

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7544594号  
(P7544594)

(45)発行日 令和6年9月3日(2024.9.3)

(24)登録日 令和6年8月26日(2024.8.26)

(51)国際特許分類

H 0 5 H 1/46 (2006.01)  
H 0 3 H 7/40 (2006.01)

F I

H 0 5 H 1/46  
H 0 3 H 7/40

R

請求項の数 2 (全12頁)

(21)出願番号 特願2020-217562(P2020-217562)  
 (22)出願日 令和2年12月25日(2020.12.25)  
 (65)公開番号 特開2022-102688(P2022-102688)  
 A)  
 (43)公開日 令和4年7月7日(2022.7.7)  
 審査請求日 令和5年10月19日(2023.10.19)

(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二丁目一番十一  
 号  
 (74)代理人 110002572  
 弁理士法人平木国際特許事務所  
 長谷川 雄一  
 大阪府大阪市淀川区田川 2 丁目 1 番 11  
 号 株式会社ダイヘン内  
 上野 雄也  
 大阪府大阪市淀川区田川 2 丁目 1 番 11  
 号 株式会社ダイヘン内  
 審査官 右 高 孝幸

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 高周波電源システム

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

接続される負荷に対して高周波電力を提供する、高周波電源システムであって、  
 第1周波数でバイアス電力を供給するバイアス電源と、  
 前記第1周波数よりも高い第2周波数の高周波出力であって、前記第1周波数で周波数  
 変調された高周波出力を供給するソース電源と、

前記バイアス電力と前記周波数変調された高周波出力とを取得し、前記ソース電源側の  
 インピーダンスと前記負荷側のインピーダンスとの整合を取るインピーダンス整合回路を  
 含む整合器と、を備え、

前記ソース電源は、前記第1周波数の変調テーブルを有し、当該変調テーブルから読み出  
 した波形の変調開始位相および変調量ゲインを最適変調開始位相および最適変調量ゲイン  
 に変更し、これを前記第2周波数の基本波形に適用して周波数変調するように構成されて  
 おり、

前記ソース電源は、前記第1周波数と同一の周波数を有し、タイミングを取るための上  
 リガ信号を発生するトリガ信号生成部を備えており、前記トリガ信号に応答して、前記変  
 調量ゲインを任意の値に固定した状態で前記変調開始位相をスイープしながら前記反射波  
 を検出し、当該反射波が最小となる前記最適変調開始位相を決定するようにプログラムさ  
 れているとともに、前記変調開始位相を前記最適変調開始位相に固定した状態で前記変調量  
 ゲインをスイープしながら前記反射波を検出し、当該反射波が最小となる前記最適変調量  
 ゲインを決定するようにプログラムされている、高周波電源システム。

**【請求項 2】**

請求項1において、

前記ソース電源は、進行波および反射波を検出し、当該検出した進行波および反射波の移動平均値を算出し、当該反射波の移動平均値が最小となる前記最適変調開始位相および前記最適変調量ゲインを決定する、高周波電源システム。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本開示は、高周波電源システムに関する。

**【背景技術】****【0002】**

半導体製造の分野では、電子機器の小型化・高機能化に伴って高密度な実装が要求されており、実装基板への素子の接続は微細化され、より信頼性の高い実装が必要となっている。

**【0003】**

実装の信頼性を確保する方法の一つに、プラズマによる表面改質方法がある。例えば、被処理基板にプラズマ処理を施すと、基板の表面に付着した有機物による汚染を除去でき、ワイヤーボンディングのボンディング強度の向上が図れ、濡れ性が改善され、基板と封止樹脂との密着性を向上できる。このようなプラズマ処理を施すためには、プラズマリアクタ装置に対して電源装置を接続する必要がある。

**【0004】**

例えば、特許文献1は、プラズマリアクタ装置に接続される電源装置の構成例について開示する。具体的に、特許文献1は、高周波(ソース)電源と低周波(バイアス)電源を、整合回路を介して重畠させてプラズマリアクタ装置に供給する構成について開示している。整合回路において、電源側とプラズマリアクタ装置側とのインピーダンス整合を取ることにより、効率的な電源供給を実現しようとしている。

