

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-135705
(P2017-135705A)

(43) 公開日 平成29年8月3日(2017.8.3)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H03H 7/40 (2006.01)	H03H 7/40	2G084
H05H 1/46 (2006.01)	H05H 1/46	R

審査請求 有 請求項の数 10 O L (全 32 頁)

(21) 出願番号	特願2017-10973 (P2017-10973)	(71) 出願人	000000262
(22) 出願日	平成29年1月25日 (2017.1.25)		株式会社ダイヘン
(62) 分割の表示	特願2012-218703 (P2012-218703) の分割	(72) 発明者	板谷 耕司
原出願日	平成24年9月28日 (2012.9.28)		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
		(72) 発明者	下元 隆
			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
		(72) 発明者	水渡 正勝
			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
		Fターム(参考)	2G084 AA02 AA05 CC03 CC05 CC11 CC33 DD01 DD53 DD57 EE02 HH05 HH08 HH23 HH24 HH25 HH27 HH29 HH43 HH55

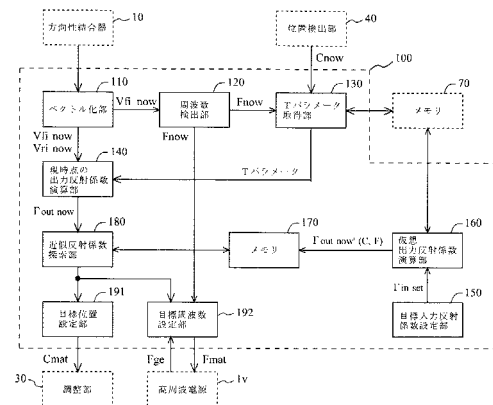
(54) 【発明の名称】 高周波整合システムのインピーダンス調整方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 インピーダンス調整装置全体の伝送特性を示す特性パラメータを用いてインピーダンス整合を行う可変周波数方式の高周波電源を提供する。

【解決手段】 インピーダンス調整装置の制御部100は、可変周波数方式の高周波電源1vを用いた高周波電力供給システムに適用される。可変コンデンサの位置情報Cと高周波電源の出力周波数情報Fとの組み合わせ情報の一部を対象とした特性パラメータがメモリに記憶される。Tパラメータ取得部は、現時点のCnow、Fnowに対応する特性パラメータを取得する。出力反射係数演算部は、出力端の反射係数 outnowを演算する。仮想出力反射係数演算部は、仮想の出力端における反射係数 outnow' (C, F) を演算する。近似反射係数探索部は、反射係数 outnowに一番近い反射係数に基づいて、インピーダンス整合させる。

【選択図】 図6



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

負荷に対して高周波電力を供給する高周波電力供給手段と前記高周波電力供給手段から前記負荷側を見たインピーダンスを調整するインピーダンス調整手段とを含む高周波整合システムのインピーダンス調整方法であって、であって、

前記インピーダンス調整手段の内部に設けた可変電気特性素子の電気特性情報と前記高周波電力供給手段の出力周波数情報とを組み合わせた情報を組み合わせ情報とし、前記電気特性情報と前記出力周波数情報とが取り得る全ての組み合わせのうちの一部の複数の組み合わせを対象とした場合に、対象となる組み合わせを実現させたときの前記インピーダンス調整手段全体の伝送特性を示す特性パラメータを、組み合わせ情報と関連付けて記憶する特性パラメータ記憶工程と、

10

前記高周波電力供給手段の出力端又は前記インピーダンス調整手段の入力端における高周波情報を検出する高周波情報検出工程と、

前記可変電気特性素子の現時点の電気特性情報を検出する可変素子情報検出工程と、

前記現時点の電気特性情報と現時点の出力周波数情報との組み合わせに対応する特性パラメータを、前記特性パラメータ記憶工程で記憶された特性パラメータの中から探索することによって取得するか、あるいは補間演算によって取得する特性パラメータ取得工程と、

前記高周波情報検出工程で検出された高周波情報と前記特性パラメータ取得工程で取得された特性パラメータとに基づいて、前記インピーダンス調整手段の現時点の出力端における反射係数を演算する現時点の出力反射係数演算工程と、

20

前記インピーダンス調整手段の入力端における反射係数が予め設定された目標入力反射係数であると仮想した場合に、前記特性パラメータ記憶工程で記憶された全て又は一部の特性パラメータの夫々に対応する仮想の前記インピーダンス調整手段の出力端における反射係数を演算すると共に、演算した複数の仮想の前記インピーダンス調整手段の出力端における反射係数と当該反射係数の夫々に対応する組み合わせ情報とを関連付けて出力する仮想の出力反射係数演算工程と、

前記仮想の出力反射係数演算工程で演算された複数の仮想の前記インピーダンス調整手段の出力端における反射係数と当該反射係数の夫々に対応する組み合わせ情報とを関連付けて記憶する仮想の出力反射係数記憶工程と、

30

前記仮想の出力反射係数記憶工程で記憶された複数の仮想の出力端における反射係数のうちで、前記現時点の出力端における反射係数に一番近似する仮想の出力端における反射係数を探索する近似反射係数探索工程と、

前記近似反射係数探索工程で探索した仮想の出力端における反射係数に関連付けられた電気特性情報を目標電気特性情報として設定し、前記可変電気特性素子の電気特性が、記目標電気特性情報が示す電気特性に調整されるように指令信号を出力する目標電気特性設定工程と、

前記近似反射係数探索工程で探索した仮想の出力端における反射係数に関連付けられた出力周波数情報を目標出力周波数情報として設定し、前記高周波電力供給手段の出力周波数が、目標出力周波数情報が示す周波数に調整されるように指令信号を前記高周波電力供給手段に向けて出力する目標出力周波数設定工程と、

40

前記目標電気特性設定工程で出力された指令信号に基づいて可変電気特性素子の電気特性を調整する可変電気特性素子調整工程と、
を備えたことを特徴とする高周波整合システムのインピーダンス調整方法。

【請求項 2】

前記特性パラメータ記憶工程で記憶される特性パラメータは、前記対象となる組み合わせのそれぞれの組み合わせ毎に測定した特性パラメータ又は測定した特性パラメータを変換した特性パラメータである請求項 1 に記載の高周波整合システムのインピーダンス調整方法。

【請求項 3】

50

前記特性パラメータ記憶工程で記憶される特性パラメータは、前記対象となる組み合わせの一部の組み合わせ毎に測定した特性パラメータ及び前記一部の組み合わせ毎に測定した特性パラメータを用いて演算により推定した他の組み合わせの特性パラメータ又はそれらの特性パラメータを変換した特性パラメータである請求項 1 に記載の高周波整合システムのインピーダンス調整方法。

【請求項 4】

前記特性パラメータ記憶工程は、

前記対象となる組み合わせの一部の組み合わせ毎に測定した特性パラメータ又は測定した特性パラメータを変換した特性パラメータを、組み合わせ情報と関連付けて記憶した第 1 の特性パラメータ記憶工程と、

前記推定した他の組み合わせの特性パラメータ又は前記推定した他の組み合わせの特性パラメータを変換した特性パラメータを、組み合わせ情報と関連付けて記憶した第 2 の特性パラメータ記憶工程と、

を含むことを特徴とする請求項 3 に記載の高周波整合システムのインピーダンス調整方法。

【請求項 5】

前記電気特性情報と前記出力周波数情報とが取り得る全ての組み合わせのうちの一部の組み合わせは、

前記複数の可変電気特性素子の電気特性情報を第 1 軸上に表し、前記高周波電力供給手段の出力周波数情報を第 2 軸上に表して、両者の組み合わせ情報を座標形式で表したときに、前記第 1 軸上に第 1 の所定間隔毎に設定された座標と前記第 2 軸上に第 2 の所定間隔毎に設定された座標とを組み合わせることによって格子状に設定された組み合わせである請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の高周波整合システムのインピーダンス調整方法。

【請求項 6】

前記現時点の出力反射係数演算工程は、

前記高周波情報検出工程で検出された高周波情報に基づいて、入力端における反射係数を演算し、この演算された入力端における反射係数と前記特性パラメータ取得工程で取得された特性パラメータとに基づいて、現時点の出力端における反射係数を演算することを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載の高周波整合システムのインピーダンス調整方法。

【請求項 7】

前記高周波情報検出工程で検出した高周波情報に基づいて、前記高周波電力供給手段の出力周波数情報を検出する周波数検出工程を、さらに備え、

前記特性パラメータ取得工程は、前記周波数検出工程で検出した出力周波数情報を現時点の出力周波数情報として用いることを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれかに記載の高周波整合システム。

【請求項 8】

前記特性パラメータ取得工程は、前記高周波電力供給手段が認識している出力周波数を現時点の出力周波数情報として用いることを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれかに記載の高周波整合システムのインピーダンス調整方法。

【請求項 9】

前記測定した特性パラメータが S パラメータであり、前記変換した特性パラメータが S パラメータから変換できる T パラメータである、請求項 2 ~ 4 のいずれかに記載の高周波整合システムのインピーダンス調整方法。

【請求項 10】

前記高周波情報は、前記高周波電力供給手段から前記負荷側に進行する進行波電圧及び前記負荷側から反射してくる反射波電圧である、請求項 1 ~ 9 のいずれかに記載の高周波整合システムのインピーダンス調整方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 1 】

本発明は、負荷に対して高周波電力を供給する高周波電力供給手段と高周波電力供給手段から負荷側を見たインピーダンスを調整するインピーダンス調整手段とを含む高周波整合システムのインピーダンス調整方法に関するものである。

【 背景技術 】

【 0 0 0 2 】

図 9 は、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、半導体ウエハや液晶基板等の被加工物に、例えばプラズマエッチング、プラズマ CVD といった加工処理を行うためのシステムであり、高周波電源 1、伝送線路 2、インピーダンス調整装置 3 (インピーダンス整合装置と言うこともある)、負荷接続部 4 及び負荷 5 (プラズマ処理装置 5) で構成されている。そして、高周波電源 1 は、伝送線路 2、インピーダンス調整装置 3 及び負荷接続部 4 を介して負荷 5 に高周波電力を供給する。負荷 5 (プラズマ処理装置 5) では、被加工物が配置されるチャンバー (図略) 内にプラズマ放電用ガスを導入するとともに、チャンバー内の電極 (図略) に高周波電源 1 から高周波電力を供給して、プラズマ放電用ガスを放電させて非プラズマ状態からプラズマ状態にしている。そして、プラズマ状態になったガスを用いて被加工物を加工している。

10

【 0 0 0 3 】

プラズマエッチング、プラズマ CVD 等の用途に用いられるプラズマ処理装置のような負荷 5 では、製造プロセスの進行に伴い、プラズマの状態が時々刻々と変化していく。ひいては、負荷 5 のインピーダンス (負荷インピーダンス) が時々刻々と変化していく。このような負荷 5 に高周波電源 1 から効率よく電力を供給するためには、負荷インピーダンスの変化に伴い、高周波電源 1 の出力端から負荷 5 側を見たインピーダンス Z_L (以下、負荷側インピーダンス Z_L) を調整する必要がある。そのために、高周波電力供給システムでは、高周波電源 1 と負荷 5 (プラズマ処理装置 5) との間に、インピーダンス調整装置 3 が介装される。

20

【 0 0 0 4 】

インピーダンス調整装置 3 は、負荷 5 に高周波電力を供給する高周波電源 1 と前記負荷 5 との間に設けられ、内部に設けた可変電気特性素子 (可変コンデンサや可変インダクタ) の電気特性 (キャパシタンスやインダクタンス) を調整することにより、高周波電源 1 から負荷 5 側を見たインピーダンスを調整するものである。このインピーダンス調整装置 3 では、可変電気特性素子の電気特性を適切な値にすることによって、高周波電源 1 のインピーダンスと負荷 5 のインピーダンスとを整合させて、負荷 5 から高周波電源 1 に向かう反射波電力を可能な限り最小にして負荷への供給電力を最大にすることができる。

30

【 0 0 0 5 】

図 10 は、従来 of インピーダンス調整装置 3 P を含む高周波電力供給システムの構成例を示すブロック図である。

高周波電源 1 は、出力周波数 (高周波電源 1 から出力される高周波電力が有する基本周波数 (基本波の周波数)) がある一定の周波数である高周波電源 1 p である。

また、図 10 に示すように、インピーダンス調整装置 3 P には、第 1 の可変コンデンサ 2 1、第 2 の可変コンデンサ 2 4、及びインダクタ 2 3 によって構成された調整回路 2 0 p が設けられている。なお、第 1 の可変コンデンサ 2 1 及び第 2 の可変コンデンサ 2 4 は、可変電気特性素子の一種である。また、入力端 3 0 1 と調整回路 2 0 p との間には、方向性結合器 1 0 が設けられている。また、出力端 3 0 2 (調整回路 2 0 p の出力端も実質的に同じ) は負荷 5 に接続されている。

40

【 0 0 0 6 】

これにより、高周波電源 1 から出力された高周波電力は、方向性結合器 1 0 及び調整回路 2 0 p を介して負荷 5 に供給される。なお、高周波電源 1 から出力されて負荷 5 に向かう高周波電力を進行波電力 P F といい、負荷 5 で反射されて高周波電源 1 に戻る高周波電力を反射波電力 P R という。

【 0 0 0 7 】

50

図10に示すように、調整回路20pには、第1の可変コンデンサ21及び第2の可変コンデンサ24が備わっているため、第1の可変コンデンサ21及び第2の可変コンデンサ24のキャパシタンスを調整(変更)することによって負荷側インピーダンスZ_Lを調整(変更)することができる。そのため、第1の可変コンデンサ21及び第2の可変コンデンサ24のキャパシタンスを適切な値にすることによって、高周波電源のインピーダンスと負荷5のインピーダンスとを整合させることができる。なお、調整回路20pの構成は、高周波電源1の出力周波数や負荷5の条件等によって異なる。また、可変電気特性素子として、可変インダクタなどが用いられる場合もある。

