



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0074927
(43) 공개일자 2019년06월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H05B 6/68 (2006.01) A23L 3/365 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H05B 6/682 (2013.01)
A23L 3/365 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0062608
(22) 출원일자 2018년05월31일
심사청구일자 없음
(30) 우선권주장
17306854.5 2017년12월20일
유럽특허청(EPO)(EP)

(71) 출원인
엔엑스피 유에스에이 인코포레이티드
미국 텍사스 78735 오스틴 더블유 윌리엄 캐논 더
알 6501
(72) 발명자
피엘 피에르 마리 장
미국 텍사스주 78735 오스틴 웨스트 윌리엄 캐논
드라이브 6501 엔엑스피 유에스에이 인코포레이티
드
문진 라이오넬
미국 텍사스주 78735 오스틴 웨스트 윌리엄 캐논
드라이브 6501 엔엑스피 유에스에이 인코포레이티
드
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
제일특허법인(유)

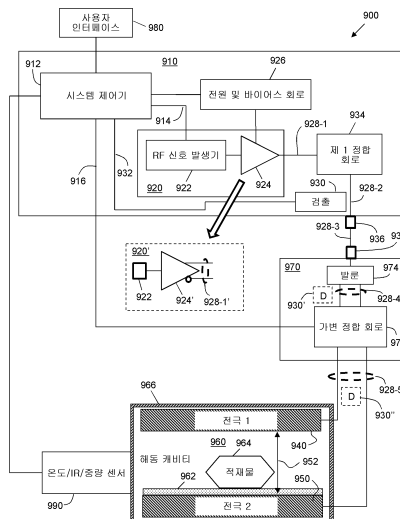
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 **해동 장치 및 이의 동작 방법**

(57) 요약

해동 시스템은 RF 신호 소스, 해동될 적재물이 위치하는 캐비티에 근접한 2 개의 전극, RF 신호 소스와 전극 사이의 전송 경로, 및 RF 신호 소스의 출력과 전극 사이의 전송 경로를 따라 전기적으로 연결된 임피던스 정합 회로망을 포함한다. 시스템은 또한 전송 경로에 연결되고 전송 경로를 따라 반사 신호 전력을 검출하도록 구성된 전력 검출 회로를 포함한다. 시스템 제어기는 반사 신호 전력에 기초하여 반사 신호 전력을 감소시키기 위해 임피던스 정합 회로망의 가변 수동 소자의 값을 수정하도록 구성된다. 임피던스 정합 회로망은 단종단(single-ended) 회로망 또는 양종단(double-ended) 회로망일 수 있다.

대표도 - 도9



(52) CPC특허분류

H05B 6/686 (2013.01)

H05B 6/702 (2013.01)

H05B 6/705 (2013.01)

(72) 발명자

시몬 제레미

미국 텍사스주 78735 오스틴 웨스트 윌리엄 캐논
드라이브 6501 엔엑스피 유에스에이 인코포레이티
드

스콧 제임스 에릭

미국 텍사스주 78735 오스틴 웨스트 윌리엄 캐논
드라이브 6501 엔엑스피 유에스에이 인코포레이티
드

키우 시아오펜이

미국 텍사스주 78735 오스틴 웨스트 윌리엄 캐논
드라이브 6501 엔엑스피 유에스에이 인코포레이티
드

명세서

청구범위

청구항 1

적재물(364, 964)을 포함하는 캐비티(360, 960)에 연결된 열적 증가 시스템(300, 900)으로서,

상기 열적 증가 시스템은

RF 신호를 공급하도록 구성된 무선 주파수(RF) 신호 소스(320, 920, 920')와,

상기 RF 신호 소스와, 상기 캐비티 양단에 배치된 제 1 및 제 2 전극(340, 366, 940, 950) 사이에 전기적으로 연결된 전송 경로(328, 928)와,

상기 전송 경로를 따라 전기적으로 연결된 임피던스 정합 회로망(370, 400, 972, 1000, 1100) - 상기 임피던스 정합 회로망은 가변 수동 소자(410, 411, 501-504, 1011, 1016, 1021, 1111-1114, 1016-1019, 1021, 1023)의 회로망을 포함함 - 과,

상기 전송 경로를 따라 반사 신호 전력을 검출하도록 구성된 전력 검출 회로(330, 930, 930', 930")와,

상기 반사 신호 전력에 기초하여, 상기 반사 신호 전력을 감소시키기 위해 상기 임피던스 정합 회로망의 상기 가변 수동 소자 중 하나 이상의 하나 이상의 값을 변경하도록 구성된 제어기(312, 912)

를 포함하는

열적 증가 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 RF 신호 소스는 비평형 RF 신호를 생성하도록 구성되고,

상기 시스템은,

상기 RF 신호 소스의 출력에 연결된 입력 및 상기 제 1 및 제 2 전극(940, 950)에 연결된 2 개의 출력을 갖는 변환 장치(974) - 상기 RF 신호 변환 장치는 상기 입력에서 상기 비평형 RF 신호를 수신하여 상기 비평형 RF 신호를 제 1 평형 RF 신호 및 제 2 평형 RF 신호로 구성된 평형 RF 신호로 변환하고, 상기 2 개의 출력에서 상기 제 1 및 제 2 평형 RF 신호를 생성하도록 구성됨 -

를 더 포함하는

열적 증가 시스템.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 변환 장치는 발룬(balun)(974)을 포함하는

열적 증가 시스템.