**【先行技術文献】****【特許文献】****【0005】**

【文献】特開平7-74159号公報

30

【文献】特表2018-536295号公報

【文献】特開2017-188434号公報

【文献】米国特許第10304669号明細書

**【発明の概要】****【発明が解決しようとする課題】****【0006】**

特許文献1で示されるように2周波数電源を供給する場合、プラズマリアクタ装置のプラズマチャンバ内には、プラズマと共に、プラズマシースが発生することが知られている。このプラズマシースは、一般的に電気的に絶縁されているものと見なすことができ、プラズマチャンバの電極間に仮想的なコンデンサが形成されていると見ることができる。そして、低周波(バイアス)電源の電圧が周期的に変化することに連動してプラズマの位置が変動するため、プラズマシースの静電容量も周期的に変動する(例えば、プラズマチャンバの構造によってバイアス周波数と同一あるいは2倍の周期で変動する)。つまり、プラズマインピーダンスがバイアス電源の電圧の変化によって高速に変化することを意味する。

40

**【0007】**

しかしながら、整合器は、インピーダンス可変素子をモータで動作させているため、高速なプラズマインピーダンスの変化に対してマッチング動作を追従させることができない。その結果、混変調歪( IMD : Inter-Modulation Distortion )によって、ソース電源の出力端に帰還する反射波Pr量が増加してしまう。反射波が増大すると効率的、かつ正

50

確に電源を負荷側に供給できないため、IMDを低減する必要がある。

【0008】

この点、例えば、特許文献2から4は、低周波数側電源(LF)の周期中で、高速に分割して演算したインピーダンスおよび周波数整合器ルックアップテーブルの2つから反射波が低減されるような高周波数電源(HF)の位相(周波数)と電力を求め、LFからの「トリガ信号」に従って、HFが動作するよう制御することにより、IMDを低減する技術を開示している。

【0009】

しかしながら、特許文献1から3に開示の技術では、低周波数側電源(LF)の一周期(例えば、400kHz)内で多くの処理を高速に実行しなければならず、高周波電源側の負担が非常に大きい。

本開示はこのような状況に鑑み、IMDによる反射波Pr(反射係数と同義)の増加を抑える処理を簡略化する技術を提案する。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記課題を解決するために、本開示は、接続される負荷に対して高周波電力を提供する、高周波電源システムであって、第1周波数でバイアス電力を供給するバイアス電源と、第1周波数よりも高い第2周波数の高周波出力であって、第1周波数で周波数変調された高周波出力を供給するソース電源と、バイアス電力と周波数変調された高周波出力とを取得し、ソース電源側のインピーダンスと負荷側のインピーダンスとの整合を取りインピーダンス整合回路を含む整合器と、を備え、ソース電源は、第1周波数と同一の周波数を有し、タイミングを取るためのトリガ信号に応答して、変調開始位相および変調量ゲインをそれぞれ変化させながら反射波を検出し、当該反射波が最小となる最適変調開始位相および最適変調量ゲインを決定する、高周波電源システムについて提供する。

【0011】

本開示に関連する更なる特徴は、本明細書の記述、添付図面から明らかになるものである。また、本開示の態様は、要素および多様な要素の組み合わせ、ならびに以降の詳細な記述と添付される特許請求の範囲の様態により達成され実現される。

本明細書の記述は典型的な例示に過ぎず、特許請求の範囲又は適用例を如何なる意味においても限定するものではないことを理解する必要がある。

【発明の効果】

【0012】

本開示の技術によれば、IMDによる反射波Prの増加を抑える処理を簡略化する(処理演算数を削減する)ことが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本実施形態による電源供給システム(高周波電源システムとも言う)1にプラズマ負荷40を接続した状態を示す図である。

【図2】本実施形態によるソース電源10の内部構成例を示す図である。

【図3A】本実施形態による、ソース電源10内の整合処理を説明するためのフローチャート(前半)である。

【図3B】本実施形態による、ソース電源10内の整合処理を説明するためのフローチャート(後半)である。

【図4】変調動作開始から整合完了までの進行波Pfおよび反射波Prの変化の様子を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、添付図面を参照して本開示の実施形態について説明する。添付図面では、機能的に同じ要素は同じ番号で表示される場合もある。なお、添付図面は本開示の原理に則った具体的な実施形態と実装例を示しているが、これらは本開示の理解のためのものであり、

決して本開示を限定的に解釈するために用いられるものではない。

【0015】

本実施形態では、当業者が本開示を実施するのに十分詳細にその説明がなされているが、他の実装・形態も可能で、本開示の技術的思想の範囲と精神を逸脱することなく構成・構造の変更や多様な要素の置き換えが可能であることを理解する必要がある。従って、以降の記述をこれに限定して解釈してはならない。

