



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108924982 B
(45) 授权公告日 2021. 06. 08

(21) 申请号 201810799956.0
(22) 申请日 2018.07.20
(65) 同一申请的已公布的文献号
 申请公布号 CN 108924982 A
(43) 申请公布日 2018.11.30
(30) 优先权数据
 17306854.5 2017.12.20 EP
(73) 专利权人 恩智浦美国有限公司
 地址 美国得克萨斯
(72) 发明人 P·M·J·皮埃尔 L·莫金
 J·西蒙 J·E·司各特 邱小飞
(74) 专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所
 有限公司 11038
 代理人 刘偶

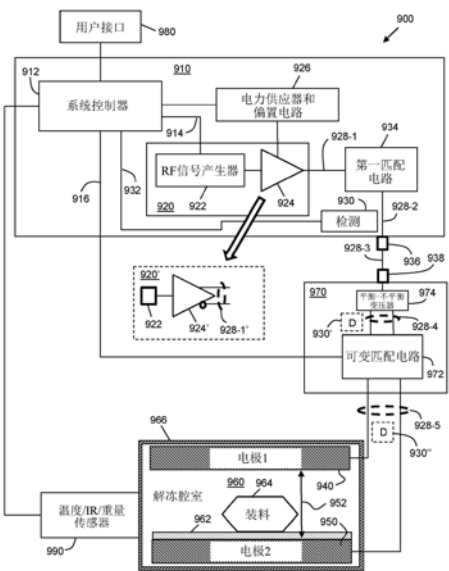
(51) Int.Cl.
 H05B 6/66 (2006.01)
 H05B 6/68 (2006.01)
 A23L 3/365 (2006.01)
 审查员 余辉

权利要求书2页 说明书32页 附图11页

(54) 发明名称
 解冻设备及其操作方法

(57) 摘要

本公开涉及解冻设备及其操作方法。提供了一种解冻系统,所述解冻系统包括:RF信号源;两个电极,所述电极接近于其内定位有待解冻装料的腔室;传输路径,所述传输路径在所述RF信号源与所述电极之间;以及阻抗匹配网络,所述阻抗匹配网络沿着所述RF信号源的输出与所述电极之间的所述传输路径电耦合。所述系统还包括功率检测电路,所述功率检测电路耦合到所述传输路径且被配置成检测沿着所述传输路径的反射信号功率。系统控制器被配置成基于所述反射信号功率修改所述阻抗匹配网络的可变无源组件的值以减少所述反射信号功率。所述阻抗匹配网络可以是单端网络或双端网络。



1. 一种热增加系统(300,900),其耦合到用于容纳装料(364,964)的腔室(360,960),其特征在于,所述热增加系统包括:

射频RF信号源(320,920,920'),其被配置成供应RF信号;

接近于第一腔室壁的第一电极(940)和接近于相对的第二腔室壁的第二电极(950),所述第一电极和所述第二电极与其余的腔室壁电隔离;

传输路径(328,928),其电耦合于所述RF信号源与跨越所述腔室定位的所述第一电极(940)和所述第二电极(950)之间;

阻抗匹配网络(370,400,972,1000,1100),其沿着所述传输路径电耦合,其中所述阻抗匹配网络包括可变无源组件(410,411,501-504,1011,1016,1021,1111-1114,1016-1019,1021,1023)的网络;

功率检测电路(330,930,930',930''),其被配置成检测沿着所述传输路径的反射信号功率;以及

控制器(312,912),其被配置成基于所述反射信号功率修改所述阻抗匹配网络的所述可变无源组件中的一个或多个的一个或多个值以减少所述反射信号功率。

2. 根据权利要求1所述的热增加系统,其特征在于,所述RF信号源被配置成产生非平衡RF信号,且所述系统进一步包括:

转换设备(974),其具有耦合到所述RF信号源的输出的输入以及耦合到所述第一和第二电极(940,950)的两个输出,其中所述RF信号转换装置被配置成在所述输入处接收所述非平衡RF信号,将所述非平衡RF信号转换为包括第一和第二平衡RF信号的平衡RF信号,且在所述两个输出处产生所述第一和第二平衡RF信号。

3. 根据权利要求2所述的热增加系统,其特征在于,所述转换设备包括平衡-不平衡变压器(974)。

4. 根据在前的任一项权利要求所述的热增加系统,其特征在于,所述RF信号源包括平衡放大器(924'),所述平衡放大器被配置成在所述RF信号源的两个输出处产生两个平衡RF信号,其中所述两个输出耦合到所述第一和第二电极。

5. 根据权利要求1-3中任一项所述的热增加系统,其特征在于,所述阻抗匹配网络是包括以下各项的双端可变阻抗匹配网络(1000,1100):

第一和第二输入(1001-1,1001-2,1101-1,1101-2);

第一和第二输出(1002-1,1002-2,1102-1,1102-2);

第一可变阻抗电路(1011),其连接于所述第一输入与所述第一输出之间;以及

第二可变阻抗电路(1016),其连接于所述第二输入与所述第二输出之间。

6. 根据权利要求5所述的热增加系统,其特征在于:

所述第一可变阻抗电路包括串联连接于所述第一输入与所述第一输出之间的多个第一无源组件(1111-1114)以及多个第一旁路开关(1131-1134),其中所述第一旁路开关中的每一个跨越所述第一无源组件中的一个的端并联连接,且所述第一旁路开关中的每一个的导电状态是通过来自所述控制器(912)的控制信号(1151-1154)控制;且

所述第二可变阻抗电路包括串联连接于所述第二输入与所述第二输出之间的多个第二无源组件(1116-1119)以及多个第二旁路开关(1136-1139),其中所述第二旁路开关中的每一个跨越所述第二无源组件中的一个的端并联连接,且所述第二旁路开关中的每一个的

导电状态是通过来自所述控制器(912)的控制信号(1156-1159)控制。

7. 根据权利要求6所述的热增加系统,其特征在于:

所述第一无源组件包括至少与第二电感器(1112)串联耦合的第一电感器(1111);

所述第二无源组件包括至少与第四电感器(1117)串联耦合的第三电感器(1116);

所述第一和第三电感器(1111,1116)构成具有相等值的第一组配对电感器,且在所述系统的操作期间,跨越所述第一电感器连接的第一旁路开关(1131)和跨越所述第三电感器连接的第三旁路(1136)开关的操作状态被控制为相同的;且

所述第二和第四电感器(1112,1117)构成具有相等值的第二组配对电感器,且在所述系统的操作期间,跨越所述第二电感器连接的第二旁路开关(1132)和跨越所述第四电感器连接的第四旁路开关(1137)的操作状态被控制为相同的。

8. 根据权利要求1-3中任一项所述的热增加系统,其特征在于,所述阻抗匹配网络是包括以下各项的单端可变阻抗匹配网络(500):

输入(402);

输出(404);

多个无源组件(410,411,501-504),其连接于所述输入与所述输出之间;以及

多个旁路开关(511-514),其中所述旁路开关中的每一个跨越所述无源组件中的一个的端并联连接,且所述旁路开关中的每一个的导电状态是通过来自所述控制器(312)的控制信号(521-524)控制。

9. 根据权利要求8所述的热增加系统,其特征在于,所述多个无源组件包括串联耦合于所述输入与所述输出之间的多个电感器(511-514)。

10. 一种操作包括腔室(360,960)的热增加系统(300,900)的方法,其特征在于,所述方法包括:

由射频RF信号源(320,920)将一个或多个RF信号供应(1420)到传输路径(328,928),所述传输路径电耦合于所述RF信号源与跨越所述腔室定位的第一电极(940)和第二电极(950)之间,所述第一电极(940)接近于第一腔室壁和所述第二电极(950)接近于相对的第二腔室壁,所述第一电极和所述第二电极与其余的腔室壁电隔离;

由功率检测电路(330,930,930',930'')检测(1414)沿着所述传输路径的反射信号功率;以及

由控制器(312,912)修改(1418)沿着所述传输路径电耦合的阻抗匹配网络(370,400,972,1000,1100)的可变无源组件(410,411,501-504,1011,1016,1021,1111-1114,1016-1019,1021,1023)中的一个或多个的一个或多个值以减少所述反射信号功率。

解冻设备及其操作方法

技术领域

[0001] 本文中所述的主题的实施例大体上涉及使用射频 (RF) 能量解冻装料的设备和方法。

背景技术

[0002] 常规的电容性食物解冻 (或融化) 系统包括包含在加热室内的大型平面电极。在将食物装料放置在电极之间且使电极与食物装料接触之后, 将低功率电磁能供应到电极, 以实现食物装料轻微加热。随着在解冻操作期间食物装料融化, 食物装料的阻抗发生改变。因此, 到食物装料的电力传递也在解冻操作期间发生改变。可 (例如) 基于食物装料的重量而确定解冻操作的持续时间, 并且可使用计时器以控制所述操作的终止。

[0003] 尽管使用此类系统可能实现良好的解冻结果, 但是食物装料阻抗的动态改变可导致食物装料的解冻效率低下。此外, 在基于重量确定解冻操作的持续时间中固有的不准确性可导致解冻操作过早终止, 或在食物装料已经开始烹调之后的较晚终止。所需要的是用于解冻食物装料 (或其它类型装料) 的设备和方法, 所述设备和方法可以带来整个装料的高效和均匀解冻以及当装料处于所需温度时解冻操作的终止。

发明内容

[0004] 根据本发明的第一方面, 提供一种热增加系统, 其耦合到用于容纳装料的腔室, 所述热增加系统包括:

[0005] 射频RF信号源, 其被配置成供应RF信号;

[0006] 传输路径, 其电耦合于所述RF信号源与跨越所述腔室定位的第一和第二电极之间;

[0007] 阻抗匹配网络, 其沿着所述传输路径电耦合, 其中所述阻抗匹配网络包括可变无源组件的网络;

[0008] 功率检测电路, 其被配置成检测沿着所述传输路径的反射信号功率; 以及

[0009] 控制器, 其被配置成基于所述反射信号功率修改所述阻抗匹配网络的所述可变无源组件中的一个或多个的一个或多个值以减少所述反射信号功率。

[0010] 在一个或多个实施例中, 所述RF信号源被配置成产生非平衡RF信号, 且所述系统进一步包括:

[0011] 转换设备, 其具有耦合到所述RF信号源的输出的输入以及耦合到所述第一和第二电极的两个输出, 其中所述RF信号转换装置被配置成在所述输入处接收所述非平衡RF信号, 将所述非平衡RF信号转换为包括第一和第二平衡RF信号的平衡RF信号, 且在所述两个输出处产生所述第一和第二平衡RF信号。

[0012] 在一个或多个实施例中, 所述转换设备包括平衡-不平衡变压器。

[0013] 在一个或多个实施例中, 所述RF信号源包括平衡放大器, 所述平衡放大器被配置成在所述RF信号源的两个输出处产生两个平衡RF信号, 其中所述两个输出耦合到所述第一

和第二电极。

[0014] 在一个或多个实施例中,所述阻抗匹配网络是包括以下各项的双端可变阻抗匹配网络:

[0015] 第一和第二输入;

[0016] 第一和第二输出;

[0017] 第一可变阻抗电路,其连接于所述第一输入与所述第一输出之间;以及

[0018] 第二可变阻抗电路,其连接于所述第二输入与所述第二输出之间。

[0019] 在一个或多个实施例中,所述第一可变阻抗电路包括串联连接于所述第一输入与所述第一输出之间的多个第一无源组件以及多个第一旁路开关,其中所述第一旁路开关中的每一个跨越所述第一无源组件中的一个的端并联连接,且所述第一旁路开关中的每一个的导电状态是通过来自所述控制器的控制信号控制;且

[0020] 所述第二可变阻抗电路包括串联连接于所述第二输入与所述第二输出之间的多个第二无源组件以及多个第二旁路开关,其中所述第二旁路开关中的每一个跨越所述第二无源组件中的一个的端并联连接,且所述第二旁路开关中的每一个的导电状态是通过来自所述控制器的控制信号控制。

[0021] 在一个或多个实施例中,所述第一无源组件包括至少与第二电感器串联耦合的第一电感器;

[0022] 所述第二无源组件包括至少与第四电感器串联耦合的第三电感器;

[0023] 所述第一和第三电感器构成具有大体上相等值的第一组配对电感器,且在所述系统的操作期间,跨越所述第一电感器连接的第一旁路开关和跨越所述第三电感器连接的第三旁路开关的操作状态被控制为相同的;且

[0024] 所述第二和第四电感器构成具有大体上相等值的第二组配对电感器,且在所述系统的操作期间,跨越所述第二电感器连接的第二旁路开关和跨越所述第四电感器连接的第四旁路开关的操作状态被控制为相同的。

[0025] 在一个或多个实施例中,所述阻抗匹配网络是包括以下各项的单端可变阻抗匹配网络:

[0026] 输入;

[0027] 输出;

[0028] 多个无源组件,其连接于所述输入与所述输出之间;以及

[0029] 多个旁路开关,其中所述旁路开关中的每一个跨越所述无源组件中的一个的端并联连接,且所述旁路开关中的每一个的导电状态是通过来自所述控制器的控制信号控制。

[0030] 在一个或多个实施例中,所述多个无源组件包括串联耦合于所述输入与所述输出之间的多个电感器。

[0031] 在一个或多个实施例中,所述多个电感器中的至少一些具有不同电感值。

[0032] 在一个或多个实施例中,所述功率检测电路进一步被配置成检测沿着所述传输路径的前向信号功率;且

[0033] 所述控制器被配置成基于所述反射信号功率和所述前向信号功率修改所述可变无源组件中的所述一个或多个的所述一个或多个值。

[0034] 根据本发明的第二方面,提供一种操作包括腔室的热增加系统的方法,所述方法

包括：

[0035] 由射频 (RF) 信号源将一个或多个 RF 信号供应到传输路径, 所述传输路径电耦合于所述 RF 信号源与跨越所述腔室定位的第一和第二电极之间；

[0036] 由功率检测电路检测沿着所述传输路径的反射信号功率；以及

[0037] 由控制器修改沿着所述传输路径电耦合的阻抗匹配网络的可变无源组件中的一个或多个的一个或多个值以减少所述反射信号功率。

[0038] 在一个或多个实施例中, 所述 RF 信号源被配置成产生非平衡 RF 信号, 且所述方法进一步包括：

[0039] 由转换设备将所述非平衡 RF 信号转换为包括第一和第二平衡 RF 信号的平衡 RF 信号；以及

[0040] 将所述第一平衡 RF 信号递送到所述第一电极；以及

[0041] 将所述第二平衡信号递送到所述第二电极。

[0042] 在一个或多个实施例中, 所述阻抗匹配网络是双端可变阻抗匹配网络, 所述双端可变阻抗匹配网络包括第一和第二输入、第一和第二输出、连接于所述第一输入与所述第一输出之间的第一可变阻抗电路以及连接于所述第二输入与所述第二输出之间的第二可变阻抗电路, 且其中所述方法进一步包括：

[0043] 将控制信号发送到多个第一旁路开关以控制所述第一旁路开关的导电状态, 其中所述第一旁路开关中的每一个跨越所述第一可变阻抗电路的不同无源组件的端并联连接；以及

[0044] 将控制信号发送到多个第二旁路开关以控制所述第二旁路开关的导电状态, 其中所述第二旁路开关中的每一个跨越所述第二可变阻抗电路的不同无源组件的端并联连接。

[0045] 在一个或多个实施例中, 所述第一可变阻抗电路包括至少与第二电感器串联耦合的第一电感器；

[0046] 所述第二可变阻抗电路包括至少与第四电感器串联耦合的第三电感器；

[0047] 所述第一和第三电感器构成具有大体上相等值的第一组配对电感器, 且在所述系统的操作期间, 跨越所述第一电感器连接的第一旁路开关和跨越所述第三电感器连接的第三旁路开关的操作状态被控制为相同的；且

[0048] 所述第二和第四电感器构成具有大体上相等值的第二组配对电感器, 且在所述系统的操作期间, 跨越所述第二电感器连接的第二旁路开关和跨越所述第四电感器连接的第四旁路开关的操作状态被控制为相同的。

[0049] 本发明的这些和其它方面将根据下文中所描述的实施例显而易见, 且参考这些实施例予以阐明。

附图说明

[0050] 可以结合以下图式考虑, 通过参考具体实施方式和权利要求书得到对主题的更完整理解, 其中类似参考数字在各图中指代相似元件。

[0051] 图1是根据示例实施例的解冻器具的透视图；

[0052] 图2是包括解冻系统的其它示例实施例的制冷机/冷冻机器具的透视图；

[0053] 图3是根据示例实施例的非平衡解冻设备的简化框图；

- [0054] 图4是根据示例实施例的单端可变电感匹配网络的示意图；
- [0055] 图5是根据示例实施例的单端可变电感网络的示意图；
- [0056] 图6是描绘在可变阻抗匹配网络实施例中的多个电感可如何匹配输入腔室阻抗与RF信号源的史密斯圆图的例子；
- [0057] 图7是根据示例实施例的解冻系统的横截面侧视图；
- [0058] 图8是根据示例实施例的解冻系统的一部分的透视图；
- [0059] 图9是根据另一示例实施例的平衡解冻设备的简化框图；
- [0060] 图10是根据另一示例实施例的双端可变阻抗匹配网络的示意图；
- [0061] 图11是根据另一示例实施例的双端可变阻抗网络的示意图；
- [0062] 图12是根据示例实施例的双端可变阻抗匹配网络模块的透视图；
- [0063] 图13是根据示例实施例的RF模块的透视图；
- [0064] 图14是根据示例实施例的使用动态负载匹配操作解冻系统的方法的流程图；以及
- [0065] 图15是绘制通过用于两种不同装料的解冻操作的腔室匹配设定与RF信号源匹配设定比较的图表。

具体实施方式

[0066] 以下详细描述本质上仅为说明性的，且并不意图限制标的物的实施例或此类实施例的应用和使用。本文中所使用的词语“示例性”和“例子”意味着“充当例子、实例或说明”。本文中描述为示例性或例子的任何实施方案未必应被解释为比其它实施方案优选或有利。此外，不希望受先前技术领域、背景技术或以下详细描述中呈现的任何所表达或暗示的理论的限定。

[0067] 本文中所描述的主题的实施例涉及可并入到单独器具或其它系统中的固态解冻设备。如下文更详细地描述，固态解冻设备的实施例包括“非平衡”解冻设备和“平衡”设备。举例来说，示例性“非平衡”解冻系统是使用以下各项来实现：安置于腔室中的第一电极，单端放大器布置（包括一个或多个晶体管），耦合于放大器布置的输出与第一电极之间的单端阻抗匹配网络，以及可检测解冻操作何时已完成的测量与控制系统。相比之下，示例性“平衡”解冻系统是使用以下各项来实现：安置于腔室中的第一和第二电极，单端或双端放大器布置（包括一个或多个晶体管），耦合于放大器布置的输出与第一和第二电极之间的双端阻抗匹配网络，以及可检测解冻操作何时已完成的测量与控制系统。在各种实施例中，阻抗匹配网络包括可变阻抗匹配网络，所述可变阻抗匹配网络可在解冻操作期间进行调整以改善放大器布置与腔室之间的匹配。

[0068] 大体上，术语“解冻”意味着将冻结装料（例如，食物装料或其它类型的装料）的温度升高到所述装料不再冻结的温度（例如，在0摄氏度处或附近的温度）。如本文中所使用，术语“解冻”更广泛地意味着通过对装料施加RF功率而增加装料（例如，食物装料或其它类型的装料）的热能或温度的过程。因此，在各种实施例中，可以对具有任何初始温度（例如，高于或低于0摄氏度的任何初始温度）的装料执行“解冻操作”，且可以在高于初始温度的任何最终温度（例如，包括高于或低于0摄氏度的最终温度）时停止解冻操作。也就是说，本文中所描述的“解冻操作”和“解冻系统”可替换地被称为“热增加操作”和“热增加系统”。术语“解冻”不应被解释为将本发明的应用限制于仅能够将冻结装料的温度升高到在0摄氏度处