【0008】

なお、可変コンデンサや可変インダクタは、電気特性を調整できるものであるため、本明細書では、可変コンデンサや可変インダクタを総称して可変電気特性素子とする。また、キャパシタンスやインダクタンス等の情報を電気特性情報とする。

10

【0009】

第1の可変コンデンサ21や第2の可変コンデンサ24のような可変コンデンサは、キャパシタンスを変更できるコンデンサ(キャパシタと言うこともある)である。これらの可変コンデンサ(可変キャパシタ)は、キャパシタンスを調整するための可動部(図略)を有しており、モータ等によって可動部の位置を変位させることで、そのキャパシタンスを調整できるようになっている。

【0010】

具体的には、可変コンデンサの一对の電極は、少なくとも一方が可動電極になっている。すなわち、可変コンデンサの場合、可動電極が可動部となる。そして、可動部である可動電極の位置を変位させることで、他方の電極との相対位置が変わる。すなわち、可動部である可動電極の位置を変位させることによってキャパシタンスを調整(変更)することができる。このような可変コンデンサのキャパシタンスは、複数段階に調整できるようになっている。

20

【0011】

また、可動部の位置に対するキャパシタンスは、可変コンデンサの仕様または実験によって、既知となっている。そのため、可動部の位置が分かれば、キャパシタンスが分かるようになっている。そのため、可動部の位置情報は、キャパシタンスを表す情報(キャパシタンス情報)として扱うことができる。広い概念では、可動部の位置情報は、電気特性を表す情報(電気特性情報)として扱うことができる。

30

【0012】

また、可動部の位置を直接検出するのは、その構造上難しいので、例えば、可動部の位置を変位させるモータの回転位置(回転量)を検出することによって、可動部の位置を検出している。この場合、モータの回転位置は、パルス信号で検出してもよいし、電圧等で検出してもよい。このように、可変コンデンサの可動部の位置情報は、直接的または間接的に特定できればよい。

【0013】

図10の場合は、調整部30によって第1の可変コンデンサ21のキャパシタンスを調整し、位置検出部40によって第1の可変コンデンサ21のキャパシタンス情報を検出(取得)することができる。また、調整部50によって、第2の可変コンデンサ24のキャパシタンスを調整し、位置検出部60によって第2の可変コンデンサ24のキャパシタンス情報を検出(取得)することができる。

40

【0014】

調整部30は、第1の可変コンデンサ21の可動部の駆動手段としてのステップモータやモータ駆動回路等(いずれも図略)によって構成されている。そして、制御部100pは、調整部30に指令信号を与え、調整部30に含まれるステップモータの回転量を制御し、第1の可変コンデンサ21の可動部の位置を変位させることによって、第1の可変コンデンサ21のキャパシタンスを調整する。同様に、調整部50は、第2の可変コンデンサ24の可動部の駆動手段としてのステップモータやモータ駆動回路等(い

50

ずれも図略)によって構成されている。そして、制御部100pは、調整部50に指令信号を与え、調整部50に含まれるステッピングモータの回転量を制御し、第2の可変コンデンサ24の可動部の位置を変位させることによって、第2の可変コンデンサ24のキャパシタンスを調整する。

【0015】

位置検出部40は、調整部30に含まれるステッピングモータ回転位置(回転量)を検出するものである。同様に、位置検出部60は、調整部50に含まれるステッピングモータ回転位置(回転量)を検出するものである。

【0016】

可変インダクタの場合も、構造は異なるが、可変コンデンサと同様に、可動部を有しており、モータ等によって可動部の位置を変位させることで、そのインダクタンスを調整(変更)できるようになっている。その他は、可変コンデンサと同様であるので、説明を省略する。なお、可変インダクタの場合は、可動部の位置が分かれば、インダクタンスが分かるようになっている。そのため、可動部の位置情報は、インダクタンスを表す情報(インダクタンス情報)として扱うことができる。広い概念では、可動部の位置情報は、電気特性を表す情報(電気特性情報)として扱うことができる。

【0017】

また、可変コンデンサや可変インダクタといった可変電気特性素子は、上記のように構成されているため、例えば、インピーダンス調整装置3Pに、第1の可変コンデンサ21及び第2の可変コンデンサ24が備わっており、第1の可変コンデンサ21及び第2の可変コンデンサ24の可動部の位置が、それぞれ101段階に変位可能である場合、キャパシタンスは、 $101 \times 101 = 10,201$ 通り(約1万通り)の組み合わせに変更可能となる。すなわち、インピーダンス調整装置3Pのインピーダンスは、約1万通りの組み合わせに変更可能となる。

【0018】

また、上記のように可変電気特性素子の可動部の位置が、複数段階に変位可能であるので、可変電気特性素子の可動部がそれぞれ取り得る位置に番号を割り付けることによって、可変電気特性素子の可動部がそれぞれ取り得る位置を組み合わせたものを位置情報として表すことができる。例えば、可変コンデンサの可動部の調整範囲の中で、キャパシタンスが最小となる位置を「0」とし、キャパシタンスが最大となる位置を「100」とすると、各可変コンデンサの可動部の位置は、「0」～「100」の101段階で表すことができる。そのため、第1の可変コンデンサ21及び第2の可変コンデンサ24の可動部の位置は、 $(0, 0), (0, 1), \dots, (100, 100)$ のようにして位置情報として表すことができる。なお、後述する表1では、第1の可変コンデンサ21の可動部の位置情報を変数VC1で表し、第2の可変コンデンサ24の可動部の位置情報を変数VC2で表すことにする。上記の例では、「VC1」は0～100の範囲(101段階)で変化し、「VC2」も0～100の範囲(101段階)で変化する。

【0019】

このような可変電気特性素子を制御することによってインピーダンス整合を行うインピーダンス調整装置3Pとして、例えば、特許文献1(特開2006-166412)に記載のものが提案されている。

【0020】

特許文献1に開示されたインピーダンス調整装置3Pでは、まず予め測定された、複数の可変電気特性素子の可動部がそれぞれ取り得る位置に対するインピーダンス調整装置の特性パラメータ(後述するSパラメータまたはTパラメータ)を、可変電気特性素子の可動部の位置情報との対応関係を持たせてメモリ70pに記憶させておく。そして、制御部100pが、方向性結合器10から出力される進行波電圧の検出信号及び反射波電圧の検出信号、位置検出部40及び位置検出部60によって検出される各可動部の位置情報、メモリ70pに記憶されている特性パラメータの情報に基づいて、インピーダンス整合を行っている。

10

20

30

40

50

【0021】

ここで、上述した特性パラメータは、インピーダンス調整装置3全体を伝送装置として扱い、インピーダンス調整装置3に備わっている2つの可変コンデンサ（第1の可変コンデンサ21及び第2の可変コンデンサ24）の調整可能な範囲について、伝送装置としての伝送特性をSパラメータ（又はTパラメータ）の情報として測定したものである。

【0022】

このような特性パラメータは、インピーダンス調整装置内部における浮遊容量やインダクタンス成分等を含んだ伝送特性を示すものであるので、測定した特性パラメータを用いて、インピーダンス整合を行えば、精度よくインピーダンス整合を行うことができるとされている。

【0023】

【表1】

		VC1							
		0	1	2	...	...	98	99	100
VC2	0	T(0,0)	T(1,0)	T(2,0)	...	...	T(98,0)	T(99,0)	T(100,0)
	1	T(0,1)	T(1,1)	T(2,1)	...	...	T(98,1)	T(99,1)	T(100,1)
	2	T(0,2)	T(1,2)	T(2,2)	...	...	T(98,2)	T(99,2)	T(100,2)

	98	T(0,98)	T(1,98)	T(2,98)	...	...	T(98,98)	T(99,98)	T(100,98)
	99	T(0,99)	T(1,99)	T(2,99)	...	...	T(98,99)	T(99,99)	T(100,99)
	100	T(0,100)	T(1,100)	T(2,100)	...	...	T(98,100)	T(99,100)	T(100,100)

【0024】

表1は、メモリ70pに記憶される特性パラメータの一例であるが、ここでは、メモリ70pに記憶された特性パラメータがTパラメータである場合の例を示す。この表1において、T(0,0)は、第1の可変コンデンサ21の可動部の位置が「0」であり、第2の可変コンデンサ24の可動部の位置が「0」であるときに測定されたTパラメータを示す。同様にT(100,0)は、第1の可変コンデンサ21の可動部の位置が「100」であり、第2の可変コンデンサ24の可動部の位置が「0」であるときに測定されたTパラメータを示す。他のTパラメータも同様の考え方で符号を付している。なお、表1では、記載を簡略化するために、一部を省略して「・・・」のように記載しているが、実際には、Tパラメータが記憶されている。

【0025】

また、Sパラメータ（Scattering Parameter）とは、周知のように、所定の4端子回路網（2端子対回路網ともいう）の入力端子及び出力端子に特性インピーダンス（例えば50）の線路を接続した高周波信号を入力したときの4端子回路網における伝送特性を示したものであり、「数1」に示すように、入力側の電圧反射係数（ S_{11} ）、順方向電圧の伝達係数（ S_{21} ）、逆方向電圧の伝達係数（ S_{12} ）、出力側の電圧反射係数（ S_{22} ）の各要素から構成される行列で表されるものである。ここでは、インピーダンス調整装置3を4端子回路網として扱って、インピーダンス調整装置3におけるSパラメータを演算するようにしている。

【0026】

【数1】

$$\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix}$$

【0027】

Tパラメータ（Transmission Parameter）とは、「数2」に示すように、Sパラメータ

10

20

30

40

50

から変換できるパラメータである。また、一般的に4端子回路網においては、その伝送特性を測定するときにはSパラメータを用いるのが簡便とされ、演算を行うときにはTパラメータを用いるのが簡便とされている。

【0028】

【数2】

$$\frac{1}{S_{12}} \begin{bmatrix} S_{12} \cdot S_{21} - S_{11} \cdot S_{22} & S_{22} \\ -S_{11} & 1 \end{bmatrix} \longrightarrow \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix}$$

10

【0029】

また、図11のような4端子回路網におけるSパラメータは「数3」のように定義され、Tパラメータは「数4」のように定義される。

【0030】

【数3】

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}$$

20

【0031】

【数4】

$$\begin{bmatrix} b_2 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ b_1 \end{bmatrix}$$

【0032】

また、ポート1を入力側、ポート2を負荷側とすると、入力反射係数 Γ_{in} (入力端における反射係数) と出力反射係数 Γ_{out} (出力端における反射係数) の関係をSパラメータ (「数5」参照) またはTパラメータ (「数6」参照) で表すことができる。

30

【0033】

【数5】

$$\Gamma_{out} = \frac{a_2}{b_2}$$

$$= \frac{\Gamma_{in} - S_{11}}{S_{12} \cdot S_{21} + S_{22} (\Gamma_{in} - S_{11})}$$

40

【0034】

【数 6】

$$\Gamma_{\text{out}} = \frac{a_2}{b_2}$$

$$= \frac{T_{21} + T_{22} \cdot \Gamma_{\text{in}}}{T_{11} + T_{12} \cdot \Gamma_{\text{in}}}$$

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0035】

【特許文献1】特開2006-166412

【特許文献2】特開2006-310245

【特許文献3】特開2008-181846

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0036】

20

上述したように、図10に示した高周波電力供給システムでは、高周波電源1pの出力周波数は、ある一定の周波数を想定している。しかし、例えば、特許文献2（特開2006-310245）に示すように、高周波電源1の出力周波数を変化させると負荷側インピーダンスZ_Lが変化することに着目し、高周波電源1の出力周波数を調整してインピーダンス整合を行う技術が提案されている。すなわち、高周波電源1の出力端から負荷5側を見た負荷側インピーダンスZ_Lには、キャパシタンス成分やインダクタンス成分、抵抗成分が含まれる。キャパシタンス成分やインダクタンス成分は、周波数によってインピーダンスが異なるので、高周波電源1の出力周波数を変化させると、負荷側インピーダンスZ_Lが変化する。特許文献2は、このような現象を利用した技術である。なお、本明細書では、このような出力周波数を調整（変更）できる高周波電源1を、可変周波数方式の高周波電源1vという。

30

【0037】

また、特許文献3（特開2008-181846）に記載されているように、可変周波数方式の高周波電源1vを用いる場合でも、インピーダンス調整装置3を用いる場合がある。しかし、インピーダンス調整装置3に設けられる調整回路20の可変コンデンサは、図12に示すように、1つですむようになる。すなわち、調整回路20は、可変コンデンサ21、キャパシタンスが一定の固定コンデンサ22、及びインダクタ23によって構成できる。そして、第1の可変コンデンサ21の可動部の位置を調整するとともに、高周波電源1vの出力周波数を調整することによって、インピーダンス整合を行うことができる。なお、調整回路20の固定コンデンサ22は、キャパシタンスが一定であるので、キャ

40

【0038】

しかし、特許文献1のように、予め測定した特性パラメータを用いてインピーダンス整合を行う場合の特性パラメータは、ある一定の出力周波数の場合に測定したものであるので、特許文献2や特許文献3のような可変周波数方式の高周波電源1vを用いた高周波電力供給システムでは適用できない。

【0039】

本発明は、上記事情のもとで考え出されたものであって、可変周波数方式の高周波電源1vを用いて出力周波数を調整（変更）する場合であっても、特性パラメータを用いたイ

50

ンピーダンス整合ができる高周波整合システムのインピーダンス調整方法を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0040】

