

(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2007-336148
(P2007-336148A)

(43) 公開日 平成19年12月27日(2007.12.27)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
H03H 7/38 (2006.01)	H03H 7/38 Z	5F004
G01R 35/00 (2006.01)	G01R 35/00 J	
H05H 1/46 (2006.01)	H05H 1/46 R	
H01L 21/3065 (2006.01)	H01L 21/302 I O I G	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2006-164522 (P2006-164522)	(71) 出願人	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
(22) 出願日	平成18年6月14日 (2006.6.14)	(74) 代理人	100086380 弁理士 吉田 稔
		(74) 代理人	100103078 弁理士 田中 達也
		(74) 代理人	100115369 弁理士 仙波 司
		(74) 代理人	100117178 弁理士 古澤 寛
		(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
		Fターム(参考)	5F004 BB11 BB13 CA03 CB05

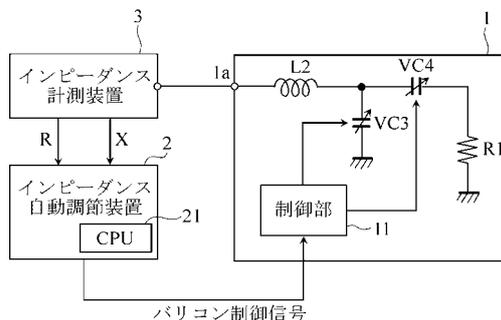
(54) 【発明の名称】 電気特性調整装置

(57) 【要約】

【課題】 ダミーロードに任意のインピーダンスを設定するために、2つのバリコンのバリコンポジションを自動調整するインピーダンス自動調整装置を提供する。

【解決手段】 インピーダンス自動調整装置に、ダミーロードの2つのバリコンポジションを調整する調整手段と、インピーダンス計測装置で計測したインピーダンスから評価値を算出する評価値算出手段とを設け、当該インピーダンス自動調整装置が、一方の調整手段を固定した、評価値が最小となる他方の調整手段による調整と、他方の調整手段を固定した、評価値が最小となる一方の調整手段による調整とを、インピーダンス計測装置で計測したインピーダンスが所定の範囲に収まるまで自動的に交互に繰り返すようにした。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電気的な特性値を変更可能な複数の回路素子と、これらの回路素子の特性値をそれぞれ変更するために各回路素子に対応して設けられた複数のアクチュエータと、これらのアクチュエータの駆動を制御する駆動制御手段とを備えた装置の電気的な特性値を予め設定された目標特性値に自動調整するための電気特性調整装置であって、

前記電気的な特性値を計測する計測装置によって、計測された装置の特性値を入手する特性値入手手段と、

前記複数の回路素子のうち、1の回路素子を可変素子としその他の回路素子を固定素子として、前記駆動制御手段により当該可変素子の特性値を所定の変化範囲で変化させる特性値変化手段と、

前記特性値変化手段により前記可変素子の特性値が変化する毎に、所定の演算式により前記特性値入手手段により入手された特性値と前記目標特性値との誤差を評価する誤差評価値を演算し、この誤差評価値が最小となる前記可変素子の特性値を求める回路素子調整手段と、

前記複数の回路素子の各回路素子を順番に可変素子に切り換え、各可変素子について前回可変素子とされた回路素子の特性値を前記回路素子調整手段で求められた特性値に固定して前記特性値変化手段による特性値の変更と前記回路素子調整手段による回路素子の調整を行う動作を、前記特性値入手手段により入手された特性値が前記目標特性値の許容範囲内となるまで繰り返す調整制御手段と、
を備えたことを特徴とする電気特性調整装置。

【請求項 2】

前記特性値変化手段は、前記可変素子としての回路素子の特性値を黄金分割法を用いて前記所定の変化範囲内で離散的に変化させることを特徴とする請求項 1 に記載の電気特性調整装置。

【請求項 3】

前記特性値変化手段は、各回路素子を可変素子としてその特性値を変化させるとき、その変化範囲を当該可変素子の前回の特性値の変化量に基づいて設定する範囲設定手段を更に備えたことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の電気特性調整装置。

【請求項 4】

前記特性値入手手段により入手された特性値は前記装置のインピーダンス値であり、前記回路素子調整手段は、下記演算式(1)により誤差評価値を演算することを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の電気特性調整装置。

【数 1】

$$\text{誤差評価値} = \sqrt{a \cdot (R_0 - R)^2 + b \cdot (X_0 - X)^2 + c \cdot (R \text{の超過量})^2 + d \cdot (X \text{の超過量})^2} \quad \dots (1)$$

a, b, c, d: 評価用の重み付け係数

R: 入手されたインピーダンス値の抵抗成分

R₀: インピーダンス目標値の抵抗成分

X: 入手されたインピーダンス値のリアクタンス成分

X₀: インピーダンス目標値のリアクタンス成分

Rの超過量: R₀の許容範囲からのRの逸脱量

Xの超過量: X₀の許容範囲からのXの逸脱量

【請求項 5】

前記装置は、複数の回路素子として2個のリアクタンス値を変更可能なリアクタンス素子を備えた擬似負荷装置であることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の電気特性調整装置。

【請求項 6】

前記装置は、複数の回路素子として2個のリアクタンス値を変更可能なリアクタンス素子を備えたインピーダンス整合装置であり、

前記計測装置は、前記インピーダンス整合装置の進行波電力を計測する第1の電力計測

装置と、前記インピーダンス整合装置の反射波電力を計測する第2の電力計測装置であり、

前記回路素子調整手段は、前記特性値入手手段により入手された進行波電力と反射波電力から反射係数を算出し、所定の演算式により算出したこの反射係数と予め設定された反射係数の目標値との誤差を評価する誤差評価値を用いて前記可変素子の特性値を求める、ことを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載の電気特性調整装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願発明は、電気的な特性値を変化することができる装置の特性値を目標特性値に自動調整する電気特性調整装置に関する。 10

【背景技術】

【0002】

高周波電源装置から高周波電力をプラズマ処理装置に供給し、エッチング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プラズマ処理システムにおいては、プラズマ処理中にプラズマ処理装置のインピーダンスが大きく変動するため、一般に、図7に示すように、高周波電源装置10とプラズマ処理装置30との間にインピーダンス整合装置20を介在させ、このインピーダンス整合装置20によって高周波電源装置10とプラズマ処理装置30とのインピーダンス整合を行う構成が採用されている。

【0003】

インピーダンス整合装置20は、高周波電源装置10とプラズマ処理装置30とのインピーダンスを整合させるものであり、プラズマ処理中において、インピーダンス整合装置20の入力端20aからプラズマ処理装置30側を見たインピーダンス Z_1 が略50になるように負荷のインピーダンスを変換する。インピーダンス整合装置20は、インダクタL1、可変リアクタンス素子であるバリコンVC1、VC2をT型接続したものと入力側検出器201と制御部202を備えている。入力側検出器201は、インピーダンス整合装置20の入力端20aに入力される高周波電源装置10の出力の電圧 V_i 、電流 I_i 、および電圧 V_i と電流 I_i との位相差 θ_i を検出し、制御部202に入力する。制御部202は、マイクロコンピュータを備えており、入力側検出器201からの検出結果 V_i 、 I_i 、 θ_i に基づいて、インピーダンス整合装置20の入力インピーダンス、すなわちインピーダンス整合装置20の入力端20aからプラズマ処理装置30側を見たインピーダンス Z_1 を算出する。そして、制御部202は、この入力インピーダンス Z_1 を高周波電源装置10の出力インピーダンス Z_{out} (= 50) に整合させるように、バリコンVC1、VC2の調整位置(以下、それぞれ「バリコンポジションC1」、「バリコンポジションC2」という。)を調整する。 20