【0016】

更に、本開示の実施形態は、汎用コンピュータ上で稼動するソフトウェアで実装しても良いし専用ハードウェア又はソフトウェアとハードウェアの組み合わせで実装しても良い。

【0017】

<電源供給システム1の構成例>

図1は、本実施形態による電源供給システム（高周波電源システムとも言う）1にプラズマ負荷40を接続した状態を示す図である。電源供給システム1は、ソース電源（高周波出力を供給）10と、バイアス電源（低周波出力を供給）20と、ソース電源10およびバイアス電源20のそれぞれから出力が供給され、ソース電源10およびバイアス電源20側とプラズマ負荷40側とのインピーダンス整合を取る整合器（インピーダンス変換装置ともいう）30と、を備え、ソース電源10から出力する進行波（ソース電力）とバイアス電源20から出力する進行波（バイアス電力）とを、例えば重畠してプラズマ負荷40に供給するシステムである。

【0018】

<ソース電源10の内部構成例>

図2は、本実施形態によるソース電源10の内部構成例を示す図である。図2に示されるように、ソース電源10は、トリガ信号生成部201と、周波数変調量・開始位相コントローラ202と、FM変調基本波形テーブル203と、開始位相設定部204と、変調量ゲイン設定部205と、変調テーブル更新部206と、基本波生成部207と、加算部（変調部）208と、DDS（Digital Direct Synthesizer）209と、増幅器210と、検出器211と、広帯域検出部212と、平均化処理部213と、振幅設定コントローラ216と、電力設定部214と、減算部215と、を備える。

【0019】

トリガ信号生成部201は、バイアス電源（低周波側）20の動作周波数（例えば、400kHz）と同一の周波数のトリガ信号（タイミング信号）をバイアス電源20と同一のタイミングで生成し、これを周波数変調量・開始位相コントローラ202に提供する。周波数変調量・開始位相コントローラ202は、開始位相設定部204と変調量ゲイン設定部205に開始位相あるいは変調量ゲイン（変調範囲（例えば、±1.2MHz）のゲインコントロールの割合を示す値）の設定を指示する。FM変調基本波形テーブル（メモリ）203は、例えば、40.68MHz±1.2MHzの範囲内の波形を400kHzで変調して得られる波形を格納するテーブルであって、周波数変調量・開始位相コントローラ202からの指示に従って、FM変調基本波形を出力する。開始位相設定部204は、FM変調基本波形における開始位相を設定する。変調量ゲイン設定部205は、FM変調基本波形における、変調量ゲインを設定する。変調テーブル更新部206は、FM変調テーブルにおける現時点でFM変調に用いる変調量ゲインの値と開始位相の値を更新する。

【0020】

基本波生成部207は、ソース電源の基本波（例えば、40.68MHz）であってFM変調の対象の信号を生成する。加算部（変調部）208は、変調テーブル更新部206からの変調量ゲインおよび開始位相を、基本波生成部207からの基本波に反映してFM変調（例えば、49.68MHz±1.2MHzの範囲内の波形を400kHzでFM変調）する。DDS（Digital Direct Synthesizer）209は、FM変調された信号をAD変換し、総周波信号として出力する。増幅器210は、高周波信号（FM変調信号）を増幅してRF出力としての進行波電力Pfを整合器30に供給する。なお、以降では進行波電力Pfを単に進行波Pfという。また、進行波電力Pfの電圧成分を進行波電圧という

10

20

30

40

50

。同様に、プラズマ負荷 40 側から反射してくる反射波電力  $P_r$  を単に反射波  $P_r$  という。  
。また、反射波電力  $P_r$  の電圧成分を反射波電圧という。

【0021】

検出器 211 は、増幅器 210 からの PF 信号に対応する進行波  $P_f$  を検出すると共に、整合器 30 を介してプラズマ負荷 40 側から反射された反射波  $P_r$  を検出する。広帯域検出部 212 は、所定数分（所定期間）に亘る進行波  $P_f$  と反射波  $P_r$  を検出し、蓄積し、当該所定数分の進行波  $P_f$  および反射波  $P_r$  を平均化処理部 213 に出力する。平均化処理部 213 は、広帯域検出部 212 から受け取った所定数分の進行波  $P_f$  および反射波  $P_r$  の平均値（所定期間毎の移動平均）を求め、反射波  $P_r$  を減算部 215 に出力し、進行波  $P_f$  および反射波  $P_r$  の平均値（所定期間毎の移動平均）を周波数変調量・開始位相コントローラ 202 に出力する。

10

【0022】

電力設定部 214 は、目標の電力設定値を出力する。減算部 215 は、目標の電力設定値と検出された進行波  $P_f$ （平均化処理部 213 の出力値）との差を算出し、振幅設定コントローラ 216 に出力する。振幅設定コントローラ 216 は、減算部 215 で算出された差を基づいて FM 变調における振幅値を設定する。

