

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5378678号
(P5378678)

(45) 発行日 平成25年12月25日(2013.12.25)

(24) 登録日 平成25年10月4日(2013.10.4)

(51) Int.Cl.

F 1

H05H 1/00 (2006.01)
H05H 1/46 (2006.01)H05H 1/00
H05H 1/46A
R

請求項の数 21 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2007-317737 (P2007-317737)
 (22) 出願日 平成19年12月7日 (2007.12.7)
 (65) 公開番号 特開2008-226820 (P2008-226820A)
 (43) 公開日 平成20年9月25日 (2008.9.25)
 審査請求日 平成20年2月13日 (2008.2.13)
 (31) 優先権主張番号 60/894,738
 (32) 優先日 平成19年3月14日 (2007.3.14)
 (33) 優先権主張国 米国(US)
 (31) 優先権主張番号 11/763,298
 (32) 優先日 平成19年6月14日 (2007.6.14)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

前置審査

(73) 特許権者 507402565
 エムケーエス インスツルメンツ、インコ
 ーポレイテッド
 MKS INSTRUMENTS, INC
 .
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 O
 1810 アンドーヴァー、テク ドライ
 ブ 2, スイート 201
 2 Tech Drive, Suite
 201, Andover, Massachusetts 01810 United
 States of America
 (74) 代理人 100075557
 弁理士 西教 圭一郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】多点電圧電流プローブを用いた計測システム及び監視方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

回路内の複数の位置における高周波電力を監視する計測システムにおいて、前記回路内の複数の位置の内の対応位置における高周波電力の電気的特性に基づいてアナログ信号をそれぞれ発生する複数の高周波センサと、

前記アナログ信号に基づいて出力信号を発生する多重化モジュールであって、時間領域での多重化によって前記アナログ信号を出力信号に多重化する多重化モジュールと、

前記出力信号を受信し、該出力信号に基づいてメッセージを発生する分析モジュールとを含み、

前記メッセージは、前記複数の高周波センサによって検出される電気的特性に関する情報とを含むことを特徴とする計測システム。

【請求項2】

回路内の複数の位置における高周波電力を監視する計測システムにおいて、

前記回路内の複数の位置の内の対応位置における高周波電力の電気的特性に基づいて一对のアナログ信号をそれぞれ発生する複数の高周波センサと、

時間領域での多重化によって前記アナログ信号を出力信号に多重化する多重化モジュールであって、

各対のアナログ信号から一方のアナログ信号を受信し、受信した信号の1つを制御信号に従って第1のマルチプレクサの出力部へ送る第1のマルチプレクサと、

各対のアナログ信号から他方のアナログ信号を受信し、受信した信号の1つを制御信号に従って第2のマルチプレクサの出力部へ送る第2のマルチプレクサと、

10

20

号に従って第 2 のマルチブレクサの出力部へ送る第 2 のマルチブレクサとを含む多重化モジュールと、

前記第 1 のマルチブレクサおよび前記第 2 のマルチブレクサの出力部からの信号に基づいてメッセージを発生する分析モジュールとを含み、

前記メッセージは、前記複数の高周波センサによって検出される電気的特性に関する情報を包含していることを特徴とする計測システム。

【請求項 3】

前記高周波センサが方向性結合器であることを特徴とする請求項 2 に記載の計測システム。

【請求項 4】

前記高周波センサが電圧 / 電流プローブであることを特徴とする請求項 2 に記載の計測システム。

10

【請求項 5】

前記高周波センサからのアナログ信号のそれぞれと直列に接続する複数の信号調節分割モジュールをさらに含み、

各信号調節分割モジュールが、

アナログ信号の内の対応信号の各周波数成分を通過させる複数のフィルタと、

少なくとも一部の周波数成分を増幅または減衰する複数のスケーリングモジュールと

、
前記第 1 のマルチブレクサおよび前記第 2 のマルチブレクサの一方に伝達される信号を発生するために周波数成分を結合する結合器とを含むことを特徴とする請求項 2 に記載の計測システム。

20

【請求項 6】

前記分析モジュールは、前記第 1 のマルチブレクサおよび前記第 2 のマルチブレクサの出力部からの各信号をろ波するフィルタをさらに含むことを特徴とする請求項 5 に記載の計測システム。

【請求項 7】

前記第 1 のマルチブレクサおよび前記第 2 のマルチブレクサからの各信号を変換する一対のアナログデジタルコンバータをさらに含むことを特徴とする請求項 6 に記載の計測システム。

30

【請求項 8】

前記分析モジュールは、前記第 1 のマルチブレクサおよび前記第 2 のマルチブレクサからの各信号を高周波電力の周波数よりも小さいベースバンド周波数に変換する複数の変換モジュールをさらに含むことを特徴とする請求項 7 に記載の計測システム。

【請求項 9】

前記各変換モジュールは、前記一対のアナログデジタルコンバータからの変換信号を混合する混合モジュールをさらに含むことを特徴とする請求項 8 に記載の計測システム。

【請求項 10】

前記混合モジュールのそれぞれからの出力信号をデシメートするデシメーションモジュールをさらに含むことを特徴とする請求項 9 に記載の計測システム。

40

【請求項 11】

前記デシメーションモジュールのそれぞれからの出力信号をろ波する低域通過フィルタモジュールをさらに含むことを特徴とする請求項 10 に記載の計測システム。

【請求項 12】

回路内の複数の位置における高周波電力を監視するための方法において、

前記回路内の複数の位置の内の対応位置における高周波電力の電気的特性に基づいて複数の高周波センサがそれぞれ一対のアナログ信号を発生する工程と、

前記一対のアナログ信号の一方の信号を第 1 の出力信号に多重化する工程であって、時間領域での多重化によって前記一方の信号を第 1 の出力信号に多重化する工程と、

前記一対のアナログ信号の他方の信号を第 2 の出力信号に多重化する工程であって、時

50

間領域での多重化によって前記他方の信号を第2の出力信号に多重化する工程と、

前記多重化工程の第1の出力信号および第2の出力信号からの信号に基づいてメッセージを発生する工程とを含み、

前記メッセージは、前記複数の高周波センサによって検出される電気的特性に関する情報を包含していることを特徴とする監視方法。

【請求項13】

前記電気的特性は、前進電力および反射電力を含むことを特徴とする請求項12に記載の監視方法。

【請求項14】

前記電気的特性は、電圧および電流を含むことを特徴とする請求項12に記載の監視方法。

10

【請求項15】

前記各一対のアナログ信号をろ波して、複数の各周波数成分にする工程と、

少なくとも前記周波数成分の一部を増幅する工程と、

第1のマルチプレクサおよび第2のマルチプレクサの1つに伝達される一対の信号におけるそれぞれの信号を発生するために前記周波数成分を結合する工程とをさらに含むことを特徴とする請求項12に記載の監視方法。