【0004】

インピーダンス整合装置20は、制御部202がプラズマ処理装置30のインピーダンス Z_L (以下、「負荷インピーダンス Z_L 」という。)の変化に応じてバリコンVC1、VC2を変化させ、入力インピーダンス Z_1 を出力インピーダンス Z_{out} に整合させるようになっている。 40

【0005】

なお、負荷インピーダンス Z_L の変化範囲に含まれる多数のインピーダンス値に対して、インピーダンス整合装置20が整合動作を正しく行えるかどうかを予め検証しておく必要がある。

【0006】

図8は、図7のプラズマ処理装置30の代わりにダミーロード40を用いて、インピーダンス整合装置20の整合動作を検証するためのシステムである。

【0007】

ダミーロード40は、擬似的にプラズマ処理装置30の特性インピーダンスを生成するものであり、インダクタL2と可変リアクタンス素子であるバリコンVC3、VC4をT型 50

接続したもので、バリコンVC4は50の抵抗R1で終端されている。なお、終端抵抗R1を50にしているのは、計測系の特性インピーダンスが50であるからである。バリコンVC3, VC4のキャパシタンスはステップ状に変化可能になっている。キャパシタンスを変化させることで、任意のインピーダンスを設定できるようになっている。

【0008】

インピーダンス整合装置20は、ダミーロード40によって擬似的に生成された、負荷インピーダンスZLの変化範囲に含まれる多数のインピーダンス値に対して、入力インピーダンスZ1を出力インピーダンスZoutに整合させる事ができるかが検証される。例えば、プラズマ処理装置30の負荷インピーダンスZLが取り得るインピーダンス値の変化範囲に40個の代表的な負荷インピーダンス値を抽出した場合、インピーダンス整合装置20は、それぞれダミーロード40によって生成された40個の負荷インピーダンス値に対して、入力インピーダンスZ1を出力インピーダンスZoutに整合させる事ができるかが検証される。

10

【0009】

ダミーロード40を用いてインピーダンス整合装置20の整合動作を検証するには、まず、ダミーロード40の2つのバリコンVC3, VC4を調整してダミーロード40に負荷インピーダンスZLの変化範囲の値を設定する。そのとき、インピーダンス整合装置20は、入力側検出器201からの入力を基に算出したインピーダンス整合装置20の入力インピーダンスZ1を高周波電源10の出力インピーダンスZout(=50)に整合する事ができるかが検証される。

20

【0010】

また、近年は、図7に示すプラズマ処理システムにおいて、プラズマ処理中の動的なインピーダンス整合動作を、高周波電源装置10の出力周波数を微小変動させて行うプラズマ処理システムも実用化されている。出力周波数を微小変動させてインピーダンス整合を行う高周波電源装置を可変周波数電源装置という。当該プラズマ処理システムにおいては、インピーダンス整合装置20は伝送路に並列に接続された1つのバリコンVC1によって構成されていて、伝送路に直列に接続されるバリコンVC2を含まない。このようなインピーダンス整合装置を固定整合装置という。プラズマ処理中の動的なインピーダンス整合動作は、可変周波数電源装置の出力周波数を中心周波数 $f_0 \pm f$ で変化させることと、固定整合装置のバリコンVC1の調整で行われる。この場合も図8に示す検証システムと同様にプラズマ処理装置30の代わりにダミーロード40を用いて、負荷インピーダンスZLの変化範囲に含まれる多数のインピーダンス値に対して、入力インピーダンスZ1を出力インピーダンスZoutに整合させる事ができるかが検証される。

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

ところで、インピーダンス整合装置や可変周波数電源装置の整合動作を検証するためには、ダミーロード40に負荷インピーダンスZLの変化範囲に含まれる各インピーダンス値を設定するためのバリコンVC3, VC4の調整位置(以下、それぞれ「バリコンポジションC3」, 「バリコンポジションC4」という。)を予め取得しておかなければならない。ダミーロード40に負荷インピーダンス値を設定するためのバリコンポジションC3, C4の調整(以下、「インピーダンス調整」という。)は、インピーダンス計測装置で計測されたインピーダンス $Z = R + jX$ の実部Rと虚部Xの値から、高周波計測に特有のスミスチャート上に表示されるインピーダンス計測値(R, X)を見ながらバリコンポジションC3, C4を変化させ、インピーダンス計測値(R, X)が許容範囲に収まるまで調整を行う作業であり、バリコンポジションC3, C4を同時に変化させるのではなく、いずれかのバリコンポジションC3, C4を調整する動作を繰り返すことによって行われるので、各バリコンポジションC3, C4を変化させたときに、インピーダンス計測値(R, X)がスミスチャート上をどのように変化するのかを経験的に知っていなければ、インピーダンス計測値(R, X)を目標値に調整することはできず、時間と熟練を要する

40

50

。

【0012】

図1は、スミスチャートにおけるインピーダンス調整を説明するための図である。インピーダンス計測値(R, X)は、バリコンポジションC3, C4の変化に合わせて直交座標上を変化するのではなく、スミスチャート上を変化する。スミスチャート上で、インピーダンス調整開始時のインピーダンス計測点をA、目標点(通常は、一定の許容範囲を設定し、設定された許容範囲に収まると目標に足したこととする。)をBとすると、インピーダンス計測点Aを直線的にBまで変化させるように調整することはできず、例えば、バリコンポジションC3を100増加させると点Aから点Cに移動し、さらにバリコンポジションC4を100増加させると点Cから点Dに移動するというように、インピーダンス計測点Aは変化する。バリコンポジションC3, C4の変化によりインピーダンス計測値(R, X)がどのように変化するかは、熟練作業員でも把握が難しく、目標のインピーダンスを得るために相当の時間を要する。例えば、初めてインピーダンス調整を行う場合は、負荷インピーダンスZLが取り得るインピーダンス値の変化範囲にある代表的な40個の負荷インピーダンス値を調整するのに数時間を要する。

10

【0013】

また、ダミーロード40の状態(電源入切によるバリコンの初期化位置のズレ、個体差、経年劣化、冷却水の水温や水質など)が異なると負荷インピーダンスZLは変化するもので、一度調整した負荷インピーダンス値に対応するバリコンポジションC3, C4の値を記録していたとしても、同じバリコンポジションC3, C4の値で前回調整した負荷インピーダンス値を再現することができない。よって、精度維持のためには、作業ごとに調整を行う必要があった。

20

【0014】

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、ダミーロードに負荷インピーダンスZLの変化範囲に含まれる各インピーダンス値を設定するために、2つのバリコンのバリコンポジションを自動調整するインピーダンス自動調整装置を提供することをその目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0015】

