーラロジックIC18Aを使って検波し、且つ同一のICによりそのままロジックレベルに変換する場合を示す。

【0032】

このロジックIC18Aの内部には、入力側に前記ベース接地回路と非常によく似た回路を備えているため、図3に示す回路は不要である。又、このようにフリップフロップを使うことによりチャタリングを防止できる利点もある。

【0033】

又、図4(B)には、このバイポーラロジックIC18Aにより検波され、デジタル化された放電時の信号の例を示すように、放電発生が正確に検出されることが分かる。

【0034】

図5(A)には、前記バイポーラロジックIC18Aにより検波された高周波信号をカウンタ密度(リフレッシュ時間毎の放電発生頻度)に変換する機能部分を具体的に示す。このロジックIC18Aに形成されているフリップフロップの出力周波数は、放電が全て加工に寄与する放電であったとしても、最大で前記パルス電源10が発生するパルスレートの半分になる。そこで、カウンタ20には、タイムインターバル発生器26からこの最高周波数の概ね1/100の周波数でリフレッシュ信号を出力し、該カウンタ20を定期的にリフレッシュさせ続ける。なお、ここで設定するリフレッシュ周波数は、低すぎると応答が遅くなる。逆に、高すぎて最高周波数に近くなると放電発生密度の検出分解能が粗くなる。

【0035】

具体例としては、カウンタ20が7bit、パルス電源10が発生するパルスレートが600キロパルス/秒、リフレッシュ周波数が2.5kHzを挙げることができる。この場合には、更新(リフレッシュ)間隔が0.4msec、放電密度の最大検出値と最小検出値の比が127となる。

【0036】

このような条件下で実際に検出して得られた、カウンタ20への入力波形とDA変換器22からの出力波形との関係を同図(B)に対応させて示したように、加工に寄与する放電の発生密度をアナログ電圧信号として確実に捉えることができ、変換後のアナログ電圧の大小に基づいて放電発生頻度を判定することができることが分かる。

【0037】

図6には、前記DA変換器22から出力される放電発生密度に基づいて、前記ワーク装着手段24が有する1軸移動テーブル24Aを矢印方向に進退動させるモータ(駆動手段)28をフィードバック制御する制御手段の概要を示す。

【0038】

ワーク装着手段24は、ワークの装着が可能な移動テーブル24Aと共に固定テーブル24Bを有し、該移動テーブル24AにワークWを装着して移動させると、該テーブル24Aに付設されているスケール24Cが、固定テーブル24Bに取り付けられている位置検出ヘッド24Dにより読み取られ、移動量が検出されるようになっている。そして、上記位置検出ヘッド24Dによる検出信号は増幅器30を介してテーブル位置信号として重畳器32に出力される。

【0039】

この重畳器32では、入力された位置信号と、前記DA変換器22から時定数を考慮して入力される放電発生密度の電圧信号とが重畳され、その結果がモータドライバ34に出力されることにより、前記モータ28が駆動制御され、電極14とワークWの間の放電ギャップが適切に調整されるようになっている。

【0040】

即ち、重畳器32では、DA変換器22の出力を図示しない目標値と比較し、その結果に

10

20

30

40

50

基づいて増幅器 30 から入力される位置信号に、該変換器 22 の出力を加算又は減算した信号を、前記モータドライバ 34 に出力することにより、D A 変換器 22 の出力が目標値より上昇したときに放電ギャップが広がる方向へ、逆のときは狭くなる方向へ、移動テーブル 24 A を動かすことにより、適切な放電ギャップに維持できるようになっている。

【0041】

上記時定数は、移動テーブル 24 A の制御性能に合わせて、例えば 0.03 秒とすることができる。このように、D A 変換器 22 の後に大きな時定数を挿入し、テーブル 24 A の運動性能と整合させることにより、放電ギャップを適切に制御することができる。その結果、マイクロ波放電加工の場合は、従来の平均電流方式では電流値そのものが小さく放電が不安定であったが、安定性を大幅に改善することができた。

10

【0042】

以上詳述した本実施形態によれば、加工に寄与する放電と短絡とが頻繁に入り混じるような放電加工時でも、放電を正確に検出することができる。従来の平均電流方式では、このような場合は、放電電流が大きいと見なされてしまう。

【0043】

又、カウント数を更新するための基準時間は設定自由度が大きく、放電パルスレートを考慮して決めることができる。具体的には、0.000001 秒～0.001 秒で任意であり、平均電流方式の場合より数桁速くできる。