第1の発明によって提供される高周波整合システムのインピーダンス調整方法は、
 負荷に対して高周波電力を供給する高周波電力供給手段と前記高周波電力供給手段から前記負荷側を見たインピーダンスを調整するインピーダンス調整手段とを含む高周波整合システムのインピーダンス調整方法であって、

前記インピーダンス調整手段の内部に設けた可変電気特性素子の電気特性情報と前記高周波電力供給手段の出力周波数情報とを組み合わせた情報を組み合わせ情報とし、前記電気特性情報と前記出力周波数情報とが取り得る全ての組み合わせのうちの一部の複数の組み合わせを対象とした場合に、対象となる組み合わせを実現させたときの前記インピーダンス調整手段全体の伝送特性を示す特性パラメータを、組み合わせ情報と関連付けて記憶する特性パラメータ記憶工程と、

前記高周波電力供給手段の出力端又は前記インピーダンス調整手段の入力端における高周波情報を検出する高周波情報検出工程と、

前記可変電気特性素子の現時点の電気特性情報を検出する可変素子情報検出工程と、

前記現時点の電気特性情報と現時点の出力周波数情報との組み合わせに対応する特性パラメータを、前記特性パラメータ記憶工程で記憶された特性パラメータの中から探索することによって取得するか、あるいは補間演算によって取得する特性パラメータ取得工程と

前記高周波情報検出工程で検出された高周波情報と前記特性パラメータ取得工程で取得された特性パラメータとに基づいて、前記インピーダンス調整手段の現時点の出力端における反射係数を演算する現時点の出力反射係数演算工程と、

前記インピーダンス調整手段の入力端における反射係数が予め設定された目標入力反射係数であると仮想した場合に、前記特性パラメータ記憶工程で記憶された全て又は一部の特性パラメータの夫々に対応する仮想の前記インピーダンス調整手段の出力端における反射係数を演算すると共に、演算した複数の仮想の前記インピーダンス調整手段の出力端における反射係数と当該反射係数の夫々に対応する組み合わせ情報とを関連付けて出力する仮想の出力反射係数演算工程と、

前記仮想の出力反射係数演算工程で演算された複数の仮想の前記インピーダンス調整手段の出力端における反射係数と当該反射係数の夫々に対応する組み合わせ情報とを関連付けて記憶する仮想の出力反射係数記憶工程と、

前記仮想の出力反射係数記憶工程で記憶された複数の仮想の出力端における反射係数のうちで、前記現時点の出力端における反射係数に一番近似する仮想の出力端における反射係数を探索する近似反射係数探索工程と、

前記近似反射係数探索工程で探索した仮想の出力端における反射係数に関連付けられた電気特性情報を目標電気特性情報として設定し、前記可変電気特性素子の電気特性が、記目標電気特性情報が示す電気特性に調整されるように指令信号を出力する目標電気特性設定工程と、

前記近似反射係数探索工程で探索した仮想の出力端における反射係数に関連付けられた出力周波数情報を目標出力周波数情報として設定し、前記高周波電力供給手段の出力周波数が、目標出力周波数情報が示す周波数に調整されるように指令信号を前記高周波電力供給手段に向けて出力する目標出力周波数設定工程と、

前記目標電気特性設定工程で出力された指令信号に基づいて可変電気特性素子の電気特性を調整する可変電気特性素子調整工程と、

を備えたことを特徴とする高周波整合システムのインピーダンス調整方法。

を備えたことを特徴としている。

【0041】

第2の発明によって提供される高周波整合システムのインピーダンス調整方法は、前記

特性パラメータ記憶工程で記憶される特性パラメータに関するものであり、

前記特性パラメータ記憶工程で記憶される特性パラメータは、前記対象となる組み合わせのそれぞれの組み合わせ毎に測定した特性パラメータ又は測定した特性パラメータを変換した特性パラメータであることを特徴としている。

【0042】

第3の発明によって提供される高周波整合システムのインピーダンス調整方法は、前記特性パラメータ記憶工程で記憶される特性パラメータに関するものであり、

前記特性パラメータ記憶工程で記憶される特性パラメータは、前記対象となる組み合わせの一部の組み合わせ毎に測定した特性パラメータ及び前記一部の組み合わせ毎に測定した特性パラメータを用いて演算により推定した他の組み合わせの特性パラメータ又はそれらの特性パラメータを変換した特性パラメータであることを特徴としている。

10

【0043】

第4の発明によって提供される高周波整合システムのインピーダンス調整方法は、前記特性パラメータ記憶工程に関するものであり、前記特性パラメータ記憶工程は、

前記対象となる組み合わせの一部の組み合わせ毎に測定した特性パラメータ又は測定した特性パラメータを変換した特性パラメータを、組み合わせ情報と関連付けて記憶した第1の特性パラメータ記憶工程と、

前記推定した他の組み合わせの特性パラメータ又は前記推定した他の組み合わせの特性パラメータを変換した特性パラメータを、組み合わせ情報と関連付けて記憶した第2の特性パラメータ記憶工程と、

20

を含むことを特徴としている。

【0044】

第5の発明によって提供される高周波整合システムのインピーダンス調整方法は、

前記電気特性情報と前記出力周波数情報とが取り得る全ての組み合わせのうちの一部の組み合わせはに関するものであり、

前記複数の可変電気特性素子の電気特性情報を第1軸上に表し、前記高周波電力供給手段の出力周波数情報を第2軸上に表して、両者の組み合わせ情報を座標形式で表したときに、前記第1軸上に第1の所定間隔毎に設定された座標と前記第2軸上に第2の所定間隔毎に設定された座標とを組み合わせることによって格子状に設定された組み合わせであることを特徴としている。

30

【0045】

第6の発明によって提供される高周波整合システムのインピーダンス調整方法は、前記現時点の出力反射係数演算工程に関するものであり、前記現時点の出力反射係数演算工程は、

前記高周波情報検出工程で検出された高周波情報に基づいて、入力端における反射係数を演算し、この演算された入力端における反射係数と前記特性パラメータ取得工程で取得された特性パラメータとに基づいて、現時点の出力端における反射係数を演算することを特徴としている。

【0046】

第7の発明によって提供される高周波整合システムのインピーダンス調整方法は、

前記高周波情報検出工程で検出した高周波情報に基づいて、前記高周波電力供給手段の出力周波数情報を検出する周波数検出工程を、さらに備え、

前記特性パラメータ取得工程は、前記周波数検出工程で検出した出力周波数情報を現時点の出力周波数情報として用いることを特徴としている。

40

【0047】

第8の発明によって提供される高周波整合システムのインピーダンス調整方法は、前記特性パラメータ取得工程に関するものであり、前記特性パラメータ取得工程は、

前記高周波電力供給手段が認識している出力周波数を現時点の出力周波数情報として用いることを特徴としている。

【0048】

50

第 9 の発明によって提供される高周波整合システムのインピーダンス調整方法は、前記測定した特性パラメータが S パラメータであり、前記変換した特性パラメータが S パラメータから変換できる T パラメータであることを特徴としている。

【 0 0 4 9 】

第 1 0 の発明によって提供される高周波整合システムのインピーダンス調整方法は、高周波情報に関するものであり、前記高周波情報は、

前記高周波電力供給手段から前記負荷側に進行する進行波電圧及び前記負荷側から反射してくる反射波電圧であることを特徴としている。

【発明の効果】

【 0 0 5 0 】

本発明によれば、可変周波数方式の高周波電力供給手段を用いて出力周波数を調整（変更）する場合であっても、特性パラメータを用いたインピーダンス整合ができる高周波整合システムのインピーダンス調整方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 5 1 】

【図 1】インピーダンス調整装置 3 A が適用される高周波電力供給システムの構成例を示すブロック図である。

【図 2】メモリ 7 0 に記憶された S パラメータ又は T パラメータの一例を図示したものである。

【図 3】測定していない S パラメータをバイリニア補間によって求める方法を説明するための図である。

【図 4】格子状に S パラメータを測定するとともに、他の一部の組み合わせ情報に対して S パラメータを測定する場合の一例である。

【図 5】インピーダンス調整装置 3 A の S パラメータを測定するための測定回路の構成を示す図である。

【図 6】制御部 1 0 0 の機能ブロック図である。

【図 7】第 2 実施形態における制御部 1 0 0 a の機能ブロック図である。

【図 8】仮想出力反射係数演算部 1 6 0 a が対象とする T パラメータの一例を示すものである。

【図 9】高周波電力供給システムの構成例を示す図である。

【図 1 0】従来のインピーダンス調整装置 3 P を含む高周波電力供給システムの構成例を示すブロック図である。

【図 1 1】4 端子回路網の概念を示す図である。

【図 1 2】調整回路 2 0 の一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 5 2 】

以下図面を参照して本発明の実施形態を詳細に説明する。なお、従来と同一又は同様の構成には、同一符号を付している。

【 0 0 5 3 】

[第 1 実施形態]

図 1 は、インピーダンス調整装置 3 A が適用される高周波電力供給システムの構成例を示すブロック図である。

【 0 0 5 4 】

このシステムは、半導体ウェハや液晶基板等の被加工物に対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。このシステムは、可変周波数方式の高周波電源 1 v、伝送線路 2、インピーダンス調整装置 3 A、負荷接続部 4 及びプラズマ処理装置からなる負荷 5 によって構成されている。なお、本明細書では、高周波電源 1 v とインピーダンス調整装置 3 A とを組み合わせたシステムを高周波整合システムとする。

【 0 0 5 5 】

10

20

30

40

50

高周波電源 1 v 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調整装置 3 A が接続されている。また、インピーダンス調整装置 3 A には、例えば電磁波の漏れを抑制するために遮蔽された銅板からなる負荷接続部 4 が接続されている。また、負荷接続部 4 には、負荷 5 が接続されている。

【 0 0 5 6 】

高周波電源 1 v は、負荷 5 に対して無線周波帯域の周波数（一般的には、数百 K H z ないし数十 M H z 程度の周波数。例えば、4 0 0 k H z、2 M H z、1 3 . 5 6 M H z、5 0 M H z 等の周波数。）を有する高周波電力を供給するための装置である。なお、高周波電源 1 v から出力する高周波電力の基本周波数を出力周波数とする。

【 0 0 5 7 】

また、高周波電源 1 v は、出力周波数が所定の範囲で変更できるようになっており、指令信号によって出力周波数を変更させる。周波数の可変範囲は、高周波電源 1 v に設けられている発振器（図略）の性能等を考慮して適宜に設定する。例えば、中心周波数が 2 M H z の場合、 $2 \text{ M H z} \pm 10\%$ （1 . 8 ~ 2 . 2 M H z）程度の範囲で出力周波数を変更できるように設計される。

この際、例えば、出力周波数の可変範囲の下限周波数を「0」とし、出力周波数の可変範囲の上限周波数を「100」として、「0」~「100」の101段階で出力周波数を変更できるように設計される。すなわち、出力周波数の可変範囲が $2 \text{ M H z} \pm 10\%$ （1 . 8 ~ 2 . 2 M H z）である場合、「0」が 1 . 8 M H z であり、「100」が 2 . 2 M H z であるので、0 . 0 0 4 M H z 毎（4 k H z 毎）に出力周波数を変更する。

【 0 0 5 8 】

もちろん、出力周波数や出力周波数の可変範囲は、上記に限定されるものではない。例えば、数百 M H z 程度の高い出力周波数に設定されることもある。また、 $2 \text{ M H z} \pm 5\%$ （1 . 9 ~ 2 . 1）程度の範囲で出力周波数を変更できるように設計されることもある。

【 0 0 5 9 】

また、高周波電源 1 v は、高周波電源 1 v が認識している出力周波数を、電源認識出力周波数 F_{ge} として出力する。高周波電源 1 v から出力された電源認識出力周波数 F_{ge} は、後述するインピーダンス調整装置 3 A の制御部 1 0 0 に入力される。また、後述するように、インピーダンス整合させるための目標出力周波数情報 F_{mat} がインピーダンス調整装置 3 A の制御部 1 0 0 から出力され、その目標出力周波数情報 F_{mat} が高周波電源 1 v に入力される。高周波電源 1 v は、その目標出力周波数情報 F_{mat} に基づいて出力周波数を変更する。

【 0 0 6 0 】

負荷 5 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 C V D 等の方法を用いて加工するためのプラズマ処理装置である。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、被加工物に対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。プラズマ処理装置では、被加工物が配置されるチャンパー（図略）内にプラズマ放電用ガスを導入する。また、チャンパー内の電極（図略）に高周波電源 1 v から高周波電力を印加して、プラズマ放電用ガスを放電させて非プラズマ状態からプラズマ状態にしている。そして、プラズマ状態になったガスを用いて被加工物を加工している。

【 0 0 6 1 】

インピーダンス調整装置 3 A は、その入力端 3 0 1 に接続される高周波電源 1 v と出力端 3 0 2 に接続される負荷 5 とのインピーダンスを整合させるものである。より具体的には、例えば入力端 3 0 1 から高周波電源 1 v 側を見たインピーダンス（出力インピーダンス）が 5 0 に設計され、高周波電源 1 v が特性インピーダンス 5 0 の伝送線路 2 でインピーダンス調整装置 3 A の入力端 3 0 1 に接続されているとすると、インピーダンス調整装置 3 A は、当該インピーダンス調整装置 3 A の入力端 3 0 1 から負荷 5 側を見たインピーダンスを 5 0 に近づける機能を有する。ひいては、高周波電源 1 v の出力端から負

10

20

30

40

50

荷 5 側を見た負荷側インピーダンス Z_L を 50 に近づける。

【0062】

なお、本実施形態では特性インピーダンスを 50 としているが、特性インピーダンスは 50 に限定されるものではない。また、負荷側インピーダンス Z_L を特性インピーダンスに一致させて、インピーダンス調整装置 3 の入力端 301 における入力反射係数 Γ_{in} を 0 にすることが望まれるが、通常は、入力反射係数 Γ_{in} が所定の許容値以下になれば、インピーダンス整合したと見なしている。

