

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4739793号
(P4739793)

(45) 発行日 平成23年8月3日(2011.8.3)

(24) 登録日 平成23年5月13日(2011.5.13)

(51) Int.CI.

F 1

H05H 1/46 (2006.01)
H01L 21/3065 (2006.01)H05H 1/46
H01L 21/302 101G

請求項の数 4 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2005-101593 (P2005-101593)
 (22) 出願日 平成17年3月31日 (2005.3.31)
 (65) 公開番号 特開2006-286254 (P2006-286254A)
 (43) 公開日 平成18年10月19日 (2006.10.19)
 審査請求日 平成20年2月19日 (2008.2.19)

(73) 特許権者 000000262
 株式会社ダイヘン
 大阪府大阪市淀川区田川2丁目1番11号
 (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 100117167
 弁理士 塩谷 隆嗣
 (74) 代理人 100117178
 弁理士 古澤 寛

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】高周波電源装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

高周波電力を発生し、供給される高周波電力の反射特性が時間的に変動する負荷にその高周波電力を供給する周波数可変の電力発生手段と、

前記負荷に入射される高周波電力と前記負荷から反射される高周波電力を検出する電力検出手段と、

前記電力検出手段で検出された前記負荷への入射電力と前記負荷からの反射電力とに基づいて反射係数を算出する反射係数算出手段と、

予め設定された周波数範囲内で周波数を変化させて前記電力発生手段から前記高周波電力を発生させ、前記反射係数算出手段で算出される反射係数が最小となる周波数を求める周波数探索手段と、

前記周波数探索手段で求められた周波数の高周波電力を前記電力発生手段で発生させ、前記負荷に供給する電力供給制御手段と、

を備えた高周波電源装置であって、

前記周波数探索手段は、

予め設定された周波数の可変範囲内の所定の初期周波数を含み当該可変範囲よりも狭い第1の周波数探索範囲を設定する第1の探索範囲設定手段と、

前記設定された第1の周波数探索範囲内に2つの周波数を第1の対周波数として設定する第1の周波数設定手段と、

前記電力発生手段から前記第1の対周波数として設定された2つの周波数の高周波電力

10

20

を発生させたときに、前記反射係数算出手段で算出された前記第1の対周波数の2つの周波数のそれぞれに対応する反射係数のうち小さい方の反射係数を選択する第1の反射係数選択手段と、

前記小さい方の反射係数に対応する周波数を選択する第1の周波数選択手段と、

前記第1の周波数選択手段で選択された反射係数の小さい周波数を含むように、且つ前記第1の周波数探索範囲の周波数幅よりも周波数幅が狭い第2の周波数探索範囲を設定する第2の探索範囲設定手段と、

前記第2の探索範囲設定手段で設定された前記第2の周波数探索範囲内に2つの周波数を第2の対周波数として設定する第2の周波数設定手段と、

前記電力発生手段から前記第2の対周波数として設定された2つの周波数の高周波電力を発生させたときに、前記反射係数算出手段で算出された前記第2の対周波数の2つの周波数のそれぞれに対応する反射係数のうち小さい方の反射係数を選択する第2の反射係数選択手段と、

前記小さい方の反射係数に対応する周波数を選択する第2の周波数選択手段と、

前記第2の反射係数選択手段で選択された反射係数が前記第1の反射係数選択手段で選択された反射係数より小さいか否かを判定する判定手段と、

前記判定手段で前記第2の反射係数選択手段で選択した反射係数が前記第1の反射係数選択手段で選択した反射係数以上と判定されると、前記第1の反射係数選択手段で選択した反射係数を最小反射係数に設定するとともに、前記第1の周波数選択手段で選択した周波数を前記反射係数が最小となる周波数として出力する探索周波数出力手段と、

前記判定手段で前記第2の反射係数選択手段で選択した反射係数が前記第1の反射係数選択手段で選択した反射係数未満と判定されている間は、前記第2の周波数選択手段で選択した周波数を含むように前記第1の周波数探索範囲を設定して、前記第1の周波数設定手段乃至前記判定手段による周波数探索処理を繰り返す探索処理制御手段と、
を備えたことを特徴とする、高周波電源装置。

【請求項2】

前記第1及び第2の周波数設定手段は、所定の比率を用いて前記2つの周波数を設定する、請求項1に記載の高周波電源装置。

【請求項3】

前記周波数探索手段によって求められた最小反射係数に基づいて変動基準幅を決定する変動基準幅決定手段と、

前記電力供給制御手段によって高周波電力の周波数が制御されているときに、所定の周期で前記反射係数算出手段により反射係数を算出させる反射係数監視手段と、

前記反射係数算出手段によって算出される反射係数が前記変動基準幅を外れたか否かを判別する判別手段と、

前記判別手段により反射係数が前記変動基準幅を外れていなければ、前記電力発生手段により発生される高周波電力の周波数を前記周波数探索手段によって求められた反射係数が最小となる周波数に保持し、前記判別手段により反射係数が前記変動基準幅を外れたと判別されると、前記周波数探索手段により反射係数が最小となる周波数を再探索する周波数探索制御手段と、

を更に備えた、請求項1又は2に記載の高周波電源装置。

【請求項4】

前記変動基準幅は、

前記周波数探索手段によって求められた最小反射係数の値に応じて予め設定されており、かつ当該反射係数の値が小さいほどその基準幅が大きく設定されている、請求項3に記載の高周波電源装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願発明は、例えば半導体ウェハプロセスにおいて、プラズマエッチングを行うプラズ

10

20

30

40

50

マ処理装置等といった負荷に高周波電力を供給する高周波電源装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

