

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4067876号  
(P4067876)

(45) 発行日 平成20年3月26日(2008.3.26)

(24) 登録日 平成20年1月18日(2008.1.18)

(51) Int. Cl.		F I	
GO 1 R	25/00	(2006.01)	GO 1 R 25/00
GO 1 R	27/02	(2006.01)	GO 1 R 27/02 A
HO 1 P	5/02	(2006.01)	HO 1 P 5/02 GO 5 A
HO 3 H	7/40	(2006.01)	HO 3 H 7/40
HO 5 H	1/46	(2006.01)	HO 5 H 1/46 R

請求項の数 7 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2002-158721 (P2002-158721)	(73) 特許権者	000214836 長野日本無線株式会社 長野県長野市稲里町1163番地
(22) 出願日	平成14年5月31日(2002.5.31)	(73) 特許権者	000219967 東京エレクトロン株式会社 東京都港区赤坂五丁目3番6号
(65) 公開番号	特開2003-344465 (P2003-344465A)	(74) 代理人	100104787 弁理士 酒井 伸司
(43) 公開日	平成15年12月3日(2003.12.3)	(72) 発明者	六山 弘一 長野県長野市稲里町1163番地 長野日本無線株式会社内
審査請求日	平成16年8月23日(2004.8.23)	(72) 発明者	河西 繁 東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター 東京エレクトロン株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 位相差検出方法、インピーダンス検出方法、測定装置および同軸型インピーダンス整合装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

互いに周波数が同一で位相が異なる第1入力信号および第2入力信号を入力し、  
前記第1入力信号に基づいて当該第1入力信号と同一周波数でかつ第1基準位相差分だけ互いに異なる第1生成信号および第2生成信号を生成すると共に前記第2入力信号に基づいて当該第2入力信号と同一周波数でかつ第2基準位相差分だけ互いに異なるかまたは同一位相の第3生成信号および第4生成信号を生成する信号生成ステップを実行し、  
前記第1生成信号と前記第3生成信号とを混合して当該第1および第3生成信号の相対位相差を第1相対位相差として検出すると共に前記第2生成信号と前記第4生成信号とを混合して当該第2および第4生成信号の相対位相差を第2相対位相差として検出する相対位相差検出ステップを実行し、

前記両入力信号の位相差を変化させて前記信号生成ステップおよび前記相対位相差検出ステップを実行したときに検出される前記両相対位相差が当該各位相差にそれぞれ対応させて予め記憶されているデータテーブル内の当該両相対位相差の各々と前記相対位相差検出ステップで検出した前記両相対位相差とを比較して一致またはほぼ一致する当該データテーブル内の前記両相対位相差に対応する当該データテーブル内の前記位相差を前記入力した両入力信号の位相差として検出する位相差検出方法。

【請求項2】

前記信号生成ステップにおいて、前記第1基準位相差を90°とし、かつ各位相を同一にして前記第3生成信号および前記第4生成信号を生成する請求項1記載の位相差検出方

法。

【請求項 3】

接続対象体に接続された方向性結合器によって出力された進行波および反射波をそれぞれ前記第 1 入力信号および前記第 2 入力信号として請求項 1 または 2 記載の位相差検出方法に従って当該両入力信号の位相差を検出し、

前記第 1 生成信号と前記第 3 生成信号とを混合して当該両生成信号の振幅比を検出するステップ、または前記第 2 生成信号と前記第 4 生成信号とを混合して当該両生成信号の振幅比を検出するステップのいずれか一方を振幅比検出ステップとして実行し、

前記位相差検出方法によって検出された前記両入力信号の位相差と前記振幅比検出ステップによって検出した前記振幅比とに基づいて前記接続対象体の入力インピーダンスを検出するインピーダンス検出方法。

10

【請求項 4】

入力した第 1 入力信号に基づいて当該第 1 入力信号と同一周波数でかつ第 1 基準位相差分だけ互いに異なる第 1 生成信号および第 2 生成信号を生成して分配する第 1 信号分配器と、

前記第 1 入力信号と周波数が同一で位相が異なる第 2 入力信号を入力して当該第 2 入力信号に基づいて当該第 2 入力信号と同一周波数でかつ第 2 基準位相差分だけ互いに異なるかまたは同一位相の第 3 生成信号および第 4 生成信号を生成して分配する第 2 信号分配器と、

前記第 1 生成信号と前記第 3 生成信号とを混合して当該両生成信号の相対位相差を第 1 相対位相差として検出する第 1 混合器と、

20

前記第 2 生成信号と前記第 4 生成信号とを混合して当該両生成信号の相対位相差を第 2 相対位相差として検出する第 2 混合器と、

前記両入力信号の位相差を変化させたときに検出される前記両相対位相差が当該各位相差にそれぞれ対応させて予め記憶されているデータテーブル内の当該両相対位相差の各々と前記第 1 混合器および前記第 2 混合器で検出された前記両相対位相差とを比較して一致またはほぼ一致する当該データテーブル内の前記両相対位相差に対応する当該データテーブル内の前記位相差を前記入力した両入力信号の位相差として検出する検出部とを備えている測定装置。

【請求項 5】

30

前記第 1 信号分配器は、前記第 1 基準位相差を  $90^\circ$  として前記両生成信号を生成して分配し、前記第 2 信号分配器は、各位相を同一にして前記第 3 生成信号および前記第 4 生成信号を生成して分配する請求項 4 記載の測定装置。

【請求項 6】

前記各信号分配器は、接続対象体に接続された方向性結合器によって出力された進行波および反射波をそれぞれ前記第 1 入力信号および前記第 2 入力信号として入力可能に構成され、

前記第 1 混合器および前記第 2 混合器のいずれか一方は、入力した前記両生成信号を混合して当該両生成信号の振幅比を検出可能に構成され、

前記検出部によって検出された前記両入力信号の位相差と前記検出された振幅比とに基づいて前記接続対象体の入力インピーダンスを演算する演算部を備えている請求項 4 または 5 記載の測定装置。