上記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。

30

【0016】

請求項1に記載の電気特性調整装置は、電気的な特性値を変更可能な複数の回路素子と、これらの回路素子の特性値をそれぞれ変更するために各回路素子に対応して設けられた複数のアクチュエータと、これらのアクチュエータの駆動を制御する駆動制御手段とを備えた装置の電気的な特性値を予め設定された目標特性値に自動調整するための電気特性調整装置であって、前記電気的な特性値を計測する計測装置によって、計測された装置の特性値を入手する特性値入手手段と、前記複数の回路素子のうち、1の回路素子を可変素子としその他の回路素子を固定素子として、前記駆動制御手段により当該可変素子の特性値を所定の変化範囲で変化させる特性値変化手段と、前記特性値変化手段により前記可変素子の特性値が変化する毎に、所定の演算式により前記特性値入手手段により入手された特性値と前記目標特性値との誤差を評価する誤差評価値を演算し、この誤差評価値が最小となる前記可変素子の特性値を求める回路素子調整手段と、前記複数の回路素子の各回路素子を順番に可変素子に切り換え、各可変素子について前回可変素子とされた回路素子の特性値を前記回路素子調整手段で求められた特性値に固定して前記特性値変化手段による特性値の変更と前記回路素子調整手段による回路素子の調整を行う動作を、前記特性値入手手段により入手された特性値が前記目標特性値の許容範囲内となるまで繰り返す調整制御手段とを備えたことを特徴とする。

40

【0017】

この構成によれば、インピーダンス自動調整装置はダミーロードの2つのバリコンのうち一方のバリコンを固定して他方のバリコンを変化させ、インピーダンス計測装置により

50

計測されたダミーロードのインピーダンス値と目標インピーダンス値との誤差を評価する評価値を算出し、この評価値が最小となる様に他方のバリコンを調整する。インピーダンス自動調整装置は固定するバリコンと調整するバリコンを交代させ、ダミーロードのインピーダンス値が目標インピーダンス値の許容範囲内になるまでバリコンの調整を行う。よって、インピーダンス自動調整装置はダミーロードに負荷インピーダンスZLの変化範囲に含まれる各インピーダンス値を設定するように、ダミーロードの2つのバリコンのバリコンポジションを自動調整することができる。

【0018】

請求項2に記載の電気特性調整装置は、請求項1に記載の電気特性調整装置において、前記特性値変化手段は、前記可変素子としての回路素子の特性値を黄金分割法を用いて前記所定の変化範囲内で離散的に変化させることを特徴とする。

10

【0019】

この構成によれば、インピーダンス自動調整装置はバリコンの調整において黄金分割法を用いるので、評価値の最小値を少ない探索回数で行うことができる。

【0020】

請求項3に記載の電気特性調整装置は、請求項1または2に記載の電気特性調整装置において、前記特性値変化手段は、各回路素子を可変素子としてその特性値を変化させるとき、その変化範囲を当該可変素子の前回の特性値の変化量に基づいて設定する範囲設定手段を更に備えたことを特徴とする。

【0021】

この構成によれば、インピーダンス自動調整装置はバリコンの調整の範囲を前回の調整量に比例させて変化させるので、前回の調整量が多かった場合はまだ目標から離れているのでバリコンの調整範囲を広くすることができる。

20

【0022】

請求項4に記載の電気特性調整装置は、請求項1～3のいずれかに記載の電気特性調整装置において、前記特性値入手手段により入手された特性値は前記装置のインピーダンス値であり、前記回路素子調整手段は、下記演算式(1)により誤差評価値を演算することを特徴とする。

【数1】

$$\text{誤差評価値} = \sqrt{a \cdot (R_0 - R)^2 + b \cdot (X_0 - X)^2 + c \cdot (R \text{の超過量})^2 + d \cdot (X \text{の超過量})^2} \quad \dots (1) \quad 30$$

a, b, c, d: 評価用の重み付け係数

R: 入手されたインピーダンス値の抵抗成分

R₀: インピーダンス目標値の抵抗成分

X: 入手されたインピーダンス値のリアクタンス成分

X₀: インピーダンス目標値のリアクタンス成分

Rの超過量: R₀の許容範囲からのRの逸脱量

Xの超過量: X₀の許容範囲からのXの逸脱量

【0023】

この構成によれば、評価値に(1)式を用いるので、計測されたインピーダンス値の抵抗成分R、リアクタンス成分Xがそれぞれインピーダンス目標値の抵抗成分R₀、リアクタンス成分X₀の許容範囲にないとき評価値を大きくすることができる。

40

【0024】

請求項5に記載の電気特性調整装置は、請求項1～4のいずれかに記載の電気特性調整装置において、前記装置は、複数の回路素子として2個のリアクタンス値を変更可能なリアクタンス素子を備えた擬似負荷装置であることを特徴とする。

【0025】

請求項6に記載の電気特性調整装置は、請求項1～3のいずれかに記載の電気特性調整装置において、前記装置は、複数の回路素子として2個のリアクタンス値を変更可能なリアクタンス素子を備えたインピーダンス整合装置であり、前記計測装置は、前記インピーダンス整合装置の進行波電力を計測する第1の電力計測装置と、前記インピーダンス整合

50

装置の反射波電力を計測する第2の電力計測装置であり、前記回路素子調整手段は、前記特性値入手手段により入手された進行波電力と反射波電力から反射係数を算出し、所定の演算式により算出したこの反射係数と予め設定された反射係数の目標値との誤差を評価する誤差評価値を用いて前記可変素子の特性値を求める、ことを特徴とする。

【0026】

この構成によれば、インピーダンスマッチング制御装置はインピーダンス整合装置の2つのバリコンのうち一方のバリコンを固定して他方のバリコンを変化させ、電力計により計測され算出された反射係数と目標とする反射係数との誤差を評価する評価値を算出し、この評価値が最小となる様に他方のバリコンを調整する。インピーダンスマッチング制御装置は固定するバリコンと調整するバリコンを交代させ、反射係数が目標とする反射係数の許容範囲内になるまでバリコンの調整を行う。よって、インピーダンスマッチング制御装置はインピーダンス整合装置に自動的にインピーダンスマッチングを行わせることができる。

10

【0027】

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って、より明らかとなる。

【発明を実施するための最良の形態】**【0028】**

以下、本願発明の好ましい実施の形態を、図面を参照して具体的に説明する。

【0029】

図2は、本願発明に係るインピーダンス自動調整装置を用いてダミーロードのインピーダンス調整を行うためのインピーダンス調整システムの一例を示す図である。このインピーダンス調整システムは、ダミーロード1に負荷インピーダンスZLの変化範囲に含まれる各インピーダンス値を設定するために、ダミーロード1内の2つのバリコンのバリコンポジションC3, C4を自動調整するものである。このインピーダンス調整システムは、ダミーロード1、インピーダンス自動調整装置2、インピーダンス計測装置3で構成されている。

20

【0030】

ダミーロード1は、プラズマ処理システムのプラズマ処理装置を模擬するための装置で、伝送路に並列に接続されたバリコンVC3と直列に接続されたバリコンVC4のそれぞれのバリコンポジションC3, C4の調整により任意のインピーダンスを設定できる。バリコンVC3, VC4は、エアバリコンであり、相対向する一对の電極の一方が、電極の対向面に垂直な軸の周りを回転する可動電極で構成され、この可動電極を回転させることにより電極の対向面積が変化してキャパシタンスが変化する構成となっている。可動電極を支持する軸にはステップモータなどの電動モータが取り付けられ、この電動モータの駆動力によって可動電極が回転される。バリコンVC3, VC4は、一对の電極の対向面積をステップ的に変化させて、例えば、1000個のキャパシタンス値を生成することができる。従って、ダミーロード1としては、周波数を変更しない場合、 $1000 \times 1000 = 1000000$ 個の負荷インピーダンス値を擬似的に実現することができるようになっている。制御部11には、バリコンVC3, VC4の各ステップモータの回転位置に対応するデータのテーブルが設けられている。バリコンVC3のステップモータの1000個の回転位置には、小さい方から順番に0~1000の位置番号が付され、制御部11は、この位置番号を指定してテーブルから駆動データを読み出し、ステップモータに供給することにより、当該ステップモータを回転させてバリコンVC3をその位置番号に対応するキャパシタンスに設定する。バリコンVC4についても同様である。

