

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5138182号
(P5138182)

(45) 発行日 平成25年2月6日 (2013.2.6)

(24) 登録日 平成24年11月22日 (2012.11.22)

(51) Int.Cl. F I

H O 5 B 6/06 (2006.01)
C 2 1 D 1/42 (2006.01)
C 2 1 D 9/00 (2006.01)
H O 5 B 6/10 (2006.01)
H O 5 B 6/24 (2006.01)

H O 5 B 6/06 3 O 1
C 2 1 D 1/42 E
C 2 1 D 1/42 M
C 2 1 D 9/00 1 O 1 N
H O 5 B 6/10 3 3 1

請求項の数 15 (全 8 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2006-149637 (P2006-149637)	(73) 特許権者	591029943
(22) 出願日	平成18年5月30日 (2006.5.30)		インダクトサーム・コーポレーション
(65) 公開番号	特開2006-344596 (P2006-344596A)		I N D U C T O T H E R M C O R P O R A T I O N
(43) 公開日	平成18年12月21日 (2006.12.21)		アメリカ合衆国08073ニュージャージー
審査請求日	平成21年5月28日 (2009.5.28)		州ランコーカス、ピーオーボックス15
(31) 優先権主張番号	11/141746	(74) 代理人	110000523
(32) 優先日	平成17年6月1日 (2005.6.1)		アクシス国際特許業務法人
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100067817
			弁理士 倉内 基弘
		(74) 代理人	100126527
			弁理士 遠藤 朱砂
		(74) 代理人	100130465
			弁理士 吉田 匠
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ワークピースの勾配誘導加熱

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ワークピースの勾配誘導加熱もしくは勾配誘導融解のための装置であって、
ワークピースの周囲に順次配置される複数の誘導コイルと、
各誘導コイルのための別々の電源供給部であって、マイクロコントローラによって制御される調整可能なパルス幅変調交流出力部を有するインバータを備え、前記調整可能なパルス幅変調交流出力部が前記複数の誘導コイルの関連する一つに接続され、前記別々の電源供給部の一つのマイクロコントローラがマスタコントローラとして選択される電源供給部と、

勾配誘導加熱のための加熱分布を達成するため、前記別々の電源供給部各々のマイクロコントローラと通信するマスタコンピュータと、

各電源供給部への制御入力及び各電源供給部からの制御出力により各電源供給部と相互接続する直列制御ループにして、前記マスタコントローラの制御出力部が正常同期パルスを該直列制御ループに出力する直列制御ループとを備えた装置。

【請求項 2】

前記インバータの少なくとも一つは、該インバータの入力部の両端に接続される同調コンデンサを有する請求項 1 の装置。

【請求項 3】

前記複数の誘導コイルは、密に巻かれたソレノイド誘導コイルであり、かつ隣り合うコイル間の短絡を防ぐため、絶縁隔離を持って互いに隣接配置される請求項 1 の装置。

10

20

【請求項 4】

前記ワークピースは、導電性ビレットからなる請求項 1 の装置。

【請求項 5】

前記ワークピースはサセプタからなる請求項 1 の装置。

【請求項 6】

ワークピースの勾配誘導加熱もしくは勾配誘導融解のための装置であって、

ワークピースの周囲に順次配置される二つ以上の誘導コイルと、

前記二つ以上の誘導コイル各々のための別々のインバータであって、各インバータが、少なくとも四つの固体スイッチング素子を備え、かつ前記二つ以上の誘導コイルの関連する一つに接続されるパルス幅変調交流出力部を有するインバータと、

インバータの前記スイッチング素子を制御すると共に同期したパルス幅変調交流出力を発生させるため、前記別々のインバータ各々を形成する別々の電源供給部の各々に関連する別々のマイクロコントローラにして、前記別々の電源供給部の一つのマイクロコントローラがマスタコントローラとして選択されるマイクロコントローラと、

勾配誘導加熱のための加熱分布を達成するため、前記別々の電源供給部各々のマイクロコントローラと通信するマスタコンピュータと、

各電源供給部への制御入力及び各電源供給部からの制御出力により各電源供給部と直列に相互接続する直列制御ループにして、前記マスタコントローラの制御出力部が正常同期パルスを該直列制御ループに出力する直列制御ループとを備えた装置。