40

【請求項 7】

管状の外部導体、当該外部導体内に配設された内部導体、および前記外部導体の内面と前記内部導体の外面との間の隙間内に移動可能に配設された複数の誘電体を有すると共に方向性結合器と整合対象体との間に配設された整合器本体を備え、その固有インピーダンスが前記外部導体内における前記各誘電体の位置に応じた値に制御される同軸型インピーダンス整合装置であって、

前記各誘電体を移動させる移動機構と、前記整合器本体の固有インピーダンスと前記各誘電体の各位置とを対応させたデータテーブルを記憶する記憶部と、請求項 6 記載の測定

50

装置と、前記移動機構を制御する制御部とを備え、

前記制御部は、前記整合器本体における前記各誘電体の前記各位置および前記データテーブルから求まる整合動作開始時における当該整合器本体の固有インピーダンスと、その状態において前記測定装置の前記演算部によって演算された前記接続対象体としての当該整合器本体の前記入力インピーダンスとに基づいて前記整合対象体の入力インピーダンスを算出して、当該算出した整合対象体の入力インピーダンスに対する共役インピーダンスと前記固有インピーダンスとが一致する前記各誘電体の前記各位置を前記データテーブルを参照して目標位置として算出し、当該目標位置に前記各誘電体がそれぞれ位置するように前記移動機構を制御する同軸型インピーダンス整合装置。

【発明の詳細な説明】

10

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、互いに周波数が同一で位相が異なる第1入力信号および第2入力信号の位相差を検出する位相差検出方法、その位相差検出方法を用いて接続対象体の入力インピーダンスを検出するインピーダンス検出方法、互いに周波数が同一で位相が異なる第1入力信号および第2入力信号の位相差を少なくとも検出する測定装置、およびその測定装置を備えた同軸型インピーダンス整合装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

この種のインピーダンス整合装置は、一例として、高周波やマイクロ波電力に基づいて発生させたプラズマ放電を用いて薄膜形成やドライエッチングなどの処理を行うプラズマ装置において、安定した処理を行うためにプラズマを安定させる目的で使用されている。このインピーダンス整合装置を用いたプラズマ装置について図6を参照して説明する。同図に示すプラズマ装置51は、高周波信号Sを生成する高周波発生部2、方向性結合器3、複数の整合要素（スラグやスラブ等の誘電体）を有して高周波発生部2と処理室5との間のインピーダンスを整合する整合器本体54、高周波信号Sに基づいてプラズマを発生させて薄膜形成等の処理を行う処理室5、整合器本体54における各整合要素の位置を変更する機能を有して整合器本体54と共にインピーダンス整合装置を構成する移動機構56、および各構成要素に対する制御を実施する演算制御部57を備えている。この場合、方向性結合器3は、整合器本体54の入力端における高周波信号Sの進行波S<sub>f</sub>と反射波S<sub>r</sub>とを検出して出力する。

20

30

【0003】

次いで、このプラズマ装置51の動作について説明すると、高周波発生部2が高周波信号Sを生成し、生成された高周波信号Sは、方向性結合器3および整合器本体54を介して処理室5に供給される。演算制御部57は、方向性結合器3によって検出された高周波信号Sの進行波S<sub>f</sub>と反射波S<sub>r</sub>とに基づいて進行波S<sub>f</sub>に対する反射波S<sub>r</sub>の割合（反射率）を繰り返し算出する。また、演算制御部57は、算出した反射率が予め設定された基準値以下になるように移動機構56を制御して整合器本体54の各整合要素の位置を変更し、高周波発生部2と処理室5との間のインピーダンスを整合する。インピーダンスの整合が進むと、それに伴い反射波S<sub>r</sub>が次第に減少して反射率も低下する。このため、演算制御部57は、この反射率が基準値以下になるように整合器本体54の整合要素の位置を変更することにより、高周波発生部2と処理室5との間のインピーダンスを最適な状態に整合させる。これにより、処理室5内で発生するプラズマを安定させることができる。

40

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

ところが、プラズマ装置51におけるインピーダンス整合動作には、以下の問題点がある。すなわち、このプラズマ装置51では、整合器本体54内の整合要素の位置を変えることによってインピーダンスが整合される。しかしながら、プラズマ装置51では、高周波信号Sの反射率という一つのパラメータに基づいて整合器本体54の2以上の整合要素の各位置をそれぞれ制御する必要がある。このため、このプラズマ装置51では、整合状

50

態となる各整合要素の各整合位置を一義的に決定することができない結果、フィードバック制御を繰り返しながら各整合要素の位置をそれぞれ制御しつつ反射率を基準値に近づけることによって、各整合要素を整合位置に移動させなければならない。したがって、この従来のプラズマ装置 51 には、インピーダンスを整合させるまでに長時間を要するという問題がある。また、反射率が基準値に達した時点でインピーダンス整合動作を終了しているため、より一層完全な整合位置が各整合要素に存在するにも拘わらず、その完全な整合位置に各整合要素を移動させることが困難であるという問題点も存在する。