30

40

【0031】

インピーダンス自動調整装置2は、インピーダンス調整システムを制御するもので、パーソナルコンピュータなどからなる。インピーダンス自動調整装置2にはインピーダンス計測装置3が計測したダミーロード1のインピーダンスが入力され、インピーダンス自動調整装置2からダミーロード1にバリコンVC3, VC4を調整する制御信号が出力され

50

る。インピーダンス自動調整装置 2 は、インピーダンス計測装置 3 より入力されたダミーロード 1 のインピーダンス $Z (= R + j X)$ と目標のインピーダンス $Z_0 (= R_0 + j X_0)$ (ユーザによって予め入力されている) とから評価値 E を算出し、算出した評価値 E を小さくするようにダミーロード 1 のバリコン $VC3$, $VC4$ のバリコンポジション $C3$, $C4$ を調整することで、ダミーロード 1 のインピーダンス Z を目標のインピーダンス Z_0 に調整する。

【0032】

インピーダンス自動調整装置 2 が、ダミーロード 1 のインピーダンス Z を目標のインピーダンス Z_0 に調整する方法を以下に説明する。

【0033】

複数の計測値をそれぞれ目標値に近付ける方法として、各計測値とその目標値との差から算出された評価値を最小にするよう調整する方法が考えられる。本実施形態における評価値 E は、インピーダンス計測装置 3 により計測されたインピーダンスを $Z (= R + j X)$ 、目標とするインピーダンスを $Z_0 (= R_0 + j X_0)$ とすると、下記式 (2) を用いて算出される。

【0034】

【数 2】

$$E = \sqrt{\{a \cdot (R_0 - R)^2 + b \cdot (X_0 - X)^2 + c \cdot (R \text{の超過量})^2 + d \cdot (X \text{の超過量})^2\}} \quad \dots (2)$$

a, b, c, d : 評価用の重み付け係数

R の超過量 : R_0 の許容範囲からの R の逸脱量

X の超過量 : X_0 の許容範囲からの X の逸脱量

【0035】

式 (2) において、超過量とは目標値の許容範囲 (目標値に達したと判断される数値の範囲で下限と上限を目標値に対しての百分率で \pm 表示により表される。例えば、 $R_0 \pm N\%$) からの逸脱量であり、例えば、 R_0 の許容範囲を $100 \pm 1\%$ とすると、許容範囲は $99 \sim 101$ となり、 $R = 100.5$ のときの超過量は 0 、 $R = 97.8$ のときの超過量は $1.2 (= 99 - 97.8)$ となる。評価値 E は、計測値 R, X のそれぞれの目標値 R_0, X_0 との差の二乗と、計測値 R, X のそれぞれの超過量の二乗とに、評価用の重み付け係数 a, b, c, d をそれぞれ乗算して、乗算結果を加算し、その正の平方根として算出される。目標値 R, X のそれぞれの超過量の二乗の項はペナルティ項であり、重み付け係数 c, d を大きくすることで、計測値 R, X のどちらかが許容範囲内に収まっていない場合に評価値が大きくなるよう設定されている。例えば、本実施形態では、 a, b は「1」、 c, d は「1000」に設定されている。

【0036】

なお、式 (2) の評価値 E の最小値を求めるにあたり、本実施形態では黄金分割法を使用している。黄金分割法は、少ない探索回数で最小値を求めることができるので、最小値を求める演算処理を最適化することができる利点がある。しかしながら、黄金分割法は 1 次元の最適化しかできず、2 つのバリコンポジション $C3, C4$ を調整する本実施形態のような 2 次元の最適化にそのまま利用することができない。そこで、本実施形態では、バリコンポジション $C3, C4$ のうち一方を固定して他方を変化させ、仮想的に 1 次元の最適化に置き換えることで黄金分割法を適用可能にしている。すなわち、まず、バリコンポジション $C3$ を固定してバリコンポジション $C4$ を変化させ黄金分割法を用いて評価値 E が最小になるよう調整し、次にバリコンポジション $C4$ を固定してバリコンポジション $C3$ を変化させ黄金分割法を用いて評価値 E が最小になるよう調整する。以下、これを繰り返して評価値 E が最小となるバリコンポジション $C3, C4$ が調整される。

【0037】

バリコンポジション $C3$ が固定されたとき、バリコンポジション $C4$ の変化により主に X が変化するが R も変化し、同様に、バリコンポジション $C4$ が固定されたとき、バリコンポジション $C3$ の変化により主に R が変化するが X も変化する。なお、バリコンポジション $C3$ または $C4$ の一方が固定され他方が変化するとき、式 (2) の評価値 E は単峰性

10

20

30

40

50

の関数となり、黄金分割法が適用できることが経験的に分かっている。

【0038】

黄金分割法について図3を用いて説明する。黄金分割法は、 $f(x)$ が単峰性の関数（例えば二次関数など）のときに、 $x_1 < x < x_2$ の探索範囲で $f(x)$ の最小値（または、最大値）を求める探索方法である。図3は、黄金分割法を用いて x_1 から x_2 の区間にある $f(x)$ の最小値を求める方法を説明するための図である。

【0039】

図3(a)は x_1 から x_2 の区間を $r : (1-r)$ に内分する点 x_3 と $(1-r) : r$ に内分する点 x_4 および、 x_3 と x_4 における関数 $f(x)$ の値 $f(x_3)$ 、 $f(x_4)$ を表している。図3(a)において、 $f(x_3)$ と $f(x_4)$ の大きさを比較する。例えば、 $f(x_3) > f(x_4)$ の場合、 $f(x)$ を最小にする x_{\min} は $x_3 < x < x_4$ に存在する場合（図3(c)参照）と $x_4 < x < x_2$ に存在する場合（図3(d)参照）とが考えられるが、少なくとも $x_3 < x < x_2$ に存在する。よって、次は x_3 を x_1 として $x_1 < x < x_2$ の探索範囲で同様に内分点 x_3 、 x_4 を求め $f(x_3)$ と $f(x_4)$ の大きさを比較する（図3(b)参照）。なお、 $f(x_3) < f(x_4)$ の場合は $f(x)$ を最小にする x は $x_1 < x < x_4$ に存在するので x_4 を x_2 とする。これを繰り返していき、 x の探索範囲が徐々に狭まっていき、 x の探索範囲が十分狭くなった時点で $f(x_3) = f(x_4)$ が $f(x)$ の最小値と考えることができる。

10

【0040】

ここで、 $r = (3 - \sqrt{5}) / 2$ としておくと $r : (1-r) = 1 : (1 + \sqrt{5}) / 2$ （いわゆる黄金比）となる。よって、図3(a)の x_3 から x_2 の区間を $r : (1-r)$ に内分する点は x_4 となるので、図3(b)の x_3 は図3(a)の x_4 となる。図3(a)において、 x_3 を x_1 にすることで、図3(b)のように、次の x の探索範囲 $x_1 < x < x_2$ が定まり、この x_1 から x_2 の区間を $r : 1-r$ に内分する点 x_3 、 $(1-r) : r$ に内分する点 x_4 から $f(x_3)$ と $f(x_4)$ を算出するのだが、 $f(x_3)$ は図3(a)で算出した $f(x_4)$ を利用することができるので、算出にかかる時間を短縮することができる。