【請求項 7】

誘導によるワークピースの勾配加熱もしくは勾配融解の方法であって、

複数の誘導コイルそれぞれに磁場を誘導するため、複数のインバータの出力部から該複数の誘導コイルへとパルス幅変調交流電力を供給する工程であって、複数の誘導コイルそれぞれが複数のインバータの一つの出力部に排他的に接続される当該工程と、

各誘導コイルにおいて発生した前記磁場の領域にワークピースの別々の箇所を導入する工程にして、前記複数の誘導コイルがワークピースの周囲に順次配置される当該工程と、

前記複数のインバータ各々を形成する別々の電力供給部各々に関連するマイクロコントローラにより各インバータのパルス幅変調交流出力を変える工程にして、前記別々の電源供給部の一つのマイクロコントローラがマスタコントローラとして選択される該工程と、

各電源供給部への制御入力及び各電源供給部からの制御出力により各電源供給部と直列に相互接続する直列制御ループに前記マスタコントローラの制御出力部から正常同期パルスを送る工程とを含む方法。

【請求項 8】

前記複数のインバータの少なくとも一つの入力部の両端に同調コンデンサを挿入する工程を更に含む請求項 7 の方法。

【請求項 9】

前記複数のインバータの一つが、前記直列制御ループに異常動作パルスを発生させる工程を更に含む請求項 7 又は 8 の方法。

【請求項 10】

ワークピースの勾配誘導加熱もしくは勾配誘導融解のための装置であって、

ワークピースの周囲に順次配置される二つ以上の誘導コイルと、

各誘導コイルのための別々のインバータであって、各インバータが、少なくとも四つの固体スイッチング素子を備え、かつ前記二つ以上の誘導コイルの関連する一つに接続されるパルス幅変調交流出力部を有し、かつ該別々のインバータの入力部の両端に接続される同調コンデンサを有するインバータと、

インバータの前記スイッチング素子を制御すると共に同期したパルス幅変調交流出力を発生させるため、前記別々のインバータ各々を形成する別々の電源供給部の各々に関連する別々のマイクロコントローラにして、前記別々の電源供給部の一つのマイクロコントローラがマスタコントローラとして選択されるマイクロコントローラと、

勾配誘導加熱のための加熱分布を達成するため、各電源供給部のマイクロコントローラ

10

20

30

40

50

と通信するマスタコンピュータと、

各電源供給部への制御入力及び各電源供給部からの制御出力により各電源供給部と直列に相互接続する直列制御ループにして、前記マスタコントローラの制御出力部が正常同期パルスを該直列制御ループに出力する直列制御ループとを備えた装置。

【請求項 1 1】

前記マイクロコントローラは、前記インバータに関連する二つ以上の誘導コイルのうちの一つに電力が供給されていない場合に該インバータに関連する二つ以上の誘導コイルのうちの該一つを短絡させるように前記インバータスイッチング素子を制御する請求項 6 又は 1 0 の装置。

【請求項 1 2】

前記別々のインバータの少なくとも一つは、該少なくとも一つのインバータの入力部の両端に接続される同調コンデンサを有する請求項 6 の装置。

【請求項 1 3】

前記二つ以上の誘導コイルは、密に巻かれたソレノイド誘導コイルであり、かつ隣り合うコイル間の短絡を防ぐため、絶縁離隔を持って互いに隣接配置される請求項 6 又は 1 0 の装置。

【請求項 1 4】

前記ワークピースは、導電性ピレットからなる請求項 6 又は 1 0 の装置。

【請求項 1 5】

前記ワークピースはサセプタからなる請求項 6 又は 1 0 の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、制御されたワークピースの勾配誘導加熱に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

あるワークピース（製造中の加工品）を、該ワークピースの寸法に沿う勾配の温度へと加熱することは有利である。例えば、押出しプロセスにかけられる円筒（もしくは円柱）状アルミニウムワークピースすなわちピレットは、一般に、押出し成形機を通して最初に引かれる該ピレットの端部の断面全体にわたって、該ピレットの反対側端部の断面よりも高い温度に加熱される。これは、押出しプロセス自体が発熱性で、ピレットをこれが押出し成形機を通過する際に加熱するために行われる。もしピレットが、その長手軸線全体に沿う断面を通じて一様に加熱される場合、ピレットの上記反対側端部は、押出し前に過度に加熱されて、押出しを不可能にする程の熱変形を被るであろう。