【0023】

周波数変調量・開始位相コントローラ 202 は、平均化処理部 213 から出力された進行波  $P_f$  および反射波  $P_r$  の平均値（所定期間毎の移動平均）を内部メモリ（図示せず）に格納する。また、周波数変調量・開始位相コントローラ 202 は、予め決められた開始位相設定値および変調量ゲイン設定値の全てについて反射波  $P_r$  を取得していない場合には、開始位相あるいは変調量ゲインを変更するよう開始位相設定部 204 あるいは変調量ゲイン設定部 205 を制御する。さらに、周波数変調量・開始位相コントローラ 202 は、全ての開始位相設定値および変調量ゲイン設定値に対応する反射波  $P_r$  のうち、最小の反射波  $P_r$  となる開始位相設定値および変調量ゲイン設定値を求め、それ以降の FM 变調のパラメータ（変調量ゲイン設定値および開始位相設定値）を固定する。

20

【0024】

<整合処理の詳細>

図 3A および図 3B は、本実施形態による、ソース電源 10 内の整合処理を説明するためのフローチャートである。

30

【0025】

(i) ステップ 301

周波数変調量・開始位相コントローラ 202 は、トリガ信号生成部 201 からトリガ信号（バイアス電源 20 の動作周波数（400 kHz）と同一の信号：タイミング信号）を受け取り、開始位相設定部 204 に開始位相（初期値）の設定を指示する。当該指示に応答して、開始位相設定部 204 は、FM 变調基本波形テーブル 203 から基本波形（例えば、40.68 MHz ± 1.2 MHz の範囲内の波形を 400 kHz の周波数で変調した波形）を読み込み、任意の開始位相（初期値）を設定し、当該開始位相を反映した基本波形を変調量ゲイン設定部 205 に出力する。

40

【0026】

(ii) ステップ 302

周波数変調量・開始位相コントローラ 202 から変調量ゲイン設定の指示を受け、開始位相設定部 204 から開始位相を反映した基本波形を受け取ると、変調量ゲイン設定部は、任意の変調量ゲイン（初期値）を設定し、当該変調量ゲインを反映した基本波形を変調テーブル更新部 206 に出力する。

【0027】

そして、加算部（変調部）208 は、変調テーブル更新部 206 から出力された初期設定基本波を、基本波生成部 207 から出力された基本波（例えば、ソース電源 10 における 40.68 MHz の基本波）に反映して FM 变調を実行し、DDS 209 に出力する。

【0028】

50

## (iii) ステップ 303

検出器 211 は、変調量ゲイン（初期値）および開始位相（初期値）で変調し、増幅することによって得られた高周波出力（進行波  $P_f$ ：増幅器 210 の出力）を検出すると共に、プラズマ負荷 40 側からの反射波  $P_r$  を検出し、それらを広帯域検出部 212 に出力する。そして、広帯域検出部 212 は、所定検出回数分の（あるいは所定期間で検出された）進行波  $P_f$  および反射波  $P_r$  を検出し、平均化処理部 213 で移動平均値を算出する。

## 【0029】

## (iv) ステップ 304

周波数変調量・開始位相コントローラ 202 は、開始位相を前回の値から所定値分（変更ステップ量は予め決められている）変更する。このとき、変調量ゲインは前回と同一値に固定し、変調テーブル更新部 206 は、開始位相が変更された基本波を加算部（変調部）208 に出力する。加算部（変調部）208 は、変調テーブル更新部 206 から出力された基本波（開始位相が変更されたもの）を、基本波生成部 207 から出力された基本波に反映して FM 変調を実行し、DDS 209 に出力する。

10

## 【0030】

## (v) ステップ 305

検出器 211 は、変調量ゲイン（初期値）および変更された開始位相で基本波を変調し、増幅することによって得られた高周波出力（進行波  $P_f$ ：増幅器 210 の出力）を検出すると共に、プラズマ負荷 40 側からの反射波  $P_r$  を検出し、それらを広帯域検出部 212 に出力する。そして、広帯域検出部 212 は、所定検出回数分の（あるいは所定期間で検出された）進行波  $P_f$  および反射波  $P_r$  を検出し、平均化処理部 213 で移動平均値を算出する。

20

## 【0031】

そして、ステップ 304 および 305 の処理を予め決められた開始位相の範囲で繰り返し、それらに対応する反射波  $P_r$  が検出される。検出された反射波  $P_r$  は、周波数変調量・開始位相コントローラ 202 の内部メモリ（図示せず）に格納（蓄積）される。