20

【0041】

以上のように、本願発明のインピーダンス自動調整装置2は、ダミーロード1のバリコンポジション C_3 と C_4 のうち的一方を固定し、他方を一定の探索範囲内で、黄金分割法を用いて評価値 E が最小となるように調整し、次に調整していた方を固定して、先の調整で固定していた方を一定の探索範囲内で、黄金分割法を用いて評価値 E が最小となるように調整する。これをインピーダンス Z が許容範囲に収まるまで繰り返してダミーロード1のインピーダンス Z を目標のインピーダンス Z_0 に調整する。

30

【0042】

次に、評価値 E の最小値を探索するバリコンポジション C_3 、 C_4 の探索範囲について説明する。

【0043】

バリコンポジション C_3 または C_4 の探索範囲は、それぞれ前回の探索終了時点での C_3 または C_4 の値を中心に、所定の探索幅を加算した値が上限、減算した値が下限である範囲となる。すなわち、 $(n-1)$ 回目の探索終了時点での C_3 の値を C_{3n-1} 、 n 回目の探索幅を R_{3n} とすると n 回目の探索の C_3 の値 C_{3n} の探索範囲は、下記式(3)となる。

40

【0044】

【数3】

$$C_{3n-1} - R_{3n} \leq C_{3n} \leq C_{3n-1} + R_{3n} \cdots (3)$$

【0045】

同様に $(n-1)$ 回目の探索終了時点での C_4 の値を C_{4n-1} 、 n 回目の探索幅を R_{4n} とすると n 回目の探索の C_4 の値 C_{4n} の探索範囲は、下記式(4)となる。

【0046】

50

【数 4】

$$C_{4n-1} - R_{4n} \leq C_{4n} \leq C_{4n-1} + R_{4n} \dots (4)$$

【0047】

バリコンポジション C₃ , C₄ の探索幅が固定されている場合、探索幅が広く固定されているときは所定の探索範囲になるまでの比較の回数が多くなるので、1回の探索にかかる時間が長くなり、探索幅が狭く固定されているときは一度の探索におけるバリコンポジションの調整量が少なく、最小値に達するまでの探索の回数が多くなる。よって、バリコンポジション C₃ , C₄ が解から離れているときに探索幅が狭く固定されていると、探索回数が多くなり探索効率が低下する。また、バリコンポジション C₃ , C₄ が解に近付いたときに探索幅が広く固定されていると、不必要な探索範囲の探索のために時間がかかり探索効率が低下する。よって、探索の効率を良くするためには、バリコンポジション C₃ , C₄ が解から離れているときは広く、解に近付いたときは狭く、探索幅が変動するようにする必要がある。

10

【0048】

バリコンポジション C₃ または C₄ が解から離れているときは探索開始時点から探索終了時点までのバリコンポジション C₃ または C₄ の変化量は大きくなり、バリコンポジション C₃ または C₄ が解に近付くと探索開始時点から探索終了時点までのバリコンポジション C₃ または C₄ の変化量は小さくなる。よって、本実施形態では、探索開始時点から探索終了時点までのバリコンポジション C₃ または C₄ の変化量に比例して次回の探索幅を設定するようにしている。つまり、バリコンポジション C₃ または C₄ の変化量が大きいときは、バリコンポジション C₃ または C₄ が解から離れているので、次回の探索幅を広くし、バリコンポジション C₃ または C₄ の変化量が小さいときは、バリコンポジション C₃ または C₄ が解に近づいているので、次回の探索幅を狭くする。なお、探索幅が狭すぎる場合は探索回数が多くなりすぎて探索効率が低下し、探索幅が広すぎる場合は探索時間が長くなりすぎて探索効率が低下するので、探索幅には下限値と上限値が設定されている。また、最初の探索幅はバリコンポジション C₃ または C₄ が解から離れているかどうか分からないので狭く設定される。

20

【0049】

(n - 1) 回目、(n - 2) 回目の探索終了時点でのバリコンポジション C₃ の値をそれぞれ C_{3_{n-1}} , C_{3_{n-2}} とすると (n - 1) 回目のバリコンポジション C₃ の変化量は | C_{3_{n-1}} - C_{3_{n-2}} | となり、係数 V₃ を乗じたものを n 回目の探索幅 R_{3_n} とする。R_{3_n} の上限値を R_{3_{max}}、下限値を R_{3_{min}} とすると、n 回目の探索幅は、下記式 (5) となる。

30

【0050】

【数 5】

$$R_{3n} = \begin{cases} R_{3\max} & (R_{3\max} < R_{3n}) \\ V_3 \times \begin{cases} |C_{3n-1} - C_{3n-2}| & (R_{3\min} \leq R_{3n} \leq R_{3\max}) \\ R_{3\min} & (R_{3n} < R_{3\min}) \end{cases} & \dots (5) \end{cases}$$

【0051】

同様に (n - 1) 回目、(n - 2) 回目の探索終了時点でのバリコンポジション C₄ の値をそれぞれ C_{4_{n-1}} , C_{4_{n-2}} とすると (n - 1) 回目のバリコンポジション C₄ の変化量は | C_{4_{n-1}} - C_{4_{n-2}} | となり、係数 V₄ を乗じたものを n 回目の探索幅 R_{4_n} とする。R_{4_n} の上限値を R_{4_{max}}、下限値を R_{4_{min}} とすると、n 回目の探索幅は、下記式 (6) となる。

40

【0052】

【数 6】

$$\begin{array}{l}
 R4_{\max} \\
 R4_n = V4 \times |C4_n - 1 - C4_n - 2| \\
 R4_{\min}
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 (R4_{\max} < R4_n) \\
 (R4_{\min} \leq R4_n \leq R4_{\max}) \\
 (R4_n < R4_{\min}) \\
 \dots (6)
 \end{array}$$

【0053】

本実施形態では、係数 $V3$, $V4$ は「2」として、探索幅を前回の变化量の2倍としている。

【0054】

次に、探索におけるバリコンポジション $C3$, $C4$ の初期値について説明する。

10

【0055】

インピーダンス自動調整装置2は記憶装置を持ち、ダミーロード1に目標のインピーダンス Z_0 を設定したときのバリコンポジション $C3$, $C4$ を当該目標のインピーダンス Z_0 に対応付けて記憶装置に記憶し、次にダミーロード1を当該目標のインピーダンス Z_0 に調整するときは記憶装置に記憶されたバリコンポジション $C3$, $C4$ を初期値として使用する。記憶されたバリコンポジション $C3$, $C4$ は、ダミーロードの状態が変化しているので当該目標のインピーダンス Z_0 の解に一致はしないが、解に近いのでバリコンポジションの調整にかかる時間が短くてすむ。

【0056】

また、インピーダンス自動調整装置2の記憶装置には、あらかじめ各周波数におけるバリコンポジション $C3$, $C4$ の離散値に対応するインピーダンスの計測値がデータベースとして格納されている(図4参照)。インピーダンス自動調整装置2は、ダミーロード1を過去に調整したことがないインピーダンスに調整する際には、任意の固定初期値か、このデータベースの値を初期値として使用する。固定初期値を使用するかデータベースの値を使用するかは、あらかじめ設定されている。