【0 0 0 3】

アルミニウム合金ピレット等の導電性ピレットの、その長手軸線に沿う勾配誘導加熱を実現する一方法は、個別の（複数の）シーケンシャル（順次的な）ソレノイド誘導コイルで該ピレットを囲むことである。各コイルは、電流源に供給ライン周波数（すなわち 5 0 もしくは 6 0 ヘルツ）で接続される。各ソレノイドコイルを通過して流れる電流は、コイルの周りに長手軸方向磁束場を確立し、これが、該ピレットを貫通してこれを誘導加熱する。ピレットの長手軸線に沿う勾配加熱を実現するため、各コイルは、一般に、ピレットの一端部から他端部へと順に、より小さい規模の電流（電力）をコイルに供給する。コイル順に調整できる電流を実現するため、シリコン制御整流器が誘導コイルと直列に使用され得る。

【0 0 0 4】

供給ライン周波数の使用は、簡易な電流源に資するが、該使用は、このような配置構成において商業的に加熱され得るピレットの大きさの範囲を制限する。誘導電流の侵入深さ（侵入長）（メートル）は、式 $503 \left(\frac{1}{\mu F} \right)^{1/2}$ によって定義される。ここで、 μ は、ピレットの電気固有抵抗（ $\Omega \cdot m$ ）であり、 F は、該印加場の周波数である。アルミニウム等の非磁性ピレットの透磁率は 1

10

20

30

40

50

である。500 のアルミニウムは、電気固有抵抗が $0.087 \mu \cdot m$ である。従って、上記式から、Fイコール60ヘルツで、侵入深さはほぼ19.2mm、すなわちほぼ0.8インチと計算され得る。ビレットの誘導加熱は、ビレットの断面全体を同時に誘導加熱しようとするよりも、「灼熱（均熱）」プロセスによって特に実現される。すなわち、誘導場がビレットの断面の一部を貫通し、誘導された熱は、ビレットの中心へと広がる（にじむ）ことが許容される。一般に、ビレット断面半径の1/5の誘導場侵入深さが効率的な侵入深さとして認められている。従って、半径4インチのアルミニウムビレットは、60ヘルツの電流により最適な侵入深さである0.8インチをもたらす。その結果、単一周波数を用いた誘導によって効率的に加熱され得るビレットサイズの範囲は制限される。

【特許文献1】米国特許第6696770号明細書

10

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本発明の一つの目的は、種々の大きさのワークピースに対して容易に変更可能な電流周波数を用いる、ビレットの勾配誘導加熱の装置及び方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

一側面において、本発明は、複数の誘導コイルによるワークピースの勾配誘導加熱もしくは勾配誘導融解（溶融）のための装置及び方法である。各誘導コイルは電源供給部に接続され、電源供給部は、インバータの入力部にわたる（入力部の両端に接続される）同調コンデンサを有する。各インバータはパルス幅変調交流出力部を有し、パルス幅変調交流出力部は、全電源供給部間の制御ラインを介して他の電源供給部のパルス幅変調交流出力部と同期制御状態となる。

20

【0007】

本発明の他の側面は、本明細書及び特許請求の範囲に記載される。

【0008】

図面は、本明細書及び特許請求の範囲と共に、本発明の実施の一又は複数の非限定的なモードを例示する。本発明は、例示されたレイアウト及び図面の内容に限定されない。

【発明を実施するための最良の形態】

【0009】

30

本発明の勾配誘導加熱装置10の一例が図1に示される。この非限定的な特定例におけるワークピースはビレット12である。図1のビレットの寸法は、ワークピース周囲のシーケンシャル（順次的な）誘導コイル14a~14fを示すために誇張されている。その寸法の一側面に沿う勾配加熱を必要とするどのような種類の導電性ワークピースでもあり得るが、便宜のため、この特定の例においてワークピースはビレットと称され、また、勾配加熱は、該ビレットの長手軸線に沿って遂行される。本発明の他の例において、ワークピースは、るつぼ内に配置される導電性材料、又は別の材料に熱を移すために加熱されるサセプタであり得る。本発明のこれらの例において、誘導コイルは、るつぼ内に置かれた材料又はサセプタの勾配加熱を提供するため、るつぼ又はサセプタの周囲に配置される。

【0010】

40

誘導コイル14a~14fは、図1に概略的に示される。実際、これらコイルは、しっかりと密に巻き付けられたソレノイドコイルであり、コイル間の短絡を防ぐために必要な離隔を持って互いに隣り合う。この離隔は、コイル間に絶縁（誘電）材料を置くことで実現され得る。他のコイル構成も本発明の範囲内にあるものと企図される。