【請求項16】

第1のマルチプレクサおよび第2のマルチプレクサの出力部からのそれぞれの信号をろ波する工程をさらに含むことを特徴とする請求項15に記載の監視方法。

20

【請求項17】

第1のマルチプレクサおよび第2のマルチプレクサの出力部からのそれぞれの信号をデジタル化する工程をさらに含むことを特徴とする請求項16に記載の監視方法。

【請求項18】

第1のマルチプレクサおよび第2のマルチプレクサの出力部からのそれぞれの信号を高周波電力の周波数よりも小さいベースバンド周波数に変換する工程をさらに含むことを特徴とする請求項17に記載の監視方法。

【請求項19】

デジタル化された前記信号と、デジタル周波数合成器によって、特定の高周波センサが発生するアナログ信号を周波数処理するための周波数定点信号から生成されたデジタル混合信号とを混合する工程をさらに含むことを特徴とする請求項18に記載の監視方法。

30

【請求項20】

ミキサモジュールのそれぞれからの出力信号をデシメートする工程をさらに含むことを特徴とする請求項19に記載の監視方法。

【請求項21】

デシメートされた前記信号をろ波する工程をさらに含むことを特徴とする請求項20に記載の監視方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

40

本発明は、プラズマ処理システムにおける高周波電力を検出するための計測に関する。

【背景技術】

【0002】

この項における記述は、本発明の開示に関する背景情報を提供するものであり、先行技術を構成するものではない。

【0003】

電子産業では、集積回路、コンパクトディスク、デジタル多用途ディスク等のような様々な要素を製造するために、高周波プラズマが利用されている。通常、高周波プラズマ処理は、閉ループ制御系によって監視および制御されている。

【0004】

50

情報産業でもまた、異なる位置の間で装置および人間が無線によって情報を通信および伝達できるようにするために、高周波エネルギーが利用されている。無線通信施設は、無線の送信機、受信機、およびアンテナ等を含んでいてもよい。さらに、無線通信施設が適切にかつ政府の規制および/または工業規格に従って機能するように、検査装置および/または監視装置が含まれていてもよい。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

高周波プラズマ制御システムでは、プラズマチャンバに印加されている高周波電力の1つまたはそれ以上のパラメータを測定する。プラズマ制御装置は、測定結果および制御アルゴリズムに基づいて、前記パラメータを繰り返し調整する。マルチポイントアプリケーションでは、高周波電力経路において1つまたはそれ以上の位置で測定結果が得られ、様々な位置からの測定結果を同期または時間相関させることが課題とされている。

【0006】

検査装置および/または監視装置は、特定の局の高周波経路において1つまたはそれ以上の位置で、高周波システムパラメータを測定することができる。前記パラメータはシステムが適切に機能するように利用することができる一方、様々な位置からのパラメータの測定結果を同期または時間相関させることが課題とされている。

【0007】

本発明の目的は、様々な位置からのパラメータの測定結果を同期または時間相関させることができる計測システムおよび監視方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明は、回路内の複数の位置における高周波電力を監視する計測システムにおいて、前記回路内の複数の位置の内の対応位置における高周波電力の電気的特性に基づいてアナログ信号をそれぞれ発生する複数の高周波センサと、

前記アナログ信号に基づいて出力信号を発生する多重化モジュールであって、時間領域での多重化によって前記アナログ信号を出力信号に多重化する多重化モジュールと、

前記出力信号を受信し、該出力信号に基づいてメッセージを発生する分析モジュールとを含み、

前記メッセージは、前記複数の高周波センサによって検出される電気的特性に関する情報を包含していることを特徴とする計測システムである。

【0026】

また本発明は、回路内の複数の位置における高周波電力を監視する計測システムにおいて、

前記回路内の複数の位置の内の対応位置における高周波電力の電気的特性に基づいて一对のアナログ信号をそれぞれ発生する複数の高周波センサと、

時間領域での多重化によって前記アナログ信号を出力信号に多重化する多重化モジュールであって、

各対のアナログ信号から一方のアナログ信号を受信し、受信した信号の1つを制御信号に従って第1のマルチブレクサの出力部へ送る第1のマルチブレクサと、

各対のアナログ信号から他方のアナログ信号を受信し、受信した信号の1つを制御信号に従って第2のマルチブレクサの出力部へ送る第2のマルチブレクサとを含む多重化モジュールと、

前記第1のマルチブレクサおよび前記第2のマルチブレクサの出力部からの信号に基づいてメッセージを発生する分析モジュールとを含み、

前記メッセージは、前記複数の高周波センサによって検出される電気的特性に関する情報を包含していることを特徴とする計測システムである。

【0027】

本発明において、前記高周波センサが方向性結合器であることを特徴とする。

10

20

30

40

50

本発明において、前記高周波センサが電圧／電流プローブであることを特徴とする。

【0028】

本発明において、前記高周波センサからのアナログ信号のそれぞれと直列に接続する複数の信号調節分割モジュールをさらに含み、

各信号調節分割モジュールが、

アナログ信号の内の対応信号の各周波数成分を通過させる複数のフィルタと、

少なくとも一部の周波数成分を增幅または減衰する複数のスケーリングモジュールと

、
前記第1のマルチプレクサおよび前記第2のマルチプレクサの一方に伝達される信号を発生するために周波数成分を結合する結合器とを含むことを特徴とする。 10

【0029】

本発明において、前記分析モジュールは、前記第1のマルチプレクサおよび前記第2のマルチプレクサの出力部からの各信号をろ波するフィルタをさらに含むことを特徴とする。

【0030】

本発明において、前記第1のマルチプレクサおよび前記第2のマルチプレクサからの各信号を変換する一対のアナログデジタルコンバータをさらに含むことを特徴とする。

【0031】

本発明において、前記分析モジュールは、前記第1のマルチプレクサおよび前記第2のマルチプレクサの出力部からの各信号をろ波するフィルタをさらに含むことを特徴とする。 20

【0032】

本発明において、前記第1のマルチプレクサおよび前記第2のマルチプレクサからの各信号を変換する一対のアナログデジタルコンバータをさらに含むことを特徴とする。

【0033】

本発明において、前記分析モジュールは、前記第1のマルチプレクサおよび前記第2のマルチプレクサからの各信号を高周波電力の周波数よりも小さいベースバンド周波数に変換する複数の変換モジュールをさらに含むことを特徴とする。