20

【0057】

図4は、インピーダンス自動調整装置の記憶装置に格納されているデータベースを説明するための図である。このデータベースでは、使用する各周波数ごと(例えば、13.56MHzと2.0MHz)に、バリコンポジション $C3$, $C4$ をそれぞれ0から1000まで10ずつ増加させて計測されたダミーロード1のインピーダンス $Z = R + jX$ の実部 R と虚部 X の値が、バリコンポジション $C3$, $C4$ に対応付けされ設定されている。

30

【0058】

このデータベースに設定されているデータからバリコンポジション $C3$, $C4$ の初期値を選択する方法を説明する。まず、目標周波数に近い周波数(その周波数と目標周波数との差が最小のもの)のデータを抽出する。式(2)の評価値 E の算出式の R , X に抽出されたデータを入力して最小となる R , X に対応するバリコンポジション $C3$, $C4$ を初期値とする。この初期値とするバリコンポジション $C3$, $C4$ において評価値 E は最小となるので、データベースに設定されているバリコンポジション $C3$, $C4$ の中で最も解に近く、バリコンポジションの調整にかかる時間が短くてすむ。

【0059】

図2に戻って、インピーダンス計測装置3は、ダミーロード1の負荷インピーダンス値を計測するためのもので、ダミーロードの入力端1aに接続されている。インピーダンス計測装置3は、いわゆるインピーダンスアナライザであり、ダミーロード1にかかる電圧とダミーロード1を流れる電流を直接的に計測してインピーダンス値を求める。インピーダンス計測装置3は、計測対象のインピーダンス $Z = R + jX$ の実部 R と虚部 X をそれぞれ算出し、インピーダンス自動調整装置2に出力する。

40

【0060】

インピーダンス計測装置3は、あらかじめ設定された周波数範囲の設定された計測点をスイープして計測する。例えば、12MHzから13MHzの範囲を801点に分割した場合、インピーダンス計測装置3は、12MHzから1.25kHz = ((13 - 12)

50

× 1000 / 800) 置きに周波数を変化させて、各周波数についてインピーダンス計測を行う。また、同範囲を101点で分割した場合、インピーダンス計測装置3は、10kHz = ((13 - 12) × 1000 / 100) 毎に周波数を変化させて、各周波数についてインピーダンス計測を行う。

【0061】

スイープする周波数範囲や計測点を変更する度に計測対象からプローブを外し手動で校正をやり直す必要があるため、再校正の手間を省くために、全ての負荷がフォローできるような広い周波数範囲が設定される。広い周波数範囲で精度を求めた探索をするためには計測点を多くとる必要があるが、冗長な計測を行うため、1回の計測時間が非常に長くなり、高速に多点を探索する黄金分割法のようなアルゴリズムには向いていない。そこで、本実施形態では探索を2段階にし、第1段階の広域探索では精度を要求せず、少ない計測点(本実施形態では101点)で高速におおまかな位置を探索し、第2段階で、設定できる最大の計測点(本実施形態では801点)を設定し、第1段階で探索した結果を初期値として詳細な探索を行うことにより、スイープ設定を固定にするとときよりも高速かつ高精度の探索を行うようにしている。

10

【0062】

図5に示すフローチャートは、インピーダンス自動調整装置2がダミーロード1のインピーダンスZを目標のインピーダンスZ₀に調整する制御を示すものである。

【0063】

まず、設定周波数F、目標のインピーダンスZ₀(=R₀+jX₀)が入力され(S1)、バリコンポジションC₃、C₄と探索幅R₃、R₄が初期化され、探索回数カウンタnが1に初期化される(S2)。過去にダミーロード1を目標のインピーダンスZ₀に調整したことがある場合は、インピーダンス自動調整装置2の記憶装置に記憶されている目標のインピーダンスZ₀に対応するバリコンポジションC₃、C₄が初期値として使用される。過去にダミーロード1を目標のインピーダンスZ₀に調整したことがない場合は、記憶装置に格納されているデータベースの値から選択された値か、任意の固定値が初期値として使用される。探索幅R₃、R₄はそれぞれ下限値R_{3min}、R_{4min}が設定される。

20

【0064】

次に、C₄を固定して、黄金分割法を用いてC₃の調整が行われる(S3~5)。前回のC₃の調整におけるC₃の変化量に係数V₃を乗じて、探索幅が算出され(S3)、探索範囲が決定される(S4)。前回、前々回のC₃の値をそれぞれC_{3n-1}、C_{3n-2}とすると、n回目の探索幅R_{3n}は、

30

【数5】

$$R_{3n} = \begin{cases} R_{3\max} & (R_{3\max} < R_{3n}) \\ V_3 \times |C_{3n-1} - C_{3n-2}| & (R_{3\min} \leq R_{3n} \leq R_{3\max}) \\ R_{3\min} & (R_{3n} < R_{3\min}) \end{cases} \dots (5)$$

となり、n回目の探索のC₃の値C_{3n}の探索範囲は、

【数3】

$$C_{3n-1} - R_{3n} \leq C_{3n} \leq C_{3n-1} + R_{3n} \dots (3)$$

40

となる。この探索範囲内で黄金分割法を用いてC₃を変化させ、インピーダンス計測装置3が計測したインピーダンスZ(=R+jX)により評価値E(式(2)参照)が算出され、評価値Eを最小とするC₃と、そのとき計測されたインピーダンスZが求められる(S5)。なお、C₃₀、R₃₀はステップS2でそれぞれ初期化されたC₃、R₃の値となる。

【0065】

求められたインピーダンスZが許容範囲内であるか否かが判別され(S6)、許容範囲内であれば(S6:NO)、C₃を固定して、黄金分割法を用いてC₄の調整が行われる(S7~9)。前回のC₄の調整におけるC₄の変化量に係数V₄を乗じて、探索幅が算出され(S7)、探索範囲が決定される(S7)。前回、前々回のC₄の値をそれぞれ

50

C_{4n-1} 、 C_{4n-2} とすると、 n 回目の探索幅を R_{4n} は、

$$\begin{aligned} & \text{【数6】} \\ & R_{4n} = \sqrt{4 \times \left| \frac{R_{4\max}}{R_{4\min}} \left(C_{4n-1} - C_{4n-2} \right) \right|} \end{aligned} \quad \begin{aligned} & (R_{4\max} < R_{4n}) \\ & (R_{4\min} \leq R_{4n} \leq R_{4\max}) \\ & (R_{4n} < R_{4\min}) \end{aligned} \quad \dots (6)$$

となり、 n 回目の探索の C_4 の値 C_{4n} の探索範囲は、

$$\text{【数4】} \quad C_{4n-1} - R_{4n} \leq C_{4n} \leq C_{4n-1} + R_{4n} \quad \dots (4)$$

となる。この探索範囲内で黄金分割法を用いて C_4 を変化させ、インピーダンス計測装置3が計測したインピーダンス $Z (= R + jX)$ により評価値 E (式(2)参照)が算出され、評価値 E を最小とする C_4 と、そのとき計測されたインピーダンス Z が求められる(S_9)。なお、 C_{40} 、 R_{40} はステップ S_2 でそれぞれ初期化された C_4 、 R_4 の値となる。