【0063】

このようなインピーダンス調整装置 3A には、方向性結合器 10、制御部 100、調整回路 20、調整部 30、位置検出部 40、メモリ 70 が設けられている。また、調整回路 20 は、可変電気特性素子としての可変コンデンサ 21 (図 10 の第 1 の可変コンデンサ 21 と実質的に同じなので同符号にしている)、インピーダンスが固定のコンデンサ 22 及びインダクタ 23 を備えている。そして、調整回路 20 に設けられた可変コンデンサ 21 の可動部の位置を調整するとともに、高周波電源 1v の出力周波数を調整することによってインピーダンス整合を行うが、詳細な説明は後述する。

なお、上述したように、可変コンデンサ 21 の可動部の位置情報は、キャパシタンスを表す情報 (キャパシタンス情報) として扱うことができる。広い概念では、可動部の位置情報は、電気特性を表す情報 (電気特性情報) として扱うことができる。

【0064】

なお、調整回路 20 の構成は、図 1 に示したものに限定されず、他の構成でもよい。例えば、図 1 に示した調整回路 20 は、一般的に逆 L 型と呼ばれるものであるが、型など、周知の調整回路を用いることも可能である。どのようなタイプの調整回路にするかは、高周波電源 1v の出力周波数や負荷 5 の条件等によって異なる。

【0065】

方向性結合器 10 は、高周波電源 1v から負荷 5 側に進行する高周波 (以下、進行波という。) と負荷 5 側から反射してくる高周波 (以下、反射波という。) とを分離して検出する。進行波側の検出信号は、進行波電圧として出力され、反射波側の検出信号は、反射波電圧として出力される。方向性結合器 10 は、例えば 1 個の入力ポート 11 と 3 個の出力ポート 12, 13, 14 を有し、入力ポート 11 には高周波電源 1v が接続され、第 1 出力ポート 12 には調整回路 20 が接続されている。また、第 2 出力ポート 13 及び第 3 出力ポート 14 は、制御部 100 に接続されている。

なお、方向性結合器 10 は、本発明の高周波情報検出手段の一部として機能する。また方向性結合器 10 と後述するベクトル化部 110 とを組み合わせたものが、本発明の高周波情報検出手段の一例となる。

【0066】

入力ポート 11 から入力される進行波は、第 1 出力ポート 12 から出力され、第 1 出力ポート 12 から入力される反射波は、入力ポート 11 から出力される。また、進行波は、適切なレベルまで減衰されて検出され、第 2 出力ポート 13 から進行波電圧の検出信号として出力される。また、反射波は、適切なレベルまで減衰されて検出され、第 3 出力ポート 14 から反射波電圧の検出信号として出力される。

【0067】

なお、方向性結合器 10 に代えて、入力側検出器が用いられてもよい。入力側検出器は、例えば高周波電源 1v から入力端 301 に入力される高周波電圧、高周波電流、及びそれらの位相差 (高周波電圧と高周波電流との位相差) を検出するものである。入力側検出器により検出された高周波電圧、高周波電流及び位相差は、制御部 100 に入力される。

【0068】

制御部 100 は、このインピーダンス調整装置 3A の制御中枢となるものであり、図示しない CPU、メモリ、及び ROM 等を有している。また例えば FPG A (Field Programmable Gate Array) のような、内部の論理回路を適宜に定義、変更し得るゲートアレイを用いた構成とすることもできる。この制御部 100 は、方向性結合器 10 の出力等に基

10

20

30

40

50

づいて、可変コンデンサ 2 1 のキャパシタンス及び高周波電源 1 v の出力周波数を変化させて、インピーダンス調整装置 3 A の調整回路 2 0 のインピーダンスを調整するものである。

【 0 0 6 9 】

可変コンデンサ 2 1 には、可動部の位置を変位させるための調整部 3 0 が接続されている。調整部 3 0 は、上記可動部の駆動手段としてのステッピングモータやモータ駆動回路等（いずれも図略）によって構成されている。そして、制御部 1 0 0 は、調整部 3 0 に指令信号を与え、調整部 3 0 に含まれるステッピングモータの回転量を制御し、可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置を変位させることによって、可変コンデンサ 2 1 のキャパシタンスを調整する。本実施形態では、可変コンデンサ 2 1 のキャパシタンスは、例えば、1 0 1 段階に調整可能となっている。なお、調整部 3 0 は、本発明の可変電気特性素子調整手段の一例である。

10

【 0 0 7 0 】

可変コンデンサ 2 1 には、調整部 3 0 によって調整される可動部の位置を検出するための位置検出部 4 0 が設けられている。位置検出部 4 0 によって検出された可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置情報は、制御部 1 0 0 に送られ、制御部 1 0 0 において認識されるようになっている。なお、位置検出部 4 0 は、本発明の可変素子情報検出手段の一例である。

【 0 0 7 1 】

また、制御部 1 0 0 には、メモリ 7 0 が接続されており、このメモリ 7 0 には、表 2 に示すような S パラメータ、又は、表 3 に示すような S パラメータを変換した T パラメータが記憶されている。制御部 1 0 0 の機能は後述する。なお、メモリ 7 0 は、本発明の特性パラメータ記憶手段（第 1 の特性パラメータ記憶手段、第 2 の特性パラメータ記憶手段）の一例である。

20

【 0 0 7 2 】

なお、本実施形態では、可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置情報を変数 C で表し、高周波電源 1 v の出力周波数情報を変数 F で表し、可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置と高周波電源 1 v の出力周波数との組み合わせ情報を (C , F) のように座標形式で表すことにする。上記の例では、「 C 」は 0 ~ 1 0 0 の範囲 (1 0 1 段階) で変化し、「 F 」も 0 ~ 1 0 0 の範囲 (1 0 1 段階) で変化し、もちろん、他の範囲で変化するようにしてもよい。なお、上記のように座標形式で表したときの変数 C の軸は、本発明の第 1 軸に相当し、変数 F の軸は、本発明の第 2 軸に相当する。

30

【 0 0 7 3 】

【表 2】

		C							
		0	10	20	...	...	80	90	100
F	0	S (0, 0)	S (10, 0)	S (20, 0)	...	...	S (80, 0)	S (90, 0)	S (100, 0)
	10	S (0, 10)	S (10, 10)	S (20, 10)	...	...	S (80, 10)	S (90, 10)	S (100, 10)
	20	S (0, 20)	S (10, 20)	S (20, 20)	...	...	S (80, 20)	S (90, 20)	S (100, 20)

	80	S (0, 80)	S (10, 80)	S (20, 80)	...	...	S (80, 80)	S (90, 80)	S (100, 80)
	90	S (0, 90)	S (10, 90)	S (20, 90)	...	...	S (80, 90)	S (90, 90)	S (100, 90)
100	S (0, 100)	S (10, 100)	S (20, 100)	...	...	S (80, 100)	S (90, 100)	S (100, 100)	

40

【 0 0 7 4 】

【表 3】

		C							
		0	10	20	...	...	80	90	100
F	0	T(0, 0)	T(10, 0)	T(20, 0)	...	...	T(80, 0)	T(90, 0)	T(100, 0)
	10	T(0, 10)	T(10, 10)	T(20, 10)	...	...	T(80, 10)	T(90, 10)	T(100, 10)
	20	T(0, 20)	T(10, 20)	T(20, 20)	...	...	T(80, 20)	T(90, 20)	T(100, 20)

	80	T(0, 80)	T(10, 80)	T(20, 80)	...	...	T(80, 80)	T(90, 80)	T(100, 80)
	90	T(0, 90)	T(10, 90)	T(20, 90)	...	...	T(80, 90)	T(90, 90)	T(100, 90)
	100	T(0, 100)	T(10, 100)	T(20, 100)	...	...	T(80, 100)	T(90, 100)	T(100, 100)

10

【0075】

表 2 に示す S パラメータは、可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置と出力周波数とを変数として測定されたものであり、可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置が、「0」～「100」の 101 段階に変位可能であり、高周波電源 1 v の出力周波数が、「0」～「100」の 101 段階に変更可能である場合に測定された T パラメータの一例である。また表 3 に示す T パラメータは、表 2 に示す S パラメータを変換したものである。

【0076】

なお、表 2 において、S(0, 0) は、可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置が「0」であり、出力周波数が「0」を示す周波数であるときに測定された S パラメータを示す。同様に S(100, 0) は、可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置が「100」であり、出力周波数が「0」を示す周波数であるときに測定された S パラメータを示す。他の S パラメータも同様の考え方で符号を付している。

20

【0077】

また、表 3 に示した T パラメータは、S パラメータを変換したものであるので、S パラメータと同様の考え方で符号を付している。すなわち、T(0, 0) は、可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置が「0」であり、出力周波数が「0」を示す周波数であるときに測定された T パラメータを示す。同様に T(100, 0) は、可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置が「100」であり、出力周波数が「0」を示す周波数であるときに測定された T パラメータを示す。他の T パラメータも同様の考え方で符号を付している。

30

【0078】

図 2 は、メモリ 70 に記憶された S パラメータ又は T パラメータの一例を図示したものである。すなわち、測定された S パラメータ又は T パラメータの一例を図示したものである。図 2 において、横軸は、可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置情報 C であり、縦軸は、高周波電源 1 v の出力周波数情報 F である。また、黒丸が測定された S パラメータ又は T パラメータを示している。

【0079】

ところで、上記のような(0, 0)や(100, 0)は、可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置と高周波電源 1 v の出力周波数との組み合わせ情報を示すものであるため、この組み合わせ情報が分かれば、対応する可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置と高周波電源 1 v の出力周波数とが分かる。すなわち、可変コンデンサ 2 1 のキャパシタンス情報(電気特性情報)と高周波電源 1 v の出力周波数とが分かる。そのため、メモリ 70 には、単に S パラメータや T パラメータを記憶するのではなく、可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置と高周波電源 1 v の出力周波数との組み合わせ情報と関連付けて S パラメータや T パラメータを記憶する。

40

【0080】

上述したように、伝送特性を測定するときには S パラメータを用いるのが簡便とされ、演算を行うときには T パラメータを用いるのが簡便とされているので、インピーダンス整合を行うときには T パラメータを用いる。そのため、通常は、測定した S パラメータを T パラメータに変換したものをメモリ 70 に記憶しておく。S パラメータをメモリ 70 に記

50

憶しておく場合は、必要時にSパラメータからTパラメータに変換して用いる。しかし、インピーダンス整合時にSパラメータからTパラメータに変換すると演算負荷が大きくなるので、予めTパラメータをメモリ70に記憶しておく方が好ましい。そのため、以下では、Tパラメータをメモリ70に記憶し、そのTパラメータを用いてインピーダンス整合を行うものとして説明する。

【0081】

なお、Sパラメータは、可変コンデンサ21の可動部の位置及び高周波電源1vの出力周波数に対応しているため、精度の面から見れば、可変コンデンサ21の可動部の位置が取り得る値及び高周波電源1vの出力周波数が取り得る値の全ての組み合わせに対してSパラメータを測定するのが好ましい。

10

【0082】

しかし、上述したように可変コンデンサ21の可動部の位置、及び高周波電源1vの出力周波数は、上述したように複数段階に変位可能（調整可能）になっているが、この全ての組み合わせに対してSパラメータを測定しようとする、膨大な量のSパラメータを測定することになるので、多くの工数が必要となる。そのため、全ての組み合わせに対してSパラメータを測定するのではなく、一部の組み合わせに対してSパラメータを測定しておき、測定していないSパラメータに対しては線形補間によってSパラメータを推定する手法を用いる。Sパラメータを変換したTパラメータも同様である。

【0083】

例えば、Sパラメータの各要素S11, S12, S21, S22のそれぞれに対して直線近似による補間演算を行えばよい。またSパラメータを変換したTパラメータも同様に、Tパラメータの各要素T11, T12, T21, T22のそれぞれに対して直線近似による補間演算を行えばよい。補間演算の方法としては、例えば、バイリニア（Bi-Linear）と呼ばれる補間方法（以下、バイリニア補間という）を用いればよい。

20

【0084】

図3は、測定していないSパラメータをバイリニア補間によって求める方法を説明するための図である。この図3では、可変コンデンサ21の可動部の位置及び高周波電源1vの出力周波数を変数としたときに、両者の一部の組み合わせに対して測定したSパラメータの測定値に基づいて、測定していないSパラメータをバイリニア補間によって求める方法を説明する。なお、図3では、Sパラメータの要素S11を例にしている。

30

【0085】

また本明細書では、Sパラメータの要素を、「Sパラメータの要素名（S11等）」+「組み合わせ情報（C, F）」で表すことにする。例えば、S(10, 10)の要素S11をS11(10, 10)、S(10, 20)の要素S11をS11(10, 20)、S(20, 10)の要素S11をS11(20, 10)、S(20, 20)の要素S11をS11(20, 20)と表す。したがって、図3では、S11(10, 10)の測定値が100、S11(10, 20)の測定値が170、S11(20, 10)の測定値が160、S11(20, 20)の測定値が200であることを示している。なお、図3に示した要素S11の各値例は、実際の測定値ではなく、バイリニア補間を説明し易い数値にしている。

40

【0086】

図3の場合、例えばS11(18, 16)の推定値は、以下の第1ステップ～第3ステップによって求めることができる。

第1ステップ：S11(10, 10)の測定値とS11(20, 10)の測定値とを用いて、S11(18, 10)の推定値を求めるための補間演算を行う。

第2ステップ：S11(10, 20)の測定値とS11(20, 20)の測定値とを用いて、S11(18, 20)の推定値を求めるための補間演算を行う。

第3ステップ：第1ステップ及び第2ステップで求めたS11(18, 10)の推定値とS11(18, 20)の推定値とを用いて、S11(18, 16)の推定値を求めるための補間演算を行う。

