

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4727111号  
(P4727111)

(45) 発行日 平成23年7月20日 (2011. 7. 20)

(24) 登録日 平成23年4月22日 (2011. 4. 22)

(51) Int. Cl.

F I

H05B 7/144 (2006.01)

H05B 7/144 Z

F27B 3/28 (2006.01)

F27B 3/28

F27D 11/08 (2006.01)

F27D 11/08 G

H05B 7/148 (2006.01)

H05B 7/148 B

H05B 7/18 (2006.01)

H05B 7/18 E

請求項の数 27 (全 23 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-538460 (P2001-538460)  
 (86) (22) 出願日 平成12年11月16日 (2000. 11. 16)  
 (65) 公表番号 特表2003-515874 (P2003-515874A)  
 (43) 公表日 平成15年5月7日 (2003. 5. 7)  
 (86) 国際出願番号 PCT/CA2000/001367  
 (87) 国際公開番号 W02001/037619  
 (87) 国際公開日 平成13年5月25日 (2001. 5. 25)  
 審査請求日 平成19年11月13日 (2007. 11. 13)  
 (31) 優先権主張番号 PCT/CA99/01091  
 (32) 優先日 平成11年11月16日 (1999. 11. 16)  
 (33) 優先権主張国 カナダ (CA)  
 (31) 優先権主張番号 60/166, 406  
 (32) 優先日 平成11年11月19日 (1999. 11. 19)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 591117930  
 ハイドローケベック  
 カナダ エイチ2ゼット 1エイ4 ケベ  
 ック モントリオール プールパール ル  
 ネーレベスク ウエスト 75  
 (74) 代理人 100086380  
 弁理士 吉田 稔  
 (74) 代理人 100103078  
 弁理士 田中 達也  
 (74) 代理人 100115369  
 弁理士 仙波 司  
 (74) 代理人 100117178  
 弁理士 古澤 寛  
 (74) 代理人 100130650  
 弁理士 鈴木 泰光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 アーク炉の再点弧を促進する方法および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

大電流導体と、前記大電流導体の一端に接続された高電流電源と、前記大電流導体の他端に接続された電極と、を有する、金属を溶融するために電弧を発生するためのアーク炉の中において、前記電弧の再発生を促進するための装置であって、

前記電極の一端と前記溶融金属との間にプラズマリンクを維持するための準連続電気エネルギー供給源を備え、

前記準連続電気エネルギー供給源が、前記大電流導体の自己インダクタンスによって形成されたインダクタの大部分を利用する共振回路と、前記共振回路の共振周波数又はその近傍において動作するとともに、前記大電流導体の前記電極側に接続されている高周波電源と、を含む高周波 A C 電気エネルギー供給源である、装置。

【請求項 2】

前記高周波 A C 電気エネルギー供給源が、前記大電流導体の前記電極側に接続された共振コンデンサを含み、さらに前記共振コンデンサが前記自己インダクタンスによって共振回路を形成する、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】

前記大電流導体への供給路の中へ、前記共振コンデンサから離して接続された高周波バイパスインピーダンスをさらに含む、請求項 2 に記載の装置。

【請求項 4】

前記高周波 A C 電気エネルギー供給源が、前記電極の前記一端と前記溶融金属との間にプ

ラズマリンクを発生させることができる、請求項 1 から 3 のいずれか一つに記載の装置。

【請求項 5】

前記高周波 A C 電気エネルギー供給源が、前記電弧の最大長よりも大きな長さを有する前記プラズマリンクを維持することができる、請求項 1 から 4 のいずれか一つに記載の装置。

【請求項 6】

前記高周波 A C 電気エネルギー供給源の周波数が約 1 0 0 k H z である、請求項 1 から 3 のいずれか一つに記載の装置。

【請求項 7】

前記大電流導体を包囲する強磁性部材をさらに備え、前記強磁性体が、前記共振回路の最大共振電流より低い導通電流によって発生し、かつ、最大共振電流より高くかつ前記電弧の電流より低い導通電流によって急速に飽和する磁界に対し高い透磁率を示す、請求項 1 から 3 のいずれか一つに記載の装置。

10

【請求項 8】

前記共振コンデンサが高周波コンデンサと、低周波遮断コンデンサと、高周波電圧と低周波電圧を分離する低周波バイパスインダクタとを備える、請求項 2 または 3 に記載の装置。

【請求項 9】

前記高周波バイパスインピーダンスが、前記高電流電源とその導電性エンクロージャとの間の絶縁をもバイパスする、請求項 3 に記載の装置。

20

【請求項 10】

前記高周波バイパスインピーダンスが、基本的にコンデンサによって提供される、請求項 2 または 9 に記載の装置。

【請求項 11】

前記高周波電源が、前記共振周波数を追跡し、かつ前記高周波電源の周波数を調整することのできる制御装置を含む、請求項 1 から 10 のいずれか一つに記載の装置。

【請求項 12】

前記制御装置が、電極に現れる共振電圧を制限するために、前記高周波電源から整数個の半サイクルを遮断する、請求項 11 に記載の装置。

【請求項 13】

30

前記電弧の消滅が検出されたときに、前記制御装置が前記追跡を開始する、請求項 11 に記載の装置。

【請求項 14】

前記追跡が常時実行される、請求項 11 に記載の装置。

【請求項 15】

前記共振回路の前記共振電圧または電流がしきい値より低い場合、前記高周波電源が待機周波数で作動する、請求項 11 に記載の装置。

【請求項 16】

遮蔽された高周波電源ケーブルをさらに含み、前記高周波電源が前記アーク炉の危険な環境から安全な距離に配置され、前記高周波電源ケーブルを介して前記共振コンデンサのそばで前記大電流導体に接続される、請求項 2 または 3 に記載の装置。

40

【請求項 17】

前記高周波電源ケーブルが同軸ケーブルを含む、請求項 16 に記載の装置。

【請求項 18】

前記同軸ケーブルがコア支持部材と、前記支持部材を包囲する第 1 導体層と、前記第 1 導体層を包囲するとともに誘電層によって前記第 1 導体層から分離されている第 2 導体層と、外部保護ジャケットと、を備えた、請求項 17 に記載の装置。

【請求項 19】

前記コア支持部材が、冷却流体を中に流すことができる少なくとも 1 つのチャンネルを組み込む、請求項 18 に記載の装置。

50

**【請求項 20】**

前記高周波電源ケーブルが、ケーブル反射を減衰するために一端にスナバ回路を備えた、請求項 16 から 19 のいずれか一つに記載の装置。

**【請求項 21】**

前記スナバ回路が抵抗器と高周波バイパスコンデンサと低周波バイパスインダクタとを備えた、請求項 20 に記載の装置。

**【請求項 22】**

前記高周波 A C 電気エネルギー供給源からの準連続電気エネルギーを送り出すための滑動接触子をさらに備えた、請求項 1 から 21 のいずれか一つに記載の装置。

**【請求項 23】**

前記高電流電源は A C 電源である、請求項 1 から 22 のいずれか一項に記載の装置。

**【請求項 24】**

電弧を使用してアーク炉内で金属を溶融するための方法であって、  
大電流導体および電極を使用して、前記アーク炉の前記電極と前記溶融金属との間の前記電弧に高電流電源からの高電流を供給するステップと、  
前記電極の端部に準連続電気エネルギーを注入するステップと、  
前記電弧の消失期間中、前記高電流電源の電圧が前記電弧を再確立する値を再獲得するまで、前記注入された準連続電気エネルギーによって前記電極と前記溶融金属との間にプラズマリンクを維持するステップと、  
を含み、

準連続電気エネルギーを前記電極の一端に注入する前記ステップが、前記大電流導体の自己インダクタンスによって形成されているインダクタの大部分を有する共振回路と、前記共振回路の共振周波数またはその近傍にて動作するとともに前記大電流導体の電極側に接続されている高周波電源と、を用いて行われる、方法。

**【請求項 25】**

前記プラズマリンクの長さが前記電弧の最大長よりも長い、請求項 24 に記載の方法。

**【請求項 26】**

前記電極と前記溶融金属との間の機械的な接触なしに、プラズマリンクを前記電極と前記溶融金属との間に発生させるステップ、をさらに含む、請求項 24 または 25 に記載の方法。

**【請求項 27】**

動作状態の間には安定性を欠いている前記電弧の電力を大きくする目的で、前記電弧の電圧を大きくするために前記電極を位置合わせするステップをさらに含み、  
前記維持するステップが、前記電極と前記溶融金属との間の距離を変更することなく行われる、請求項 24 から 26 のいずれか一つに記載の方法。

**【発明の詳細な説明】****【0001】****【発明の属する技術分野】**

本発明はアーク炉装置に関し、さらに詳しくは、電弧の発生を助け、こうして生産性を向上し、運転コストを削減し、フリッカを低減する手段および方法に関する。

**【0002】****【発明の背景】**

産業用アーク炉は、スクラップからバルク鉄など様々な冶金学的要素を溶融させるために一般的に使用される巨大な炉である。バルク金属は、電弧によって電極とスクラップとの間に生成されるホットガスカラムから放射する高熱によって溶融される。アーク炉は基本的に、スクラップおよび溶融金属を保持するバットと、アークをスパークする 1 組の電極と、スクラップからの電極の距離を制御する 1 組のアクチュエータと、アーク電流を供給する大電流電源（電圧レベルを選択するタップ切換器を備えた変圧器を含む）とから成る。溶融が完了すると、表面を浮遊する不純物が表面からすくい取られるか掻き取られ、次いでさらなる処理のためにバットから液体金属が回収される。

## 【 0 0 0 3 】

電弧の形成には、通常 2 つの電極すなわち陰極と陽極の間の接触を行なうことによって実行される点火が必要である。陰極は次いで電子を放出し、電子は電極間に印加される電界によって陽極に向かって加速される。これらの電子は空隙内の気体分子と衝突して、正に帯電したイオンおよび負に帯電した自由電子を発生して電極間に導電性ガスカラムを形成し、電流が流れることを可能にする。電流を流れさせるのに十分に導電性の気体を、この文書ではプラズマと呼ぶ。電流が増加すると、より多くの衝突が起こり、より多くのイオンおよび電子が解放され、こうしてプラズマ柱の導電性および温度が増加する。同時に陰極はより多くのイオンの衝撃を受けて加熱し、こうして電子の放出が維持される。陽極もまた、到来する電子の衝撃のために加熱する。放出、衝撃、および衝突の連続が電圧降下を発生させ、それは 3 つのゾーンすなわち陰極電圧降下、陽極電圧降下、およびプラズマ柱電圧降下に分割することができる。アーク炉のアークは、ほとんどの場合、プラズマ柱に沿って分配される電圧降下を持つ。したがって、アークの電圧降下は主として、アークの長さと共に増加し、プラズマ温度に反比例して減少し、プラズマガスの組成によって変化する。