【0066】

求められたインピーダンス Z が許容範囲内であるか否かが判別され(S_{10})、許容範囲内であれば($S_{10} : NO$)、計算時間が規定値を超えたか否かが判別される(S_{11})。超えていなければ($S_{11} : NO$)、探索回数カウンタ n が1増加されて(S_{12})、ステップ S_3 に戻り、 C_3 の調整が行われる。超えていれば($S_{11} : YES$)、解が見つからなかったものとして制御が終了される。

【0067】

求められたインピーダンス Z が許容範囲内であれば(S_6 または $S_{10} : YES$)、ダミーロード1が目標のインピーダンス Z_0 に調整されたので、制御が終了される。

【0068】

以上のように、上記実施形態に係るインピーダンス自動調整装置は、ダミーロードの2つのバリコンポジションを自動調整して、ダミーロードに負荷インピーダンス Z_L の変化範囲に含まれる各インピーダンス値を設定することができるので、ダミーロードのインピーダンス調整にかかっていた時間を短縮することができる。

【0069】

なお、上記実施形態では、ダミーロードに負荷インピーダンス Z_L の変化範囲に含まれる各インピーダンス値を設定するためのインピーダンス自動調整装置について説明したが、本願発明はこれに限らず、複数の調整手段を変化させて計測値を目標値に自動調整するための様々のものに応用できる。

【0070】

図6は、可変周波数電源装置に接続された固定整合装置によりインピーダンスマッチングを行うインピーダンスマッチングシステムを説明するための図である。インピーダンスマッチングシステムは、ダミーロード1、可変周波数電源装置4、電力計5、固定整合装置6、インピーダンスマッチング制御装置7で構成されている。このインピーダンスマッチングシステムにおいて、可変周波数電源装置4と固定整合装置6の制御を行うインピーダンスマッチング制御装置7に本願発明が利用されている。

【0071】

可変周波数電源装置4は、出力電力の周波数を変化させることができる高周波電源装置であり、出力電力の周波数はインピーダンスマッチング制御装置7により制御される。電力計5は、可変周波数電源装置4から供給される進行波電力と可変周波数電源装置4に反射される反射波電力を計測し出力する。固定整合装置6は、負荷のインピーダンス変動に追従して可変周波数電源装置4と負荷のインピーダンスを整合させるもので、インピーダンスマッチング制御装置7により制御される。インピーダンスマッチング制御装置7は、本願発明を利用して、電力計5から入力される進行波電力と反射波電力から反射係数($=$ 反射波電力/進行波電力)を算出し、予め設定された反射係数の目標値との誤差を評価する誤差評価値を最小とするように、固定整合装置6のバリコンと可変周波数電源装置4の

10

20

30

40

50

出力周波数とを自動調整する。

【0072】

インピーダンスマッチング制御装置7は、ダミーロード1の2つのバリコンVC3, VC4を調整してダミーロード1に負荷インピーダンスZLの変化範囲に含まれる各インピーダンス値を設定する。インピーダンスマッチング制御装置7は、電力計5から入力される進行波電力と反射波電力から反射係数(=反射波電力/進行波電力)を算出し、予め設定された反射係数の目標値との誤差を評価する誤差評価値を最小とするように、固定整合装置6のバリコンポジションと可変周波数電源装置4の出力周波数を調整する。すなわち、本実施形態における進行波電力と反射波電力、反射係数の誤差評価値、固定整合装置6のバリコンポジション、可変周波数電源装置4の出力周波数が、上記実施形態におけるインピーダンス $Z = R + jX$ の実部Rと虚部Xの値、評価値E、バリコンポジションC3, C4に相当し、インピーダンスマッチング制御装置7は、固定整合装置6のバリコンポジションと可変周波数電源装置4の出力周波数の一方を固定して、他方を黄金分割法を用いて反射係数の誤差評価値が最小となるように調整する。この調整を反射係数が許容範囲に収まるまで交互に繰り返して、固定整合装置6のバリコンポジションと可変周波数電源装置4の出力周波数を調整する。なお、可変周波数電源装置はインピーダンスの自動整合を行うので、自動整合を行ったときの出力周波数を初期値として使用する。固定整合装置6のバリコンポジションの初期値は、任意の固定値を使用する。

10

【0073】

なお、図6において、可変周波数電源装置4の出力周波数が変化すると、ダミーロード1のインピーダンスも変化する。ダミーロード1のインピーダンスを変化させたくない場合、インピーダンスマッチング制御装置7は、可変周波数電源装置4の出力周波数は変化させずに、可変周波数電源装置4自身のインピーダンス自動整合機能を利用し、固定整合装置6のバリコンポジションのみを変化させる。また、図6において、可変周波数電源装置4の代わりに出力電力の周波数が変化しない高周波電源装置を用いる場合は、固定整合装置6の代わりにインピーダンス整合装置を用いて、2つのバリコンを自動調整する。

20

【0074】

また、上記実施形態では、自動調整装置は、2つの調整値(バリコンポジション)を変化させて、2つの計測値(インピーダンス $Z = R + jX$ の実部Rと虚部Xの値)を目標値に自動調整したが、調整値が3つ以上あってもよいし、計測値が3つ以上あってもよい。計測値が3つ以上の場合、自動調整装置はそれらの計測値を用いて評価値を算出する。また、調整値が3つ以上の場合、自動調整装置は1つの調整値以外を固定して、固定されていない調整値を、評価値が最小となる様に調整する。これを各調整値において順に繰り返す、各計測値がそれぞれ所定の範囲に収まるまで繰り返す。

30

【0075】

なお、上記実施形態では、評価値を算出する算出式が評価値が最小のときもっとも評価されるような算出式であったので評価値を最小にするよう自動調整が行われたが、評価値を算出する算出式が評価値が最大のときもっとも評価されるような算出式であった場合は、評価値を最大にするよう自動調整が行われる。

【図面の簡単な説明】

40

【0076】

【図1】スミスチャートにおけるインピーダンス調整を説明するための図である。

【図2】本願発明に係るインピーダンス自動調整装置を用いてダミーロードのインピーダンス調整を行うためのインピーダンス調整システムの一例を示す図である。

【図3】黄金分割法について説明するための図である。

【図4】インピーダンス自動調整装置の記憶装置に格納されているデータベースを説明するための図である。

【図5】インピーダンス自動調整装置がダミーロードのインピーダンスを目標のインピーダンスに調整する制御を示すフローチャートである。

【図6】可変周波数電源装置に接続されたインピーダンス整合装置によりインピーダンス

50

マッチングを行うインピーダンスマッチングシステムを説明するための図である。

【図7】一般的なプラズマ処理システムの構成を示す図である。

【図8】ダミーロードを用いて、インピーダンス整合装置の整合動作を検証するためのシステムである。

【符号の説明】

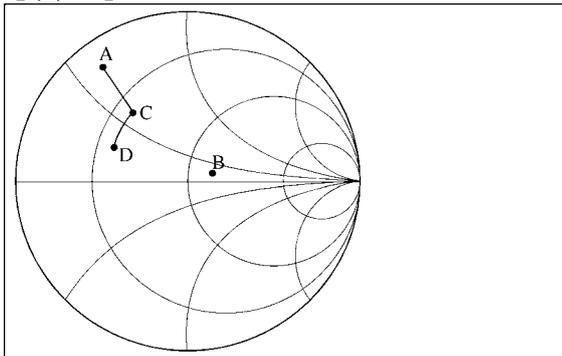
【0077】

- 1 ダミーロード（装置）
 - 11 制御部（駆動制御手段）
 - VC3 バリコン（回路素子）
 - VC4 バリコン（回路素子）
- 2 インピーダンス自動調整装置（電気特性調整装置）
 - 21 CPU（特性値入手手段、特性値変化手段、回路素子調整手段、調整制御手段、範囲設定手段）
- 3 インピーダンス計測装置（計測装置）
- 4 可変周波数電源装置
- 5 電力計（計測装置）
- 6 インピーダンス整合装置（装置）
- 7 インピーダンスマッチング制御装置（電気特性調整装置）
 - 10 高周波電源装置
 - 20 インピーダンス整合装置
 - 30 プラズマ処理装置
 - 40 ダミーロード