或附近的温度的方法或系统。

[0069] 图1是根据示例实施例的解冻系统100的透视图。解冻系统100包括解冻腔室110 (例如,腔室360、960,图3、9)、控制面板120、一个或多个射频(RF)信号源(例如,RF信号源320、920,图3、9)、电力供应器(例如,电力供应器326、926,图3、9)、第一电极170(例如,电极340、940,图3、9)、第二电极172(例如,电极950,图9)、阻抗匹配电路(例如,电路334、370、934、972,图3、9)、功率检测电路(例如,功率检测电路330、930,图3、9),以及系统控制器(例如,系统控制器312、912,图3、9)。解冻腔室110由顶部、底部、侧部和背面腔室壁111、112、113、114、115的内表面和门116的内表面限定。在门116关闭的情况下,解冻腔室110限定封闭的空气腔室。如本文中所使用,术语“空气腔室”可意味着包含空气或其它气体的封闭区域(例如,解冻腔室110)。

[0070] 根据“非平衡”实施例,第一电极170被布置成接近于腔室壁(例如,顶壁111),所述第一电极170与其余的腔室壁(例如,壁112-115和门116)电隔离,且其余的腔室壁均接地。在此类配置中,系统可以简单化的方式建模成电容器,其中第一电极170充当一个导电板(或电极),接地的腔室壁(例如,壁112-115)充当第二导电板(或电极),且空气腔室(包括包含于其中的任何装料)充当所述第一导电板与所述第二导电板之间的电介质。尽管在图1中未示出,但是不导电障壁(例如,障壁362、962,图3、9)还可包括在系统100中,且不导电障壁可用于以电气和物理方式将装料与底部腔室壁112隔离。尽管图1示出了第一电极170接近于顶壁111,但是第一电极170可替换地是可接近于其它壁112-115中的任一个,如由电极172-175指示。

[0071] 根据“平衡”实施例,第一电极170被布置成接近于第一腔室壁(例如,顶壁111),第二电极172被布置成接近于相对的第二腔室壁(例如,底壁112),且第一和第二电极170、172与其余腔室壁(例如,壁113-115和门116)电隔离。在此类配置中,系统也可以简单化的方式建模成电容器,其中第一电极170充当一个导电板(或电极),第二电极172充当第二导电板(或电极),且空气腔室(包括包含于其中的任何装料)充当所述第一导电板与所述第二导电板之间的电介质。虽然在图1中未示出,但不导电障壁(例如,障壁914、图9)也可以包括在系统100中,且所述不导电障壁可用于以电气和物理方式使装料与第二电极172和底部腔室壁112隔离。虽然图1示出第一电极170接近于顶壁111,且第二电极172接近于底壁112,但第一电极170和第二电极172可替换的是可以接近于其它相对壁(例如,第一电极可以是接近于壁113的电极173,且第二电极可以是接近于壁114的电极174)。

[0072] 根据实施例,在解冻系统100的操作期间,用户(未示出)可将一个或多个装料(例如,食物和/或液体)放入解冻腔室110,且任选地可经由控制面板120提供指定装料的特性的输入。举例来说,指定的特性可包括装料的大致重量。此外,所指定的装料特性可指示形成装料的材料(例如,肉类、面包、液体)。在替代实施例中,可以某一其它方式(例如,通过扫描装料包装上的条形码或从装料上或嵌入装料内的射频识别(RFID)标签接收RFID信号)而获得装料特性。无论哪种方式,如稍后将更详细描述,关于这些装料特性的信息使得系统控制器(例如,系统控制器312、912,图3、9)能够在解冻操作的开始时建立系统的阻抗匹配网络的初始状态,其中所述初始状态可以相对接近于实现进入装料的最大RF功率传送的最佳状态。可替换的是,在解冻操作开始之前可能并不输入或接收装料特性,且系统控制器可建立用于阻抗匹配网络的默认初始状态。

[0073] 为了开始解冻操作,用户可经由控制面板120提供输入。作为响应,系统控制器致使RF信号源(例如,RF信号源320、920,图3、9)在非平衡实施例中将RF信号供应到第一电极170,或在平衡实施例中供应到第一电极170和第二电极172两者,且电极响应性地将电磁能辐射进入解冻腔室110。所述电磁能增加装料的热能(即,电磁能造成装料升温)。

[0074] 在解冻操作期间,装料的阻抗(且因此腔室110加装料的总输入阻抗)随着装料热能的增加而改变。阻抗变化更改了装料对RF能量的吸收,且因此更改了反射功率的量值。根据实施例,功率检测电路(例如,功率检测电路330、930,图3、9)连续地或周期性地测量沿着RF信号源(例如,RF信号源320、920,图3、9)与电极170、172之间的传输路径(例如,传输路径328、928,图3、9)的反射功率。基于这些测量值,系统控制器(例如,系统控制器312、912,图3、9)可以检测解冻操作的完成,如下文将详细描述。根据又一实施例,阻抗匹配网络是可变的,且基于反射功率测量(或前向功率和反射功率测量值两者),系统控制器可以在解冻操作期间更改阻抗匹配网络的状态以增加装料对RF功率的吸收。

[0075] 图1的解冻系统100体现为台面型的器具。在另一实施例中,解冻系统100还可包括用于执行微波烹饪操作的组件和功能性。可替换的是,解冻系统的组件可并入于其它类型的系统或器具中。举例来说,图2是包括解冻系统210、220的其它示例实施例的制冷机/冷冻机器具200的透视图。更确切地说,解冻系统210示出为并入在系统200的冷冻机室212内,且解冻系统220示出为并入在系统的制冷机室222内。实际的制冷机/冷冻机器具可能将包括解冻系统210、220中的仅一个,但这两者均在图2中示出以简明地传达这两者的实施例。

[0076] 类似于解冻系统100,解冻系统210、220中的每一个包括解冻腔室、控制面板214、224、一个或多个RF信号源(例如,RF信号源320、920,图3、9)、电力供应器(例如,电力供应器326、926,图3、9)、第一电极(例如,电极340、940,图3、9)、第二电极172(例如,密闭结构366、电极950,图3、9)、阻抗匹配电路(例如,电路334、370、934、972,图3、9)、功率检测电路(例如,功率检测电路330、930,图3、9),以及系统控制器(例如,系统控制器312、912,图3、9)。举例来说,解冻腔室可由抽屉的底壁、侧壁、前壁和后壁的内表面以及抽屉在其下滑动的固定搁架216、226的内部顶表面限定。在抽屉完全在搁架下方滑动的情况下,抽屉和搁架将腔室限定为封闭的空气腔室。在各种实施例中,解冻系统210、220的组件和功能性可与解冻系统100的组件和功能性大体上相同。

[0077] 此外,根据实施例,解冻系统210、220中的每一个可分别与其中安置有系统210的冷冻机室212或其中安置有系统220的制冷机室222具有充足的热连通。在此类实施例中,在完成解冻操作之后,装料可维持在安全温度(即,延缓食物腐败的温度),直到将所述装料从系统210、220中移出。更确切地说,基于冷冻机的解冻系统210完成解冻操作后,其内包含解冻后的装料的腔室可与冷冻机室212热连通,且如果不迅速将装料从腔室中移出,那么装料可能再次冻结。类似地,当通过基于制冷机的解冻系统220完成解冻操作时,其内包含解冻装料的腔室可与制冷机室222热连通,且如果不迅速将装料从腔室中移出,那么装料可能在制冷机室222内的温度下保持解冻状态。

[0078] 基于本文中的描述,本领域的技术人员将理解,解冻系统的实施例还可并入于具有其它配置的系统或器具中。因此,解冻系统在独立器具、微波炉器具、冷冻机和制冷机中的上述实施方案并不有意将实施例的使用仅限于那些类型的系统。

[0079] 虽然解冻系统100、200示出为其组件相对于彼此处于特定的相对定向,但应了解,

各种组件也可以不同地定向另外,各种组件的物理配置可不同。举例来说,控制面板120、214、224可具有更多、更少或不同的用户接口元件,和/或用户接口元件可以不同方式布置。此外,尽管在图1中示出大体上立方形的解冻腔室110,但应理解在其它实施例中,解冻腔室可具有不同形状(例如,圆柱形,等等)。此外,解冻系统100、210、220可以包含未在图1、2中具体描绘的额外组件(例如,风扇、静止或旋转板、托盘、电线等)。

[0080] 图3是根据示例实施例的非平衡解冻系统300(例如,解冻系统100、210、220,图1、2)的简化框图。在一实施例中,解冻系统300包括RF子系统310、解冻腔室360、用户接口380、系统控制器312、RF信号源320、电力供应器和偏置电路326、可变阻抗匹配网络370、电极340、密闭结构366以及功率检测电路330。另外,在其它实施例中,解冻系统300可以包括温度传感器、红外(IR)传感器和/或重量传感器390,但可以排除这些传感器组件中的一些或全部。应理解图3为出于解释和方便描述的目的的解冻系统300的简化表示,且其实际实施例可包括其它装置和组件,以提供额外功能和特征,和/或解冻系统300可为较大电力系统的部分。

[0081] 用户接口380可对应于例如能够使用户向系统提供关于用于解冻操作的参数的输入(例如,待解冻装料的特性等)的控制面板(例如,控制面板120、214、224,图1、图2)、开始和取消按钮、机械控件(例如,门/抽屉打开门锁)等。此外,用户接口可被配置成提供指示解冻操作的状态的用户可感知输出(例如,倒数计时器、指示解冻操作的进度或完成的可见标志和/或指示解冻操作的完成的可听音)和其它信息。

[0082] 解冻系统300的一些实施例可以包括温度传感器、IR传感器和/或重量传感器390。温度传感器和/或IR传感器可定位在使得能够在解冻操作期间感测装料364的温度的位置。当提供到系统控制器312时,温度信息使得系统控制器312能够更改由RF信号源320供应的RF信号的功率(例如,通过控制由电力供应器和偏置电路326提供的偏置和/或供应电压),调整可变阻抗匹配网络370的状态,和/或确定何时应当终止解冻操作。重量传感器定位于装料364下方,且被配置成将装料364的重量的估计提供到系统控制器312。系统控制器312可以例如使用此信息来确定由RF信号源320供应的RF信号的所需功率电平,确定用于可变阻抗匹配网络370的初始设定,和/或确定用于解冻操作的近似持续时间。

[0083] 在一实施例中,RF子系统310包括系统控制器312、RF信号源320、第一阻抗匹配电路334(本文为“第一匹配电路”)、电力供应器和偏置电路326以及功率检测电路330。系统控制器312可以包括一个或多个通用或专用处理器(例如,微处理器、微控制器、专用集成电路(ASIC)等)、易失性和/或非易失性存储器(例如,随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、快闪存储器、各种寄存器等)、一个或多个通信总线以及其它组件。根据实施例,系统控制器312耦合到用户接口380、RF信号源320、可变阻抗匹配网络370、功率检测电路330和传感器390(如果包括)。系统控制器312被配置成接收指示经由用户接口380接收的用户输入的信号,且从功率检测电路330接收指示RF信号反射功率(且可能RF信号前向功率)的信号。响应于接收的信号和测量值,且如稍后将更详细描述,系统控制器312将控制信号提供到电力供应器和偏置电路326和RF信号源320的RF信号产生器322。另外,系统控制器312将控制信号提供到可变阻抗匹配网络370,这致使网络370改变其状态或配置。

[0084] 解冻腔室360包括具有第一平行板电极和第二平行板电极的电容性解冻布置,所述第一平行板电极和所述第二平行板电极通过其内可放置待解冻装料364的空气腔室分隔

开。举例来说,第一电极340可以定位于空气腔室上方,且第二电极可以由密闭结构366的一部分提供。更具体地说,密闭结构366可以包括底部、顶部和侧壁,所述壁的内表面限定腔室360(例如,腔室110,图1)。根据实施例,腔室360可以密封(例如,使用门116,图1或通过滑动搁架216、226下关闭的抽屉,图2)以包含在解冻操作期间被引入到腔室360中的电磁能。系统300可包括确保在解冻操作期间密封完好的一个或多个联锁机构。如果联锁机构中的一个或多个指示密封被破坏,那么系统控制器312可停止解冻操作。根据实施例,密闭结构366至少部分地由导电材料形成,且密闭结构的导电部分可接地。可替换的是,对应于腔室360的底部表面的密闭结构366的至少部分可由导电材料形成且接地。无论哪种方式,密闭结构366(或与第一电极340平行的密闭结构366的至少部分)充当电容性解冻布置的第二电极。为避免装料364与腔室360的接地底部表面之间的直接接触,不导电障壁362可定位在腔室360的底部表面上。

[0085] 基本上,解冻腔室360包括电容性解冻布置,其具有通过空气腔室分隔开的第一和第二平行板电极340、366,待解冻的装料364可以放置于所述空气腔室内。第一电极340定位在密闭结构366内以限定电极340与密闭结构366的对置表面(例如,充当第二电极的底部表面)之间的距离352,其中在一实施例中距离352使腔室360成为子谐振腔室。

[0086] 在各种实施例中,距离352在约0.10米到约1.0米的范围中,但所述距离也可以更小或更大。根据实施例,距离352小于由RF子系统310产生的RF信号的一个波长。换句话说,如上文所提及,腔室360是子谐振腔室。在一些实施例中,距离352小于RF信号的一个波长的约一半。在其它实施例中,距离352小于RF信号的一个波长的约四分之一。在再其它实施例中,距离352小于RF信号的一个波长的约八分之一。在再其它实施例中,距离352小于RF信号的一个波长的约50分之一。在再其它实施例中,距离352小于RF信号的一个波长的约100分之一。

[0087] 大体来说,针对较低操作频率(例如,10MHz与100MHz之间的频率)设计的系统300可以被设计成具有作为一个波长的较小分数的距离352。举例来说,当系统300被设计成产生具有约10MHz的操作频率(对应于约30米的波长)的RF信号且距离352选择为约0.5米时,距离352为所述RF信号的一个波长的约60分之一。相反,当针对约300MHz的操作频率(对应于约1米的波长)设计系统300且距离352选择为约0.5米时,距离352为RF信号的一个波长的约二分之一。

[0088] 通过选择操作频率以及电极340与密闭结构366之间的距离352以限定子谐振内部腔室360,第一电极340和密闭结构366电容性耦合。更具体地说,第一电极340可以类似于电容器的第一板,密闭结构366可以类似于的第二板,且装料364、障壁362和腔室360内的空气可以类似于电容器电介质。因此,第一电极340可替换的是在本文中可以被称作“阳极”,且密闭结构366可替换的是在本文中可以被称作“阴极”。

[0089] 基本上,跨越第一电极340和密闭结构366的电压加热腔室360内的装料364。根据各种实施例,RF子系统310被配置成生成RF信号以产生电极340与密闭结构366之间的在一个实施例中处于约90伏特到约3,000伏特的范围中的电压或在另一实施例中处于约3000伏特到约10,000伏特的范围中的电压,但所述系统也可以被配置成产生电极340与密闭结构366之间的更低或更高电压。

[0090] 在一实施例中,第一电极340通过第一匹配电路334、可变阻抗匹配网络370和导电

传输路径电耦合到RF信号源320。第一匹配电路334被配置成执行从RF信号源320的阻抗(例如,小于约10欧姆)到中间阻抗(例如,50欧姆、75欧姆或某个其它值)的阻抗变换。根据实施例,所述导电传输路径包括串联连接且共同称为传输路径328的多个导体328-1、328-2和328-3。根据实施例,导电传输路径328是“非平衡”路径,其被配置成运载非平衡RF信号(即,以地面为参考的单个RF信号)。在一些实施例中,一个或多个连接器(未图示,但各自具有凸形和凹形连接器部分)可以沿着传输路径328电耦合,且传输路径328在连接器之间的部分可以包括同轴电缆或其它合适的连接器。此连接在图9中示出且稍后描述(例如,包括连接器936、938和导体928-3,例如连接器936、938之间的同轴电缆)。

[0091] 如稍后将更详细描述,可变阻抗匹配电路370被配置成执行从上文提到的中间阻抗到如通过装料364修改的解冻腔室320的输入阻抗(例如,约数百或数千欧姆,例如约1000欧姆到约4000欧姆或更大)的阻抗变换。在实施例中,可变阻抗匹配网络370包括无源组件(例如,电感器、电容器、电阻器)的网络。根据更具体实施例,可变阻抗匹配网络370包括定位在腔室360内且电耦合到第一电极340的多个固定值集总电感器(例如,电感器412-414、712-714、812-814,图4、7、8)。另外,可变阻抗匹配网络370包括可以定位于腔室360的内部或外部的多个可变电感网络(例如,网络410、411、500,图4、5)。由可变电感网络中的每一个提供的电感值是使用来自系统控制器312的控制信号建立,如稍后将更详细描述。在任何情况下,通过在解冻操作过程中改变可变阻抗匹配网络370的状态以动态匹配不断改变的腔室输入阻抗,可使装料364吸收的RF功率的量保持在高水平,即使在解冻操作期间装料阻抗发生变化。

[0092] 根据实施例,RF信号源326包括RF信号产生器322和功率放大器(例如,包括一个或多个功率放大器级324、325)。响应于由系统控制器312在连接314上提供的控制信号,RF信号产生器322被配置成产生具有ISM(工业、科学和医学)频带内频率的振荡电信号,但系统也可进行修改以支持在其它频带内的操作。RF信号产生器322可被控制以产生不同功率电平和/或不同频率的振荡信号。举例来说,RF信号产生器322可以产生在约10.0兆赫兹(MHz)到约100MHz和/或从约100MHz到约3.0千兆赫(GHz)的范围中振荡的信号。一些合意的频率可以是例如13.56MHz (+/-5%)、27.125MHz (+/-5%)、40.68MHz (+/-5%) 和2.45GHz (+/-5%)。在一个特定实施例中,举例来说,RF信号产生器322可产生在约40.66MHz到约40.70MHz范围内振荡且处于约10分贝(dB)到约15dB范围内的功率电平的信号。可替换的是,振荡的频率和/或功率电平可以更低或更高。

[0093] 在图3的实施例中,功率放大器包括驱动器放大器级324和最终放大器级325。功率放大器被配置成从RF信号产生器322接收振荡信号,且放大所述信号以在功率放大器的输出处产生显著更高功率的信号。举例来说,输出信号可具有在约100瓦特到约400瓦特或更高范围内的功率电平。可通过将由电力供应器和偏置电路326提供的栅极偏置电压和/或漏极供应电压用于每个放大器级324、325来控制由功率放大器施加的增益。更具体地说,电力供应器和偏置电路326根据从系统控制器312接收的控制信号将偏置和供应电压提供到每个RF放大器级324、325。

[0094] 在一实施例中,每一放大器级324、325被实施为功率晶体管,例如场效应晶体管(FET),其具有输入端(例如,栅极或控制端)和两个载流端(例如,源极和漏极端)。在各种实施例中,阻抗匹配电路(未示出)可耦合到驱动器与最终放大器级325之间驱动器放大器级

324的输入(例如,栅极),和/或耦合到最终放大器级325的输出(例如,漏极端)。在实施例中,放大器级324、325的每个晶体管包括横向扩散的金属氧化物半导体FET(LDMOSFET)晶体管。然而,应注意晶体管并不意图受限于任何具体半导体技术,且在其它实施例中,每一晶体管可实现为氮化镓(GaN)晶体管、另一类型的MOSFET晶体管、双极结晶体管(BJT),或利用另一半导体技术的晶体管。

[0095] 在图3中,功率放大器布置描绘为包括以特定方式耦合到其它电路组件的两个放大器级324、325。在其它实施例中,功率放大器布置可以包括其它放大器拓扑和/或放大器布置可以包括仅一个放大器级(例如,如放大器924的实施例中所示,图9)或多于两个放大器级。举例来说,功率放大器布置可以包括单端放大器、杜赫放大器、切换模式功率放大器(SMPA)或另一类型放大器的各种实施例。

[0096] 解冻腔室360和定位于解冻腔室360中的任何装料364(例如,食物、液体等)带来由第一电极340辐射到腔室360中的电磁能(或RF功率)的累积负载。更具体地说,腔室360和装料364对系统带来阻抗,在本文中被称作“腔室输入阻抗”。腔室输入阻抗在解冻操作期间随着装料364的温度增加而改变。腔室输入阻抗对沿着RF信号源320与电极340之间的导电传输路径328的反射信号功率的量值具有直接影响。在大多数情况下,期望最大化进入腔室360的传送信号功率的量值,和/或最小化沿着导电传输路径328的反射与前向信号功率比。