【0044】

従って、放電強度を検出してモニタすることにより、そのモニタ値（放電発生密度）を使って放電ギャップを制御する前記図 6 等に示したシステムを構築するようにしたことにより、従来よりも応答を極めて速くすることができるため、放電強度を安定させることができた。特に、マイクロ放電加工機より鏡面加工を行なう場合においては、ピーク電流を極限まで低くして加工しなければならないため、短絡が起き易いので有効である。

20

【0045】

又、応答性を自由に決められるので、遅いギャップ制御システムには遅い対応も可能であり、従来の放電加工機にもそのまま搭載可能である。

【0046】

図 7 には、本発明に係る第 2 実施形態の放電加工機の要部を示す。

【0047】

本実施形態では、前記図 6 に示したような移動テーブル（移動台）24 A に取り付けられているアクチュエータ（駆動手段）36 にワーク W を装着すると共に、D A 変換器 22 の出力が比較器 32 A に入力され、図示しない目標値と比較され、その偏差信号がアクチュエータドライバ 38 にフィードバックされ、該偏差が 0 になるようにアクチュエータ 36 を駆動し、ワーク W を移動させることにより、放電ギャップが適切に調整されるようになっている。なお、アクチュエータ 36 は移動機能がない固定台に取り付けるようにしてもよい。

30

【0048】

本実施形態は、前記図 6 に示したような、質量が大きいテーブルを移動させる必要がない場合に好適である。例えば、マイクロ放電の場合は、移動距離としては 10 μm もあれば十分であるので、このような微小な距離を変位させるには、例えば圧電素子のようなアクチュエータ 36 の方が適している。又、マイクロ放電の場合は、ワーク W が小さいために質量も小さいので、応答周波数はアクチュエータ 36 の性能限界まで振らせることが可能である。

40

【0049】

【発明の効果】

以上説明したとおり、本発明によれば、加工に寄与する放電と短絡とが頻繁に入り混じり、放電状態が頻繁に変化する場合でも、加工に寄与する放電状態を正確に検出することができる。

【0050】

50

従って、検出された放電状態をモニタし、そのモニタ値に基づいて放電加工機の駆動部を制御することにより、加工電極とワークとのギャップを適切に制御することが可能となることから、加工精度を向上することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る第 1 実施形態の放電加工機の概要を示す説明図

【図 2】高周波電圧を検出する二重ループアンテナの一例と、その特徴を示す線図

【図 3】高周波電圧を検波する検波手段を構成するベース接地検波回路を示す回路図

【図 4】高周波電圧を検波する検波手段の他の一例と、その特徴を示す説明図

【図 5】検波された高周波電圧をカウント密度に変換する機能部を示すブロック図と、その作用を示す線図

10

【図 6】第 1 実施形態の放電加工機が有する駆動制御系の要部を抽出して示すブロック図

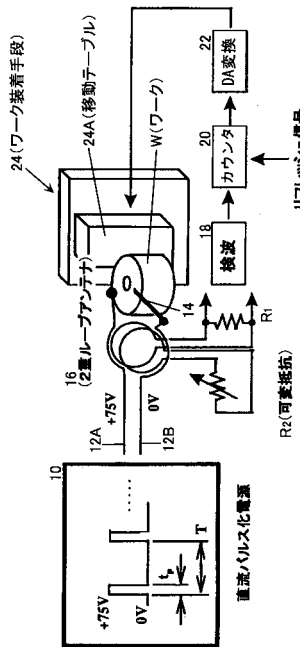
【図 7】第 2 実施形態の放電加工機が有する駆動制御系の要部を抽出して示すブロック図

