

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7204344号
(P7204344)

(45)発行日 令和5年1月16日(2023.1.16)

(24)登録日 令和5年1月5日(2023.1.5)

(51)国際特許分類

F I

H 0 5 B 6/68 (2006.01) H 0 5 B 6/68

A 2 3 L 3/365(2006.01) A 2 3 L 3/365 B

F 2 5 D 23/12 (2006.01) F 2 5 D 23/12 Q

請求項の数 9 (全46頁)

(21)出願番号	特願2018-98380(P2018-98380)	(73)特許権者	504199127
(22)出願日	平成30年5月23日(2018.5.23)		エヌエックスピー ユーエスエイ インコ
(65)公開番号	特開2019-114519(P2019-114519		ーポレイテッド
	A)		N X P U S A , I n c .
(43)公開日	令和1年7月11日(2019.7.11)		アメリカ合衆国 テキサス州 7 8 7 3 5
審査請求日	令和3年5月17日(2021.5.17)		オースティン ウィリアム キャノン ド
(31)優先権主張番号	17306854.5		ライブ ウェスト 6 5 0 1
(32)優先日	平成29年12月20日(2017.12.20)	(74)代理人	100142907
(33)優先権主張国・地域又は機関	欧州特許庁(EP)		弁理士 本田 淳
		(72)発明者	ビエール マリー ジーン ビール
			アメリカ合衆国 7 8 7 3 5 テキサス州
			オースティン ウィリアム キャノン ド
			ライブ ウェスト 6 5 0 1 エヌエック
			スピー ユーエスエイ インコーポレイテ
			ッド
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 解凍装置およびその動作方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

負荷 (9 6 4) を収容するためのキャビティ (9 6 0) に結合された熱上昇システム (9 0 0) であって、

不平衡 R F 信号を生成するように構成された無線周波数 (R F) 信号源 (9 2 0 , 9 2 0 ') と、

前記 R F 信号源と、前記キャビティを横切って配置された第 1 および第 2 の電極 (9 4 0 , 9 5 0) との間に電氣的に結合された伝送経路 (9 2 8) と、

前記伝送経路に沿って電氣的に結合された変換装置 (9 7 4) であって、前記変換装置は、前記 R F 信号源の出力部に結合された入力部と、前記第 1 および第 2 の電極 (9 4 0 , 9 5 0) に結合された 2 つの出力部とをそれぞれ有し、前記不平衡 R F 信号を前記入力部において受信し、前記不平衡 R F 信号を第 1 および第 2 の平衡 R F 信号を含む平衡 R F 信号に変換し、前記 2 つの出力部において前記第 1 および第 2 の平衡 R F 信号を生成するように構成された、変換装置 (9 7 4) と、

前記伝送経路に沿って電氣的に結合されたインピーダンス整合ネットワーク (9 7 2 , 1 0 0 0 , 1 1 0 0) であって、可変受動構成要素 (1 0 1 1 , 1 0 1 6 , 1 0 2 1 , 1 1 1 1 ~ 1 1 1 4 , 1 0 1 6 ~ 1 0 1 9 , 1 0 2 1 , 1 0 2 3) のネットワークを備えるインピーダンス整合ネットワークと、

前記伝送経路に沿った反射信号電力を検出するように構成された電力検出回路 (9 3 0 , 9 3 0 ' , 9 3 0 ' ') と、

前記反射信号電力に基づいて、前記インピーダンス整合ネットワークの1つ以上の前記可変受動構成要素の1つ以上の値を修正して前記反射信号電力を低減するように構成されたコントローラ(912)と、を備える、熱上昇システム。

【請求項2】

前記変換装置がバラン(974)を備える、請求項1に記載の熱上昇システム。

【請求項3】

前記インピーダンス整合ネットワークは、ダブルエンド可変インピーダンス整合ネットワーク(1000, 1100)であり、前記ダブルエンド可変インピーダンス整合ネットワークは、

第1および第2の入力部(1001-1, 1001-2, 1101-1, 1101-2)と、

第1および第2の出力部(1002-1, 1002-2, 1102-1, 1102-2)と、

前記第1の入力部と前記第1の出力部との間に接続された第1の可変インピーダンス回路(1011)と、

前記第2の入力部と前記第2の出力部との間に接続された第2の可変インピーダンス回路(1016)とを備える、請求項1または2に記載の熱上昇システム。

【請求項4】

前記第1の可変インピーダンス回路は、前記第1の入力部と前記第1の出力部との間に直列に接続された複数の第1の受動構成要素(1111~1114)と、複数の第1のバイパススイッチ(1131~1134)とを備え、前記第1のバイパススイッチの各々は、前記第1の受動構成要素のうちの1つの受動構成要素の複数の端子にわたって並列に接続され、前記コントローラ(912)からの制御信号(1151~1154)によって前記第1のバイパススイッチの各々の電気導通状態が制御され、

前記第2の可変インピーダンス回路は、前記第2の入力部と前記第2の出力部との間に直列に接続された複数の第2の受動構成要素(1116~1119)と、複数の第2のバイパススイッチ(1136~1139)とを備え、前記第2のバイパススイッチの各々は、前記第2の受動構成要素のうちの1つの受動構成要素の複数の端子にわたって並列に接続され、前記コントローラ(912)からの制御信号(1156~1159)によって前記第2のバイパススイッチの各々の電気導通状態が制御される、請求項3に記載の熱上昇システム。

【請求項5】

前記第1の受動構成要素は、第2のインダクタ(1112)と直列に結合された少なくとも第1のインダクタ(1111)を含み、

前記第2の受動構成要素は、第4のインダクタ(1117)と直列に結合された少なくとも第3のインダクタ(1116)を含み、

前記第1および第3のインダクタ(1111, 1116)は、実質的に等しい値を有する一対のインダクタの第1のセットを構成し、前記システムの動作中、前記第1のインダクタにわたって接続された第1のバイパススイッチ(1131)の動作状態と前記第3のインダクタにわたって接続された第3のバイパススイッチ(1136)の動作状態とが、同じになるように制御され、

前記第2および第4のインダクタ(1112, 1117)は、実質的に等しい値を有する一対のインダクタの第2のセットを構成し、前記システムの動作中、前記第2のインダクタにわたって接続された第2のバイパススイッチ(1132)の動作状態と前記第4のインダクタにわたって接続された第4のバイパススイッチ(1137)の動作状態とが、同じになるように制御される、請求項4に記載の熱上昇システム。

【請求項6】

前記電力検出回路(930, 930', 930'')は、前記伝送経路に沿って順方向信号電力を検出するようにさらに構成され、

前記コントローラ(912)は、前記反射信号電力および前記順方向信号電力に基づい

10

20

30

40

50

て、前記1つ以上の前記可変受動構成要素の前記1つ以上の値を修正するように構成される、請求項1～5のいずれか一項に記載の熱上昇システム。

【請求項7】

キャパシティ(960)を備える熱上昇システム(900)を動作させる方法であって、無線周波数(RF)信号源(920)が、前記RF信号源と、前記キャパシティを横切って配置された第1および第2の電極(940, 950)との間に電氣的に結合された伝送経路(928)に不平衡RF信号を供給する工程(1420)と、

前記伝送経路に沿って電氣的に結合された変換装置(972)が、前記不平衡RF信号を第1および第2の平衡RF信号を含む平衡RF信号に変換する工程と、

前記第1の平衡RF信号を前記第1の電極(940)に伝達する工程と、

前記第2の平衡RF信号を前記第2の電極(950)に伝達する工程と、

電力検出回路(930, 930', 930'')が、前記伝送経路に沿った反射信号電力を検出する工程(1414)と、

コントローラ(912)が、前記伝送経路に沿って電氣的に結合されたインピーダンス整合ネットワーク(972, 1000, 1100)の1つ以上の可変受動構成要素(1011, 1016, 1021, 1111～1114, 1016～1019, 1021, 1023)の1つ以上の値を修正して(1418)前記反射信号電力を低減する工程と、を備える、方法。

【請求項8】

前記インピーダンス整合ネットワークは、第1および第2の入力部(1001-1, 1001-2, 1101-1, 1101-2)と、第1および第2の出力部(1002-1, 1002-2, 1102-1, 1102-2)と、前記第1の入力部と前記第1の出力部との間に接続された第1の可変インピーダンス回路(1011)と、前記第2の入力部と前記第2の出力部との間に接続された第2の可変インピーダンス回路(1016)とを含むダブルエンド可変インピーダンス整合ネットワーク(1000, 1100)であり、前記方法はさらに、

複数の第1のバイパススイッチ(1131～1134)に制御信号(1151～1154)を送信し、前記第1のバイパススイッチの電気導通状態を制御する工程であって、前記第1のバイパススイッチの各々は、前記第1の可変インピーダンス回路の異なる受動構成要素(1111～1114)の複数の端子にわたって並列に接続されている工程と、

複数の第2のバイパススイッチ(1136～1139)に制御信号(1156～1159)を送信し、前記第2のバイパススイッチの電気導通状態を制御する工程であって、前記第2のバイパススイッチの各々は、前記第2の可変インピーダンス回路の異なる受動構成要素(1116～1119)の複数の端子にわたって並列に接続されている工程と

を備える、請求項7に記載の方法。

【請求項9】

前記第1の可変インピーダンス回路は、第2のインダクタ(1112)と直列に結合された少なくとも第1のインダクタ(1111)を備え、

前記第2の可変インピーダンス回路は、第4のインダクタ(1117)と直列に結合された少なくとも第3のインダクタ(1116)を備え、

前記第1および第3のインダクタ(1111, 1116)は、実質的に等しい値を有する一対のインダクタの第1のセットを構成し、前記システムの動作中、前記第1のインダクタにわたって接続された第1のバイパススイッチ(1131)の動作状態と前記第3のインダクタにわたって接続された第3のバイパススイッチ(1156)の動作状態とが、同じになるように制御され、

前記第2および第4のインダクタ(1112, 1117)は、実質的に等しい値を有する一対のインダクタの第2のセットを構成し、前記システムの動作中、前記第2のインダクタにわたって接続された第2のバイパススイッチ(1132)の動作状態と前記第4のインダクタにわたって接続された第4のバイパススイッチ(1157)の動作状態とが、同じになるように制御される、請求項8に記載の方法。

10

20

30

40

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本明細書に記載の主題の実施形態は、概して、無線周波数（RF）エネルギーを使用して負荷を解凍する装置および方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来の容量性食品解凍（または解氷）システムは、加熱コンパートメント内に含まれる大きな平面電極を含む。食品負荷が電極間に配置され、電極が食品負荷と接触した後、低電力電磁エネルギーが電極に供給されて、食品負荷を穏やかに温める。解凍動作中に食品負荷が解氷すると、食品負荷のインピーダンスが変化する。したがって、解凍動作中に食品負荷への電力伝達も変化する。解凍動作の持続時間は、例えば、食品負荷の重量に基づいて決定され得、タイマは、動作の停止を制御するために使用され得る。

【0003】

なお、マイクロ波によって有機化合物を還元する装置および方法について、特許文献1に記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】米国特許第8,562,793号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

このようなシステムを使用すると、良好な解凍結果が得られる可能性があるが、食品負荷インピーダンスの動的変化は、食品負荷の非効率的解凍をもたらし得る。さらに、重量に基づいて解凍動作の持続時間を決定することに起因する不正確さにより、解凍動作の早すぎる停止、または食品負荷が調理され始めた後の遅い停止をもたらし得る。必要とされるのは、負荷全体にわたる効率的かつ均一な解凍と、負荷が所望温度にあるときの解凍動作中止とをもたらし得る、食品負荷（または他のタイプの負荷）を解凍するための装置および方法である。

【課題を解決するための手段】

【0006】

このような課題を解決するために、負荷（364,964）を収容するためのキャビティ（360,960）に結合された熱上昇システム（300,900）であって、RF信号を供給するように構成された無線周波数（RF）信号源（320,920,920'）と、RF信号源と、キャビティを横切って配置された第1および第2の電極（340,366,940,950）との間に電氣的に結合された伝送経路（328,928）と、伝送経路に沿って電氣的に結合されたインピーダンス整合ネットワーク（370,400,972,1000,1100）であって、可変受動構成要素（410,411,501~504,1011,1016,1021,1111~1114,1016~1019,1021,1023）のネットワークを備えるインピーダンス整合ネットワークと、伝送経路に沿った反射信号電力を検出するように構成された電力検出回路（330,930,930',930''）と、反射信号電力に基づいて、インピーダンス整合ネットワークの1つ以上の可変受動構成要素の1つ以上の値を修正して反射信号電力を低減するように構成されたコントローラ（312,912）とを備える、熱上昇システムが提供される。

【0007】

さらに、キャビティ（360,960）を備える熱上昇システム（300,900）を動作させる方法であって、無線周波数（RF）信号源（320,920）が、RF信号源と、キャビティを横切って配置された第1および第2の電極（340,366,940,950）との間に電氣的に結合された伝送経路（328,928）に1つ以上のRF信号

10

20

30

40

50

を供給する工程（１４２０）と、電力検出回路（３３０，９３０，９３０'，９３０''）が、伝送経路に沿った反射信号電力を検出する工程（１４１４）と、コントローラ（３１２，９１２）が、伝送経路に沿って電氣的に結合されたインピーダンス整合ネットワーク（３７０，４００，９７２，１０００，１１００）の１つ以上の可変受動構成要素（４１０，４１１，５０１～５０４，１０１１，１０１６，１０２１，１１１１～１１１４，１０１６～１０１９，１０２１，１０２３）の１つ以上の値を修正して（１４１８）反射信号電力を低減する工程とを備える、方法が提供される。

【図面の簡単な説明】

【０００８】

【図１】例示的な実施形態による解凍機器の斜視図。

10

【図２】解凍システムの他の例示的な実施形態を含む冷蔵庫／冷凍機器の斜視図。

【図３】例示的な実施形態による不平衡解凍装置の簡略ブロック図。

【図４】例示的な実施形態によるシングルエンド可変インダクタンス整合ネットワークの概略図。

【図５】例示的な実施形態によるシングルエンド可変インダクタンスネットワークの概略図。

【図６】可変インピーダンス整合ネットワークの実施形態における複数のインダクタンスが入力キャビティインピーダンスをＲＦ信号源にどのように整合させ得るかを示すスミスチャートの例を示す図。

【図７】例示的な実施形態による解凍システムの断面側面図。

20

【図８】例示的な実施形態による解凍システムの一部の斜視図。

【図９】別の例示的な実施形態による平衡解凍装置の簡略ブロック図。

【図１０】別の例示的な実施形態によるダブルエンド可変インピーダンス整合ネットワークの概略図。

【図１１】別の例示的な実施形態によるダブルエンド可変インピーダンスネットワークの概略図。

【図１２】例示的な実施形態によるダブルエンド可変インピーダンス整合ネットワークモジュールの斜視図。

【図１３】例示的な実施形態によるＲＦモジュールの斜視図。

【図１４】例示的な実施形態による、動的負荷整合を有する解凍システムを動作させる方法のフローチャート。

30

【図１５】２つの異なる負荷に対する解凍動作による、キャビティ整合設定対ＲＦ信号源整合設定をプロットするチャート。

【発明を実施するための形態】

【０００９】

主題のより完全な理解は、以下の図面と併せて考慮するとき、詳細な説明および特許請求の範囲を参照することによって導き出され得、図面を通して同様の参照符号は同様の要素を指す。

【００１０】

以下の詳細な説明は、本質的に単なる例示であり、本主題の実施形態またはそのような実施形態の用途および使用を限定することを意図するものではない。本明細書で使用される場合、「例示」および「例」という用語は、「例、事例、または例示としての役割を果たす」ことを意味する。例示または例として本明細書に記載されたいずれの実施態様も、必ずしも他の実施態様よりも好ましいかまたは有利であると解釈されるわけではない。さらに、先行技術分野、背景、または以下の詳細な説明に示された明示または黙示の理論に拘束される意図はない。

40

【００１１】

本明細書に記載された主題の実施形態は、スタンドアローン機器または他のシステムに組み込まれ得るソリッドステート解凍装置に関する。以下でより詳細に説明するように、ソリッドステート解凍装置の実施形態は、「不平衡」解凍装置と「平衡」装置との両方を

50

含む。例えば、例示的な「不平衡」解凍システムは、キャビティ内に配置された第1の電極と、シングルエンド増幅器構成（1つ以上のトランジスタを含む）と、増幅器構成の出力部と第1の電極との間に結合されたシングルエンドインピーダンス整合ネットワークと、解凍動作がいつ完了したかを検出することができる測定および制御システムとを使用して実現される。対照的に、例示的な「平衡」解凍システムは、キャビティ内に配置された第1および第2の電極と、シングルエンドまたはダブルエンド増幅器構成（1つ以上のトランジスタを含む）と、増幅器構成の出力部と第1および第2の電極との間に結合されたダブルエンドインピーダンス整合ネットワークと、解凍動作がいつ完了したかを検出することができる測定および制御システムとを使用して実現される。様々な実施形態において、インピーダンス整合ネットワークは、増幅器構成とキャビティとの間の整合を改善するために解凍動作中に調整可能な可変インピーダンス整合ネットワークを含む。

10

【0012】

概して、「解凍」という用語は、凍結負荷（例えば、食品負荷または他のタイプの負荷）の温度を、負荷がもはや凍結していない温度（例えば、0℃またはそれに近い温度）まで上昇させることを意味する。本明細書で使用する場合、「解凍」という用語は、より広義には、負荷へのRF電力の供給によって負荷（例えば、食品負荷または他のタイプの負荷）の熱エネルギーまたは温度を上昇させるプロセスを意味する。したがって、様々な実施形態において、「解凍動作」は、任意の初期温度（例えば、0℃を上回るまたは下回る任意の初期温度）を有する負荷に対して実行され得、解凍動作は、初期温度よりも高い任意の最終温度（例えば、0℃を上回るまたは下回る最終温度を含む）において停止され得る。そのため、本明細書に記載の「解凍動作」および「解凍システム」は、「熱上昇動作」および「熱上昇システム」と代替的に称され得る。「解凍」という用語は、本発明の適用を、凍結負荷の温度を0℃またはそれに近い温度まで上昇させることしかできない方法またはシステムに限定すると解釈されるべきではない。

20

【0013】

図1は、例示的な実施形態による解凍システム100の斜視図である。解凍システム100は、解凍キャビティ110（例えば、キャビティ360、960、図3および図9）、制御パネル120、1つ以上の無線周波数（RF）信号源（例えば、RF信号源320、920、図3および図9）、電源（例えば、電源326、926、図3および図9）、第1の電極170（例えば、電極340、940、図3および図9）、第2の電極172（例えば、電極950、図9）、インピーダンス整合回路（例えば、回路334、370、934、972、図3および図9）、電力検出回路（例えば、電力検出回路330、930、図3および図9）、および、システムコントローラ（例えば、システムコントローラ312、912、図3および図9）を含む。解凍キャビティ110は、上部、底部、側部および背部のキャビティ壁111、112、113、114、115の内面およびドア116の内面によって画定される。ドア116を閉じた状態で、解凍キャビティ110は、囲い込まれた空気キャビティを画定する。本明細書で 사용되는場合、用語「空気キャビティ」は、空気または他の気体を含む、囲い込まれた領域（例えば、解凍キャビティ110）を意味し得る。

30

【0014】

「不平衡」実施形態によれば、第1の電極170は、キャビティ壁（例えば、上部壁111）に近接して配置され、第1の電極170は、残りのキャビティ壁（例えば、壁112～115およびドア116）から電気的に絶縁され、残りのキャビティ壁は接地されている。このような構成では、システムは、単純化すればキャパシタとしてモデル化され得、第1の電極170が1つの導電性平板（または電極）として機能し、接地されたキャビティ壁（例えば、壁112～115）が第2の導電性平板（または電極）として機能し、空気キャビティ（そこに含まれる任意の負荷を含む）が第1および第2の導電性平板間の誘電媒体として機能する。図1には示されていないが、非導電性バリア（例えば、バリア362、962、図3および図9）もシステム100に含まれ得、非導電性バリアは、底部キャビティ壁112から負荷を電気的および物理的に絶縁するよう機能し得る。図1は

40

50

、第1の電極170が上部壁111に近接していることを示しているが、第1の電極170は、電極172～175によって示されるように、他の壁112～115のいずれかに代替的に近接し得る。