【0005】

本発明は、かかる問題点に鑑みてなされたものであり、位相差、例えばインピーダンス整合装置における各整合要素の整合位置の決定に必要な進行波と反射波との間の位相差を高速に検出し得る位相差検出方法および測定装置を提供することを主目的とする。また、インピーダンス、例えば方向性結合器に接続されたインピーダンス整合装置における整合位置の決定に必要なインピーダンス整合装置の入力インピーダンスを高速に検出し得るインピーダンス検出方法および測定装置を提供することを他の目的とする。また、整合対象体に対するインピーダンス整合の高速化およびより完全なインピーダンス整合を図り得る同軸型インピーダンス整合装置を提供することを他の目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成すべく本発明に係る位相差検出方法は、互いに周波数が同一で位相が異なる第1入力信号および第2入力信号を入力し、前記第1入力信号に基づいて当該第1入力信号と同一周波数でかつ第1基準位相差分だけ互いに異なる第1生成信号および第2生成信号を生成すると共に前記第2入力信号に基づいて当該第2入力信号と同一周波数でかつ第2基準位相差分だけ互いに異なるかまたは同一位相の第3生成信号および第4生成信号を生成する信号生成ステップを実行し、前記第1生成信号と前記第3生成信号とを混合して当該第1および第3生成信号の相対位相差を第1相対位相差として検出すると共に前記第2生成信号と前記第4生成信号とを混合して当該第2および第4生成信号の相対位相差を第2相対位相差として検出する相対位相差検出ステップを実行し、前記両入力信号の位相差を変化させて前記信号生成ステップおよび前記相対位相差検出ステップを実行したときに検出される前記両相対位相差が当該各位相差にそれぞれ対応させて予め記憶されているデータテーブル内の当該両相対位相差の各々と前記相対位相差検出ステップで検出した前記両相対位相差とを比較して一致またはほぼ一致する当該データテーブル内の前記両相対位相差に対応する当該データテーブル内の前記位相差を前記入力した両入力信号の位相差として検出する。

【0007】

この場合、前記信号生成ステップにおいて、前記第1基準位相差を $90^\circ$ とし、かつ各位相を同一にして前記第3生成信号および前記第4生成信号を生成するのが好ましい。

【0008】

また、上記目的を達成すべく本発明に係るインピーダンス検出方法は、接続対象体に接続された方向性結合器によって出力された進行波および反射波をそれぞれ前記第1入力信号および前記第2入力信号として上記の位相差検出方法に従って当該両入力信号の位相差を検出し、前記第1生成信号と前記第3生成信号とを混合して当該両生成信号の振幅比を検出するステップ、または前記第2生成信号と前記第4生成信号とを混合して当該両生成信号の振幅比を検出するステップのいずれか一方を振幅比検出ステップとして実行し、前記位相差検出方法によって検出された前記両入力信号の位相差と前記振幅比検出ステップによって検出した前記振幅比とに基づいて前記接続対象体の入力インピーダンスを検出する。

【0009】

また、上記目的を達成すべく本発明に係る測定装置は、入力した第1入力信号に基づいて当該第1入力信号と同一周波数でかつ第1基準位相差分だけ互いに異なる第1生成信号および第2生成信号を生成して分配する第1信号分配器と、前記第1入力信号と周波数が

10

20

30

40

50

同一で位相が異なる第2入力信号を入力して当該第2入力信号に基づいて当該第2入力信号と同一周波数でかつ第2基準位相差分だけ互いに異なるかまたは同一位相の第3生成信号および第4生成信号を生成して分配する第2信号分配器と、前記第1生成信号と前記第3生成信号とを混合して当該両生成信号の相対位相差を第1相対位相差として検出する第1混合器と、前記第2生成信号と前記第4生成信号とを混合して当該両生成信号の相対位相差を第2相対位相差として検出する第2混合器と、前記両入力信号の位相差を変化させたときに検出される前記両相対位相差が当該各位相差にそれぞれ対応させて予め記憶されているデータテーブル内の当該両相対位相差の各々と前記第1混合器および前記第2混合器で検出された前記両相対位相差とを比較して一致またはほぼ一致する当該データテーブル内の前記両相対位相差に対応する当該データテーブル内の前記位相差を前記入力した両 10  
入力信号の位相差として検出する検出部とを備えている。

#### 【0010】

この場合、前記第1信号分配器が、前記第1基準位相差を $90^\circ$ として前記両生成信号を生成して分配し、前記第2信号分配器が、各位相を同一にして前記第3生成信号および前記第4生成信号を生成して分配するのが好ましい。

#### 【0011】

また、接続対象体に接続された方向性結合器によって出力された進行波および反射波をそれぞれ前記第1入力信号および前記第2入力信号として入力可能に前記各信号分配器を構成し、入力した前記両生成信号を混合して当該両生成信号の振幅比を検出可能に前記第1混合器および前記第2混合器のいずれか一方を構成し、前記検出部によって検出された 20  
前記両入力信号の位相差と前記検出された振幅比とに基づいて前記接続対象体の入力インピーダンスを演算する演算部を備えるのが好ましい。

#### 【0012】

さらに、上記目的を達成すべく本発明に係る同軸型インピーダンス整合装置は、管状の外部導体、当該外部導体内に配設された内部導体、および前記外部導体の内面と前記内部導体の外面との間の隙間内に移動可能に配設された複数の誘電体を有すると共に方向性結合器と整合対象体との間に配設された整合器本体を備え、その固有インピーダンスが前記外部導体内における前記各誘電体の位置に応じた値に制御される同軸型インピーダンス整合装置であって、前記各誘電体を移動させる移動機構と、前記整合器本体の固有インピーダンスと前記各誘電体の各位置とを対応させたデータテーブルを記憶する記憶部と、請求 30  
 項6記載の測定装置と、前記移動機構を制御する制御部とを備え、前記制御部は、前記整合器本体における前記各誘電体の前記各位置および前記データテーブルから求まる整合動作開始時における当該整合器本体の固有インピーダンスと、その状態において前記測定装置の前記演算部によって演算された前記接続対象体としての当該整合器本体の前記入力インピーダンスとに基づいて前記整合対象体の入力インピーダンスを算出して、当該算出した整合対象体の入力インピーダンスに対する共役インピーダンスと前記固有インピーダンスとが一致する前記各誘電体の前記各位置を前記データテーブルを参照して目標位置として算出し、当該目標位置に前記各誘電体がそれぞれ位置するように前記移動機構を制御する。

#### 【0013】

##### 【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して、本発明に係る同軸型インピーダンス整合装置の好適な実施の形態について説明する。なお、一例として同軸型インピーダンス整合装置をプラズマ装置1に適用した例を挙げて説明する。また、プラズマ装置51と同一の構成要素については同一の符号を付して、重複する説明を省略する。