## 【0032】

## (vi) ステップ 306

周波数変調量・開始位相コントローラ 202 は、ステップ 304 および 305 を繰り返し実行することによって得られた複数の反射波  $P_r$  の中から最小の反射波  $P_r$  を抽出し、それに対応する開始位相の値を取得する。そして、周波数変調量・開始位相コントローラ 202 は、以後の処理において、開始位相を上記取得した値に固定する。

30

なお、上記では複数の反射波  $P_r$  の中から最小の反射波  $P_r$  を抽出し、それに対応する開始位相の値を取得したが、これに限定されない。例えば、反射係数  $\rho$  を用いてもよい。この場合は、進行波  $P_f$  及び反射波  $P_r$  の情報に基づいて反射係数  $\rho$  を算出し、ステップ 304 および 305 を繰り返し実行することによって得られた複数の反射係数の中から最小の反射係数を抽出し、それに対応する開始位相の値を取得すればよい。

## 【0033】

また、上記のように、反射波  $P_r$  の最小値を抽出する場合は、周波数変調量・開始位相コントローラ 202 における処理を行う際に、進行波  $P_f$  は不要である。

40

## 【0034】

反射係数  $\rho$  の最小値を抽出する場合、周波数変調量・開始位相コントローラ 202 は、反射係数を算出する機能を有することになる。この実施形態では、反射係数  $\rho$  を式（1）によって算出している。

$$= (P_r / P_f) \dots \dots \dots (1)$$

## 【0035】

なお、反射波  $P_r$  の最小値を抽出する場合であっても、反射係数  $\rho$  の最小値を抽出する場合であっても、反射波  $P_r$  の最小値を抽出するという概念は同じである。

また、反射係数は、進行波電圧と反射波電圧とに基づいて算出してもよいし、他の方式で算出してもよい。検出器 211 は、所望の情報が検出できるものであればよい。

50

## 【0036】

## (vii) ステップ307

周波数変調量・開始位相コントローラ202は、変調量ゲインを前回の値から所定値分(変更ステップ量は予め決められている)変更する。このとき、開始位相の値は、ステップ306で決定された値に固定される。変調テーブル更新部206は、開始位相が固定値で変調量ゲインが変更された基本波を加算部(変調部)208に出力する。加算部(変調部)208は、変調テーブル更新部206から出力された基本波(開始位相が固定、変調量ゲインが変更されたもの)を、基本波生成部207から出力された基本波に反映してFM変調を実行し、DDS209に出力する。

## 【0037】

10

## (viii) ステップ308

検出器211は、固定された開始位相および変更された変調量ゲインで基本波を変調し、増幅することによって得られた高周波出力(進行波 $P_f$ :増幅器210の出力)を検出すると共に、整合器30からの反射波 $P_r$ を検出し、それらを広帯域検出部212に出力する。そして、広帯域検出部212は、所定検出回数分の(あるいは所定期間で検出された)進行波 $P_f$ および反射波 $P_r$ を検出し、平均化処理部213で移動平均値を算出する。

## 【0038】

そして、ステップ3047および308の処理を予め決められた開始位相の範囲で繰り返し、それらに対応する反射波 $P_r$ が検出される。検出された反射波 $P_r$ は、周波数変調量・開始位相コントローラ202の内部メモリ(図示せず)に格納(蓄積)される。

20

## 【0039】

## (ix) ステップ309

周波数変調量・開始位相コントローラ202は、ステップ307および308を繰り返し実行することによって得られた複数の反射波 $P_r$ の中から最小の反射波 $P_r$ を抽出し、それに対応する変調量ゲインの値を取得する。そして、周波数変調量・開始位相コントローラ202は、ステップ306で得られた開始位相と当該ステップで得た変調量ゲインを以後の変調動作を行う(整合完了)。

なお、上記では複数の反射波 $P_r$ の中から最小の反射波 $P_r$ を抽出し、それに対応する開始位相の値を取得したが、これに限定されない。例えば、ステップ306と同様に反射係数を用いてもよい。この場合は、ステップ306で説明したように、周波数変調量・開始位相コントローラ202において進行波 $P_f$ の情報は不要である。