【0087】

50

具体的には、次のようになる。

$S_{11}(18, 10)$ の推定値： $100 \times 0.2 + 160 \times 0.8 = 148$

$S_{11}(18, 20)$ の推定値： $170 \times 0.2 + 200 \times 0.8 = 194$

$S_{11}(18, 16)$ の推定値： $148 \times 0.4 + 194 \times 0.6 = 175.6$

したがって、 $S_{11}(18, 16)$ の推定値は、 175.6 となる。

【0088】

他の要素 $S_{12}(18, 16)$, $S_{21}(18, 16)$, $S_{22}(18, 16)$ も、それぞれ同様に推定値を求めることができる。そのため、測定していない S パラメータであっても、その各要素 S_{11} , S_{12} , S_{21} , S_{22} を求めることができる。

【0089】

なお、補間演算によって推定値を求めたい S パラメータが、 $S(18, 20)$ である場合は、 $S_{11}(10, 20)$ の測定値と $S_{11}(20, 20)$ の測定値とに基づいて、 $S_{11}(18, 20)$ の推定値を求めることができる。他の要素 $S_{12}(18, 20)$, $S_{21}(18, 20)$, $S_{22}(18, 20)$ も、それぞれ同様に推定値を求めることができる。

【0090】

すなわち、表2のように通常は格子状に S パラメータを測定するので、補間演算によって S パラメータを求める場合には、測定済みの4つの S パラメータに基づいて補間演算するが、測定済みの2つの S パラメータの間に求めたい S パラメータが存在する場合は、演算を簡単にできる。

【0091】

また、表2のように格子状に S パラメータを測定すると、補間演算が行いやすいという利点がある。もちろん、格子状に S パラメータが測定されていなくても補間演算は行える場合はある。

【0092】

また、図4に示すように、格子状に S パラメータを測定するとともに、他の一部の組み合わせ情報に対して S パラメータを測定してもよい。

図4は、格子状に S パラメータを測定するとともに、他の一部の組み合わせ情報に対して S パラメータを測定する場合の一例である。図4において、横軸は、可変コンデンサ21の可動部の位置情報 C であり、縦軸は、高周波電源1vの出力周波数情報 F である。また、黒丸が格子状に測定された S パラメータを示している。そして、領域Aや領域Bの部分について、さらに S パラメータを測定した一例を示している。

【0093】

例えば、インピーダンス整合すると予想される組み合わせ情報を基準とする所定範囲では、その範囲内の全ての組み合わせ情報に対して S パラメータを測定すればよい。このように、実質的に必要な組み合わせ情報に対して S パラメータを測定すると、 S パラメータの測定工数及びメモリ容量の増大を抑制しつつ、精度のよいインピーダンス整合を行うことができる。

【0094】

また上記では、測定した S パラメータのうち、推定したい S パラメータ [$S(18, 16)$] に隣接する S パラメータ [$S(10, 10)$] , [$S(20, 10)$] , [$S(10, 20)$] , [$S(20, 20)$] に基づいて、 S パラメータ [$S(18, 16)$] の推定値を演算していた。しかし、これに限定するものではない。例えば、 [$S(0, 0)$] , [$S(30, 0)$] , [$S(0, 30)$] , [$S(30, 30)$] に基づいて、 S パラメータ [$S(18, 16)$] の推定値を補間演算してもよい。補間演算に用いる測定した S パラメータは、推定したい S パラメータ [$S(18, 16)$] に隣接していなくてもよい。ただし、推定したい S パラメータと補間演算に用いる測定した S パラメータとの間隔が離れる程、推定値の精度が悪くなると考えられるので、どの S パラメータに基づいて補間演算をするのかは、精度と利便性を考慮して適宜決定すればよい。

【0095】

上記のように予め測定した S パラメータから測定していない S パラメータを補間演算に

10

20

30

40

50

よって推定することができる。そのため、推定したSパラメータをメモリ70に予め記憶してもよい。また、Sパラメータを変換したTパラメータを記憶してもよい。この場合、SパラメータやTパラメータの特性パラメータは、測定していない全ての組み合わせについて推定しても良いし、測定していない全ての組み合わせのうちの一部の組み合わせについて推定してもよい。なお、上記のように、推定したSパラメータ、推定したSパラメータを変換したTパラメータをメモリ70に記憶しておく、インピーダンス整合時の演算負荷が低減できる反面、メモリ容量を多く必要とするので、実情に合わせて適宜選択すればよい。

【0096】

なお、上記のように、推定したSパラメータ又は推定したSパラメータを変換したTパラメータをメモリ70に記憶する場合、例えば、測定したSパラメータ又は測定したSパラメータを変換したTパラメータを第1の記憶領域に記憶し、推定したSパラメータ又は推定したSパラメータを変換したTパラメータを第2の記憶領域に記憶してもよい。換言すると、測定したSパラメータ又は測定したSパラメータを変換したTパラメータを記憶する領域が第1の記憶領域であり、推定したSパラメータ又は推定したSパラメータを変換したTパラメータを記憶する領域が第2の記憶領域となる。

もちろん、第1の記憶領域及び第2の記憶領域は、同一のハードウェアに設けてもよいし、別のハードウェアに設けてもよい。また、第1の記憶領域及び第2の記憶領域を同一のハードウェアに設ける場合、第1の記憶領域及び第2の記憶領域を、所定の容量の領域毎に分けてもよいし、分けなくてもよい。なお、記憶するパラメータが、測定したパラメータ（測定したパラメータを変換したパラメータ）なのか、推定したパラメータ（推定したパラメータを変換したパラメータ）なのかが区別できるようにしておくことが好ましい。

【0097】

次にSパラメータのデータの測定方法について説明する。

【0098】

[Sパラメータの測定するための測定回路]

図5は、インピーダンス調整装置3AのSパラメータを測定するための測定回路の構成を示す図である。この測定回路の構成は、予め製品出荷前に、例えば工場内で組み上げられるものである。

【0099】

この図5に示すように、インピーダンス調整装置3AのSパラメータは、例えば入出力インピーダンスが50のネットワークアナライザ80を用いて測定される。そのため、インピーダンス調整装置3Aの入力端301に、ネットワークアナライザ80の第1入出力端子81が接続され、インピーダンス調整装置3Aの出力端302に、ネットワークアナライザ80の第2入出力端子82が接続される。また、インピーダンス調整装置3Aの制御部100に、ネットワークアナライザ80の制御端子83が接続される。

【0100】

なお、方向性結合器10は、特性パラメータ（この例ではSパラメータ）の測定時には使用されず、実際に、半導体やフラットパネルディスプレイ等を製造する際に使用されるものである。

【0101】

[Sパラメータの測定手順]

図5に示した測定回路では、可変コンデンサ21の可動部の位置を予め定めた段階ずつ変化させるとともに、ネットワークアナライザ80から出力される高周波の周波数を予め定めた段階ずつ変化させながら、ネットワークアナライザ80においてインピーダンス調整装置3AのSパラメータが測定される。以下、この手順を説明する。

なお、Sパラメータは、可変コンデンサ21の可動部の位置と高周波電源1vの出力周波数とを変数として測定されたものであり、可変コンデンサ21が0～100の101段階に変位可能であり、高周波電源1vの出力周波数が、0～100の101段階に変更可

10

20

30

40

50

能であるとする。また、表 2 に示すように、可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置及び出力周波数を、それぞれ 1 0 段階間隔で変更させた場合についての手順とする。

【 0 1 0 2 】

まず、制御部 1 0 0 により可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置が、例えば「 0 」に設定され、またネットワークアナライザ 8 0 の第 1 入出力端子 8 1 から、例えば「 0 」に対応する周波数（例えば 1 . 8 M H z ）を有する高周波がインピーダンス調整装置 3 A の入力端 3 0 1 に入力される。この高周波の周波数は、高周波電源 1 v から負荷 5 に供給される高周波電力の出力周波数に相当する。

【 0 1 0 3 】

ネットワークアナライザ 8 0 から出力された高周波（入射波）は、インピーダンス調整装置 3 A の入力端 3 0 1 で一部は反射し、第 1 入出力端子 8 1 からネットワークアナライザ 8 0 に入力され、残りはインピーダンス調整装置 3 A 内を透過し、出力端 3 0 2 から出力されて第 2 入出力端子 8 2 からネットワークアナライザ 8 0 に入力される。

10

【 0 1 0 4 】

そして、反射波及び透過波は、ネットワークアナライザ 8 0 の内部でそれぞれ検出され、入射波、反射波及び透過波を用いて S パラメータのうち、入力側の電圧反射係数（ S 11 ）、順方向電圧の伝達係数（ S 21 ）が測定される。すなわち、入射波、反射波及び透過波をそれぞれ a 1 , b 1 , b 2 とすると、 $S_{11} = b_1 / a_1$ 、 $S_{21} = b_2 / a_1$ の演算処理を行うことにより、電圧反射係数（ S 11 ）、順方向電圧の伝達係数（ S 21 ）が測定される。

20

【 0 1 0 5 】

次に、ネットワークアナライザ 8 0 の第 2 入出力端子 8 2 から同一の高周波がインピーダンス調整装置 3 A の出力端 3 0 2 に入力される。ネットワークアナライザ 8 0 から出力された高周波（入射波）は、インピーダンス調整装置 3 A の出力端 3 0 2 で一部は反射し、第 2 入出力端子 8 2 からネットワークアナライザ 8 0 に入力され、残りはインピーダンス調整装置 3 A 内を透過し、入力端 3 0 1 から出力されて第 1 入出力端子 8 1 からネットワークアナライザ 8 0 に入力される。

【 0 1 0 6 】

そして、反射波及び透過波は、ネットワークアナライザ 8 0 の内部でそれぞれ検出される。これらの入射波、反射波及び透過波を用いて S パラメータのうち、逆方向電圧の伝達係数（ S 12 ）、出力側の電圧反射係数（ S 22 ）が測定される。すなわち、入射波、反射波及び透過波をそれぞれ a 2 , b 2 , b 1 とすると、 $S_{12} = b_1 / a_2$ 、 $S_{22} = b_2 / a_2$ の演算処理を行うことにより、逆方向電圧の伝達係数（ S 12 ）、出力側の電圧反射係数（ S 22 ）が測定される。

30

【 0 1 0 7 】

これにより、先の工程と合わせて、可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置が「 0 」であり、出力周波数が「 0 」（この例では 1 . 8 M H z に相当）であるときの S パラメータ「 S (0 , 0) 」を構成する電圧反射係数（ S 11 ）、順方向電圧の伝達係数（ S 21 ）、逆方向電圧の伝達係数（ S 12 ）及び出力側の電圧反射係数（ S 22 ）が測定されたことになる。すなわち、可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置が「 0 」であり、高周波電源 1 v の出力周波数が「 0 」であるときの S パラメータ「 S (0 , 0) 」が測定される。測定した S パラメータは、ネットワークアナライザ 8 0 の制御端子 8 3 からインピーダンス調整装置 3 A の制御部 1 0 0 に送られる。

40

【 0 1 0 8 】

制御部 1 0 0 では、上述した「数 2 」を用いて測定した S パラメータから T パラメータに変換する。そして、変換された T パラメータは、制御部 1 0 0 により可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置とネットワークアナライザ 8 0 から出力される高周波の周波数（高周波電源 1 v の出力周波数に相当）とが対応関係を持つようにした上でメモリ 7 0 に送付され、メモリ 7 0 に記憶される。

【 0 1 0 9 】

50

その後、可変コンデンサ 21 の可動部の位置とネットワークアナライザ 80 から出力される高周波の周波数との組み合わせ情報を順次変更していくことによって、同様に所望の S パラメータを求めることができる。例えば、 $S(0, 0)$, $S(0, 10)$, \dots , $S(0, 90)$, $S(0, 100)$, $S(10, 0)$, $S(10, 10)$, \dots , $S(100, 90)$, $S(100, 100)$ のような順番で S パラメータを順次測定すればよい。もちろん、測定する順番は、この順番に限定されない。

【0110】

測定した S パラメータは、順次 T パラメータに変換される。変換された T パラメータは、制御部 100 により可変コンデンサ 21 の可動部の位置とネットワークアナライザ 80 から出力される高周波の周波数（高周波電源 1v の出力周波数に相当）とが対応関係を持つようにした上でメモリ 70 に送付され、メモリ 70 に記憶される。

10

【0111】

なお、上記では、1つの S パラメータを測定する毎に T パラメータに変換していたが、これに限定されるものではなく、複数の S パラメータを測定する毎に T パラメータに変換するようにしてもよいし、測定すべき S パラメータを一通り測定した後に、T パラメータに変換するようにしてもよい。そのために、必要に応じて S パラメータ用のメモリ及び T パラメータ用のメモリの両方を設ければよい。

【0112】

また、S パラメータや T パラメータのデータは、ネットワークアナライザ 80 のディスプレイ（図略）やインピーダンス調整装置 3A の外部に設けられたディスプレイやプリンタ（いずれも図略）等に出力するようにされてもよい。もちろん、外部の各種装置（図略）に出力してもよい。

20

【0113】

このようにして、インピーダンス調整装置 3A の S パラメータが測定されると、インピーダンス調整装置 3A は、例えば工場から出荷され、前述したように、高周波電源 1v と負荷 5 との間に介装されて、現地において実際に半導体やフラットパネルディスプレイ等を製造する際に使用される。

【0114】

[インピーダンス調整装置 3A の動作]