【0011】

パルス幅変調（PWM）電源供給部16a~16fは、コイル14a~14fそれぞれに異なるrms値（実効値）電流（電力）を供給することができる。図2に示すように、また、タイトル「同調コンデンサを利用する誘導加熱もしくは誘導融解電源供給部（Induction Heating or Melting Power Supply Utilizing a Tuning Capacitor）」の米国特許第6,696,770号に開示されるように、各電源供給部は、整流器/インバータ電源

50

供給部であって、ローパスフィルタコンデンサ (C_F) が整流器 60 の出力部の両端に (出力部にわたって) 接続され、かつ同調コンデンサ (C_{TF}) がインバータ 62 の入力部の両端に (入力部にわたって) 接続される整流器 / インバータ電源供給部を含む。上記米国特許第 6,696,770 号は、その全体の参照により本明細書中に組み込まれる。図 2 において、 L_{fc} は、随意的なラインフィルタであり、 L_{clr} は、限流リアクトルである。各電源供給部の出力は、各誘導コイルへのパルス幅変調電圧である。

【0012】

図 2 は、典型的な電源供給部の詳細を更に例示する。ここで、各電源供給部に対する非限定的な電源 (指定ライン A、B 及び C) は、400 ボルト、30 ヘルツである。インバータ 62 は、IGBT スwitching 素子を利用するフルブリッジインバータからなる。本発明の他の例において、インバータは、共振インバータ、もしくは他の種類のスイッチング素子を利用するインバータ等のように別の態様で構成され得る。マイクロコントローラ MC は、電源供給部に対する制御及び表示 (指示) 機能のための手段を提供する。本発明に最も関連して、マイクロコントローラは、ブリッジ回路における四つの IGBT スwitching 素子に対するゲート回路を制御する。本発明のこの非限定的な例において、上記ゲート回路は、フィールド・プログラマブル・ゲート・アレイ (FPGA) によって表され、また、ゲート信号は、光ファイバリンク (図 2 において破線 61 で示す) によってゲート G1 ~ G4 に供給され得る。図 2 に示す電源供給部の出力部に接続される誘導コイルは、ロードコイル L_{load} として表される。ロードコイル L_{load} は、図 1 における誘導コイル 14a ~ 14f の一つを表す。図 2 の抵抗素子 R は、図 1 に示すようにビレットに挿入される加熱されたビレット 12 の抵抗インピーダンスを表す。

【0013】

作動中、各電源供給部 16a ~ 16f のインバータのパルス幅変調出力は、ビレットの勾配誘導加熱に必要な程度を実現するため、継続時間、位相及び / 又は大きさ (magnitude) が変更され得る。図 3 は、三つの隣り合う誘導コイルに対する電源供給部からの電圧出力 (V_1 、 V_2 及び V_3) における変化の典型的なグラフ例示であり、これが、ロードコイル電流 I_1 、 I_2 及び I_3 をそれぞれもたらす。望ましい加熱分布 (加熱断面) は、各電源供給部におけるマイクロコントローラと通信するマスタコンピュータによって実行される一又は複数のコンピュータプログラムに組み込まれ得る。誘導コイルは、相互インダクタンスを有し、低周波数ビート振動を防ぐため、すべてのコイルは、実質的に同じ周波数で動作するべきである。パルス幅変調出力部を有するインバータの使用によって与えられる柔軟性 (フレキシビリティ) の利用において、すべてのインバータは同期させられる。すなわち、全インバータの出力周波数及び位相がおおむね同期させられる。

【0014】

エネルギーは各インバータの出力部からその関連した誘導コイルへと流れる際、二つの対角線状に配置されたスイッチング素子 (例えば図 2 の S_1 及び S_3 もしくは S_2 及び S_4) が伝導し、電圧がロードコイルの両端にかかる。また別の時には、コイルは短絡され、電流は、一つのスイッチング素子及び逆並列ダイオード (例えば図 2 の S_1 及び D_2 ; S_2 及び D_1 ; S_3 及び D_4 ; もしくは S_4 及び D_3) を介して流れる。これは、隣り合うコイルからのエネルギーのピックアップを最小にする。