청구항 4

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 RF 신호 소스는 상기 RF 신호 소스의 2 개의 출력에서 2 개의 평형 RF 신호를 생성하도록 구성된 평형 증

폭기(924')를 포함하고,

상기 2 개의 출력은 상기 제 1 및 제 2 전극에 연결되는

열적 증가 시스템.

청구항 5

제 1 항 내지 제 4 항에 있어서,

상기 임피던스 정합 회로망은 양종단 가변 임피던스 정합 회로망(1000, 1100)이고,

상기 양종단 가변 임피던스 정합 회로망은,

제 1 및 제 2 입력(1001-1, 1001-2, 1101-1, 1101-2)과,

제 1 및 제 2 출력(1002-1, 1002-2, 1102-1, 1102-2)과,

상기 제 1 입력과 상기 제 1 출력 사이에 연결된 제 1 가변 임피던스 회로(1011)와,

상기 제 2 입력 및 상기 제 2 출력 사이에 연결된 제 2 가변 임피던스 회로(1016)

를 포함하는 열적 증가 시스템.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 제 1 가변 임피던스 회로는 상기 제 1 입력과 상기 제 1 출력 사이에 직렬로 연결된 복수의 제 1 수동 소자(1111-1114)와, 복수의 제 1 바이패스 스위치(1131-1134)를 포함하고, 상기 제 1 바이패스 스위치의 각각은 상기 제 1 수동 소자 중 하나의 단자 양단에 병렬로 연결되고, 상기 제 1 바이패스 스위치의 각각의 전기적 전도 상태는 상기 제어기(912)로부터의 제어 신호(1151-1154)를 통해 제어되고,

상기 제 2 가변 임피던스 회로는 상기 제 2 입력과 상기 제 2 출력 사이에 직렬로 연결된 복수의 제 2 수동 소자(1116-1119) 및 복수의 제 2 바이패스 스위치(1136-1139)를 포함하고, 상기 제 2 바이패스 스위치 각각은 상기 제 2 수동 소자 중 하나의 단자 양단에 병렬로 연결되고, 상기 제 2 바이패스 스위치 각각의 전기적 전도 상태는 제어기(912)로부터의 제어 신호(1156-1159)를 통해 제어되는

열적 증가 시스템.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 제 1 수동 소자는 적어도, 제 2 인덕터(1112)와 직렬로 연결된 제 1 인덕터(1111)를 포함하고,

상기 제 2 수동 소자는 적어도, 제 4 인덕터(1117)와 직렬로 연결된 제 3 인덕터(1116)를 포함하고,

상기 제 1 인덕터(1111)와 상기 제 3 인덕터(1116)는 실질적으로 동일한 값을 갖는 제 1 세트의 인덕터 쌍을 구성하고, 상기 시스템의 동작 중에, 상기 제 1 인덕터 양단에 연결된 제 1 바이패스 스위치(1131)와 상기 제 3 인덕터 양단에 연결된 제 3 바이패스 스위치(1136) 스위치의 동작 상태는 동일하게 제어되며,

상기 제 2 인덕터(1112)와 상기 제 4 인덕터(1117)는 실질적으로 동일한 값을 갖는 제 2 세트의 인덕터 쌍을 구성하고, 상기 시스템의 동작 중에, 상기 제 2 인덕터 양단에 연결된 제 2 바이패스 스위치(1132)와 상기 제 4 인덕터 양단에 연결된 제 4 바이패스 스위치(1137)의 동작 상태는 동일하게 제어되는

열적 증가 시스템.

청구항 8

제 1 항 내지 제 7 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 임피던스 정합 회로망은 단종단 가변 임피던스 정합 회로망(500)이고,

상기 가변 임피던스 정합 회로망은

입력(402)과,

출력(404)과,

상기 입력 및 상기 출력 사이에 연결된 복수의 수동 소자(410, 411, 501-504)와,

복수의 바이패스 스위치(511-514)

를 포함하고,

상기 바이패스 스위치 각각은 상기 수동 소자 중 하나의 단자의 양단에 병렬로 연결되고, 상기 바이패스 스위치 각각의 전기적 전도 상태는 제어기(312)로부터의 제어 신호(521-524)를 통해 제어되는

열적 증가 시스템.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 복수의 수동 소자는 상기 입력과 상기 출력 사이에 직렬로 연결된 복수의 인덕터(511-514)를 포함하는

열적 증가 시스템.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 복수의 인덕터(511 내지 514) 중 적어도 일부는 상이한 인덕턴스 값을 갖는

열적 증가 시스템.