【0034】

本発明において、前記各変換モジュールは、前記一対のアナログデジタルコンバータからの変換信号を混合する混合モジュールをさらに含むことを特徴とする。 30

【0035】

本発明において、前記混合モジュールのそれからの出力信号をデシメートするデシメーションモジュールをさらに含むことを特徴とする。

【0036】

本発明において、前記デシメーションモジュールのそれからの出力信号をろ波する低域通過フィルタモジュールをさらに含むことを特徴とする。

【0044】

また本発明は、回路内の複数の位置における高周波電力を監視するための方法において、
、
前記回路内の複数の位置の内の対応位置における高周波電力の電気的特性に基づいて複数の高周波センサがそれぞれ一対のアナログ信号を発生する工程と、 40

前記一対のアナログ信号の一方の信号を第1の出力信号に多重化する工程であって、時間領域での多重化によって前記一方の信号を第1の出力信号に多重化する工程と、

前記一対のアナログ信号の他方の信号を第2の出力信号に多重化する工程であって、時間領域での多重化によって前記他方の信号を第2の出力信号に多重化する工程と、

前記多重化工程の第1の出力信号および第2の出力信号からの信号に基づいてメッセージを発生する工程とを含み、

前記メッセージは、前記複数の高周波センサによって検出される電気的特性に関する情報を含んでいることを特徴とする監視方法である。 50

【0045】

本発明において、前記電気的特性は、前進電力および反射電力を含むことを特徴とする。

本発明において、前記電気的特性は、電圧および電流を含むことを特徴とする。

【0046】

本発明において、前記各一対のアナログ信号をろ波して、複数の各周波数成分にする工程と、

少なくとも前記周波数成分の一部を増幅する工程と、

第1のマルチプレクサおよび第2のマルチプレクサの1つに伝達される一対の信号におけるそれぞれの信号を発生するために前記周波数成分を結合する工程とをさらに含むことを特徴とする。

10

【0047】

本発明において、第1のマルチプレクサおよび第2のマルチプレクサの出力部からのそれぞれの信号をろ波する工程をさらに含むことを特徴とする。

【0048】

本発明において、第1のマルチプレクサおよび第2のマルチプレクサの出力部からのそれぞれの信号をデジタル化する工程をさらに含むことを特徴とする。

【0049】

本発明において、第1のマルチプレクサおよび第2のマルチプレクサの出力部からのそれぞれの信号を高周波電力の周波数よりも小さいベースバンド周波数に変換する工程をさらに含むことを特徴とする。

20

【0050】

本発明において、デジタル化された前記信号と、デジタル周波数合成器によって、特定の高周波センサが発生するアナログ信号を周波数処理するための周波数定点信号から生成されたデジタル混合信号とを混合する工程をさらに含むことを特徴とする。

【0051】

本発明において、ミキサモジュールのそれぞれからの出力信号をデシメートする工程をさらに含むことを特徴とする。

【0052】

本発明において、デシメートされた前記信号をろ波する工程をさらに含むことを特徴とする。

30

【発明の効果】**【0053】**

本発明によれば、回路内の複数の位置における高周波電力を監視するための計測システムが開示される。前記システムは、前記回路内の複数の位置の内の対応位置における高周波電力の電気的特性に基づいてそれぞれのアナログ信号を発生する複数の高周波センサと、前記アナログ信号に基づいて出力信号を発生する多重化モジュールであって、時間領域での多重化によって前記アナログ信号を出力信号に多重化する多重化モジュールと、前記出力信号に基づいてメッセージを発生する分析モジュールとを含む。前記メッセージは、複数の高周波センサによって検出される電気的特性に関する情報を包含する。

40

【0056】

本発明によれば、回路内の複数の位置における高周波電力を監視するための計測システムが開示される。前記システムは、前記回路内の複数の位置の内の対応位置における高周波電力の電気的特性に基づいて一対のアナログ信号をそれぞれ発生する複数の高周波センサと、時間領域での多重化によって前記アナログ信号を出力信号に多重化する多重化モジュールであって、各対のアナログ信号から一方のアナログ信号を受信し、受信した信号の1つを制御信号に従って第1のマルチプレクサの出力部へ送る第1のマルチプレクサと、各対のアナログ信号から他方のアナログ信号を受信し、受信した信号の1つを制御信号に従って第2のマルチプレクサの出力部へ送る第2のマルチプレクサとを含む多重化モジュールと、第1のマルチプレクサおよび第2のマルチプレクサの出力部からの信号に基づい

50

てメッセージを発生する分析モジュールとを含む。前記メッセージは、複数のセンサチャネルによって検出される電気的特性に関する情報を包含する。

【0058】

本発明によれば、回路内の複数の位置における高周波電力を監視するための方法が開示される。前記方法は、前記回路内の複数の位置の内の対応位置における高周波電力の電気的特性に基づいて一対のアナログ信号を発生する工程と、前記一対のアナログ信号の一方の信号を第1の出力信号に多重化する工程であって、時間領域での多重化によって前記一方の信号を第1の出力信号に多重化する工程と、前記一対のアナログ信号の他方の信号を第2の出力信号に多重化する工程であって、時間領域での多重化によって前記他方の信号を第2の出力信号に多重化する工程と、前記多重化工程の第1の出力信号および第2の出力信号からの信号に基づいてメッセージを発生する工程とを含む。前記メッセージは、複数のセンサチャネルによって検出される電気的特性に関する情報を包含する。

10

【0059】

本願明細書に記載された説明から、将来的にさらに多くの分野で利用可能であることは明らかである。明細書の記載および具体例は、例示目的で示したに過ぎず、本発明の範囲を限定することを意図するものではないと理解されるべきである。

【発明を実施するための最良の形態】

【0060】

以下の説明は事実上典型的なものに過ぎず、決して本発明による開示、本出願、利用方法を限定することを意図するものではない。分かり易くするため、類似の要素を同一に扱うために同一の参照番号が図面内で用いられている。本願明細書において、A、BおよびCのうち少なくとも1つという言い回しは、非排他的論理和を用いて、論理（AまたはBまたはC）を意味するものと解釈される。方法における工程は、本発明の原則を変えない限り、異なる順序で実行されてもよい。

20

【0061】

本願明細書においては、モジュールという語は、特定用途向け集積回路（ASIC）、電子回路、プロセッサ（共有、専用、または集合）、およびメモリに対応しており、これらは1またはそれ以上のソフトウェアプログラムもしくはファームウェアプログラム、組み合わせ論理回路、および／または記載された機能性を与える他の好適な要素を実行する。