10

## 【 0 0 0 4 】

炉の電弧が中断されると、プラズマ柱は初期イオン化状態に残され、その寿命はプラズマ温度の低下率および組成によって影響される。電弧を再点弧するために必要な点弧電圧は、プラズマ状態の劣化と共に増加する。プラズマが失われた場合、プラズマを再形成してアークを再点弧するために、絶縁破壊または一時的電気接触が必要になる。

20

## 【 0 0 0 5 】

最も一般的に使用されるアーク炉は三相 AC 電流型である。該炉は、全てバット内に三角形のパターンに従って配置される各位相用の電極を含む。動作中、各電極は、その他端が金属の不可と接触するアークを発生する。AC アーク炉の全ての電極は交互に陽極および陰極となる。半サイクル毎に、アーク電流は反転するために零点を通過しなければならない。各プラズマ柱から放射される高熱はアーク電流に比例し、したがって同期して変動する。50 または 60 Hz の線周波数で、かつ常温環境では、プラズマ温度を維持してイオン化状態を保持するだけの十分な熱慣性が無い。この場合、プラズマ温度は電流の流れによって変動し、その導電性に影響を及ぼす。次いで導電性のこの変化は、電流が変動するので電圧降下に影響を及ぼす。アークが常温環境で燃焼している間の電流のピークの後に続く状態を考慮すると、電極端における電圧降下の漸増がある。この電圧降下は、電流が零に達し電弧が消える消弧電圧まで増加する。逆弧電流が点弧するために、交流電圧供給は次いで逆極性で点弧電圧を超えなければならない、該点弧電圧はプラズマ柱のイオン化状態（温度）ならびに陽極および陰極の状態に依存する。再点弧の後、アーク電流が増加するにつれて、ガスカラムは再び熱くなり、電圧降下は逆極性で、前の電流ピークの電圧降下に等しい低い値を漸次再獲得する。アーク電圧の進展変化を描画すると、プラズマ柱は事象の間に冷却し続けてきたので、点弧電圧は消弧電圧より高くなる。

30

## 【 0 0 0 6 】

50 または 60 Hz の周波数で高温環境で燃焼する AC アークは、異なる挙動をする。したがってプラズマ柱は、アーク電流が零に達して消弧したときに、十分にイオン化されたままである。消弧 / 点弧電圧レベルは弱く影響され、電圧降下の進展変化は、正弦波と方形波の間の形状を示す。

40

## 【 0 0 0 7 】

AC アーク炉は正弦波電圧電源で作動する。アークをその消弧の後すぐに点弧させるために、アーク炉は低い力率で作動し、炉の供給路における漏れインダクタンスのため電圧を電流より先に進ませる。多くの場合、炉の変圧器の一次側に直列インダクタンスが挿入されさえする。そうすると、電流が零に達して消弧が発生したときに、インダクタンスの逆起電力が消失し、電源から逆極性の電圧の即時印加がある。この瞬間の電源電圧が点弧電圧より高ければ、アークがすぐに点弧する。そうでない場合には、電源が点弧電圧レベルに追いつくまで、遅延が導入される。この遅延はアーク電流にデッドタイム期間を導入し

50

、これは無電流時間間隔を発生させる。その実効値のみならず、電流の増幅さえも、位相制御調光器と同様に低減される。炉の電力入力に対する影響は印象的である。

【 0 0 0 8 】

アーク炉の挙動は、アークが燃焼する環境に強く依存する。通常、溶融プロセスは2つの段階を含む。第1段階では、次の大量のスクラップが溶融のためにバットに注ぎ込まれる。その段階中、炉は主として常温環境で作動する。アークは不規則に移動し、1つのスクラップ片から別のスクラップ片へと跳びまわるので、アークは安定していない。また、スクラップの連続滑動および溶融はアークの長さに影響を及ぼし、電極の頻繁な短絡を発生させる。アークの挙動はプラズマ柱の長さを絶えず変化させ、それはまたデッドタイム期間の連続的な変動を導き、短絡は炉の高電流電源に突入電流を生じる。デッドタイム期間が長くなると、ついには点弧電圧が高くなりすぎて、炉の供給電圧がアークを点弧できず、プラズマは消失する。アークの完全な消弧が発生した場合には、電極をスクラップに向かって移動させて接触を行なわせ、アークを再点弧しなければならない。コンタクトの接触は、電極が電流が低減するのに十分なプラズマ長を持つように電極が離れるまで、高い突入電流を発生させる。プロセスの第2段階では、アークは異なる挙動をする。スクラップは高温液体浴で完全に溶融し、アークはより高温でより安定した環境で燃焼している。さらに、泡状スラグを使用してアークの安定性を向上させる。第1段階とは対照的に、アーク長はより安定し、アークが無電流時間間隔を含む場合でも制御しやすい。

10

【 0 0 0 9 】

D C アーク炉では、アーク電流の方向に変化が無いので、前記デッドタイム期間だけは存在しない。しかし、A C アーク炉と同様に、第1段階のアークの不規則な移動は、電圧降下が高くなるため炉の電圧供給がプラズマ内の電流をそれ以上維持できなくなる限界までアーク長を引き伸ばすことがある。これが発生すると、プラズマ電流は低下し、したがってアークは冷却し、その導電性は低減し、こうしてアークが中断されプラズマが消失するまで電流の低下を暴走させる。ここでも、スクラップと接触させて随伴する突入電流により新しいアークを点弧させるために、電極を下降させなければならない。これらのアーク中断は、第1段階でのみ発生する可能性が最も高い。

20

【 0 0 1 0 】

アーク炉の運転は、ユーティリティラインにおける供給電流の変動を引き起こす。最大の電流変動は、A C およびD C アーク炉の両方で第1段階に生じる。A C アーク炉では、アークの不規則な移動、デッドタイム期間、突入電流、およびアークの頻繁な消弧がこれらの電流変動を生じる。D C 炉では、突入電流、アークの不規則な移動を補償するための整流バルブの点弧角の連続的な変化のみならず、アークの中断も、供給電流の変動源である。これらの変動は、ユーティリティネットワークの電圧の変動源である。ユーティリティ会社は、フリッカとして知られるこの擾乱の一部をある程度許容する。フリッカは、ユーティリティグリッドで起こる、電球などの機器で目に対するちらつきを引き起こす電圧変動の低周波成分と定義される。フリッカの量は、供給ネットワークの短絡電力とアーク炉の短絡電力との間の比に関係する。この電力比が十分に高くなければ、フリッカレベルを許容範囲内に抑制するために、プロセス中に炉の動作点を適合させなければならない。フリッカレベルは、静的電力補償器を用いて、またはアーク炉変圧器の一次側に大きいインダクタを挿入することによって、低減させることができる。残念ながら、これらの装置は高価であり、かつアーク炉電源の改造が著しい。しばしば、アーク炉は低供給電圧で、かつ電極をスクラップに近づけた状態で作動する。これは、スクラップ段階が完了するまで注入電力を低減させ、次いで燃焼するアークがより安定しフリッカが低減するにつれて電力は増加する。

30

40

【 0 0 1 1 】

アーク炉の重要な側面はその生産性である。アーク炉は、最大可能な加熱回数を生じるように運転される。それは、所定の時間でスクラップを溶融するために伝送することのできる電力の量に強く関連する。頻繁で完全な消弧、各消弧と点弧の間に起きるデッドタイム期間、および許容できる限定量のフリッカは全て溶融プロセス時間を延長させるので、こ

50

これらの事象はアーク炉の生産に否定的に貢献する。

【 0 0 1 2 】

アーク炉の別の重要な側面は生産コストである。固定プラズマ電流の場合、プラズマ電圧および加熱容量はアーク長に比例する。より長いアークは、同じ量の注入電力に対してプラズマ電流を低減させることができる。より小さい電流は電極の劣化および消費を低減させるという利点があり、また供給回路のジュール損失をも低減させる。したがって、それらは生産コストを低減させる。

【 0 0 1 3 】

これらの利点は溶融プロセス時間およびアーク炉の運転および維持コストを低減させ、かつそれらは生産性を向上させる。

10

【 0 0 1 4 】

電弧の点弧を促進する方法は、PCT国際出願の公開番号WO 94 / 2 2 2 7 9（発明者 Paulsson および Angquist）に開示された。この文書では、装置は、アークの中断に関連して電圧パルスを電極に供給することによって、アークの燃焼挙動を改善する。アークの即時の消弧の後、コンデンサを放電させることによって電圧パルスが注入されるか、あるいは一時的短絡でアークの無電流間隔を短縮することによって供給路のインダクタに電圧パルスが誘発される。残念ながら、最大効率のために、装置はアークの中断後、最適時間遅延でパルスを注入する必要がある。主炉アークの点弧は発生しないかもしれない、あるいは主炉アーク電流は電圧パルスが消失した後アークを維持するのに十分な振幅に達しないかもしれないので、点弧は信頼できない。（主炉アークは、アーク炉変圧器によってプラズマ柱に供給される電弧電流と定義される。）さらに、パルスの注入前の遅延中、およびパルスの消失後、主炉アークが点弧されずに経過する時間中、プラズマイオン化状態は依然として劣化し続ける。また、制御ユニットは適切に作動するためにアーク炉出力電流を追跡しなければならない。この方法は液体浴の加熱段階では信頼できることが立証されるが、アークが不安定であり問題の大部分が発生する第1段階では適用することが難しい。開示された装置はまた、アーク炉供給の出力に直列インダクタを必要とする。供給電流が巨大であることを認識すると、インダクタのサイズは大きくなりそうである。インダクタンスがネットワーク、炉変圧器、および接続リードのインダクタンスから構成される場合、インダクタは回避できることが示されている。この選択肢は、電圧パルスの一部が変圧器内およびユーティリティネットワーク内に伝搬することを暗示しており、それは一般的にアーク炉所有者またはユーティリティによって望まれず、かつ許容されない。インダクタが炉接続リードを含む場合には、環境条件が極めて厳しく、かつ保守が問題を含み、炉の停止を要求しなければならない電極の近接位置に、パワーエレクトロニクスを配置しなければならない。