図11は、特許文献1に記載の従来の高周波電力供給システムの構成例を示す図である。この高周波電力供給システムは、高周波電力を出力するための高周波電源装置31と、この高周波電源装置31に例えば同軸ケーブルを介して接続され、高周波電源装置31の入力インピーダンスと負荷インピーダンスとを整合するためのインピーダンス整合器32と、このインピーダンス整合器32に接続された銅板等からなる負荷接続部33と、この負荷接続部33に接続され例えばプラズマ処理装置からなる負荷Lとで構成されている。

【0003】

【特許文献1】特開平5-63604号公報

【0004】

高周波電源装置31は、負荷Lに対して高周波電力を供給するための装置であり、図示しない電力增幅回路や発振回路等を備え、所定の電力に設定された高周波電力をインピーダンス整合器32に出力する。

【0005】

インピーダンス整合器32は、その入力端から高周波電源装置31側を見た入力インピーダンスと、その入力端から負荷L側を見た負荷インピーダンスとを整合させるためのものであり、高周波電源装置31の出力を効率よく負荷Lに供給するのに用いられる。

【0006】

負荷Lは、エッティングやCVD等の方法を用いて半導体ウェハや液晶基板等の被加工物を加工するための装置である。より詳細には、負荷Lは、例えばプラズマ処理装置（プラズマチャンバー）とされ、このプラズマ処理装置は、内部に備えた真空容器にプラズマ発生用のガスが導入され、供給された高周波電力を用いて上記ガスを電離させて、プラズマを発生させるものである。発生されたプラズマは、半導体ウェハや液晶基板等の被加工物を加工するために利用される。

【0007】

ここで、負荷Lは、高周波電力の出力周波数fと反射係数（又はインピーダンス）との関係において、図12に示すように、所定の出力周波数fsにおいて反射係数が最小値sとなるような特性を有する。また、負荷Lでは、プラズマ処理装置に封入されたガス、プラズマ処理装置内の気圧等の負荷状態によって、図12の一点鎖線で示すように、時間の経過にともなって反射係数が最小値sとなる出力周波数fが出力周波数fsに変化するというように、その特性が頻繁に変化する。

【0008】

図11に示すインピーダンス整合器32には、インダクタL1, L2及びインピーダンス可変素子としての可変キャパシタC1, C2からなる整合回路と、高周波電圧V、高周波電流I、及び高周波電圧Vと高周波電流Iとの位相差を検出する検出器（図略）と、可変キャパシタC1, C2のキャパシタンスの値を調整するための制御回路（図略）とが設けられている。可変キャパシタC1, C2は、制御回路から出力される制御信号に基づいてモータ（図略）が駆動し、そのキャパシタンスの値が調整可能となっている。

【0009】

制御回路は、検出器によって検出された高周波電圧V、高周波電流I、及びそれらの位相差を入力し、それらに基づいてインピーダンス整合器32の入力インピーダンスZ1を演算する。制御回路は、入力インピーダンスZ1と、可変キャパシタC1, C2のインピーダンスZc1, Zc2とにに基づいて、インピーダンス整合器32の出力端子から負荷L側を見た負荷回路側インピーダンスZ2を演算する。

【0010】

そして、制御回路は、算出された負荷回路側インピーダンスZ2に基づいて、入力インピーダンスZ1が高周波電源装置31側の出力インピーダンスZs（例えば50）に一致するように、可変キャパシタC1, C2の調整位置を変化させ、高周波電源装置31と

10

20

30

40

50

負荷 L とのインピーダンスを整合させるようになっている。

【0011】

しかしながら、このインピーダンス整合器 32 は、インピーダンスを整合させる処理に例えば約 1 秒程度の時間を要する。そのため、反射係数の最小値及びその出力周波数が時間の経過にともなって即座に変化する負荷 L には、上記インピーダンス整合器 32 は向きである。また、インピーダンス整合器 32 では、上記したように、インピーダンス整合を行う際に、可変キャパシタ C_1, C_2 のキャパシタンスを調整するためのモータを駆動させるのであるが、インピーダンス整合器 32 は、このようにモータ等の駆動部品を用いているため、メンテナンス性に優れたものといえず、また故障しやすいといった欠点を有する。さらに、インピーダンス整合器 32 は、装置自体のコストが高いといった欠点もある。

10

【0012】

そこで、本願出願人は、上記のような可変キャパシタ C_1, C_2 を備えたインピーダンス整合器 32 を用いずに、高周波電源装置 31 から出力される高周波電力の出力周波数を可変させることにより、負荷 L に対して適切な高周波電力を供給することができるのではと考え、本願発明に至った。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

本願発明は、上記した事情のもとで考え出されたものであって、反射係数が最小となる高周波電力の出力周波数を迅速に求め、その出力周波数に調整して高周波電力を出力する高周波電源装置を提供することを、その課題とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0014】