#### 【0014】

図1に示すプラズマ装置1は、高周波発生部2、方向性結合器3、整合器本体11を備えた同軸型インピーダンス整合装置（以下、「整合装置」ともいう）4、および処理室（本発明における整合対象体）5を備え、高周波発生部2によって生成された高周波信号（例えばマイクロ波）Sを方向性結合器3、整合器本体11を介して処理室5に供給するこ 50

とによって処理室 5 内にプラズマを発生させて、処理室 5 内の被処理物に対する所定の処理を実行可能に構成されている。

【 0 0 1 5 】

高周波発生部 2 は、高周波信号（一例として、2 . 4 5 G H z 程度のマイクロ波）S を生成し、生成した高周波信号 S を処理室 5 に供給する。方向性結合器 3 は、高周波信号 S の進行波 S f と反射波 S r とを出力する。この場合、進行波 S f と反射波 S r とは、互いの周波数が同一で、かつ位相が異なる関係となる。

【 0 0 1 6 】

整合装置 4 は、図 1 に示すように、整合器本体 1 1、移動機構 2 1 および制御装置 3 1 を備えている。この場合、整合器本体 1 1 は、図 2 に示すように、管状（円筒状）の外部導体 1 2、外部導体 1 2 内に互いの軸線同士が一致するように配設された円柱状の内部導体 1 3、および外部導体 1 2 の内面と内部導体 1 3 の外面との間の隙間内に配設された 2 組の誘電体（スラグ）1 4、1 5 を備えたいわゆるスラグチューナとして構成され、方向性結合器 3 と処理室 5 との間に配設されている。また、整合器本体 1 1 の入力端 1 1 a および出力端 1 1 b には、整合器本体 1 1 を方向性結合器 3 および処理室 5 にそれぞれ接続するためのコネクタ（図示せず）が取り付けられている。外部導体 1 2 には、その長手方向に沿ってスリット S L が 1 つ形成されている。

【 0 0 1 7 】

入力端側のスラグ 1 4 は、図 2、3 に示すように、誘電体材料で形成されたスラグ 1 4 a、1 4 b と、スラグ 1 4 a、1 4 b を連結すると共に移動機構 2 1 によって移動される移動用ブラケット 1 4 c とを備えている。この場合、スラグ 1 4 a、1 4 b は、各厚み L 1 が  $\lambda / 4$ （ $\lambda$  は、整合器本体 1 1 内における高周波信号 S の管内波長）と等しい（またはほぼ等しい）円筒状に構成されている。また、スラグ 1 4 a、1 4 b は、互いの対向面間の距離 L 2 が  $N \times \lambda / 4$ （N は奇数）と等しく（またはほぼ等しく）なるように予め設定されている。この構成より、スラグ 1 4 a、1 4 b で構成されるスラグ 1 4 全体として入力端 2 a 側に反射する反射量は、スラグ 1 4 a、1 4 b の内の一方しか存在しない構成と比較して十分大きくなる。移動用ブラケット 1 4 c は、スリット S L に挿入されてその端部（同図中の上端）がスリット S L から外部導体 1 2 の外部に突出している。出力端側のスラグ 1 5 は、スラグ 1 4 と同一に構成され、図 2、3 に示すように、誘電体材料で形成されたスラグ 1 5 a、1 5 b と、スラグ 1 5 a、1 5 b を連結すると共に移動機構 2 1 によって移動される移動用ブラケット 1 5 c とを備えている。なお、本発明の実施の形態では、一例として、スラグ 1 4 a、1 4 b 間の距離 L 2、およびスラグ 1 5 a、1 5 b 間の距離 L 2 を  $\lambda / 4$  に規定したものとする。

【 0 0 1 8 】

この整合装置 4 を用いたインピーダンスの整合に際しては、スラグ 1 4、1 5 をスライド（移動）させる。この際に、スラグ 1 4、1 5 間の中心位置 O（図 3 参照）と、整合器本体 1 1 における出力端（信号出力側端部）1 1 b との距離 L 3 を調整することにより、両スラグ 1 4、1 5 によってそれぞれ反射される各反射信号の位相が調整される。この場合、両スラグ 1 4、1 5 間の中心位置 O と、整合器本体 1 1 における入力端（信号入力側端部）1 1 a との距離を調整することによっても、両スラグ 1 4、1 5 によってそれぞれ反射される各反射信号の位相を同様に調整することができる。また、スラグ 1 4 におけるスラグ 1 4 b の出力端 1 1 b の端面と、スラグ 1 5 におけるスラグ 1 5 a の入力端 1 1 a 側の端面との間の距離 L 4（本発明における対向面間の距離）を調整することにより、スラグ 1 5 によって入力端 1 1 a 側に反射される反射信号の振幅が調整される。したがって、スラグ 1 4 a、1 4 b（スラグ 1 4）およびスラグ 1 5 a、1 5 b（スラグ 1 5）の整合器本体 1 1 内における位置（つまり、外部導体内における各誘電体 1 4、1 5 の各位置）を適宜調整することにより、スラグ 1 4 によって入力端 1 1 a 側に反射される信号の位相と、スラグ 1 5 によって入力端 1 1 a 側に反射される信号の位相とを互いに反転させ、かつスラグ 1 4 によって入力端 1 1 a 側に反射される信号の振幅と、スラグ 1 5 によって入力端 1 1 a 側に反射される信号の振幅とを互いに等しくさせることで、入力端 1 1

10

20

30

40

50

aに接続される接続対象体（この例では高周波発生部2）および出力端11bに接続される接続対象体（この例では処理室5）間のインピーダンスを完全に整合させることができる。