【符号の説明】

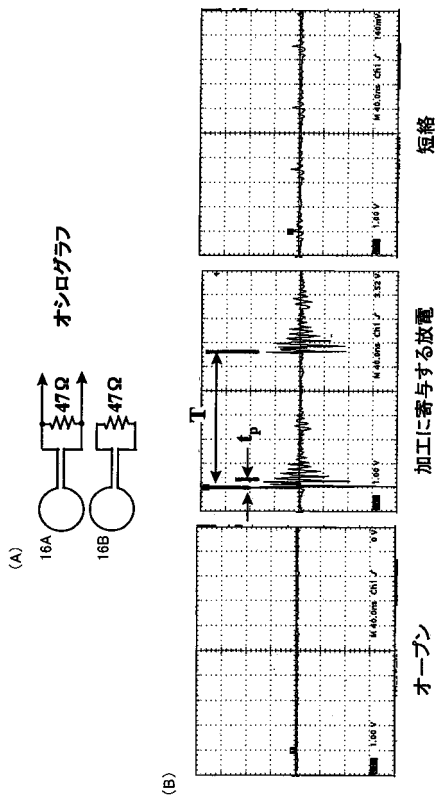
- 1 0 ... 直流パルス化電源 (パルス電源)
- 1 2 ... リード線
- 1 4 ... 加工電極
- 1 6 ... 2 重ループアンテナ
- 1 6 A、1 6 B ... ループアンテナ
- 1 8 ... 検波手段
- 2 0 ... カウンタ
- 2 2 ... D A 変換器
- 2 4 ... ワーク装着手段
- 2 4 A ... 移動テーブル
- 2 8 ... モータ
- 3 2 ... 重畳器
- 3 2 A ... 比較器
- 3 6 ... アクチュエータ
- W ... ワーク
- R 1、R 2... 負荷抵抗

20

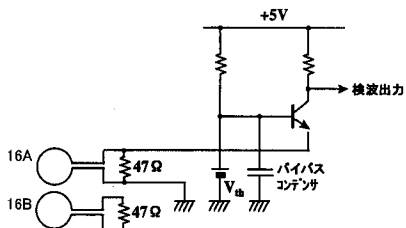
【 図 1 】



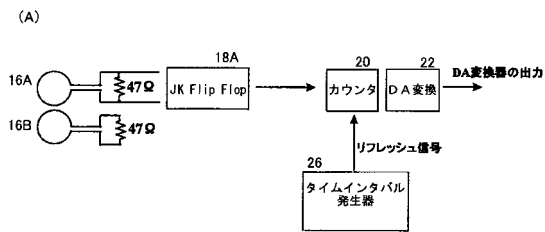
【 図 2 】



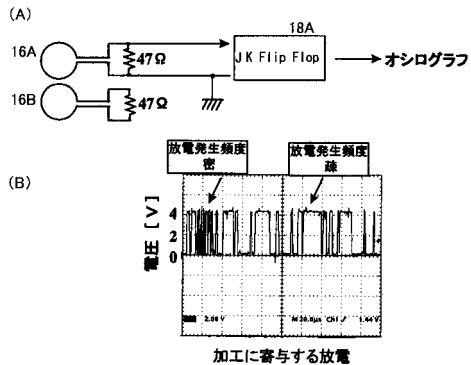
【 図 3 】



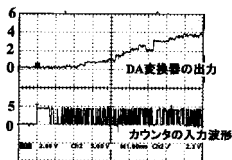
【 図 5 】



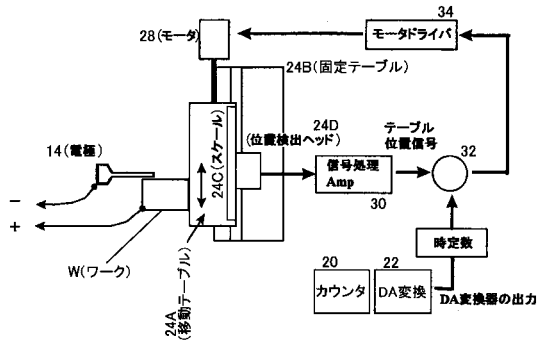
【 図 4 】



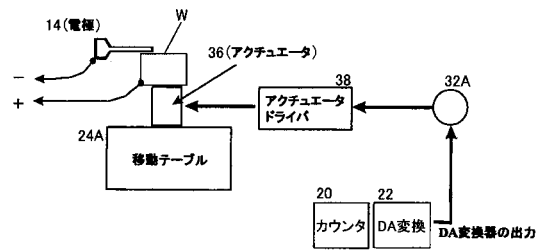
(B)



【 図 6 】



【 図 7 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平05 - 293714 (JP, A)
特開平04 - 240021 (JP, A)
特表2001 - 516290 (JP, A)
特開昭57 - 008036 (JP, A)
特開平06 - 008053 (JP, A)
特開平04 - 331026 (JP, A)
特開昭61 - 034479 (JP, A)
特開昭61 - 010781 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

- B23H 1/02
G01R 15/00 - 17/22
G01R 33/00 - 33/26