30

【0062】

図1を参照すると、実施形態の1つとして、高周波プラズマ発生装置10が示されている。高周波プラズマ発生装置10は、高周波プラズマ発生装置10内の複数の位置における高周波電力の測定を容易にする多重化モジュール22を含む。多重化モジュール22については、以下により詳細に記載する。

【0063】

高周波プラズマ発生装置10は、高周波発生装置12-1および高周波発生装置12-2を含み、これらをまとめて高周波発生装置12と称する。制御モジュール14は、高周波発生装置12に対して制御信号を発生する。制御信号によって、高周波発生装置12の出力部における高周波電力の、例えば電圧、電流、電力といった、電気パラメータが決定する。高周波発生装置12の出力は、インピーダンス整合回路網16の各入力部に伝達される。インピーダンス整合回路網16は、プラズマチャンバ18の入力インピーダンスと、高周波発生装置12の出力インピーダンスを適合させ、それは典型的には50オームである。

40

【0064】

高周波プラズマ発生装置10は、様々な位置における高周波電力の1またはそれ以上のパラメータを検出する複数のセンサまたはプローブ20を含む。第1のプローブ20-1および第2のプローブ20-2は、高周波発生装置12のそれぞれの出力部における高周波電力を検出する。第3のプローブ20-3は、インピーダンス整合回路網16の出力部とプラズマチャンバ18の入力部との間の高周波電力を検出する。各プローブ20は、目

50

的とする電気パラメータを示す 1 またはそれ以上の信号を発生する。たとえば、目的とするパラメータが前進電力および / または反射電力であるときには、プローブ 20 は方向性結合器であり得る。目的とするパラメータが電圧および / または電流であるときには、プローブ 20 は電圧 / 電流 (V / I) プローブであってもよい。

【 0 0 6 5 】

プローブ 20 からの信号は、多重化モジュール 22 の入力部に伝達される。多重化モジュール 22 は、信号の周波数をシフトしある / または信号をサンプリングし、周波数シフトおよび / またはサンプリングの結果を分析モジュール 24 に伝達する。分析モジュール 24 は、その結果に基づいてデータを生成する。そのデータは、プローブ 20 のそれぞれによって検出された目的とするパラメータを定量的に表す。分析モジュール 24 は、そのデータおよび / または情報を制御モジュール 14 に伝達される 1 またはそれ以上のデジタル信号および / またはアナログ信号を発生する。そして、制御モジュール 14 は、そのデータおよび制御アルゴリズムに基づいて制御信号を調節する。

【 0 0 6 6 】

図 2 を参照すると、高周波プラズマ発生装置 10 は、複数シャワーヘッドのプラズマチャンバ 18' を有することが示されている。インピーダンス整合回路網 16 の出力部における高周波電力は、スプリッタ 26 の入力部に伝達される。スプリッタ 26 は、プラズマチャンバ 18' の複数の入力部のために高周波電力を分割する。プローブ 20-3, 20-4, 20-5 は、プラズマチャンバ 18' の入力部のそれぞれに与えられている高周波電力を検出する。多重化モジュール 22 は、増設プローブ 20-4, 20-5 からの信号を受信および処理し、分析モジュール 24 に伝達される信号の中にそれらの情報を含める。

【 0 0 6 7 】

図 3 を参照すると、実施形態の 1 つとして、無線高周波送信機 50 が示されている。無線高周波送信機 50 には、多重化モジュール 22 および無線高周波送信機 50 内の様々な位置における高周波電力を検出する複数のプローブ 20 が使用されている。

【 0 0 6 8 】

無線高周波送信機 50 は、高周波信号を発生する複数の高周波発生装置または送信機 52-1, 52-2, 52-3 を含む。高周波信号は、高周波フィルタ / 結合器 54 の各入力部に伝達される。高周波フィルタ / 結合器 54 は、基本周波数である高周波信号を通過させ、これらを結合することによって、コンポジット出力高周波信号を形成する。コンポジット出力高周波信号は、アンテナ 56 の入力部に伝達される。

【 0 0 6 9 】

プローブ 20-1 ~ 20-4 は、それぞれの位置における高周波電力を検出する。多重化モジュール 22 は、プローブ 20-1 ~ 20-4 からの信号を受信し、処理する。多重化モジュール 22 は、信号を結合しある / またはサンプリングし、その結合および / またはサンプリングの結果を分析モジュール 24 に伝達する。分析モジュール 24 は、その結果に基づいてデータを生成する。そのデータは、プローブ 20 のそれぞれによって検出された目的とするパラメータを定量的に表す。分析モジュール 24 は、そのデータを制御モジュール 14 に伝達する。そして、制御モジュール 14 は、そのデータおよび制御アルゴリズムに基づいて、制御信号を調節する。制御信号は、高周波送信機 52 へフィードバックし、各高周波出力の 1 またはそれ以上のパラメータを変える。

【 0 0 7 0 】

図 4 を参照すると、実施形態の 1 つとして、周波数分割バージョンの多重化モジュール 22 が示されている。図 4 は、各プローブにおける高周波電力の電圧および電流を示す信号を発生する電圧 / 電流プローブとしてプローブ 20 を示している。プローブ 20 は、いくつかの実施形態においては、各プローブにおける高周波電力の前進電力および反射電力を示す信号を発生する方向性結合器として実施されてもよいものと理解されるべきである。プローブ 20 はまた、目的とする電気的特性に基づいて信号を発生する別の種類のプローブであってもよい。

10

20

30

40

50

【0071】

いくつかの実施形態においては、プローブ20は、検出された信号の周波数を低い周波数に変換してもよい。そのようなプローブ20の実施例が、米国特許第5770922号明細書において示されており、その全体が参照によって本願明細書に組み込まれる。

【0072】

多重化モジュール22は、プローブ20のそれぞれからの信号を受信する複数の混合モジュール60-2～60-Nを含む。各混合モジュール60は、個別の局部発振器62および一対のミキサ64を含む。各対のミキサ64は、対応の局部発振器62から、それぞれ、正弦信号および余弦信号などの同相信号および異相信号を受信する。各局部発振器62は、他の局部発振器と異なる周波数を有するものであってもよい。局部発振器62の周波数は、プローブ20からの信号の第1の信号の周波数よりも小さくも大きくなり得る。プローブ20からの信号の周波数が異なっている場合のようないくつかの実施形態においては、局部発振器62は、共通の周波数を用いることができる。第1のプローブ20-1からの信号は、基本周波数のままでもよく、混合モジュール60を通過する必要はない。プローブ20からの信号は、それぞれ低域通過フィルタ66を通過してもよい。ミキサ64-2からの信号は、それぞれ高域通過フィルタ68を通過してもよい。