30

## 【0040】

<整合完了までの進行波 $P_f$ および反射波 $P_r$ の変化>

図4は、変調動作開始から整合完了までの進行波 $P_f$ および反射波 $P_r$ の変化の様子を示す図である。図4(a)は、変調動作開始時の進行波 $P_f$ および反射波 $P_r$ と、変調設定条件(変調開始位相をスイープ)とを示している。図4(b)は、反射波 $P_r$ が最小となる変調開始位相の値に固定したときの進行波 $P_f$ および反射波 $P_r$ と、変調設定条件(変調量ゲインをスイープ)とを示している。図4(c)は、整合完了時の進行波 $P_f$ および反射波 $P_r$ と、整合完了後の変調開始位相の値と変調量ゲインの値を示している。

## 【0041】

40

図4(a)に示されるように、変調動作開始時において変調開始位相および変調量ゲインが最適値になっていない場合には、検出される反射波 $P_r$ は大きくなる。反射波 $P_r$ を抑制するためには整合動作(変調開始位相および変調量ゲインの最適値を求める)が必要となるが、上述のように、まずは最適な変調開始位相を求めるために、変調量ゲインを固定し、変調開始位相を変化(スイープ)させる。そして、反射波 $P_r$ (反射係数)が最小となる変調開始位相の値が決定される。

## 【0042】

続いて、図4(b)に示されるように、変調開始位相の値を反射波 $P_r$ (反射係数)が最小となる変調開始位相の値(図4(a)で求めた値)に固定し、変調量ゲインを初期値(任意の変調量ゲイン)から変化(スイープ)させる。そして、反射波 $P_r$ (反射係数)

50

が最小となる変調量ゲインの値が決定される。

【0043】

以上のように、それぞれ反射波  $P_r$  (反射係数) を最小にする変調開始位相と変調量ゲインの値が取得されると、整合完了となる。図 4 (c) に示されるように、整合完了後の反射波  $P_r$  は、整合処理前の反射波  $P_r$  に比べて抑制されていることが分かる。

【0044】

以後、ソース電源 10 は、求めた変調開始位相 ( $\min$ ) と変調量ゲイン A ( $\min$ ) によって高周波出力を FM 变調し、FM 变調した高周波出力 (RF 出力) を整合器 30 に供給する。なお、上述の説明では、まず最適な変調開始位相を求めてから最適な変調量ゲインを求めているが、求める順番は逆であってもよい。

10

【0045】

<まとめ>

(i) 本実施形態によれば、ソース電源 10 において、周波数変調量・開始位相コントローラ 202 は、バイアス電源の動作周波数 (第 1 周波数: 400 kHz) と同一の周波数を有し、FM 变調のタイミング信号となるトリガ信号に応答して、変調開始位相および変調量ゲインをそれぞれ変化させながら反射波を検出し、当該反射波が最小となる最適変調開始位相および最適変調量ゲインを決定する。このようにすることにより、変調開始位相と変調量ゲインの値を制御するだけで整合動作が完了するので、整合動作における処理数を劇的に削減することが可能となる。

【0046】

さらに詳細には、ソース電源 10 は、まず、変調量ゲインを任意の値に固定した状態で変調開始位相をスイープしながら反射波を検出し、当該反射波が最小となる最適変調開始位相を決定する。そして、ソース電源は、変調開始位相を最適変調開始位相に固定した状態で変調量ゲインをスイープしながら反射波を検出し、当該反射波が最小となる最適変調量ゲインを決定する。最適変調開始位相あるいは最適変調量ゲインのいずれを先に決定してもよいが、最適変調開始位相を先に決定し、その後最適変調量ゲインを決定した方が効率よく整合処理を実行することができる。

20

【0047】

また、本実施形態では、整合処理を実行する際に、進行波  $P_f$  および反射波  $P_r$  の移動平均値 (所定回数分、あるいは所定期間における移動平均値) を用いている。これにより、急激な反射波  $P_r$  の変化があったとしても平滑化できるので、より正確に整合動作を実行することができる。

30

【0048】

さらに、ソース電源 10 は、トリガ信号を発生するトリガ信号生成部 201 を備えている。このため、バイアス電源から 400 kHz のトリガ信号をわざわざ取得する必要がなく、ソース電源 10 およびバイアス電源 20 の独立性を担保することができる。

【0049】

また、ソース電源 10 は、第 1 周波数 (400 kHz) の変調テーブルを有し、当該変調テーブル 203 から読み出した波形の変調開始位相および変調量ゲインを最適変調開始位相および最適変調量ゲインに変更し、これを第 2 周波数 (40.68 MHz) の基本波形に適用して周波数変調を行う。このようにすることにより、第 1 周波数の変調テーブルにおける変調開始位相と変調量ゲインを変更するだけで FM 变調を実行することができる (FM 变調の周波数が第 1 周波数 (400 kHz) である) ので、整合動作における処理数を削減することができる。