【0015】

「平衡」実施形態によれば、第1の電極170は第1のキャビティ壁（例えば、上部壁111）に近接して配置され、第2の電極172は反対の第2のキャビティ壁（例えば、底部壁112）に近接して配置され、第1および第2の電極170、172は、残りのキャビティ壁（例えば、壁113～115およびドア116）から電氣的に絶縁されている。このような構成では、システムは、単純化すればキャパシタとしてもモデル化され得、第1の電極170が1つの導電性平板（または電極）として機能し、第2の電極172が第2の導電性平板（または電極）として機能し、空気キャビティ（そこに含まれる任意の負荷を含む）が第1および第2の導電性平板間の誘電媒体として機能する。図1には示されていないが、非導電性バリア（例えば、バリア914、図9）もシステム100に含まれ得、非導電性バリアは、第2の電極172および底部キャビティ壁112から負荷を電氣的および物理的に絶縁するよう機能し得る。図1は、第1の電極170が上部壁111に近接し、第2の電極172が底部壁112に近接していることを示しているが、代替的に、第1および第2の電極170、172は、他の反対の壁に近接し得る（例えば、第1の電極は、壁113に近接する電極173であり得、第2の電極は、壁114に近接する電極174であり得る）。

【0016】

実施形態によると、解凍システム100の動作中、ユーザ（図示せず）は、解凍キャビティ110内に1つ以上の負荷（例えば、食品および／または液体）を配置し得、制御パネル120を介して任意選択的に、負荷の特性を指定する入力を提供し得る。例えば、指定された特性は、負荷のおよその重量を含み得る。さらに、指定された負荷特性は、負荷が形成される材料（例えば、肉、パン、液体）を示し得る。代替実施形態では、負荷特性は、負荷パッケージング上のバーコードをスキャンすること、または負荷上のもしくはその中に埋め込まれた無線周波数識別（RFID）タグからRFID信号を受信することなど、他の何らかの方法で取得され得る。いずれにせよ、後により詳細に説明するように、このような負荷特性に関する情報は、システムコントローラ（例えば、システムコントローラ312、912、図3および図9）が、システムのインピーダンス整合ネットワークの初期状態を解凍動作の開始時に確立することを可能にし、初期状態は、負荷への最大RF電力伝達を可能にする最適状態に比較的近いものであり得る。あるいは、解凍動作の開始前に負荷特性が入力または受信されずともよく、システムコントローラがインピーダンス整合ネットワークのデフォルト初期状態を確立し得る。

【0017】

解凍動作を始めるために、ユーザは制御パネル120を介して入力を提供し得る。これに応答して、システムコントローラは、RF信号源（例えば、RF信号源320、920、図3および図9）にRF信号を、不平衡実施形態では第1の電極170へ、または平衡実施形態では第1および第2の電極170、172の両方へ供給させ、電極は、これに応答して電磁エネルギーを解凍キャビティ110へと放射する。電磁エネルギーは、負荷の熱エネルギーを増加させる（すなわち、電磁エネルギーにより負荷が温まる）。

【0018】

解凍動作中、負荷の熱エネルギーが増加すると、負荷のインピーダンス（ひいては、キャビティ110と負荷との総入力インピーダンス）が変化する。インピーダンス変化は、RFエネルギーの負荷への吸収を変化させ、したがって、反射電力の大きさを変える。一実施形態によれば、電力検出回路（例えば、電力検出回路330、930、図3および図9）は、RF信号源（例えば、RF信号源320、920、図3および図9）と電極170、172との間の伝送経路（例えば、伝送経路328、928、図3および図9）に沿った反射電力を連続してまたは周期的に測定する。これらの測定に基づいて、システムコントローラ（例えば、システムコントローラ312、912、図3および図9）は、以下

で詳細に説明するように、解凍動作の完了を検出し得る。さらなる実施形態によれば、インピーダンス整合ネットワークは可変であり、反射電力測定値（または順方向および反射電力測定値の両方）に基づいて、システムコントローラは、解凍動作中にインピーダンス整合ネットワークの状態を変更して、負荷によるRF電力の吸収を増大させ得る。

【0019】

図1の解凍システム100は、カウンタートップタイプの機器として具体化されている。さらなる実施形態では、解凍システム100はまた、電子レンジ調理動作を実行するための構成要素および機能を含み得る。あるいは、解凍システムの構成要素は、他のタイプのシステムまたは機器に組み込まれ得る。例えば、図2は、解凍システム210、220の他の例示的な実施形態を含む冷蔵庫／冷凍機器200の斜視図である。より具体的には、解凍システム210は、システム200の冷凍室212内に組み込まれて示されており、解凍システム220は、システムの冷蔵室222内に組み込まれるように示されている。実際の冷蔵庫／冷凍機器は、解凍システム210、220のうちの1つだけを含む可能性が高いが、両方の実施形態を簡潔に伝えるために、両方とも図2に示されている。

【0020】

解凍システム100と同様に、解凍システム210、220のそれぞれは、解凍キャビティ、制御パネル214、224、1つ以上のRF信号源（例えば、RF信号源320、920、図3および図9）、電源（例えば、電源326、926、図3および図9）、第1の電極（例えば、電極340、940、図3および図9）、第2の電極172（例えば、格納構造体366、電極950、図3および図9）、インピーダンス整合回路（例えば、回路334、370、934、972、図3および図9）、電力検出回路（例えば、電力検出回路330、930、図3および図9）、および、システムコントローラ（例えば、システムコントローラ312、912、図3および図9）を含む。例えば、解凍キャビティは、引き出しの底部、側部、前部および背部壁の内面、および引き出しがその下で摺動する固定棚216、226の内部上面によって画定され得る。引き出しを棚の下で完全に摺動させた状態で、引き出しと棚とが、囲い込まれた空気キャビティとしてキャビティを画定する。解凍システム210、220の構成要素および機能は、様々な実施形態において、解凍システム100の構成要素および機能と実質的に同じであり得る。

【0021】

さらに、実施形態によれば、解凍システム210、220のそれぞれは、システム210、220が配置されている冷凍または冷蔵室212、222とそれぞれ十分な熱的連通を有し得る。このような実施形態では、解凍動作の完了後、負荷がシステム210、220から取り外されるまで、負荷を安全な温度（すなわち、食品の腐敗が遅れる温度）に維持し得る。より具体的には、冷凍庫ベースの解凍システム210による解凍動作の完了時に、解凍された負荷が収容されているキャビティは冷凍室212と熱的に連通し得、負荷がキャビティから速やかに除去されなければ、負荷は再冷凍され得る。同様に、冷蔵庫ベースの解凍システム220による解凍動作の完了時に、解凍された負荷が収容されているキャビティは冷蔵室222と熱的に連通し得、負荷がキャビティから速やかに除去されなければ、負荷は冷蔵室222内の温度で解凍状態に維持され得る。

【0022】

当業者であれば、本明細書の記載に基づいて、解凍システムの実施形態を、他の構成を有するシステムまたは機器にもまた組み込み得ることを理解するであろう。したがって、スタンドアロン機器、電子レンジ機器、冷凍庫および冷蔵庫における解凍システムの上述の実施態様は、これらのタイプのシステムのみに実施形態を使用することを限定することを意味するものではない。

【0023】

解凍システム100、200は、それらの構成要素が互いに対して特定の相対的な向きで示されているが、様々な構成要素が異なる方向にも向けられ得ることを理解されたい。さらに、様々な構成要素の物理的構成が異なり得る。例えば、制御パネル120、214、224は、より多くの、より少ない、もしくは異なるユーザインタフェース要素を有し

10

20

30

40

50

得、および／または、ユーザインタフェース要素が異なって配置され得る。さらに、実質的に立方体の解凍キャビティ 110 が図 1 に示されているが、解凍キャビティは、他の実施形態で異なる形状（例えば、円筒状など）を有し得ることを理解されたい。さらに、解凍システム 100、210、220 は、図 1 および図 2 に具体的に示されていない追加の構成要素（例えば、ファン、固定または回転平板、トレイ、電気コードなど）を含み得る。
【0024】

図 3 は、例示的な実施形態による、不平衡解凍システム 300（例えば、解凍システム 100、210、220、図 1 および図 2）の簡略ブロック図である。解凍システム 300 は、一実施形態では、RF サブシステム 310、解凍キャビティ 360、ユーザインタフェース 380、システムコントローラ 312、RF 信号源 320、電源およびバイアス回路 326、可変インピーダンス整合ネットワーク 370、電極 340、格納構造体 366、および電力検出回路 330 を含む。さらに、他の実施形態では、解凍システム 300 は、温度センサ、赤外線（IR）センサおよび／または重量センサ 390 を含み得るが、これらのセンサ構成要素のいくつかもしくはすべては除外され得る。図 3 は、解説および説明を容易にするための解凍システム 300 の簡略化された表現であること、実際の実施形態は、追加の機能および特徴を提供するための他のデバイスおよび構成要素を含み得ること、ならびに／または、解凍システム 300 は、より大きな電気システムの一部であり得ることが理解されるであろう。

【0025】

ユーザインタフェース 380 は、例えば、ユーザが解凍動作のためのパラメータ（例えば、解凍されるべき負荷の特性など）に関する入力をシステムに提供することを可能にする制御パネル（例えば、制御パネル 120、214、224、図 1 および図 2）、開始および取消ボタン、機械的制御（例えば、ドア／引き出しオープンラッチ）などに対応し得る。さらに、ユーザインタフェースは、解凍動作の状態を示すユーザ知覚可能な出力（例えば、カウントダウタイマ、解凍動作の進行または完了を示す可視表示、および／または解凍動作の完了を示す可聴トーン）ならびに他の情報を提供するように構成され得る。

【0026】

解凍システム 300 のいくつかの実施形態は、温度センサ、IR センサおよび／または重量センサ 390 を含み得る。温度センサおよび／または IR センサは、解凍動作中に負荷 364 の温度を感知できるようにする位置に配置され得る。システムコントローラ 312 に供給されると、温度情報は、システムコントローラ 312 が、RF 信号源 320 によって供給される RF 信号の電力を（例えば、電源およびバイアス回路 326 によって供給されるバイアスおよび／または供給電圧を制御することによって）変更し、可変インピーダンス整合ネットワーク 370 の状態を調整し、および／または、解凍動作をいつ終了すべきかを決定することを可能にする。重量センサは、負荷 364 の下に配置され、負荷 364 の重量の推定値をシステムコントローラ 312 に提供するように構成される。システムコントローラ 312 は、例えば、RF 信号源 320 によって供給される RF 信号の所望の電力レベルを決定するために、可変インピーダンス整合ネットワーク 370 の初期設定を決定するために、および／または、解凍動作のおよその持続時間を決定するために、この情報を使用し得る。

【0027】

RF サブシステム 310 は、一実施形態では、システムコントローラ 312、RF 信号源 320、第 1 のインピーダンス整合回路 334（本明細書では「第 1 の整合回路」）、電源およびバイアス回路 326、および、電力検出回路 330 を含む。システムコントローラ 312 は、1 つ以上の汎用または専用プロセッサ（例えば、マイクロプロセッサ、マイクロコントローラ、特定用途向け集積回路（ASIC）など）、揮発性および／または不揮発性メモリ（例えば、ランダムアクセスメモリ（RAM）、リードオンリメモリ（ROM）、フラッシュ、様々なレジスタなど）、1 つ以上の通信バス、ならびに他の構成要素を含み得る。一実施形態によれば、システムコントローラ 312 は、ユーザインタフェース 380、RF 信号源 320、可変インピーダンス整合ネットワーク 370、電力検出

10

20

30

40

50

回路 330 およびセンサ 390（含まれる場合）に結合される。システムコントローラ 312 は、ユーザインタフェース 380 を介して受信したユーザ入力を示す信号を受信し、電力検出回路 330 からの RF 信号反射電力（および場合によっては RF 信号順方向電力）を示す信号を受信するように構成される。受信信号および測定値に応じて、より詳細に下記に説明されるように、システムコントローラ 312 は、電源およびバイアス回路 326 と RF 信号源 320 の RF 信号発生器 322 とに制御信号を提供する。さらに、システムコントローラ 312 は、制御信号を可変インピーダンス整合ネットワーク 370 に提供し、これは、ネットワーク 370 にその状態または構成を変更させる。

【0028】

解凍キャビティ 360 は、解凍されるべき負荷 364 がその中に配置され得る空気キャビティによって分離された第 1 および第 2 の平行平板電極を有する容量性解凍構成を含む。例えば、第 1 の電極 340 を空気キャビティの上方に配置し得、第 2 の電極を格納構造体 366 の一部によって提供し得る。より具体的には、格納構造体 366 は、底部、上部および側部壁を含み得、その内面はキャビティ 360（例えば、キャビティ 110、図 1）を画定する。一実施形態によれば、キャビティ 360 は、解凍動作中にキャビティ 360 内に導入される電磁エネルギーを収容するように（例えば、図 1 のドア 116 で、または図 2 の棚 216、226 の下に閉じられた引き出しを摺動させることによって）封止され得る。システム 300 は、解凍動作中に封止が無傷であることを確実にする 1 つ以上のインターロック機構を含み得る。封止が破られたことを 1 つ以上のインターロック機構が示す場合、システムコントローラ 312 は、解凍動作を停止し得る。一実施形態によれば、格納構造体 366 は、少なくとも部分的に導電性材料から形成され、格納構造体の導電性部分は接地され得る。あるいは、キャビティ 360 の底面に対応する格納構造体 366 の少なくとも一部は、導電性材料から形成され、接地され得る。いずれにせよ、格納構造体 366（または、少なくとも、第 1 の電極 340 と平行な格納構造体 366 の部分）は、容量性解凍構成の第 2 の電極として機能する。負荷 364 とキャビティ 360 の接地された底面との間の直接接触を避けるために、キャビティ 360 の底面上に非導電性バリア 362 を配置し得る。

【0029】

本質的に、解凍キャビティ 360 は、解凍されるべき負荷 364 がその中に配置され得る空気キャビティによって分離された第 1 および第 2 の平行平板電極 340、366 を有する容量性解凍構成を含む。第 1 の電極 340 は、格納構造体 366 内に配置され、電極 340 と格納構造体 366 の反対の面（例えば、第 2 の電極として機能する底面）との間に距離 352 を画定し、距離 352 は、一実施形態では、キャビティ 360 をサブ共振キャビティとする。

【0030】

様々な実施形態では、距離 352 は約 0.10 メートル～約 1.0 メートルの範囲にあるが、距離はより小さくても大きくてもよい。一実施形態によれば、距離 352 は、RF サブシステム 310 によって生成される RF 信号の 1 波長未満である。言い換えれば、上述したように、キャビティ 360 は、サブ共振キャビティである。いくつかの実施形態では、距離 352 は、RF 信号の 1 波長の約半分未満である。他の実施形態では、距離 352 は、RF 信号の 1 波長の約 1/4 未満である。さらに他の実施形態では、距離 352 は、RF 信号の 1 波長の約 1/8 未満である。さらに他の実施形態では、距離 352 は、RF 信号の 1 波長の約 1/50 未満である。さらに他の実施形態では、距離 352 は、RF 信号の 1 波長の約 1/100 未満である。

【0031】

概して、より低い動作周波数（例えば、10 MHz と 100 MHz との間の周波数）用に設計されたシステム 300 は、1 波長のより小さな部分である距離 352 を有するように設計され得る。例えば、システム 300 が約 10 MHz（約 30 メートルの波長に対応）の動作周波数を有する RF 信号を生成するように設計され、距離 352 が約 0.5 メートルに選択される場合、距離 352 は RF 信号の 1 波長の約 60 分の 1 である。逆に、シ

10

20

30

40

50

ステム 300 が約 300 MHz（約 1 メートルの波長に対応）の動作周波数に対して設計され、距離 352 が約 0.5 メートルに選択される場合、距離 352 は RF 信号の 1 波長の約半分である。

【0032】

動作周波数および電極 340 と格納構造体 366 との間の距離 352 が選択されてサブ共振内部キャビティ 360 を画定すると、第 1 の電極 340 および格納構造体 366 は容量結合される。より具体的には、第 1 の電極 340 は、キャパシタの第 1 の平板と類似し得、格納構造体 366 は、キャパシタの第 2 の平板と類似し得、負荷 364、バリア 362、およびキャビティ 360 内の空気は、キャパシタの誘電体に類似し得る。したがって、第 1 の電極 340 は、本明細書では代替的に「アノード」と称され得、格納構造体 366 は、本明細書では代替的に「カソード」と称され得る。

10

【0033】

本質的に、第 1 の電極 340 と格納構造体 366 とに掛かる電圧は、キャビティ 360 内の負荷 364 を加熱する。様々な実施形態によれば、RF サブシステム 310 は、RF 信号を発生させて、電極 340 と格納構造体 366 との間の電圧を約 90 ボルト～約 3000 ボルトの範囲で、一実施形態では約 3000 ボルト～約 10000 ボルトの範囲で生成するように構成されるが、別の実施形態では、システムは、電極 340 と格納構造体 366 との間により低いまたはより高い電圧を生成するように構成され得る。

【0034】

第 1 の電極 340 は、一実施形態では、第 1 の整合回路 334、可変インピーダンス整合ネットワーク 370 および導電性伝送経路を介して RF 信号源 320 に電氣的に結合される。第 1 の整合回路 334 は、RF 信号源 320 のインピーダンス（例えば、約 10 オーム未満）から中間インピーダンス（例えば、50 オーム、75 オーム、または他の何らかの値）へのインピーダンス変換を実行するように構成される。一実施形態によれば、導電性伝送経路は、直列に接続された複数の導体 328-1, 328-2, 328-3 を含み、まとめて伝送経路 328 と称される。一実施形態によれば、導電性伝送経路 328 は、不平衡 RF 信号（すなわち、接地に対して参照される単一の RF 信号）を伝達するように構成された「不平衡」経路である。いくつかの実施形態では、1 つ以上のコネクタ（図示しないが、それぞれ雄型および雌型コネクタ部分を有する）が伝送経路 328 に沿って電氣的に結合され得、伝送経路 328 のコネクタ間の部分が同軸ケーブルまたは他の適切なコネクタを備え得る。このような接続を図 9 に示し、後に説明する（例えば、コネクタ 936, 938 と、コネクタ 936, 938 間の同軸ケーブルなどの導体 928-3 とを含む）。

20

30

【0035】

後により詳細に説明するように、可変インピーダンス整合回路 370 は、（例えば、約 1000 オーム～約 4000 オームまたはそれ以上などの数百または数千オームのオーダで）負荷 364 によって修正されるように上記の中間インピーダンスから解凍キャビティ 320 の入力インピーダンスへのインピーダンス変換を実行するように構成される。一実施形態では、可変インピーダンス整合ネットワーク 370 は、受動構成要素（例えば、インダクタ、キャパシタ、抵抗器）のネットワークを含む。より具体的な実施形態によれば、可変インピーダンス整合ネットワーク 370 は、複数の固定値集中定数インダクタ（例えば、インダクタ 412～414, 712～714, 812～814、図 4、図 7 および図 8）を含み、これらはキャビティ 360 内に配置されて第 1 の電極 340 に電氣的に結合される。さらに、可変インピーダンス整合ネットワーク 370 は、複数の可変インダクタンスネットワーク（例えば、ネットワーク 410, 411, 500、図 4 および図 5）を含み、これらは、キャビティ 360 内または外に位置し得る。可変インダクタンスネットワークの各々によって提供されるインダクタンス値は、後により詳細に説明されるように、システムコントローラ 312 からの制御信号を使用して確立される。いずれにしても、可変インピーダンス整合ネットワーク 370 の状態を解凍動作中に変化させて常に変化するキャビティ入力インピーダンスを動的に整合させることにより、負荷 364 によって

40

50

吸収されるRF電力の量を、解凍動作中の負荷インピーダンス変化にもかかわらず高いレベルに維持し得る。

【0036】

一実施形態によれば、RF信号源326は、RF信号発生器322と、（例えば、1つ以上の電力増幅器段324，325を含む）電力増幅器とを含む。接続314を介してシステムコントローラ312によって提供される制御信号にตอบสนองして、RF信号発生器322は、ISM（産業、科学および医療用）帯域の周波数を有する発振電気信号を生成するように構成されるが、システムは、他の周波数帯域での動作もサポートするように修正されることも可能である。RF信号発生器322は、様々な実施形態において、異なる電力レベルおよび／または異なる周波数の発振信号を生成するように制御され得る。例えば、RF信号発生器322は、約10.0メガヘルツ（MHz）～約100MHzおよび／または約100MHz～約3.0ギガヘルツ（GHz）の範囲で発振する信号を生成し得る。いくつかの望ましい周波数は、例えば、13.56MHz（±5%）、27.125MHz（±5%）、40.68MHz（±5%）、および2.45GHz（±5%）であり得る。特定の一実施形態では、例えば、RF信号発生器322は、約40.66MHz～約40.70MHzの範囲で、約10デシベル（dB）～約15dBの範囲の電力レベルで発振する信号を生成し得る。あるいは、発振周波数および／または電力レベルがより低くても高くてもよい。