10

【0073】

第1の高周波結合器70は、各混合モジュール60における第1のミキサ64からの信号を受信する。第2の高周波結合器72は、各混合モジュール60における第2のミキサ64からの信号を受信する。高周波結合器70, 72の出力は、制御モジュール14の入力部に伝達される。いくつかの実施形態においては、高周波結合器70, 72の出力は、制御モジュール14の入力部に伝達される前に、それぞれ低域通過フィルタ74, 76を通過してもよい。

20

【0074】

フィルタ66, 68, 74, 76のうち1またはそれ以上のフィルタには、対応のスケーリングモジュールが含まれていてもよいものと理解されるべきである。目的とする信号の振幅が分析モジュール24への入力のダイナミックレンジと適合するように、スケーリングモジュールの増幅率が調節されてもよい。

【0075】

混合モジュール60は、プローブ20のそれぞれからの信号について、その信号が分析モジュール24に与えられる前に、周波数領域をシフトする。混合モジュール60は、その結果、分析モジュール24が全てのプローブ20からの情報を同時に受信できるようにしている。分析モジュール24の入力バンド幅は、信号がミキサ64およびプローブ20-1の出力部においてろ波されている、いなしに拘らず、その周波数スペクトルのうち所望の一部に対応しているはずである。そのような分析モジュール24が、現在エムケーエスインスツルメンツによって製造されており、品番はVIP2001、VIP2007およびVIP2009である。米国特許第6522121号明細書および米国特許第6707255号明細書は、その全体が参照によって本願明細書に組み込まれ、周波数分割バージョンの多重化モジュール22と互換性のある分析モジュール24の実施例を提供している。

30

【0076】

図5を参照すると、スペクトル図100は、これに限定されない実施例として、各混合モジュール60に与えられる前の4つのプローブ20からのアナログ信号の周波数成分を示している。スペクトル図100によって、プローブ20からの信号の周波数成分は、それぞれが重畠していることがわかる。もしこれらの信号が直接分析モジュール24に与えられる（例えば、混合モジュール60を通過しない）としたならば、分析モジュール24は、どの信号がどのプローブ20と結びついているものであるかを識別することができないであろう。

40

【0077】

図6を参照すると、スペクトル図120は、4つの混合モジュール60の出力における

50

信号の周波数成分を示している。スペクトル図120は、局部発振器62の周波数がプローブ20からの信号の基本周波数よりも小さいと仮定している。特定の大きさにおける各信号セットは、プローブ20のうちの1つと関連付けられている。スペクトル図120は、混合モジュール60が、各信号の周波数成分の重複を処理するために、プローブ20からの信号の基本周波数をシフトしていることを示している。混合モジュール60は、その結果、どの周波数成分が特定のプローブ20と結びついているものであるかを分析モジュール24が識別できるようにしている。各プローブ20からの信号の周波数シフトは、対応の局部発振器62の周波数にしたがって変わり、いくつかの実施形態においては、対応の局部発振器62のプラス/マイナス振動数に等しい。フィルタ66, 68, 74, 76が用いられる場合には、前記フィルタはプローブ20によって発生する信号からいくつかの周波数成分を除去するということは、当業者に理解されるはずである。

【0078】

図7を参照すると、スペクトル図130は、4つの混合モジュール60の出力における信号の周波数成分を示している。スペクトル図130は、局部発振器62の周波数がプローブ20からの信号の基本周波数よりも大きいと仮定している。特定の大きさにおける各信号セットは、プローブ20のうちの1つと関連付けられている。スペクトル図130は、混合モジュール60が、各信号の周波数成分の重複を処理するために、プローブ20からの信号の基本周波数をシフトしていることを示している。各プローブ20の周波数成分は、対応する周波数バンド内でグループ化される。グループ化された周波数は、どの周波数成分が特定のプローブ20と結びついているものであるかを分析モジュール24が識別できるようにしている。各プローブ20からの信号の周波数シフトは、対応の局部発振器62の周波数にしたがって変わり、いくつかに実施形態においては、対応の局部発振器62のプラス/マイナス振動数に等しい。フィルタ66, 68, 74および/または76が用いられる場合には、前記フィルタはプローブ20によって発生する信号からいくつかの周波数成分を除去するということは、当業者に理解されるはずである。

【0079】

図8を参照すると、実施形態の1つとして、時間分割バージョンの多重化モジュール22が示されている。時間分割多重化モジュール22は、プローブ20の1つからの全周波数スペクトルが、選択された時間において分析モジュール24に到達することを可能としている。第1のマルチプレクサ150は、プローブ20のそれぞれからのアナログ信号の一方を受信する複数の入力部を含む。第2のマルチプレクサ152は、プローブ20のそれぞれからのアナログ信号の他方を受信する複数の入力部を含む。マルチプレクサ150, 152のそれぞれは、プローブ選択信号154を受信する入力部を含む。プローブ選択信号154によって、選択された時間においてどのプローブ20がマルチプレクサ150, 152の出力部へ信号を送ったかがわかる。

【0080】

図9を参照すると、信号調節分割モジュール160が示されている。図1~3に示すように、図8の多重化モジュール22が複数の高周波発生装置12に使用されている場合に、1またはそれ以上の信号調節分割モジュールは使用される。高周波発生装置12は、異なる基本周波数を使用している。基本周波数は、インピーダンス整合回路網16および高周波フィルタ/結合器54の少なくとも1つにおいて結合され得る。信号調節分割モジュール160は、プローブ20のそれぞれからの高周波信号のバンド幅および増幅率を分析モジュール24のダイナミックレンジと適合させる。

【0081】

各信号調節分割モジュール160は、プローブ20のうちの1つのそれぞれの出力部からの信号を受信する。スケーリングモジュール162は、1~Mに分岐するスプリッタ164の入力部に信号が到達する前に、その信号を増幅または減衰する。ここで、Mは周波数バンドの数を表している。1~Mに分岐するスプリッタ164の各出力は、入力部に与えられている信号の複製を供給する。M個の出力のそれぞれは、M個のスケーリングモジュール166の1つにそれぞれ伝達される。各スケーリングモジュール166の増幅率は

10

20

30

40

50

、単一のものと比べて小さくても、等しくても、または大きくてもよい。スケーリングモジュール166の出力は、フィルタ168の入力部にそれぞれ伝達される。フィルタ168の通過バンドは、ユーザが目的とする周波数に基づいて選択されてもよい。結合器170は、フィルタ168からの出力信号を結合する。結合器170の出力は、マルチブレクサ150またはマルチブレクサ152のそれぞれの入力部に伝達されるろ波された検出信号を供給する。スケーリングモジュール162および166の増幅率ならびにフィルタ168のカットオフ周波数およびバンド幅は、M個の異なる周波数バンドに基づいて、および分析モジュール24によって高周波信号の定量化を最大化するために、選択されてもよい。各フィルタ168は、全域通過、低域通過、高域通過またはバンド通過のフィルタとして実装されてもよい。