[0097] 为了至少部分地匹配RF信号产生器320的输出阻抗与腔室输入阻抗,在一实施例中,第一匹配电路334沿着传输路径328电耦合。第一匹配电路334可以具有多种配置中的任一种。根据实施例,第一匹配电路334包括固定组件(即,具有不可变组件值的组件),但在其它实施例中第一匹配电路334可以包括一个或多个可变组件。举例来说,在各种实施例中,第一匹配电路334可以包括选自电感/电容(LC)网络、串联电感网络、分流电感网络或者带通、高通和低通电路的组合的任何一个或多个电路。基本上,固定匹配电路334被配置成将阻抗升高到RF信号产生器320的输出阻抗与腔室输入阻抗之间的中间水平。

[0098] 如稍后将与图15结合描述,当食物装料从冷冻状态转变到解冻状态时,许多类型的食物装料的阻抗相对于温度以略微可预测的方式改变。根据实施例,基于来自功率检测电路330的反射功率测量值(在一些实施例中,和前向功率测量值),系统控制器312被配置成在解冻操作期间识别当腔室输入阻抗的变化率指示装料364正接近0°摄氏度时的时间点,此时系统控制器312可以终止解冻操作。

[0099] 根据实施例,功率检测电路330沿着RF信号源320的输出与电极340之间的传输路径328耦合。在一特定实施例中,功率检测电路330形成RF子系统310的一部分,且在一实施例中耦合到第一匹配电路334的输出与可变阻抗匹配网络370的输入之间的导体328-2。在替代实施例中,功率检测电路330可以耦合到传输路径328的在RF信号源320的输出与第一匹配电路334的输入之间的部分328-1,或耦合到传输路径328的在可变阻抗匹配网络370的输出与第一电极340之间的部分328-3。

[0100] 无论耦合于何处,功率检测电路330都被配置成监视、测量或另外检测沿着RF信号源320与电极340之间的传输路径328行进的反射信号(即,在从电极340朝向RF信号源320的方向上行进的反射RF信号)的功率。在一些实施例中,功率检测电路330还被配置成检测沿着RF信号源320与电极340之间的传输路径328行进的前向信号(即,在从RF信号源320朝向电极340的方向上行进的前向RF信号)的功率。在连接332上,功率检测电路330供应信号到

系统控制器312,将反射信号功率(在一些实施例中,和前向信号功率)的量值递送到系统控制器312。在其中递送前向和反射信号功率量值两者的实施例中,系统控制器312可以计算反射与前向信号功率比或S11参数。如将在下文更详细地描述,当反射信号功率量值超过反射信号功率阈值时,或当反射与前向信号功率比超过S11参数阈值时,这指示系统300不充分匹配于腔室输入阻抗,且在腔室360内的装料364吸收的能量可能是次最优的。在此情形下,系统控制器312编排更改可变匹配网络370的状态以驱动反射信号功率或S11参数朝向或低于所期望水平(例如,低于反射信号功率阈值和/或反射与前向信号功率比阈值)的过程,因此重新建立可接受匹配且促进装料364的更优能量吸收。

[0101] 更具体地说,系统控制器312可以在控制路径316上将控制信号提供到可变匹配电路370,其致使可变匹配电路370改变电路内的一个或多个组件的电感性、电容性和/或电阻性值,因此调整由电路370提供的阻抗变换。可变匹配电路370的配置的调整合意地减小反射信号功率的量值,其对应于减小S11参数的量值和增加装料364吸收的功率。

[0102] 如上文所论述,可变阻抗匹配网络370用于匹配解冻腔室360加装料364的输入阻抗,以尽可能地最大化传送到装料364中的RF功率。在解冻操作开始时可能无法准确得知解冻腔室360和装料364的初始阻抗。另外,装料364的阻抗在解冻操作期间随着装料364升温而改变。根据实施例,系统控制器312可将控制信号提供到可变阻抗匹配网络370,从而致使对可变阻抗匹配网络370的状态的修改。这种情况使得系统控制器312能够在解冻操作开始时建立可变阻抗匹配网络370的初始状态,所述初始状态具有相对低的反射与前向功率比,且因此具有相对高的装料364对RF功率的吸收率。此外,这种情况使得系统控制器312能够修改可变阻抗匹配网络370的状态,以使得可在整个解冻操作中保持充分的匹配,即使装料364的阻抗发生改变。

[0103] 可变匹配网络370可以具有多种配置中的任一种。举例来说,在各种实施例中,网络370可以包括选自电感/电容(LC)网络、仅电感网络、仅电容网络或者带通、高通和低通电路的组合的任何一个或多个电路。在一实施例中,可变匹配网络370包括单端网络(例如,400,图4)。使用来自系统控制器312的控制信号建立由可变匹配网络370提供的电感、电容和/或电阻值,所述值又影响由网络370提供的阻抗变换,如稍后将更详细描述。在任何情况下,通过解冻操作的过程中改变可变匹配网络370的状态以动态匹配腔室360加上腔室360内的装料364的不断改变的阻抗,在整个解冻操作中系统效率可以维持在高水平。

[0104] 可变匹配网络370可以具有广泛多种电路配置中的任一种,且这些配置的非限制性实例展示于图4和5中。根据实施例,可变阻抗匹配网络370可以包括无源组件的单端网络,且更具体来说固定值电感器(例如,集总电感组件)和可变电感器(或可变电感网络)的网络。如本文中所使用,术语“电感器”意味着在不插入其它类型组件(例如,电阻器或电容器)的情况下电耦合在一起的离散电感器或电感组件集合。

[0105] 图4是根据示例实施例的单端可变阻抗匹配网络400(例如,可变阻抗匹配网络370,图3)的示意图。如将在下文更详细地解释,可变阻抗匹配网络370基本上具有两个部分:一个部分匹配RF信号源(或最终级功率放大器);且另一部分匹配腔室加装料。

[0106] 可变阻抗匹配网络400包括根据实施例的输入节点402、输出节点404、第一可变电感网络410和第二可变电感网络411,以及多个固定值电感器412-415。当并入到解冻系统(例如,系统300,图3)中时,输入节点402电耦合到RF信号源(例如,RF信号源320,图3)的输

出,且输出节点404电耦合到解冻腔室(例如,解冻腔室360,图3)内的电极(例如,第一电极340,图3)。

[0107] 在实施例中,在输入节点402和输出节点404之间的可变阻抗匹配网络400包括串联耦合的第一集总电感器412和第二集总电感器414。在一实施例中,第一集总电感器412和第二集总电感器414在大小和电感值方面是相对大的,因为它们可以被设计用于相对低频率(例如,约4.66MHz到约4.68MHz)和高功率(例如,约50瓦(W)到约500W)操作。举例来说,电感器412、414可具有在约200毫微亨(nH)到约600nH范围内的值,但在其它实施例中其值可能更低和/或更高。

[0108] 第一可变电感网络410是耦合于输入节点402与接地参考端(例如,接地密闭结构366,图3)之间的第一分流电感性网络。根据实施例,第一可变电感网络410被配置成匹配如由第一匹配电路(例如,电路334,图3)修改的RF信号源(例如,RF信号源320,图3)的阻抗,或更具体来说匹配如由第一匹配电路334(例如,电路334,图3)修改的最终级功率放大器(例如,放大器325,图3)的阻抗。因此,第一可变电感网络410可被称为可变阻抗匹配网络400的“功率放大器匹配部分”。根据实施例,且如将结合图5更详细地描述,第一可变电感网络410包括可选择性地耦合在一起的电感组件的网络,以提供在约10nH到约400nH范围内的电感,但所述范围还可延伸到更低或更高的电感值。

[0109] 相比之下,可变阻抗匹配网络400的“腔室匹配部分”是通过耦合于节点422(在第一集总电感器412与第二集总电感器414之间)与接地参考端之间的第二分流电感网络416来提供。根据实施例,第二分流电感网络416包括串联耦合的第三集总电感器413和第二可变电感网络411,在第三集总电感器413与第二可变电感网络411之间具有中间节点422。因为可以改变第二可变电感网络411的状态以提供多个电感值,所以第二分流电感网络416被配置成最优地匹配腔室加上装料(例如,腔室360加上装料364,图3)的阻抗。举例来说,电感器413可具有在约400nH到约800nH范围内的值,但在其它实施例中其值可更低和/或更高。根据实施例,且如将结合图5更详细地描述,第二可变电感网络411包括可选择性地耦合在一起以提供在约50nH到约800nH范围内的电感的电感组件的网络,但所述范围还可延伸到更低或更高电感值。

[0110] 最后,可变阻抗匹配网络400包括耦合在输出节点404与接地参考端之间的第四集总电感器415。举例来说,电感器415可具有在约400nH到约800nH范围内的值,但在其它实施例中其值可更低和/或更高。

[0111] 如将结合图7和8更详细地描述,集总电感器412-415的集合430可以物理方式位于腔室(例如,腔室360,图3)内,或至少位于密闭结构(例如,密闭结构366,图3)的界限内。这使得由集总电感器412-415产生的辐射能够安全地包含在系统内,而不是辐射到周围环境中。相比之下,在各种实施例中,可变电感网络410、411可或可不包含在腔室或密闭结构内。

[0112] 根据实施例,图4的可变阻抗匹配网络400实施例包括“仅电感器”,以提供用于解冻腔室360加上装料364的输入阻抗的匹配。因此,网络400可被视为“仅电感器”匹配网络。如本文中所未使用,短语“仅有电感器”或“仅电感器”在描述可变阻抗匹配网络的组件时意味着网络并不包括具有大电阻值的离散电阻器或具有大电容值的离散电容器。在一些情况下,匹配网络的组件之间的导电传输线可具有极小电阻,和/或极小寄生电容可呈现在网络内。这些极小电阻和/或极小寄生电容并不解释为将“仅电感器”网络的实施例转换为还包

括电阻器和/或电容器的匹配网络。然而,本领域的技术人员将理解,可变阻抗匹配网络的其它实施例可包括以不同方式配置的仅电感器匹配网络,和包括离散电感器、离散电容器和/或离散电阻器的组合的匹配网络。如与图6结合将更详细描述,“仅电感器”匹配网络可替换的是可定义为能够使得仅仅或主要使用电感组件的电容性装料的阻抗匹配的匹配网络。

[0113] 图5是根据示例实施例的可并入到可变阻抗匹配网络(例如,为可变电感网络410和/或411,图4)中的可变电感网络500的示意图。网络500包括输入节点530、输出节点532和在输入节点530与输出节点523之间彼此串联耦合的N个离散电感器501-504,其中N可为2与10或更大之间的整数。此外,网络500包括N个旁路开关511-514,其中每个开关511-514跨越电感器501-504中的一个的端而并联耦合。开关511-514可被实施为例如晶体管、机械继电器或机械开关。每一开关511-514的导电状态(即,断开或闭合)是通过来自系统控制器(例如,系统控制器312,图3)的控制信号521-524控制。

[0114] 对于每个并联电感器/开关组合,当电感器的对应开关处于断开或不导电状态时,大体上所有电流流动穿过电感器,且当开关处于闭合或导电状态时,大体上所有电流流动穿过开关。举例来说,当所有开关511-514断开时,如图5中所图示,在输入节点530与输出节点532之间流动的大体上全部电流流动通过所述一系列电感器501-504。此配置表示网络500的最大电感状态(即,其中输入节点530与输出节点532之间存在最大电感值的网络500的状态)。相反地,当所有开关511-514均闭合时,在输入节点530与输出节点532之间流动的大体上所有电流绕过电感器501-504且改为流动穿过开关511-514和节点530、532与开关511-514之间的导电互连件。这种配置表示网络500的最小电感状态(即,其中输入节点530与输出节点532之间存在最小电感值的网络500的状态)。理想地,最小电感值将接近零电感。然而,实际上,由于开关511-514的累积电感和节点530、532与开关511-514之间的导电互连件,最小电感状态中存在“微量”电感。举例来说,在最小电感状态中,用于可变电感网络500的微量电感可在约10nH到约50nH范围内,但微量电感也可更小或更大。更大、更小或大体上类似的微量电感也可其它网络状态中的每一个中所固有的,其中用于给定网络状态的微量电感为一系列导体和开关(电流主要穿过所述导体和开关经由网络500而被携带)的电感的总和。

[0115] 从最大电感状态(其中所有开关511-514均断开)开始,系统控制器可提供导致开关511-514的任何组合闭合的控制信号521-524,以便通过绕过电感器501-504的对应组合来减小网络500的电感。在一个实施例中,每个电感器501-504具有大体上相同电感值,在本文中被称作正规化值I。举例来说,每个电感器501-504可具有在约10nH到约200nH范围内的值或某个其它值。在此实施例中,网络500的最大电感值(即,当所有开关511-514处于断开状态时)将为约 $N \times I$,加上当网络500处于最大电感状态时可在网络500中存在的任何微量电感。当任何n个开关处于闭合状态时,网络500的电感值将为约 $(N-n) \times I$ (加上微量电感)。在此实施例中,网络500的状态可被配置成具有电感的N+1个值中的任一个。

[0116] 在替代实施例中,电感器501-504可具有彼此不同的值。举例来说,从输入节点530向输出节点532移动,第一电感器501可具有正规化的电感值I,且串联的每个随后电感器502-504可具有更大或更小的电感值。举例来说,每个后续电感器502-504可具有一电感值,所述电感值是最接近的下游电感器501-503的电感值的倍数(例如,约两倍),但是所述差异

可未必为整数倍数。在此类实施例中,网络500的状态可被配置成具有 2^N 个电感值中的任一个。举例来说,当 $N=4$ 且每个电感器501-504具有不同值时,网络500可被配置成具有16个电感值中的任一个。举例来说但不限于,假设电感器501具有值 I ,电感器502具有值 $2xI$,电感器503具有值 $4xI$,以及电感器504具有值 $8xI$,下方的表1指示网络500的所有16个可能状态的总电感值(未考虑微量电感):

网络状态	开关 511 状态 (501 值 = I)	开关 512 状态 (502 值 = $2xI$)	开关 513 状态 (503 值 = $4xI$)	开关 514 状态 (504 值 = $8xI$)	总网络电感 (具有/不具有微量电感)
0	闭合	闭合	闭合	闭合	0
1	断开	闭合	闭合	闭合	I
2	闭合	断开	闭合	闭合	$2xI$
3	断开	断开	闭合	闭合	$3xI$
4	闭合	闭合	断开	闭合	$4xI$
5	断开	闭合	断开	闭合	$5xI$
6	闭合	断开	断开	闭合	$6xI$
7	断开	断开	断开	闭合	$7xI$
8	闭合	闭合	闭合	断开	$8xI$
9	断开	闭合	闭合	断开	$9xI$
10	闭合	断开	闭合	断开	$10xI$
11	断开	断开	闭合	断开	$11xI$
12	闭合	闭合	断开	断开	$12xI$
13	断开	闭合	断开	断开	$13xI$
14	闭合	断开	断开	断开	$14xI$
15	断开	断开	断开	断开	$15xI$

[0117] 表1-所有可能的可变电感网络状态的总电感值

[0118] 再次参考图4,可以用具有上述实例特性(即, $N=4$ 且每一连续电感器是前一电感器的电感的约两倍)的可变电感网络500的形式来实施可变电感网络410的实施例。假设最小电感状态中的微量电感是约10nH,且可由网络410实现的电感值的范围是约10nH(微量电感)到约400nH,那么电感器501-504的值可分别为例如约30nH、约50nH、约100nH和约200nH。类似地,如果可变电感网络411的实施例以相同方式实施,且假设微量电感是约50nH,可由网络411实现的电感值的范围是约50nH(微量电感)到约800nH,那么电感器501-504的值可分别为例如约50nH、约100nH、约200nH和约400nH。当然,多于或少于四个电感器501-504可包括在可变电感网络410、411中的任一个中,且每个网络410、411内的电感器可具有不同值。

[0119] 尽管上述实例实施例指定网络500中开关的电感的数目等于四,且每个电感器501-504具有为值 I 的某一倍数的值,但是可变电感网络的替代实施例可具有多于或少于四个电感器、不同相对值的电感器、不同数目的可能网络状态,和/或不同配置的电感器(例如,以不同方式连接的并联和/或串联耦合的电感器集合)。无论哪种方式,通过在解冻系统的阻抗匹配网络中提供可变电感网络,系统可能更好地匹配在解冻操作期间呈现的不断改变的腔室输入阻抗。

[0120] 图6是描绘在可变阻抗匹配网络(例如,网络370、400,图3、4)实施例中的多个电感

可如何匹配输入腔室阻抗与RF信号源的史密斯圆图600的例子。示例史密斯圆图600假设系统是50欧姆系统,且RF信号源的输出是50欧姆。基于本文中的描述,本领域的技术人员将理解史密斯圆图可如何针对具有不同特性阻抗的系统和/或RF信号源进行修改。

[0122] 在史密斯圆图600中,点601对应于在不存在由可变阻抗匹配网络(例如,网络370、400,图3、图4)提供的匹配的情况下装料(例如,腔室360加装料364,图3)将位于(例如,在解冻操作开始时)的点。如由装料点601在史密斯圆图600的右下方象限中的位置指示,装料是电容性装料。根据实施例,可变阻抗匹配网络的分流和串联电感向最佳匹配点606(例如,50欧姆)依序移动大体上电容性负载的阻抗,在所述最佳匹配点606处,到装料的RF能量传递可具有最小损失。更具体地说,且还参看图4,分流电感415将阻抗移动到点602,串联电感414将阻抗移动到点603,分流电感416将阻抗移动到点604,串联电感412将阻抗移动到点605,且分流电感410将阻抗移动到最佳匹配点606。

[0123] 应注意,由可变阻抗匹配网络的实施例提供的阻抗变换的组合将阻抗保持在史密斯圆图600的右下方象限内或极接近于史密斯圆图600的右下方象限的任一点处。由于史密斯圆图600的这个象限的特征在于相对较高的阻抗和相对较低的电流,所以在不将电路的组件暴露到相对较高且潜在损害性的电流的情况下实现阻抗变换。因此,如本文所使用,“仅电感器”匹配网络的替代定义可为仅使用或主要使用电感组件实现电容性装料的阻抗匹配的匹配网络,其中阻抗匹配网络执行大体上在史密斯圆图的右下方象限内的变换。

[0124] 如先前所论述,装料的阻抗在解冻操作期间发生改变。因此,点601在解冻操作期间相应地移动。根据先前所述的实施例,通过改变第一分流电感410和第二分流电感411的阻抗使得由可变阻抗匹配网络提供的最终匹配仍可以到达最佳匹配点606处或附近来补偿装料点601的移动。虽然特定可变阻抗匹配网络已图示且在本文中描述,但所属领域的技术人员基于本文的描述将理解,不同配置的可变阻抗匹配网络可以实现与由史密斯圆图600传达的那些结果相同或相似的结果。举例来说,可变阻抗匹配网络的替代实施例可以具有更多或更少分流和/或串联电感,和或电感中的不同者可以被配置为可变电感网络(例如,包括串联电感中的一个或多个)。因此,尽管在本文中已经示出和描述特定的可变电感匹配网络,但是本发明的标的物不限于所示出的和所描述的实施例。

[0125] 现将与图7和8结合描述解冻系统的特定物理配置。更确切地说,

[0126] 图7是根据示例实施例的解冻系统700的横截面侧视图,且图8是解冻系统700的一部分的透视图。在一实施例中,解冻系统700大体上包括解冻腔室774、用户接口(未图示)、系统控制器730、RF信号源720、电力供应器和偏置电路(未图示)、功率检测电路780、可变阻抗匹配网络760、第一电极770和第二电极772。此外,在一些实施例中,解冻系统700可包括重量传感器790、温度传感器,和/或IR传感器792。

[0127] 在实施例中,解冻系统700包含在密闭结构750内。根据实施例,密闭结构750可限定三个内部区域:解冻腔室774、固定电感器区域776和电路外壳区域778。密闭结构750包括底壁、顶壁和侧壁。密闭结构750的壁中的一些的内表面的部分可限定解冻腔室774。解冻腔室774包括具有第一平行板电极770和第二平行板电极772的电容性解冻布置,所述平行板电极通过其内可放置待解冻装料764的空气腔室分隔开。举例来说,第一电极770可定位在空气腔室上方,且第二电极772可由密闭结构750的导电部分(例如,密闭结构750的底壁的一部分)提供。可替换的是,第二电极772可由不同于密闭结构750的导电板形成。根据实施