10

【0037】

図3の実施形態では、電力増幅器は、ドライバ増幅器段324および最終増幅器段325を含む。電力増幅器は、RF信号発生器322から発振信号を受信し、その信号を増幅して、電力増幅器の出力で実質的により高い電力の信号を生成するように構成される。例えば、出力信号は、約100ワット～約400ワットまたはそれ以上の範囲の電力レベルを有し得る。電力増幅器によって適用される利得は、電源およびバイアス回路326によって各増幅器段324，325に提供されるゲートバイアス電圧および／またはドレイン供給電圧を使用して制御され得る。より具体的には、電源およびバイアス回路326は、バイアスおよび供給電圧を、システムコントローラ312から受信した制御信号に従って、各RF増幅器段324，325に提供する。

20

【0038】

一実施形態では、各増幅器段324，325は、入力端子（例えば、ゲートまたは制御端子）および2つの電流搬送端子（たとえば、ソースおよびドレイン端子）を有する電界効果トランジスタ（FET）などのパワートランジスタとして実装される。インピーダンス整合回路（図示せず）は、様々な実施形態において、ドライバ増幅器段324の入力（例えばゲート）、ドライバと最終増幅器段325との間、および／または、最終増幅器段325の出力（例えば、ドレイン端子）に結合され得る。一実施形態では、増幅器段324，325の各トランジスタは、横方向拡散金属酸化物半導体FET（LDMOSFET）トランジスタを含む。しかしながら、トランジスタはいかなる特定の半導体技術にも限定されるものではなく、他の実施形態では、各トランジスタは、窒化ガリウム（GaN）トランジスタ、別のタイプのMOSFETトランジスタ、バイポーラ接合トランジスタ（BJT）、または別の半導体技術を利用したトランジスタとして実現され得ることに留意されたい。

30

40

【0039】

図3では、電力増幅器構成は、他の回路構成要素に特定の態様で結合された2つの増幅器段324，325を含むように示されている。他の実施形態では、電力増幅器構成は、他の増幅器トポロジを含み得、および／または、増幅器構成は（例えば、図9の増幅器924の実施形態に示すように）1つの増幅器段のみ、または、3つ以上の増幅器段を含み得る。例えば、電力増幅器構成は、シングルエンド増幅器、ドハティ増幅器、スイッチモード電力増幅器（SMPA）、または別のタイプの増幅器の様々な実施形態を含み得る。

【0040】

解凍キャビティ360および解凍キャビティ360内に配置された任意の負荷364（

50

例えば、食品、液体など）は、第1の電極340によってキャビティ360内に放射される電磁エネルギー（またはRF電力）についての累積負荷を提示する。より具体的には、キャビティ360および負荷364は、本明細書では「キャビティ入力インピーダンス」と称される、システムへのインピーダンスを提示する。キャビティ入力インピーダンスは、解凍動作中に、負荷364の温度が上昇するにつれて変化する。キャビティ入力インピーダンスは、RF信号源320と電極340との間の導電性伝送経路328に沿った反射信号電力の大きさに直接的な影響を及ぼす。ほとんどの場合、キャビティ360内に伝達される信号電力の大きさを最大にすること、および／または、導電性伝送経路328に沿った反射対順方向信号電力比を最小にすることが望ましい。

【0041】

RF信号発生器320の出力インピーダンスをチャンバ入力インピーダンスに少なくとも部分的に整合させるために、一実施形態では、第1の整合回路334が伝送経路328に沿って電氣的に結合される。第1の整合回路334は、様々な構成のうちの任意のものを有し得る。一実施形態によれば、第1の整合回路334は、固定構成要素（すなわち、可変ではない構成要素値を有する構成要素）を含むが、他の実施形態では、第1の整合回路334は、1つ以上の可変構成要素を含み得る。例えば、第1の整合回路334は、様々な実施形態において、インダクタンス／キャパシタンス（LC）ネットワーク、直列インダクタンスネットワーク、シャントインダクタンスネットワーク、または、バンドパス、ハイパスおよびローパス回路の組み合わせから選択される、任意の1つ以上の回路を含み得る。本質的に、固定整合回路334は、RF信号発生器320の出力インピーダンスとチャンバ入力インピーダンスとの間の中間レベルまでインピーダンスを上昇させるように構成される。

【0042】

図15に関連して後に説明するように、食品負荷が凍結状態から解凍状態に移行するにつれて、多くのタイプの食品負荷のインピーダンスが、温度に関して多少予測可能な方法で変化する。一実施形態によれば、電力検出回路330からの反射電力測定値（およびいくつかの実施形態では順方向電力測定値）に基づいて、システムコントローラ312は、負荷364が0℃に近づいていることをキャビティ入力インピーダンスの変化率が示している場合に解凍動作中の時点を識別するように構成され、0℃にて、システムコントローラ312は、解凍動作を終了し得る。

【0043】

一実施形態によれば、電力検出回路330は、RF信号源320の出力と電極340との間の伝送経路328に沿って結合される。特定の実施形態では、電力検出回路330は、RFサブシステム310の一部を形成し、一実施形態では、第1の整合回路334の出力と可変インピーダンス整合ネットワーク370への入力との間の導体328-2に結合される。代替実施形態では、電力検出回路330は、RF信号源320の出力と第1の整合回路334への入力との間の伝送経路328の部分328-1、または可変インピーダンス整合ネットワーク370の出力と第1の電極340との間の伝送経路328の部分328-3に結合され得る。

【0044】

どこに結合されようとも、電力検出回路330は、RF信号源320と電極340との間の伝送経路328に沿って移動する反射信号（すなわち、電極340からRF信号源320に向かう方向に移動する反射RF信号）の電力を監視、測定、または別様に検出するように構成されている。いくつかの実施形態では、電力検出回路330はまた、RF信号源320と電極340との間の伝送経路328に沿って移動する順方向信号（すなわち、RF信号源320から電極340に向かう方向に移動する順方向RF信号）の電力を検出するように構成されている。接続332を介して、電力検出回路330は、システムコントローラ312への反射信号電力（およびいくつかの実施形態では順方向信号電力）の大きさを伝達する信号をシステムコントローラ312に供給する。順方向および反射信号電力の両方の大きさを伝達する実施形態では、システムコントローラ312は、反射対順方

10

20

30

40

50

向信号電力比またはS 1 1パラメータを計算し得る。以下でより詳細に説明するように、反射信号電力の大きさが反射信号電力閾値を超えると、または、反射対順方向信号電力比がS 1 1パラメータ閾値を超えると、これは、システム3 0 0がキャビティ入力インピーダンスと適切に整合していないこと、および、キャビティ3 6 0内の負荷3 6 4によるエネルギー吸収が最適に達していないことを示す。そのような状況では、システムコントローラ3 1 2は、可変整合ネットワーク3 7 0の状態を変更するプロセスを、反射信号電力またはS 1 1パラメータを所望のレベルに向かうようにまたはそれ未満（例えば、反射信号電力閾値および／または反射対順方向信号電力比閾値未満）となるよう駆動するように編成し、これにより、許容可能な整合を再確立し、負荷3 6 4による、より最適なエネルギー吸収を容易にする。

10

【0 0 4 5】

より具体的には、システムコントローラ3 1 2は、制御経路3 1 6を介して可変整合回路3 7 0に制御信号を提供し得、これにより、可変整合回路3 7 0に、回路内の1つ以上の構成要素の誘導性、容量性および／または抵抗性値を変化させ、したがって、回路3 7 0により提供されるインピーダンス変換を調整する。可変整合回路3 7 0の構成を調整することにより、望ましくは反射信号電力の大きさを減少させ、これは、S 1 1パラメータの大きさを減少させ、負荷3 6 4によって吸収される電力を増加させることに対応する。

【0 0 4 6】

上述したように、可変インピーダンス整合ネットワーク3 7 0は、解凍キャビティ3 6 0と負荷3 6 4との入力インピーダンスを整合させ、可能な限り、負荷3 6 4へのRF電力伝達を最大にするために使用される。解凍キャビティ3 6 0と負荷3 6 4との初期インピーダンスは、解凍動作の開始時に正確に知られていない場合がある。さらに、負荷3 6 4のインピーダンスは、負荷3 6 4が温まるにつれて解凍動作中に変化する。一実施形態によれば、システムコントローラ3 1 2は、可変インピーダンス整合ネットワーク3 7 0に制御信号を提供し得、これにより、可変インピーダンス整合ネットワーク3 7 0の状態を修正させる。これにより、システムコントローラ3 1 2は、比較的低い反射電力対順方向電力比、したがって、負荷3 6 4によるRF電力の比較的高い吸収を有する解凍動作の開始時に、可変インピーダンス整合ネットワーク3 7 0の初期状態を確立することができる。さらに、これにより、システムコントローラ3 1 2が可変インピーダンス整合ネットワーク3 7 0の状態を修正することができ、よって、負荷3 6 4のインピーダンスの変化にもかかわらず、解凍動作の間、適切な整合が維持され得る。

20

30

【0 0 4 7】

可変整合ネットワーク3 7 0は、様々な構成のうちの任意のものを有し得る。例えば、ネットワーク3 7 0は、様々な実施形態において、インダクタンス／キャパシタンス（LC）ネットワーク、インダクタンスのみのネットワーク、キャパシタンスのみのネットワーク、またはバンドパス、ハイパスおよびローパス回路の組み合わせから選択される、任意の1つ以上の回路を含み得る。一実施形態では、可変整合ネットワーク3 7 0は、シングルエンドネットワーク（例えば、ネットワーク4 0 0、図4）を含む。可変整合ネットワーク3 7 0によって提供されるインダクタンス、キャパシタンスおよび／または抵抗値は、一方でネットワーク3 7 0によって提供されるインピーダンス変換に影響を及ぼしつつ、以下でより詳細に説明されるように、システムコントローラ3 1 2からの制御信号を使用して確立される。いずれにしても、キャビティ3 6 0およびキャビティ3 6 0内の負荷3 6 4の常に変化するインピーダンスを動的に整合させるために、解凍動作中に可変整合ネットワーク3 7 0の状態を変更することにより、システム効率、解凍動作の間、高レベルに維持され得る。

40

【0 0 4 8】

可変整合ネットワーク3 7 0は、様々な回路構成のうちの任意のものを有し得、そのような構成の非限定的な例を図4および図5に示す。一実施形態によれば、可変インピーダンス整合ネットワーク3 7 0は、受動構成要素のシングルエンドネットワーク、より具体的には、固定値インダクタ（例えば、集中定数誘導性構成要素）および可変インダクタ（

50

または可変インダクタンスネットワーク)を含み得る。本明細書で使用される場合、用語「インダクタ」は、他のタイプの構成要素(例えば、抵抗器またはキャパシタ)を介在させることなく互いに電氣的に結合されたディスクリットインダクタまたは誘導性構成要素のセットを意味する。

【0049】

図4は、例示的な実施形態による、シングルエンド可変インピーダンス整合ネットワーク400(例えば、可変インピーダンス整合ネットワーク370、図3)の概略図である。以下でより詳細に説明するように、可変インピーダンス整合ネットワーク370は、本質的に、2つの部分、すなわち、RF信号源(または最終段電力増幅器)を整合させる1つの部分と、キャビティおよび負荷を整合させる別の部分とを有する。

【0050】

可変インピーダンス整合ネットワーク400は、一実施形態によれば、入力ノード402、出力ノード404、第1および第2の可変インダクタンスネットワーク410、411、および複数の固定値インダクタ412~415を含む。解凍システム(例えば、システム300、図3)に組み込まれると、入力ノード402は、RF信号源(例えば、RF信号源320、図3)の出力に電氣的に結合され、出力ノード404は、解凍キャビティ(例えば、解凍キャビティ360、図3)内の電極(例えば、第1の電極340、図3)に電氣的に結合される。

【0051】

入力および出力ノード402、404間に、一実施形態において、可変インピーダンス整合ネットワーク400は、第1および第2の直列結合集中定数インダクタ412、414を含む。第1および第2の集中定数インダクタ412、414は、一実施形態において、比較的低い周波数(例えば、約4.66MHz~約4.68MHz)および高い電力(例えば、50ワット(W)~約500W)での動作に対して設計され得るので、サイズおよびインダクタンス値の両方が比較的大きい。例えば、インダクタ412、414は、約200ナノヘンリー(nH)~約600nHの範囲の値を有し得るが、他の実施形態では、それらの値がより低くてもおよび/またはより高くてもよい。

【0052】

第1の可変インダクタンスネットワーク410は、入力ノード402と接地基準端子(例えば、接地格納構造体366、図3)との間に結合された第1のシャント誘導性ネットワークである。一実施形態によれば、第1の可変インダクタンスネットワーク410は、第1の整合回路(例えば、回路334、図3)によって修正されたようにRF信号源(例えば、RF信号源320、図3)のインピーダンスを整合するように、またはより具体的には、第1の整合回路334(例えば、回路334、図3)によって修正されたように最終段の電力増幅器(例えば、増幅器325、図3)のインピーダンスを整合するように構成可能である。したがって、第1の可変インダクタンスネットワーク410は、可変インピーダンス整合ネットワーク400の「電力増幅器整合部分」と称され得る。一実施形態によれば、かつ、図5に関連してより詳細に説明するように、第1の可変インダクタンスネットワーク410は、約10nH~約400nHの範囲のインダクタンスを提供するように選択的に共に結合され得る誘導性構成要素のネットワークを含むが、その範囲は、より低いまたはより高いインダクタンス値にまで拡張され得る。

【0053】

対照的に、可変インピーダンス整合ネットワーク400の「キャビティ整合部分」は、第1および第2の集中定数インダクタ412、414間のノード422と接地基準端子との間に結合された第2のシャント誘導性ネットワーク416によって提供される。一実施形態によれば、第2のシャント誘導性ネットワーク416は、直列結合された第3の集中定数インダクタ413と第2の可変インダクタンスネットワーク411とを含み、第3の集中定数インダクタ413と第2の可変インダクタンスネットワーク411との間に中間ノード422を有する。第2の可変インダクタンスネットワーク411の状態は、複数のインダクタンス値を提供するように変更され得るため、第2のシャント誘導性ネットワー

10

20

30

40

50

ク416は、キャビティと負荷（例えば、キャビティ360と負荷364、図3）とのインピーダンスを最適に整合するように構成可能である。例えば、インダクタ413は、約400nH～約800nHの範囲の値を有し得るが、他の実施形態では、その値はより低くてもおよび／またはより高くてもよい。一実施形態によれば、かつ、図5に関連してより詳細に説明するように、第2の可変インダクタンスネットワーク411は、約50nH～約800nHの範囲のインダクタンスを提供するために選択的に共に結合され得る誘導性構成要素のネットワークを含むが、その範囲は、より低いまたはより高いインダクタンス値にまで拡張され得る。

【0054】

最後に、可変インピーダンス整合ネットワーク400は、出力ノード404と接地基準端子との間に結合された第4の集中定数インダクタ415を含む。例えば、インダクタ415は、約400nH～約800nHの範囲の値を有し得るが、他の実施形態では、その値がより低くてもおよび／またはより高くてもよい。

【0055】

図7および図8に関連してより詳細に説明するように、集中定数インダクタ412～415のセット430は、キャビティ（例えば、キャビティ360、図3）内に、または少なくとも格納構造体（例えば、格納構造体366、図3）の閉じ込め部内に物理的に配置され得る。これにより、集中定数インダクタ412～415によって生成された放射を、周囲環境へと放射するのではなく、システム内に安全に格納することが可能になる。対照的に、可変インダクタンスネットワーク410、411は、様々な実施形態において、キャビティまたは格納構造体内に格納されてもされなくてもよい。

【0056】

一実施形態によれば、図4の可変インピーダンス整合ネットワーク400の実施形態は、解凍キャビティ360と負荷364との入力インピーダンスの整合を提供するために「インダクタだけ」を含む。したがって、ネットワーク400は、「インダクタのみ」の整合ネットワークと考えられ得る。本明細書で使用される場合、可変インピーダンス整合ネットワークの構成要素を記述するとき、「インダクタだけ」または「インダクタのみ」という語句は、ネットワークが有意な抵抗値を有するディスクリット抵抗器または有意なキャパシタンス値を有するディスクリットキャパシタを含まないことを意味する。いくつかの場合、整合ネットワークの構成要素間の導電性伝送線路は最小の抵抗を有し得、および／または、最小の寄生容量がネットワーク内に存在し得る。このような最小抵抗および／または最小寄生容量は、「インダクタのみ」のネットワークの実施形態を、抵抗および／またはキャパシタも含む整合ネットワークに変換するものとして解釈されるべきではない。しかしながら、当業者であれば、可変インピーダンス整合ネットワークの他の実施形態が、異なる構成のインダクタのみの整合ネットワークと、ディスクリットインダクタ、ディスクリットキャパシタおよび／またはディスクリット抵抗の組み合わせを含む整合ネットワークとを含み得ることを理解するであろう。図6との関連でより詳細に説明するように、「インダクタのみ」の整合ネットワークは、代替的に、単独でまたは主に誘導性構成要素を使用して容量性負荷のインピーダンス整合を可能にする整合ネットワークとして定義され得る。

【0057】

図5は、例示的な実施形態による、可変インピーダンス整合ネットワーク（例えば、可変インダクタンスネットワーク410および／または411、図4）に組み込まれ得る可変インダクタンスネットワーク500の概略図である。ネットワーク500は、入力ノード530と、出力ノード532と、入力および出力ノード530、523間に互いに直列に結合された複数のN個のディスクリットインダクタ501～504とを含み、Nは2～10またはそれ以上の整数であり得る。さらに、ネットワーク500は、複数のN個のバイパススイッチ511～514を含み、各スイッチ511～514は、インダクタ501～504のうちの1つの端子にわたって並列に結合される。スイッチ511～514は、例えば、トランジスタ、機械的リレー、または機械的スイッチとして実装され得る。各ス

10

20

30

40

50

イッチ 5 1 1～5 1 4 の導電状態（すなわち、開または閉）は、システムコントローラ（例えば、システムコントローラ 3 1 2、図 3）からの制御信号 5 2 1～5 2 4 によって制御される。

【0058】

各並列インダクタ／スイッチの組み合わせに対して、その対応するスイッチが開いた状態または非導通状態にあるとき、実質的にすべての電流がインダクタを通して流れ、スイッチが閉じた状態または導通状態にあるとき、実質的にすべての電流がスイッチを流れる。例えば、図 5 に示すように、すべてのスイッチ 5 1 1～5 1 4 が開いている場合、入力および出力ノード 5 3 0，5 3 2 間に流れる実質的にすべての電流は、一連のインダクタ 5 0 1～5 0 4 を流れる。この構成は、ネットワーク 5 0 0 の最大インダクタンス状態（すなわち、入力および出力ノード 5 3 0，5 3 2 間に最大インダクタンス値が存在するネットワーク 5 0 0 の状態）を表す。反対に、すべてのスイッチ 5 1 1～5 1 4 が閉じられると、入力および出力ノード 5 3 0，5 3 2 間に流れる実質的にすべての電流がインダクタ 5 0 1～5 0 4 をバイパスし、代わりに、スイッチ 5 1 1～5 1 4、および、ノード 5 3 0，5 3 2 とスイッチ 5 1 1～5 1 4 との間の導電性相互接続を通して流れる。この構成は、ネットワーク 5 0 0 の最小インダクタンス状態（すなわち、入力および出力ノード 5 3 0，5 3 2 間に最小インダクタンス値が存在するネットワーク 5 0 0 の状態）を表す。理想的には、最小インダクタンス値はゼロに近いインダクタンスであろう。しかしながら、実際には、スイッチ 5 1 1～5 1 4 の累積インダクタンス、および、ノード 5 3 0，5 3 2 とスイッチ 5 1 1～5 1 4 との間の導電性相互接続に起因して、最小インダクタンス状態に「トレース」インダクタンスが存在する。例えば、最小インダクタンス状態では、可変インダクタンスネットワーク 5 0 0 のトレースインダクタンスは約 10 nH～約 50 nH の範囲にあり得るが、トレースインダクタンスはより小さくても大きくてもよい。より大きな、より小さな、または実質的に同様のトレースインダクタンスもまた、他のネットワーク状態のそれぞれに固有であり得、所与のネットワーク状態に対するトレースインダクタンスは、主にネットワーク 5 0 0 を介して電流が運ばれる導体およびスイッチのシーケンスのインダクタンスの合計である。