10

【0082】

図10A～図10Dを参照すると、スケール化されていないスペクトル図は、信号調節分割モジュール160内の様々なポイントにおける周波数成分の例を示している。スペクトル図は、高周波発生装置12が、例えばM=2である場合に、 f_0 および f_1 に中心がある2つの基本周波数を供給しているものと仮定していると理解されるべきである。図10Aは、スケーリングモジュール162の入力部におけるスペクトル図を示している。 f_0 および f_1 の振幅は等しいものではなく、必ずしも分析モジュール24の入力特性または限界に適合しているとは限らないということが見てとれる。

【0083】

図10Bは、フィルタ168-1の出力におけるスペクトル図を示している。図10Bは、フィルタ168-1が f_0 よりも大きく f_1 よりも小さいカットオフ周波数を有する低域通過フィルタとして実装されていることを仮定している。フィルタ168-1の通過バンドは172と示されている。

20

【0084】

図10Cは、フィルタ168-Mの出力におけるスペクトル図を示している。図10Cは、フィルタ168-Mが、中心周波数が f_1 であり、かつ、 f_0 よりも大きな下位のカットオフ周波数を有するバンド通過フィルタとして実装されていることを仮定している。フィルタ168-Mの通過バンドは174と示されている。図10Cはまた、スケーリングモジュール166-Mの増幅率が単一のものよりも小さく、それによって、結合器170に入る前に f_1 の振幅を減じているものと仮定している。図10Dは、結合器170の出力におけるスペクトル図を示している。

30

【0085】

図11を参照すると、機能ブロック図は、時間分割バージョンの多重化モジュール22(図8)で使用可能な分析モジュール24の様々なアーキテクチャのうちの1つを示している。入力である電圧および電流はそれぞれ、各信号調節分割モジュール160からの信号を受信する。各入力信号は、各低域通過フィルタ180および各高域通過フィルタ182に与えられる。いくつかの実施例においては、フィルタ180, 182は省略されてもよく、そのフィルタ機能はフィルタ168によって充足されてもよい。

【0086】

第1の対のアナログデジタル(A/D)コンバータ184は、フィルタ180からの電圧信号および電流信号のそれぞれの低周波数成分を変換する。第2の対のアナログデジタルコンバータ186は、フィルタ182からの電圧信号および電流信号のそれぞれの高周波数成分を変換する。アナログデジタルコンバータ184は、変換された信号をフィールドプログラマブルゲートアレイ(FPGA)188に伝達する。アナログデジタルコンバータ186は、変換された信号をフィールドプログラマブルゲートアレイ(FPGA)190に伝達する。FPGA188, 190はそれぞれ、それぞれデジタル化された電圧データおよび電流データを同相(I)信号および直交(Q)信号に変換する。デジタル信号処理装置(DSP)192は、FPGA188, 190からのI信号およびQ信号に基づいて、目的とするパラメータを定量的に表す。

40

【0087】

50

図12を参照すると、ブロック図200は、FPGA188およびDSP192によって与えられる機能性を示している。当業者は、ブロック図200に示されている機能がユーザの自由な判断で別の手段によって与えられてもよいということを理解するはずである。

【0088】

ブロック図200は、N個の変換モジュール202-1～202-Nを含んでおり、これらを変換モジュール202と総称する。各変換モジュール202はプローブ20の1つと対応しており、アナログデジタルコンバータ対184, 186のうちの1つから変換されたデータを受信する。プローブ選択信号154(図8において示されている)は、プローブ20のうち選択されたものと対応している変換モジュール202を作動させる。

10

【0089】

各変換モジュール202は、一対の混合モジュール204を含む。混合モジュール204は、アナログデジタルコンバータ対184, 186のうちの対応する方から得られたデジタル信号を受信する。各混合モジュール204はまた、デジタル周波数合成器206からの2つの入力を受信する。一般に、デジタル周波数合成器206は、デジタル混合信号を発生する。具体的には、デジタル周波数合成器206は、対応の信号調節分割モジュール160からの目的とする1またはそれ以上の周波数に対応する正弦波形および余弦波形を作り出す。周波数定点信号214は、デジタル周波数合成器206の動作周波数を定める。各変換モジュール202に対し、周波数定点信号は、特定のプローブ20が目的とする複数の周波数を処理するために、複数の定点を通ることによって切替えが可能である。1つの実施形態において、周波数定点は、高周波発生装置12または送信機52を駆動する周波数源から受信された周波数オフセットである。

20

【0090】

各デジタル混合モジュール204は、デジタル周波数合成器206から受信したデジタル混合信号と、対応のアナログデジタルコンバータ対から受信した変換データとを結合する。そのようにするために、各デジタル混合モジュール204には、2つの乗算器が含まれている。さらに、デジタル混合モジュール204は、対応のアナログデジタルコンバータ対のサンプルレートで機能する。各デジタル混合モジュール204からの結果は、デジタル化されたデータに含まれる周波数とデジタル周波数合成器によって与えられる信号との和および差から構成されるスペクトルである。

30

【0091】

混合モジュール204の出力は、それぞれのデシメーションモジュール208の入力部に伝達される。デシメーションモジュール208は、サンプルレートを低域のまたはベースバンドのデータレートに変換する。非限定的な例として、デシメーションは米国特許6707255号明細書に記載されており、その全体が参照によって本願明細書に組み込まれる。

【0092】

いくつかの実施形態においては、混合モジュール204およびデシメーションモジュール208は、FPGA188, 190で実装されている。

40

【0093】

デシメーションモジュール208の出力は、低域通過フィルタモジュール210のそれぞれの入力部に伝達される。低域通過フィルタモジュール210は、デシメーションモジュール208のスペクトル出力を形成する。低域通過フィルタモジュール210の出力は、デカルト-極変換モジュール212のそれぞれに伝達される。変換モジュール212は、低域通過フィルタモジュール210からのろ波されたデータを極座標系に変換する。

【0094】

いくつかの実施形態においては、低域通過フィルタモジュール210およびデカルト-極変換モジュール212はDSP192と共に実装される。

【0095】

以上の説明から、本発明を開示した広範な教示内容を様々な形態で実施することができ

50

るということは、当業者であれば理解可能である。それゆえ、本発明による開示は特定の実施例を含んではいるが、図面、明細書および添付の特許請求の範囲を精査することによって、別の改良がされることはあるが、本発明に係る開示の真の範囲は、実施例に限定されるべきではない。