例,不导电支撑结构754可用于将第一电极770悬挂在空气腔室上方,电隔离第一电极770与密闭结构750,以及相对于空气腔室的固定物理定向固持第一电极770。

[0128] 根据实施例,密闭结构750至少部分地由导电材料形成,且密闭结构的导电部分可接地以为系统的各种电气组件提供接地参考。可替换的是,至少密闭结构750的对应于第二电极772的部分可由导电材料形成且接地。为了避免装料764和第二电极772之间的直接接触,不导电障壁756可定位在第二电极772上方。

[0129] 当包括于系统700中时,重量传感器790定位于装料764下方。重量传感器790被配置成将装料764的重量的估计提供到系统控制器730。温度传感器和/或IR传感器792可以定位于使得能够在解冻操作之前、期间和之后感测装料764的温度的位置。根据一实施例,温度传感器和/或IR传感器792被配置成将装料温度估计提供到系统控制器730。

[0130] 在一实施例中,系统控制器730、RF信号源720、电力供应器和偏置电路(未示出)、功率检测电路780的各种组件中的一些或全部和可变阻抗匹配网络760的部分710、711可以耦合到密闭结构750的电路外壳区域778内的共同基板752。举例来说,以上列出的组件中的一些或全部可以包括于RF模块(例如,RF模块1300,图13)和可变阻抗匹配电路模块(例如,模块的变型1200,图12)中,所述模块容纳于密闭结构750的电路外壳区域778内。根据实施例,系统控制器730通过共同基板752上或内的各种导电互连件耦合到用户接口、RF信号源720、可变阻抗匹配网络760和功率检测电路780。另外,在一实施例中,功率检测电路780沿着RF信号源720的输出与可变阻抗匹配网络760的输入702之间的传输路径748耦合。举例来说,基板752可包括微波或RF层合物、聚四氟乙烯(PTFE)基板、印刷电路板(PCB)材料基板(例如,FR-4)、氧化铝基板、陶瓷砖片,或另一类型的基板。在各种替代性实施例中,组件的各者可利用基板和组件之间的电互连件耦合到不同基板。在又其它替代实施例中,组件中的一些或全部可耦合到腔壁,而不是耦合到不同基板。

[0131] 在一实施例中,第一电极770通过可变阻抗匹配网络760和传输路径748电耦合到RF信号源720。如先前所论述,可变阻抗匹配网络760包括可变电感网络710、711(例如,网络410、411,图4)和多个固定值集总电感器712-715(例如,电感器412-415,图4)。在一实施例中,可变电感网络710、711耦合到共同基板752且定位于电路外壳区域778内。相比之下,固定值集总电感器712-715定位在密闭结构750的固定电感器区域776内(例如,共同基板752与第一电极770之间)。导电结构(例如,导电通孔或其它结构)可提供电路外壳区域778内的电路与固定电感器区域776内的集总电感器712-715之间的电连通。

[0132] 为了增强对系统700的理解,图7和8中描绘的可变阻抗匹配网络760的节点和组件现将与图4中描绘的可变阻抗匹配网络400的节点和组件相关。更具体地说,根据实施例,可变阻抗匹配网络760包括输入节点702(例如,输入节点402,图4)、输出节点704(例如,输出节点404,图4)、第一可变电感网络710和第二可变电感网络711(例如,可变电感网络410、411,图4),以及多个固定值电感器712-715(例如,电感器412-415,图4)。输入节点702通过各种导电结构(例如,导电通孔和迹线)电耦合到RF信号源720的输出,且输出节点704电耦合到第一电极770。

[0133] 在实施例中,输入节点702和输出节点704(例如,输入节点402和输出节点404,图4)之间的可变阻抗匹配网络700包括四个集总电感器712-715(例如,电感器412-415,图4),它们定位在固定电感器区域776内。可通过同时参看图7和图8两者,增强对固定电感器区域

776内集总电感器712-715的物理配置的实施例的理解,其中图8描绘固定电感器区域776的顶部透视图。在图8中,电感器712-715下方的不规则形状的阴影区域表示电感器712-715在第一电极770上的空间中的悬挂。换句话说,阴影区域指示电感器712-715通过空气与第一电极770电绝缘的位置。可在这些区域中包括非导电间隔物,而不是依赖于空气电介质。

[0134] 在一实施例中,第一集总电感器712具有电耦合到输入节点702(且因此电耦合到RF信号源720的输出)的第一端,以及电耦合到第一中间节点721(例如,节点421,图4)的第二端。第二集总电感器713具有电耦合到第一中间节点721的第一端,以及电耦合到第二中间节点722(例如,节点422,图4)的第二端。第三集总电感器714具有电耦合到第一中间节点721的第一端,以及电耦合到输出节点704(且因此耦合到第一电极770)的第二端。第四集总电感器715具有电耦合到输出节点704(且因此电耦合到第一电极770)的第一端,以及电耦合到接地参考节点(例如,通过一个或多个导电互连件电耦合到接地密闭结构750)的第二端。

[0135] 第一可变电感网络710(例如,网络410,图4)电耦合于输入节点702与接地参考端(例如,接地密闭结构750)之间。最后,第二可变电感网络711(例如,网络411,图4)电耦合于第二中间节点722与接地参考端之间。

[0136] 与图3-8相关联的描述详细地论述“非平衡”解冻设备,其中RF信号施加于一个电极(例如,电极340,图3),且另一“电极”(例如,密闭结构366,图3)接地。如上文所提及,解冻设备的替代实施例包括“平衡”解冻设备。在此设备中,平衡RF信号提供到两个电极。

[0137] 举例来说,图9是根据示例实施例的平衡解冻系统900(例如,解冻系统100、210、220,图1、2)的简化框图。在一实施例中,解冻系统900包括RF子系统910、解冻腔室960、用户接口980、系统控制器912、RF信号源920、电力供应器和偏置电路926、可变阻抗匹配网络970、两个电极940、950和功率检测电路930。另外,在其它实施例中,解冻系统900可以包括温度传感器、红外(IR)传感器和/或重量传感器990,但可以排除这些传感器组件中的一些或全部。应理解图9是出于解释和方便描述的目的的解冻系统900的简化表示,且其实际实施例可包括其它装置和组件,以提供额外功能和特征,和/或解冻系统900可为较大电气系统的部分。

[0138] 用户接口980可对应于例如能够使用户向系统提供关于用于解冻操作的参数的输入(例如,待解冻装料的特性等)的控制面板(例如,控制面板120、214、224,图1、图2)、开始和取消按钮、机械控件(例如,门/抽屉打开闩锁)等。此外,用户接口可被配置成提供指示解冻操作的状态的用户可感知输出(例如,倒数计时器、指示解冻操作的进度或完成的可见标志和/或指示解冻操作的完成的可听音)和其它信息。

[0139] 在一实施例中,RF子系统910包括系统控制器912、RF信号源920、第一阻抗匹配电路934(本文为“第一匹配电路”)、电力供应器和偏置电路926和功率检测电路930。系统控制器912可以包括一个或多个通用或专用处理器(例如,微处理器、微控制器、ASIC等)、易失性和/或非易失性存储器(例如,RAM、ROM、快闪存储器、各种寄存器等)、一个或多个通信总线以及其它组件。根据实施例,系统控制器912以操作方式且以通信方式耦合到用户接口980、RF信号源920、电力供应器和偏置电路926、功率检测电路930(或930’或930”)、可变匹配子系统970、传感器990(如果包括)和泵992(如果包括)。系统控制器912被配置成接收指示经由用户接口980接收的用户输入的信号,从功率检测电路930(或930’或930”)接收指示RF信

号反射功率(且可能RF信号前向功率)的信号,且从传感器990接收传感器信号。响应于接收的信号和测量值,且如稍后将更详细描述,系统控制器912将控制信号提供到电力供应器和偏置电路926和/或RF信号源920的RF信号产生器922。另外,系统控制器912将控制信号提供到可变匹配子系统970(在路径916上),其致使子系统970改变子系统970的可变阻抗匹配电路972(本文为“可变匹配电路”)的状态或配置。

[0140] 解冻腔室960包括具有第一平行板电极940和第二平行板电极950的电容性解冻布置,所述第一平行板电极和所述第二平行板电极通过其内可放置待解冻装料964的空气腔室分隔开。在密闭结构966内,第一电极940和第二电极950(例如,电极140、150,图1)在内部解冻腔室960(例如,内部腔室260,图2)的任一侧上相对于彼此以固定物理关系定位。根据实施例,在一实施例中,电极940、950之间的距离952使腔室960成为子谐振腔室。

[0141] 第一电极940和第二电极950跨越腔室960分隔距离952。在各种实施例中,距离952在约0.10米到约1.0米的范围中,但所述距离也可以更小或更大。根据实施例,距离952小于由RF子系统910产生的RF信号的一个波长。换句话说,如上文所提及,腔室960是子谐振腔室。在一些实施例中,距离952小于RF信号的一个波长的约一半。在其它实施例中,距离952小于RF信号的一个波长的约四分之一。在再其它实施例中,距离952小于RF信号的一个波长的约八分之一。在再其它实施例中,距离952小于RF信号的一个波长的约50分之一。在再其它实施例中,距离952小于RF信号的一个波长的约100分之一。

[0142] 大体来说,针对较低操作频率(例如,10MHz与100MHz之间的频率)设计的系统900可以被设计成具有作为一个波长的较小分数的距离952。举例来说,当系统900被设计成产生具有约10MHz的操作频率(对应于约30米的波长)的RF信号且距离952选择为约0.5米时,距离952为所述RF信号的一个波长的约60分之一。相反,当针对约300MHz的操作频率(对应于约1米的波长)设计系统900且距离952选择为约0.5米时,距离952为RF信号的一个波长的约二分之一。

[0143] 通过选择操作频率以及电极940、950之间的距离952以限定子谐振内部腔室960,第一电极940和第二电极950电容性耦合。更具体地说,第一电极940可以类似于电容器的第一板,第二电极950可以类似于电容器的第二板,且装料964、障壁962和腔室960内的空气可以类似于电容器电介质。因此,第一电极940可替换的是在本文中可以被称作“阳极”,且第二电极950可替换的是在本文中可以被称作“阴极”。

[0144] 基本上,跨越第一电极940和第二电极950的电压加热腔室960内的装料964。根据各种实施例,RF子系统910被配置成生成RF信号以产生跨越电极940、950的在一个实施例中处于约90伏特到约3000伏特的范围中的电压,或者在另一实施例中处于约3000伏特到约10,000伏特的范围中的电压,但所述系统也可以被配置成产生跨越电极940、950的更低或更高电压。

[0145] RF子系统910的输出、且更具体地说RF信号源920的输出通过导电传输路径电耦合到可变匹配子系统970,所述传输路径包括串联连接的多个导体928-1、928-2、928-3、928-4和928-5且通常称为传输路径928。根据实施例,导电传输路径928包括“非平衡”部分和“平衡”部分,其中“非平衡”部分被配置成运载非平衡RF信号(即,以接地为参考的单个RF信号),且“平衡”部分被配置成运载平衡RF信号(即,以彼此为参考的两个信号)。传输路径928的“非平衡”部分可以包括RF子系统910内的非平衡第一导体928-1和第二导体928-2、一个

或多个连接器936、938(各自具有凸形和凹形连接器部分),以及电耦合于连接器936、938之间的非平衡第三导体928-3。根据实施例,第三导体928-3包括同轴电缆,但电气长度也可以较短或较长。在替代实施例中,可变匹配子系统970可以与RF子系统910一起容纳,且在此类实施例中,导电传输路径928可以排除连接器936、938和第三导体928-3。无论哪种方式,在一实施例中,导电传输路径928的“平衡”部分都包括可变匹配子系统970内的平衡第四导体928-4,以及电耦合于可变匹配子系统970与电极940、950之间的平衡第五导体928-5。

[0146] 如图9中指示,可变匹配子系统970容纳一设备,所述设备被配置成在所述设备的输入处在传输路径的非平衡部分(即,包括非平衡导体928-1、928-2和928-3的部分)上接收来自RF信号源920的非平衡RF信号,将非平衡RF信号转换为两个平衡RF信号(例如,具有120度与240度之间的两个RF信号,例如约180度),且在设备的两个输出处产生两个平衡RF信号。举例来说,在一实施例中,转换设备可以是平衡-不平衡变压器(balun)974。平衡RF信号经由平衡导体928-4递送到可变匹配电路972,且最终经由平衡导体928-5递送到电极940、950。

[0147] 在替代实施例中,如图9的中心的虚线框中指示且如将在下文更详细地论述,替代的RF信号产生器920'可以在平衡导体928-1'上产生平衡RF信号,所述平衡导体可以直接耦合到可变匹配电路972(或通过各种中间导体和连接器耦合)。在此类实施例中,可以从系统900排除平衡-不平衡变压器974。无论哪种方式,如将在下文更详细地描述,双端可变匹配电路972(例如,可变匹配电路1000,图10)被配置成接收平衡RF信号(例如,经由连接928-4或928-1'),执行对应于双端可变匹配电路972的当时配置的阻抗变换,且经由连接928-5将平衡RF信号提供到第一电极940和第二电极950。

[0148] 根据实施例,RF信号源920包括RF信号产生器922和功率放大器924(例如,包括一个或多个功率放大器级)。响应于由系统控制器912在连接914上提供的控制信号,RF信号产生器922被配置成产生具有ISM(工业、科学和医学)频带内频率的振荡电信号,但系统也可进行修改以支持在其它频带内的操作。RF信号产生器922可被控制以产生不同功率电平和/或不同频率的振荡信号。举例来说,RF信号产生器922可以产生在约10.0MHz到约100MHz和/或从约100MHz到约3.0GHz的范围中振荡的信号。一些合意的频率可以是例如13.56MHz(+/-5%)、27.125MHz(+/-5%)、40.68MHz(+/-5%)和2.45GHz(+/-5%)。替代地,振荡频率可以低于或高于以上给出的范围或值。

[0149] 功率放大器924被配置成从RF信号产生器922接收振荡信号,且放大所述信号以在功率放大器924的输出处产生显著更高功率的信号。举例来说,输出信号可以具有在约100瓦到约400瓦或更大的范围中的功率电平,但功率电平也可以更低或更高。可以使用由电力供应器和偏置电路926提供到放大器924的一个或多个级的栅极偏置电压和/或漏极偏置电压来控制由功率放大器924施加的增益。更具体地说,电力供应器和偏置电路926根据从系统控制器912接收的控制信号将偏置和供电电压提供到每一RF放大器级的输入和/或输出(例如,栅极和/或漏极)。

[0150] 功率放大器可以包括一个或多个放大级。在一实施例中,放大器924的每一级被实施为功率晶体管,例如FET,其具有输入端(例如,栅极或控制端)和两个载流端(例如,源极和漏极端)。在各种实施例中,阻抗匹配电路(未示出)可以耦合到放大器级中的一些或全部的输入(例如,栅极)和/或输出(例如,漏极端)。在一实施例中,放大器级的每一晶体管包括

LDMOS FET。然而,应注意晶体管并不希望限于任何特定半导体技术,且在其它实施例中,每一晶体管可以被实现为GaN晶体管、另一类型的MOS FET晶体管、BJT或利用另一半导体技术的晶体管。

[0151] 在图9中,功率放大器布置924描绘为包括以特定方式耦合到其它电路组件的一个放大器级。在其它实施例中,功率放大器布置924可以包括其它放大器拓扑和/或放大器布置可以包括两个或更多个放大器级(例如,如放大器324/325的实施例中所示,图3)。举例来说,功率放大器布置可包括单端放大器、双端(平衡)放大器、推挽式放大器、杜赫放大器、切换模式功率放大器(SMPA)或另一类型的放大器的各种实施例。

[0152] 举例来说,如图9的中心的虚线框中指示,替代的RF信号产生器920'可以包括推挽式或平衡放大器924',其被配置成在输入处接收来自RF信号产生器922的非平衡RF信号,放大所述非平衡RF信号,且在放大器924'的两个输出处产生两个平衡RF信号,其中所述两个平衡RF信号随后经由导体928-1'递送到电极940、950。在此类实施例中,可以从系统900排除平衡-不平衡变压器974,且导体928-1'可以直接连接到可变匹配电路972(或通过多个同轴电缆和连接器或其它多导体结构连接)。

[0153] 解冻腔室960和定位于解冻腔室960中的任何装料964(例如,食物、液体等)带来由电极940、950辐射到内部室962中的电磁能(或RF功率)的累积负载。更具体地说且如先前所描述,解冻腔室960和装料964对系统带来阻抗,在本文中被称作“腔室输入阻抗”。腔室输入阻抗在解冻操作期间随着装料964的温度增加而改变。腔室输入阻抗对沿着RF信号源920与电极940、950之间的导电传输路径928的反射信号功率的量值具有直接影响。在大多数情况下,期望最大化进入腔室960的传送信号功率的量值,和/或最小化沿着导电传输路径928的反射与前向信号功率比。

[0154] 为了至少部分地匹配RF信号产生器920的输出阻抗与腔室输入阻抗,在一实施例中,第一匹配电路934沿着传输路径928电耦合。第一匹配电路934被配置成执行从RF信号源920的阻抗(例如,小于约10欧姆)到中间阻抗(例如,50欧姆、75欧姆或某个其它值)的阻抗变换。第一匹配电路934可以具有多种配置中的任一种。根据实施例,第一匹配电路934包括固定组件(即,具有不可变组件值的组件),但在其它实施例中,第一匹配电路934可以包括一个或多个可变组件。举例来说,在各种实施例中,第一匹配电路934可以包括选自电感/电容(LC)网络、串联电感网络、分流电感网络或者带通、高通和低通电路的组合的任何一个或多个电路。基本上,第一匹配电路934被配置成将阻抗升高到RF信号产生器920的输出阻抗与腔室输入阻抗之间的中间水平。

[0155] 根据实施例且如上文所提及,功率检测电路930沿着RF信号源920的输出与电极940、950之间的传输路径928耦合。在一特定实施例中,功率检测电路930形成RF子系统910的一部分,且耦合到RF信号源920与连接器936之间的导体928-2。在替代实施例中,功率检测电路930可以耦合到传输路径928的任何其它部分,例如导体928-1、导体928-3、RF信号源920(或平衡-不平衡变压器974)与可变匹配电路972之间的导体928-4(即,如以功率检测电路930'指示),或可变匹配电路972与电极940、950之间的导体928-5(即,如以功率检测电路930"指示)。为了简洁起见,功率检测电路在此以参考标号930参考,但所述电路可以定位于其它位置,如由参考标号930'和930"指示。

[0156] 无论耦合于何处,功率检测电路930都被配置成监视、测量或另外检测沿着RF信号

源920与电极940、950中的一个或两个之间的传输路径928行进的反射信号(即,在从电极940、950朝向RF信号源920的方向上行进的反射RF信号)的功率。在一些实施例中,功率检测电路930还被配置成检测沿着RF信号源920与电极940、950之间的传输路径928行进的前向信号(即,在从RF信号源920朝向电极940、950的方向上行进的前向RF信号)的功率。

[0157] 在连接932上,功率检测电路930将信号供应到系统控制器912,递送反射信号功率的测得的量值且在一些实施例中还递送前向信号功率的测得的量值。在递送前向和反射信号功率量值两者的实施例中,系统控制器912可以计算反射与前向信号功率比或S11参数。如将在下文更详细地描述,当反射信号功率量值超过反射信号功率阈值时,或当反射与前向信号功率比超过S11参数阈值时,这指示系统900不充分匹配于腔室输入阻抗,且在腔室960内的装料964吸收的能量可能是次最优的。在此情形下,系统控制器912编排更改可变匹配电路972的状态以驱动反射信号功率或S11参数朝向或低于所期望水平(例如,低于反射信号功率阈值和/或反射与前向信号功率比阈值)的过程,因此重新建立可接受匹配且促进装料964的更优能量吸收。