【0059】

すべてのスイッチ 5 1 1～5 1 4 が開いている最大インダクタンス状態から開始して、システムコントローラは、インダクタ 5 0 1～5 0 4 の対応する組み合わせをバイパスすることにより、ネットワーク 5 0 0 のインダクタンスを減少させるために、スイッチ 5 1 1～5 1 4 の任意の組み合わせを閉じることになる制御信号 5 2 1～5 2 4 を提供し得る。一実施形態では、各インダクタ 5 0 1～5 0 4 は、本明細書では I の正規化値と称される、実質的に同じインダクタンス値を有する。例えば、各インダクタ 5 0 1～5 0 4 は、約 10 nH～約 200 nH の範囲の値、または他の何らかの値を有し得る。このような実施形態では、ネットワーク 5 0 0 の最大インダクタンス値（すなわち、すべてのスイッチ 5 1 1～5 1 4 が開いた状態にあるとき）は、約 $N \times I$ に、最大インダクタンス状態にあるときにネットワーク 5 0 0 に存在し得る任意のトレースインダクタンスを加えたものになるであろう。任意の n 個のスイッチが閉じた状態にあるとき、ネットワーク 5 0 0 のインダクタンス値は約 $(N - n) \times I$ （およびトレースインダクタンス）であろう。そのような実施形態では、ネットワーク 5 0 0 の状態は、 $N + 1$ 個のインダクタンス値のいずれかを有するように構成され得る。

【0060】

代替実施形態では、インダクタ 5 0 1～5 0 4 は、互いに異なる値を有し得る。例えば、入力ノード 5 3 0 から出力ノード 5 3 2 に向かって移動する場合、第 1 のインダクタ 5 0 1 は、I の正規化インダクタンス値を有し得、直列の各後続インダクタ 5 0 2～5 0 4 は、より大きなまたはより小さなインダクタンス値を有し得る。例えば、各後続インダクタ 5 0 2～5 0 4 は、最も近い下流のインダクタ 5 0 1～5 0 3 のインダクタンス値の倍数（例えば、約 2 倍）のインダクタンス値を有し得るが、その差は必ずしも整数倍でなくともよい。そのような実施形態では、ネットワーク 5 0 0 の状態は、 2^N のインダクタン

ス値のいずれかを有するように構成され得る。例えば、 $N = 4$ であり、各インダクタ501～504が異なる値を有する場合、ネットワーク500は、16個のインダクタンス値のいずれかを有するように構成され得る。例えば、これに限定されるものではないが、インダクタ501が I の値を有し、インダクタ502が $2 \times I$ の値を有し、インダクタ503が $4 \times I$ の値を有し、かつ、インダクタ504が $8 \times I$ の値を有すると仮定すると、以下の表1は、ネットワーク500のすべての可能な16個の状態（トレースインダクタンスを考慮しない）の合計インダクタンス値を示す。

【0061】

【表1】

ネットワーク 状態	スイッチ 511状態 (501値= I)	スイッチ 512状態 (502値 = $2 \times I$)	スイッチ 513状態 (503値 = $4 \times I$)	スイッチ 514状態 (504値 = $8 \times I$)	合計ネットワーク インダクタンス (トレース インダクタンスなし)
0	閉	閉	閉	閉	0
1	開	閉	閉	閉	I
2	閉	開	閉	閉	$2 \times I$
3	開	開	閉	閉	$3 \times I$
4	閉	閉	開	閉	$4 \times I$
5	開	閉	開	閉	$5 \times I$
6	閉	開	開	閉	$6 \times I$
7	開	開	開	閉	$7 \times I$
8	閉	閉	閉	開	$8 \times I$
9	開	閉	閉	開	$9 \times I$
10	閉	開	閉	開	$10 \times I$
11	開	開	閉	開	$11 \times I$
12	閉	閉	開	開	$12 \times I$
13	開	閉	開	開	$13 \times I$
14	閉	開	開	開	$14 \times I$
15	開	開	開	開	$15 \times I$

表1—すべての可能な可変インダクタンスネットワーク状態の合計インダクタンス値

【0062】

再び図4を参照すると、可変インダクタンスネットワーク410の実施形態は、上述の例示的な特性（すなわち、 $N = 4$ であり、各後続インダクタは、先行インダクタのインダクタンスの約2倍）を有する可変インダクタンスネットワーク500の形態で実装され得る。最小インダクタンス状態におけるトレースインダクタンスが約10 nHであり、ネットワーク410によって達成可能なインダクタンス値の範囲が約10 nH（トレースインダクタンス）～約400 nHであると仮定すると、インダクタ501～504の値はそれぞれ、例えば、約30 nH、約50 nH、約100 nHおよび約200 nHであり得る。同様に、可変インダクタンスネットワーク411の実施形態が同様に実装されている場合、かつ、トレースインダクタンスが約50 nHであり、ネットワーク411によって達成可能なインダクタンス値の範囲が約50 nH（トレースインダクタンス）～約800 nHであると仮定すると、インダクタ501～504の値はそれぞれ、例えば、約50 nH、約100 nH、約200 nHおよび約400 nHであり得る。もちろん、可変インダクタンスネットワーク410、411のいずれかに、4つより多いまたは少ないインダクタ501～504が含まれ得、各ネットワーク410、411内のインダクタは、異なる値を有し得る。

【0063】

上記の例示的な実施形態は、ネットワーク500におけるスイッチドインダクタンスの数が4に等しく、各インダクタ501～504がEの値の何倍かの値を有すると規定しているが、可変インダクタンスネットワークの代替実施形態は、4つよりも多いまたは少ないインダクタ、インダクタの異なる相対値、可能なネットワーク状態の異なる数、および／またはインダクタの異なる構成（例えば、並列および／または直列結合インダクタの、異なる接続のセット）を有し得る。いずれにしても、解凍システムのインピーダンス整合ネットワークに可変インダクタンスネットワークを設けることにより、システムは、解凍動作中に存在する常に変化するキャビティ入力インピーダンスをより良く適合させることができるであろう。

【0064】

図6は、可変インピーダンス整合ネットワーク（例えば、ネットワーク370、400、図3および図4）の実施形態における複数のインダクタンスが入力キャビティインピーダンスをRF信号源にどのように整合させ得るかを示すスミスチャート600の例である。例示のスミスチャート600は、システムが50オームのシステムであり、RF信号源の出力が50オームであると仮定している。当業者であれば、本明細書の記載に基づいて、異なる特性インピーダンスを有するシステムおよび／またはRF信号源についてスミスチャートをどのように修正できるかを理解するであろう。

【0065】

スミスチャート600において、点601は、可変インピーダンス整合ネットワーク（例えば、ネットワーク370、400、図3および図4）によって提供される整合がない場合に、（例えば、解凍動作の開始時に）負荷（例えば、キャビティ360と負荷364、図3）が位置する点に対応する。スミスチャート600の右下の象限にある負荷点601の位置によって示されるように、負荷は容量性負荷である。一実施形態によれば、可変インピーダンス整合ネットワークのシャントおよび直列インダクタンスは、負荷へのRFエネルギー伝達が最小損失で起こり得る最適整合点606（例えば50オーム）に向かって実質的に容量性の負荷インピーダンスを順次移動させる。より具体的には、かつ図4も参照すると、シャントインダクタンス415はインピーダンスを点602に移動させ、直列インダクタンス414はインピーダンスを点603に移動させ、シャントインダクタンス416はインピーダンスを点604に移動させ、直列インダクタンス412はインピーダンスを点605に移動させ、および、シャントインダクタンス410はインピーダンスを最適整合点606に移動させる。

【0066】

可変インピーダンス整合ネットワークの実施形態によって提供されるインピーダンス変換の組み合わせは、スミスチャート600の右下の象限内の任意の点または該象限のすぐ近くにインピーダンスを維持することに留意されたい。スミスチャート600のこの象限が比較的高いインピーダンスおよび比較的低い電流によって特徴付けられるので、比較的高くかつ潜在的に有害な電流に回路の構成要素をさらすことなく、インピーダンス変換が達成される。したがって、本明細書で使用される「インダクタのみ」の整合ネットワークの代替的な定義は、単独でまたは主に誘導性の構成要素を使用して容量性負荷のインピーダンス整合を可能にする整合ネットワークであり得、インピーダンス整合ネットワークが、実質的にスミスチャートの右下の象限内で変換を実行する。

【0067】

前述したように、解凍動作中に負荷のインピーダンスが変化する。したがって、点601は、解凍動作中に対応して動く。負荷点601の移動は、前述の実施形態によれば、第1および第2のシャントインダクタンス410、411のインピーダンスを変化させることにより補償され、これにより、可変インピーダンス整合ネットワークによって提供される最終的な整合が、依然として最適整合点606またはその近くに到達し得る。特定の可変インピーダンス整合ネットワークが本明細書に図示され説明されているが、当業者であれば、本明細書の記載に基づいて、異なる構成の可変インピーダンス整合ネットワークが、スミスチャート600によりもたらされるものと同じかまたは同様の結果を達成し得る

10

20

30

40

50

ことが理解されるであろう。例えば、可変インピーダンス整合ネットワークの代替実施形態は、より多くのまたはより少ないシャントおよび／または直列インダクタンスを有し得、および／または、インダクタンスの異なるものが、可変インダクタンスネットワーク（例えば、1つ以上の直列インダクタンスを含む）として構成され得る。したがって、特定の可変インダクタンス整合ネットワークを本明細書で図示し説明してきたが、本発明の主題は図示され記載された実施形態に限定されない。

【0068】

解凍システム700の特定の物理的構成を、図7および図8に関連して説明する。より具体的には、図7は、例示的な実施形態による解凍システム700の断面側面図であり、図8は、解凍システム700の一部の斜視図である。解凍システム700は概して、一実施形態では、解凍キャビティ774と、ユーザインタフェース（図示せず）と、システムコントローラ730と、RF信号源720と、電源およびバイアス回路（図示せず）と、電力検出回路780と、可変インピーダンス整合ネットワーク760と、第1の電極770と、第2の電極772を含む。さらに、いくつかの実施形態では、解凍システム700は、重量センサ790、温度センサおよび／またはIRセンサ792を含み得る。

【0069】

解凍システム700は、一実施形態では、格納構造体750内に格納される。一実施形態によれば、格納構造体750は、解凍キャビティ774、固定インダクタ領域776、および回路ハウジング領域778の3つの内部領域を画定し得る。格納構造体750は、底部、上部および側部壁を含む。格納構造体750のいくつかの壁の内面の部分は、解凍キャビティ774を画定し得る。解凍キャビティ774は、解凍されるべき負荷764がその中に配置され得る空気キャビティによって分離された第1および第2の平行平板電極770、772を有する容量性解凍構成を含む。例えば、第1の電極770は、空気キャビティの上に配置され得、第2の電極772は、格納構造体750の導電性部分（例えば、格納構造体750の底部壁の一部）によって提供され得る。あるいは、第2の電極772は、格納構造体750とは異なる導電性平板から形成され得る。一実施形態によれば、非導電性支持構造754を採用して、第1の電極770を空気キャビティ上に懸架し、第1の電極770を格納構造体750から電気的に絶縁し、第1の電極770を空気キャビティに対して固定された物理的な向きに保持し得る。

【0070】

一実施形態によれば、格納構造体750は少なくとも部分的に導電性材料から形成され、格納構造体の導電性部分は接地されてシステムの様々な電気構成要素の接地基準を提供し得る。あるいは、第2の電極772に対応する格納構造体750の少なくとも一部は、導電性材料から形成され、接地され得る。負荷764と第2の電極772との間の直接接触を避けるために、非導電性バリア756を第2の電極772上に配置し得る。

【0071】

システム700に含まれるとき、重量センサ790は、負荷764の下に配置される。重量センサ790は、システムコントローラ730へ負荷764の重量の推定値を提供するように構成される。温度センサおよび／またはIRセンサ792は、解凍動作の前、途中および後のいずれにおいても負荷764の温度を感知できる位置に配置され得る。一実施形態によれば、温度センサおよび／またはIRセンサ792は、システムコントローラ730に負荷温度推定値を提供するように構成される。

【0072】

システムコントローラ730、RF信号源720、電源およびバイアス回路（図示せず）、電力検出回路780、および、可変インピーダンス整合ネットワーク760の部分710、711の様々な構成要素のいくつかまたはすべては、一実施形態では、格納構造体750の回路ハウジング領域778内の共通基板752に結合され得る。例えば、上記の構成要素のいくつかまたはすべては、RFモジュール（例えば、RFモジュール1300、図13）および可変インピーダンス整合回路モジュール（例えば、モジュール1200の変形例、図12）に含まれ得、これらは、格納構造体750の回路ハウジング領域77

8内に收容される。一実施形態によれば、システムコントローラ730は、ユーザインタフェース、RF信号源720、可変インピーダンス整合ネットワーク760および電力検出回路780に、共通基板752上または共通基板752内の様々な導電性相互接続を介して結合される。さらに、一実施形態では、電力検出回路780は、RF信号源720の出力と入力702との間の伝送経路748に沿って可変インピーダンス整合ネットワーク760に結合される。例えば、基板752は、マイクロ波またはRF積層体、ポリテトラフルオロエチレン（PTFE）基板、プリント回路基板（PCB）材料基板（例えば、FR-4）、アルミナ基板、セラミックタイルまたは別のタイプの基板を含み得る。様々な代替実施形態では、構成要素の様々なものを、基板と構成要素との間の電氣的相互接続によって、異なる基板に結合し得る。さらに他の代替実施形態では、構成要素のいくつかまたはすべてが、別個の基板に結合されるのではなく、キャビティ壁に結合され得る。

10

【0073】

第1の電極770は、一実施形態では、可変インピーダンス整合ネットワーク760および伝送経路748を介してRF信号源720に電氣的に結合される。前述したように、可変インピーダンス整合ネットワーク760は、可変インダクタンスネットワーク710、711（例えば、ネットワーク410、411、図4）と、複数の固定値集中定数インダクタ712～715（例えば、インダクタ412～415、図4）とを含む。一実施形態では、可変インダクタンスネットワーク710、711は、共通基板752に結合され、回路ハウジング領域778内に配置される。対照的に、固定値集中定数インダクタ712～715は、格納構造体750の固定インダクタ領域776内（例えば、共通基板752と第1の電極770との間）に配置される。導電性構造（例えば、導電性ビアまたは他の構造）は、回路ハウジング領域778内の回路と固定インダクタ領域776内の集中定数インダクタ712～715との間の電気通信を提供し得る。

20

【0074】

システム700の理解をさらに深めるために、図7および図8に示す可変インピーダンス整合ネットワーク760のノードおよび構成要素は、図4に示す可変インピーダンス整合ネットワーク400のノードおよび構成要素と以下で相関される。より具体的には、可変インピーダンス整合ネットワーク760は、一実施形態によれば、入力ノード702（例えば、入力ノード402、図4）、出力ノード704（例えば、出力ノード404、図4）、第1および第2の可変インダクタンスネットワーク710、711（例えば、可変インダクタンスネットワーク410、411、図4）および複数の固定値インダクタ712～715（例えば、インダクタ412～415、図4）を含む。入力ノード702は、様々な導電性構造（例えば、導電性ビアおよびトレース）を介してRF信号源720の出力に電氣的に結合され、出力ノード704は、第1の電極770に電氣的に結合される。

30

【0075】

入力および出力ノード702、704（例えば、入力および出力ノード402、404、図4）の間において、可変インピーダンス整合ネットワーク700は、一実施形態では、4つの集中定数インダクタ712～715（例えば、インダクタ412～415、図4）を含み、これらは、固定インダクタ領域776内に配置されている。図7および図8の両方を同時に参照することにより、固定インダクタ領域776内の集中定数インダクタ712～715の物理的構成の実施形態の深い理解が達成され得、図8は、固定インダクタ領域776の上面斜視図を示す。図8において、インダクタ712～715の下にある不規則な形状の斜線領域は、第1の電極770上の空間におけるインダクタ712～715の懸架を表す。言い換えれば、斜線領域は、インダクタ712～715が第1の電極770から空気により絶縁される場所を示す。空気誘電体に頼るのではなく、非導電性スペーサがこれらの領域に含まれ得る。

40

【0076】

一実施形態では、第1の集中定数インダクタ712は、入力ノード702に（したがってRF信号源720の出力に）電氣的に結合された第1の端子と、第1の中間ノード721（例えば、ノード421、図4）に電氣的に結合された第2の端子とを有する。第2の

50

集中定数インダクタ 713 は、第 1 の中間ノード 721 に電氣的に結合された第 1 の端子と、第 2 の中間ノード 722（例えば、ノード 422、図 4）に電氣的に結合された第 2 の端子とを有する。第 3 の集中定数インダクタ 714 は、第 1 の中間ノード 721 に電氣的に結合された第 1 の端子と、出力ノード 704（したがって第 1 の電極 770）に電氣的に結合された第 2 の端子とを有する。第 4 の集中定数インダクタ 715 は、出力ノード 704（したがって第 1 の電極 770）に電氣的に結合された第 1 の端子と、接地基準ノードに（例えば、1 つ以上の導電性相互接続を介して接地格納構造体 750 に）電氣的に結合された第 2 の端子とを有する。

【0077】

第 1 の可変インダクタンスネットワーク 710（例えば、ネットワーク 410、図 4）は、入力ノード 702 と接地基準端子（例えば、接地格納構造体 750）との間に電氣的に結合される。最後に、第 2 の可変インダクタンスネットワーク 711（例えば、ネットワーク 411、図 4）は、第 2 の中間ノード 722 と接地基準端子との間に電氣的に結合される。

【0078】

図 3～図 8 に関連する説明は、詳細には「不平衡」解凍装置について議論しており、ここでは、一方の電極（例えば、電極 340、図 3）に RF 信号が印加され、他方の「電極」（例えば、格納構造体 366、図 3）は接地されている。上述したように、解凍装置の代替実施形態は、「平衡」解凍装置を含む。このような装置では、平衡 RF 信号が両方の電極に提供される。

【0079】

例えば、図 9 は、例示的な実施形態による、平衡解凍システム 900（例えば、解凍システム 100、210、220、図 1 および図 2）の簡略ブロック図である。解凍システム 900 は、一実施形態では、RF サブシステム 910、解凍キャパシティ 960、ユーザインタフェース 980、システムコントローラ 912、RF 信号源 920、電源およびバイアス回路 926、可変インピーダンス整合ネットワーク 970、2 つの電極 940、950、および、電力検出回路 930 を含む。さらに、他の実施形態では、解凍システム 900 は、温度センサ、赤外線（IR）センサおよび／または重量センサ 990 を含む得るが、これらのセンサ構成要素のいくつかまたはすべてを除外し得る。図 9 は、解説および説明を容易にするための解凍システム 900 の簡略表現であり、実際の実施形態は、追加の機能および特徴を提供するための他のデバイスおよび構成要素を含み得、および／または、解凍システム 900 は、より大きな電気システムの一部であり得る。

【0080】

ユーザインタフェース 980 は、例えば、ユーザが解凍動作のためのパラメータに関する入力（例えば、解凍されるべき負荷の特性など）をシステムに提供することを可能にする制御パネル（例えば、制御パネル 120、214、224、図 1 および図 2）、開始および取消ボタン、機械的制御（例えば、ドア／引き出しオープンラッチ）などに対応し得る。さらに、ユーザインタフェースは、解凍動作の状態（例えば、カウントダウンタイマ、解凍動作の進行または完了を示す可視表示、および／または解凍動作の完了を示す可聴トーン）および他の情報を示すユーザ知覚可能な出力を提供するように構成され得る。

【0081】

RF サブシステム 910 は、一実施形態では、システムコントローラ 912、RF 信号源 920、第 1 のインピーダンス整合回路 934（本明細書では「第 1 の整合回路」）、電源およびバイアス回路 926 および電力検出回路 930 を含む。システムコントローラ 912 は、1 つ以上の汎用または専用プロセッサ（例えば、マイクロプロセッサ、マイクロコントローラ、ASIC など）、揮発性および／または不揮発性メモリ（RAM、ROM、フラッシュ、各種レジスタなど）、1 つ以上の通信バス、および、他の構成要素を含み得る。一実施形態によれば、システムコントローラ 912 は、ユーザインタフェース 980、RF 信号源 920、電源およびバイアス回路 926、電力検出回路 930（または 930' または 930''）、可変整合サブシステム 970、センサ 990（含まれる場合）