上記の課題を解決するため、本願発明では、次の技術的手段を講じている。

【0015】

本願発明によって提供される高周波電源装置は、高周波電力を発生し、供給される高周波電力の反射特性が時間的に変動する負荷にその高周波電力を供給する周波数可変の電力発生手段と、前記負荷に入射される高周波電力と前記負荷から反射される高周波電力を検出する電力検出手段と、前記電力検出手段で検出された前記負荷への入射電力と前記負荷からの反射電力とに基づいて反射係数を算出する反射係数算出手段と、予め設定された周波数範囲内で周波数を変化させて前記電力発生手段から前記高周波電力を発生させ、前記反射係数算出手段で算出される反射係数が最小となる周波数を求める周波数探索手段と、前記周波数探索手段で求められた周波数の高周波電力を前記電力発生手段で発生させ、前記負荷に供給する電力供給制御手段と、を備えた高周波電源装置であって、前記周波数探索手段は、予め設定された周波数の可変範囲内の所定の初期周波数を含み当該可変範囲よりも狭い第 1 の周波数探索範囲を設定する第 1 の探索範囲設定手段と、前記設定された第 1 の周波数探索範囲内に 2 つの周波数を第 1 の対周波数として設定する第 1 の周波数設定手段と、前記電力発生手段から前記第 1 の対周波数として設定された 2 つの周波数の高周波電力を発生させたときに、前記反射係数算出手段で算出された前記第 1 の対周波数の 2 つの周波数のそれに対応する反射係数のうち小さい方の反射係数を選択する第 1 の反射係数選択手段と、前記小さい方の反射係数に対応する周波数を選択する第 1 の周波数選択手段と、前記第 1 の周波数選択手段で選択された反射係数の小さい周波数を含むよう且つ前記第 1 の周波数探索範囲の周波数幅よりも周波数幅が狭い第 2 の周波数探索範囲を設定する第 2 の探索範囲設定手段と、前記第 2 の探索範囲設定手段で設定された前記第 2 の周波数探索範囲内に 2 つの周波数を第 2 の対周波数として設定する第 2 の周波数設定手段と、前記電力発生手段から前記第 2 の対周波数として設定された 2 つの周波数の高周波電力を発生させたときに、前記反射係数算出手段で算出された前記第 2 の対周波数の 2 つの周波数のそれに対応する反射係数のうち小さい方の反射係数を選択する第 2 の反射係数選択手段と、前記小さい方の反射係数に対応する周波数を選択する第 2 の周波数選

30

40

50

択手段と、前記第2の反射係数選択手段で選択された反射係数が前記第1の反射係数選択手段で選択された反射係数より小さいか否かを判定する判定手段と、前記判定手段で前記第2の反射係数選択手段で選択した反射係数が前記第1の反射係数選択手段で選択した反射係数以上と判定されると、前記第1の反射係数選択手段で選択した反射係数を最小反射係数に設定するとともに、前記第1の周波数選択手段で選択した周波数を前記反射係数が最小となる周波数として出力する探索周波数出力手段と、前記判定手段で前記第2の反射係数選択手段で選択した反射係数が前記第1の反射係数選択手段で選択した反射係数未満と判定されている間は、前記第2の周波数選択手段で選択した周波数を含むように前記第1の周波数探索範囲を設定して、前記第1の周波数設定手段乃至前記判定手段による周波数探索処理を繰り返す探索処理制御手段と、を備えたことを特徴としている（請求項1）

10

。

【0016】

この構成によれば、供給される高周波電力の出力周波数に応じて反射特性が時間の経過とともにあって変動する負荷に対して、予め設定された周波数範囲内において反射係数が最小となる出力周波数を求める。まず、周波数範囲内の所定の初期周波数を含み当該可変範囲よりも狭い第1の周波数探索範囲を設定し、その第1の周波数探索範囲内に2つの周波数を第1の対周波数として設定して両周波数における反射係数を求める。続いて、第1の対周波数のうち、反射係数の小さい周波数を選択し、その周波数を含み且つ第1の周波数探索範囲の周波数幅よりも周波数幅が狭い第2の周波数探索範囲を設定し、その第2の周波数探索範囲内に2つの周波数を第2の対周波数として設定して両周波数における反射係数を求める。続いて、第2の対周波数のうち、反射係数の小さいほうの周波数を選択し、その周波数の反射係数が第1の対周波数に対して求めた反射係数のうち、小さいほうの反射係数より小さいか否かを判定し、小さいほうの反射係数以上であれば、当該小さいほうの反射係数を有する周波数を反射係数が最小となる周波数として出力し、小さいほうの反射係数未満であれば、周波数探索範囲を狭くして上記の第2の周波数探索範囲の設定処理から判定処理を最小反射係数が得られるまで繰り返す。そして、求められた出力周波数を有する高周波電力を負荷に対して供給する。そのため、例えば出力周波数をスキャンして各出力周波数の反射係数を随時計測し、計測した反射係数の中から最小の反射係数を選択し、その反射係数に係る出力周波数を求める方法に比べ、短時間で反射係数が最小となる出力周波数を求めることができる。しかも、負荷が反射係数の最小値が時間の経過とともにあって変動する場合、その変動に迅速に追従することができる。

20

【0018】

また、上記高周波電源装置において、前記第1及び第2の周波数設定手段は、所定の比率を用いて前記2つの周波数を設定するとよい（請求項2）。

30

【0020】

また、上記高周波電源装置において、前記周波数探索手段によって求められた最小反射係数に基づいて変動基準幅を決定する変動基準幅決定手段と、前記電力供給制御手段によって高周波電力の周波数が制御されているときに、所定の周期で前記反射係数算出手段により反射係数を算出させる反射係数監視手段と、前記反射係数算出手段によって算出される反射係数が前記変動基準幅を外れたか否かを判別する判別手段と、前記判別手段により反射係数が前記変動基準幅を外れていなければ、前記電力発生手段により発生される高周波電力の周波数を前記周波数探索手段によって求められた反射係数が最小となる周波数に保持し、前記判別手段により反射係数が前記変動基準幅を外れたと判別されると、前記周波数探索手段により反射係数が最小となる周波数を再探索させる周波数探索制御手段と、を更に備えるとよい（請求項3）。

40

【0021】

また、上記高周波電源装置において、前記変動基準幅は、前記周波数探索手段によって求められた最小反射係数の値に応じて予め設定されており、かつ当該反射係数の値が小さいほどその基準幅が大きく設定されているとよい（請求項4）。

【0022】

50

本願発明のその他の特徴および利点は、添付図面を参照して以下に行う詳細な説明によつて、より明らかとなろう。

【発明を実施するための最良の形態】

【0023】

以下、本願発明の好ましい実施の形態を、添付図面を参照して具体的に説明する。

【0024】

図1は、本願発明に係る高周波電源装置が適用される高周波電力供給システムの一例を示す図である。この高周波電力供給システムは、半導体ウェハや液晶基板等の被加工物に對して高周波電力を供給して、例えばプラズマエッチングといった加工処理を行うものである。この高周波電力供給システムは、高周波電源装置1、伝送線路2、インピーダンス整合器3、負荷接続部4及び負荷Lで構成されている。10