[0158] 更具体地说,系统控制器912可以在控制路径916上将控制信号提供到可变匹配电路972,其致使可变匹配电路972改变电路内的一个或多个组件的电感性、电容性和/或电阻性值,因此调整由电路972提供的阻抗变换。可变匹配电路972的配置的调整合意地减小反射信号功率的量值,其对应于减小S11参数的量值和增加装料964吸收的功率。

[0159] 如上文所论述,可变匹配电路972用于匹配解冻腔室960加装料964的输入阻抗,以尽可能地最大化传送到装料964中的RF功率。在解冻操作开始时可能无法准确得知解冻腔室960和装料964的初始阻抗。另外,装料964的阻抗在解冻操作期间随着装料964升温而改变。根据实施例,系统控制器912可以将控制信号提供到可变匹配电路972,其造成对可变匹配电路972的状态的修改。这使得系统控制器912能够在解冻操作的开始时建立可变匹配电路972的初始状态,所述初始状态具有相对低的反射与前向功率比且因此装料964对RF功率的相对高的吸收率。另外,这使得系统控制器912能够修改可变匹配电路972的状态使得贯穿解冻操作可以维持充分匹配,即使装料964的阻抗发生改变。

[0160] 可变匹配电路972可以具有多种配置中的任一种。举例来说,在各种实施例中,电路972可以包括选自电感/电容(LC)网络、仅电感网络、仅电容网络或者带通、高通和低通电路的组合的任何一个或多个电路。在其中在传输路径928的平衡部分中实施可变匹配电路972的实施例中,可变匹配电路972是具有两个输入和两个输出的双端电路。在其中在传输路径928的非平衡部分中实施可变匹配电路的替代实施例中,可变匹配电路可以是具有单个输入和单个输出的单端电路(例如,类似于匹配电路400,图4)。根据更具体实施例,可变匹配电路972包括可变电感网络(例如,双端网络1000,图10)。通过来自系统控制器912的控制信号建立由可变匹配电路972提供的电感、电容和/或电阻值,所述值又影响由电路972提供的阻抗变换,如稍后将更详细描述。在任何情况下,通过在处理操作的过程中改变可变匹配电路972的状态以动态匹配腔室960加上腔室960内的装料964的不断改变的阻抗,在整个解冻操作中系统效率可以维持在高水平。

[0161] 可变匹配电路972可以具有广泛多种电路配置中的任一种,且这些配置的非限制性实例示出于图10和11中。举例来说,图10是根据示例实施例可并入到解冻系统(例如,系统100、200、900,图1、2、9)中的双端可变阻抗匹配电路1000的示意图。根据实施例,可变匹

配电路1000包括固定值和可变无源组件的网络。

[0162] 电路1000包括双端输入1001-1、1001-2 (称为输入1001)、双端输出1002-1、1002-2 (称为输出1002), 以及在输入1001与输出1002之间以梯布置连接的无源组件的网络。举例来说, 当连接到系统900中时, 第一输入1001-1可以连接到平衡导体928-4的第一导体, 且第二输入1001-2可以连接到平衡导体928-4的第二导体。类似地, 第一输出1002-1可以连接到平衡导体928-5的第一导体, 且第二输出1002-2可以连接到平衡导体928-5的第二导体。

[0163] 在10图中所示的具体实施例中, 电路1000包括串联连接于输入1001-1与1002-1之间的第一可变电感器1011和第一固定电感器1015、串联连接于输入1001-2与输出1002-2之间的第二可变电感器1016和第二固定电感器1020、连接于输入1001-1与1001-2之间的第三可变电感器1021, 以及连接于节点1025与1026之间的第三固定电感器1024。

[0164] 根据实施例, 第三可变电感器1021对应于“RF信号源匹配部分”, 其被配置成匹配如由第一匹配电路 (例如, 电路934, 图9) 修改的RF信号源 (例如, RF信号源920, 图9) 的阻抗, 或更具体来说匹配如由第一匹配电路 (例如, 电路934, 图9) 修改的最终级功率放大器 (例如, 放大器924, 图9) 的阻抗。根据实施例, 且如将与图11结合更详细描述, 第三可变电感器1021包括可以选择性耦合在一起以提供约5nH到约200nH的范围中的电感的电感组件的网络, 但所述范围也可以延伸到更低或更高的电感值。

[0165] 相比之下, 可变阻抗匹配网络1000的“腔室匹配部分”是由第一可变电感器1011和第二可变电感器1016以及固定电感器1015、1020和1024提供。因为第一可变电感器1011和第二可变电感器1016的状态可以改变以提供多个电感值, 所以第一可变电感器1011和第二可变电感器1016可被配置成最优地匹配腔室加上装料 (例如, 腔室960加上装料964, 图9) 的阻抗。举例来说, 电感器1011、1016各自可以具有约10nH到约200nH的范围中的值, 但在其它实施例中其值可以更低和/或更高。

[0166] 固定电感器1015、1020、1024也可以具有约50nH到约800nH的范围中的电感值, 但所述电感值也可以更低或更高。在各种实施例中, 电感器1011、1015、1016、1020、1021、1024可以包括离散电感器、分布式电感器 (例如, 印刷线圈)、线结合、传输线和/或其它电感组件。在一实施例中, 可变电感器1011和1016以配对方式操作, 意味着其在操作期间的电感值被控制为在任何给定时间彼此相等, 以便确保递送到输出1002-1和1002-2的RF信号是平衡的。

[0167] 如上文所论述, 可变匹配电路1000是被配置成沿着传输路径928的平衡部分 (例如, 连接器928-4与928-5之间) 连接的双端电路, 且其它实施例可以包括被配置成沿着传输路径928的非平衡部分连接的单端 (即, 一个输入和一个输出) 可变匹配电路。

[0168] 通过改变电路1000中的电感器1011、1016、1021的电感值, 系统控制器912可以增加或减小由电路1000提供的阻抗变换。合意地, 电感值改变改善了RF信号源920与腔室输入阻抗之间的总体阻抗匹配, 这会导致反射信号功率和/或反射与前向信号功率比的减少。在大多数情况下, 系统控制器912可以力求在最大电磁场强度在腔室960中实现和/或最大量的功率由装料964吸收和/或最小量的功率由装料964反射的状态中配置电路1000。

[0169] 图11是根据另一示例实施例的双端可变阻抗匹配网络1100的示意图。网络1100包括双端输入1101-1、1101-2 (称为输入1101)、双端输出1102-1、1102-2 (称为输出1102), 以及在输入1101与输出1102之间以梯布置连接的无源组件的网络。所述梯布置包括彼此串联

连接于输入1101-1与输出1102-1之间的第一N多个离散电感器1111-1114,其中N可以是2与10之间的整数或更大。所述梯布置还包括彼此串联连接于输入1101-2与输出1102-2之间的第二N多个离散电感器1116-1119。额外离散电感器1115和1120可以耦合于中间节点1125、1126与输出节点1102-1、1102-2之间。更进一步,所述梯布置包括彼此串联连接于输入1101-1与1101-2之间的第三多个离散电感器1121-1123,以及耦合于节点1125与1126之间的额外离散电感器1124。举例来说,固定电感器1115、1120、1124各自可以具有约50nH到约800nH的范围中的电感值,但电感值也可以更低或更高。

[0170] 电感器1111-1114的串联布置可以视为第一可变电感器(例如,电感器1011,图10),电感器1116-1119的串联布置可以视为第二可变电感器(例如,电感器1016,图10),且电感器1121-1123的串联布置可以视为第三可变电感器(例如,电感器1021,图10)。为了控制“可变电感器”的变化率,网络1100包括多个旁路开关1131-1134、1136-1139、1141和1143,其中每一开关1131-1134、1136-1139、1141和1143跨越电感器1111-1114、1116-1119、1121和1123中的一个的端并联耦合。开关1131-1134、1136-1139、1141和1143可以例如被实施为晶体管、机械继电器或机械开关。使用来自系统控制器的控制信号1151-1154、1156-1159、1161、1163(例如,在连接916上提供的来自系统控制器912的控制信号,图9)控制每一开关1131-1134、1136-1139、1141和1143的导电状态(即,断开或闭合)。

[0171] 在一实施例中,输入1101与输出1102之间的两个路径中的对应电感器的集合具有大体上相等的值,且用于对应电感器的每一集合的开关的导电状态是以配对方式操作,意味着在操作期间的开关状态被控制为在任何给定时间彼此相同,以便确保递送到输出1102-1和1102-2的RF信号是平衡的。举例来说,电感器1111和1116可以构成具有大体上相等值的第一“对应电感器集合”或“配对电感器”,且在操作期间,将开关1131和1136的状态控制为在任何给定时间是相同的(例如,均断开或均闭合)。类似地,电感器1112和1117可以构成以配对方式操作的具有相等电感值的对应电感器的第二集合,电感器1113和1118可以构成以配对方式操作的具有相等电感值的对应电感器的第三集合,且电感器1114和1119可以构成以配对方式操作的具有相等电感值的对应电感器的第四集合。

[0172] 对于每个并联电感器/开关组合,当电感器的对应开关处于断开或不导电状态时,大体上所有电流流动穿过电感器,且当开关处于闭合或导电状态时,大体上所有电流流动穿过开关。举例来说,当所有开关1131-1134、1136-1139、1141和1143断开时,如图11中所图示,在输入节点1101-1与输出节点1102-1之间流动的大体上全部电流流动通过所述系列的电感器1111-1115,且在输入节点1101-2与输出节点1102-2之间流动的大体上全部电流流动通过所述系列的电感器1116-1120(如由流动通过电感器1121-1123或1124的任何电流所修改)。此配置表示网络1100的最大电感状态(即,其中输入节点1101与输出节点1102之间存在最大电感值的网络1100的状态)。相反,当所有开关1131-1134、1136-1139、1141和1143闭合时,在输入节点1101与输出节点1102之间流动的大体上全部电流绕过电感器1111-1114和1116-1119,且改为流动通过开关1131-1134或1136-1139、电感器1115或1120以及输入节点1101和输出节点1102与开关1131-1134、1136-1139之间的导电互连件。此配置表示网络1100的最小电感状态(即,其中输入节点1101与输出节点1102之间存在最小电感值的网络1100的状态)。理想地,最小电感值将接近零电感。然而,实际上由于开关1131-1134或1136-1139、电感器1115或1120以及节点1101、1102与开关1131-1134或1136-1139之间的导

电互连件的累积电感,在最小电感状态中存在相对小的电感。举例来说,在最小电感状态中,开关1131-1134或1136-1139的串联组合的微量电感可以在约10nH到约400nH的范围中,但所述微量电感也可以更小或更大。更大、更小或大体上类似的微量电感也可为其它网络状态中的每一个中所固有的,其中用于给定网络状态的微量电感为一系列导体和开关(电流主要穿过所述导体和开关经由网络1100而被携带)的电感的总和。

[0173] 从其中所有开关1131-1134、1136-1139断开的最大电感状态开始,系统控制器可以提供控制信号1151-1154、1156-1159,其导致开关1131-1134、1136-1139的任何组合的闭合以便通过绕过电感器1111-1114、1116-1119的对应组合而减少网络1100的电感。

[0174] 类似于图10的实施例,在电路1100中,所述第一和第二多个离散电感器1111-1114、1116-1119和固定电感器1124对应于电路的“腔室匹配部分”。类似于上文与图5结合描述的实施例,在一个实施例中,每一电感器1111-1114、1116-1119具有大体上相同电感值,在本文中被称作正规化值I。举例来说,每一电感器1111-1114、1116-1119可以具有约1nH到约400nH的范围中的值或某个其它值。在此类实施例中,输入节点1101-1与1102-2之间的最大电感值以及输入节点1101-2与1102-2之间的最大电感值(即,当所有开关1131-1134、1136-1139在断开状态中时)将为约 $N \times I$,加上当网络1100在最大电感状态中时其中可存在的任何微量电感。当任何n个开关在闭合状态中时,对应输入与输出节点之间的电感值将为约 $(N-n) \times I$ (加上微量电感)。

[0175] 如上文还与图5结合阐释,在替代实施例中,电感器1111-1114、1116-1119可以具有彼此不同的值。举例来说,从输入节点1101-1向输出节点1102-1移动,第一电感器1111可具有正规化的电感值I,且串联的每个后续电感器1112-1114可具有更大或更小的电感值。类似地,从输入节点1101-2向输出节点1102-2移动,第一电感器1116可具有正规化的电感值I,且串联的每个后续电感器1117-1119可具有更大或更小的电感值。举例来说,每一后续电感器1112-1114或1117-1119可以具有作为最近下游电感器1111-1114或1116-1118的电感值的倍数(例如,约两倍或二分之一)的电感值。以上表1的实例也适用于输入节点1101-1与输出节点1102-1之间的第一串联电感路径,以及输入节点1101-2与输出节点1102-1之间的第二串联电感路径。更具体地说,电感器/开关组合1111/1131和1116/1156各自类似于电感器/开关组合501/511,电感器/开关组合1112/1132和1117/1157各自类似于电感器/开关组合502/512,电感器/开关组合1113/1133和1118/1158各自类似于电感器/开关组合503/513,且电感器/开关组合1114/1134和1119/1159各自类似于电感器/开关组合504/514。

[0176] 假定在最小电感状态中通过串联电感器1111-1114的微量电感是约10nH,且由串联电感器1111-1114可实现的电感值范围是约10nH(微量电感)到约400nH,则电感器1111-1114的值可以分别是例如约10nH、约20nH、约40nH、约80nH和约160nH。串联电感器1116-1119的组合可以类似地或相同地配置。当然,多于或少于四个电感器1111-1114或1116-1119可以包括于输入和输出节点1101-1/1102-1或1101-2/1102-2之间的串联组合中,且每一串联组合内的电感器可以具有与上文给出的实例值不同的值。

[0177] 虽然以上实例实施例指定对应输入和输出节点之间的每一串联组合中的切换电感的数目等于四,且每一电感器1111-1114、1116-1119具有作为I的值的某个倍数的值,但可变串联电感网络的替代实施例可以具有多于或少于四个电感器、电感器的不同相对值,和/或电感器的不同配置(例如,并联和/或串联耦合电感器的不同连接的集合)。无论哪种

方式,通过在解冻系统的阻抗匹配网络中提供可变电感网络,系统可能更好地匹配在解冻操作期间呈现的不断改变的腔室输入阻抗。

[0178] 如同图10的实施例,第三多个离散电感器1121-1123对应于电路的“RF信号源匹配部分”。第三可变电感器包括电感器1121-1123的串联布置,其中旁路开关1141和1143使得电感器1121和1123能够基于控制信号1161和1163而选择性连接成串联布置或被绕过。在一实施例中,电感器1121-1123中的每一个可以具有相等值(例如,约1nH到约100nH的范围中的值)。在替代实施例中,电感器1121-1123可具有彼此不同的值。无论旁路开关1141和1143的状态如何,电感器1122都电连接于输入端1101-1与1101-2之间。因此,电感器1122的电感值充当输入端1101-1与1101-2之间的基线(即,最小)电感。根据实施例,第一电感器1121和第三电感器1123可以具有彼此成一比率的电感值。举例来说,在各种实施例中,当第一电感器1121正规化的电感值J时,电感器1123可以具有值 $2*J$ 、 $3*J$ 、 $4*J$ 或某个其它比率。

[0179] 应理解,图10和11中图示的可变阻抗匹配电路1000、1100只是可以执行所需双端可变阻抗变换的两个可能的电路配置。双端可变阻抗匹配电路的其它实施例可以包括不同布置的电感性网络,或可以包括包含电感器、电容器和/或电阻器的无源网络,其中一些无源组件可以是固定值组件,且一些无源组件可以是可变值组件(例如,可变电感器、可变电容器和/或可变电阻器)。此外,双端可变阻抗匹配电路可以包括将无源组件切换进出网络以更改由电路提供的总体阻抗变换的有源装置(例如,晶体管)。

[0180] 根据各种实施例,与本文中论述的单端或双端可变阻抗匹配网络相关联的电路可以用一个或多个模块的形式实施,其中“模块”在本文定义为耦合到共同基板的电组件的组合物。举例来说,图12是根据示例实施例的包括双端可变阻抗匹配网络(例如,网络1000、1100,图10、11)的模块1200的实例的透视图。模块1200包括具有前侧1206和相对后侧1208的印刷电路板(PCB) 1204。PCB 1204由一个或多个电介质层和两个或更多个印刷导电层形成。导电通孔(图12中不可见)可以提供多个导电层之间的电连接。在前侧1206,由第一印刷导电层形成的多个印刷导电迹线提供耦合到PCB 1204的前侧1206的各种组件之间的电连接性。类似地,在后侧1208,由第二印刷导电层形成的多个印刷导电迹线提供耦合到PCB 1204的后侧1208的各种组件之间的电连接性。

[0181] 根据实施例,PCB 1204容纳RF输入连接器1238(例如,耦合到后侧1208且因此在图12的视图中不可见,但对应于连接器938,图9)和平衡-不平衡变压器1274(例如,耦合到后侧1208且因此在图12的视图中不可见,但对应于平衡-不平衡变压器974,图9)。输入连接器1238被配置成以例如同轴电缆或其它类型的导体等连接(例如,连接928-3,图9)电连接到RF子系统(例如,子系统310、910,图3、9)。在此类实施例中,由平衡-不平衡变压器1274从RF输入连接器1238接收的非平衡RF信号转换成平衡信号,其在一对平衡导体(例如,连接928-4,图9)上提供到包括第一输入1201-1和第二输入1201-2的双端输入。输入连接器1238与平衡-不平衡变压器1274之间的连接以及平衡-不平衡变压器1274与输入1201-1、1201-2之间的连接各自可以使用形成于PCB 1204上和中的导电迹线和通孔来实施。在替代实施例中,如上文所论述,替代实施例可以包括平衡放大器(例如,平衡放大器924',图9),其在可直接耦合到输入1201-1、1201-2的连接(例如,导体928-1',图9)上产生平衡信号。在此类实施例中,可以从模块1200排除平衡-不平衡变压器1274。

[0182] 另外,PCB 1204容纳与双端可变阻抗匹配网络(例如,网络972、1000、1100,图9-

11) 相关联的电路。因此,由PCB 1204容纳的电路包括双端输入1201-1、1201-2(例如,输入1101-1、1101-2,图11)、双端输出1202-1、1202-2(例如,输出1102-1、1102-2,图11)、串联耦合于双端输入的第一输入1201-1与双端输出的第一输出1202-1之间的第一多个电感器1211、1212、1213、1214、1215(例如,电感器1111-1115,图11)、串联耦合于双端输入的第二输入1201-2与双端输出的第二输出1202-2之间的第二多个电感器1216、1217、1218、1219、1220(例如,电感器1116-1120,图11)、串联耦合于第一输入1201-1与第二输入1201-2之间的第三多个电感器(图12的视图中不可见,但对应于例如电感器1121-1123,图11),以及耦合于节点1225与1226(例如,节点1125、1126)之间的一个或多个额外电感器1224(例如,电感器1124,图11)。

[0183] 多个开关或继电器(例如,图12的视图中不可见,但对应于例如开关1131-1134、1136-1139、1141、1143,图11)也耦合到PCB 1204。举例来说,所述多个开关或继电器可以耦合到PCB 1204的前侧1206或后侧1208。在一实施例中,开关或继电器中的每一个跨越电感器1211-1214、1216-1219中的一个或电感器(例如,电感器1121、1123,图11)中的一个并联电连接于输入1202-1与1202-2之间。控制连接器1230耦合到PCB 1204,且控制连接器1230的导体电耦合到导电迹线1232以提供控制信号到开关(例如,控制信号1151-1154、1156-1159、1161、1163,图11),且因此将电感器切换进出电路,如先前所描述。如图12中所示出,固定值电感器1215、1220(例如,电感器1115、1120,图11)可以由相对大的线圈形成,但它们也可以使用其它结构实施。如图12的实施例中所示,对应于输出1202-1、1202-2的导电特征可以是相对大的,且可以是细长的以用于直接附接到系统的电极(例如,电极940、950,图9)。

[0184] 在各种实施例中,与RF子系统(例如,RF子系统310、910,图3、9)相关联的电路也可以用一个或多个模块的形式实施。举例来说,图13是根据示例实施例的包括RF子系统(例如,RF子系统310、910,图3、9)的RF模块1300的透视图。RF模块1300包括耦合到接地基板1304的PCB 1302。接地基板1304为PCB 1302提供结构支撑,并且还耦合到PCB 1302的各种电组件提供电接地参考和散热器功能性。