【図面の簡単な説明】

【0096】

本願明細書に記載されている図面は例示を目的とするものであり、本発明の範囲を限定するものではない。

【図1】多点高周波センサを含む高周波プラズマ発生装置の機能ブロック図を示す。

【図2】複数の高周波源および多点高周波センサを含むプラズマ発生装置の機能ブロック図を示す。 10

【図3】多点高周波センサを含む無線高周波送信機の機能ブロック図を示す。

【図4】多点高周波センサ用の周波数多重化モジュールの機能ブロック図を示す。

【図5】複数の位置における測定結果の一次結合から導出された高周波信号の周波数成分のスペクトル図を示す。 15

【図6】低周波数混合後の図5の周波数成分のスペクトル図を示す。

【図7】高周波数混合後の図5の周波数成分のスペクトル図を示す。

【図8】時間多重化多点プローブの機能ブロック図を示す。

【図9】信号調節分割モジュールの機能ブロック図を示す。

【図10A】図9の分割モジュールにおける様々な信号のスペクトル図を示す。 20

【図10B】図9の分割モジュールにおける様々な信号のスペクトル図を示す。

【図10C】図9の分割モジュールにおける様々な信号のスペクトル図を示す。

【図10D】図9の分割モジュールにおける様々な信号のスペクトル図を示す。

【図11】分析モジュールの機能ブロック図を示す。

【図12】図8の時間多重化多点プローブに用いられる変換モジュールの機能ブロック図を示す。 25

【符号の説明】

【0097】

10 高周波プラズマ発生装置

12 高周波発生装置

30

14 制御モジュール

16 インピーダンス整合回路網

18, 18' プラズマチャンバ

20 増設プローブ

22 多重化モジュール

24 分析モジュール

26 スプリッタ

50 無線高周波送信機

52 高周波送信機

54 高周波フィルタ/結合器

40

56 アンテナ

60 混合モジュール

62 局部発振器

64 ミキサ

66, 74, 76 低域通過フィルタ

68 高域通過フィルタ

70 第1の高周波結合器

72 第2の高周波結合器

150, 152 マルチブレクサ

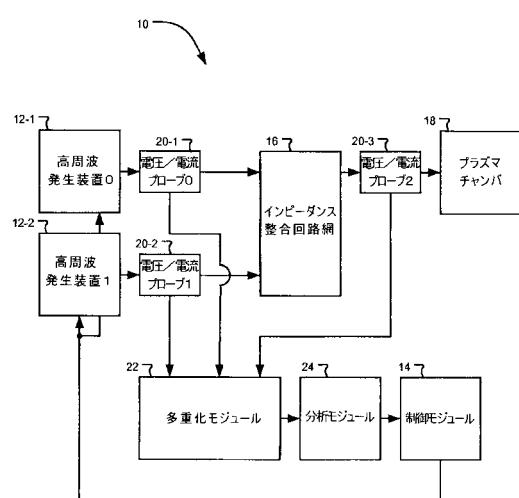
154 プローブ選択信号

50

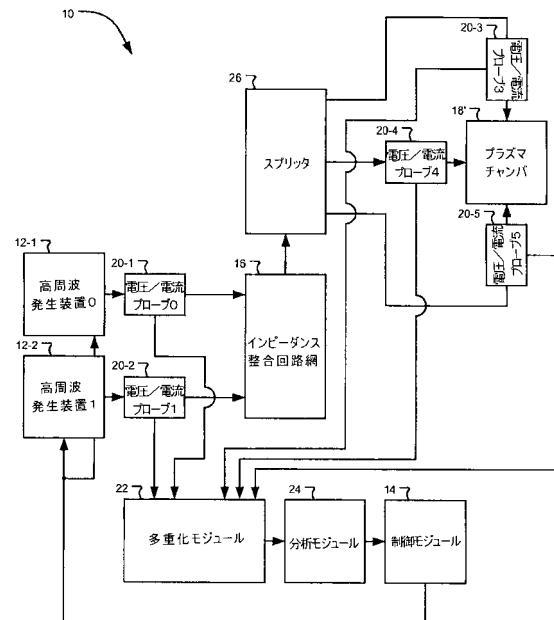
160 信号調節分割モジュール
 162, 166 スケーリングモジュール
 164 スプリッタ
 168 フィルタ
 170 結合器
 180 低域通過フィルタ
 182 高域通過フィルタ
 184, 186 アナログデジタルコンバータ対
 188, 190 フィールドプログラマブルゲートアレイ
 192 デジタル信号処理装置
 202 変換モジュール
 204 混合モジュール
 206 デジタル周波数合成器
 208 デシメーションモジュール
 210 低域通過フィルタモジュール
 212 デカルト - 極変換モジュール
 214 周波数定点信号