#### 【0019】

移動機構21は、図2に示すように、スラグ14を移動させる移動機構21aとスラグ15を移動させる移動機構21bとで構成されている。移動機構21aは、整合器本体11における入力端11aと出力端11bの各近傍に配置された一対のプリー23a, 24a間に掛け渡されたワイヤーロープ22aと、ワイヤーロープ22aを回転駆動するモータ25aとを備えて構成され、ワイヤーロープ22aにスラグ14の移動用ブラケット14cが連結されている。この構成により、モータ25aによってワイヤーロープ22aが回転駆動された際には、移動用ブラケット14cと共にスラグ14が外部導体12内をスライドする。一方、移動機構21bは、整合器本体11における入力端11aと出力端11bの各近傍に配置された一対のプリー23b, 24b間に掛け渡されたワイヤーロープ22bと、ワイヤーロープ22bを回転駆動するモータ25bとを備えて構成され、ワイヤーロープ22bにスラグ15の移動用ブラケット15cが連結されている。この構成により、モータ25bによってワイヤーロープ22bが回転駆動された際には、移動用ブラケット15cと共にスラグ15が外部導体12内をスライドする。

10

#### 【0020】

制御装置31は、図1に示すように、第1バンドパスフィルタ32a、第2バンドパスフィルタ32b、第1移相分配器（第1信号分配器）33a、第2移相分配器（第2信号分配器）33b、第1混合器34a、第2混合器34b、メモリ（本発明における記憶部）35および演算制御部（本発明における演算部および制御部）36を備えている。この場合、各バンドパスフィルタ32a, 32bは、入力した進行波Sfおよび反射波Srに含まれるノイズ成分をそれぞれ除去する。

20

#### 【0021】

第1移相分配器33aは、いわゆるハイブリッド回路であって、入力した第1入力信号としての進行波Sfに基づいて進行波Sfと同一周波数でかつ第1基準位相差分だけ互いに位相が異なる第1生成信号Sf1および第2生成信号Sf2を生成して分配する。第2移相分配器33bは、入力した第2入力信号としての反射波Srに基づいて反射波Srと同一周波数でかつ第2基準位相差分だけ互いに位相が異なるかまたは同一位相の第3生成信号Sr1および第4生成信号Sr2を生成して分配する。なお、この制御装置31では、一例として、第1移相分配器33aは、第1生成信号Sf1の位相を進行波Sfの位相と同一にし、かつ第1基準位相差分として $90^\circ$ だけ第2生成信号Sf2の位相を第1生成信号Sf1の位相に対して遅らせて生成する。一方、第2移相分配器33bは、同じくハイブリッド回路であって、第3生成信号Sr1の位相を反射波Srの位相と同一にし、かつ第3生成信号Sr1と第4生成信号Sr2とを同一の位相（第2基準位相差が $0^\circ$ と等価）で生成する。つまり、本発明の実施の形態では、第2移相分配器33bは、同相分配器として機能する。

30

#### 【0022】

第1混合器34aは、第1生成信号Sf1と第3生成信号Sr1とを混合して両生成信号Sf1, Sr1の相対位相差（両信号Sf1, Sr1の位相差の絶対値）を第1相対位相差D<sub>1</sub>として検出すると共に、両生成信号Sf1, Sr1の振幅比（ $S_r / S_f$ ）Dr/fを検出する。第2混合器34bは、第2生成信号Sf2と第4生成信号Sr2とを混合して両生成信号Sf2, Sr2の相対位相差（両信号Sf2, Sr2の位相差の絶対値）を第2相対位相差D<sub>2</sub>として検出する。なお、第2混合器34bにおいて両生成信号Sf2, Sr2の振幅比（ $S_r / S_f$ ）を検出し、この振幅比を上記Dr/fとして出力させる構成を採用することもできる。

40

#### 【0023】

メモリ35には、進行波Sfと反射波Srとの間の位相差を $-180^\circ$ から $+180^\circ$ まで変化させたときに第1混合器34aと第2混合器34bとによってそれぞれ検出される第1相対位相差D<sub>1</sub>および第2相対位相差D<sub>2</sub>の各値が、各位相差に対応させてデータテーブルDT1（図4参照）として予め記憶されている。また、メモリ35には

50

、整合器本体 1 1 における各スラグ 1 4 , 1 5 の各位置 ( 図 3 中の距離 L 3 , L 4 ) に対応する整合器本体 1 1 の各固有インピーダンスがデータテーブル D T 2 として予め記憶されている。

【 0 0 2 4 】

演算制御部 3 6 は、第 1 混合器 3 4 a および第 2 混合器 3 4 b によって検出された第 1 相対位相差  $D_1$  および第 2 相対位相差  $D_2$  に基づいてデータテーブル D T 1 を参照することにより、進行波  $S_f$  と反射波  $S_r$  との間の位相差  $\theta$  を算出する。例えば、演算制御部 3 6 は、検出された第 1 相対位相差  $D_1$  が  $150^\circ$  の場合、図 4 に示すように、第 1 相対位相差  $D_1$  に基づいて決定される位相差  $\theta$  として  $-120^\circ$  と  $-60^\circ$  の 2 つが考えられる。一方、第 2 相対位相差  $D_2$  が  $120^\circ$  として検出された場合、第 2 相対位相差  $D_2$  に基づいて決定される位相差  $\theta$  が  $-120^\circ$  と  $120^\circ$  となる。このため、共通する  $-120^\circ$  を進行波  $S_f$  と反射波  $S_r$  との間の位相差  $\theta$  として算出する ( この例では、反射波  $S_r$  が進行波  $S_f$  よりも  $120^\circ$  遅れることを意味する )。これにより、演算制御部 3 6 は本発明における検出部として機能し、さらに第 1 バンドパスフィルタ 3 2 a、第 2 バンドパスフィルタ 3 2 b、第 1 移相分配器 3 3 a、第 2 移相分配器 3 3 b、第 1 混合器 3 4 a および第 2 混合器 3 4 b と共に本発明における測定装置を構成する。

10

【 0 0 2 5 】

また、演算制御部 3 6 は、算出した位相差  $\theta$  と、第 1 混合器 3 4 a によって検出された振幅比  $D_r/f$  とに基づいて整合器本体 1 1 の入力端 1 1 a でのインピーダンス  $Z_1$  (  $= R_1 + j X_1$  ) を算出する。この場合、 $u = D_r/f \times \cos \theta$ 、 $v = D_r/f \times \sin \theta$  を求め、これらの  $u$ 、 $v$  と、下記 ( 1 ) 式および ( 2 ) 式に基づいて、 $R_1$  と  $X_1$  とを算出する。