20

30

【 0 0 1 5 】

【発明の概要】

アーク炉の改善は、電弧の点弧を促進するか、あるいはその中断を回避する方法の適用によって達成することができる。本方法は、多数の以下の利点を提供する。

アーク長または電流を増加させることができる。

平均周期消弧期間を低減させることができる。

40

完全消弧事象の回数を低減させることができる。

電極の消費を低減させることができる。

電気回路のジュール損失を低減させることができる。

力率を増加させることができる。

フリッカレベルを低減することができ、あるいは電力を増加させることができる。

【 0 0 1 6 】

本発明の目的は、アーク炉における再点弧を促進し、したがって前記背景説明で示した利点を従来の技術の欠点無しで達成することを目的とした、新規の方法および装置を提供することである。

【 0 0 1 7 】

50

本発明の二次的目的は、アーク炉の構造および電源に大きい変化を施すことなく、アーク炉と並行して作動する装置を提供することである。

【0018】

本発明の別の二次的目的は、アーク炉の構成部品に過度の電圧振幅が印加されるのを防止する手段を提供することである。

【0019】

本発明の別の二次的目的は、パワーエレクトロニクスおよび制御ユニットがアーク炉の厳しい環境にさらされず、かつ炉の運転の中断を必要とすることなく保守のためにアクセスすることのできる装置を提供することである。

【0020】

本発明の別の二次的目的は、制御性を簡単にすることができ、かつ効果的であるために最適時間間隔が作動することを必要としない装置を提供することである。

【0021】

本発明の第1の側面によれば、大電流導体を持ち、導体の一端に高電流電源が接続され、導体の他端に電極が接続され、金属を溶融するために電弧を発生するアーク炉における再電弧を改善するための装置であって、電弧の中断に続いて電極端と溶融金属との間にプラズマリンクを維持するために第2準連続エネルギー供給源を備えた装置が提供される。

【0022】

本発明の別の側面によれば、電弧を使用してアーク炉内で金属を溶融するための方法であって、大電流導体および電極を使用して、アーク炉の電極と溶融金属との間に高電流電源からの高電流を供給するステップと、電弧の消弧の期間中、高電流電源の電圧が電弧を再確立する値を再び獲得するまで、電極と溶融金属との間にプラズマリンクを維持するステップとを含む方法が提供される。

【0023】

【好適な実施形態の詳細説明】

本発明は、添付の図面と共に、特定の好適な実施形態についての以下の説明によって、いっそうよく理解されるであろう。

【0024】

今、図1を参照すると、ACアーク炉の略図が示されている。それは、溶融される要素2を保持するためのバット1を含む。電極3は、締付-解除接触子5により導電性の可動支持部材12に締め付けられる。作動器10は支持部材12の下に固定されて、電極に垂直方向の可動性を提供する。大電流電源4は可撓性の高電流導体6により導電性支持部材12に接続されて、支持部材12の移動を可能にする。大電流電源4は、電圧タップ切替器9を介してユーティリティネットワーク7に接続された降圧変圧器8を含む。動作時に、電極3は作動器10によってバット1内に下降されて、金属2とのアークを点弧する。次いで作動器10が電極の高さを決めることによってアーク長に作用し、電圧タップ切替器9が切り換えられて、アークに供給される平均電流が制御される。アーク電流は、バット1の底部電極を介して、または金属2と別の電極との間に発生する別のアークを介して、帰路をたどる。アークが燃焼すると、電極は消費され、必要になったときに、新しい電極3が上端に取り付けられ、滑動されて連続供給を確実にする。

【0025】

別の型のアーク炉装置では、大電流電源4は、AC電流をDC電流に変換し、したがって電極端にDCプラズマ電流を生成するために、変圧器の出力に挿入される整流器を含む。

【0026】

今、図2を参照すると、三相ACアーク炉の典型的な構成が示されている。ネットワーク供給を除いては、図1の略図の各部分が同様の参照番号によって識別される。

【0027】

本発明によると、方法および装置の目的は、無電流時間間隔中に電極端と溶融金属との間にプラズマリンクを維持することである。プラズマリンクは、プラズマ内に新しいイオンおよび新しい自由電子を発生させる準連続エネルギーパワー供給源によって状態調整される

10

20

30

40

50

。準連続エネルギーパワー供給源は、連続することができるように、あるいはそうでない場合には、振動することができるように、またはプラズマの消失時定数より速い周波数の繰返しパルスの形で、プラズマにエネルギーを供給する。本発明の方法および装置により、先行技術の炉内で発生する無電流時間間隔は、大電流電源が主炉アークを点弧させるために必要な点弧電圧を低下することによって低減される。アーク炉は、本発明を使用しない場合より安定する状態で、作動することができるようになる。

【0028】

本発明によると、方法および装置の一実施形態は、主炉アークの最大長より大きい長さのプラズマリンクを維持する。このやり方で、炉の供給電圧が点弧電圧を超えることのできない幾つかの遭遇状態で、プラズマリンクが維持される。これらの状態は、炉のバット内のスクラップの移動によって、またはアーク自体の移動によって生じるプラズマリンクの伸張を含み、どちらも主炉アークの中断を引き起こす。次いで、電極の動き、またはプラズマ自体の不安定な動きにより、プラズマリンクは、高電流電源の電圧が点火電圧を超え、かつ主炉アークを点弧させるのに十分に短くなる。これは、主炉アークの完全な喪失を含む事象の数を低減する。

【0029】

エネルギー供給源は、例えば、電極の中心の穴（例えば軸方向穿孔）をビームが通過するレーザなどの装置とすることができ、あるいは本発明の好適な実施形態では、それはプラズマに電流を提供する電源とすることができる。電源は、準連続電力エネルギーを注入することによって、より詳しくは消失するプラズマの時定数より速い周波数のHF（高周波）AC振動電力エネルギーを注入することによって作動する。

【0030】

本発明の一実施形態の別の目的は、電極端でプラズマに高周波AC振動電力エネルギーを注入して、アーク炉内の再点弧を促進することである。

【0031】

また、本発明によると、方法の別の目的は、アーク中断後にプラズマリンクが消失したときに、高周波電圧により電極端に高周波電気エネルギー放電を形成することである。この高周波電気エネルギー放電は、主炉アークが点弧するための低減された点弧電圧により、新しいプラズマリンクを発生させる。該方法は、炉の高電流電源に突入を引き起こす、アークを点弧するために電極と金属との間の接触を行なう必要性を回避する。

【0032】

本発明の一実施形態の別の目的は、アーク炉の再点弧を促進するために、高周波電流放電を形成することである。

【0033】

アーク炉では、変圧器から電極まで電流を通すために使用される典型的な支持導体は、線周波数表皮深さに近い壁厚を有する長いコンジットの形の銅を用いて構成される。コンジットは、その開口内の水の循環を強制することによって、導体を冷却する必要がある。アーク炉設計は、30cmを容易に超える大径コンジットを使用する。より高い周波数では、表皮深さは非常に薄くなる。導体内を流れるこの周波数範囲の電流は、導体の外周に集中する。大径のアーク炉導体は、高周波電流をそれ自体周囲に配付するために長い外周を提供する。その結果、導体の非常に低い抵抗が得られる。また、アーク炉の導体は変圧器の出力から電極まで少なくとも12メートル走ることができる。結果として得られる導体の寄生インダクタンスは、その低抵抗とあいまって、一般的に10μHから30μHまでの範囲であり、100kHz範囲付近の優れたクオリティファクタを有するインダクタを形成する。本発明によると、共振コンデンサは電極側に近いアーク炉の電源に接続される。したがって、本コンデンサは、このインダクタンスの主要部分と共に、特定の周波数範囲内で共振状態にさせることができる。

【0034】

本発明によると、高周波振動電気エネルギーは、共振回路および高周波電源を用いて電極端からプラズマに注入することができる。共振周波数またはその付近で振動する高周波電流

10

20

30

40

50

源が共振コンデンサの他に電極に電力を供給するときに、高周波電流はプラズマに注入される。次いで、共振回路の出力が共振状態になり、プラズマの導電性に従って電極に振動電圧を形成して、プラズマ柱内の高周波電流の流れを発生させる。高周波電流は、プラズマ柱内の経路をたどってプラズマリンクを維持する。電極における電圧の形成は、アーク炉供給電圧より高くなることができるので、より長いプラズマリンクを維持することが可能である。

#### 【 0 0 3 5 】

アーク炉に対する本発明の影響をよりよく図解するために、図 3 は、電極アークの一連の図面を伴う炉アークの電圧および電流の進展変化を示す。図 3 a では、電流が零まで低下するときにアーク強度が変化する。零電流時に、瞬間再印加電圧は点弧電圧より低く、電圧源が点弧電圧に追いつき、主炉アークが再点弧するまで、遅延が導入される。図 3 b で、本発明の装置は、アーク電流波形上に見ることのできる高周波電流をプラズマに注入する。この図で、高周波電流の周波数は、分かりやすくするために意図的に低減されている。電極におけるアークの図面は、零電流点における高周波アークを示し、これは点弧電圧を低減し、主炉アークをより早く点弧させる。この影響は結果的により高い電流のアンダーエリアを生じ、こうして炉のバットに注入される電力の量が増加する。

#### 【 0 0 3 6 】

また、本発明によると、高周波電流が流れる十分なプラズマが無い場合、電極端に高周波電気エネルギー放出を生じることができる。共振回路は依然として共振状態になり、電極に振動電圧を形成する。この振動電圧は、絶縁破壊を起こし高周波電流放出を発生させるのに十分に高くすることができる。

#### 【 0 0 3 7 】

今、図 4 を参照すると、本発明によるアーク炉に組み込まれた高周波共振回路の略図が示されている。それは、電極に近い接合点 1 7 でアーク炉の大電流導体に接続された共振コンデンサ 2 1 と、同じく電極の近くにコンデンサ 2 1 に並列に接続された高周波制御電流源 1 9 とを備えた容量性回路 1 3 を含む。アーク炉はまた、同一導体でアーク炉電流源出力 4 の近くの接合点 1 6 で供給路に接続されるコンデンサ 1 5 から成ることが好ましい高周波バイパスインピーダンスをも含む。前記の通り、端部接続 1 6 および 1 7 間に位置する導電性部分は、共振インダクタと呼ばれる寄生自己インダクタンス 1 4 を有する。インダクタ 1 4 およびコンデンサ 2 1 はバイパスコンデンサ 1 5 と共に、下式に示すの共振周波数を有する共振回路を形成する。