次に高周波電力供給システムとして実際に使用されるインピーダンス調整装置 3A の動作を、図 6 を参照して説明する。

30

【0115】

図 6 は、制御部 100 の機能ブロック図である。制御部 100 は、機能の観点から、図 6 に示すように、ベクトル化部 110、周波数検出部 120、T パラメータ取得部 130、現時点の出力反射係数演算部 140、目標入力反射係数設定部 150、仮想出力反射係数演算部 160、メモリ 170、近似反射係数探索部 180、目標位置設定部 191 及び目標周波数設定部 192 によって構成される。

【0116】

なお、周波数検出部 120 は、本発明の周波数検出手段の一例であり、T パラメータ取得部 130 は、本発明の特性パラメータ取得手段の一例であり、現時点の出力反射係数演算部 140 は、本発明の出力反射係数演算手段の一例であり、仮想出力反射係数演算部 160 は、本発明の仮想の出力反射係数演算手段の一例であり、メモリ 170 は、本発明の仮想の出力反射係数記憶手段の一例であり、近似反射係数探索部 180 は、本発明の近似反射係数探索手段の一例であり、目標位置設定部 191 は、本発明の目標電気特性設定手段の一例であり、目標周波数設定部 192 は、本発明の目標出力周波数設定手段の一例である。

40

【0117】

高周波電源 1v によって高周波電力が負荷 5 に供給されると、方向性結合器 10 によって進行波及び反射波が分離されて検出される。進行波側の検出信号は、進行波電圧として出力され、反射波側の検出信号は、反射波電圧として出力される。ベクトル化部 110 で

50

は、方向性結合器 10 の出力を入力し、入力信号を所定の間隔でサンプリングして、大きさ及び位相情報を含むベクトル情報として、現時点の入力端 301 における進行波電圧 V_{finow} 及び反射波電圧 V_{rinow} を出力する。なお、方向性結合器 10 の出力をデジタル情報に変換するために、A/Dコンバータ（図略）が設けられている。

【0118】

また、方向性結合器 10 等に代えて入力側検出器を用いる場合も、入力側検出器の出力をデジタル情報に変換するために、A/Dコンバータ（図略）が設けられており、周知の方法によって、入力側検出器から入力された情報に基づいて、進行波電圧 V_{finow} 及び反射波電圧 V_{rinow} が求められる。

この場合、入力側検出器と、入力側検出器から入力された情報に基づいて進行波電圧 V_{finow} 及び反射波電圧 V_{rinow} を求める部分とを含めたものが、本発明の高周波情報検出手段の一例となる。

【0119】

ベクトル化部 110 から現時点の入力端 301 における進行波電圧 V_{finow} 及び反射波電圧 V_{rinow} が出力されると、それらは現時点の出力反射係数演算部 140 に入力される。

【0120】

「数 7」に示すように、反射波電圧 V_{rinow} から進行波電圧 V_{finow} を除算することにより、現時点の入力端 301 における反射係数 Γ_{innow} （以下、入力反射係数 Γ_{innow} ）を演算することができる。なお、入力反射係数 Γ_{innow} の絶対値（入力反射係数絶対値）は、 $|\Gamma_{innow}|$ である。

【0121】

【数 7】

$$\Gamma_{innow} = \frac{V_{rinow}}{V_{finow}}$$

【0122】

周波数検出部 120 は、進行波電圧 V_{finow} を入力し、周知の方法によって高周波電源 1v から負荷 5 に供給される高周波電力の出力周波数を検出し、現時点の出力周波数 F_{now} として出力する。現時点の出力周波数 F_{now} は、Tパラメータ取得部 130 及び目標周波数設定部 192 に送られる。なお、周知の方法としては、例えば PLL（Phase-locked loop）を用いた周波数検出方法、零クロス法を用いた周波数検出方法等がある。もちろん、これらの方法に限定されず、他の方法を用いても良い。

また、上述したように、方向性結合器 10 に代えて、入力側検出器が用いられる場合は、周波数検出部 120 は、例えば、入力側検出器によって検出される高周波電圧を入力し、この高周波電圧に基づいて、高周波電源 1v から負荷 5 に供給される高周波電力の出力周波数を検出すればよい。

【0123】

また、上述したように、本実施形態で用いられる Sパラメータは、ネットワークアナライザ 80 から出力された高周波の周波数が、高周波電源 1v から負荷 5 に供給される高周波電力の出力周波数に相当するものとして測定されたものである。そのため、周波数検出部 120 で検出する出力周波数と、Sパラメータ測定時にネットワークアナライザ 80 から出力する高周波の周波数とのずれを可能な限り小さくしておく必要がある。

【0124】

このような観点で見た場合、高周波電源 1v が認識している電源認識出力周波数 F_{ge} と、周波数検出部 120 が検出する現時点の出力周波数 F_{now} とのずれも可能な限り小さくしておく必要がある。高周波電源 1v の製造メーカーとインピーダンス調整装置 3 の製造メーカーが同一であれば、上記のずれは可能な限り小さくすることができる。しかし、高周波

10

20

30

40

50

電源 1 v の製造メーカーと、インピーダンス調整装置 3 の製造メーカーとが異なる場合は、ずれが生じる恐れがある。そうすると、精度のよいインピーダンス整合ができなくなる。そのため、本実施形態では、インピーダンス調整装置 3（周波数検出部 1 2 0）で、高周波電源 1 v から負荷 5 に供給される高周波電力の出力周波数を検出するようにしている。

【 0 1 2 5 】

もちろん、電源認識出力周波数 F_{ge} と現時点の出力周波数 F_{now} とのずれが殆ど無い場合は、周波数検出部 1 2 0 を不要にし、電源認識出力周波数 F_{ge} を T パラメータ取得部 1 3 0 に入力するようにしてもよい。

【 0 1 2 6 】

一方、位置検出部 4 0 では、現時点における可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置が検出され、現時点の位置情報 C_{now} として出力され、T パラメータ取得部 1 3 0 に送られる。

【 0 1 2 7 】

T パラメータ取得部 1 3 0 は、位置検出部 4 0 から出力された現時点の位置情報 C_{now} 及び周波数検出部 1 2 0 から出力された現時点の出力周波数 F_{now} が入力される。

T パラメータ取得部 1 3 0 では、メモリ 7 0 に記憶されている T パラメータを用いて現時点の位置情報 C_{now} 及び現時点の出力周波数 F_{now} に対応した T パラメータを取得し、取得した T パラメータを出力する。出力された T パラメータは、現時点の出力反射係数演算部 1 4 0 に送られる。

【 0 1 2 8 】

現時点の位置情報 C_{now} 及び現時点の出力周波数 F_{now} に対応した T パラメータがメモリ 7 0 に記憶されている場合は、その T パラメータをメモリ 7 0 から取得し、取得した T パラメータを出力すればよい。しかし、現時点の位置情報 C_{now} 及び現時点の出力周波数 F_{now} に対応した T パラメータがメモリ 7 0 に記憶されていない場合は、メモリ 7 0 に記憶されている T パラメータを用いて、上述したように補間演算によって現時点の位置情報 C_{now} 及び現時点の出力周波数 F_{now} に対応した T パラメータを取得し、取得した T パラメータを出力すればよい。

【 0 1 2 9 】

現時点の出力反射係数演算部 1 4 0 では、現時点の入力端 3 0 1 における進行波電圧 V_{finow} 、反射波電圧 V_{rinow} 及び T パラメータ取得部 1 3 0 から出力された T パラメータに基づいて、現時点の出力端 3 0 2 における進行波電圧 V_{fonow} 及び反射波電圧 V_{ronow} が演算される。この場合、下記に示す「数 8」によって、現時点の出力端 3 0 2 における進行波電圧 V_{fonow} 及び反射波電圧 V_{ronow} が演算される。

【 0 1 3 0 】

【 数 8 】

$$\begin{bmatrix} V_{fo\ now} \\ V_{ro\ now} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11\ now} & T_{12\ now} \\ T_{21\ now} & T_{22\ now} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{fi\ now} \\ V_{ri\ now} \end{bmatrix}$$

$$V_{fo\ now} = T_{11\ now} \cdot V_{fi\ now} + T_{12\ now} \cdot V_{ri\ now}$$

$$V_{ro\ now} = T_{21\ now} \cdot V_{fi\ now} + T_{22\ now} \cdot V_{ri\ now}$$

【 0 1 3 1 】

なお、「数 8」において、 T_{11now} 、 T_{12now} 、 T_{21now} 及び T_{22now} は、T パラメータ取得部 1 3 0 から出力された T パラメータを構成する各要素である。すなわち、現時点の可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置、高周波電源 1 v の出力周波数に対応した T パラメータの各要素を示す。

【 0 1 3 2 】

10

20

30

40

50

また、現時点の出力反射係数演算部 140 は、「数 9」に示すように、現時点の出力端 302 における反射波電圧 V_{ronow} を進行波電圧 V_{fonow} で除算して、現時点の出力端 302 における反射係数 Γ_{outnow} (以下、出力反射係数 Γ_{outnow}) を演算する。演算結果は、近似反射係数探索部 180 に送られる。

【0133】

【数 9】

$$\Gamma_{outnow} = \frac{V_{ro\ now}}{V_{fo\ now}}$$

10

【0134】

また、現時点の出力反射係数 Γ_{outnow} は、Tパラメータを用いて、「数 10」のように演算することもできる。

【0135】

【数 10】

$$\Gamma_{outnow} = \frac{T_{21\ now} + T_{22\ now} \cdot \Gamma_{innow}}{T_{11\ now} + T_{12\ now} \cdot \Gamma_{innow}}$$

20

【0136】

目標入力反射係数設定部 150 では、予め目標となる入力反射係数 Γ_{inset} (以下「目標入力反射係数 Γ_{inset} 」という) が設定される。この目標入力反射係数 Γ_{inset} は、「数 11」によって表すことができる。この目標入力反射係数設定部 150 で設定された目標入力反射係数 Γ_{inset} は、仮想出力反射係数演算部 160 に送られる。なお、目標入力反射係数 Γ_{inset} は、随時変更できるようにしてもよい。

【0137】

【数 11】

$$\Gamma_{inset} = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0}$$

30

【0138】

「数 11」において、 Z_{in} は目標インピーダンスであって、実数部 R_{in} 及び虚数部 X_{in} の和である $Z_{in} = R_{in} + jX_{in}$ で表される。また、 Z_0 は特性インピーダンスである。なお、目標入力反射係数 Γ_{inset} は直接的に設定されてもよいし、目標入力反射係数 Γ_{inset} が直接的に設定されることに代えて、上記した目標インピーダンス Z_{in} 及び特性インピーダンス Z_0 が予め設定され、これらから目標入力反射係数 Γ_{inset} に変換されて用いられ

40

【0139】

目標入力反射係数 Γ_{inset} は通常は最小値、すなわち 0 (目標入力反射係数 Γ_{inset} を実数部と虚数部との和で表した場合、 $\Gamma_{inset} = 0 + j0$) であるので、この目標入力反射係数 Γ_{inset} になるように、可変コンデンサ 21 の可動部の位置及び高周波電源 1v の出力周波数を調整すると、入力端 301 における反射波が最小になって、インピーダンス整合を行わせることができる。もちろん、目標入力反射係数 Γ_{inset} を 0 以外にしてもよいが、整合したと見なす値以下に設定する (例えば、0.05 や 0.1 等の比較的小さい値)。また、所望する目標入力反射係数 Γ_{inset} は、予め設定しておいてもよいし、目標入力反射係数 Γ_{inset} を設定するための設定部を設けて、随時変更できるようにしてもよい

50

。

【 0 1 4 0 】

ここで、目標入力反射係数 inset、現時点の出力反射係数 outnow、及び T パラメータとの関係は、「数 1 2」のように表される。すなわち、現時点の出力反射係数 outnow において、目標入力反射係数設定部 1 5 0 で設定された目標入力反射係数 inset にしたときに「数 1 2」が成り立つ。

【 0 1 4 1 】

【 数 1 2 】

$$\Gamma_{\text{out now}} = \frac{T_{21 \text{ mat}} + T_{22 \text{ mat}} \cdot \Gamma_{\text{in set}}}{T_{11 \text{ mat}} + T_{12 \text{ mat}} \cdot \Gamma_{\text{in set}}} \quad 10$$

【 0 1 4 2 】

ただし、 $T_{11 \text{ mat}}$ 、 $T_{12 \text{ mat}}$ 、 $T_{21 \text{ mat}}$ 、 $T_{22 \text{ mat}}$ は、現時点の出力反射係数 outnow であるときに、目標入力反射係数 inset にできる可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置と高周波電源 1 v の出力周波数との組み合わせ情報に対応した T パラメータの各要素である。「数 1 2」は、以下のようにして求めることができる。

【 0 1 4 3 】

出力反射係数 outnow は、「数 9」または「数 1 0」で求めることができる。また、進行波電圧 V_{fonow} 及び反射波電圧 V_{ronow} は、「数 8」を参照して T パラメータを考慮すれば、 $V_{\text{fonow}} = T_{11 \text{ mat}} \cdot V_{\text{finow}} + T_{12 \text{ mat}} \cdot V_{\text{rinow}}$ 、 $V_{\text{ronow}} = T_{21 \text{ mat}} \cdot V_{\text{finow}} + T_{22 \text{ mat}} \cdot V_{\text{rinow}}$ で表される (V_{finow} 、 V_{rinow} は、現時点の入力端における進行波電圧及び反射波電圧)。したがって、 $\text{outnow} = (T_{21 \text{ mat}} \cdot V_{\text{finow}} + T_{22 \text{ mat}} \cdot V_{\text{rinow}}) / (T_{11 \text{ mat}} \cdot V_{\text{finow}} + T_{12 \text{ mat}} \cdot V_{\text{rinow}})$ となる。ここで、入力反射係数 $\text{inset} = V_{\text{rinow}} / V_{\text{finow}}$ なので、 $\text{outnow} = [T_{21 \text{ mat}} \cdot V_{\text{finow}} + T_{22 \text{ mat}} \cdot (\text{inset} \cdot V_{\text{finow}})] / [T_{11 \text{ mat}} \cdot V_{\text{finow}} + T_{12 \text{ mat}} \cdot (\text{inset} \cdot V_{\text{finow}})] = (T_{21 \text{ mat}} + T_{22 \text{ mat}} \cdot \text{inset}) / (T_{11 \text{ mat}} + T_{12 \text{ mat}} \cdot \text{inset})$ となる。 20