[0185] 根据实施例,PCB 1302容纳与RF子系统(例如,子系统310或910,图3、9)相关联的电路。因此,由PCB 1302容纳的电路包括系统控制器电路1312(例如,对应于系统控制器312、912,图3、9)、RF信号源电路1320(例如,对应于RF信号源320、920,图3、9,包括RF信号产生器322、922和功率放大器324、325、924)、功率检测电路1330(例如,对应于功率检测电路330、930,图3、9),以及阻抗匹配电路1334(例如,对应于第一匹配电路334、934,图3、9)。

[0186] 在图13的实施例中,系统控制器电路1312包括处理器IC和存储器IC,RF信号源电路1320包括信号产生器IC和一个或多个功率放大器装置,功率检测电路1330包括功率耦合器装置,且阻抗匹配电路1334包括连接在一起以形成阻抗匹配网络的多个无源组件(例如,电感器1335、1336和电容器1337)。电路1312、1320、1330、1334和各种子部件可以通过PCB 1302上的导电迹线电耦合在一起,如先前参考与图3、9结合论述的各种导体和连接所论述。

[0187] 在一实施例中,RF模块1300还包括多个连接器1316、1326、1338、1380。举例来说,连接器1380可以被配置成与包括用户接口(例如,用户接口380、980,图3、9)和其它功能性的主机系统连接。连接器1316可以被配置成与可变匹配电路(例如,电路372、972,图3、9)连接以提供控制信号到电路,如先前描述。连接器1326可以被配置成连接到电力供应器以接

收系统电力。最后,连接器1338(例如,连接器336、936,图3、9)可以被配置成连接到同轴电缆或其它传输线,其使得RF模块1300能够电连接(例如,通过导体328-2、928-3的同轴电缆实施方案,图3、9)到可变匹配子系统(例如,子系统370、970,图3、9)。在替代实施例中,可变匹配子系统(例如,可变匹配网络370、平衡-不平衡变压器974和/或可变匹配电路972,图3、9)的组件也可以集成到PCB 1302上,在此情况下可以从模块1300排除连接器1336。也可以做出RF模块1300的布局、子系统和组件中的其它变化。

[0188] RF模块(例如,模块1300,图13)和可变阻抗匹配网络模块(例如,模块1200,图12)的实施例可以电连接在一起,且与其它组件连接,以形成解冻设备或系统(例如,设备100、200、300、900,图1-3、9)。举例来说,RF信号连接可以通过RF连接器1338(图13)与RF连接器1238(图12)之间的连接(例如,导体928-3,图9)做出,例如同轴电缆,且控制连接可以通过连接器1316(图13)与连接器1230(图12)之间的连接(例如,导体916,图9)做出,例如多导体电缆。为进一步组装系统,主机系统或用户接口可以通过连接器1380连接到RF模块1300,电力供应器可以通过连接器1326连接到RF模块1300,且电极(例如,电极940、950,图9)可以连接到输出1202-1、1202-2。当然,上述组合件也将物理上连接到各种支撑结构和其它系统组件,使得电极保持为跨越解冻腔室(例如,腔室110、360、960,图1、3、9)彼此成固定关系,且解冻设备可以集成在较大系统(例如,系统100、200,图1、2)内。

[0189] 由于已经描述解冻系统的电和物理方面的实施例,现将结合图14和15描述用于操作此类解冻系统的方法的各种实施例。更确切地说,图14是根据示例实施例的利用动载匹配操作解冻系统(例如,系统100、210、220、300、700、900,图1-3、7、9)的方法的流程图。

[0190] 所述方法可以在框1402中当系统控制器(例如,系统控制器312、912,图3、9)接收到解冻操作应当开始的指示时开始。可以例如在用户已经将装料(例如,装料364、964,图3、9)放入系统的解冻腔室(例如,腔室360、960,图3、9)、已经密封腔室(例如,通过关闭门或)和已经按下(例如,用户接口380、980,图3、9的)开始按钮之后接收此指示。在实施例中,腔室的密封件可接合一个或多个安全联锁机构,其在接合后指示供应到所述腔室的RF功率大体上将不会泄漏到腔室外部的环境中。如稍后将描述,安全联锁机构的脱离可使系统控制器立即暂停或终止解冻操作。

[0191] 根据各种实施例,系统控制器可任选地接收指示装料类型(例如,肉、液体或其它材料)、初始装料温度和/或装料重量的额外输入。举例来说,关于装料类型的信息可以通过与用户接口的交互从用户接收(例如,通过用户从所辨识装料类型的列表选择)。可替换的是,系统可被配置成扫描在装料外部上可见的条形码,或从装料上或嵌入装料内的RFID装置接收电子信号。关于初始装料温度的信息可以例如从系统的一个或多个温度传感器和/或IR传感器(例如,传感器390、792、990,图3、7、9)接收。关于装料重量的信息可以通过与用户接口的交互从用户接收,或从系统的重量传感器(例如,传感器390、790、990,图3、7、9)接收。如上文所指出,对指示装料类型、初始装料温度和/或装料重量的输入的接收是任选的,且系统可替换地不接收这些输入中的一些或全部。

[0192] 在框1404中,系统控制器将控制信号提供到可变匹配网络(例如,网络370、400、972、1000、1100,图3、4、9-11)以建立可变匹配网络的初始配置或状态。如与图4、5、10和11结合详细描述,控制信号影响可变匹配网络内的可变匹配网络(例如,网络410、411、1011、1016、1021,图4、10)的电感。举例来说,控制信号可以影响旁路开关(例如,开关511-514、

1131-1134、1136-1139、1141、1143,图5、11)的状态,所述旁路开关响应于来自系统控制器的控制信号(例如,控制信号521-524、1151-1154、1156-1159、1161、1163,图5、11)。

[0193] 还如先前论述,可变匹配网络的第一部分可以被配置成为RF信号源(例如,RF信号源320、920,图3、9)或最终级功率放大器(例如,功率放大器325、924,图3、9)提供匹配,且可变匹配网络的第二部分可以被配置成为腔室(例如,腔室360、960,图3、9)加上装料(例如,装料364、964,图3、9)提供匹配。举例来说,参考图4,第一分流可变电感网络410可以被配置成提供RF信号源匹配,且第二分流可变电感网络416可以被配置成提供腔室加上装料匹配。

[0194] 已经观察到用于冷冻装料的最佳初始总体匹配(即,装料吸收最大量的RF功率所在的匹配)通常具有用于匹配网络的腔室匹配部分的相对较高的电感和用于匹配网络的RF信号源匹配部分的相对较低的电感。举例来说,图15是绘制通过两个不同装料的解冻操作的最佳腔室匹配设定与RF信号源匹配设定比较的图表,其中迹线1510对应于第一装料(例如,具有第一类型、重量等),且迹线1520对应于第二装料(例如,具有第二类型、重量等)。在图15中,在解冻操作开始时(例如,当装料是冷冻的时候)的两个装料的最佳初始匹配设定分别由点1512和1522指示。如可见,这两个点1512和1522指示相比于相对较低的RF源匹配设定的相对较高的腔室匹配设定。参看图4的实施例,这转化成用于可变电感网络416的相对高的电感和用于可变电感网络410的相对低的电感。参看图10的实施例,这转化成用于可变电感网络1011和1016的相对高的电感和用于可变电感网络1021的相对低的电感。

[0195] 根据实施例,为了在框1404中建立用于可变匹配网络的初始配置或状态,系统控制器向第一和第二可变电感网络(例如,网络410、411,图4)发送控制信号,以致使用于RF信号源匹配的可变电感网络(例如,网络410)具有相对较低的电感,并致使用于腔室匹配的可变电感网络(例如,网络411)具有相对较高的电感。系统控制器可确定基于系统控制器凭经验得知的装料类型/重量/温度信息而将电感设置得多低或多高。如果没有凭经验获得的装料类型/重量/温度信息可用于系统控制器,那么系统控制器可选择用于RF信号源匹配的相对低的默认电感和用于腔室匹配的相对高的默认电感。

[0196] 然而,假设系统控制器的确具有关于装料特性的先验信息,系统控制器可试图建立接近最佳初始匹配点的初始配置。举例来说,且再次参看图15,用于第一类型的装料的最佳初始匹配点1512具有网络的最大值的约80%的腔室匹配(例如,由网络411或1011/1016实施),且具有网络的最大值的约10%的RF信号源匹配(例如,由网络410或1021实施)。假定可变电感网络中的每一个具有类似于例如图5的网络500的结构,且假定上述表1的状态适用,那么对于第一类型的装料,系统控制器可以初始化可变电感网络以使得腔室匹配网络(例如,网络411或1011/1016)具有状态12(即,网络411或1011/1016的最大可能电感的约80%),且RF信号源匹配网络(例如,网络410或1021)具有状态2(即,网络410的最大可能电感的约10%)。相反,用于第二类型的装料的最佳初始匹配点1522具有网络的最大值的约40%的腔室匹配(例如,由网络411或1011/1016实施),且具有网络的最大值的约10%的RF信号源匹配(例如,由网络410或1021实施)。因此,对于第二类型的装料,系统控制器可以初始化可变电感网络以使得腔室匹配网络(例如,网络411或1011/1016)具有状态6(即,网络411或1011/1016的最大可能电感的约40%),且RF信号源匹配网络(例如,网络410或1021)具有状态2(即,网络410或1021的最大可能电感的约10%)。大体上在解冻操作期间,对RF信号源匹配网络和腔室匹配网络的阻抗值的调整是以逆方式做出。换句话说,当RF信号源匹

配网络的阻抗值减小时,腔室匹配网络的阻抗值增加,反之亦然。

[0197] 再次参考图14,一旦初始可变匹配网络配置建立,系统控制器便可执行在必要时调整可变阻抗匹配网络的配置以基于指示匹配质量的实际测量值找到可接受的或最佳的匹配的过程1410。根据实施例,此过程包括在框1412中致使RF信号源(例如,RF信号源320、920,图3、9)通过可变阻抗匹配网络将相对低功率RF信号供应到电极(例如,第一电极340或电极940、950两者,图3、9)。系统控制器可以通过到电力供应器和偏置电路(例如,电路326、926,图3、9)的控制信号控制RF信号功率电平,其中所述控制信号致使电力供应器和偏置电路将与所需信号功率电平一致的供应和偏置电压提供到放大器(例如,放大器级324、325、924,图3、9)。举例来说,相对较低功率的RF信号可为具有在约10W到约20W范围内的功率电平的信号,但是可替换地使用不同功率电平。在匹配调整过程1410期间的相对低功率电平信号是合意的,将减少损坏腔室或装料(例如,如果初始匹配造成高反射功率)的风险,且将减少损坏可变电感网络的切换组件(例如,由于跨越开关触点的电弧)的风险。

[0198] 在框1414中,功率检测电路(例如,功率检测电路330、930、930'、930'',图3、9)随后测量沿着RF信号源与电极之间的传输路径(例如,路径328、928,图3、9)的反射和(在一些实施例中)前向功率,且将那些测量值提供到系统控制器。系统控制器接着可确定反射信号功率与前向信号功率之间的比率,且可基于所述比率确定系统的S11参数。在一实施例中,系统控制器可以存储接收功率测量值(例如,接收反射功率测量值、接收前向功率测量值或这两者)和/或计算出的比率和/或S11参数以用于未来评估或比较。

[0199] 在框1416中,系统控制器可以基于反射功率测量值和/或反射与前向信号功率比率和/或S11参数而确定由可变阻抗匹配网络提供的匹配是否可接受(例如,反射功率低于阈值,或所述比率是10%或更小,或所述测量值或值与某个其它准则相比更有利)。可替换的是,系统控制器可被配置成确定匹配是否是“最佳”匹配。“最佳”匹配可以例如通过以下方式确定:反复地测量所有可能的阻抗匹配网络配置(或至少阻抗匹配网络配置的子集)的反射RF功率(且在一些实施例中,前向反射RF功率),并且确定哪一配置导致最低反射RF功率和/或最低反射与前向功率比率。

[0200] 当系统控制器确定所述匹配不是可接受的或不是最佳匹配时,在框1418中,系统控制器可通过重新配置可变阻抗匹配网络来调整所述匹配。举例来说,这可以通过将控制信号发送到可变阻抗匹配网络来实现,所述控制信号致使网络增加和/或减小网络内的可变电感(例如,通过致使可变电感网络410、411、1011、1016、1021具有不同电感状态,或通过将电感器501-504、1111-1114、1116-1119、1121、1123,图4、5、10、11切换进出电路)。在重新配置可变电感网络之后,可以反复地执行框1414、1416和1418直到在框1416中确定可接受或最佳匹配。

[0201] 一旦确定可接受或最佳匹配,解冻操作便可以开始。解冻操作的开始包括在框1420中将由RF信号源(例如,RF信号源320、920,图3、9)供应的RF信号的功率增加到相对高功率RF信号。同样,系统控制器可以通过到电力供应器和偏置电路(例如,电路326、926,图3、9)的控制信号控制RF信号功率电平,其中所述控制信号致使电力供应器和偏置电路将与所需信号功率电平一致的供应和偏置电压提供到放大器(例如,放大器级324、325、924,图3、9)。举例来说,相对较高功率的RF信号可为具有在约50W到约500W范围内的功率电平的信号,但是可替换地使用不同功率电平。

[0202] 在框1422中,功率检测电路(例如,功率检测电路330、930、930'、930",图3、9)随后周期性地测量反射功率,并且在一些实施例中测量沿着RF信号源与电极之间的传输路径(例如,路径328、928,图3、9)的前向功率,且将那些测量值提供到系统控制器。系统控制器可再次确定反射信号功率与前向信号功率之间的比率,且可基于所述比率确定系统的S11参数。在一实施例中,系统控制器可以存储接收功率测量值和/或计算出的比率和/或S11参数以用于未来评估或比较。根据实施例,前向和反射功率的周期性测量值可在相当高频率(例如,约毫秒)下或在相当低频率(例如,约秒)下获得。举例来说,用于获得周期性测量值的相当低频率可为每10秒到20秒一个测量值的速率。

[0203] 在框1424中,系统控制器可以基于一个或多个反射信号功率测量值、一个或多个计算的反射与前向信号功率比率和/或一个或多个计算的S11参数而确定由可变阻抗匹配网络提供的匹配是否可接受。举例来说,系统控制器可以使用单个反射信号功率测量值、单个所计算的反射与前向信号功率比率或单个所计算的S11参数来做出此确定,或可以取得若干先前接收的反射信号功率测量值、先前所计算的反射与前向功率比率或先前所计算的S11参数的平均(或其它计算)来做出此确定。为了确定匹配是否可接受,系统控制器可以将接收的反射信号功率、计算出的比率和/或S11参数与例如一个或多个对应阈值进行比较。举例来说,在一个实施例中,系统控制器可以将接收的反射信号功率与前向信号功率的例如5%(或某个其它值)的阈值进行比较。低于前向信号功率的5%的反射信号功率可以指示匹配仍可接受,且高于5%的比率可以指示匹配不再可接受。在另一实施例中,系统控制器可将计算出的反射与前向信号功率比与10%的阈值(或某一其它值)进行比较。低于10%的比率可以指示匹配仍可接受,且高于10%的比率可以指示匹配不再可接受。当测得的反射功率或计算出的比率或S11参数大于对应阈值(即,比较是不利的)从而指示不可接受的匹配时,随后系统控制器可以通过再次执行过程1410而起始可变阻抗匹配网络的重新配置。

[0204] 如先前所论述,由可变阻抗匹配网络提供的匹配可在解冻操作过程中降级,因为装料(例如,装料364,图3)的阻抗随着装料升温而发生改变。已经观察到,在解冻操作过程中,最佳腔室匹配可通过减小腔室匹配电感(例如,通过减小图4的可变电感网络411的电感)和通过增加RF信号源电感(例如,通过增加图4的可变电感网络410的电感)来维持。再次参考图15,举例来说,在解冻操作结束时第一类型的装料的最佳匹配由点1514指示,且在解冻操作结束时第二类型的装料的最佳匹配由点1524指示。在两种情况下,对解冻操作的起始与完成之间的最佳匹配的跟踪涉及逐渐减小腔室匹配的电感且增加RF信号源匹配的电感。

[0205] 根据实施例,在重新配置可变阻抗匹配网络的反复过程1410中,系统控制器可考虑此倾向。更具体地说,当在框1418中通过重新配置可变阻抗匹配网络来调整匹配时,系统控制器最初可选择用于对应于更低电感(用于腔室匹配,或网络411,图4)和更高电感(用于RF信号源匹配,或网络410,图4)的腔室和RF信号源匹配的可变电感网络的状态。当相比于并未考虑这些趋势的重新配置过程时,通过选择倾向于遵循期望的最佳匹配轨迹的阻抗(例如,图15中所说明的那些)可减少执行可变阻抗匹配网络重新配置过程1410的时间。

[0206] 在替代实施例中,系统控制器可替代地反复测试每一邻近配置,以试图确定可接受的配置。举例来说,再次参看上文的表1,如果当前配置对应于用于腔室匹配网络的状态12和用于RF信号源匹配网络的状态3,那么系统控制器可测试用于腔室匹配网络的状态11

和/或状态13,且可测试用于RF信号源匹配网络的状态2和/或状态4。如果那些测试并未产生有利的结果(即,可接受的匹配),那么系统控制器可测试用于腔室匹配网络的状态10和/或状态14,且可测试用于RF信号源匹配网络的状态1和/或状态5等。

[0207] 实际上,存在多种不同的系统控制器可采用以重新配置系统以具有可接受的阻抗匹配的搜索方法,包括测试所有可能的阻抗匹配网络配置。搜索可接受配置的任何合理方法均视为落入本发明主题的范围内。在任何情况下,一旦在框1416中确定可接受匹配,解冻操作便在框1414中恢复且过程继续反复进行。

[0208] 返回参看框1424,当系统控制器基于一个或多个反射功率测量值、一个或多个计算的反射与前向信号功率比率和/或一个或多个计算的S11参数而确定由可变阻抗匹配网络提供的匹配仍可接受时(例如,反射功率测量值、计算的比率或S11参数小于对应阈值,或比较是有利的),系统可以在框1426中评估退出条件是否已发生。实际上,退出条件是否已发生的确定可为可以在解冻过程期间的任一点发生的中断驱动的过程。然而,为了将退出条件包括于图14的流程图中,所述过程被示出为发生在框1424之后。

[0209] 在任何情况下,若干条件可保证解冻操作的停止。举例来说,系统可确定当安全联锁被破坏时已发生退出条件。可替换的是,系统可确定当由用户(例如,通过用户接口380、980,图3、9)设定的计时器到期时或当由系统控制器基于系统控制器对应执行解冻操作的时间的估计而确立的计时器到期时退出条件已发生。在又一替代实施例中,系统可以其它方式检测解冻操作的完成。

[0210] 如果退出条件尚未发生,那么可通过反复执行框1422和框1424(和匹配网络重新配置过程1410,视需要)继续解冻操作。当退出条件已发生时,接着在框1428中,系统控制器使RF信号源中断RF信号的供应。举例来说,系统控制器可以停用RF信号产生器(例如,RF信号产生器322、922,图3、9)和/或可以致使电力供应器和偏置电路(例如,电路326、926,图3、9)停止供应电流的提供。另外,系统控制器可以将信号发送到用户接口(例如,用户接口380、980,图3、9),所述信号致使用户接口产生退出条件的用户可察觉标志(例如,通过在显示装置上显示“门打开”或“完成”,或提供可听音)。接着,方法可结束。

[0211] 应理解,与图14中所描绘的框相关联的操作的顺序对应于实例实施例,且不应解释为将操作的序列限制于所示出的顺序。替代地,一些操作可以不同次序进行,和/或一些操作可并行进行。

[0212] 本文中包含的各图中示出的连接线意图表示各种元件之间的示例性功能关系和/或物理耦合。应注意,主题的实施例中可以存在许多替代或额外的功能关系或物理连接。此外,本文中还可以仅出于参考的目的使用某些术语,且因此这些术语并不意图具有限制性,并且除非上下文清楚地指示,否则指代结构的术语“第一”、“第二”和其它此类数值术语并不暗示顺序或次序。