#### 【 数 1 】

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

ここで、L および C はそれぞれインダクタ 1 4 のインダクタンスおよびコンデンサ 2 1 のキャパシタンスの値である。コンデンサ 2 1 のサイズがその  $\mu F$  値と共に大きくなることを考慮して、インダクタンス値 1 4 を増加させる強磁性体 3 5 をアーク電流導通導体の周囲に挿入することによって、この値を低減させることができる。この強磁性体部品は、最大共振電流よりわずかに上の電流で飽和するように設計される。一般的に共振電流は、炉の供給電流の数万アンペアに比較して、数百アンペアである。したがって、強磁性体部品は、主炉アーク電流が点弧すると急速に飽和するので、炉の供給路のインピーダンスと干渉しない。

#### 【 0 0 3 8 】

本発明によると、装置は、共振回路のインダクタ要素が主として、プラズマ電流を電極端に運ぶように意図された導体の寄生自己インダクタンスによって構成されることを特徴とする。これは、アーク炉の導体の大きい形状のために挿入することが難しい外部インダクタを使用する必要性を回避する。

#### 【 0 0 3 9 】

共振コンデンサおよび高周波電源がバイパスインピーダンス 15 および電極 3 の両方から離れて接続された場合、本発明ではプラズマへの注入高周波電流を増加することができる。インダクタ 14 は今や 2 つに分割され（図 4 参照）、各部分が別個のループに属し、どちらのループもコンデンサ 21 を共通分枝として共有する。主炉アークが燃焼しているときに、2 つのインダクタ 14 部分は、高周波構成部品に並列に現れる。次いで、高周波電源がこの共振回路の共振周波数に同調されると、共振電流の一部分は増加する振幅と共に、プラズマ内を流動する。

#### 【0040】

共振周波数は、プラズマが消失する時定数より速くなければならない。本発明の好適な実施形態では、共振周波数は、100 kHz に近い数十キロヘルツの周波数範囲内に位置する。一般的に、共振インダクタ値は 10  $\mu$  H から 20  $\mu$  H の間に位置する。したがって、共振コンデンサは数百 n F 範囲の値を持つ。共振は、高周波源 19 を共振周波数近くの周波数で作動させることによって形成される。電極の共振電圧は、5 kV ないし 10 kV もの高さまで増加することができ、約 1 kV の炉電源の最大出力電圧よりずっと高い。電圧のこの差が、炉電源が維持できるプラズマ柱に比較して長いプラズマリンクを装置に維持させることを可能にする。電流源 19 は正弦波型、台形波型、パルス型、または準共振パルス型とすることができる。全ての場合に、高周波電流源 19 の基本成分周波数が共振周波数またはその付近で振動することが必要である。好ましくは、高周波電流源のピーク電力出力は、RMS 供給電流を 10 A から 100 A の間として、約 100 kW である。アーク炉が二相以上を持つ場合（大部分のアーク炉は三相アーク電流で作動する）、高周波電流源は非同期で、または予め定められた位相偏移で同期して作動することができる。それらはその出力振動電圧と同相で同期して作動することが好ましい。

#### 【0041】

動作中、共振回路は千ないし数百アンペアの高周波電流をプラズマに注入することができ、数十キロワットのアーク電力を発生することができる。

#### 【0042】

図 4 で、高周波バイパスコンデンサ 15 は共振周波数範囲で短絡回路として働き、共振回路が適切に作動するために、炉電流源 4 をバイパスさせる。それはまた、共振電流および電圧がアーク炉の電源（一般的に変圧器内部巻線）に伝搬するのを防止するためにも使用される。バイパスコンデンサ 15 はまた、変圧器の巻線とエンクロージャとの間の絶縁に過度の電圧が発生するのを防止するために、変圧器の導電性エンクロージャにも接続することもできる。一般的に、アーク炉の変圧器は、そのコイルの内側部分に高周波電圧を繰返し印加するための絶縁仕様を満たすようには設計されていない。高周波数の電圧または電流の導入は結果的に、誘電体の急速な劣化を生じることがあり、したがって短い寿命につながる。この装置の大きい価格を考慮すると、適切な保護が重要である。高周波バイパスコンデンサ 15 は、共振電流および電圧の変動を最大値内に制限するのに十分な大きさでなければならない。好ましくは、電圧は数十ボルトに制限され、バイパスコンデンサは約十ないし百  $\mu$  F を持つ。

#### 【0043】

図 5 は、電極に高周波電流を注入するための本発明による容量性回路 13 の別の構成を示す。電流源をコンデンサ 21 と並列に接続する代わりに、高周波電圧源をコンデンサ 21 と直列に挿入することによって、同じ効果を達成することができる。電圧源 19 は、上記の通り、共振周波数付近またはそれに等しい周波数の正弦波型、台形波型、パルス型、または準共振パルス型とすることができる。

#### 【0044】

高周波電源 19 が高調波を発生する場合、図 4 の容量性回路 13 は、図 5 の容量性回路より有利である。図 4 の容量性回路は、高調波が高周波電流源および共振コンデンサ 21 内に保持されるので、発生する EMI 干渉が少ない。それに対して、図 5 の高周波電圧源 19 の電圧高調波はインダクタ 14 に伝搬し、漏れ磁界を通して EMI 干渉を発生する。図 4 の回路は、本開示装置の好適な実施形態である。

## 【 0 0 4 5 】

図 4 を再び参照すると、アーク炉のプラズマ電流源は、ユーティリティネットワークの線周波数の DC または AC のいずれかとする事ができる。本発明の装置は、プラズマ電流源の周波数の存在を考慮に入れなければならない。炉の動作中、共振コンデンサ 21 は高周波電圧およびアーク炉供給電圧の合計に耐える。低周波（低周波）電圧成分はコンデンサへの応力を追加し、コンデンサの設計ではそれを考慮しなければならない。設計基準は低周波コンデンサの場合と高周波コンデンサの場合とで異なり、両方の周波数成分を分離することが費用効率的である。

## 【 0 0 4 6 】

今、図 6 を参照すると、高周波コンデンサに対する電圧応力を低減するために、図 6 のコンデンサを提供するための様々な方法および関連コストが示されている。図 6 のコンデンサ 21 は、線周波数電圧（または DC）を共振周波数電圧から分離する要素を含む。コンデンサ 21 は、高周波コンデンサ 26 と、高周波コンデンサ 26 に並列に接続された低周波バイパスインダクタ 24 と、高周波コンデンサ 26 およびインダクタ 24 と直列に接続された低周波遮断コンデンサ 27 とを含む。高周波の範囲は共振周波数を含む。インダクタ 24 およびコンデンサ 27 の両方の特徴が、高周波電圧を主としてコンデンサ 26 に発生させ、低周波電圧を主としてコンデンサ 27 に発生させる。

## 【 0 0 4 7 】

本装置にとって考慮すべき重要な要素は、動作環境条件である。アーク炉の支持部材 12 に配置しなければならない装置は強い熱および裸炎にさらされ、頻繁な振動に遭遇し、溶融状態の金属を跳ねかけられ、炉の導体付近を流れる数万アンペアによって発生する磁界を受ける。コンデンサ 21 は、装置が適切に作動するために炉のバットに近接して配置しなければならない。コンデンサ 21 は、保護のために水冷ハウジング内に容易に納めることができる稠密な受動部品である。したがって、その作動が大きな問題を引き起こすことはなく、保守は必要無い。欠陥がある場合、その交換は次の計画運転停止時に容易に行なうことができる。他方、高周波源は半導体素子、電子およびデジタル素子から構成され、初期調整が必要である。厳しい環境条件は、ひとたび堅牢化すると製造コストが高くつく高周波源の深刻な問題を意味する。また、調整、検査、およびデバッグも問題である。アーク炉が作動している時に人はアーク炉にアクセスすることができない。予定外の運転停止は炉の所有者にとって極めて高くつくので、高周波源が故障した場合、装置は次の計画運転停止まで作動不能状態に維持される。

## 【 0 0 4 8 】

本発明によると、高周波電源は、アーク炉の厳しい環境にさらされない領域に配置することができる。高周波源は、バットから十分に遠い回路に高周波源を接続するために、高周波電源ケーブル 50 を使用する。位置の選定は、炉の運転を中断することなくアクセスが保証されるように行われる。これは、大きな利点を意味する。

## 【 0 0 4 9 】

図 7 a は、図 4 の回路を図示する略図である。相違は、高周波電流源 19 が高周波電源ケーブル 50 を介して離れた場所からノード点 17 に、コンデンサ 21 に並行に接続されることである。図 7 b は、図 5 の高周波電圧源について、図 7 a の場合と同じ技法を適用する。ケーブルは、ノード点 20 を介してコンデンサ 21 および電圧源 19 を直列に接続する。図 7 a および図 7 b に示すどちらの構成でも、ケーブル 50 は同軸であることが好ましく、炉のバットから十分に遠い距離にわたって供給電流または電圧を通すためにだけ使用される。

## 【 0 0 5 0 】

図 8 は、本発明のケーブル構成の好適な実施形態を示す。それは第 1 導体層 55 によって包囲された中心支持部材 54 を含む。支持部材 54 は、導体層 55 が低減されたジュール損失で高周波供給源の高周波電流を通すための十分な導電外周を確保するのに十分な大きさの外径を有する。支持部材 54 は任意の型の可撓性材料のものとすることができる。好適な実施形態では、支持部材 54 はポリテトラフルオロエチレンまたはポリエチレン製で

10

20

30

40

50

あり、冷却液を一方向または二方向に流すことができる少なくとも１つの開口を備える。図８には、４つの異なる開口６０、６１、６２、６３が示されている。開口６０、６１、６３では冷却液が一方向に流れ、開口６２では冷却液が別の方向に流れる。該冷却液、好ましくは水を使用して、ケーブル、共振コンデンサ２１、または冷却を必要とする他の部品を冷却することができる。導体層５５は、可撓性を確保するために銅編組で作成することが好ましく、導体部分内の最大電流分配を確実にするために、高周波供給源の周波数の表皮深さより大きい編組厚さを持つ。第１導体層５５と同様の構造の第２導体層５７は導体層５５を包囲し、電圧を維持するのに十分な厚さの誘電層５６によって分離される。誘電層５６は、好ましくはポリテトラフルオロエチレンまたはポリエチレンなど低損失誘電体であり、可撓性である。遮熱かつ絶縁可撓性ジャケット５８がケーブルを被覆し、その環境に対するその保護を確実にする。