20

$$( u - R_1 / ( R_1 + 1 ) ) ^ 2 + v ^ 2 = 1 / ( R_1 + 1 ) ^ 2 \quad \dots ( 1 ) \text{ 式}$$

$$( u - 1 ) ^ 2 + ( v - 1 / X_1 ) ^ 2 = 1 / X_1 ^ 2 \quad \dots ( 2 ) \text{ 式}$$

【 0 0 2 6 】

また、演算制御部 3 6 は、移動機構 2 1 に対する制御量  $S_s$  に基づいて整合器本体 1 1 内での各スラグ 1 4 , 1 5 の位置 ( 図 3 中の距離 L 3 , L 4 ) を算出し、データテーブル D T 2 を参照することによって、現在の整合器本体 1 1 の固有インピーダンスを算出する機能を備えている。また、演算制御部 3 6 は、整合器本体 1 1 の入力端 1 1 a でのインピーダンス  $Z_1$  と、算出した現在の整合器本体 1 1 の固有インピーダンスとに基づいて、整合器本体 1 1 の出力端 1 1 b から見た処理室 5 の入力インピーダンス  $Z_3$  (  $= R_3 + j X_3$  ) を算出する機能を備え、本発明における演算部 ( 上記測定装置の一部を構成する ) として機能する。また、演算制御部 3 6 は、算出したインピーダンス  $Z_3$  に基づいて、インピーダンス  $Z_3$  に対する共役インピーダンス (  $R_3 - j X_3$  ) を算出し、整合器本体 1 1 の出力インピーダンス  $Z_2$  (  $= R_2 + j X_2$  ) が共役インピーダンス (  $R_3 - j X_3$  ) に一致する各スラグ 1 4 , 1 5 の目標距離 ( 整合位置 ) をデータテーブル D T 2 を参照して算出すると共に、移動機構 2 1 に対する制御量  $S_s$  を制御して各スラグ 1 4 , 1 5 を整合位置に移動させ、方向性結合器 3 と処理室 5 との間のインピーダンスを整合させる機能を備えている。

30

【 0 0 2 7 】

次に、本発明に係る位相差検出方法およびインピーダンス検出方法を、整合装置 4 のインピーダンス整合動作と併せて図 5 を参照して説明する。

40

【 0 0 2 8 】

高周波発生部 2 によって高周波信号  $S$  の生成が開始されると、整合装置 4 では、方向性結合器 3 が進行波  $S_f$  および反射波  $S_r$  を検出して出力する ( ステップ 1 0 0 )。この場合、進行波  $S_f$  と反射波  $S_r$  とは、互いの周波数が同一で、かつ互いの位相が  $180^\circ$  だけ異なる関係になる。次いで、第 1 移相分配器 3 3 a が、この進行波  $S_f$  を入力して第 1 生成信号  $S_{f1}$  および第 2 生成信号  $S_{f2}$  を生成し、第 2 移相分配器 3 3 b が、反射波  $S_r$  を入力して第 3 生成信号  $S_{r1}$  および第 4 生成信号  $S_{r2}$  を生成する ( ステップ 1 0 1 : 信号生成ステップ )。

50

## 【0029】

次いで、第1混合器34aが、両生成信号 $S_{f1}$ 、 $S_{r1}$ をミキシングして、そのミキシングした信号に含まれている第1相対位相差 $D_1$ および振幅比 $D_{r/f}$ に相当するアナログ量を検出してデジタルデータまたはアナログ信号（この例ではデジタルデータとする）として出力し、第2混合器34bが、生成信号 $S_{f2}$ 、 $S_{r2}$ をミキシングして、そのミキシングした信号に含まれている第2相対位相差 $D_2$ に相当するアナログ量を検出してデジタルデータまたはアナログ信号（この例ではデジタルデータとする）として出力する（ステップ102：相対位相差検出ステップ、振幅比検出ステップ）。次に、演算制御部36が、第1相対位相差 $D_1$ および第2相対位相差 $D_2$ に基づいて、進行波 $S_f$ と反射波 $S_r$ との間の位相差をデータテーブルDT1を参照して算出する（ステップ103）。

10

## 【0030】

次いで、演算制御部36は、処理室5の入力インピーダンス $Z_3$ を算出する（ステップ104）。具体的には、演算制御部36は、算出した位相差と振幅比 $D_{r/f}$ とに基づいて、整合器本体11の入力端11aでのインピーダンス $Z_1$ を算出する。また、演算制御部36は、移動機構21に対する現在の制御量 $S_s$ に基づいて整合器本体11内での各スラグ14、15の現在（整合動作開始時）の位置（図3中の距離 $L_3$ 、 $L_4$ ）を算出すると共に、データテーブルDT2を参照することによって、整合動作開始時の整合器本体11の固有インピーダンスを算出する。さらに、演算制御部36は、算出した整合器本体11の入力端11aでのインピーダンス $Z_1$ および整合器本体11の固有インピーダンスに基づいて、処理室（整合対象体）5の入力インピーダンス $Z_3$ を算出する。

20

## 【0031】

次に、演算制御部36は、算出したインピーダンス $Z_3$ に基づいて、高周波発生部2と処理室5との間のインピーダンスを整合させるための各スラグ14、15の整合位置を算出する（ステップ105）。具体的には、演算制御部36は、算出したインピーダンス $Z_3$ に対する共役インピーダンス（ $R_3 - jX_3$ ）を算出し、整合器本体11の出力インピーダンス $Z_2$ が共役インピーダンス（ $R_3 - jX_3$ ）に一致する各スラグ14、15の整合位置をデータテーブルDT2を参照して算出する。

## 【0032】

最後に、演算制御部36は、移動機構21に対する制御量 $S_s$ を制御して各スラグ14、15を整合位置に移動させる（ステップ106）。これにより、高周波発生部2と処理室5との間のインピーダンス整合が完了し、高周波発生部2によって生成された高周波信号 $S$ が効率よく処理室5に供給される。