【0025】

高周波電源装置1には、例えば同軸ケーブルからなる伝送線路2を介してインピーダンス整合器3が接続され、インピーダンス整合器3には、例えば電磁波が漏れないように遮蔽された銅板からなる負荷接続部4が接続され、負荷接続部4には、負荷Lが接続されている。

【0026】

高周波電源装置1は、負荷Lに対して例えば数百kHz以上の出力周波数を有する高周波電力を供給するための装置である。高周波電源装置1については後述する。

【0027】

インピーダンス整合器3は、高周波電源装置1と負荷Lとのインピーダンスを整合させるものであり、図示しないが、インピーダンス素子であるキャパシタやインダクタ等を備えている。より具体的には、例えば高周波電源装置1の出力端から高周波電源装置1側を見たインピーダンス（出力インピーダンス）が例えば50Ωに設計され、高周波電源装置1が、特性インピーダンス50Ωの伝送線路2でインピーダンス整合器3の入力端に接続されるとすると、インピーダンス整合器3は、当該インピーダンス整合器3の入力端から負荷L側を見たインピーダンスを50Ωに整合する。

【0028】

負荷Lは、半導体ウェハや液晶基板等の被加工物をエッチングやCVD等の方法を用いて加工するためのプラズマ処理装置（プラズマチャンバー）である。プラズマ処理装置では、被加工物の加工目的に応じて各種の加工プロセスが実行される。例えば、被加工物に對してエッチングを行う場合には、そのエッチングに応じたガス種類、ガス圧力、高周波電力の供給電力値、及び高周波電力の供給時間等が適切に設定された加工プロセスが行われる。加工プロセスでは、被加工物が配置される容器（図略）内に例えば窒素やアルゴン等のプラズマ放電用ガスが導入され、高周波電力の供給が開始されると、容器内に設けられた2つの端子の間に所定の電圧が印加され、その印加された電圧によってプラズマ放電用ガスが放電されて非プラズマ状態からプラズマ状態になる。そして、プラズマ状態になったガスを用いて被加工物が加工される。

【0029】

本実施形態における高周波電源装置1は、高周波電力を負荷Lに対して供給するものであつて、出力周波数を調整して高周波電力を出力することができる周波数可変装置である。すなわち、負荷Lでは、図12に示したように、高周波電力の出力周波数に応じて反射係数の値が時間の経過にともなって変動するのであるが、この高周波電源装置1は、変動する反射係数の値を定期的に取得するようにし、反射係数が最小となるような高周波電力の出力周波数に調整して当該高周波電力を出力することにより、負荷Lに対して適切なエネルギーを供給するようにしている。

【0030】

高周波電源装置1は、図1に示すように、出力電力設定部11と、制御部12と、メモリ13と、発振部14と、増幅部15と、パワー検出部16と、反射係数算出部17とを備えている。

10

20

30

40

50

【0031】

出力電力設定部11は、例えばユーザ等によって負荷Lに出力すべき高周波電力を設定するためのものであり、図1では省略しているが、高周波電力の出力値を設定するための出力電力設定スイッチ、高周波電力の供給の開始を指示する出力開始スイッチ、及び後述する探索処理において用いられる基準出力周波数 f_0 を設定する周波数設定スイッチ等が備えられた操作部が設けられている。出力電力設定部11において設定された高周波電力の出力値や基準出力周波数 f_0 のデータは、制御部12に出力される。

【0032】

制御部12は、本高周波電源装置1の制御中枢となるものであり、反射係数算出部17において算出された反射係数に基づいて、反射係数が最小となる出力周波数を探索し、取得する機能を有する。また、反射係数が出力周波数にともなって変動した場合、反射係数が最小となる出力周波数を追従し、取得する機能を有するとともに、上記探索機能及び追従機能によって取得された出力周波数に基づいて高周波電力の出力周波数を調整する機能を有する。

10

【0033】

すなわち、上記したように負荷Lでは、時間の経過にともないその負荷状態、つまり反射係数が最小となる出力周波数が変動するのであるが、高周波電力の出力周波数が一定のまま負荷Lに供給すると、反射係数が増大していって、適当なエネルギーが負荷Lに対して供給されなくなることがある、負荷Lにおいてプラズマが発生しなくなることがある。したがって、制御部12では、常時、反射係数が最小となる出力周波数を追従して取得し、当該出力周波数に調整しながら負荷Lに対して高周波電力を供給することにより、負荷Lにおいてプラズマを適切に発生させるようにするとともに、その状態を維持させようとしている。

20

【0034】

制御部12には、メモリ13が接続されており、メモリ13には、反射係数が最小となる高周波電力の出力周波数を探索、追従し、高周波電力をその出力周波数に調整するための制御プログラムが記憶されている。また、メモリ13には、反射係数算出部17において計測された反射係数の値や探索処理において取得された反射係数の値等が変数データとして記憶される。また、メモリ13には、探索処理において取得された反射係数の最小値に対応して、追従処理を行うか否かの判別基準となる変動基準幅が予め記憶されている。この変動基準幅については後述する。

30

【0035】

発振部14は、制御部12からの制御信号によってその発振出力の出力周波数が制御されるものである。すなわち、上記した探索処理及び追従処理によって出力周波数を調整する必要があると判別されたときには、発振部14は、制御部12から出力周波数を調整する内容の制御信号を入力し、その制御信号に基づいて発振出力の出力周波数を変換し、発振出力信号として增幅部15に出力する。

40

【0036】

増幅部15は、発振部14からの発振出力信号を増幅して高周波電力を出力するものである。増幅部15において増幅された発振出力信号は、パワー検出部16を介してインピーダンス整合器3に出力される。