10

#### 【００５１】

典型的なアーク炉設備では、２５ないし５０メートルのケーブルは、高周波電源を安全に配置するのに十分な長さである。本発明の高周波源の供給周波数（１００キロヘルツに近い）は、ケーブル内で数キロメートルの波長を持ち、これはケーブルの長さ自体よりずっと大きい。したがって、ケーブルの分路および直列インピーダンスは、この周波数では集中要素とみなすことができる。図７ａの回路構成では、ケーブルの寄生キャパシタンスがインダクタンスを卓越し、コンデンサ２１の値に加えなければならない。逆に図７ｂの回路では、ケーブルの寄生インダクタンスが卓越し、炉の導体のインダクタ１４インダクタンス値にまた加えなければならない。どちらの場合も、回路のインピーダンスに対するケーブルの寄与は低く維持され、Ｌ／Ｃ回路の共振電流および電圧周波数に深刻に影響することはない。

20

#### 【００５２】

図９の回路は図７に示した回路の変形バージョンであり、高周波電源が図１０の高周波電源のように高調波を発生するとき使用される。今、図９ａを参照すると、高周波電流源１９が、高周波同軸ケーブル５０およびスナバ回路５９を介してアーク炉導体１７に接続されている。図９ｂを参照すると、高周波電圧源１９は、高周波同軸ケーブル５０を介してスナバ回路５９に並列に接続された接続点２０で、共振コンデンサ２１と直列に遠隔接続される。どちらの構成では、高調波の波長がケーブル長と同程度である場合、同軸ケーブル５０は、波がケーブルの他端に達するための伝搬時間を有する伝送線として働く。ケーブル端のインピーダンスによっては、両端で反射が連続的に形成されることがあり得る。一端から他端へのこの「行ったり来たりする」波は、望ましくない振動を発生する。スナバ回路５９は、これらの反射を減衰するように意図される。

30

#### 【００５３】

ケーブルの高周波源側から、反射が戻る前に該源によって見られる過渡インピーダンスはサージインピーダンスと呼ばれ、次式に等しい。

#### 【数２】

$$\text{サージインピーダンス} = \sqrt{L_c / C_c}$$

40

ここで $L_c$ はケーブルの単位長当りのインピーダンスであり、 $C_c$ はケーブルの単位長当りのキャパシタンスである。ケーブルへの注入電流過渡は、電流の振幅に第１反射の戻り前の期間中のサージインピーダンスを掛けたものに比例するサージ電圧を発生する。代わりに電圧波が注入される場合、電圧振幅をサージインピーダンスで割ったものに比例して電流サージが発生する。

#### 【００５４】

再び図９ａを参照すると、スナバ回路５９は高周波結合コンデンサ５２と直列に接続された抵抗器５１を含み、それはまた、抵抗器５１および高周波結合コンデンサ５２に並列に接続された低周波（低周波）バイパスインダクタ５３をも含む。インダクタ５３およびコ

50

ンデンサ 5 2 の値は、スナバ回路 5 9 が低周波成分（共振周波数を含む）に対してはほとんど短絡回路として働き、かつ共振周波数より高い周波数に対しては抵抗器 5 1 としてのみ現れるように選択される。動作中、高周波供給源から到来する高調波は、コンデンサが短絡回路として挙動するので、終端インピーダンスとしてスナバ回路 5 9 に遭遇する。これらの高調波は共振周波数より高い周波数成分を持ち、したがって抵抗器 5 1 に出会う。抵抗器 5 1 をケーブルサージインピーダンスに整合させることによって、反射は強力に減衰される。インダクタ 5 3 のため、共振周波数で振動する電流はスナバ回路を短絡回路とみなし、こうしてスナバ回路内の不必要なジュール損失の発生が回避される。

【 0 0 5 5 】

図 9 b のスナバ回路は、高周波電圧源が共振コンデンサ 2 1 と直列に接続されるので、図 9 a のスナバ回路とは異なる。スナバ回路 5 9 は、高周波結合コンデンサ 5 2 と直列に接続された抵抗器 5 1、および抵抗器 5 1 と並列に接続された低周波バイパスインダクタ 5 3 を含む。インダクタ 5 3 およびコンデンサ 5 2 は、スナバ回路のインピーダンスが低周波成分（共振周波数を含む）に対しては開放回路に近く、共振周波数より高い周波数に対しては抵抗器 5 1 としてのみ現れるように選択される。動作中、高周波電圧源から到来する高調波は、終端インピーダンスとしてスナバ回路 5 9 に遭遇する。これらの高調波は共振周波数より高い周波数成分を持ち、したがってサージインピーダンスに等しい抵抗器 5 1 に出会い、反射は強力に減衰される。インダクタ 5 3 は、不必要なジュール損失を回避するために、より低い周波数に対して抵抗器 5 1 をバイパスするように働く。

【 0 0 5 6 】

好適な実施形態は、図 9 a の回路構成を使用する。同軸ケーブルは  $0.05 \mu\text{H}/\text{m}$  より低い寄生インダクタンス、 $500 \text{ pF}/\text{m}$  より低い寄生キャパシタンス、および 20 より低いサージインピーダンスを持つ。このサージインピーダンスにより、高電流高調波成分の注入によって発生するサージ電圧は適度であり、高周波電流源に対する過度の応力は回避される。

【 0 0 5 7 】

好適な実施形態では、アーク炉の導体の動きを攪乱することなく、高周波同軸ケーブル 5 0 をアーク炉導体 6 および 1 2 に沿って設置することができる。また、高周波ケーブルを炉の裸炎から、および熔融状態の金属の跳ねかけから保護するために、バットに近い領域でアーク炉に沿って走る可撓性金属管内に高周波ケーブルを挿入することができる。

【 0 0 5 8 】

図 1 0 および図 1 1 に関連する以下の説明で、用語の後に括弧に入れた用語が続く場合、用語は図 5 の直列電圧源に適用され、括弧に入れた用語は図 4 の並列電流源に適用される。それが一方の場合にだけ適用される場合は、そのことを明記する。

【 0 0 5 9 】

今、図 1 0 a ( 1 0 b ) を参照すると、本発明による高周波電圧（電流）源の好適な実施形態が示されている。

【 0 0 6 0 】

図 1 0 a ( 1 0 b ) で、高周波電圧（電流）源 1 9 は、DC 電圧（電流）源 2 9 ( 3 2 ) によって給電される高周波電圧（電流）電源インバータ 2 8 ( 3 1 ) を用いて構成される。インバータは既知の技術に一般的に見られる技術を使用し、制御装置およびセンサを組み込んで、感知された状態に従って周波数を調整する。インバータ内の半導体スイッチの電力処理能力を十分に活用するように電圧および電流を適応させるために、高周波電圧（電流）変成器回路 3 0 ( 3 3 ) を高周波電圧（電流）インバータの出力に挿入することが好ましい。高周波変成器 3 0 ( 3 3 ) は磁気結合変成器を含み、炉の供給電流が高周波源に伝搬するのを防止するために減結合素子を含めることができる。また、図 6 の共振コンデンサ回路を高周波電流源と組み合わせて使用する場合、変流器 3 3 の励磁インピーダンスは、それがインダクタ 2 4 に取って代わるような大きさにすることができ、こうして構成部品の数が高減される。

【 0 0 6 1 】

今、図10c(10d)を参照すると、高周波電圧(電流)源の好適な実施形態を表わすより詳細な略図が示されている。高周波電圧(電流)インバータ28(31)は、IGBTおよびダイオードなどの半導体素子を含むHブリッジインバータ39を含む。ゲート制御半導体はゲートドライバ40によって起動され、スイッチングコマンドは制御ユニット41によってゲートドライバに送られる。スイッチングコマンドは、共振周波数に関連して制御ユニット41によって決定される。それは固定周波数、または共振回路に接続された高周波電流(電圧)センス42によって生成される高周波波形にロックされた周波数とすることができる。図10c(10d)に示した好適な実施形態では、高周波センサはインバータ39の出力の電流43(電圧44)を読み取る。本発明の装置が任意選択的高周波電圧(電流)変成器30(33)を含む場合、変成器の内部インピーダンスと共振回路の作動および制御性との間で可能な相互作用を回避するために、変成器の出力に高周波センサを接続することが好ましい。

10

**【0062】**

高周波電圧(電流)源は、高周波センスユニットが回路内のどこかに接続されているときに、共振回路と共に適切に作動することができる。例えば、それはコンデンサ21をはさんで接続することができる。制御装置は、高周波電圧(電流)源と感知された電流または電圧との間の位相差を命令するために、高周波電圧(電流)源によって励起されたときに共振回路によって生成される高周波波形を監視することが重要である。このやり方で、一実施形態では、インバータの転流を電流(電圧)の零交差事象と同期化して、半導体におけるスイッチング損失を低減させることが可能である。

20

**【0063】**

本発明の特定の一実施形態では、高周波電圧(電流)インバータ28(31)の出力が高周波共振回路に接続された場合、高周波電圧(電流)源を制御する方法は、高周波電圧(電流)源28(31)とそれに接続された共振回路との相互作用から生じる高周波感知電流(電圧)波形を読み取って制御ユニット41に送信するステップと、出力電流(電圧)から予め定められた位相偏移の高周波電圧(電流)を出力に課すために、制御ユニット41により高周波感知信号波形への位相同期を実行し、制御装置41により、読取り波形信号から予め定められた位相偏移でゲートドライバ用のスイッチングコマンドサイクルを発生するステップとを含む。

30

**【0064】**

本発明の別の実施形態では、高周波電圧(電流)インバータ28(31)の出力が高周波共振回路に接続された場合、高周波電圧(電流)源を制御する方法は、高周波電圧(電流)源28(31)とそれに接続された共振回路との相互作用から生じる高周波感知電流(電圧)波形を読み取って制御ユニット41に送信するステップと、前記高周波感知電流(電圧)を電流(電圧)しきい値と比較するステップと、感知電流(電圧)が電流(電圧)しきい値より低い場合には、高周波電圧(電流)を共振周波数に近い待機周波数で発生させるために、制御装置41によりスイッチングコマンドサイクルを発生させるステップと、感知電流(電圧)が電流(電圧)しきい値より高い場合には、出力電流(電圧)から予め定められた位相偏移の高周波電圧(電流)を出力に課すために、制御ユニット41により高周波感知信号波形への位相同期を実行し、制御装置41により、読取り波形信号から予め定められた位相偏移でゲートドライバ用のスイッチングコマンドサイクルを発生するステップとを含む。

40

**【0065】**

本発明では、高周波電圧(電流)源28(31)は、共振回路の共振周波数を追跡するように作動する。この動作は制御ユニット41によって実行され、反転高周波電圧(電流)と結果的に得られる高周波出力電流(電圧)との間の位相差が零となる位相偏位を高周波反転電圧(電流)と感知波形との間に強制することによって達成される。