10

20

30

40

50

およびポンプ 992（含まれる場合）に動作可能および通信可能に結合される。システムコントローラ 912 は、ユーザインタフェース 980 を介して受信したユーザ入力を示す信号を受信し、電力検出回路 930（または 930' または 930''）からの RF 信号反射電力（および可能性として RF 信号順方向電力）を示す信号を受信し、かつ、センサ 990 からのセンサ信号を受信するように構成される。受信した信号および測定値に応答して、かつ、より詳細に後述するように、システムコントローラ 912 は、電源およびバイアス回路 926 および／または信号源 920 の RF 信号発生器 922 に制御信号を提供する。さらに、システムコントローラ 912 は、（経路 916 を介して）可変整合サブシステム 970 に制御信号を提供し、これにより、サブシステム 970 にサブシステム 970 の可変インピーダンス整合回路 972（本明細書では「可変整合回路」）の状態または構成を変更させる。

10

【0082】

解凍キャビティ 960 は、解凍されるべき負荷 964 がその中に配置され得る空気キャビティによって分離された第 1 および第 2 の平行平板電極 940, 950 を有する容量性解凍構成を含む。格納構造体 966 内で、第 1 および第 2 の電極 940, 950（例えば、電極 140, 150、図 1）は、内部解凍キャビティ 960（例えば、内部キャビティ 260、図 2）のいずれかの側で互いに固定された物理的関係に配置される。一実施形態によれば、電極 940, 950 の間の距離 952 は、一実施形態において、キャビティ 960 をサブ共振キャビティにする。

【0083】

第 1 および第 2 の電極 940, 950 は、キャビティ 960 を横切って距離 952 で分離されている。様々な実施形態において、距離 952 は、約 0.10 メートル～約 1.0 メートルの範囲にあるが、距離はより小さくても大きくてもよい。一実施形態によれば、距離 952 は、RF サブシステム 910 によって生成される RF 信号の 1 波長未満である。言い換えれば、上述したように、キャビティ 960 は、サブ共振キャビティである。いくつかの実施形態では、距離 952 は、RF 信号の 1 波長の約半分未満である。他の実施形態では、距離 952 は、RF 信号の 1 波長の約 1/4 未満である。さらに他の実施形態では、距離 952 は、RF 信号の 1 波長の約 1/8 未満である。さらに他の実施形態では、距離 952 は、RF 信号の 1 波長の約 1/50 未満である。さらに他の実施形態では、距離 952 は、RF 信号の 1 波長の約 1/100 未満である。

20

30

【0084】

概して、より低い動作周波数（例えば、10 MHz～100 MHz の間の周波数）用に設計されたシステム 900 は、1 波長のより小さな部分である距離 952 を有するように設計され得る。例えば、システム 900 が約 10 MHz（約 30 メートルの波長に対応）の動作周波数を有する RF 信号を生成するように設計され、距離 952 が約 0.5 メートルに選択される場合、距離 952 は RF 信号の 1 波長の約 1/60 である。逆に、システム 900 が約 300 MHz（約 1 メートルの波長に対応）の動作周波数用に設計され、距離 952 が約 0.5 メートルに選択される場合、距離 952 は RF 信号の 1 波長の約半分である。

【0085】

動作周波数および電極 940, 950 間の距離 952 が選択されてサブ共振内部キャビティ 960 が画定されると、第 1 および第 2 の電極 940, 950 は容量結合される。より具体的には、第 1 の電極 940 は、キャパシタの第 1 の平板と類似し得、第 2 の電極 950 は、キャパシタの第 2 の平板と類似し得、負荷 964、バリア 962 およびキャビティ 960 内の空気は、キャパシタ誘電体に類似し得る。したがって、第 1 の電極 940 は、本明細書では代替的に「アノード」と称され得、第 2 の電極 950 は、本明細書では代替的に「カソード」と称され得る。

40

【0086】

本質的に、第 1 および第 2 の電極 940, 950 に掛かる電圧は、キャビティ 960 内の負荷 964 を加熱する。様々な実施形態によれば、RF サブシステム 910 は、RF 信

50

号を発生させて、電極 940, 950 に掛かる電圧を約 90 ボルト～約 3000 ボルトの範囲で、一実施形態では約 3000 ボルト～約 10000 ボルトの範囲で生成するように構成されるが、別の実施形態では、システムは、電極 940, 950 にわたってより低いまたはより高い電圧を生成するように構成され得る。

【0087】

RF サブシステム 910 の出力、より具体的には RF 信号源 920 の出力は、導電性伝送経路を介して可変整合サブシステム 970 に電氣的に結合され、導電性伝送経路は、直列接続された複数の導体 928-1, 928-2, 928-3, 928-4 および 928-5 を含み、まとめて伝送経路 928 と称される。一実施形態によれば、導電性伝送経路 928 は、「不平衡」部分と「平衡」部分とを含み、「不平衡」部分は、不平衡 RF 信号（すなわち、接地に対して参照される単一の RF 信号）を伝達するように構成され、「平衡」部分は、平衡 RF 信号（すなわち、互いに参照される 2 つの信号）を伝達するように構成される。伝送経路 928 の「不平衡」部分は、RF サブシステム 910 内の不平衡の第 1 および第 2 の導体 928-1, 928-2、1 つ以上のコネクタ 936, 938（それぞれ雄および雌コネクタ部分を有する）、および、コネクタ 936, 938 間に電氣的に結合された不平衡の第 3 の導体 928-3 を含み得る。一実施形態によれば、第 3 の導体 928-3 は同軸ケーブルを含むが、電気長はより短くても長くてもよい。代替実施形態では、可変整合サブシステム 970 は、RF サブシステム 910 と共に収容され得、そのような実施形態では、導電性伝送経路 928 は、コネクタ 936, 938 および第 3 の導体 928-3 を除外し得る。いずれにしても、導電性伝送経路 928 の「平衡」部分は、一実施形態では、可変整合サブシステム 970 内の平衡の第 4 の導体 928-4 と、可変整合サブシステム 970 と電極 940, 950 との間に電氣的に結合された平衡の第 5 の導体 928-5 を含む。

【0088】

図 9 に示すように、可変整合サブシステム 970 は、伝送経路の不平衡部分（すなわち、不平衡導体 928-1, 928-2 および 928-3 を含む部分）を介して RF 信号源 920 からの不平衡 RF 信号を装置の入力において受信し、不平衡 RF 信号を 2 つの平衡 RF 信号（例えば、約 180 度などの 120 度～240 度の間の位相差を有する 2 つの RF 信号）に変換し、装置の 2 つの出力において 2 つの平衡 RF 信号を生成するように構成された装置を収容する。例えば、一実施形態では、変換装置は balan 974 であり得る。平衡 RF 信号は、平衡導体 928-4 を介して可変整合回路 972 に伝達され、最終的に、平衡導体 928-5 を介して電極 940, 950 に伝達される。

【0089】

代替実施形態では、図 9 の中央の破線ボックスに示すように、かつ、下記においてより詳細に議論されるように、代替の RF 信号発生器 920' は、平衡導体 928-1' 上に平衡 RF 信号を生成し得、平衡導体 928-1' は可変整合回路 972 に直接結合され得る（または様々な中間導体およびコネクタを介して結合され得る）。このような実施形態では、balan 974 は、システム 900 から除外され得る。いずれにせよ、以下でより詳細に説明するように、ダブルエンド可変整合回路 972（例えば、可変整合回路 1000、図 10）は、平衡 RF 信号を（例えば、接続 928-4 または 928-1' を介して）受信し、ダブルエンド可変整合回路 972 のそのときの構成に対応するインピーダンス変換を実行し、かつ、接続 928-5 を介して平衡 RF 信号を第 1 および第 2 の電極 940, 950 に提供するように構成される。

【0090】

一実施形態によれば、RF 信号源 920 は、RF 信号発生器 922 および（例えば、1 つ以上の電力増幅器段を含む）電力増幅器 924 を含む。システムコントローラ 912 により接続 914 を介して提供される制御信号に応答して、RF 信号発生器 922 は、ISM（産業、科学および医療用）帯域の周波数を有する発振電気信号を生成するように構成されるが、システムは、他の周波数帯域での動作もサポートするよう修正することも可能である。RF 信号発生器 922 は、様々な実施形態において、異なる電力レベルおよび／

10

20

30

40

50

または異なる周波数の発振信号を生成するように制御され得る。例えば、RF信号発生器922は、約10.0MHz〜約100MHzおよび／または約100MHz〜約3.0GHzの範囲で発振する信号を生成し得る。いくつかの望ましい周波数は、例えば、13.56MHz（±5%）、27.125MHz（±5%）、40.68MHz（±5%）、および2.45GHz（±5%）であり得る。あるいは、発振の周波数は、上記の範囲または値よりも低くても高くてもよい。

【0091】

電力増幅器924は、RF信号発生器922から発振信号を受信し、その信号を増幅して、電力増幅器924の出力において著しく高い電力の信号を生成するように構成される。例えば、出力信号は、約100ワット〜約400ワットまたはそれ以上の範囲の電力レベルを有し得るが、電力レベルはより低くても高くてもよい。電力増幅器924によって適用される利得は、電源およびバイアス回路926によって増幅器924の1つ以上の段に提供されるゲートバイアス電圧および／またはドレインバイアス電圧を使用して制御され得る。より具体的には、電源およびバイアス回路926は、システムコントローラ912から受信した制御信号に従って各RF増幅器段の入力および／または出力（例えば、ゲートおよび／またはドレイン）にバイアスおよび供給電圧を提供する。

【0092】

電力増幅器は、1つ以上の増幅器段を含み得る。一実施形態では、増幅器924の各段は、入力端子（例えば、ゲートまたは制御端子）および2つの電流搬送端子（たとえば、ソースおよびドレイン端子）を有するFETなどのパワートランジスタとして実装される。インピーダンス整合回路（図示せず）は、様々な実施形態において、増幅器段のうちのいくつかまたはすべての入力（例えば、ゲート）および／または出力（例えば、ドレイン端子）に結合され得る。一実施形態では、増幅器段の各トランジスタはLDMOS FETを含む。しかしながら、トランジスタは、いかなる特定の半導体技術にも限定されるものではなく、他の実施形態では、各トランジスタは、GaNトランジスタ、別のタイプのMOS FETトランジスタ、BJT、または、別の半導体技術を利用するトランジスタとして実現され得る。

【0093】

図9において、電力増幅器構成924は、他の回路構成要素に特定の態様で結合された1つの増幅器段を含むように描かれている。他の実施形態では、電力増幅器構成924は、他の増幅器トポロジを含み得、および／または、増幅器構成は、（例えば、図3の増幅器324／325の実施形態に示すように）2つ以上の増幅器段を含み得る。例えば、電力増幅器構成は、シングルエンド増幅器、ダブルエンド（平衡）増幅器、プッシュプル増幅器、ドハティ増幅器、スイッチモード電力増幅器（SMPA）、または、別のタイプの増幅器を含み得る。

【0094】

例えば、図9の中央の破線ボックスに示されているように、代替のRF信号発生器920'は、プッシュプルまたは平衡増幅器924'を含み得、これは、入力において、RF信号発生器922からの不平衡RF信号を受信し、不平衡RF信号を増幅し、かつ、増幅器924'の2つの出力にて2つの平衡RF信号を生成するように構成され、2つの平衡RF信号がその後、導体928-1'を介して電極940、950に伝達される。このような実施形態では、バラン974は、システム900から除外され得、導体928-1'は、可変整合回路972に直接接続され得る（または、複数の同軸ケーブルおよびコネクタまたは他の多導体構造を介して接続され得る）。

【0095】

解凍キャビティ960および解凍キャビティ960内に配置された任意の負荷964（例えば、食品、液体など）は、電極940、950によって内部チャンバ962へと放射される電磁エネルギー（またはRF電力）についての累積負荷を提示する。より具体的には、かつ前述のように、解凍キャビティ960および負荷964は、本明細書では「キャビティ入力インピーダンス」と称される、システムへのインピーダンスを提示する。キャ

10

20

30

40

50

ビティ入力インピーダンスは、解凍動作中に、負荷 964 の温度が上昇するにつれて変化する。キャビティ入力インピーダンスは、RF 信号源 920 と電極 940, 950 との間の導電性伝送経路 928 に沿った反射信号電力の大きさに直接的な影響を及ぼす。ほとんどの場合、キャビティ 960 内に伝達される信号電力の大きさを最大にすること、および／または、導電性伝送経路 928 に沿った反射対順方向信号電力比を最小にすることが望ましい。

【0096】

RF 信号発生器 920 の出力インピーダンスをチャンバ入力インピーダンスに少なくとも部分的に整合させるために、一実施形態では、第 1 の整合回路 934 が伝送経路 928 に沿って電氣的に結合される。第 1 の整合回路 934 は、RF 信号源 920 のインピーダンス（例えば、約 10 オーム未満）から中間インピーダンス（例えば、50 オーム、75 オーム、または他の何らかの値）へのインピーダンス変換を実行するように構成される。第 1 の整合回路 934 は、様々な構成のいずれかを有し得る。一実施形態によれば、第 1 の整合回路 934 は、固定構成要素（すなわち、可変ではない構成要素値を有する構成要素）を含むが、他の実施形態では、第 1 の整合回路 934 は、1 つ以上の可変構成要素を含み得る。例えば、第 1 の整合回路 934 は、様々な実施形態において、インダクタンス／キャパシタンス（LC）ネットワーク、直列インダクタンスネットワーク、シャントインダクタンスネットワーク、または、バンドパス、ハイパスおよびローパス回路の組み合わせから選択される、任意の 1 つ以上の回路を含み得る。本質的に、第 1 の整合回路 934 は、RF 信号発生器 920 の出力インピーダンスとキャビティ入力インピーダンスとの間の中間レベルまでインピーダンスを上昇させるように構成される。

【0097】

一実施形態によれば、かつ上述のように、電力検出回路 930 は、RF 信号源 920 の出力と電極 940, 950 との間に伝送経路 928 に沿って結合される。特定の実施形態では、電力検出回路 930 は、RF サブシステム 910 の一部を形成し、RF 信号源 920 とコネクタ 936 との間の導体 928-2 に結合されている。代替実施形態では、電力検出回路 930 は、導体 928-1、導体 928-3、RF 信号源 920（またはバラン 974）と可変整合回路 972 との間の導体 928-4（すなわち、電力検出回路 930' とともに示されているように）、または、可変整合回路 972 と電極 940, 950 との間の導体 928-5（すなわち、電力検出回路 930'' とともに示されているように）などの、伝送経路 928 の任意の他の部分に結合され得る。簡略化のために、電力検出回路は本明細書において参照符号 930 で参照されるが、参照符号 930' および 930'' によって示されるように、回路は他の位置に配置され得る。

【0098】

どこに結合されようとも、電力検出回路 930 は、RF 信号源 920 と電極 940, 950 の一方または両方との間の伝送経路 928 に沿って移動する反射信号（すなわち、電極 940, 950 から RF 信号源 920 に向かう方向に移動する反射 RF 信号）の電力を監視、測定、または別様に検出するように構成されている。いくつかの実施形態では、電力検出回路 930 はまた、RF 信号源 920 と電極 940, 950 との間の伝送経路 928 に沿って移動する順方向信号（すなわち、RF 信号源 920 から電極 940, 950 に向かう方向に移動する順方向 RF 信号）の電力を検出するように構成されている。

【0099】

接続体 932 を介して、電力検出回路 930 は、反射信号電力の測定された大きさ、およびいくつかの実施形態では順方向信号電力の測定された大きさをも伝達する信号をシステムコントローラ 912 に供給する。順方向および反射信号電力の大きさの両方を伝達する実施形態では、システムコントローラ 912 は、反射対順方向信号電力比または S11 パラメータを計算し得る。以下でより詳細に説明するように、反射信号電力の大きさが反射信号電力閾値を超えると、または、反射対順方向信号電力比が S11 パラメータ閾値を超えると、これは、システム 900 がキャビティ入力インピーダンスと適切に整合していないこと、および、キャビティ 960 内の負荷 964 によるエネルギー吸収が最適に

達していないことを示す。そのような状況では、システムコントローラ 912 は、可変整合回路 972 の状態を変更するプロセスを、反射信号電力または S11 パラメータを所望のレベルに向かうようにまたはそれ未満（例えば、反射信号電力閾値および／または反射対順方向信号電力比閾値未満）となるよう駆動するように編成し、これにより、許容可能な整合を再確立し、負荷 964 による、より最適なエネルギー吸収を容易にする。

【0100】

より具体的には、システムコントローラ 912 は、制御経路 916 を介して制御信号を可変整合回路 972 に提供し得、これにより、可変整合回路 972 に、回路内の 1 つ以上の構成要素の誘導性、容量性および／または抵抗性の値を変化させ、したがって、回路 972 により提供されるインピーダンス変換を調整する。可変整合回路 972 の構成を調整することにより、望ましくは反射信号電力の大きさを減少させ、これは、S11 パラメータの大きさを減少させ、負荷 964 によって吸収される電力を増加させることに対応する。

【0101】

上述したように、可変整合回路 972 は、解凍キャビティ 960 と負荷 964 との入力インピーダンスを整合させ、可能な限り、負荷 964 への RF 電力伝達を最大にするために使用される。解凍キャビティ 960 と負荷 964 との初期インピーダンスは、解凍動作の開始時に正確に知られていないことがある。さらに、負荷 964 のインピーダンスは、負荷 964 が温まるにつれて解凍動作中に変化する。一実施形態によれば、システムコントローラ 912 は、可変整合回路 972 に制御信号を提供し得、これにより、可変整合回路 972 の状態を修正させる。これにより、比較的低い反射対順方向電力比、したがって、負荷 964 による RF 電力の比較的高い吸収を有する解凍動作の開始時に、システムコントローラ 912 は、可変整合回路 972 の初期状態を確立することができる。さらに、これにより、システムコントローラ 912 が可変整合回路 972 の状態を修正することができ、よって、負荷 964 のインピーダンスの変化にもかかわらず、解凍動作の間、適切な整合が維持され得る。

【0102】

可変整合回路 972 は、様々な構成のうちの任意のものを有し得る。例えば、回路 972 は、様々な実施形態において、インダクタンス／キャパシタンス（LC）ネットワーク、インダクタンスのみのネットワーク、キャパシタンスのみのネットワーク、またはバンドパス、ハイパスおよびローパス回路の組み合わせから選択される、任意の 1 つ以上の回路を含み得る。可変整合回路 972 が伝送経路 928 の平衡部分に実装されている実施形態では、可変整合回路 972 は、2 つの入力と 2 つの出力とを有するダブルエンド回路である。可変整合回路が伝送経路 928 の不平衡部分に実装されている代替実施形態では、可変整合回路は、単一の入力および単一の出力を有するシングルエンド回路であり得る（例えば、図 4 の整合回路 400 と同様）。より特定された実施形態によれば、可変整合回路 972 は、可変インダクタンスネットワーク（例えば、ダブルエンドネットワーク 1000、図 10）を含む。可変整合回路 972 によって提供されるインダクタンス、キャパシタンス、および／または抵抗値は、一方で、回路 972 によって提供されるインピーダンス変換に影響を及ぼし、下記においてより詳細に説明されるように、システムコントローラ 912 からの制御信号によって確立される。いずれにしても、処理動作の間に可変整合回路 972 の状態を変化させて、キャビティ 960 とキャビティ 960 内の負荷 964 との常に変化するインピーダンスを動的に整合させることによって、システム効率は、解凍動作の間、高レベルスループットに維持され得る。

【0103】

可変整合回路 972 は、様々な回路構成のうちの任意のものを有し得、そのような構成の非限定的な例を図 10 および図 11 に示す。例えば、図 10 は、例示的な実施形態による、解凍システム（例えば、システム 100、200、900、図 1、図 2 および図 9）に組み込まれ得るダブルエンド可変インピーダンス整合回路 1000 の概略図である。一実施形態によれば、可変整合回路 1000 は、固定値および可変受動構成要素のネットワークを含む。

【0104】

回路1000は、ダブルエンド入力1001-1, 1001-2（入力1001と称される）、ダブルエンド出力1002-1, 1002-2（出力1002と称される）、および、入力1001と出力1002との間にラダー構成で接続された受動構成要素のネットワークを含む。例えば、システム900内に接続されると、第1の入力1001-1は平衡導体928-4の第1の導体に接続され得、第2の入力1001-2は平衡導体928-4の第2の導体に接続され得る。同様に、第1の出力1002-1は平衡導体928-5の第1の導体に接続され得、第2の出力1002-2は平衡導体928-5の第2の導体に接続され得る。