[0213] 如本文所用,“节点”意味着任何内部或外部参考点、连接点、接合点、信号线、导电元件等等,在“节点”处存在给定信号、逻辑电平、电压、数据模式、电流或量。此外,两个或多于两个节点可以通过一个物理元件实现(并且尽管在公共节点处接收或输出,但是仍然可以对两个或更多个信号进行多路复用、调制或者区分)。

[0214] 以上描述指代元件或节点或特征“连接”或“耦合”在一起。如本文所使用,除非以其它方式明确地陈述,否则“连接”意味着一个元件直接接合到另一元件(或直接与另一元

件通信),且不必以机械方式。类似地,除非以其它方式明确地陈述,否则“耦合”意味着一个元件直接或间接接合到另一元件(或直接或间接与另一元件通信),且不必以机械方式接合。因此,虽然图中示出的示意图描绘元件的一个示例性布置,但是另外的介入元件、装置、特征或组件可存在于所描绘主题的实施例中。

[0215] 热增加系统的实施例耦合到用于容纳装料的腔室。所述热增加系统包括被配置成供应RF信号的RF信号源、传输路径、阻抗匹配网络、功率检测电路和控制器。传输路径电耦合于RF信号源与跨越腔室定位的第一和第二电极之间。阻抗匹配沿着传输路径电耦合,且阻抗匹配网络包括可变无源组件的网络。所述功率检测电路被配置成检测沿着所述传输路径的反射信号功率。控制器被配置成基于反射信号功率而修改阻抗匹配网络的可变无源组件中的一个或多个的一个或多个值以减少反射信号功率。

[0216] 操作包括腔室的热增加系统的方法的实施例包括由RF信号源将一个或多个RF信号供应到传输路径,所述传输路径电耦合于RF信号源与跨越腔室定位的第一和第二电极之间。所述方法进一步包括由功率检测电路检测沿着传输路径的反射信号功率,且由控制器修改沿着传输路径电耦合的阻抗匹配网络的可变无源组件中的一个或多个的一个或多个值以减少反射信号功率。

[0217] 尽管先前详细描述中已呈现至少一个示例性实施例,但应了解,存在大量变化。还应了解,本文中所描述的示例性实施例并不意图以任何方式限制所要求的主题的范围、适用性或配置。实际上,以上详细描述将向本领域的技术人员提供用于实施所描述的一个或多个实施例的方便的指南。应理解,可在不脱离权利要求书所限定的范围的情况下对元件的功能和布置作出各种改变,权利要求书所限定的范围包括在提交本专利申请时的已知等效物和可预见的等效物。

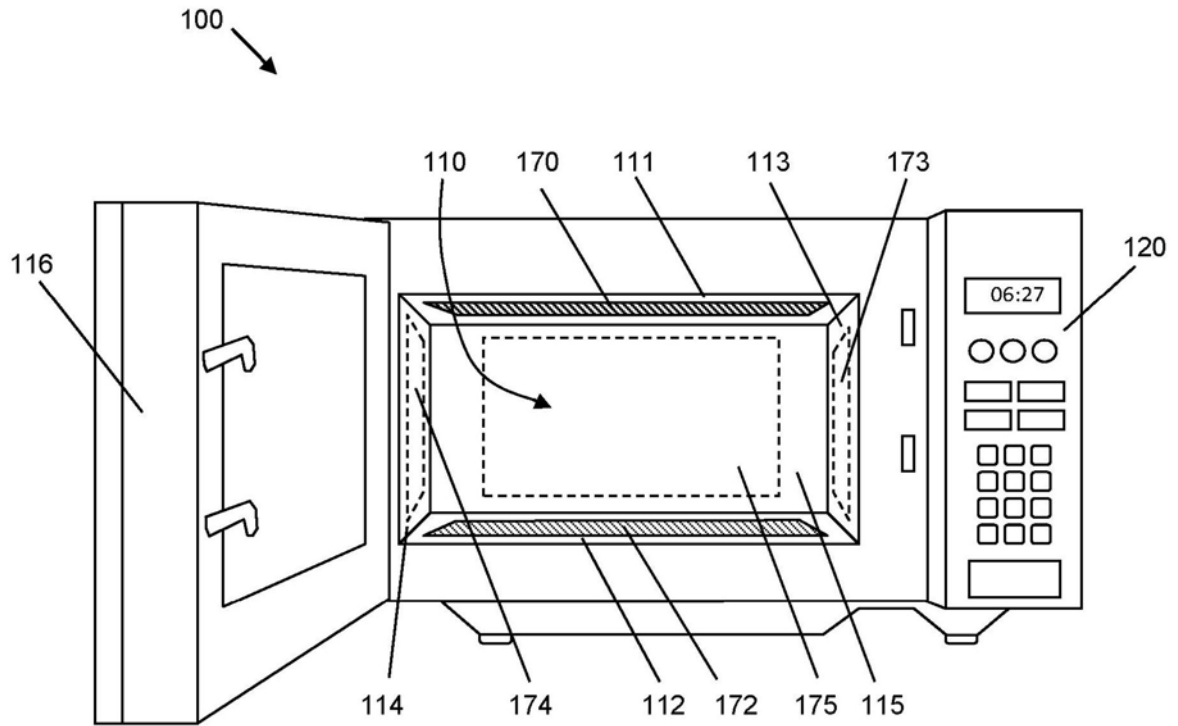


图1

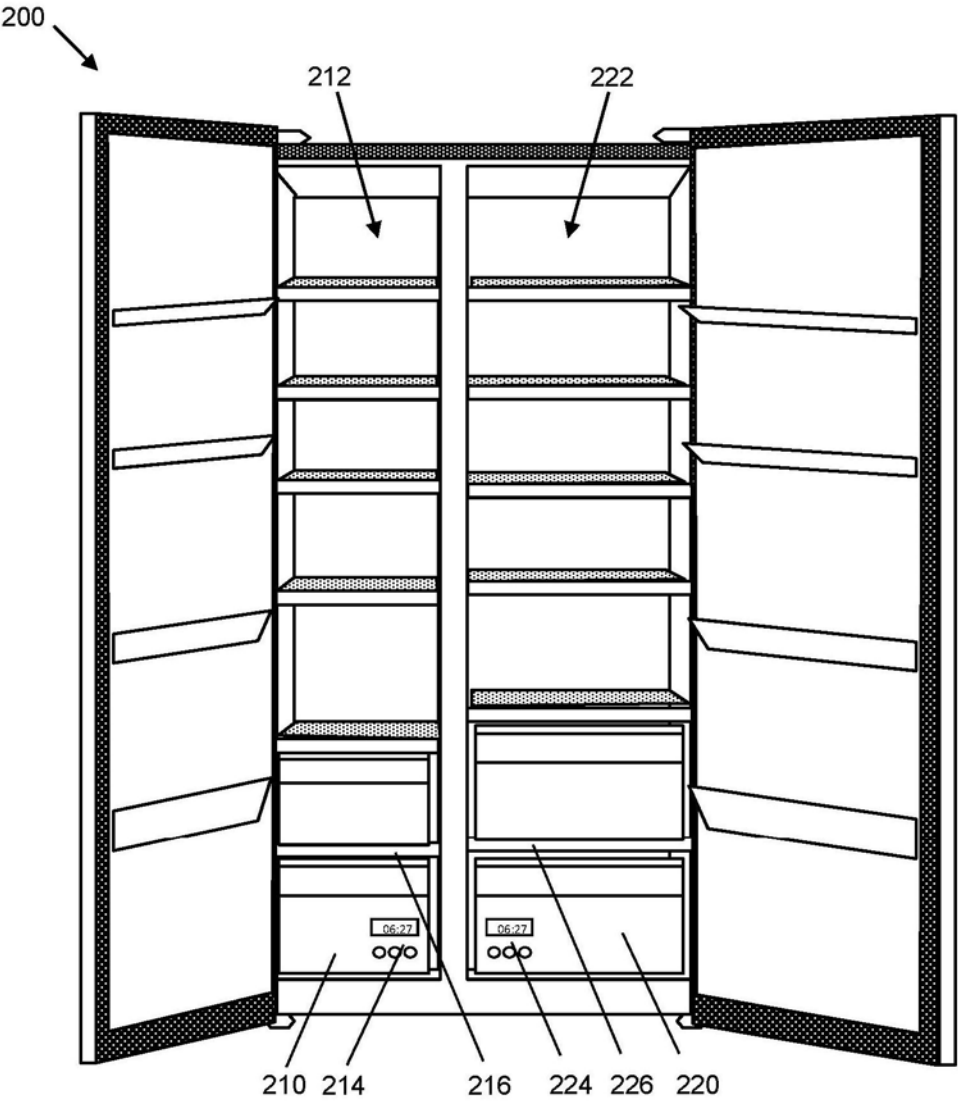
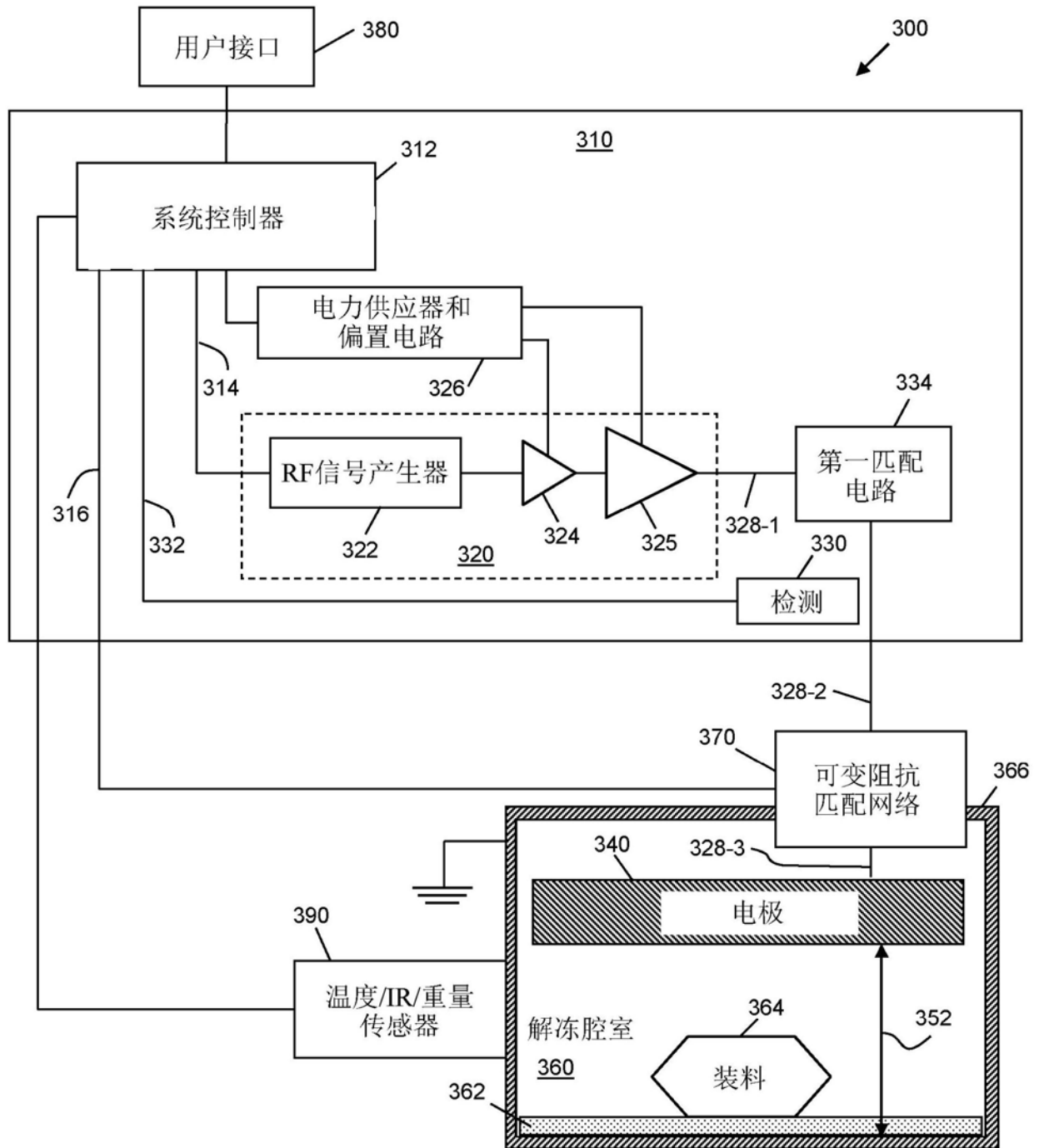