청구항 11

제 1 항 내지 제 9 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 전력 검출 회로(330, 930, 930', 930")는 상기 전송 경로를 따라 순방향 신호 전력을 검출하도록 추가로 구성되고,

상기 제어기(312, 912)는 상기 반사 신호 전력 및 상기 순방향 신호 전력에 기초하여 상기 가변 수동 소자 중 하나 이상의 상기 하나 이상의 값을 수정하도록 구성되는

열적 증가 시스템.

청구항 12

캐비티(360, 960)를 포함하는 열적 증가 시스템(300, 900)을 동작시키는 방법으로서,

무선 주파수(RF) 신호 소스(320, 920)에 의해, 상기 RF 신호 소스와 상기 캐비티 양단에 배치된 제 1 및 제 2 전극(340, 366, 940, 950) 사이에 전기적으로 연결된 전송 경로(328, 928)에 하나 이상의 RF 신호를 공급하는 단계(1420)와,

전력 검출 회로(330, 930, 930', 930")에 의해, 상기 전송 경로를 따라 반사 신호 전력을 검출하는 단계(1414)와,

반사 신호 전력을 감소시키기 위해 상기 전송 경로를 따라 전기적으로 연결된 임피던스 정합 회로망(370, 400, 972, 1000, 1100)의 가변 수동 소자(410, 411, 501-504, 1011, 1016, 1021, 1111-1114, 1016-1019, 1021, 1023) 중 하나 이상의 하나 이상의 값을 제어기(312, 912)에 의해 수정하는 단계(1418)

를 포함하는

방법.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 RF 신호 소스는 비평형 RF 신호를 생성하도록 구성되고,

상기 방법은

변환 장치(972)에 의해, 상기 비평형 RF 신호를 제 1 및 제 2 평형 RF 신호로 구성된 평형 RF 신호로 변환하는 단계와,

상기 제 1 평형 RF 신호를 상기 제 1 전극(940)에 전달하는 단계와,

상기 제 2 평형 RF 신호를 상기 제 2 전극(950)에 전달하는 단계

를 더 포함하는

방법.

청구항 14

제 12 항 또는 제 13 항에 있어서,

상기 임피던스 정합 회로망은 제 1 및 제 2 입력(1001-1, 1001-2, 1101-1, 1101), 제 1 및 제 2 출력(1002-1, 1002-2, 1102-1, 1102-2), 제 1 입력 및 제 1 출력 사이에 연결된 제 1 가변 임피던스 회로(1011), 및 제 2 입력 및 제 2 출력 사이에 연결된 제 2 가변 임피던스 회로(1016)를 포함하는 양종단 가변 임피던스 정합 회로망(1000, 1100)이고,

상기 방법은,

복수의 제 1 바이패스 스위치(1131-1134)로 제어 신호(1151-1154)를 송신하여 상기 제 1 바이패스 스위치의 전기적 전도 상태를 제어하는 단계 - 상기 제 1 바이패스 스위치 각각은 상기 제 1 가변 임피던스 회로의 상이한 수동 소자(1111-1114)의 단자 양단에 병렬로 연결됨 - 와,

복수의 제 2 바이패스 스위치(1136-1139)로 제어 신호(1156-1159)를 전송하여 상기 제 2 바이패스 스위치의 전기적 전도 상태를 제어하는 단계 - 상기 제 2 바이패스 스위치 각각은 상기 제 2 가변 임피던스 회로의 상이한 수동 소자(1116-1119)의 단자 양단에 병렬로 연결됨 -

을 포함하는

방법.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 제 1 가변 임피던스 회로는 적어도 제 2 인덕터(1112)와 직렬로 연결된 제 1 인덕터(1111)를 포함하고,