【0037】

パワー検出部16は、増幅部15から出力される高周波電力を検出するものであり、例えば、方向性結合器によって構成されている。パワー検出部16は、増幅部15から負荷L側に進行する高周波（以下、進行波という。）と負荷L側から反射してくる高周波（以下、反射波という。）とを分離して、それらの電力値をそれぞれ検出するものである。パワー検出部16において検出された進行波及び反射波の電力値は、反射係数算出部17に出力される。

【0038】

反射係数算出部17は、パワー検出部16から入力される進行波の値及び反射波の電力

50

値に基づいて、反射係数 f_r を算出するものである。反射係数 f_r は、例えば進行波の電力 P_f 及び反射波の電力 P_r との割合 P_r / P_f を演算することにより求められる。この反射係数 f_r の値は、制御部 12 からのタイマー割り込み信号に応じて制御部 12 に対して定期的に出力される。

【0039】

本高周波電源装置 1 においては、図 2 に示すような方法を用いて、反射係数が最小となる出力周波数 f_m を求めている。すなわち、所定の周波数範囲 $f_a \sim f_b$ に対して周波数範囲 $f_a \sim f_b$ より小さい探索範囲 d を設定する。探索範囲 d 内で 2 点の出力周波数 f_a, f_b を選び、各出力周波数 f_a, f_b における反射係数の小さい方の出力周波数 f_b を選択する。次いで、選択された出力周波数 f_b を中心にして新たに探索範囲 d を設定し、探索範囲 d 内で 2 点の出力周波数 f_a, f_b を選び、反射係数の小さい方の出力周波数 f_b を選択する。そして、上記のように探索範囲を変更しながら反射係数が最小となる出力周波数 f_m を求めるようにしている。

【0040】

そして、反射係数が最小となる出力周波数 f_m を求めた後、反射特性が変化して出力周波数 f_m における反射係数が所定の閾値 L を超えた場合、反射係数が最小となる出力周波数 f_m を取得するために、上記した方法を繰り返す追従する処理を行っている。

【0041】

上記方法に係る制御動作について図 3 に示すフローチャートを参照して説明する。この制御動作においては、まず、反射係数が最小となる高周波電力の出力周波数を探索し取得する探索処理が行われ、その後、反射係数の値が変動すると、その反射係数の値を追従して反射係数が最小となる出力周波数を取得する追従処理が行われ、高周波電力の出力を、取得した出力周波数に調整しながら負荷 L に対し供給する。

【0042】

まず、ユーザの出力電力設定部 11 を通じた操作によって、所定の周波数範囲 $f_a \sim f_b$ (例えは $13 \text{ MHz} \sim 14 \text{ MHz}$) に対して、高周波電力の出力レベルや高周波電力の出力周波数の探索処理において基準となる基準出力周波数 f_0 が設定される (S1)。この基準出力周波数 f_0 の値は、負荷 L であるプラズマ処理装置に対する出力周波数として標準的に用いられる、例えは 13.56 MHz に設定される。なお、基準出力周波数 f_0 の値は、これに限らず、任意の値に設定されてもよい。

【0043】

次いで、反射係数が最小となる大まかな出力周波数を探索する探索処理 (以下、「大略探索処理」という。) を行う。すなわち、この大略探索処理においては、図 4 に示すように、設定された任意の基準出力周波数 f_0 (例えは 13.56 MHz) を中心として、所定の周波数範囲 $f_a \sim f_b$ より狭い探索範囲 d (出力周波数 $f_1 \sim f_2$) が決定される (S2)。

【0044】

この場合の探索範囲 d は、基準出力周波数 f_0 を中心として例え $\pm 100 \text{ kHz}$ の範囲とされる。このように、所定の周波数範囲 $f_a \sim f_b$ に対して探索範囲 d を比較的狭い範囲に設定しているのは、プラズマ処理装置の場合、高周波電力の出力周波数によってはプラズマが消滅してしまう領域 (周波数範囲) があり、探索範囲 d が、少しでもプラズマが消滅してしまう領域に含まれないようにするためである。

【0045】

次いで、例えは黄金比を用いて探索範囲 d 内の 2 つの出力周波数 f_3, f_4 が設定され (図 5 の上図参照) 、出力周波数 f_3, f_4 における反射係数 f_3, f_4 が計測される。そして、計測された反射係数 f_3, f_4 のうちで小さい方の反射係数 (図 5 では f_4) が選択され、その反射係数における出力周波数 (図 5 では f_4) が取得される (S3)。

【0046】

具体的には、制御部 12 では、まず、発振部 14 に高周波電力を出力周波数 f_3 で出力すべき制御信号が出力される。発振部 14 では、増幅部 15 に対して出力周波数 f_3 で出

10

20

30

40

50

力すべき発振出力信号が出力され、増幅部 15 から出力周波数 f_3 である高周波電力が負荷 L に対して出力される。パワー検出部 16 では、出力された高周波電力に基づいて進行波の電力及び反射波の電力が検出され、それらは反射係数算出部 17 に出力される。反射係数算出部 17 では、それらの進行波の電力及び反射波の電力に基づいて反射係数 α_3 が算出され、制御部 12 に出力される。これにより、制御部 12 は、出力周波数 f_3 における反射係数 α_3 を取得する。

【0047】

制御部 12 では、同様にして、発振部 14 に高周波電力を出力周波数 f_4 で出力すべき制御信号が出力されることにより、出力周波数 f_4 における反射係数 α_4 が取得される。そして、反射係数 α_3, α_4 のうち、小さい方の反射係数 α_4 が選択され、選択された反射係数 α_4 とそのときの出力周波数 f_4 とは、一旦メモリ 13 に記憶される。なお、探索範囲 d 内の 2 つの出力周波数 f_3, f_4 を設定する方法は、黄金比を用いる方法に限るものではない。