30

## 【0033】

このように、この整合装置4によれば、進行波 $S_f$ および反射波 $S_r$ に基づいて、高周波発生部2と処理室5との間のインピーダンスを整合させるための各スラグ14、15の整合器本体11内での整合位置（目標距離）をそれぞれ算出し、算出したこれらの整合位置に各スラグ14、15を直接移動させることにより、フィードバック制御を繰り返しながら整合要素としての各スラグ14、15の整合位置を決定する従来技術とは異なり、フィードバック制御が不要となる結果、インピーダンス整合を極めて高速に行うことができる。また、インピーダンス整合が完全となる位置にスラグ14、15が位置するように移動制御することで、極めて完全な整合状態となるようにインピーダンス整合を行うことができる。

40

## 【0034】

なお、本発明は、上記した実施の形態に示した構成に限定されない。例えば、本発明の実施の形態では、第1移相分配器33aの出力信号としての第1生成信号 $S_{f1}$ 、 $S_{f2}$ 間の位相差（第1基準位相差）を $90^\circ$ とし、かつ第2移相分配器33bの出力信号としての両生成信号 $S_{r1}$ 、 $S_{r2}$ の各位相を同一にする構成を採用したが、第1基準位相差は既知であれば任意の角度に規定することができ、また、第2移相分配器33bにおいても両生成信号 $S_{r1}$ 、 $S_{r2}$ の位相を既知の角度だけ異なるようにして生成させる構成を採用すること

50

もできる。また、本発明の実施の形態では、2つの入力信号間の位相差を検出する測定装置を同軸型インピーダンス整合装置4に適用した例を挙げて説明したが、これに限定されるものではない。また、一例として方向性結合器3によって検出された2つの進行波 $S_f$ 、 $S_r$ 間の位相差を検出する例を挙げて説明したが、同軸ケーブル等の伝送線路における位相差や、さらには導波管における信号の位相差の検出にも適用することができる。また、導波管に使用されるスタブチューナに本発明に係る測定装置を適用することもできる。

【0035】

また、本発明における移動機構は、ワイヤロープ22a、22bに代えて、タイミングベルト、スチールベルト、Vベルト、平ベルトおよびギヤ（ラックとピニオン）などを使用して構成することもできる。また、ベルト類を使用することなくボールねじを使用して移動機構を構成することもできる。加えて、本発明の実施の形態では、同軸型インピーダンス整合装置をプラズマ装置1に適用した例を挙げて説明したが、送信機におけるアンテナとアンテナとの間のインピーダンス整合等、各種装置間のインピーダンス整合に利用することができる。

【0036】

【発明の効果】

以上のように、本発明に係る位相差検出方法および測定装置によれば、互いに周波数が同一で位相が異なる第1入力信号および第2入力信号のうちの第1入力信号に基づいて第1入力信号と同一周波数でかつ第1基準位相差分だけ互いに異なる第1生成信号および第2生成信号を生成すると共に第2入力信号に基づいて第2入力信号と同一周波数でかつ第2基準位相差分だけ互いに異なるかまたは同一位相の第3生成信号および第4生成信号を生成し、第1生成信号と第3生成信号とを混合して第1および第3生成信号間の第1相対位相差を検出すると共に第2生成信号と第4生成信号とを混合して第2および第4生成信号間の第2相対位相差を検出し、この検出した両相対位相差を、両入力信号の位相差を変化させたときに検出される両相対位相差が各位相にそれぞれ対応させて予め記憶されているデータテーブル内のこの両相対位相差と比較して、一致またはほぼ一致するデータテーブル内の両相対位相差に対応する位相差を、入力した第1入力信号および第2入力信号間の位相差として検出することにより、一方の入力信号に対する他方の入力信号の進みまたは遅れ情報を含む両入力信号の位相差を正確に検出することができる。

【0037】

また、本発明に係る位相差検出方法および測定装置によれば、信号生成ステップにおいて、第1基準位相差を $90^\circ$ とし、かつ各位相を同一にして第3生成信号および第4生成信号を生成することで、両入力信号の位相差を最も簡易に検出することができる。

【0038】

また、本発明に係るインピーダンス検出方法および測定装置によれば、接続対象体に接続された方向性結合器によって出力された進行波および反射波をそれぞれ第1入力信号および第2入力信号として上記の位相差検出方法に従って両入力信号の位相差を検出し、第1生成信号と第3生成信号とを混合して両生成信号の振幅比を検出するステップ、または第2生成信号と第4生成信号とを混合して両生成信号の振幅比を検出するステップのいずれか一方を振幅比検出ステップとして実行し、位相差検出方法によって検出された位相差と振幅比とに基づいて接続対象体の入力インピーダンスを検出することにより、接続対象体の入力インピーダンスを確実に検出することができる。

【0039】

また、本発明に係る同軸型インピーダンス整合装置によれば、制御部が、整合器本体における各誘電体の各位置およびデータテーブルから求まる整合動作開始時における整合器本体の固有インピーダンスと、その状態において測定装置の演算部によって演算された接続対象体としての整合器本体の入力インピーダンスとに基づいて整合対象体の入力インピーダンスを算出して、算出した整合対象体の入力インピーダンスに対する共役インピーダンスと固有インピーダンスとが一致する各誘電体の各位置をデータテーブルを参照して目

10

20

30

40

50

標位置として算出し、目標位置に各誘電体がそれぞれ位置するように移動機構を制御することにより、フィードバック制御を繰り返しながら整合要素の整合位置を決定する従来技術とは異なり、フィードバック制御が不要となる結果、インピーダンス整合を極めて高速に行うことができる。また、インピーダンス整合が完全となる位置に誘電体が位置するように移動制御することで、極めて完全な整合状態となるようにインピーダンス整合を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の実施の形態に係る同軸型インピーダンス整合装置 4 を用いたプラズマ装置 1 の構成図である。