**【0066】**

この状態は、高周波電圧(電流)源が高周波共振回路の共振周波数でスイッチングを行なっているときに得られる。

50

## 【 0 0 6 7 】

炉導体のインダクタンスは、電極が移動しているときに変化する。言うまでもなく、これはインバータの制御装置が追跡する共振周波数に影響する。

## 【 0 0 6 8 】

インバータが待機周波数で作動するときに、待機周波数は、全ての可能な共振周波数の範囲内の便利な値に選択される。炉導体のインダクタンスの変化は、導体を分離する距離の対数として変化し、共振周波数は導体のインダクタンスの平方根として変化する。アーク炉が作動するとき、電極の相対偏位は通常、電流に不平衡を生じる導体のインピーダンスの不平衡を回避するのに十分に小さく維持される。したがって共振周波数はアーク炉設備で大きく変化するとは予想されず、待機周波数は共振周波数に十分に近く、共振を確立する。振動電流（電圧）がしきい値に達すると、本発明の一実施形態では、インバータのスイッチング損失を低減し、最高共振を達成するために、インバータ周波数を共振周波数にロックすることが好ましい。他の実施形態では、ロックされた最後の周波数を制御装置によって維持し、次のしきい値に達するまで待機周波数として使用することができる。これは、次の半サイクルの次の零電流点まで炉の導体構成が知覚可能に変化せず、共振周波数に影響を及ぼさないという利点を持つ。

10

## 【 0 0 6 9 】

図 1 1 は 3 つのグラフから成り、その時間尺度は、再点弧プロセスに関与する 4 つの期間に従って分割される。最初のグラフ、図 1 1 a は、図 1 0 に示したようなインバータによって生じる方形波高周波電圧（電流）源の進展変化を示す。図 1 1 b は共振コンデンサ高周波電圧の進展変化を示す。言うまでもなく、図 1 1 c は炉プラズマ内の高周波電流の進展変化を示す。炉電源によって生じる電流および電圧の成分は、説明を分かりやすくするために意図的に省いた。

20

## 【 0 0 7 0 】

期間 T 1 はアーク炉動作中のアーク燃焼状態に対応する。その期間中、プラズマ柱は主炉アーク電流および図 1 1 c に示した高周波アーク電流を導通する。共振コンデンサの高周波電圧は図 1 1 b では、プラズマ柱の高い導電率によって提供される分路効果のため、かなり低減される。この電圧は制御ユニットによって追跡されず、該ユニットは次いで共振周波数から遠くない待機周波数で作動する。異なる実施形態では、アークが燃焼しているので、その期間中、高周波電流源の作動を停止させることもできる。

30

## 【 0 0 7 1 】

期間 T 2 の開始は炉アークの中断に対応する。アークの消失は、環境温度および条件によってプラズマ柱にその導電性を徐々に失わせる。導電性が低下するにつれて、共振回路はその共振を高め、共振コンデンサに高周波電圧を蓄積して、図 1 1 c に示す高周波アーク電流を維持する。プラズマの導電性の低下率によってエネルギーが高周波電圧（電流）源により供給され、共振を開始する。これはプラズマの高周波注入電圧を低減する。共振の増強中に、しきい電流（電圧）を超えると、インバータのスイッチング損失を制限するために、制御ユニットは位相同期ループ回路をトリガして、電圧（電流）源周波数を共振周波数にロックする。炉アークが再点弧すると、電圧降下が減衰して、T 3 に入ることなくすぐに T 4 が開始される。

40

## 【 0 0 7 2 】

T 2 の開始の条件もまた、アークの中断と同様にプラズマ柱の消失にも対応させることができる。共鳴を引き起こした別の条件は、アークの中断の後に続くプラズマ柱の消失であるかもしれない。この場合、高周波は零になり、共振は、高周波電圧（電流）電源によって供給されるエネルギーの量に関連し共振回路の散逸率によって制限される率で増加する。言うまでもなく、図 1 1 c のグラフは、点弧が発生するまで期間 T 2 および T 3 に高周波電流が無いことを示している。

## 【 0 0 7 3 】

電極の電圧を制限するために、本発明のこの実施形態のさらなる態様は、インバータが切り換えられる方法を制御することによって、電極共振電圧を制限する制御戦略を含む。期

50

間 T 3 の開始時に、点弧が得られず、電圧が共振コンデンサの最大許容値に達すると、インバータは半サイクルを遮断し始め、振動電圧を減衰させる。下限値に達すると、インバータは電圧をその上限に戻すために必要な数の半サイクルを注入し、こうして見かけの定常状態の振動が維持され、電極端に存在する共振電圧が維持される。この状況で、プラズマの導電性は徐々に消失することがある。その場合、高周波アーク電流は低下し、最終的に消失する。しかし、電圧は依然として維持され、アーク炉の電極がスクラップの方向に移動するときに、新しい主炉アークを点弧するのに役立つ。

#### 【 0 0 7 4 】

期間 T 4 の開始時に点弧が発生し、主炉アークが再確立され、電圧が減衰し、高周波電流がアーク内を流れ、高周波電源インバータが再び期間 T 1 に入る前に待機動作周波数に戻る。

#### 【 0 0 7 5 】

図 1 2 に、6 0 H z 交流アーク電流で作動する本発明の装置の記録された信号の実証を示す。濃色のトレースはプラズマ柱内の電流であり、灰色のトレースは電圧降下である。プラズマ内の高周波電流が 6 0 H z 電流の上に重ねられ、その非常に速い変化のために、厚く濃色のトレースとして見える。同じことが電圧降下にも当てはまる。プラズマの導電性が変化している場合でも、高周波電源に結合された高周波共振回路が、プラズマ柱内に高周波電流を流させるために必要な電圧を発生することを観察することができる。高周波プラズマ電流の存続は、矢印によって指摘されるように低周波アークが中断されたときに、観察することができる。6 0 H z アークの消失後、プラズマはその導電性を失い始め、本発明の共振回路は電極電圧を徐々に増加して高周波アーク電流をプラズマに注入し、こうしてイオンおよび自由電子の生成を維持する。6 0 H z 電圧が低下した点弧電圧に追いつくと、低周波アークが点弧し、電圧は減衰する。デッドタイム期間の変化は、左記に示した通りアークの不安定な挙動に結び付けられる。

#### 【 0 0 7 6 】

図 1 3 は、本発明の前述した 2 つの実施形態による三相 A C アーク炉を示す。該アーク炉は、非同期または予め定められた位相偏位で同期してのいずれかで作動することのできる 2 つの高周波電流源 1 9 を持つ三相アーク炉で、2 つの共振コンデンサ 2 1 を使用する。この構成は、各相に 1 つの共振コンデンサを使用するのに比較して、必要な構成部品数が減少するという利点を持つ。この実施形態では、2 つの高周波電流インバータ 3 1 がインバータ出力 3 1 のドットマークに関して同一周波数および逆相で作動する。共振コンデンサ 2 1 を電極端から最も近い点に接触した状態に維持するために、2 つの滑動接触子 3 4 が 2 相で各電極の導体と共振コンデンサ 2 1 の一端との間に追加され、電極の移動が補償される。2 つの共振コンデンサ 2 1 の他端は、残りの電極の導体に永久接続される。滑動接触子は通常、最大偏位長さに対処する。偏位長さは、作動中に発生する 2 つの電極間の空隙全体をほぼ補うのに十分な長さとするることができる。このようにして、アーク炉の作動中に非常にまれにしか発生しない非常に長い空隙で接触を行なう必要性が、得られる利点に著しい影響を及ぼすことなく排除され、こうして滑動接触子の複雑さが低減される。

#### 【 0 0 7 7 】

今、図 1 4 を参照すると、図 4 および図 1 3 によるアーク炉における装置の典型的な組込みが示されている。共振コンデンサ 2 1 は中央電極支持部材上に装着される。高周波電流源 1 9 は、例えば変圧室内などの遠隔位置に配置される。高周波源 1 9 は、1 対の高周波電源ケーブル 5 0 を介して、それらの対応するコンデンサ 2 1 に接続される。好適な実施形態では、同軸ケーブルは中央アーク炉高電流導体に沿って走る。各共振コンデンサ 2 1 は一方の端子を中央電極支持部材に接続され、他端は、電極の相対偏位に対処するために滑動接触子（図示せず）を介して、対応する側方電極支持部材に接続される。高周波バイパスコンデンサ 1 5 は供給変圧器の出力に接続される。

#### 【 0 0 7 8 】

本発明の装置の別の利点は、アーク炉装置に対する改造がほとんど必要ないという事実に

10

20

30

40

50

存在する。装置はアーク炉と並行して作動し、いつでもスイッチを切ることができ、本発明の一実施形態では、アーク炉の作動を中断することなく、高周波源を故障モードおよび修理状態にすることができる。

【0079】

本発明の装置の好適な実施形態では、アーク炉は、主炉アークの中断後に電極と熔融金属との間のプラズマリンクを維持または発生させるために第2電源を含み、装置は、炉の大電流導体の誘導特性を使用してプラズマが発生する厳しい環境条件から安全な距離に配置され、装置は適度なサイズである。

【図面の簡単な説明】

【図1】 当業界で既知の基本的交流アーク炉の単線図を示す図である。

10

【図2】 当業界で既知の三相交流アーク炉の典型的構造を示す図である。

【図3A】 電圧および電流の変動による炉内のアークの進展変化を示す図であり、電流が0まで低下するときに、アーク強度が変化する。

【図3B】 電圧および電流の変動による炉内のアークの進展変化を示す図であり、高周波電流供給がプラズマに注入される本発明の好適な実施形態を示す。

【図4】 アークを再点弧するために電極端でプラズマ柱に高周波電気エネルギーを注入するための装置の略回路図であり、該回路は高電流電源、コンデンサ、インダクタ、コンデンサ付き高周波電流源を含む。

【図5】 高周波電圧源とそのコンデンサを示す図である。

【図6】 線周波数電圧を高周波電圧から分離する共振容量性回路を示す図であり、該共振容量性回路はバイパスインダクタおよび2つの異なるコンデンサを含む。

20

【図7A】 高周波源を遠隔位置に設置することを可能にする冷却同軸ケーブルを使用する装置を示す図であり、高周波電源は電流源である。

【図7B】 高周波源を遠隔位置に設置することを可能にする冷却同軸ケーブルを使用する装置を示す図であり、高周波電源は電圧源である。

【図8】 高周波源を遠隔位置に設置するために使用される同軸ケーブルの断面を示す図であり、支持部材は第1導体層によって包囲され、第2導体層は第1導体層を包囲し、第1層から誘電層によって分離される。