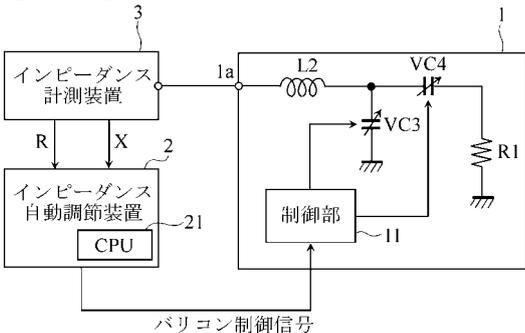
10

20

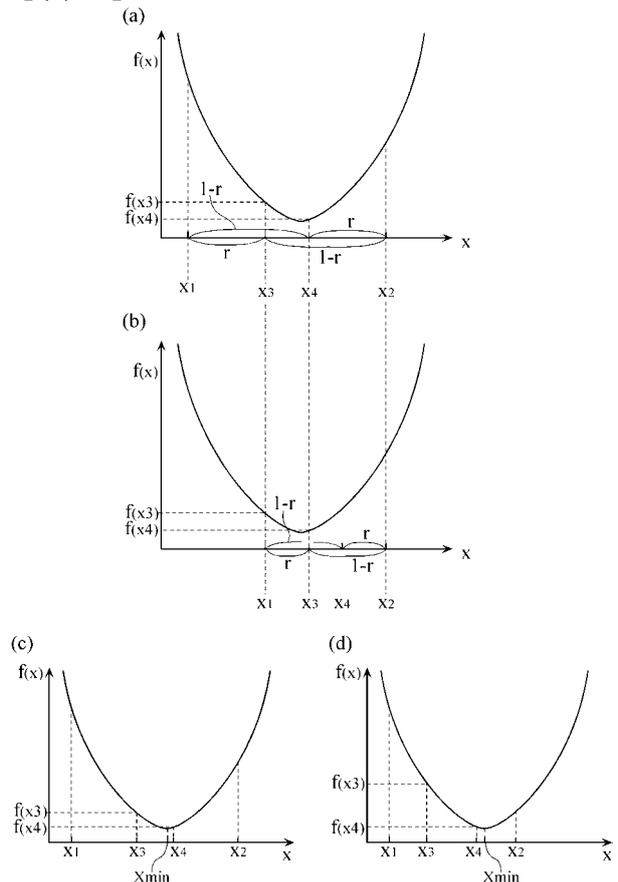
【図1】



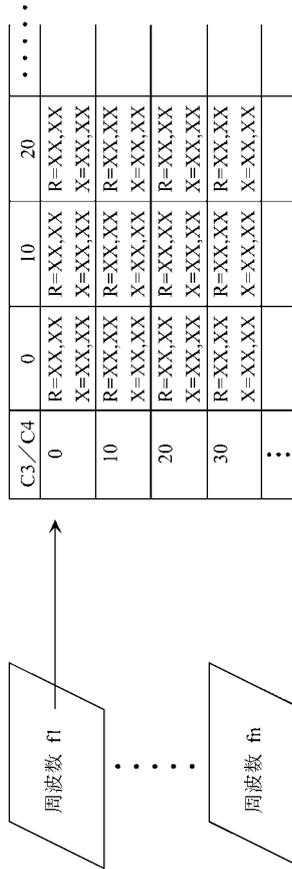
【図2】



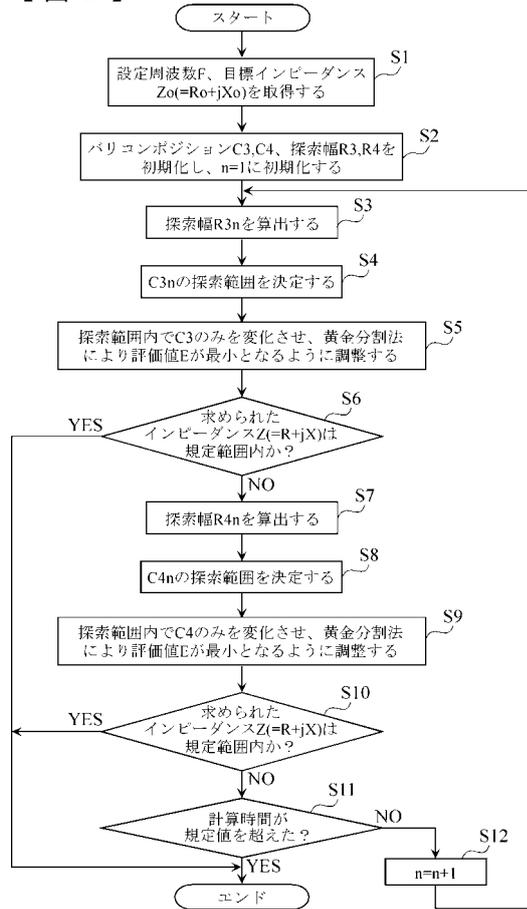
【図3】



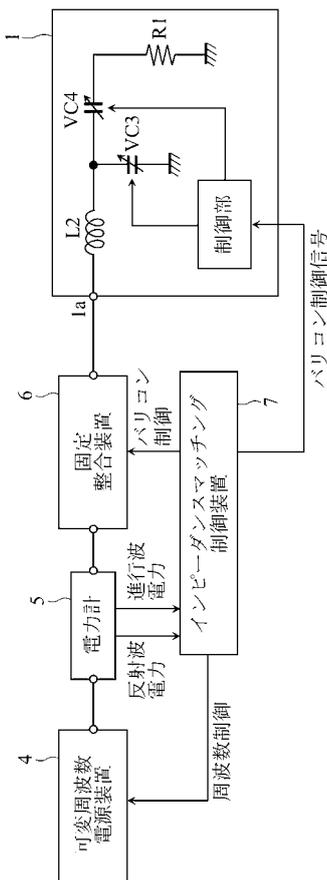
【図4】



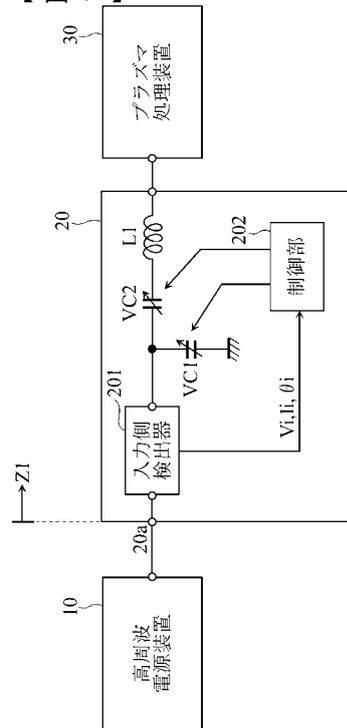
【図5】



【図6】



【図7】



【 図 8 】