40

【0050】

(ii) 本実施形態の機能は、ソフトウェアのプログラムコードによっても実現することができる。この場合、プログラムコードを記録した記憶媒体をシステムまたは装置に提供し、そのシステムまたは装置のコンピュータ (又は CPU や MPU) が記憶媒体に格納されたプログラムコードを読み出す。この場合、記憶媒体から読み出されたプログラムコード自体が前述した実施形態の機能を実現することになり、そのプログラムコード自体、およびそ

50

れを記憶した記憶媒体は本開示を構成することになる。このようなプログラムコードを供給するための記憶媒体としては、例えば、フレキシブルディスク、CD-ROM、DVD-ROM、ハードディスク、光ディスク、光磁気ディスク、CD-R、磁気テープ、不揮発性のメモリカード、ROMなどが用いられる。

【0051】

また、プログラムコードの指示に基づき、コンピュータ上で稼動しているOS（オペレーティングシステム）などが実際の処理の一部又は全部を行い、その処理によって前述した実施の形態の機能が実現されるようにしてもよい。さらに、記憶媒体から読み出されたプログラムコードが、コンピュータ上のメモリに書きこまれた後、そのプログラムコードの指示に基づき、コンピュータのCPUなどが実際の処理の一部又は全部を行い、その処理によって前述した実施の形態の機能が実現されるようにしてもよい。

10

【0052】

さらに、実施の形態の機能を実現するソフトウェアのプログラムコードを、ネットワークを介して配信することにより、それをシステム又は装置のハードディスクやメモリ等の記憶手段又はCD-RW、CD-R等の記憶媒体に格納し、使用時にそのシステム又は装置のコンピュータ（又はCPUやMPU）が当該記憶手段や当該記憶媒体に格納されたプログラムコードを読み出して実行するようにしても良い。

【0053】

ここで述べたプロセスおよび技術は本質的に如何なる特定の装置に関連することはない。また、汎用目的の多様なタイプのデバイスが本開示の記述に従って使用することができる。なお、本開示の技術を実行する上で、専用の装置を構築するのが有益である場合があるかもしれない。

20

【0054】

本実施形態に開示されている複数の構成要素の適宜な組み合わせにより、種々の発明を形成できる。例えば、本実施形態に示される全構成要素から幾つかの構成要素を削除してもよい。さらに、異なる実施形態にわたる構成要素を適宜組み合わせてもよい。本開示の技術は、具体例な実施形態に関連して記述したが、これらは、本開示の技術を限定するためではなく、説明のためである。本分野にスキルのある者であれば、本開示の技術を実施するのに相応しいハードウェア、ソフトウェア、およびファームウェアの多数の組み合わせがあることが解るであろう。例えば、記述したソフトウェアは、アセンブラー、C/C++、perl、Shell、PHP、Java（登録商標）等の広範囲のプログラム又はスクリプト言語で実装できる。

30

【0055】

さらに、上述の実施形態において、制御線や情報線は説明上必要と考えられるものを示しており、製品上必ずしも全ての制御線や情報線を示しているとは限らない。全ての構成が相互に接続されていても良い。

【符号の説明】

【0056】

1 電源供給システム（高周波電源システム）

10 ソース（HF）電源

40

20 バイアス電源

30 整合器

40 プラズマ負荷

201 トリガ信号生成部

202 周波数変調量・開始位相コントローラ

203 FM変調基本波形テーブル

204 開始位相設定部

205 変調量ゲイン設定部

206 変調テーブル更新部

207 基本波生成部

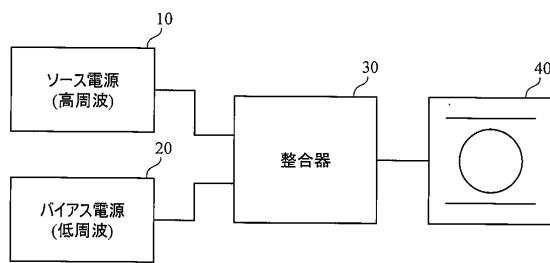
50

- 2 0 8 加算部(変調部)  
 2 0 9 DDS  
 2 1 0 増幅器  
 2 1 1 検出器  
 2 1 2 広帯域検出部  
 2 1 3 平均化処理部  
 2 1 4 電力設定部  
 2 1 5 減算部  
 2 1 6 振幅設定コントローラ