【0015】

再び図 1 を参照して、複数の電源供給部の電力出力の同期制御は、隣り合うコイル間の回路干渉を最小にするように使用される。直列制御ループ 40 は、複数の電源供給部の電力出力の同期制御のための非限定的な手段を表す。本発明のこの非限定的な例において、直列制御ループ 40 は、電源供給部のすべてを直列に接続する光ファイバケーブルリンク (FOL) を備え得る。各電源供給部に対する上記制御リンクの制御入力部 (図 1 の制御入力部) は、光ファイバ受信部 (FOR) であり得、各電源供給部からの制御リンクの制御出力部 (図 1 の制御出力部) は、光ファイバ送信部 (FOT) であり得る。複数の電源供給部のコントローラの一つ、例えば電源供給部 16a の制御部 (コントローラ) は、マスタコントローラとしてプログラム可能に選択される。電源供給部 16a のマスタコント

10

20

30

40

50

ローラの制御出力部は、電源供給部 1 6 f のスレーブコントローラの制御入力部に正常同期パルス 2 0 を出力する。もし電源供給部 1 6 f のスレーブコントローラが正常動作状態にあるなら、該コントローラは、電源供給部 1 6 e のスレーブコントローラに正常同期パルスを送り、これが、正常同期パルスが電源供給部 1 6 a のマスタコントローラの制御入力部に戻るまで続く。更に、各コントローラは、複数の電力供給部における各インバータに対して独立パルス幅変調交流出力電力を発生させる。電源供給部のいずれか一つに異常状態が発生した場合、該異常が生じたコントローラは、次の電源供給部のコントローラに異常動作パルスを出力する。例えば、正常同期パルスは、約 2 マイクロ秒であり得るのに対し、異常動作パルスは約 5 0 マイクロ秒であり得る。異常動作パルスは、誘導加熱プロセスを停止するかもしくは変更するように、電源供給部の上流コントローラによって処理される。一般に、マスタコントローラからマスタコントローラへの同期パルスの往復伝達における時間遅延は無視してよい。コントローラの一つに障害が発生した場合、同期信号はマスタコントローラには戻らず、これは、その後の正常同期パルスの発生を止める等の異常状態ルーチンの実行をもたらす。

10

【 0 0 1 6 】

本発明の非限定的な上記例において、六つの電源供給部及び誘導コイルが使用されている。本発明の他の例において、本発明の範囲から逸脱することなく、他の数の電源供給部及びコイルが使用され得る。

【 0 0 1 7 】

本発明の例は、特定の電気部品への言及を含む。当業者は、必ずしも同じ種類ではないが、本発明の望ましい状態を作り出すかもしくは望ましい結果を実現する部品（構成要素）に取り替えて、本発明を実施し得る。例えば、単一構成要素は複数の構成要素に取り替えることができ、その逆もあり得る。

20

【 0 0 1 8 】

上記の例は開示した本発明の範囲を限定しない。開示した本発明の範囲は、特許請求の範囲に記載される。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 9 】