【 0 1 4 4 】

上記のように「数 1 2」が成り立つため、現時点の出力反射係数演算部 1 4 0 で現時点の出力反射係数 outnow を求めたときに、「数 1 2」が成り立つ T パラメータ ($T_{11 \text{ mat}}$ 、 $T_{12 \text{ mat}}$ 、 $T_{21 \text{ mat}}$ 、 $T_{22 \text{ mat}}$) にできれば、入力反射係数 innow を目標入力反射係数 inset にすることができる。したがって、「数 1 2」が成り立つ T パラメータ ($T_{11 \text{ mat}}$ 、 $T_{12 \text{ mat}}$ 、 $T_{21 \text{ mat}}$ 、 $T_{22 \text{ mat}}$) に対応する可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置と高周波電源 1 v の出力周波数との組み合わせを探せばよい。 30

【 0 1 4 5 】

しかし、「数 1 2」が成り立つように T パラメータの 4 つの要素 ($T_{11 \text{ mat}}$ 、 $T_{12 \text{ mat}}$ 、 $T_{21 \text{ mat}}$ 、 $T_{22 \text{ mat}}$) をそれぞれ自由に調整できるのであれば、「数 1 2」が成り立つ T パラメータ ($T_{11 \text{ mat}}$ 、 $T_{12 \text{ mat}}$ 、 $T_{21 \text{ mat}}$ 、 $T_{22 \text{ mat}}$) を求めることができる。ところが、S パラメータや T パラメータは、インピーダンス調整装置全体を伝送装置として扱ったときの伝送特性を表すものであり、可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置と高周波電源 1 v の出力周波数との組み合わせ毎に、4 つの要素が 1 組となって測定されたものである。そのため、厳密に「数 1 2」が成り立つ T パラメータ ($T_{11 \text{ mat}}$ 、 $T_{12 \text{ mat}}$ 、 $T_{21 \text{ mat}}$ 、 $T_{22 \text{ mat}}$) が存在する可能性は低い。 40

【 0 1 4 6 】

ここで、表 3 に示すような予め測定した T パラメータ又は予め測定した T パラメータから補間演算によって推定できる T パラメータを「数 1 2」の右辺に代入したときの演算結果を仮想の出力反射係数 outnow' とする。また、「数 1 2」の右辺に代入する T パラメータが $T(C, F)$ であるときの仮想の出力反射係数を outnow' (C, F) と表す。また、T パラメータの各要素も同様に、 $T_{11 \text{ mat}}(C, F)$ 、 $T_{12 \text{ mat}}(C, F)$ 、 $T_{21 \text{ mat}}$ 50

(C, F), T22mat(C, F)と表す。例えば、T(1, 0)であるときの仮想の出力反射係数を outnow'(1, 0)と表す。上記の関係は、「数13」のようになる。なお、T(C, F)は複数個あるので、outnow'(C, F)も複数個演算される。

【0147】

【数13】

$$\Gamma_{\text{out now}'}(C, F) = \frac{T_{21} \text{ mat}(C, F) + T_{22} \text{ mat}(C, F) \cdot \Gamma_{\text{in set}}}{T_{11} \text{ mat}(C, F) + T_{12} \text{ mat}(C, F) \cdot \Gamma_{\text{in set}}}$$

【0148】

10

そのため、演算した仮想の出力反射係数 outnow'(C, F)の中から、現時点の出力反射係数 outnowに一番近い仮想の出力反射係数 outnow''(C, F) (以下、近似反射係数 outnow''(C, F)という。)を探せば、「数12」が成り立つ条件に一番近い可変コンデンサ21の可動部の位置と高周波電源1vの出力周波数との組み合わせを特定することができる。上述したように、目標入力反射係数 insetは、整合したと見なす値以下に設定されるので、近似反射係数 outnow''(C, F)にすることができれば、整合したと見なすことができる。

【0149】

そこで、仮想出力反射係数演算部160では、TパラメータがT(C, F)であるときの仮想の出力反射係数 outnow'(C, F)を演算する。そして、演算した仮想の出力反射係数 outnow'(C, F)を、可変コンデンサ21の可動部の位置と高周波電源1vの出力周波数との組み合わせ情報(C, F)に関連付けてメモリ170に記憶していく。

20

【0150】

メモリ170に記憶する工程は、予め行っておけるので、インピーダンス整合を行う前に行っておくことが好ましい。そうすることで、インピーダンス整合時の演算負荷を低減できる。なお、目標入力反射係数 insetを変更した場合は、再度、仮想出力反射係数演算部160で、TパラメータがT(C, F)であるときの仮想の出力反射係数 outnow'(C, F)を演算し、演算した仮想の出力反射係数 outnow'(C, F)を、可変コンデンサ21の可動部の位置と高周波電源1vの出力周波数との組み合わせ情報(C, F)に関連付けてメモリ170に記憶しておくのが好ましい。

30

【0151】

近似反射係数探索部180は、メモリ170に記憶されている仮想の出力反射係数 outnow'(C, F)の中から、現時点の出力反射係数 outnowに一番近いもの(近似反射係数 outnow''(C, F))を探索するものである。探索する際には、現時点の出力反射係数 outnowと、仮想の出力反射係数 outnow'(C, F)との間の絶対値が一番小さいものを探索すればよい。

【0152】

近似反射係数探索部180によって探索された近似反射係数 outnow''(C, F)には、可変コンデンサ21の可動部の位置情報C及び高周波電源1vの出力周波数情報Fが含まれている(関連付けられている)。そのため、探索された近似反射係数 outnow''(C, F)に対応する可変コンデンサ21の可動部の位置及び高周波電源1vの出力周波数が特定できる。

40

【0153】

なお、もし近似反射係数 outnow''(C, F)の絶対値 |outnow''(C, F)|が、所定値よりも大きい場合は、例えば、一旦可変コンデンサ21の可動部の位置及び高周波電源1vの出力周波数を調整した後、再度近似反射係数 outnow''(C, F)を探索する工程を行う等の処理をすればよい。または、異常があったと見なして異常信号を出力するようにしてもよい。

【0154】

これまでの説明で明らかのように、上記のようにして特定した可変コンデンサ21の可

50

動部の位置及び高周波電源 1 v の出力周波数にすると、入力端における反射係数 Γ_{in} を目標入力反射係数 Γ_{inset} に近づけることができる。すなわち整合状態に近づけることができる。通常はインピーダンス整合したと見なされる状態にすることができる。そのため、以下に示すように、特定した可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置及び高周波電源 1 v の出力周波数にするための調整が行われる。

【 0 1 5 5 】

目標位置設定部 1 9 1 は、上記のようにして特定した可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置を目標位置 C_{mat} (本発明の目標電気特性情報の一例) として設定する。また目標位置設定部 1 9 1 は、可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置が目標位置 C_{mat} に調整(変位)されるように指令信号としての目標位置情報 C_{mat} を調整部 3 0 に向けて出力する。目標位置情報 C_{mat} は調整部 3 0 に適した形式で生成される。例えば電圧信号やパルス信号として生成される。

10

【 0 1 5 6 】

調整部 3 0 は、目標位置情報 C_{mat} に基づいて、ステッピングモータ等を駆動し、可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置を目標位置 C_{mat} に調整する(変位させる)。

【 0 1 5 7 】

目標周波数設定部 1 9 2 は、上記のようにして特定した高周波電源 1 v の出力周波数を目標出力周波数 f_{mat} (本発明の目標出力周波数情報の一例) として設定する。また目標周波数設定部 1 9 2 は、高周波電源 1 v の出力周波数が目標出力周波数 f_{mat} に調整(変更)されるように指令信号としての目標出力周波数情報 F_{mat} を高周波電源 1 v に向けて出力する。目標出力周波数情報 F_{mat} は高周波電源 1 v に適した形式で生成される。

20

【 0 1 5 8 】

高周波電源 1 v は、目標出力周波数情報 F_{mat} に基づいて、出力周波数を目標出力周波数 f_{mat} に調整(変更)する。

【 0 1 5 9 】

ここで、目標出力周波数情報 F_{mat} について補足説明をする。

上述したように、高周波電源 1 v の製造メーカーと、インピーダンス調整装置 3 の製造メーカーとが異なる場合等で、高周波電源 1 v が認識している電源認識出力周波数 F_{ge} と、周波数検出部 1 2 0 が検出する現時点の出力周波数 F_{now} (インピーダンス調整装置 3 が認識する現時点の出力周波数 F_{now}) とのずれ(誤差)が生じる場合がある。そうになると、精度のよいインピーダンス整合ができない。

30

【 0 1 6 0 】

そのため、目標出力周波数 f_{mat} を、そのまま高周波電源 1 v に出力するのではなく、「数 2 1」のように、目標出力周波数 f_{mat} と現時点の出力周波数 F_{now} との差を演算し、その差に電源認識出力周波数 F_{ge} を加算した周波数を目標周波数情報 F_{mat} とする。このようにすれば、電源認識出力周波数 F_{ge} とインピーダンス調整装置 3 が認識する現時点の出力周波数 F_{now} とのずれ(誤差)を考慮した目標出力周波数情報 F_{mat} を高周波電源 1 v に向けて出力することになるので、電源認識出力周波数 F_{ge} と現時点の出力周波数 F_{now} とにずれ(誤差)が生じる場合であっても、精度のよいインピーダンス整合を行える。

40

【 0 1 6 1 】

【数 1 4】

$$F_{mat} = (f_{mat} - F_{now}) + F_{ge}$$

【 0 1 6 2 】

または、「数 1 5」のように、目標出力周波数 f_{mat} と現時点の出力周波数 F_{now} との差を演算し、その差の周波数を目標周波数情報 F_{mat} とする。そして、高周波電源 1 v 側で電源認識出力周波数 F_{ge} に目標周波数情報 F_{mat} を加算した周波数を演算し、新たな出力周波数とするように高周波電源 1 v を構成してもよい。このようにしても、電源認識出力周波数 F_{ge} と現時点の出力周波数 F_{now} とにずれが生じる場合であっても、精度のよいイ

50

ンピーダンス整合を行える。

【 0 1 6 3 】

【 数 1 5 】

$$F_{mat} = f_{mat} - F_{now}$$

【 0 1 6 4 】

[第 2 実施形態]

【 0 1 6 5 】

図 7 は、第 2 実施形態における制御部 1 0 0 a の機能ブロック図である。制御部 1 0 0 a は、機能の観点から、図 7 に示すように、ベクトル化部 1 1 0、周波数検出部 1 2 0、T パラメータ取得部 1 3 0、現時点の出力反射係数演算部 1 4 0、目標入力反射係数設定部 1 5 0、仮想出力反射係数演算部 1 6 0 a、メモリ 1 7 0、近似反射係数探索部 1 8 0、目標位置設定部 1 9 1 及び目標周波数設定部 1 9 2 によって構成される（第 1 実施形態とは、仮想出力反射係数演算部 1 6 0 a が異なる）。 10

【 0 1 6 6 】

上記の第 1 実施形態では、仮想出力反射係数演算部 1 6 0 が、例えば、メモリ 7 0 に記憶されている全ての特性パラメータ（以下では T パラメータを用いて説明する）を対象として、T パラメータが $T(C, F)$ であるときの仮想の出力反射係数 $outnow'(C, F)$ を演算する。そして、演算した仮想の出力反射係数 $outnow'(C, F)$ を、可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置と高周波電源 1 v の出力周波数との組み合わせ情報 (C, F) に関連付けてメモリ 1 7 0 に記憶していた。 20

【 0 1 6 7 】

これに対して、第 2 実施形態では、仮想出力反射係数演算部 1 6 0 a が、例えば、メモリ 7 0 に記憶されている一部の T パラメータを対象として、その T パラメータが $T(C, F)$ であるときの仮想の出力反射係数 $outnow'(C, F)$ を演算する。そして、演算した仮想の出力反射係数 $outnow'(C, F)$ を、可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置と高周波電源 1 v の出力周波数との組み合わせ情報 (C, F) に関連付けてメモリ 1 7 0 に記憶するように構成される。以下、図を用いて説明する。

【 0 1 6 8 】

図 8 は、仮想出力反射係数演算部 1 6 0 a が対象とする T パラメータの一例を示すものである。 30

【 0 1 6 9 】

メモリ 7 0 には、例えば、図 8 (a) 及び図 8 (b) のように T パラメータが記憶されているとする。なお、黒丸が記憶されている T パラメータを示している。

(1) 図 8 (a) は、可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置情報 C と高周波電源 1 v の出力周波数情報 F とが格子状（それぞれ 0 ~ 1 0 0 の範囲、1 0 間隔）に組み合わせられた場合の T パラメータがメモリ 7 0 に記憶されていることを示している。

(2) 図 8 (b) は、図 8 (a) の一部を拡大したものであって、可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置情報 C と高周波電源 1 v の出力周波数情報 F とが、それぞれ 4 5 ~ 5 5 の範囲、且つ 1 間隔で組み合わせられた場合の T パラメータがメモリ 7 0 に記憶されていることを示している。 40