【図 2】 整合器本体 1 1 の側面断面図および移動機構 2 1 の側面図である。

10

【図 3】 整合器本体 1 1 の概念図である。

【図 4】 メモリ 3 5 に記憶されたデータテーブル D T 1 の内容を説明するための説明図である。

【図 5】 整合装置 4 によるインピーダンス整合動作を説明するためのフローチャートである。

【図 6】 従来のスラグチューナ 5 1 の構成図である。

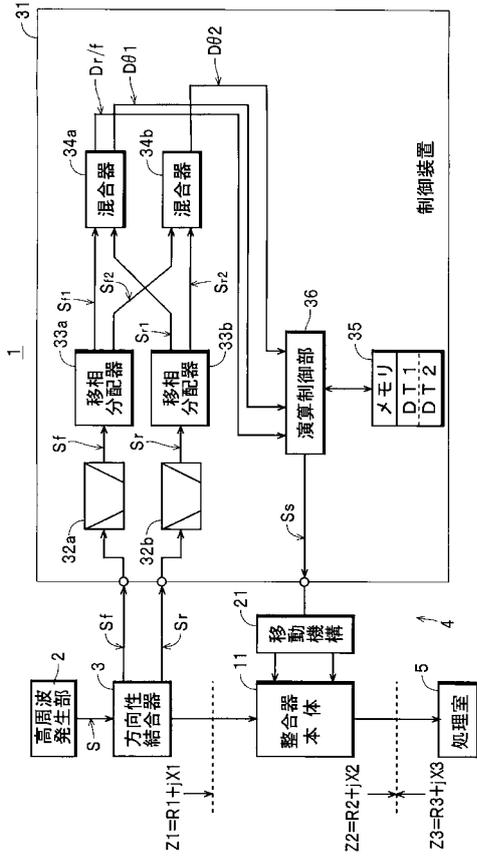
【符号の説明】

- 1 プラズマ装置
- 2 高周波発生部
- 3 方向性結合器
- 4 整合装置（同軸型インピーダンス整合装置）
- 5 処理室
- 1 1 整合器本体
- 1 2 外部導体
- 1 3 内部導体
- 1 4 , 1 5 スラグ
- 2 1 移動機構
- 3 2 a , 3 2 b バンドパスフィルタ
- 3 3 a , 3 3 b 移相分配器
- 3 4 a , 3 4 b 混合器
- 3 5 メモリ
- 3 6 演算制御部

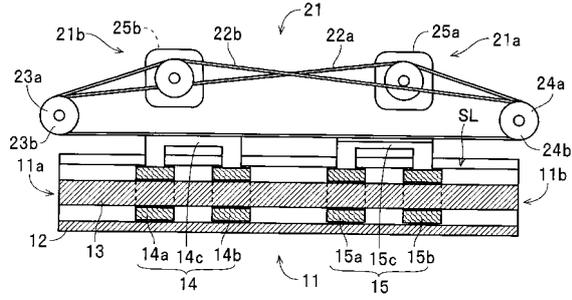
20

30

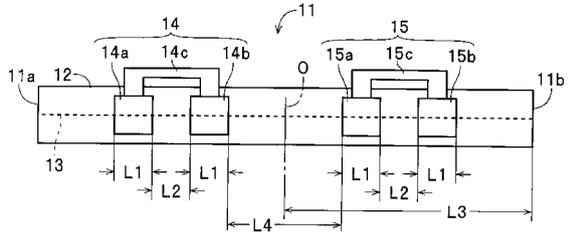
【図1】



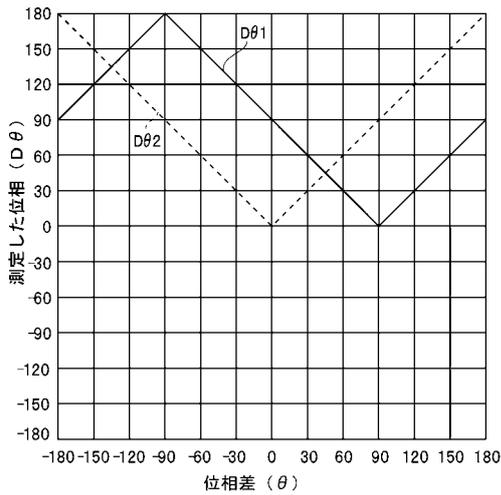
【図2】



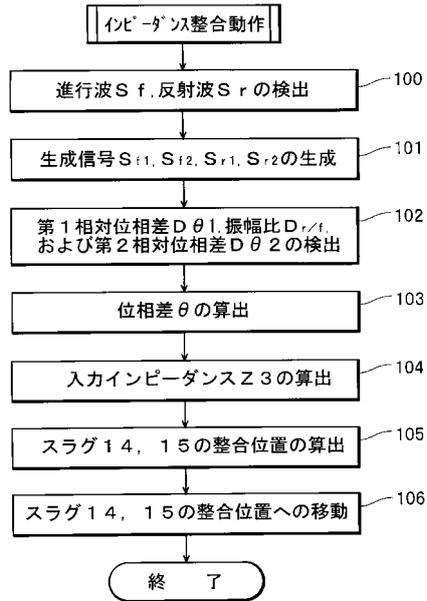
【図3】



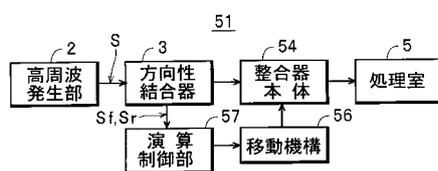
【図4】



【図5】



【図6】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 荻野 貴史  
東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター 東京エレクトロン株式会社内
- (72)発明者 長田 勇輝  
東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター 東京エレクトロン株式会社内

審査官 松川 直樹

- (56)参考文献 特開2001-044780(JP,A)  
特開2004-173113(JP,A)  
特開2004-128141(JP,A)  
特開平05-056091(JP,A)  
特開2003-101354(JP,A)  
米国特許第4654806(US,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01R 25/00  
G01R 27/02  
H01P 5/02  
H03H 7/40  
H05H 1/46