图2



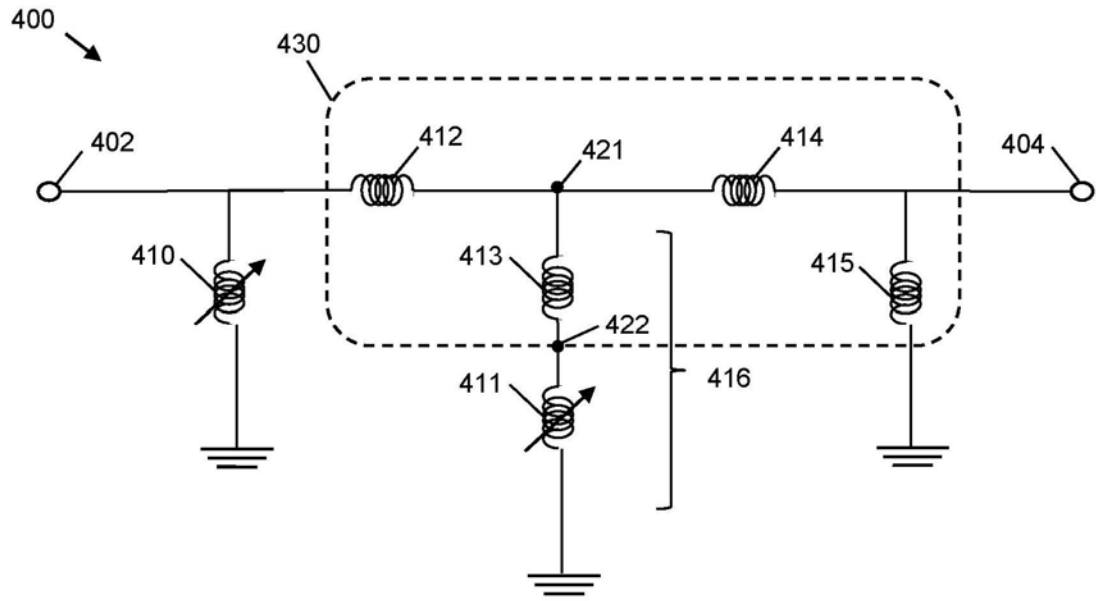


图4

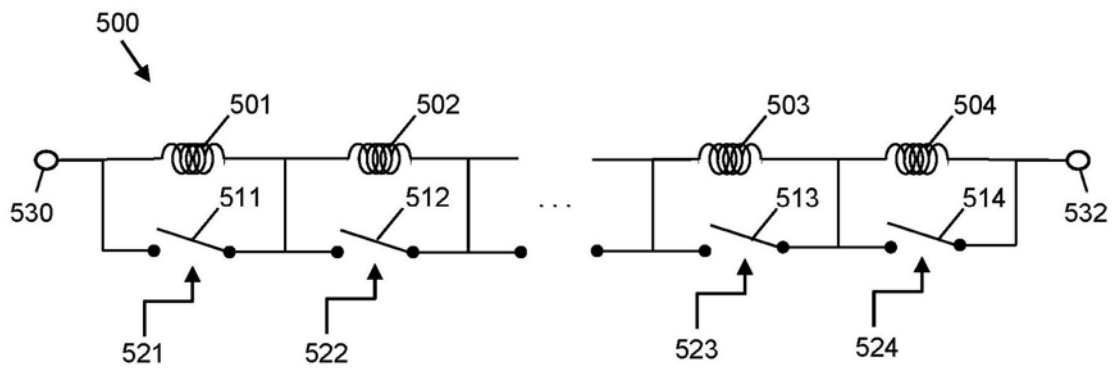


图5

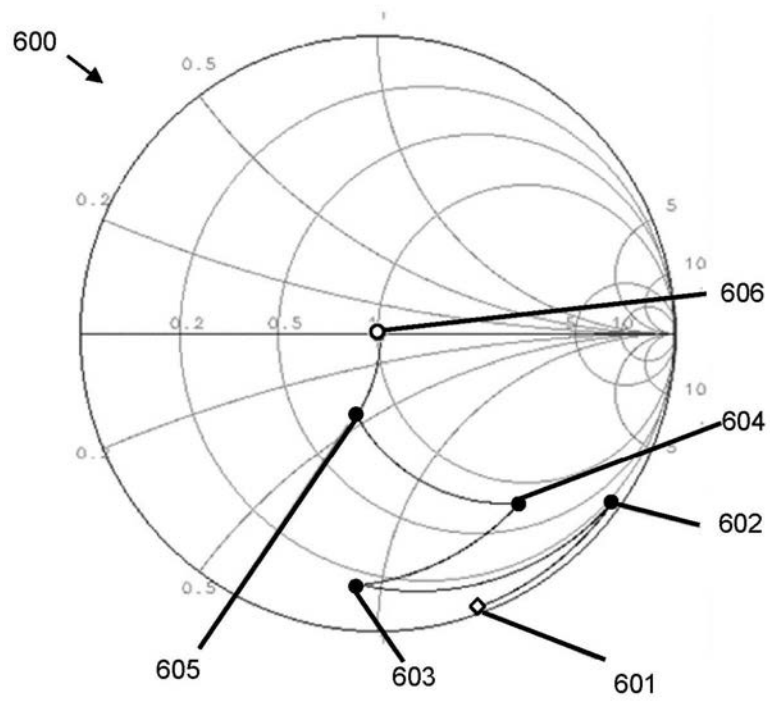


图6

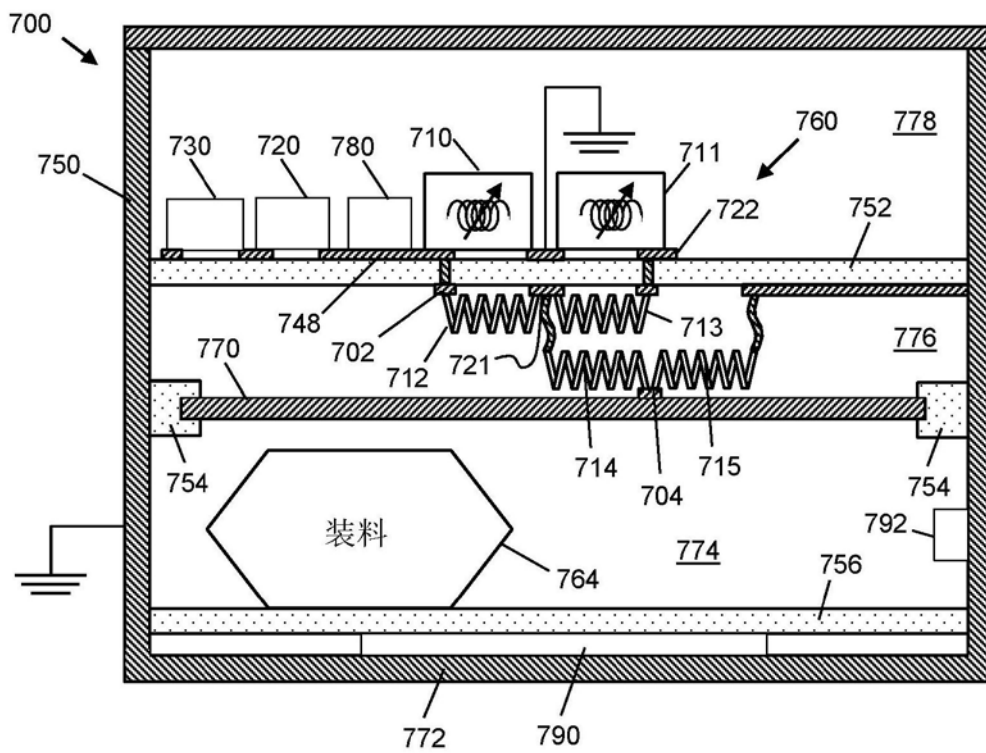


图7

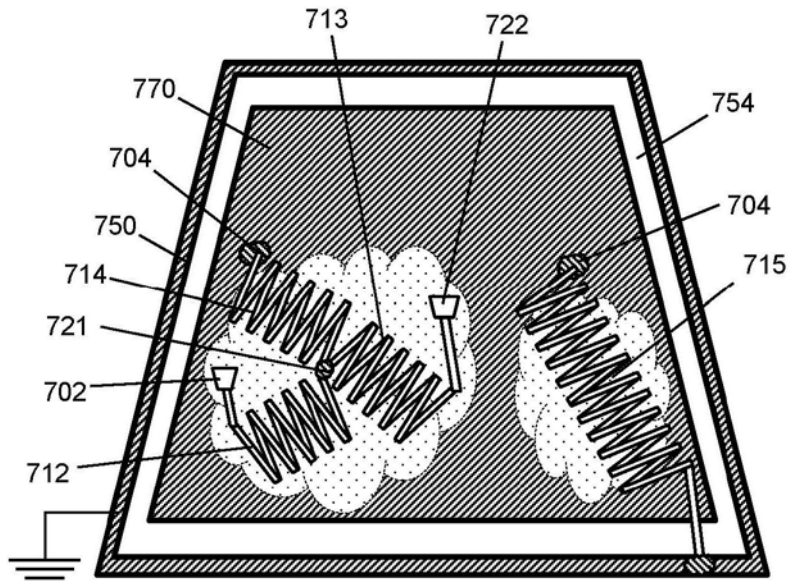


图8

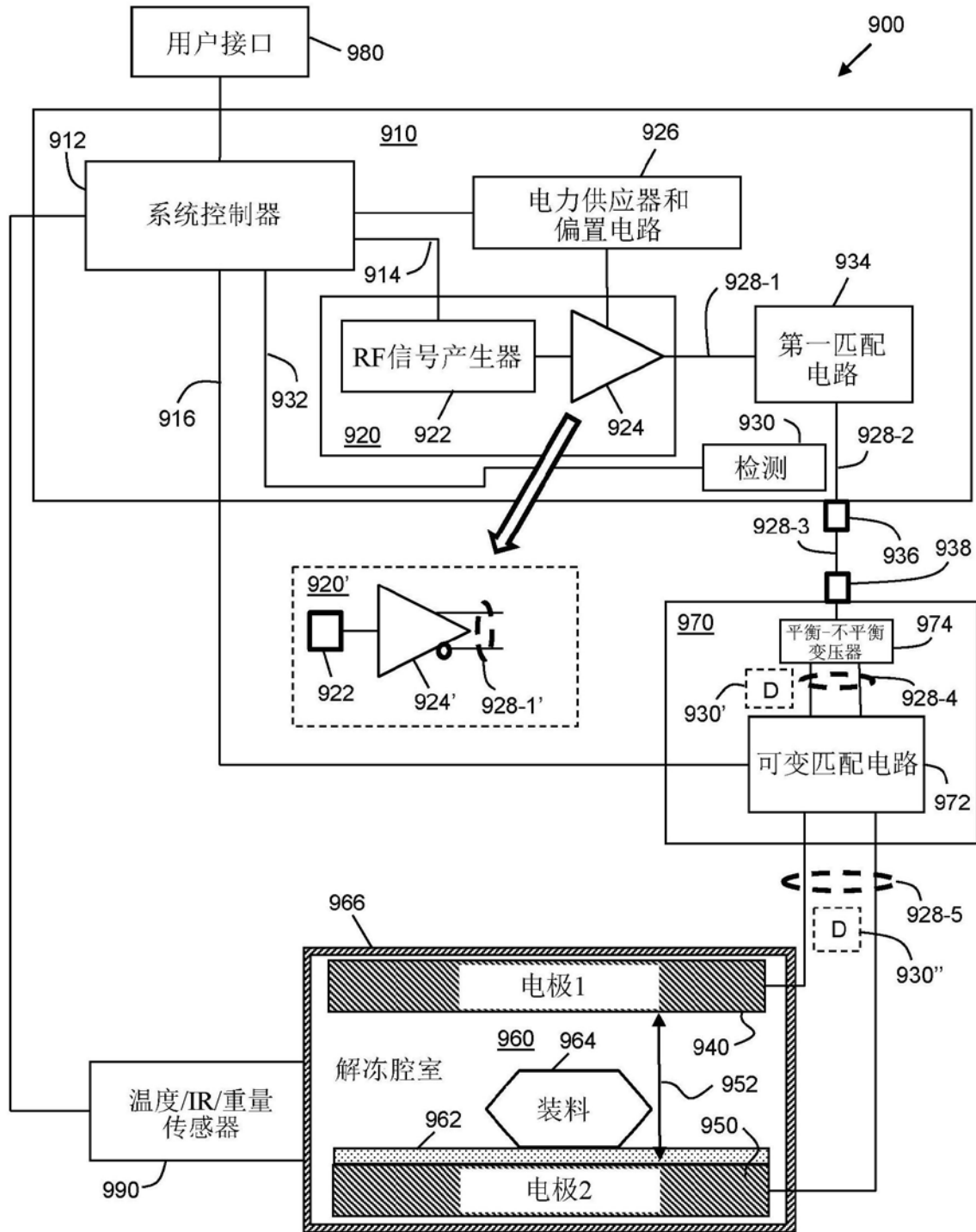


图9

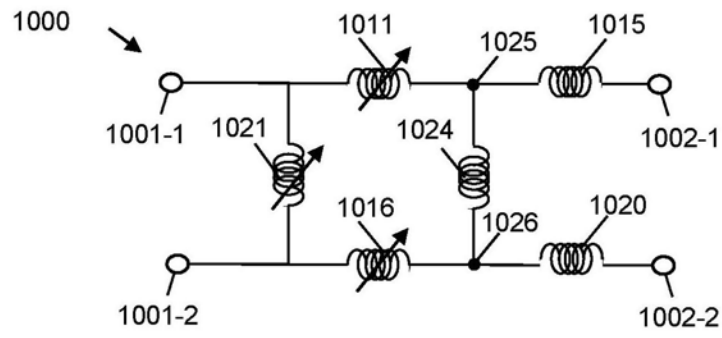


图10

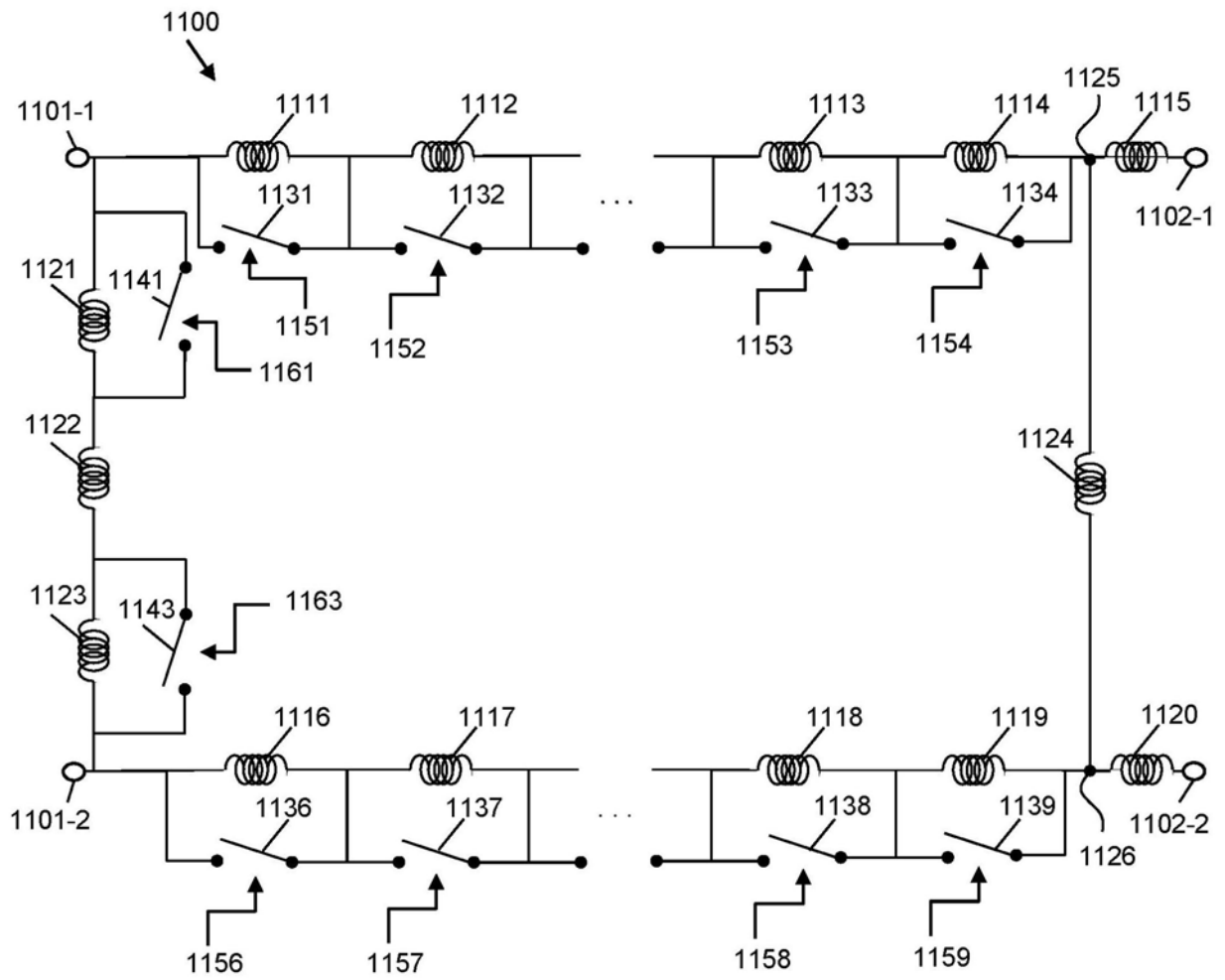


图11

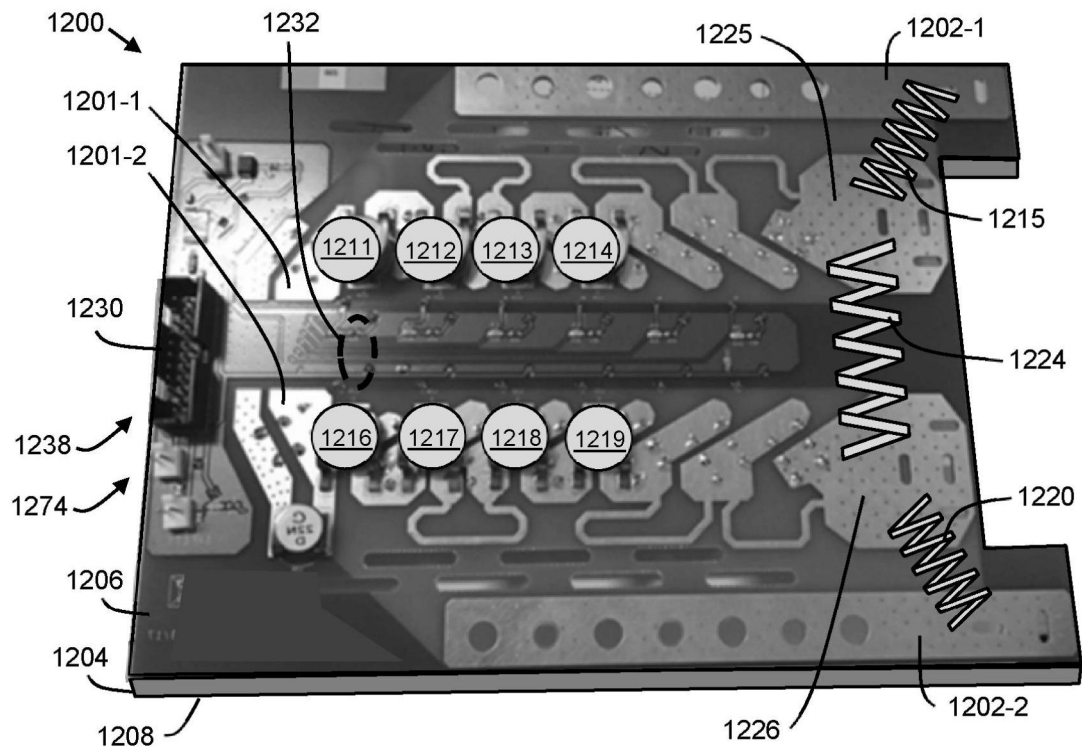


图12

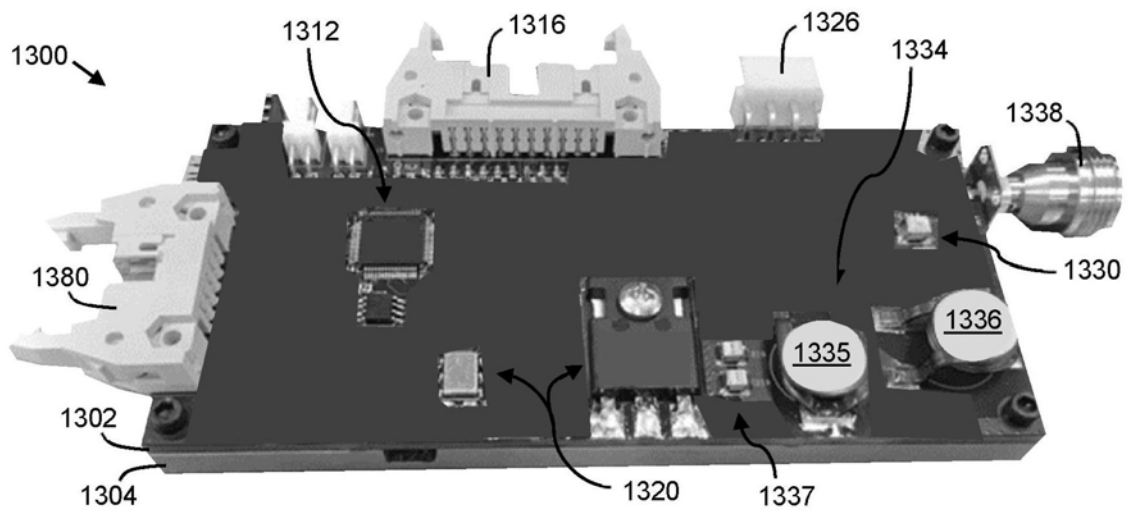


图13

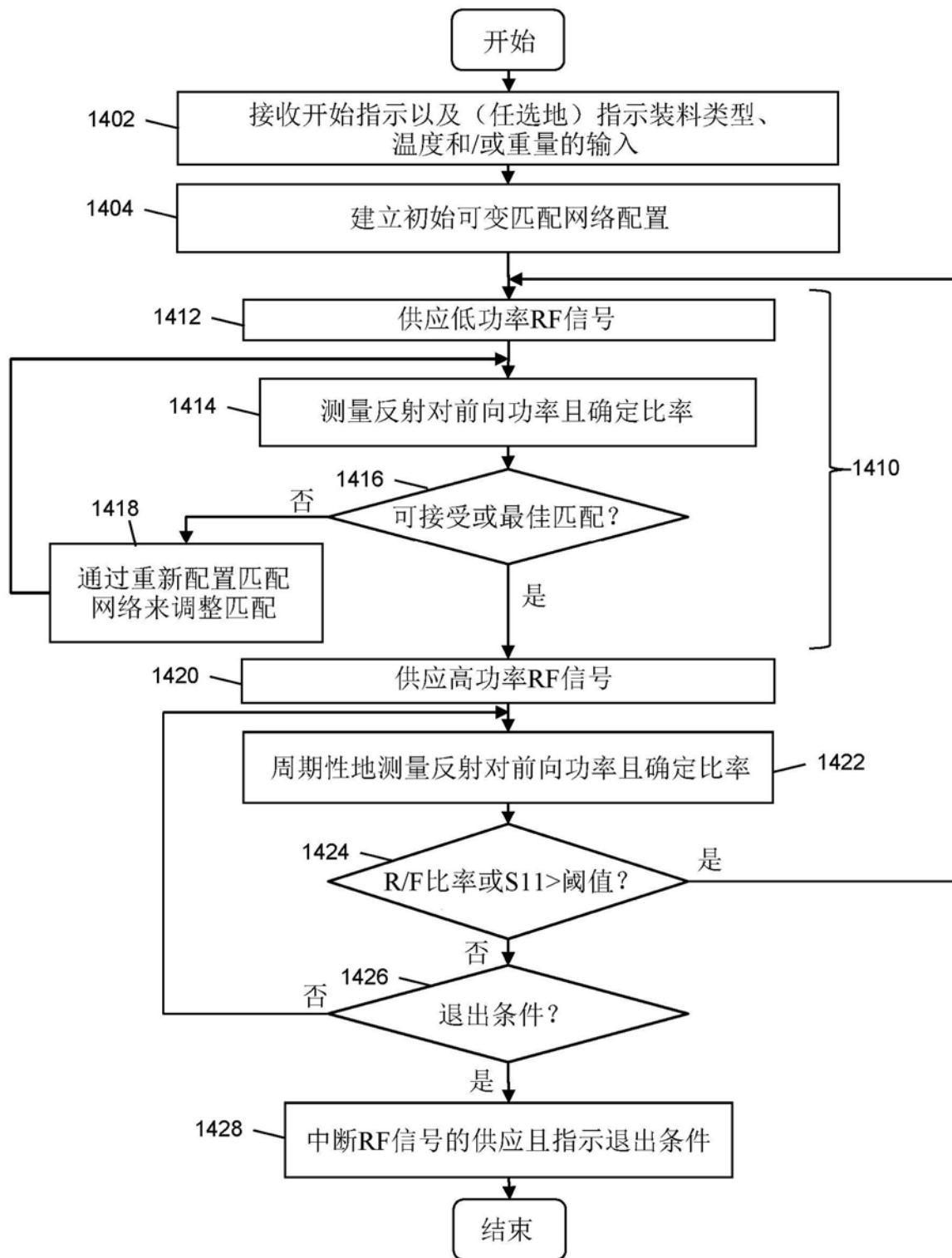


图14

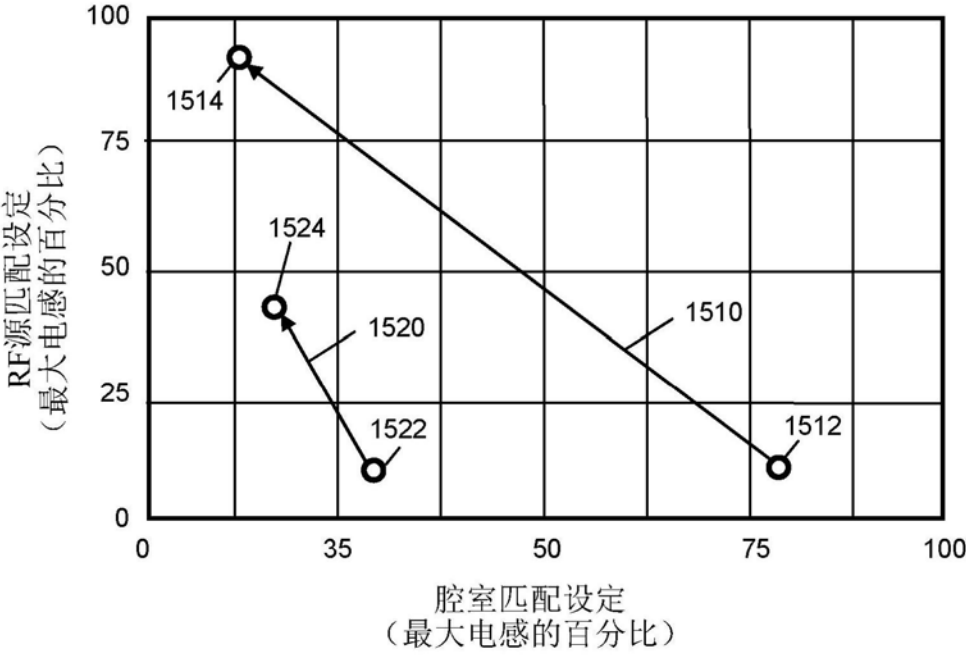


图15