【0105】

図10に示す特定の実施形態では、回路1000は、入力1001-1と出力1002-1との間に直列接続された第1の可変インダクタ1011および第1の固定インダクタ1015と、入力1001-2と出力1002-2との間に直列接続された第2の可変インダクタ1016および第2の固定インダクタ1020と、入力1001-1および1001-2間に接続された第3の可変インダクタ1021と、ノード1025および1026間に接続された第3の固定インダクタ1024とを含む。

【0106】

一実施形態によれば、第3の可変インダクタ1021は、「RF信号源整合部分」に対応し、これは、第1の整合回路（例えば、回路934、図9）によって修正されたようにRF信号源（例えば、RF信号源920、図9）のインピーダンスを整合し、またはより具体的には、第1の整合回路（例えば、回路934、図9）によって修正されたように最終段の電力増幅器（例えば、増幅器924、図9）のインピーダンスを整合するように構成可能である。一実施形態によれば、かつ、図11に関連してより詳細に説明するように、第3の可変インダクタ1021は、約5nH～約200nHの範囲のインダクタンスを提供するために選択的に共に結合され得る誘導性構成要素のネットワークを含むが、その範囲は、より低いまたは高いインダクタンス値にまで拡張され得る。

【0107】

対照的に、可変インピーダンス整合ネットワーク1000の「キャビティ整合部分」は、第1および第2の可変インダクタ1011, 1016と、固定インダクタ1015, 1020および1024とによって提供される。第1および第2の可変インダクタ1011, 1016の状態は、複数のインダクタンス値を提供するよう変更され得るため、第1および第2の可変インダクタ1011, 1016は、キャビティと負荷と（例えば、図9のキャビティ960と負荷964と）のインピーダンスを最適に整合させるように構成可能である。例えば、インダクタ1011, 1016はそれぞれ、約10nH～約200nHの範囲の値を有し得るが、他の実施形態では、その値はより低くてもおよび／またはより高くてもよい。

【0108】

固定インダクタ1015, 1020, 1024はまた、約50nH～約800nHの範囲のインダクタンス値を有し得るが、インダクタンス値はより低くても高くてもよい。インダクタ1011, 1015, 1016, 1020, 1021, 1024は、様々な実施形態において、ディスクリットインダクタ、分布インダクタ（例えば、プリントコイル）、ワイヤボンダ、伝送線路、および／または他の誘導性構成要素を含み得る。一実施形態では、可変インダクタ1011および1016は対になって動作し、すなわち、出力1002-1と1002-2とに伝達されるRF信号の平衡がとられることを確実にするために、動作中のそれらのインダクタンス値が任意の所与の時間において互いに等しくなるように制御される。

【0109】

上述したように、可変整合回路1000は、伝送経路928の平衡部分に沿って（例えば、コネクタ928-4および928-5の間に）接続されるように構成されたダブルエンド回路であり、他の実施形態は、伝送経路928の不平衡部分に沿って接続されるよう

10

20

30

40

50

に構成されたシングルエンド（すなわち、1つの入力および1つの出力）可変整合回路を含み得る。

【0110】

回路1000内のインダクタ1011, 1016, 1021のインダクタンス値を変化させることによって、システムコントローラ912は、回路1000によって提供されるインピーダンス変換を増減させ得る。望ましくは、インダクタンス値の変化は、RF信号源920とキャビティ入力インピーダンスとの間の全インピーダンス整合を改善し、これは、反射信号電力および／または反射対順方向信号電力比の低減をもたらすはずである。ほとんどの場合、システムコントローラ912は、キャビティ960内で最大電磁場強度が達成され、および／または、最大量の電力が負荷964によって吸収され、および／または、最小量の電力が負荷964によって反射される状態に回路1000を構成するように努め得る。

【0111】

図11は、別の例示的な実施形態による、ダブルエンド可変インピーダンス整合ネットワーク1100の概略図である。ネットワーク1100は、ダブルエンド入力1101-1, 1101-2（入力1101と称される）、ダブルエンド出力1102-1, 1102-2（出力1102と称される）、および、入力1101と出力1102との間にラダー構成で接続された受動構成要素のネットワークを含む。ラダー構成は、入力1101-1と出力1102-1との間に互いに直列に結合された第1の複数のN個のディスクリットインダクタ1111~1114を含み、Nは2~10またはそれ以上の整数であり得る。ラダー構成はまた、入力1101-2と出力1102-2との間に互いに直列に結合された第2の複数のN個のディスクリットインダクタ1116~1119を含む。追加のディスクリットインダクタ1115および1120は、中間ノード1125, 1126と出力ノード1102-1, 1102-2との間に結合され得る。さらに、ラダー構成は、入力1101-1と1101-2との間に互いに直列に結合された第3の複数のディスクリットインダクタ1121~1123と、ノード1125と1126との間に結合された追加のディスクリットインダクタ1124とを含む。例えば、固定インダクタ1115, 1120, 1124はそれぞれ、約50nH~約800nHの範囲のインダクタンス値を有し得るが、インダクタンス値はより低くても高くてもよい。

【0112】

インダクタ1111~1114の直列構成は、第1の可変インダクタ（例えば、インダクタ1011、図10）と見なし得、インダクタ1116~1119の直列構成は、第2の可変インダクタ（例えば、インダクタ1016、図10）と見なし得、インダクタ1121~1123の直列構成は、第3の可変インダクタ（例えば、インダクタ1021、図10）と見なし得る。「可変インダクタ」の可変性を制御するために、ネットワーク1100は、複数のバイパススイッチ1131~1134, 1136~1139, 1141および1143を含み、各スイッチ1131~1134, 1136~1139, 1141および1143は、インダクタ1111~1114, 1116~1119, 1121および1123のうちの1つの端子にわたって並列に結合されている。スイッチ1131~1134, 1136~1139, 1141および1143は、例えば、トランジスタ、機械的リレーまたは機械的スイッチとして実装され得る。各スイッチ1131~1134, 1136~1139, 1141および1143の導電状態（すなわち、開または閉）は、システムコントローラからの制御信号1151~1154, 1156~1159, 1161, 1163（例えば、図9の接続916上に設けられたシステムコントローラ912からの制御信号）を使用して制御される。

【0113】

一実施形態では、入力1101と出力1102との間の2つの経路内の対応するインダクタのセットは実質的に等しい値を有し、対応するインダクタの各セットに対するスイッチの導通状態は対になって動作し、すなわち、出力1102-1および1102-2に伝達されるRF信号が平衡であることを確実にするために、動作中のスイッチ状態は、任意

の所与の時間において互いに同じになるよう制御される。例えば、インダクタ 1 1 1 1 および 1 1 1 6 は、実質的に等しい値を有する第 1 の「対応するインダクタのセット」または「対になったインダクタ」を構成し得、動作中、スイッチ 1 1 3 1 および 1 1 3 6 の状態は任意の所与の時間において同じ（例えば、両方が開または両方が閉）になるよう制御される。同様に、インダクタ 1 1 1 2 および 1 1 1 7 は、対になって動作する等しいインダクタンス値を有する対応するインダクタの第 2 のセットを構成し得、インダクタ 1 1 1 3 および 1 1 1 8 は、対になって動作する等しいインダクタンス値を有する対応するインダクタの第 3 のセットを構成し得、インダクタ 1 1 1 4 および 1 1 1 9 は、対になって動作する等しいインダクタンス値を有する対応するインダクタの第 4 のセットを構成し得る。
【0 1 1 4】

各並列インダクタ／スイッチの組み合わせに対して、その対応するスイッチが開いた状態または非導通状態にあるとき、実質的にすべての電流がインダクタを通して流れ、スイッチが閉じた状態または導通状態にあるとき、実質的にすべての電流がスイッチを通して流れる。例えば、すべてのスイッチ 1 1 3 1 ～ 1 1 3 4, 1 1 3 6 ～ 1 1 3 9, 1 1 4 1 および 1 1 4 3 が開かれているとき、図 1 1 に示すように、入力および出力ノード 1 1 0 1 - 1, 1 1 0 2 - 1 間に流れる電流の実質的にすべてが一連のインダクタ 1 1 1 1 ～ 1 1 1 5 を流れ、（インダクタ 1 1 2 1 ～ 1 1 2 3 または 1 1 2 4 を流れる任意の電流によって修正されるように）入力および出力ノード 1 1 0 1 - 2, 1 1 0 2 - 2 間に流れる電流の実質的にすべてが一連のインダクタ 1 1 1 6 ～ 1 1 2 0 を流れる。この構成は、ネットワーク 1 1 0 0 の最大インダクタンス状態（すなわち、入力および出力ノード 1 1 0 1, 1 1 0 2 間に最大インダクタンス値が存在するネットワーク 1 1 0 0 の状態）を表す。逆に、すべてのスイッチ 1 1 3 1 ～ 1 1 3 4, 1 1 3 6 ～ 1 1 3 9, 1 1 4 1 および 1 1 4 3 が閉じているとき、入力および出力ノード 1 1 0 1, 1 1 0 2 間に流れる電流の実質的にすべてがインダクタ 1 1 1 1 ～ 1 1 1 4 と 1 1 1 6 ～ 1 1 1 9 とをバイパスし、代わりにスイッチ 1 1 3 1 ～ 1 1 3 4 または 1 1 3 6 ～ 1 1 3 9、インダクタ 1 1 1 5 または 1 1 2 0、ならびに、入力および出力ノード 1 1 0 1, 1 1 0 2 とスイッチ 1 1 3 1 ～ 1 1 3 4, 1 1 3 6 ～ 1 1 3 9 との間の導電性相互接続を流れる。この構成は、ネットワーク 1 1 0 0 の最小インダクタンス状態（すなわち、入力および出力ノード 1 1 0 1, 1 1 0 2 間に最小インダクタンス値が存在するネットワーク 1 1 0 0 の状態）を表す。理想的には、最小インダクタンス値はゼロに近いインダクタンスであろう。しかしながら、実際には、スイッチ 1 1 3 1 ～ 1 1 3 4 または 1 1 3 6 ～ 1 1 3 9、インダクタ 1 1 1 5 または 1 1 2 0、および、ノード 1 1 0 1, 1 1 0 2 とスイッチ 1 1 3 1 ～ 1 1 3 4 または 1 1 3 6 ～ 1 1 3 9 との間の導電性相互接続の累積インダクタンスに起因して、最小インダクタンス状態に比較的小さなインダクタンスが存在する。例えば、最小インダクタンス状態では、スイッチ 1 1 3 1 ～ 1 1 3 4 または 1 1 3 6 ～ 1 1 3 9 の直列組み合わせのトレースインダクタンスは約 1 0 nH ～ 約 4 0 0 nH の範囲にあり得るが、トレースインダクタンスはより小さくても大きくてもよい。より大きな、より小さな、または実質的に同様のトレースインダクタンスもまた、他のネットワーク状態のそれぞれに固有であり得、任意の所与のネットワーク状態に対するトレースインダクタンスは、所与のネットワーク状態に対するトレースインダクタンスは、主にネットワーク 1 1 0 0 を介して電流が運ばれる導体およびスイッチのシーケンスのインダクタンスの合計である。

【0 1 1 5】

すべてのスイッチ 1 1 3 1 ～ 1 1 3 4, 1 1 3 6 ～ 1 1 3 9 が開いている最大インダクタンス状態から開始して、システムコントローラは、インダクタ 1 1 1 1 ～ 1 1 1 4, 1 1 1 6 ～ 1 1 1 9 の対応する組み合わせをバイパスすることにより、ネットワーク 1 1 0 0 のインダクタンスを減少させるために、スイッチ 1 1 3 1 ～ 1 1 3 4, 1 1 3 6 ～ 1 1 3 9 の任意の組み合わせを閉じることになる制御信号 1 1 5 1 ～ 1 1 5 4, 1 1 5 6 ～ 1 1 5 9 を提供し得る。

【0 1 1 6】

図 1 0 の実施形態と同様に、回路 1 1 0 0 において、第 1 および第 2 の複数のディスク

10

20

30

40

50

リートインダクタ1111～1114, 1116～1119および固定インダクタ1124は、回路の「キャビティ整合部分」に対応する。図5に関連して上述した実施形態と同様に、一実施形態では、各インダクタ1111～1114, 1116～1119は、本明細書でIの正規化値と称される、実質的に同じインダクタンス値を有する。例えば、各インダクタ1111～1114, 1116～1119は、約1nH～約400nHの範囲の値、または他の何らかの値を有し得る。このような実施形態では、入力ノード1101-1と1102-2との間の最大インダクタンス値、および入力ノード1101-2と1102-2との間の最大インダクタンス値（すなわち、すべてのスイッチ1131～1134, 1136～1139が開いた状態の場合）は、約 $N \times I$ に、最大インダクタンス状態にあるときにネットワーク1100に存在し得る任意のトレースインダクタンスを加えたものになるであろう。任意のn個のスイッチが閉じた状態にあるとき、対応する入力および出力ノード間のインダクタンス値は約 $(N - n) \times I$ （にトレースインダクタンスを加えたもの）となるであろう。

【0117】

図5との関連でも上に説明したように、代替実施形態では、インダクタ1111～1114, 1116～1119は、互いに異なる値を有し得る。例えば、入力ノード1101-1から出力ノード1102-1に向かって移動する場合、第1のインダクタ1111は、Iの正規化インダクタンス値を有し得、直列の各後続インダクタ1112～1114は、より大きなまたはより小さなインダクタンス値を有し得る。同様に、入力ノード1101-2から出力ノード1102-2に向かって移動すると、第1のインダクタ1116はIの正規化インダクタンス値を有し得、直列の各後続インダクタ1117～1119はより大きなまたはより小さなインダクタンス値を有し得る。例えば、各後続インダクタ1112～1114または1117～1119は、最も近い下流のインダクタ1111～1114または1116～1118のインダクタンス値の倍数（例えば、約2倍または半分）のインダクタンス値を有し得る。上の表1の例は、入力および出力ノード1101-1, 1102-1間の第1の直列インダクタンス経路、ならびに、入力および出力ノード1101-2, 1102-1間の第2の直列インダクタンス経路にも適用される。より具体的には、インダクタ/スイッチの組み合わせ1111/1131および1116/1156はそれぞれ、インダクタ/スイッチの組み合わせ501/511に類似しており、インダクタ/スイッチの組み合わせ1112/1132および1117/1157はそれぞれ、インダクタ/スイッチの組み合わせ502/512に類似しており、インダクタ/スイッチの組み合わせ1113/1133および1118/1158はそれぞれ、インダクタ/スイッチの組み合わせ503/513に類似しており、ならびに、インダクタ/スイッチの組み合わせ1114/1134および1119/1159はそれぞれ、インダクタ/スイッチの組み合わせ504/514に類似している。

【0118】

最小インダクタンス状態における直列インダクタ1111～1114を通るトレースインダクタンスが約10nHであり、直列インダクタ1111～1114によって達成可能なインダクタンス値の範囲が約10nH（トレースインダクタンス）～約400nHであると仮定すると、インダクタ1111～1114の値はそれぞれ、例えば、約10nH、約20nH、約40nH、約80nH、および約160nHであり得る。直列インダクタ1116～1119の組み合わせは、同様にまたは同一に構成され得る。もちろん、入力および出力ノード1101-1/1102-1または1101-2/1102-2間のいずれかの直列の組み合わせに、4つよりも多いまたは少ないインダクタ1111～1114または1116～1119が含まれ得、各直列の組み合わせ内のインダクタは、上記の例の値と異なる値を有し得る。

【0119】

上記の例示的な実施形態は、対応する入力および出力ノード間の各直列の組み合わせにおけるスイッチドインダクタンスの数が4に等しく、各インダクタ1111～1114, 1116～1119がIの値の何倍かの値を有すると規定しているが、可変直列インダク

10

20

30

40

50

タンスネットワークの代替実施形態は、4つよりも多いまたは少ないインダクタ、インダクタの異なる相対値、および／またはインダクタの異なる構成（例えば、並列および／または直列結合インダクタの、異なる接続のセット）を有し得る。いずれにしても、解凍システムのインピーダンス整合ネットワークに可変インダクタンスネットワークを設けることにより、システムは、解凍動作中に存在する常に変化するキャパティ入力インピーダンスをより良く整合させることができるであろう。

【0120】

図10の実施形態でのように、第3の複数のディスクリットインダクタ1121～1123は、回路の「RF信号源整合部分」に対応する。第3の可変インダクタは、インダクタ1121～1123の直列構成を備え、バイパススイッチ1141および1143は、インダクタ1121および1123を選択的に直列構成に接続するか、または制御信号1161および1163に基づいてバイパスさせることを可能にする。一実施形態では、インダクタ1121～1123のそれぞれは等しい値（例えば、約1nH～約100nHの範囲の値）を有し得る。代替実施形態では、インダクタ1121～1123は互いに異なる値を有し得る。インダクタ1122は、バイパススイッチ1141および1143の状態に関係なく、入力端子1101-1および1101-2間に電氣的に接続される。したがって、インダクタ1122のインダクタンス値は、入力端子1101-1および1101-2間のベースライン（すなわち、最小）インダクタンスとして働く。一実施形態によれば、第1および第3のインダクタ1121、1123は、互いの比であるインダクタンス値を有し得る。例えば、第1のインダクタ1121が正規化インダクタンス値Jを有する場合、インダクタ1123は、種々の実施形態において、2*J、3*J、4*J、または他の何らかの比の値を有し得る。

【0121】

図10および図11に示す可変インピーダンス整合回路1000、1100は、所望のダブルエンド可変インピーダンス変換を実行し得る2つの可能な回路構成にすぎないことを理解されたい。ダブルエンド可変インピーダンス整合回路の他の実施形態は、異なる配置の誘導性ネットワークを含み得、またはインダクタ、キャパシタ、および／もしくは抵抗器を含む受動ネットワークを含み得、受動構成要素の一部は固定値構成要素であり、受動構成要素の一部は、可変値構成要素（例えば、可変インダクタ、可変キャパシタ、および／もしくは可変抵抗器）であり得る。さらに、ダブルエンド可変インピーダンス整合回路は、受動構成要素をネットワーク内またはネットワーク外にスイッチングして、回路によって提供される全インピーダンス変換を変更する能動デバイス（例えば、トランジスタ）を含み得る。

【0122】

様々な実施形態によれば、本明細書で論じられるシングルエンドまたはダブルエンド可変インピーダンス整合ネットワークに関連する回路は、1つ以上のモジュールの形態で実装され得、「モジュール」は、本明細書において、共通基板に結合された電気構成要素のアセンブリとして定義される。例えば、図12は、例示的な実施形態による、ダブルエンド可変インピーダンス整合ネットワーク（例えば、ネットワーク1000、1100、図10、図11）を含むモジュール1200の例の斜視図である。モジュール1200は、前面1206と反対の背面1208とを有するプリント回路基板（PCB）1204を含む。PCB1204は、1つ以上の誘電体層および2つ以上の印刷された導電層から形成される。導電性ビア（図12では見えない）は、複数の導電層間の電氣的接続を提供し得る。前面1206において、第1の印刷された導電層から形成された複数の印刷された導電性トレースは、PCB1204の前面1206に結合された様々な構成要素間の電氣的接続性を提供する。同様に、背面1208において、第2の印刷された導電層から形成された印刷された複数の導電性トレースは、PCB1204の背面1208に結合される様々な構成要素間の電氣的接続性を提供する。

【0123】

一実施形態によれば、PCB1204は、RF入力コネクタ1238（例えば、背面1

10

20

30

40

50

208に結合され、したがって図12の図では見えないが、図9のコネクタ938に対応する) およびバラン1274 (例えば、背面1208に結合され、したがって図12の図では見えないが、図9のバラン974に対応する) を收容する。入力コネクタ1238は、同軸ケーブルまたは他のタイプの導体などの接続 (例えば、接続928-3、図9) によってRFサブシステム (例えば、サブシステム310、910、図3および図9) に電氣的に接続されるように構成される。そのような実施形態では、RF入力コネクタ1238からバラン1274によって受信された不平衡RF信号は、平衡信号に変換され、これは、平衡導体の対 (例えば、接続928-4、図9) を介して、第1および第2の入力1201-1、1201-2を含むダブルエンド入力へ提供される。入力コネクタ1238とバラン1274との間の接続、およびバラン1274と入力1201-1、1201-2との間の接続はそれぞれ、PCB1204上およびPCB1204内に形成された導電性トレースおよびビアを使用して実装され得る。代替実施形態においては、上述のように、代替実施形態は、平衡増幅器 (例えば、平衡増幅器924'、図9) を含み得、これは、入力1201-1、1201-2に直接結合可能な接続 (例えば、導体928-1'、図9) 上に平衡信号を生成する。そのような実施形態では、バラン1274は、モジュール1200から除外され得る。