10

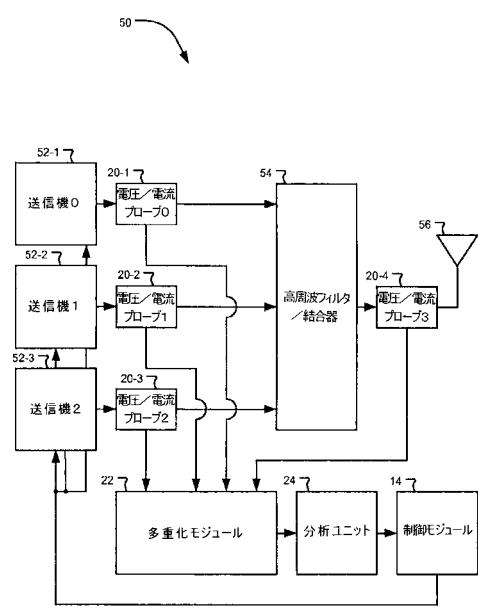
【図1】



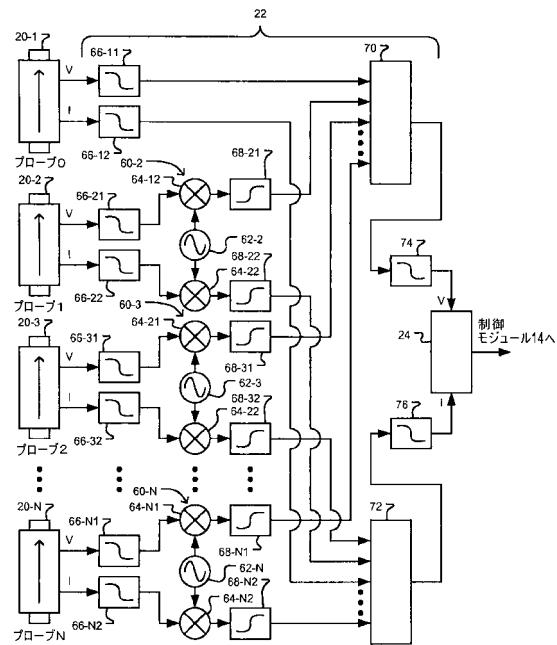
【図2】



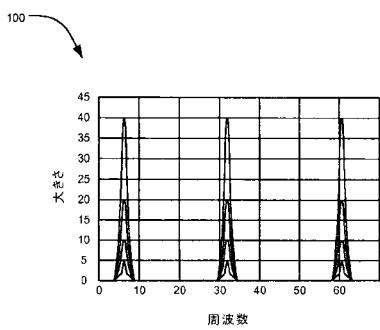
【図3】



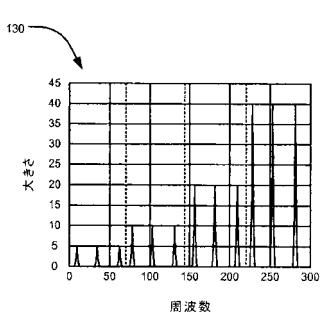
【図4】



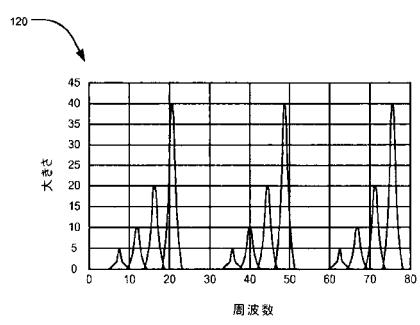
【図5】



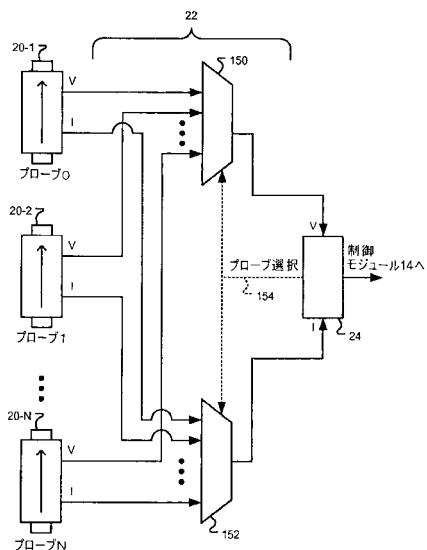
【図7】



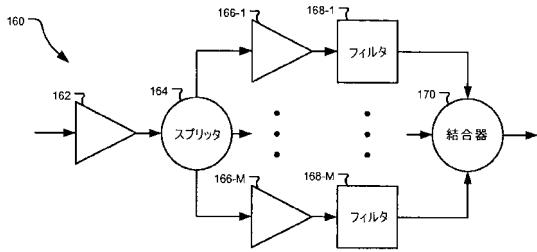
【図6】



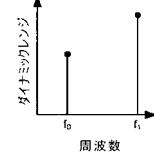
【図8】



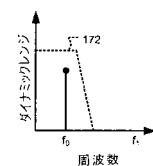
【図9】



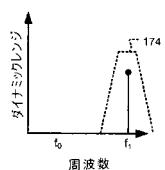
【図10A】



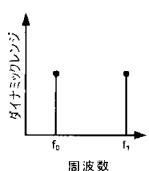
【図10B】



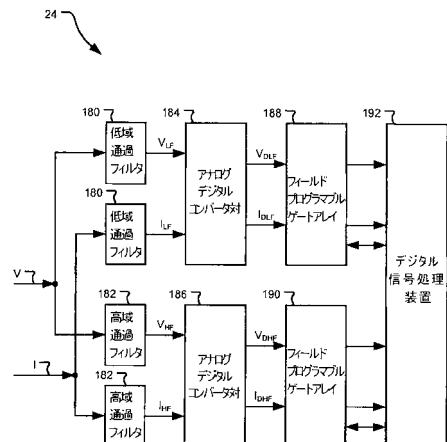
【図10C】



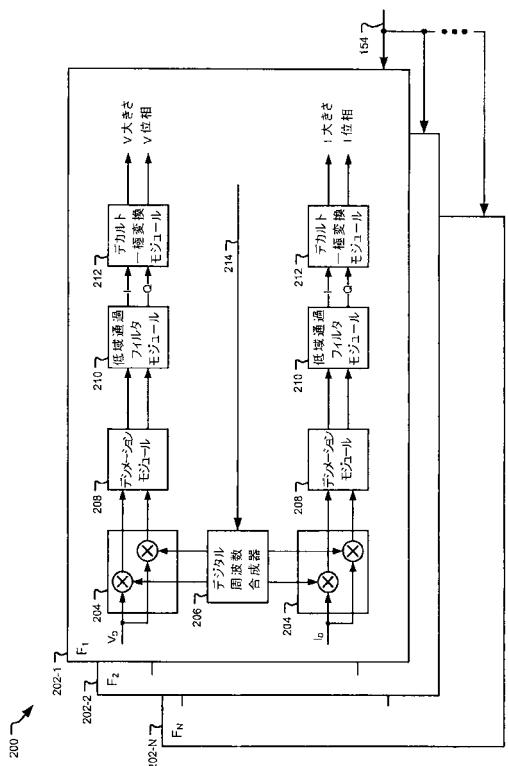
【図10D】



【図11】



【図 1 2】



フロントページの続き

(72)発明者 チョーエイリ, レイ

アメリカ合衆国 ニューヨーク州, ロチェスター, ダブリュー スクエア ドライブ 255, アパートメント 6

(72)発明者 ヘッケルマン, トッド

アメリカ合衆国 ニューヨーク州, スペンサーポート, ヒンクリーヴィル ロード 154

(72)発明者 カウムー, デイビッド ジェイ.

アメリカ合衆国 ニューヨーク州, ウェブスター, アールベルク サークル 852

審査官 林 靖

(56)参考文献 特開2006-304585 (JP, A)

特表2002-530856 (JP, A)

特表2001-516946 (JP, A)

特開平03-078809 (JP, A)

特開2004-205328 (JP, A)

特開2005-121651 (JP, A)

特開2006-140440 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H05H 1/00-1/54

C23C 14/00-14/58

C23C 16/00-16/56

H01L 21/302

H01L 21/304

H01L 21/461

H01L 21/3065

H01L 21/205

H01L 21/31

H01L 21/365

H01L 21/469

H01L 21/86