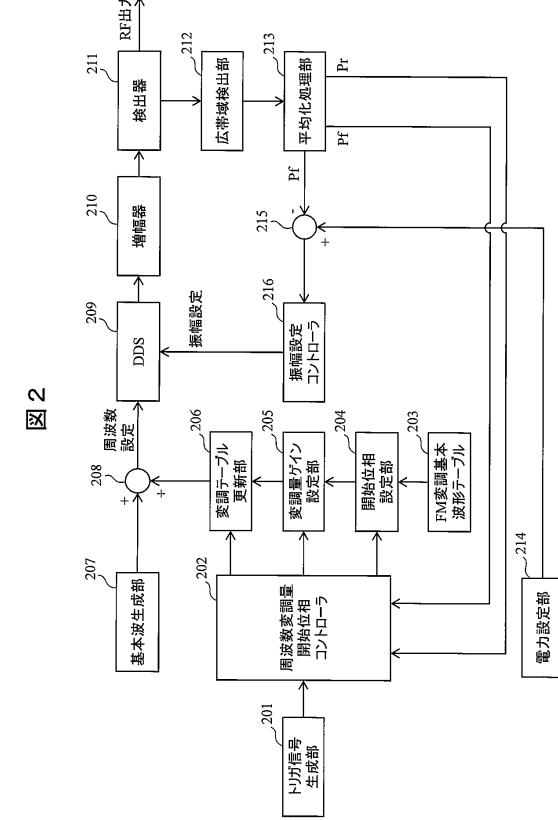
【図面】

【図1】

図1



【図2】



10

20

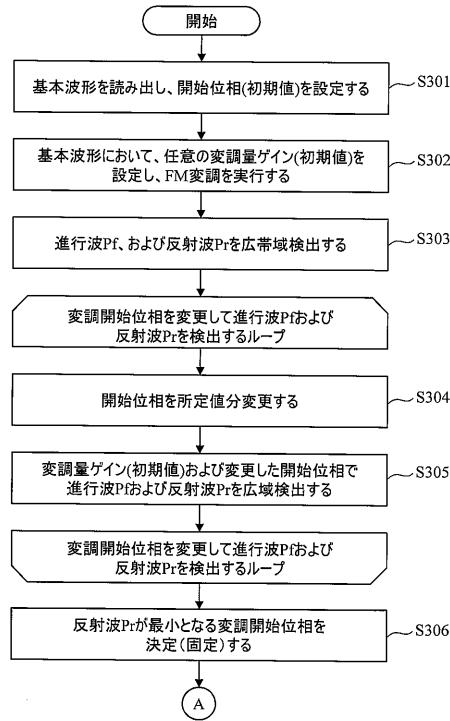
30

40

50

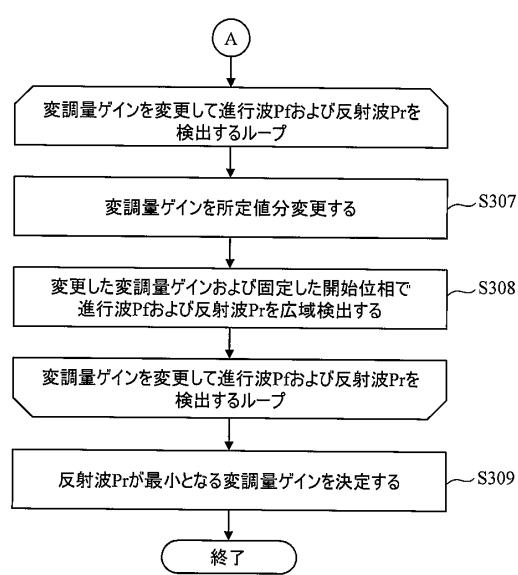
【図 3 A】

図 3 A



【図 3 B】

図 3 B



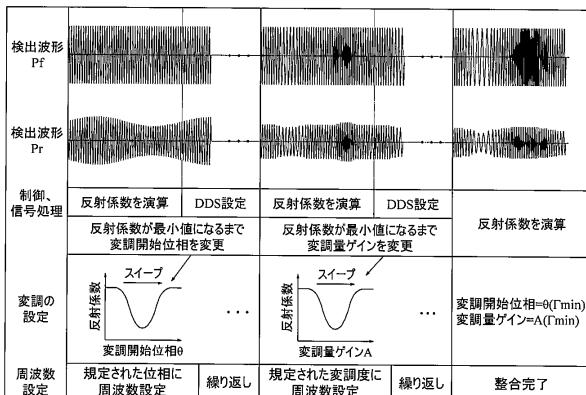
10

20

30

【図 4】

図 4



(a)

(b)

(c)

40

50

---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2007-103102(JP,A)  
特開2018-190657(JP,A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
H01J 37/32  
H05H 1/46  
H03H 7/40