【0048】

次いで、制御部 12 では、取得した出力周波数に基づいて反射係数の最小値を探索する探索処理（以下、「局所探索処理」という。）が行われる。この局所探索処理では、図 5 に示すように、大略探索処理において取得された出力周波数が f_4 であったとした場合、出力周波数 f_4 を探索範囲の中心として設定し、出力周波数 f_4 を中心とした所定の探索範囲 d （出力周波数 $f_5 \sim f_6$ ）を決定する（S4）。この場合、探索範囲 d は、経験的に習得された値が採用されるが、ステップ S2 で設定した範囲と同じ範囲（ $\pm 100 \text{ kHz}$ ）でもよく、ステップ S2 で設定した範囲に定数を掛け合わせた範囲でもよい。

【0049】

探索範囲 d が決定されると、上記探索範囲 d 内における例えば黄金比で決定された出力周波数 f_7, f_8 において、反射係数の小さい方の出力周波数（図 5 では f_8 ）が取得される（S5）。このとき、取得された出力周波数 f_8 の値と、当該出力周波数における反射係数 α_8 とは、一旦メモリ 13 に記憶される。

【0050】

次いで、このときの出力周波数 f_8 における反射係数 α_8 と、前回の探索時に取得した出力周波数 f_4 における反射係数 α_4 とを比較し、いずれが大きいか否かを判別する（S6）。前回の探索時に取得した反射係数 α_4 が今回の探索時に取得した反射係数 α_8 より大きい場合（S6：NO）、ステップ S4 に戻り、さらに局所探索処理を行う。すなわち、この状態は、図 6 に示すように、今回取得した反射係数 α_8 が前回取得した反射係数 α_4 より小さいときを表しており、つまり反射係数の最小値は、今回取得した反射係数 α_8 よりさらに小さい場合であり、この場合には、反射係数の最小値を探索するために局所探索処理をさらに行う。なお、このときの局所探索処理では、今回取得した出力周波数 f_8 が基準出力周波数として設定される。

【0051】

一方、前回の探索時に取得した反射係数 α_4 が今回の探索時に取得した反射係数 α_8 より小さい場合、又は反射係数 α_4 及び反射係数 α_8 の値が同じ場合（S6：YES）、ステップ S7 に進む。すなわち、この状態は、図 7 に示すように、前回取得した反射係数 α_4 が今回取得した反射係数 α_8 より小さいか又は同じときを表しており、つまり、前回取得した反射係数 α_4 が最小値となっている場合である。このようにして、反射係数 α_4 が探索範囲内における最小値として取得される（S7）。

【0052】

次に、ステップ S8 では、前回の探索時に取得し、最小値として取得された反射係数 α_4 に基づいて、その反射係数が変動した場合に、変動する反射係数の値を追従するか否かの判別基準となる変動基準幅を決定する。

【0053】

以下では、変動基準幅の決定方法について説明する。図 8 は、例えばメモリ 13 に記憶

10

20

30

40

50

される変動基準幅を示すテーブルである。図 8 によれば、反射係数は、その値に応じて複数のゾーンに区分けされており、各ゾーンによって変動基準幅が異なるように予め設定されている。また、反射係数の値が大きいゾーンほど、変動基準幅が小さくなるように設定されている。例えば、図 9 に示すように、最小値として取得した反射係数 4 が A ゾーン内にあるとすると、反射係数 4 の変動基準幅は例えば $\pm 10\%$ とされる。また、例えば、最小値として取得した反射係数 4 が E ゾーン内にあるとすると、反射係数 4 の変動基準幅は例えば $\pm 500\%$ とされる。

【 0 0 5 4 】

ここで、A ゾーンにある反射係数 4 が時間の経過にともなって変動し、反射係数の値が $\pm 10\%$ の範囲を外れたときに、その反射係数を追従する追従処理が行われるようになっている。また、E ゾーンにある反射係数 4 が時間の経過にともなって変動し、反射係数の値が $\pm 500\%$ の範囲を外れたときに、その反射係数を追従する追従処理が行われるようになっている。

【 0 0 5 5 】

このように、反射係数の大小によって変動基準幅が異なるように設定されているのは、仮に各ゾーンで変動基準幅が同じであって反射係数が小さい場合に変動基準幅が小さく設定されているとすると、追従処理を頻繁に行う必要がある。反射係数が小さい場合には、負荷の状態が比較的安定しているため、そのような状態で追従処理を行ってあまり意味がないからである。また、逆に、反射係数が大きい場合に変動基準幅が大きく設定されているとすると、追従処理があまり行われなくなる。反射係数が大きい場合には、その変化が激しいため、その変化を適確に捉える必要があるからである。

【 0 0 5 6 】

なお、上記したゾーンの数は、図 8 に示したテーブルにおける数に限るものではない。また、変動基準幅は、図 10 に示すように、反射係数の絶対値によって反射係数が大きいほど変動基準幅が小さくなるように区分されていてもよい。

【 0 0 5 7 】

図 3 に戻り、制御部 12 では、反射係数が定期的に監視され、反射係数が上記変動基準幅を外れるか否かが判別される。すなわち、制御部 12 では、タイマー割り込み信号が反射係数算出部 17 に出力され (S 9)、タイマー割り込み時に反射係数算出部 17 で算出された反射係数 c の値が取り込まれる (S 10)。すなわち、取り込まれる反射係数 c の値は、現時点において計測された反射係数の値である。そして、取り込んだ反射係数 c とステップ S 8 において設定した反射係数の変動基準幅の上限値 u とが比較され、取り込んだ反射係数 c の値が変動基準幅の上限値 u より小さいか否かを判別する (S 11)。