【図 1】本発明の勾配誘導加熱もしくは融解装置の一例を示す簡易概略図である。

【図 2】本発明の勾配誘導加熱もしくは融解装置に使用する複数の電源供給部の一つを示す簡易概略図である。

30

【図 3】本発明の勾配誘導加熱もしくは融解装置の一例のためのインバータ出力電圧の変化に対するロードコイル電流の典型的な結果を例示するグラフである。

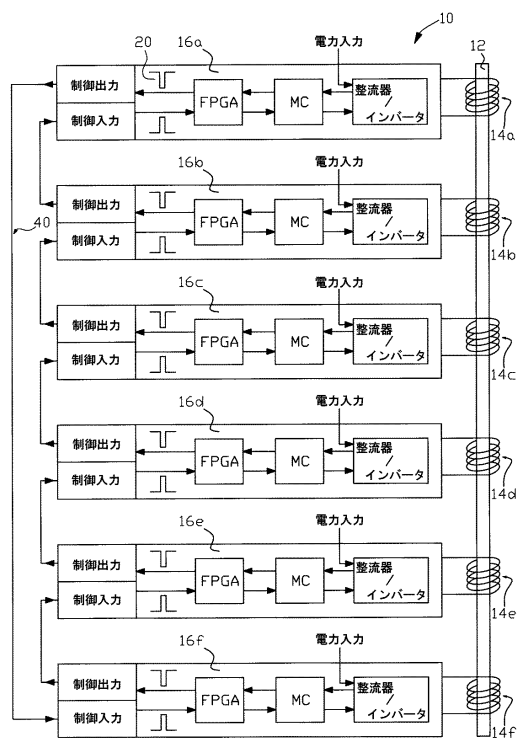
【符号の説明】

【 0 0 2 0 】

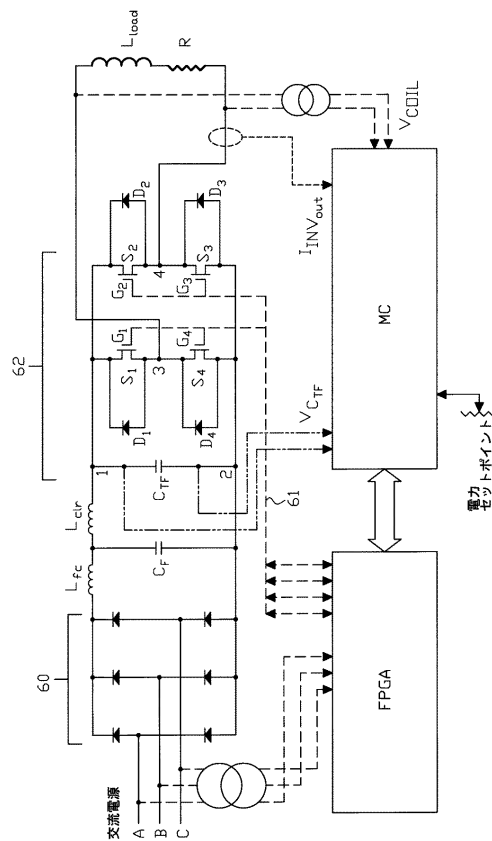
- 1 0 勾配誘導加熱装置
- 1 2 ビレット
- 1 4 a ~ 1 4 f 誘導コイル
- 1 6 a ~ 1 6 f パルス幅変調電源供給部
- 4 0 直列制御ループ
- 6 0 整流器
- 6 1 光ファイバリンク
- 6 2 インバータ

40

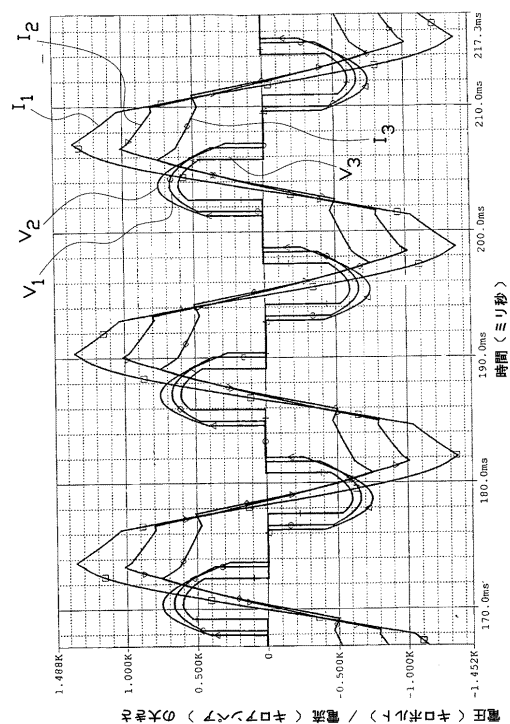
【図 1】



【図 2】



【図 3】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I	
H 0 5 B	6/44	(2006.01)	H 0 5 B 6/24
H 0 2 M	7/48	(2007.01)	H 0 5 B 6/44
			H 0 2 M 7/48 Z

(74)代理人 100129333

弁理士 中島 拓

(72)発明者 オーレグ・エス・フィッシュマン

アメリカ合衆国ペンシルベニア州メイプル・グレン、サルジョン・コート1

(72)発明者 ヴラディミル・ヴィ・ナドット

アメリカ合衆国ニュージャージー州シッケラービル、ワイルドキャット・ブランチ・ロード36

審査官 土屋 正志

(56)参考文献 特開2000-077174(JP,A)

特表2004-532502(JP,A)

特開平02-010687(JP,A)

特開2004-014487(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 0 5 B 6 / 0 6

C 2 1 D 1 / 4 2

C 2 1 D 9 / 0 0

H 0 2 M 7 / 4 8

H 0 5 B 6 / 1 0

H 0 5 B 6 / 2 4

H 0 5 B 6 / 4 4