【図9A】 高周波源が遠隔位置に配置され、高調波成分を遮断するためにスナバ回路が使用される別の構成を示す図であり、高周波源は電流源である。

30

【図9B】 高周波源が遠隔位置に配置され、高調波成分を遮断するためにスナバ回路が使用される別の構成を示す図であり、高周波源は電圧源である。

【図10A】 高周波電圧源のための回路構成をより詳細に示す図であり、電圧発生器、高周波電圧インバータ、および任意選択的高周波変圧器を含む。

【図10B】 高周波電流源のための回路機構をより詳細に示す図であり、電流発生器、高周波電流インバータ、および任意選択的高周波変流器を含む。

【図10C】 高周波センス回路、制御ユニット、ゲートドライバ、およびHブリッジを含む高周波インバータ回路機構をより詳細に示す図であり、高周波センスユニットは電流を感知し、回路の入力はDC電圧である。図10dでは、高周波センスユニットは電圧を感知し、回路の入力はDC電流である。

40

【図10D】 高周波センス回路、制御ユニット、ゲートドライバ、およびHブリッジを含む高周波インバータ回路機構をより詳細に示す図であり、高周波センスユニットは電圧を感知し、回路の入力はDC電流である。

【図11A】 本発明の作動原理を示す電圧または電流のグラフを示す図であり、インバータによって生成される高周波電圧を示す。

【図11B】 本発明の作動原理を示す電圧のグラフを示す図であり、電極電圧を示す。

【図11C】 本発明の作動原理を示す電流のグラフを示す図であり、炉アークの電流を示す。

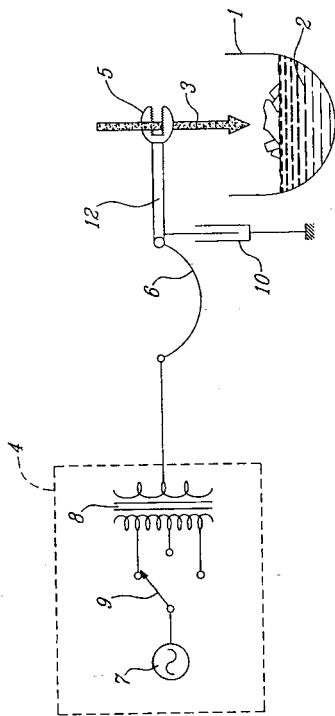
【図12】 本発明の一実施形態の装置の測定信号を示す図であり、より正確には、濃色の線はプラズマ柱内の電流を表わし、灰色の線はプラズマ柱内の電圧降下を表わす。

50

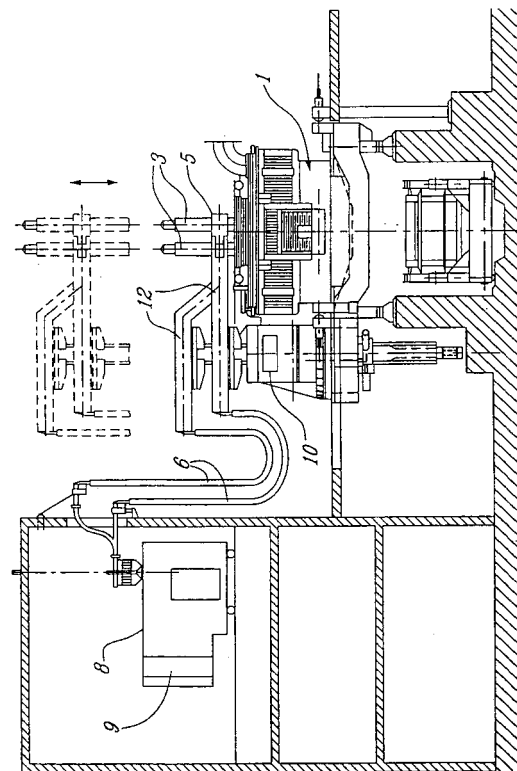
【図 1 3】 本発明の一実施形態の三相アーク炉への統合を示す図であり、2つの高周波変流器、2つの高周波電流インバータ、および2つの電流発生器を含む。