【 0 0 5 8 】

取り込んだ反射係数 c が変動基準幅の上限値 u より小さい場合 (S 11 : YES)、取り込んだ反射係数 c とステップ S 8 において設定した反射係数の変動基準幅の下限値 d とが比較され、取り込んだ反射係数 c の値が変動基準幅の下限値 d より大きいか否かが判別される (S 12)。取り込んだ反射係数 c が変動基準幅の下限値 d より大きい場合 (S 12 : YES)、ステップ S 9 に戻り、再度、定期的に反射係数が上記変動基準幅を外れるか否かが判別される。すなわち、この状態は、反射係数の変動が小さくて、変動基準幅を外れない場合を示している。

【 0 0 5 9 】

一方、取り込んだ反射係数 c の値が変動基準幅の上限値 u を越える場合 (S 11 : NO)、すなわち、反射係数が大きくなる方向に変動した場合、ステップ S 2 の大略探索処理に戻り、取り込んだ反射係数 c における出力周波数を基準出力周波数 f_0 として探索範囲を決定し、再度、反射係数が最小となる出力周波数を取得する探索処理が行われる。

【 0 0 6 0 】

また、取り込んだ反射係数 c の値が変動基準幅の上限値 u を越えないが (S 11 :

10

20

30

40

50

YES)、取り込んだ反射係数 c の値が変動基準幅の下限値 d を下回った場合 (S12: NO)、すなわち、反射係数が小さくなる方向に変動した場合も、ステップ S2 の大略探索処理に戻る。

【0061】

以降、上記した大略探索処理及び局所探索処理を繰り返し、時間の経過にともない変化する反射係数が最小となる出力周波数を追従していく。反射係数 c の値が変動基準幅を外れた場合に行われる大略探索処理及び局所探索処理は、変化する反射係数が最小となる出力周波数を追従する追従処理として機能する。これにより、常時、反射係数が最小となる出力周波数を取得することができ、プラズマが発生している負荷 L に対して適切な高周波電力を供給することができる。

10

【0062】

反射係数が最小となる出力周波数を探索する方法としては、例えば所定の周波数領域において出力周波数を所定の間隔でスキャンさせ、スキャンされた出力周波数における反射係数をそれぞれ計測し、計測された反射係数の中から最小の反射係数と、その最小の反射係数における出力周波数とを取得する方法もある。

【0063】

しかしながら、この方法によれば、所定の間隔ごとにスキャンさせて反射係数を所定の間隔ごとに取得するので、時間を要するという欠点があり、変動する反射係数に対して迅速に処理していくことが困難である。ところが、本実施形態に係る探索方法によれば、所定の探索範囲を設定してその探索範囲内において最小となる反射係数を探索していくので、変動する反射係数の最小値を迅速に取得することができる。