【0124】

さらに、PCB1204は、ダブルエンド可変インピーダンス整合ネットワーク (例えば、ネットワーク972、1000、1100、図9~図11) に関連する回路を收容する。したがって、PCB1204によって收容される回路は、ダブルエンド入力1201-1、1201-2 (例えば、入力1101-1、1101-2、図11)、ダブルエンド出力1202-1、1202-2 (例えば、出力1102-1、1102-2、図11)、ダブルエンド入力の第1の入力1201-1とダブルエンド出力の第1の出力1202-1との間に直列結合された第1の複数のインダクタ1211、1212、1213、1214、1215 (例えば、インダクタ1111~1115、図11)、ダブルエンド入力の第2の入力1201-2とダブルエンド出力の第2の出力1202-2との間に直列結合された第2の複数のインダクタ1216、1217、1218、1219、1220 (例えば、インダクタ1116~1120、図11)、第1および第2の入力1201-1、1201-2間に直列結合された第3の複数のインダクタ (図12の図では見えないが、例えば図11のインダクタ1121~1123に対応)、および、ノード1225および1226 (例えば、ノード1125、1126) 間に結合された1つ以上の追加のインダクタ1224 (例えば、インダクタ1124、図11) を含む。

【0125】

複数のスイッチまたはリレー (例えば、図12の図では見えないが、例えば図11のスイッチ1131~1134、1136~1139、1141、1143に対応) もPCB1204に結合される。例えば、複数のスイッチまたはリレーは、PCB1204の前面1206または背面1208に結合され得る。スイッチまたはリレーのそれぞれは、一実施形態では、インダクタ1211~1214、1216~1219のうちの1つ、または、入力1202-1と1202-2との間のインダクタ (例えば、インダクタ1121、1123、図11) のうちの1つにわたって電氣的に並列接続される。制御コネクタ1230は、PCB1204に結合され、制御コネクタ1230の導体は、導電トレース1232に電氣的に結合されて、スイッチに制御信号 (例えば、制御信号1151~1154、1156~1159、1161、1163、図11) を提供し、これにより、前述したようにインダクタを回路内または回路外に切り替えることができる。図12に示すように、固定値インダクタ1215、1220 (例えば、インダクタ1115、1120、図11) は、比較的大きなコイルから形成され得るが、他の構造を用いても実装され得る。図12の実施形態に示すように、出力1202-1、1202-2に対応する導電性特徴は、比較的大きくてもよく、システムの電極 (例えば、電極940、950、図9) に直接取り付けのために、細長いものであり得る。

【0126】

様々な実施形態では、RFサブシステム（例えば、RFサブシステム310、910、図3および図9）に関連する回路も、1つ以上のモジュールの形態で実装され得る。例えば、図13は、例示的な実施形態によるRFサブシステム（例えば、RFサブシステム310、910、図3および図9）を含むRFモジュール1300の斜視図である。RFモジュール1300は、接地基板1304に結合されたPCB1302を含む。接地基板1304は、PCB1302のための構造的支持を提供し、また、PCB1302に結合された様々な電気構成要素のための電気接地基準およびヒートシンク機能を提供する。

【0127】

一実施形態によれば、PCB1302は、RFサブシステム（例えば、サブシステム310または910、図3および図9）に関連する回路を収容する。したがって、PCB1302によって収容される回路は、システムコントローラ回路1312（例えば、図3および図9のシステムコントローラ312、912に対応）、RF信号源回路1320（例えば、RF信号発生器322、922および電力増幅器324、325、924を含む、図3および図9のRF信号源320、920に対応）、電力検出回路1330（例えば、図3および図9の電力検出回路330、930に対応）、ならびに、インピーダンス整合回路1334（例えば、図3および図9の第1の整合回路334、934に対応）を含む。

【0128】

図13の実施形態において、システムコントローラ回路1312は、プロセッサICおよびメモリICを含み、RF信号源回路1320は、信号発生器ICおよび1つ以上の電力増幅器デバイスを含み、電力検出回路1330は、電力カブラデバイスを含み、インピーダンス整合回路1334は、インピーダンス整合ネットワークを形成するために一緒に接続された複数の受動構成要素（例えば、インダクタ1335、1336およびキャパシタ1337）を含む。回路1312、1320、1330、1334および様々なサブ構成要素は、図3および図9に関連して説明した様々な導体および接続を参照して前述したように、PCB1302上の導電性トレースを介して電氣的に結合され得る。

【0129】

RFモジュール1300は、一実施形態では、複数のコネクタ1316、1326、1338、1380も含む。例えば、コネクタ1380は、ユーザインタフェース（例えば、ユーザインタフェース380、980、図3および図9）および他の機能を含むホストシステムに接続するように構成され得る。コネクタ1316は、可変整合回路（例えば、回路372、972、図3および図9）に接続して、前述のように回路に制御信号を提供するように構成され得る。コネクタ1326は、システム電力を受け取るために電源に接続するように構成され得る。最後に、コネクタ1338（例えば、コネクタ336、936、図3および図9）は、同軸ケーブルまたは他の伝送線路に接続するように構成され得、これにより、RFモジュール1300を、可変整合サブシステム（例えば、サブシステム370、970、図3および図9）に（例えば、図3および図9の導体328-2、928-3の同軸ケーブル実装を介して）電氣的に接続することができる。代替実施形態では、可変整合サブシステム（例えば、可変整合ネットワーク370、バラン974、および／または可変整合回路972、図3および図9）の構成要素も、PCB1302上に統合され得、その場合、コネクタ1336は、モジュール1300から除外され得る。RFモジュール1300のレイアウト、サブシステムおよび構成要素の他の変形例も行われ得る。

【0130】

RFモジュール（例えば、モジュール1300、図13）および可変インピーダンス整合ネットワークモジュール（例えば、モジュール1200、図12）の実施形態は、電氣的に共に接続され、他の構成要素と接続されて解凍装置またはシステム（例えば、装置100、200、300、900、図1～図3、図9）を形成する。例えば、RFコネクタ1338（図13）とRFコネクタ1238（図12）との間の同軸ケーブルなどの接続（例えば、導体928-3、図9）を介してRF信号接続が行われ得、コネクタ1316（図13）とコネクタ1230（図12）との間の多導体ケーブルなどの接続（例えば、

10

20

30

40

50

導体 916、図 9) を介して制御接続が行われ得る。さらにシステムを組み立てるために、コネクタ 1380 を介してホストシステムまたはユーザインタフェースを RF モジュール 1300 に接続し得、コネクタ 1326 を介して電源を RF モジュール 1300 に接続し得、電極 (例えば、電極 940, 950、図 9) を出力 1202-1, 1202-2 に接続し得る。もちろん、上記の組立体もまた、様々な支持構造および他のシステム構成要素に物理的に接続され、これにより、電極が、解凍キャビティ (例えば、キャビティ 110, 360, 960、図 1、図 3 および図 9) を横切って互いに固定された関係に保持され、解凍装置をより大きなシステム (例えば、システム 100, 200、図 1 および図 2) 内に統合し得る。

【0131】

解凍システムの電気的および物理的態様の実施形態について説明してきたので、このような解凍システムを動作させる方法の様々な実施形態を、図 14 および図 15 を参照して以下に説明する。より具体的には、図 14 は、例示的な実施形態による、動的負荷整合を用いて解凍システム (例えば、システム 100, 210, 220, 300, 700, 900、図 1 ~ 図 3、図 7、図 9) を動作させる方法のフローチャートである。

【0132】

方法は、ブロック 1402 において、システムコントローラ (例えば、システムコントローラ 312, 912、図 3 および図 9) が、解凍動作が開始すべきであることを示す標識を受信すると開始し得る。このような標識は、例えば、ユーザがシステムの解凍キャビティ (例えば、キャビティ 360, 960、図 3 および図 9) 内に負荷 (例えば、負荷 364, 964、図 3 および図 9) を配置し、(例えば、ドアまたは引き出しを閉じることによって) キャビティを封止し、(例えば、図 3 および図 9 のユーザインタフェース 380, 980 の) 開始ボタンを押した後に受信され得る。一実施形態では、キャビティの封止は、1 つ以上の安全インターロック機構と係合し得、これは係合時に、キャビティに供給される RF 電力がキャビティの外部の環境に実質的に漏れないことを示す。後述するように、安全インターロック機構が外れると、システムコントローラはただちに、解凍動作を一時停止または終了させ得る。

【0133】

様々な実施形態によれば、システムコントローラは、任意選択的に、負荷タイプ (例えば、肉、液体、もしくは他の材料)、初期負荷温度、および／または負荷重量を示す追加の入力を受信し得る。例えば、負荷タイプに関する情報は、(例えば、認識された負荷タイプのリストからユーザが選択することによって) ユーザインタフェースとの対話を通じてユーザから受信され得る。あるいは、システムは、負荷の外部で可視のバーコードをスキャンするように、または負荷上のもしくは負荷に埋め込まれた RFID デバイスから電子信号を受信するように構成され得る。初期負荷温度に関する情報は、例えば、システムの 1 つ以上の温度センサおよび／または IR センサ (例えば、センサ 390, 792, 990、図 3、図 7 および図 9) から受信され得る。負荷重量に関する情報は、ユーザインタフェースとの相互作用を介してユーザから、またはシステムの重量センサ (例えば、センサ 390, 790, 990、図 3、図 7 および図 9) から受信され得る。上述のように、負荷タイプ、初期負荷温度、および／または負荷重量を示す入力を受信は任意選択的であり、システムは代替的にこれらの入力のいくつかまたはすべてを受信しなくともよい。

【0134】

ブロック 1404 において、システムコントローラは、可変整合ネットワーク (例えば、ネットワーク 370, 400, 972, 1000, 1100、図 3、図 4、図 9 ~ 図 11) に制御信号を提供して、可変整合ネットワークについて初期構成または状態を確立する。図 4、図 5、図 10 および図 11 に関連して詳細に説明したように、制御信号は、可変整合ネットワーク内で、可変整合ネットワーク (例えば、ネットワーク 410, 411, 1011, 1016, 1021、図 4 および図 10) のインダクタンスに影響を及ぼす。例えば、制御信号は、バイパススイッチ (例えば、スイッチ 511 ~ 514, 1131 ~ 1134, 1136 ~ 1139, 1141, 1143、図 5 および図 11) の状態に影

10

20

30

40

50

響を及ぼし得、これは、システムコントローラからの制御信号（例えば、制御信号 5 2 1 ～ 5 2 4，1 1 5 1 ～ 1 1 5 4，1 1 5 6 ～ 1 1 5 9，1 1 6 1，1 1 6 3、図 5 および 図 1 1）に応答する。

【0 1 3 5】

また、前述したように、可変整合ネットワークの第 1 の部分は、R F 信号源（例えば、R F 信号源 3 2 0，9 2 0、図 3 および 図 9）または最終段電力増幅器（例えば、電力増幅器 3 2 5，9 2 4、図 3 および 図 9）についての整合を提供するように構成され得、可変整合ネットワークの第 2 の部分は、キャビティ（例えば、キャビティ 3 6 0，9 6 0、図 3 および 図 9）に負荷（例えば、負荷 3 6 4，9 6 4、図 3 および 図 9）を加えたもののについての整合を提供するように構成され得る。例えば、図 4 を参照すると、第 1 のシャント可変インダクタンスネットワーク 4 1 0 は、R F 信号源整合を提供するように構成され得、第 2 のシャント可変インダクタンスネットワーク 4 1 6 は、キャビティに負荷を加えたものの整合を提供するように構成され得る。

【0 1 3 6】

凍結負荷についての最良の初期全体整合（すなわち、最大量の R F 電力が負荷によって吸収される整合）は、典型的には、整合ネットワークのキャビティ整合部分に対して比較的高いインダクタンスと、整合ネットワークの R F 信号源整合部分に対して比較的低いインダクタンスとを有することが観察された。例えば、図 1 5 は、2 つの異なる負荷に対する解凍動作による最適キャビティ整合設定対 R F 信号源整合設定をプロットするチャートであり、トレース 1 5 1 0 が第 1 の負荷（例えば、第 1 のタイプ、重量などを有する）に対応し、トレース 1 5 2 0 が第 2 の負荷（例えば、第 2 のタイプ、重量などを有する）に対応する。図 1 5 において、解凍動作の開始時（例えば、負荷が凍結されているとき）の 2 つの負荷の最適初期整合設定は、それぞれ点 1 5 1 2 および 1 5 2 2 によって示される。図から分かるように、点 1 5 1 2 および 1 5 2 2 の両方は、比較的低い R F 源整合設定と比較して、比較的高いキャビティ整合設定を示す。図 4 の実施形態を参照すると、これは、可変インダクタンスネットワーク 4 1 6 に対する比較的高いインダクタンス、および、可変インダクタンスネットワーク 4 1 0 に対する比較的低いインダクタンスに変換される。図 1 0 の実施形態を参照すると、これは、可変インダクタンスネットワーク 1 0 1 1 および 1 0 1 6 に対する比較的高いインダクタンス、ならびに、可変インダクタンスネットワーク 1 0 2 1 に対する比較的低いインダクタンスに変換される。

【0 1 3 7】

一実施形態によれば、ブロック 1 4 0 4 で可変整合ネットワークの初期構成または状態を確立するために、システムコントローラは、第 1 および第 2 の可変インダクタンスネットワーク（例えば、ネットワーク 4 1 0，4 1 1、図 4）に制御信号を送信して、R F 信号源整合のための可変インダクタンスネットワーク（例えば、ネットワーク 4 1 0）に比較的低いインダクタンスを持たせ、キャビティ整合のための可変インダクタンスネットワーク（例えば、ネットワーク 4 1 1）に比較的高いインダクタンスを持たせる。システムコントローラは、システムコントローラに先験的に知られている負荷タイプ／重量／温度情報に基づいてインダクタンスがどのくらい低くまたはどれくらい高く設定されるかを決定し得る。先験的な負荷タイプ／重量／温度情報がシステムコントローラに利用可能でない場合、システムコントローラは、R F 信号源整合のための比較的低いデフォルトインダクタンスと、キャビティ整合のための比較的高いデフォルトインダクタンスとを選択し得る。

【0 1 3 8】

しかしながら、システムコントローラが負荷特性に関する先験的情報を有すると仮定すると、システムコントローラは、最適初期整合点の近くに初期構成を確立しようと試み得る。例えば、再び図 1 5 を参照すると、第 1 のタイプの負荷に対する最適初期整合点 1 5 1 2 は、ネットワークの最大値の約 8 0 % のキャビティ整合（例えば、ネットワーク 4 1 1 または 1 0 1 1 / 1 0 1 6 によって実装される）を有し、ネットワークの最大値の約 1 0 % の R F 信号源整合（例えば、ネットワーク 4 1 0 または 1 0 2 1 によって実装される

）を有する。可変インダクタンスネットワークの各々が、例えば、図5のネットワーク500と同様の構造を有すると仮定し、上記の表1の状態が適用されると仮定すると、第1のタイプの負荷について、システムコントローラは、可変インダクタンスネットワークを初期化し得、これにより、キャビティ整合ネットワーク（例えば、ネットワーク411または1011／1016）は、状態12（すなわち、ネットワーク411または1011／1016の可能な最大インダクタンスの約80％）を有し、RF信号源整合ネットワーク（例えば、ネットワーク410または1021）は、状態2（すなわち、ネットワーク410の可能な最大インダクタンスの約10％）を有する。逆に、第2のタイプの負荷に対する最適初期整合点1522は、ネットワークの最大値の約40％のキャビティ整合（例えば、ネットワーク411または1011／1016によって実装される）を有し、ネットワークの最大値の約10％のRF信号源整合（例えば、ネットワーク410または1021によって実装される）を有する。したがって、第2のタイプの負荷について、システムコントローラは、可変インダクタンスネットワークを初期化し得、これにより、キャビティ整合ネットワーク（例えば、ネットワーク411または1011／1016）は、状態6（すなわち、ネットワーク411または1011／1016の可能な最大インダクタンスの約40％）を有し、RF信号源整合ネットワーク（例えば、ネットワーク410または1021）は、状態2（すなわち、ネットワーク410または1021の可能な最大インダクタンスの約10％）を有する。概して、解凍動作の間、RF信号源整合ネットワークおよびキャビティ整合ネットワークのインピーダンス値への調整は逆の方法で行われる。言い換えれば、RF信号源整合ネットワークのインピーダンス値が減少すると、キャビティ整合ネットワークのインピーダンス値が増加し、その逆もまた同様である。

【0139】

再び図14を参照すると、一旦、初期可変整合ネットワーク構成が確立されると、システムコントローラは、必要に応じて可変インピーダンス整合ネットワークの構成を調整するプロセス1410を実行し得、整合の質を示す実際の測定値に基づいて、許容可能なまたは最良の整合を見出す。一実施形態によれば、このプロセスは、RF信号源（例えば、RF信号源320、920、図3および図9）に、ブロック1412において可変インピーダンス整合ネットワークを介して比較的低い電力のRF信号を電極（例えば、第1の電極340または両方の電極940、950、図3および図9）に供給させることを含む。システムコントローラは、電源およびバイアス回路（例えば、回路326、926、図3および図9）への制御信号を介してRF信号電力レベルを制御し得、制御信号は、電源およびバイアス回路に、所望の信号電力レベルと一致する供給およびバイアス電圧を増幅器（例えば、増幅器段324、325、924、図3および図9）へ提供させる。例えば、比較的低い電力のRF信号は、約10W～約20Wの範囲の電力レベルを有する信号であり得るが、異なる電力レベルが代替的に使用され得る。整合調整プロセス1410中の比較的低い電力レベル信号は、（例えば、最初の整合が高い反射電力を引き起こす場合に）キャビティまたは負荷を損傷するリスクを低減し、（例えば、スイッチ接点にわたるアーク放電により）可変インダクタンスネットワークのスイッチング構成要素を損傷するリスクを低減するために望ましい。

【0140】

ブロック1414において、電力検出回路（例えば、電力検出回路330、930、930'、930''、図3および図9）は次いで、RF信号源と電極との間の伝送経路（例えば、経路328、928、図3および図9）に沿った反射および（いくつかの実施形態における）順方向の電力を測定し、これらの測定値をシステムコントローラに提供する。システムコントローラは次いで、反射および順方向信号電力間の比を決定し得、この比に基づいてシステムのS11パラメータを決定し得る。システムコントローラは、一実施形態において、受信された電力測定値（例えば、受信された反射電力測定値、受信された順方向電力測定値、もしくは両方）、および／または計算された比、および／またはS11パラメータを、将来の評価または比較のために記憶し得る。

【0141】

ブロック 1 4 1 6 において、システムコントローラは、反射電力測定値、および／または反射対順方向信号電力比、および／または S 1 1 パラメータに基づいて、可変インピーダンス整合ネットワークによって提供される整合が、許容可能であるかどうか（例えば、反射電力が閾値未満であるか、または、その比が 1 0 % 以下であるか、または、測定値もしくは値がいくつかの他の基準と比較して良好であるか）を決定し得る。あるいは、システムコントローラは、整合が「最良」の整合であるかどうかを決定するように構成され得る。「最良」の整合は、例えば、すべての可能なインピーダンス整合ネットワーク構成について（または少なくともインピーダンス整合ネットワーク構成の定義されたサブセットについて）反射 R F 電力（およびいくつかの実施形態では順方向反射 R F 電力）を反復的に測定すること、ならびに、どの構成が最も低い反射 R F 電力および／または最も低い反射対順方向電力比をもたらすかを決定することによって決定され得る。

10

【 0 1 4 2 】

システムコントローラが、整合が許容できないか、または最良の整合でないと決定した場合、システムコントローラは、ブロック 1 4 1 8 で、可変インピーダンス整合ネットワークを再構成することによって、整合を調整し得る。例えば、これは、可変インピーダンス整合ネットワークに制御信号を送信することによって達成し得、これにより、ネットワークに、（例えば、可変インダクタンスネットワーク 4 1 0 , 4 1 1 , 1 0 1 1 , 1 0 1 6 , 1 0 2 1 に異なるインダクタンス状態を持たせること、または、インダクタ 5 0 1 ~ 5 0 4 , 1 1 1 1 ~ 1 1 1 4 , 1 1 1 6 ~ 1 1 1 9 , 1 1 2 1 , 1 1 2 3、図 4、図 5、図 1 0、図 1 1 を回路の中もしくは外にスイッチングすることによって）ネットワーク内の可変インダクタンスを増加および／または減少させる。可変インダクタンスネットワークを再構成した後、ブロック 1 4 1 4 , 1 4 1 6 および 1 4 1 8 は、ブロック 1 4 1 6 で許容可能なまたは最良の整合が決定されるまで反復的に実行され得る。