【図 1 4】 三相アーク炉における本発明の一実施形態の装置の全ての構成要素の配置を示す図である。

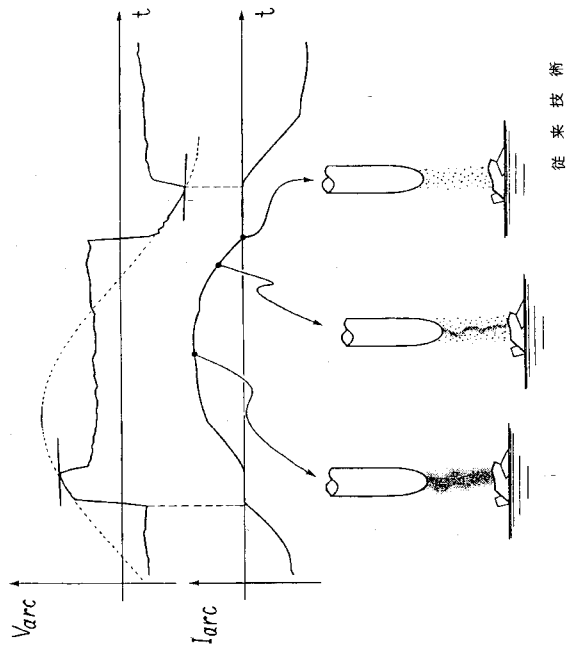
【図 1】



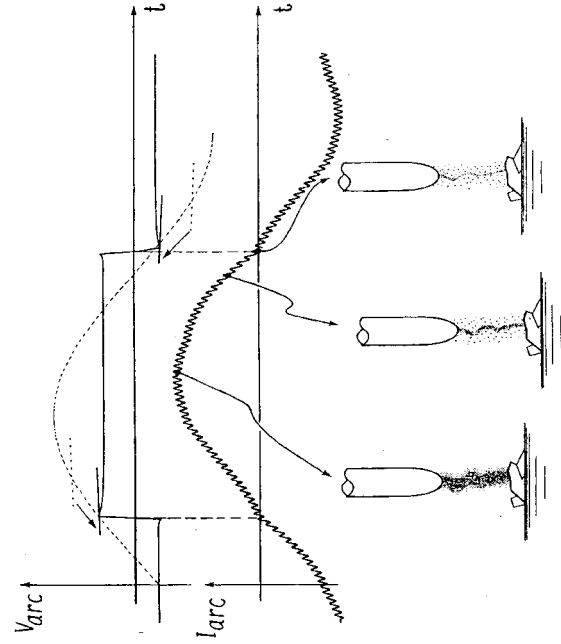
【図 2】



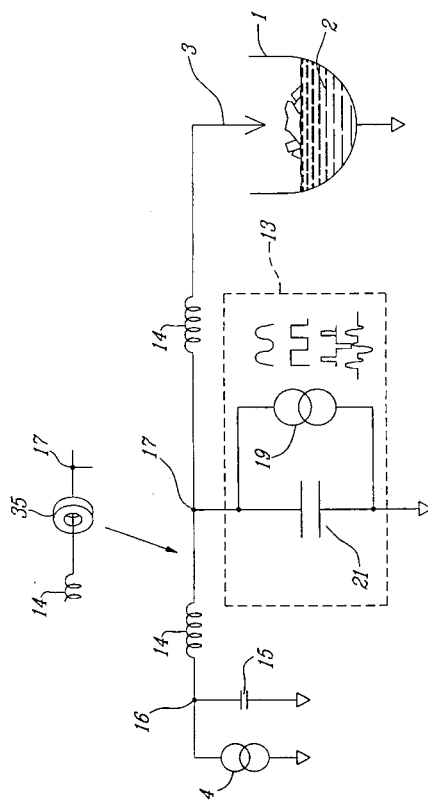
【図 3 A】



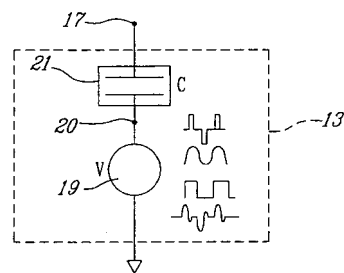
【図 3 B】



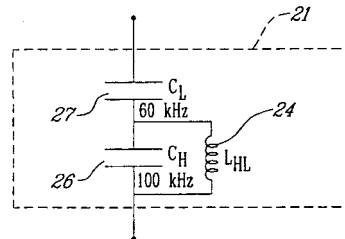
【図 4】



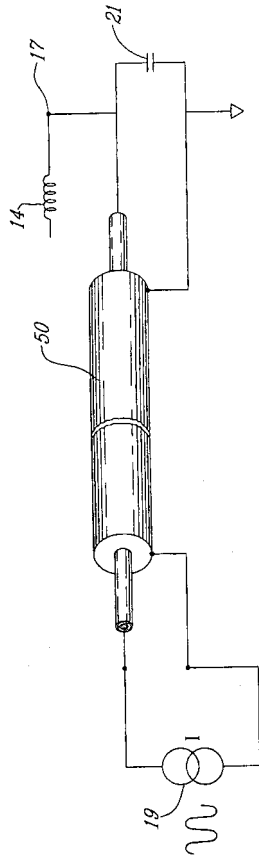
【図 5】



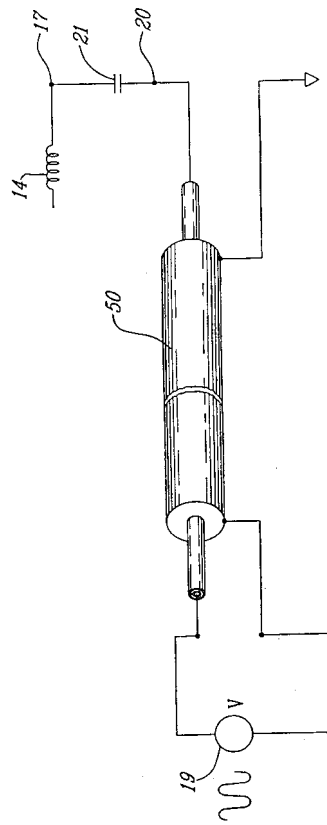
【図 6】



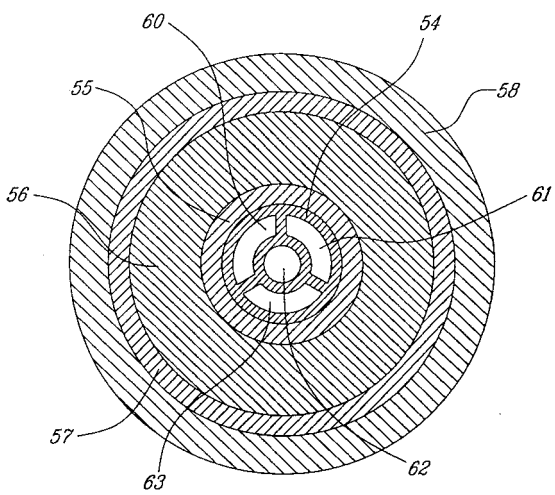
【図 7 A】



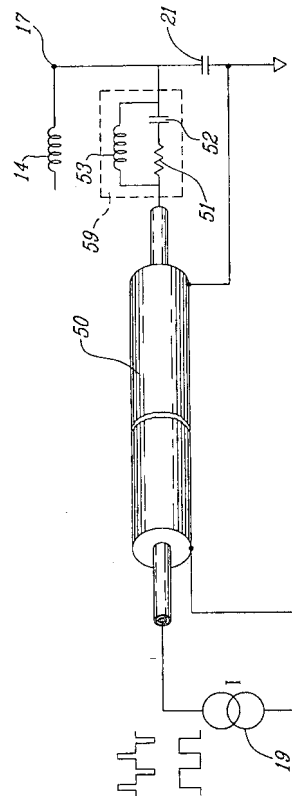
【図 7 B】



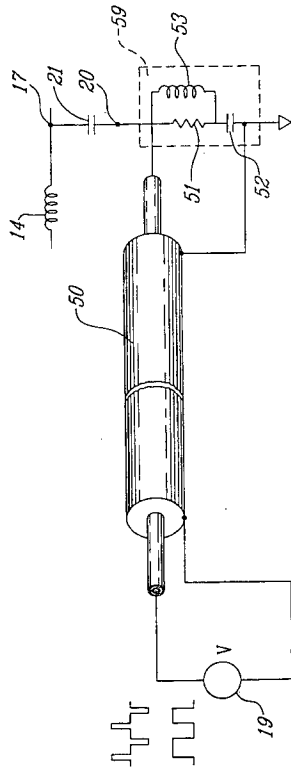
【図 8】



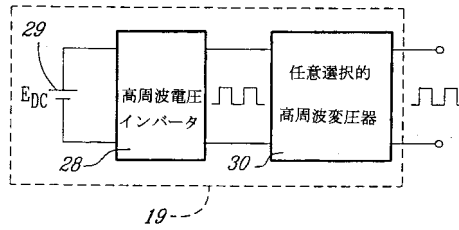
【図 9 A】



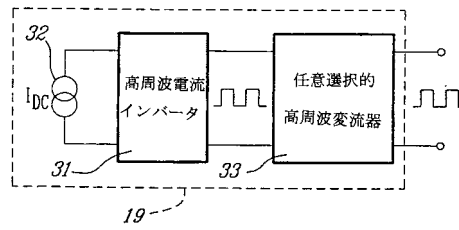
【図 9 B】



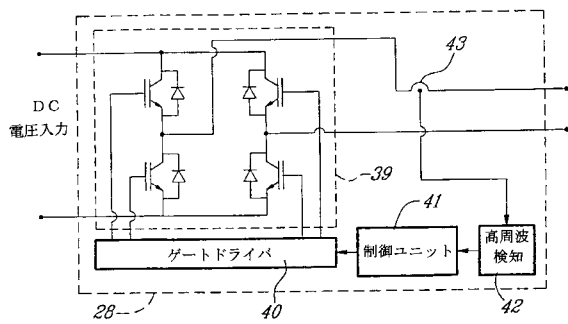
【図 10 A】



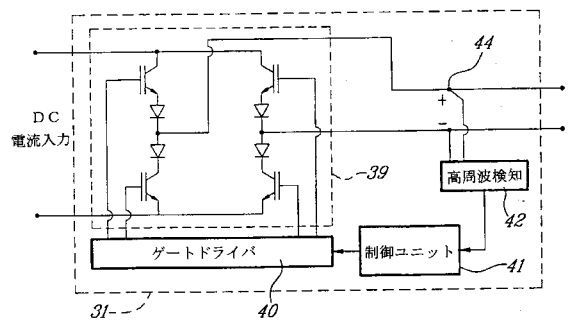
【図 10 B】



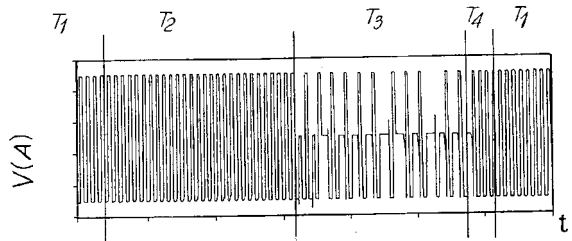
【図 10 C】



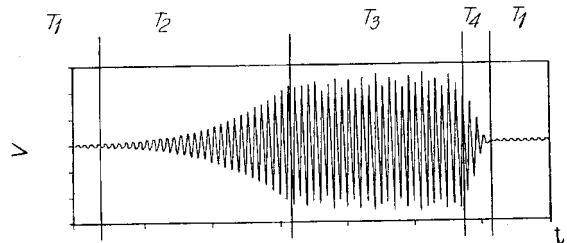
【図 10 D】



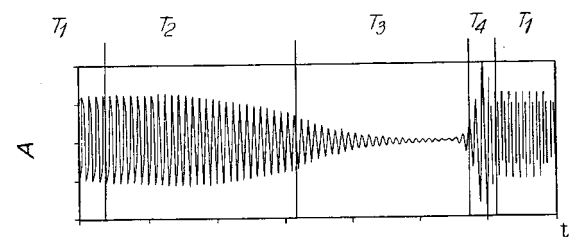
【図 11 A】



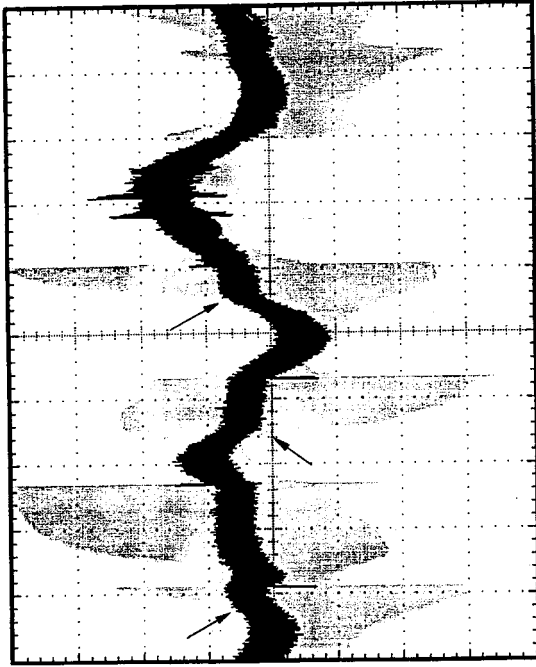
【図 11 B】



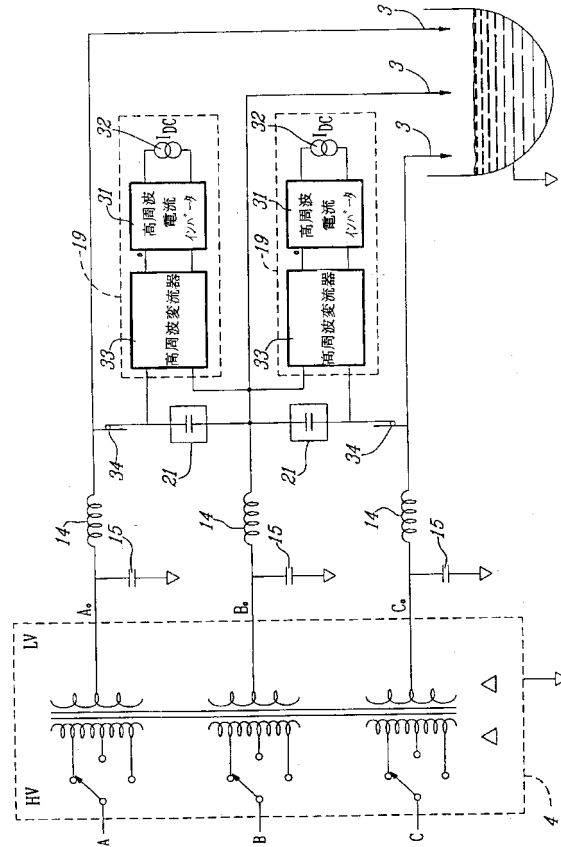
【図 11 C】



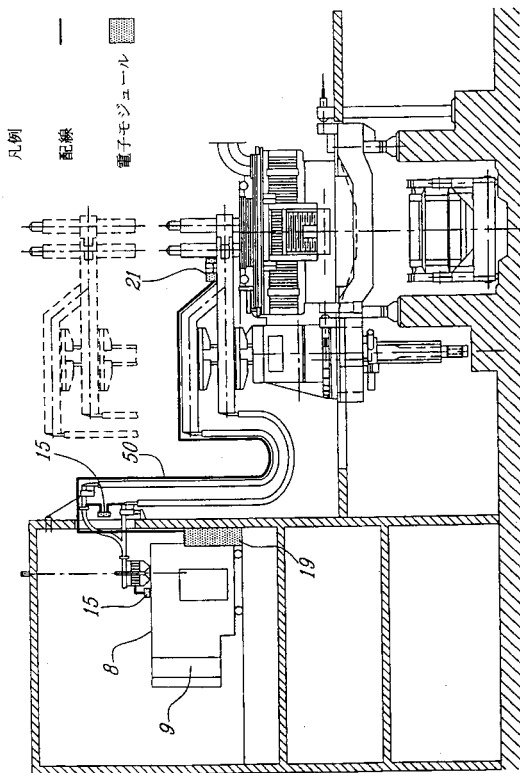
【図 12】



【図 13】



【図 14】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
H 0 5 H 1/48 (2006.01) H 0 5 H 1/48

(72)発明者 ボールガール、フランソワ  
カナダ、ケベック J 4 B 2 Y 1、ブシエルヴィユ、ドゥ ラ ヴェランドリエ、5 6 4

(72)発明者 フランクール、ブルーノ  
カナダ、ケベック J 3 G 6 M 1、ペロイユ、リュ ギャリレ、9 7 1

審査官 中里 翔平

(56)参考文献 特開平 8 - 9 6 9 5 2 ( J P , A )  
特公昭 3 9 - 3 9 3 8 ( J P , B 1 )  
特公昭 4 7 - 4 4 8 8 5 ( J P , B 1 )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H05B 7/144-7/148

F27B 3/28

F27D 11/08

H05B 7/18 -7/22

H05H 1/48