【 0 1 7 0 】

仮想出力反射係数演算部 1 6 0 a は、図 8 (b) に示す T パラメータを対象とし、第 1 実施形態と同様に対象となる T パラメータが $T(C, F)$ であるときの仮想の出力反射係数 $outnow'(C, F)$ を演算する。

【 0 1 7 1 】

そして、演算した仮想の出力反射係数 $outnow'(C, F)$ を、可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置と高周波電源 1 v の出力周波数との組み合わせ情報 (C, F) に関連付けてメモリ 1 7 0 に記憶していく（上記の第 1 実施形態と同様である）。 50

【 0 1 7 2 】

近似反射係数探索部 1 8 0、目標位置設定部 1 9 1、目標周波数設定部 1 9 2 等は、上記の第 1 実施形態と同様であるので、第 1 実施形態と同様に、可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置及び高周波電源 1 v の出力周波数が調整される。ここでは説明を省略する。

【 0 1 7 3 】

なお、もし近似反射係数 $\text{outnow}''(C, F)$ の絶対値 $|\text{outnow}''(C, F)|$ が、所定値よりも大きい場合は、例えば、図 8 (a) に示す T パラメータ (図 8 (b) に示す T パラメータは対象外) を対象とし、上記したように対象となる T パラメータが $T(C, F)$ であるときの仮想の出力反射係数 $\text{outnow}'(C, F)$ を演算し、その後、演算した仮想の出力反射係数 $\text{outnow}'(C, F)$ を、可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置と高周波電源 1 v の出力周波数との組み合わせ情報 (C , F) に関連付けてメモリ 1 7 0 に記憶していく。そして、近似反射係数探索部 1 8 0 が、新たにメモリ 1 7 0 に記憶した仮想の出力反射係数 $\text{outnow}'(C, F)$ の中から、現時点の出力反射係数 outnow に一番近いもの (近似反射係数 $\text{outnow}''(C, F)$) を探索すればよい。これらは、上記の第 1 実施形態と同様であるので、詳細な説明は省略する。

【 0 1 7 4 】

< 第 2 実施形態の効果 >

上記のようにすると、インピーダンス整合すると予想される可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置情報 C と高周波電源 1 v の出力周波数情報 F との組み合わせ情報が大凡分かっている場合に効果がある。

すなわち、インピーダンス整合すると予想される可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置情報 C と高周波電源 1 v の出力周波数情報 F との組み合わせ情報が大凡分かっているので、該当する範囲の仮想の出力反射係数 $\text{outnow}'(C, F)$ を対象とすれば、近似反射係数探索部 1 8 0 において、効率よく近似反射係数 $\text{outnow}''(C, F)$ を探索することができる。具体的には、第 1 実施形態よりも第 2 実施形態の方が、近似反射係数探索部 1 8 0 において、近似反射係数 $\text{outnow}''(C, F)$ を探索する際の探索数が少なくて済むので、演算負荷が少ない。よって、第 1 実施形態よりも第 2 実施形態の方が、高速に処理を行うことができる。

【 0 1 7 5 】

なお、上記では、特定の範囲にある可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置情報 C と高周波電源 1 v の出力周波数情報 F との組み合わせ情報 (C , F) を対象としたが、対象とする範囲は、1 つではなく複数であってもよい。例えば、プラズマのプロセス条件が途中で変更されることにより、インピーダンス整合すると予想される可変コンデンサ 2 1 の可動部の位置情報 C と高周波電源 1 v の出力周波数情報 F との組み合わせ情報が変わる場合に有効である。

【 0 1 7 6 】

また、この発明の範囲は上述した実施形態に限定されるものではない。例えば、上記実施形態では、特性パラメータとして S パラメータや T パラメータを用いたが、特性パラメータとしてはこれらに限るものではない。例えば Z パラメータや Y パラメータであってもよく、この場合は、これらのパラメータを上述した T パラメータに変換して上述のインピーダンス整合を行えばよい。

【 符号の説明 】

【 0 1 7 7 】

- 1 高周波電源
- 1 v 可変周波数方式の高周波電源
- 2 伝送線路
- 3 インピーダンス調整装置
- 3 A インピーダンス調整装置
- 4 負荷接続部
- 5 負荷 (プラズマ処理装置)

10

20

30

40

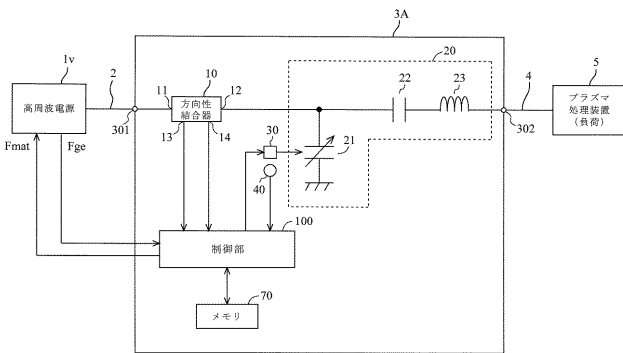
50

- 1 0 方向性結合器
- 2 0 調整回路
- 2 1 可変コンデンサ
- 2 2 インピーダンスが固定のコンデンサ
- 2 3 インダクタ
- 3 0 調整部
- 4 0 位置検出部
- 7 0 メモリ
- 8 0 ネットワークアナライザ
- 1 0 0 制御部
- 1 0 0 a 制御部
- 1 1 0 ベクトル化部
- 1 2 0 周波数検出部
- 1 3 0 Tパラメータ取得部
- 1 4 0 現時点の出力反射係数演算部
- 1 5 0 目標入力反射係数設定部
- 1 6 0 仮想出力反射係数演算部
- 1 6 0 a 仮想出力反射係数演算部
- 1 7 0 メモリ
- 1 8 0 近似反射係数探索部
- 1 9 1 目標位置設定部
- 1 9 2 目標周波数設定部

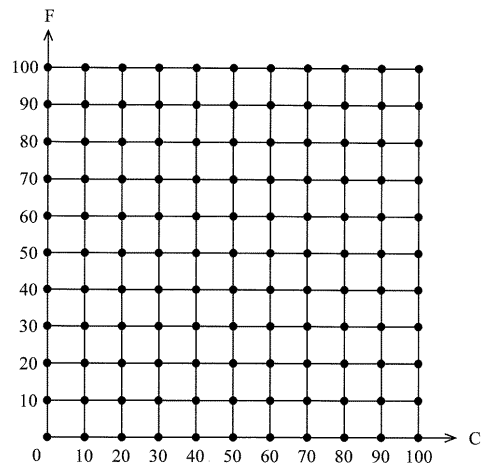
10

20

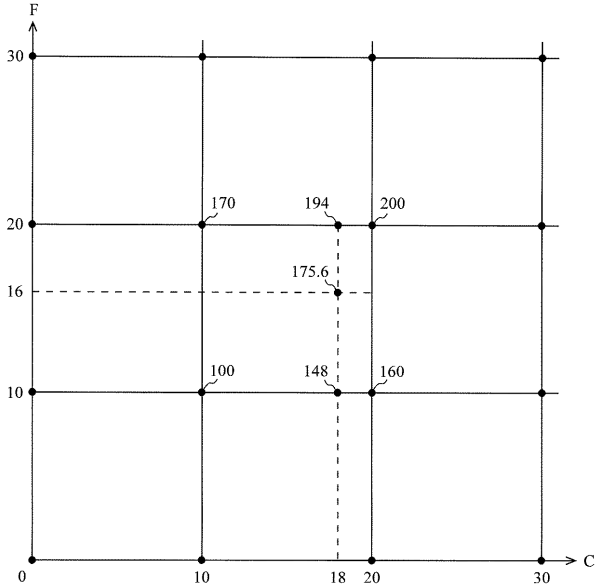
【図1】



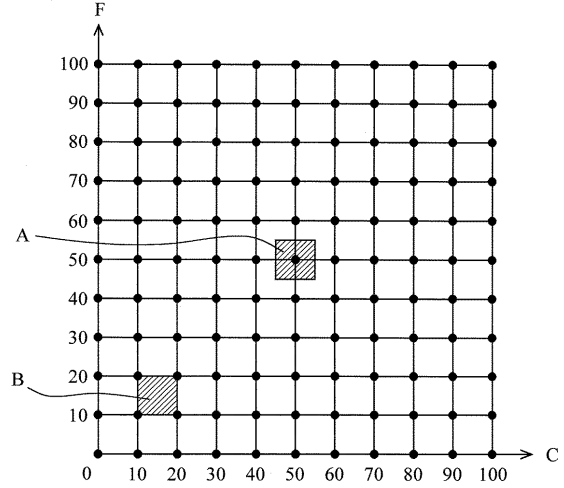
【図2】



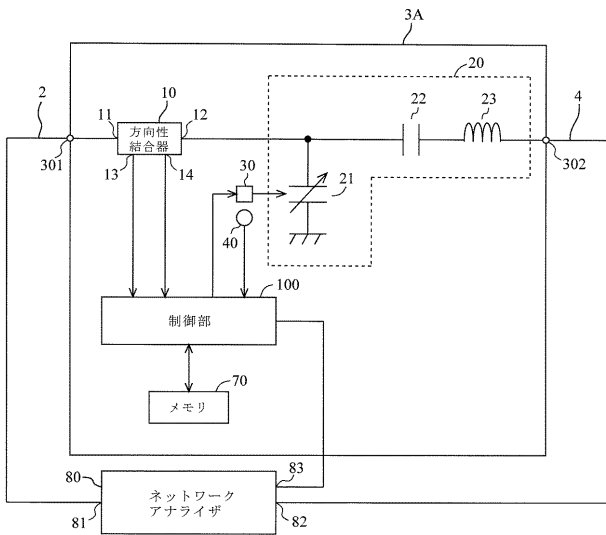
【 図 3 】



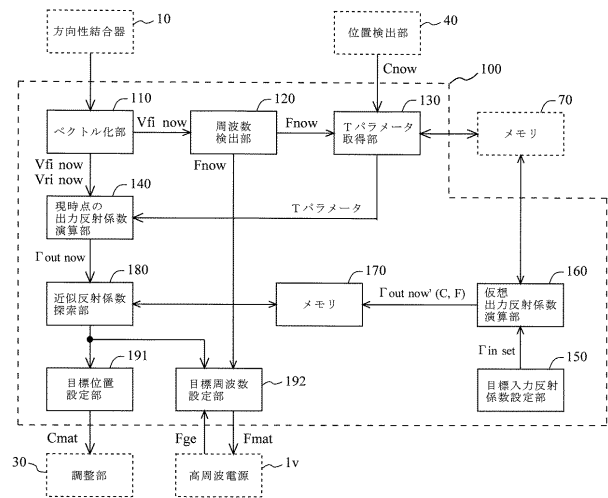
【 図 4 】



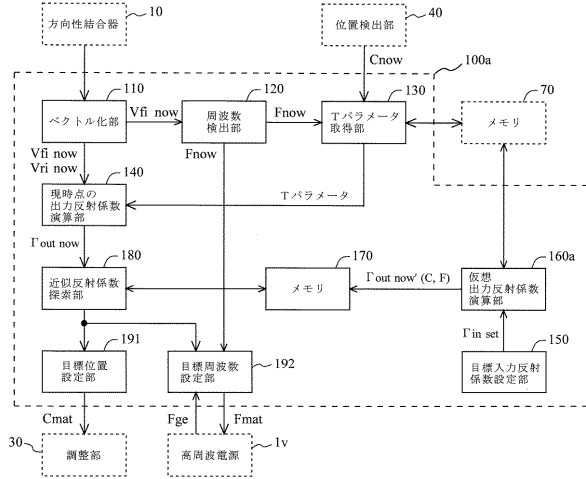
【 図 5 】



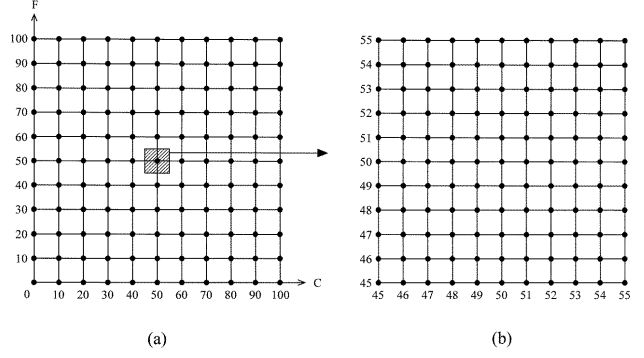
【 図 6 】



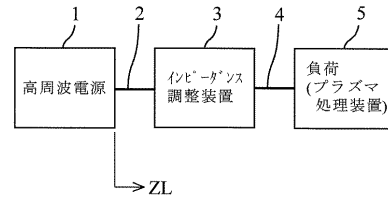
【図 7】



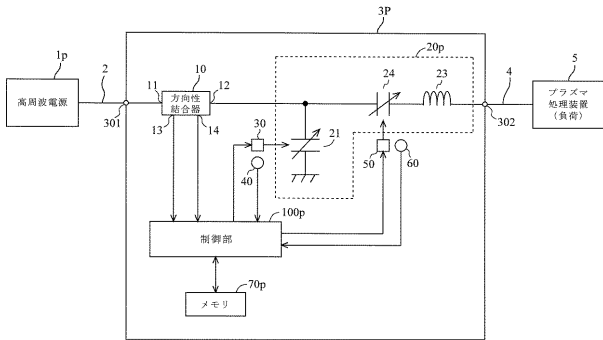
【図 8】



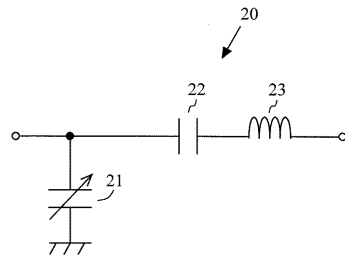
【図 9】



【図 10】



【図 12】



【図 11】