20

【 0 1 4 3 】

許容可能なまたは最良の整合が決定されると、解凍動作が開始され得る。解凍動作の開始には、ブロック 1 4 2 0 において、R F 信号源（例えば、R F 信号源 3 2 0 , 9 2 0、図 3 および図 9）によって供給される R F 信号の電力を比較的高い電力の R F 信号に増加させることが含まれる。もう一度、システムコントローラは、電源およびバイアス回路（例えば、回路 3 2 6 , 9 2 6、図 3 および図 9）への制御信号を介して R F 信号電力レベルを制御し得、制御信号は、電源およびバイアス回路に、所望の信号電力レベルと一致する供給およびバイアス電圧を増幅器（例えば、増幅器段 3 2 4 , 3 2 5 , 9 2 4、図 3 および図 9）に供給させる。例えば、比較的高い電力の R F 信号は、約 5 0 W ~ 約 5 0 0 W の範囲の電力レベルを有する信号であり得るが、異なる電力レベルが代替的に使用され得る。

30

【 0 1 4 4 】

ブロック 1 4 2 2 において、電力検出回路（例えば、電力検出回路 3 3 0 , 9 3 0 , 9 3 0 ' , 9 3 0 ' '、図 3 および図 9）は次いで、R F 信号源と電極との間で伝送経路（例えば、経路 3 2 8 , 9 2 8、図 3 および図 9）に沿った、反射電力および、いくつかの実施形態では、順方向電力を周期的に測定し、これらの測定値をシステムコントローラに提供する。システムコントローラは、反射および順方向信号電力間の比を再び決定し得、この比に基づいてシステムの S 1 1 パラメータを決定し得る。システムコントローラは、一実施形態において、受信された電力測定値、および／または計算された比、および／または S 1 1 パラメータを、将来の評価または比較のために記憶し得る。一実施形態によれば、順方向および反射電力の周期的な測定は、かなり高い周波数（例えば、ミリ秒のオーダー）またはかなり低い周波数（例えば、数秒のオーダー）で行われ得る。例えば、周期的な測定を行うためのかなり低い周波数は、1 0 秒 ~ 2 0 秒ごとに 1 つの測定の割合であり得る。

40

【 0 1 4 5 】

ブロック 1 4 2 4 において、システムコントローラは、1 つ以上の反射信号電力測定値、1 つ以上の計算された反射対順方向信号電力比、および／または 1 つ以上の計算された S 1 1 パラメータに基づいて、可変インピーダンス整合ネットワークにより提供される整

50

合が許容可能であるかどうかを決定し得る。例えば、システムコントローラは、この決定を行う際に、単一の反射信号電力測定値、単一の計算された反射対順方向信号電力比、もしくは単一の計算されたS 1 1パラメータを使用し得、または、この決定を行う際に、多数の、以前に受信された反射信号電力測定値、以前に計算された反射対順方向電力比、もしくは以前に計算されたS 1 1パラメータ、の平均化（または他の計算）を行い得る。整合が許容可能かどうかを決定するために、システムコントローラは、例えば、受信された反射信号電力、計算された比、および／またはS 1 1パラメータを1つ以上の対応する閾値と比較し得る。例えば、一実施形態では、システムコントローラは、受信した反射信号電力を、例えば、順方向信号電力の5%（または何らかの他の値）の閾値と比較し得る。順方向信号電力の5%未満の反射信号電力は、整合が許容可能なままであることを示し得、5%を超える比は、整合がもはや許容可能でないことを示し得る。別の実施形態では、システムコントローラは、計算された反射対順方向信号電力比を10%（または何らかの他の値）の閾値と比較し得る。10%未満の比は、整合が許容可能なままであることを示し得、10%を超える比は、整合がもはや許容可能でないことを示し得る。測定された反射電力または計算された比またはS 1 1パラメータが、対応する閾値よりも大きく（すなわち、比較が好ましくない）、容認できない整合を示す場合、システムコントローラは、再びプロセス1410を実行することにより可変インピーダンス整合ネットワークの再構成を開始し得る。

10

【0146】

前述したように、可変インピーダンス整合ネットワークによって提供される整合は、負荷が温まるにつれて、負荷（例えば、負荷364、図3）のインピーダンス変化に起因して、解凍動作中に劣化し得る。解凍動作の間、キャビティ整合インダクタンスを減少させることによって（例えば、図4の可変インダクタンスネットワーク411のインダクタンスを減少させることによって）、および、RF信号源インダクタンスを増加させることによって（例えば、図4の可変インダクタンスネットワーク410のインダクタンスを増加させることによって）、最適キャビティ整合を維持し得ることが観察されている。再び図15を参照すると、例えば、解凍動作の終了時の第1のタイプの負荷に対する最適整合は点1514によって示され、解凍動作の終了時の第2のタイプの負荷に対する最適整合は点1524によって示される。両方の場合において、解凍動作の開始と完了との間の最適整合の追跡は、キャビティ整合のインダクタンスを徐々に減少させてRF信号源整合のインダクタンスを増加させることを含む。

20

30

【0147】

一実施形態によれば、可変インピーダンス整合ネットワークを再構成する反復的なプロセス1410において、システムコントローラはこの傾向を考慮に入れ得る。より詳細には、ブロック1418で可変インピーダンス整合ネットワークを再構成することによって整合を調整する場合、システムコントローラは最初に、（キャビティ整合または図4のネットワーク411について）より低いインダクタンス、ならびに（RF信号源整合または図4のネットワーク410について）より高いインダクタンスに対応するキャビティおよびRF信号源整合についての、可変インダクタンスネットワークの状態を選択し得る。予想される最適整合軌道（例えば、図15に示されるもの）に従う傾向のあるインピーダンスを選択することによって、これらの傾向を考慮しない再構成プロセスと比較して、可変インピーダンス整合ネットワーク再構成プロセス1410を実行する時間を短縮し得る。

40

【0148】

代替実施形態では、システムコントローラは代わりに、許容可能な構成を決定しようと試みるために各隣接構成を反復的に試験し得る。例えば、上記の表1を再度参照すると、現在の構成が、キャビティ整合ネットワークの状態12、および、RF信号源整合ネットワークの状態3に対応する場合、システムコントローラは、キャビティ整合ネットワークについて状態11および／または状態13を試験し得、RF信号源整合ネットワークについて状態2および／または状態4を試験し得る。これらの試験が好ましい結果（すなわち、許容可能な整合）をもたらさない場合、システムコントローラは、キャビティ整合ネッ

50

トワークについて状態 10 および／または状態 14 を試験し得、RF 信号源整合ネットワークについて状態 1 および／または状態 5 を試験し得、以降同様である。

【0149】

実際には、可能なすべての可変インピーダンス整合ネットワーク構成を試験することを含む、許容可能なインピーダンス整合を有するようにシステムを再構成するためにシステムコントローラが採用し得る様々な異なる探索方法が存在する。許容可能な構成を検索するための任意の合理的な方法は、本発明の主題の範囲内にあると考えられる。いずれにしても、ブロック 1416 において許容可能な整合が決定されると、ブロック 1414 において解凍動作が再開され、プロセスは反復を続ける。

【0150】

ブロック 1424 に参照を戻すと、システムコントローラが、1 つ以上の反射電力測定値、1 つ以上の計算された反射対順方向信号電力比、および／または 1 つ以上の計算された S11 パラメータに基づいて、可変インピーダンス整合ネットワークにより提供される整合が依然として許容可能である（例えば、反射電力測定値、計算された比、または S11 パラメータが、対応する閾値よりも小さいか、または比較が好ましい）と決定する場合、システムは、終了条件がブロック 1426 内で発生したかどうかを評価し得る。実際には、終了条件が発生したかどうかの決定は、解凍プロセス中の任意の時点で発生し得る割り込み駆動プロセスであり得る。しかしながら、図 14 のフローチャートに含めるために、このプロセスは、ブロック 1424 の後に発生するよう示されている。

【0151】

いずれにせよ、いくつかの条件が、解凍動作の停止を保証し得る。例えば、システムは、安全インターロックが破られたときに終了条件が発生したと決定し得る。あるいは、システムは、（例えば、図 3 および図 9 のユーザインタフェース 380、980 を介して）ユーザによって設定されたタイマが終了したとき、または、解凍動作をどのくらいの長さ実行するべきかについてのシステムコントローラの推定値に基づいてシステムコントローラによって確立されたタイマが終了したときに、終了条件が発生したと決定し得る。さらに別の代替実施形態において、システムは、解凍動作の完了を別様に検知してもよい。

【0152】

終了条件が発生していない場合は次いで、ブロック 1422 および 1424（および必要に応じて整合ネットワーク再構成プロセス 1410）を反復的に実行することによって、解凍動作を継続し得る。終了条件が発生すると、ブロック 1428 において、システムコントローラは、RF 信号源による RF 信号の供給を中止させる。例えば、システムコントローラは、RF 信号発生器（例えば、RF 信号発生器 322、922、図 3 および図 9）を無効化し得、ならびに／または、電源およびバイアス回路（例えば、回路 326、926、図 3 および図 9）に供給電流の供給を停止させ得る。さらに、システムコントローラは、ユーザインタフェース（例えば、ユーザインタフェース 380、980、図 3 および図 9）に、（例えば、「ドア開」または「完了」を表示デバイス上に表示することまたは可聴トーンを提供することによって）ユーザ知覚可能な終了条件の表示をユーザインタフェースに生成させる信号を送信し得る。そして、方法は終了し得る。

【0153】

図 14 に示すブロックに関連する動作の順序は、例示的な実施形態に対応するものであり、図示された順序にのみ動作のシーケンスを限定すると解釈されるべきではないことを理解されたい。代わりに、いくつかの動作は異なる順序で実行され得、および／またはいくつかの動作は並行して実行され得る。

【0154】

本明細書に含まれる様々な図に示される接続線は、様々な要素間の例示的な機能的関係および／または物理的結合を表すことが意図されている。主題の実施形態には、多くの代替的または追加的機能関係または物理的接続が存在し得ることに留意されたい。さらに、特定の用語は、参照のみの目的のために本明細書中で使用され得、したがって限定することを意図するものではなく、用語「第 1」、「第 2」および構造を指す他のそのような数

10

20

30

40

50

値用語は、文脈によって明確に示されていない限り、シーケンスまたは順序を暗示しない。本明細書で使用される場合、「ノード」は、所与の信号、論理レベル、電圧、データパターン、電流、または量が存在する、任意の内部または外部基準点、接続点、接合、信号線、導電要素などを意味する。さらに、2つ以上のノードは、1つの物理的要素によって実現され得る（および、2つ以上の信号は、多重化、変調、または別様に区別されることができ、共通ノードで受信または出力すらされることができる）。

【0155】

前述の説明は、共に「接続された」または「結合された」要素またはノードまたは特徴を指す。本明細書で使用される場合、別段の明示的な記載がない限り、「接続された」とは、ある要素が別の要素に直接接合されている（または直接通信する）ことを意味し、必ずしも機械的に接合されている必要はない。同様に、別段の明示的な記載がない限り、「結合された」とは、ある要素が別の要素に直接的または間接的に接合されている（または直接的または間接的に通信する）ことを意味し、必ずしも機械的に接合されている必要はない。したがって、図面に示される概略図は、要素の1つの例示的な配置を示しているが、図示された主題の実施形態に追加の介在要素、デバイス、特徴または構成要素が存在し得る。

【0156】

熱上昇システムの実施形態は、負荷を収容するためのキャビティに結合される。熱上昇システムは、RF信号を供給するように構成されたRF信号源と、伝送経路と、インピーダンス整合ネットワークと、電力検出回路と、コントローラとを含む。伝送経路は、RF信号源とキャビティを横切って配置された第1および第2の電極間に電氣的に結合される。インピーダンス整合は、伝送経路に沿って電氣的に結合され、インピーダンス整合ネットワークは、可変受動構成要素のネットワークを含む。電力検出回路は、伝送経路に沿った反射信号電力を検出するように構成される。コントローラは、反射信号電力に基づいて、インピーダンス整合ネットワークの1つ以上の可変受動構成要素の1つ以上の値を修正して、反射信号電力を低減するように構成される。

【0157】

キャビティを含む熱上昇システムを動作させる方法の実施形態は、RF信号源が、1つ以上のRF信号を、RF信号源とキャビティを横切って配置された第1および第2の電極間に電氣的に結合された伝送経路に供給する工程を備える。方法はさらに、伝送経路に沿った反射信号電力を電力検出回路が検出する工程と、反射信号電力を減少させるために伝送経路に沿って電氣的に結合されたインピーダンス整合ネットワークの1つ以上の可変受動構成要素の1つ以上の値をコントローラが修正する工程とを備える。

【0158】

少なくとも1つの例示的な実施形態が前述の詳細な説明で提示されているが、膨大な数の変形例が存在することを理解されたい。本明細書に記載された1つまたは複数の例示的な実施形態は、特許請求の範囲に記載された主題の、範囲、適用可能性または構成を決して限定するものではないことを理解されたい。むしろ、上述の詳細な説明は、記載された1つまたは複数の実施形態を実装するための便利なロードマップを当業者に提供するであろう。この特許出願を出願した時点での既知の均等物および予見可能な均等物を含む、特許請求の範囲によって規定される範囲から逸脱することなく、要素の機能および配置に様々な変更を加えることができることを理解されたい。

10

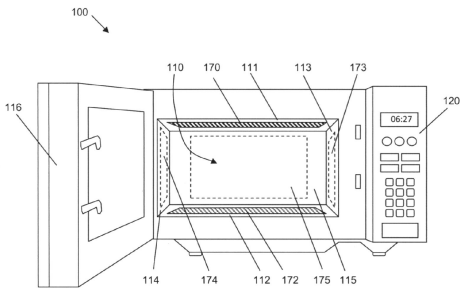
20

30

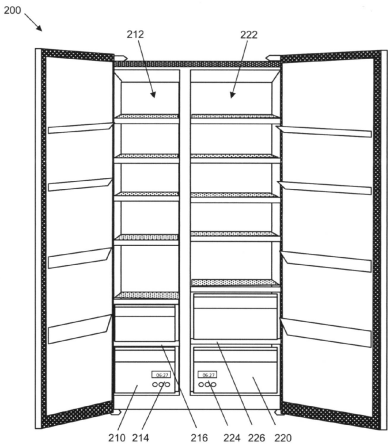
40

50

【図面】
【図 1】



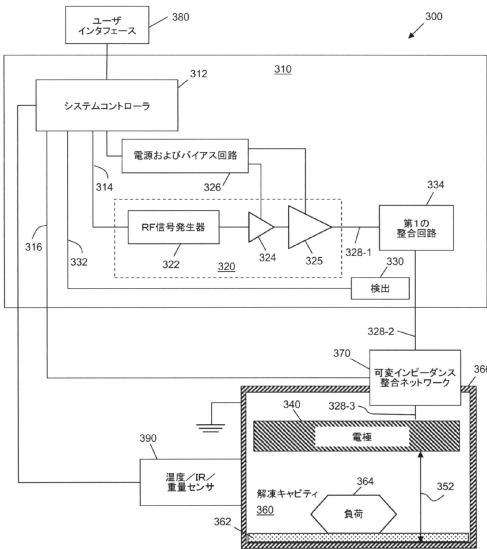
【図 2】



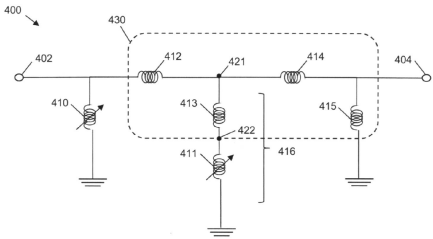
10

20

【図 3】



【図 4】

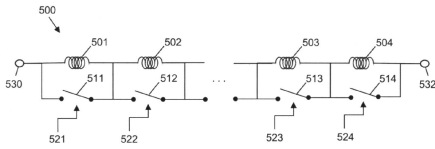


30

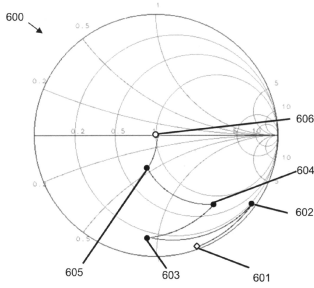
40

50

【図 5】



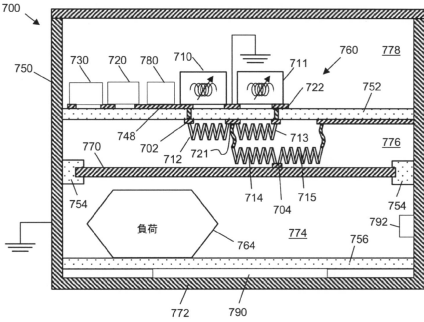
【図 6】



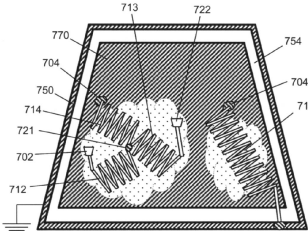
10

20

【図 7】



【図 8】

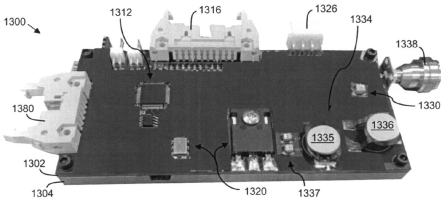


30

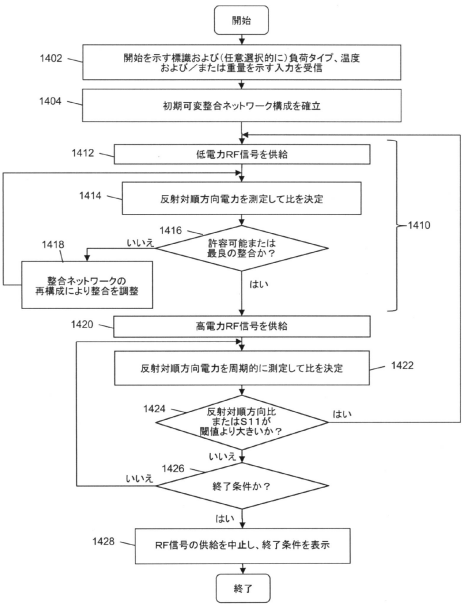
40

50

【図 1 3】



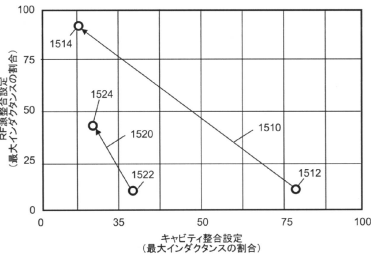
【図 1 4】



10

20

【図 1 5】



30

40

50

フロントページの続き

- (72)発明者 ライオネル モンジャン
アメリカ合衆国 78735 テキサス州 オースティン ウィリアム キャノン ドライブ ウエスト
6501 エヌエックスピー ユーエスエイ インコーポレイテッド
- (72)発明者 ジェレミー サイモン
アメリカ合衆国 78735 テキサス州 オースティン ウィリアム キャノン ドライブ ウエスト
6501 エヌエックスピー ユーエスエイ インコーポレイテッド
- (72)発明者 ジェイムズ エリック スコット
アメリカ合衆国 78735 テキサス州 オースティン ウィリアム キャノン ドライブ ウエスト
6501 エヌエックスピー ユーエスエイ インコーポレイテッド
- (72)発明者 シャオフェイ キュー
アメリカ合衆国 78735 テキサス州 オースティン ウィリアム キャノン ドライブ ウエスト
6501 エヌエックスピー ユーエスエイ インコーポレイテッド

審査官 川口 聖司

- (56)参考文献 特開2005-056781 (JP, A)
米国特許出願公開第2017/0302236 (US, A1)
特開2004-362916 (JP, A)
特開2003-347034 (JP, A)
特開2008-047938 (JP, A)
特開2014-225862 (JP, A)
特開2017-017003 (JP, A)
特開平07-249486 (JP, A)
特開平08-255682 (JP, A)
英国特許出願公開第02465442 (GB, A)

- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H05B 6/48- 6/50
H05B 6/66- 6/68
H05B 11/00
A23L 3/36- 3/54
F25D 23/10-23/12