20

【0064】

もちろん、この発明の範囲は上述した実施の形態に限定されるものではない。

【図面の簡単な説明】

【0065】

【図1】本願発明に係る高周波電源装置が適用される高周波電力供給システムの構成図である。

【図2】高周波電源装置の制御動作の概略を示す図である。

【図3】高周波電源装置の制御動作を示すフローチャートである。

【図4】基準出力周波数及び探索範囲を説明するための図である。

30

【図5】大略探索処理及び局所探索処理の説明するための図である。

【図6】局所探索処理を再度行う場合の出力周波数と反射係数との特性図である。

【図7】反射係数の最小値を取得したときの出力周波数と反射係数との特性図である。

【図8】ゾーンごとの変動基準幅を示すテーブルの一例を示す図である。

【図9】ゾーンと変動基準幅との関係を示す図である。

【図10】ゾーンと変動基準幅との他の関係を示す図である。

【図11】従来の高周波電力供給システムの構成図である。

【図12】出力周波数と反射係数との特性図である。

【符号の説明】

【0066】

40

1 高周波電源装置

3 インピーダンス整合器

11 出力電力設定部

12 制御部

13 メモリ

14 発振部

15 増幅部

16 パワー検出部

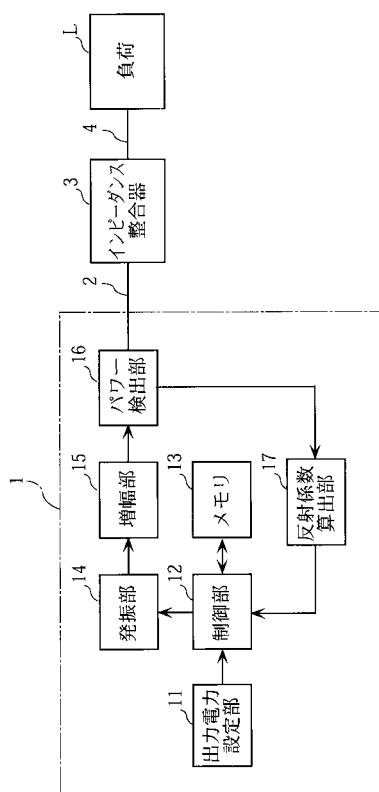
17 反射係数算出部

d 探索範囲

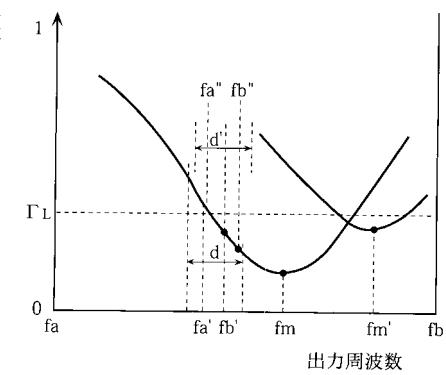
50

f 0 基準出力周波数
L 負荷

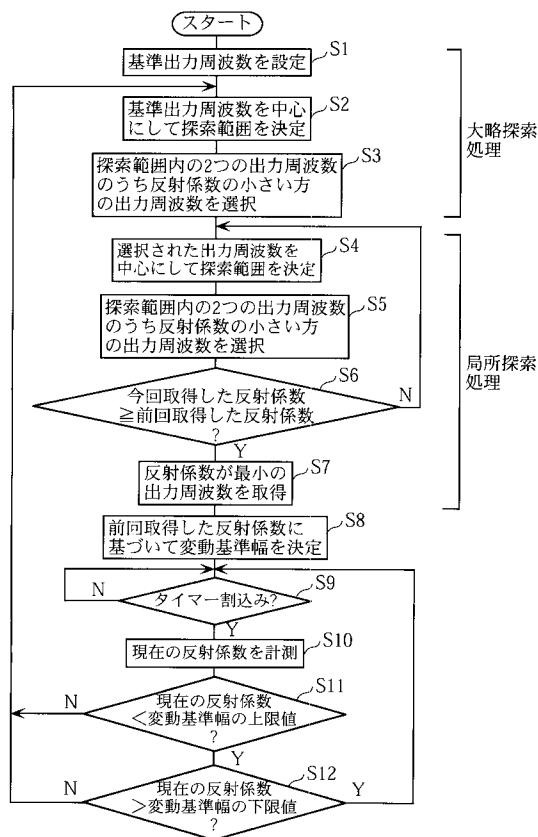
【図1】



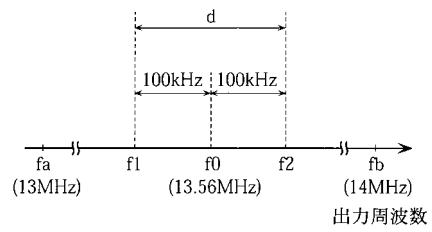
【図2】



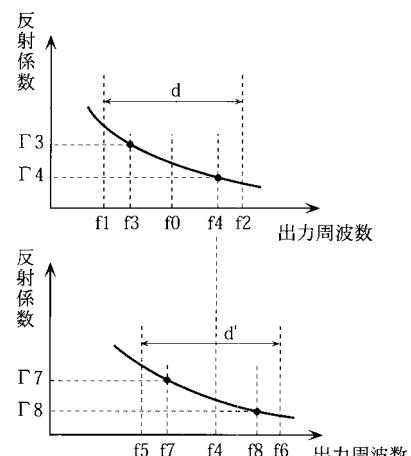
【図3】



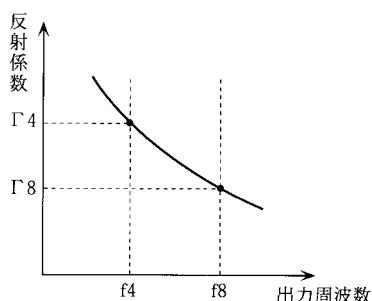
【図4】



【図5】



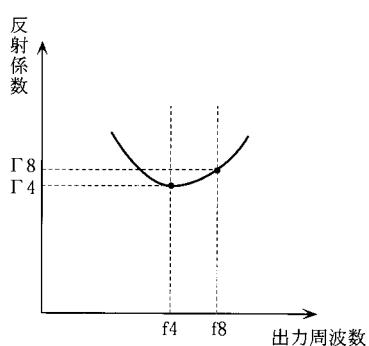
【図6】



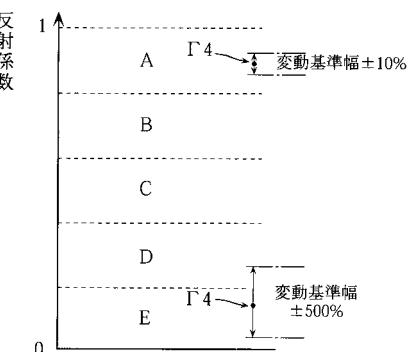
【図8】

反射係数	ゾーン	変動基準幅
大	A	±10%
	B	±50%
	C	±100%
小	D	±250%
	E	±500%

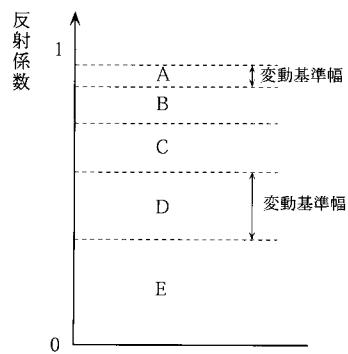
【図7】



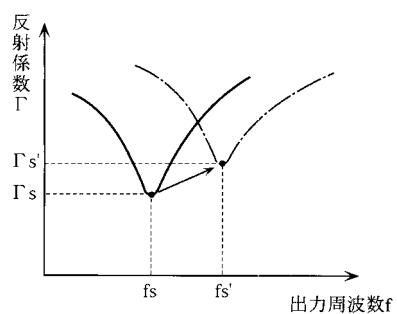
【図9】



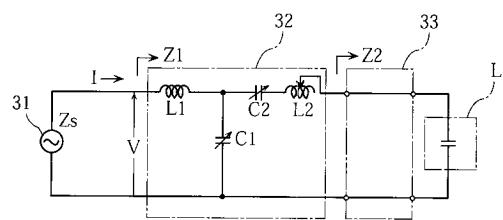
【図 1 0】



【図 1 2】



【図 1 1】



フロントページの続き

(72)発明者 田中 良平
大阪市淀川区田川2丁目1番11号 株式会社ダイヘン内
(72)発明者 的場 弘
大阪市淀川区田川2丁目1番11号 株式会社ダイヘン内

審査官 林 靖

(56)参考文献 米国特許第06020794(US, A)
特許第3001658(JP, B2)
特開2004-152832(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 05 H 1 / 00 - 1 / 54
C 23 C 14 / 00 - 14 / 58
C 23 C 16 / 00 - 16 / 56
H 01 L 21 / 302
H 01 L 21 / 304
H 01 L 21 / 461
H 01 L 21 / 3065
H 01 L 21 / 205
H 01 L 21 / 31
H 01 L 21 / 365
H 01 L 21 / 469
H 01 L 21 / 86