상기 제 2 가변 임피던스 회로는 적어도 제 4 인덕터(1117)와 직렬로 연결된 제 3 인덕터(1116)를 포함하며, 상기 제 1 인덕터(1111)와 상기 제 3 인덕터(1116)는 실질적으로 동일한 값을 갖는 제 1 세트의 인덕터 쌍을 구성하고, 상기 시스템의 동작 중에, 상기 제 1 인덕터 양단에 연결된 제 1 바이패스 스위치(1131)와 상기 제 3 인덕터 양단에 연결된 제 3 바이패스 스위치(1156)의 동작 상태는 동일하게 제어되고, 상기 제 2 인덕터(1112)와 상기 제 4 인덕터(1117)는 실질적으로 동일한 값을 갖는 제 2 세트의 인덕터 쌍을 구성하고, 상기 시스템의 동작 중에, 상기 제 2 인덕터 양단에 연결된 제 2 바이패스 스위치(1132)와 상기 제 4 인덕터 양단에 연결된 제 4 바이패스 스위치(1157)의 동작 상태는 동일하게 제어되는 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 명세서에 기술된 본 발명의 실시예는 일반적으로 무선 주파수(RF) 에너지를 사용하여 적재물을 해동하는 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 종래의 용량성 식품 해동(또는 해동) 시스템은 가열 컴파트먼트 내에 포함된 대형 평면 전극을 포함한다. 식품 적재물(food load)이 전극 사이에 위치되고 전극이 식품 적재물과 접촉하게 되면, 저전력 전자기 에너지가 전극에 공급되어 식품 적재물을 완만하게 덤힌다. 해동 동작 동안 식품 적재물이 녹음에 따라 식품 적재물의 임피던스가 변한다. 따라서, 해동 동작 동안 식품 적재물로의 동력 전달도 또한 변한다. 해동 동작의 지속 시간은, 예를 들어, 식품 적재물의 중량에 기초하여 결정될 수 있으며, 타이머는 동작의 종단을 제어하는 데 사용될 수 있다.

[0003] 그러한 시스템을 사용하여 우수한 해동 결과가 가능할지라도, 식품 적재물 임피던스에 대한 동적 변화로 인해 식품 적재물의 비효율적인 해동을 초래할 수 있다. 또한, 중량에 기초한 해동 동작의 지속 시간을 결정할 시의 고유한 부정확성으로 인해 해동 동작이 조기에 중단되거나 식품 적재물이 조리되기 시작한 후 늦게 중단될 수 있다. 적재물 전체에 걸친 해동 시에도 식품 적재물(또는 다른 유형의 적재물)을 효과적으로 해동하는 장치 및 방법으로서, 적재물이 원하는 온도에 있을 때 해동 작업을 중단하는 장치 및 방법이 요구된다.

도면의 간단한 설명

[0004] 본 발명의 대상에 대한 보다 완전한 이해는 이하의 도면과 관련하여 고려될 때 상세한 설명 및 청구 범위를 참조함으로써 유도될 수 있으며, 동일한 도면 부호는 도면 전체에 걸쳐 유사한 요소를 나타낸다.

도 1은 일 실시예에 따른 해동 기기의 사시도이다.

도 2는 해동 시스템의 다른 예시적인 실시예를 포함하는 냉장고/냉동고 기기의 사시도이다.

도 3은 일 실시예에 따른, 비평형 해동 장치의 간략화된 블록도이다.

도 4는 일 실시예에 따른 단종단 가변 인덕턴스 정합 회로망의 개략도이다.

도 5는 일 실시예에 따른 단종단 가변 인덕턴스 회로망의 개략도이다.

도 6은 가변 임피던스 정합 회로망의 일 실시예에서 복수의 인덕턴스가 입력 캐비티 임피던스를 RF 신호 소스에 어떻게 정합할 수 있는지를 나타내는 스미스 차트의 예이다.

도 7은 일 실시예에 따른, 해동 시스템의 횡단면도이다.

도 8은 일 실시예에 따른, 해동 시스템의 일부의 사시도이다.

도 9는 다른 실시예에 따른 균형 해동 장치의 간략화된 블록도이다.

도 10은 다른 실시예에 따른 양종단 가변 임피던스 정합 회로망의 개략도이다.

도 11은 다른 실시예에 따른 양종단 가변 임피던스 회로망의 개략도이다.

도 12는 일 실시예에 따른 양중단 가변 임피던스 정합 회로망 모듈의 사시도이다.

도 13은 일 실시예에 따른 RF 모듈의 사시도이다.

도 14는 일 실시예에 따른, 동적 적재물 정합을 갖는 해동 시스템을 동작시키는 방법의 흐름도이다.

도 15는 2 개의 서로 다른 적재물에 대한 해동 동작을 통해 RF 신호 소스 정합 설정에 대한 캐비티 정합 설정을 플롯팅하는 차트이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0005] 다음의 상세한 설명은 본질적으로 단지 예시적인 것이며 본 발명의 대상의 실시예 또는 그러한 실시예의 적용 및 사용을 제한하려는 것이 아니다. 여기에서 사용된 바와 같이, "예시적인" 및 "예시"라는 단어는 "예시, 경우 또는 실례로서 기능을 하는 것"을 의미한다. 예시 또는 실시예로서 본 명세서에 기재된 임의의 구현에는 반드시 다른 구현예보다 바람직하거나 유리한 것으로 해석될 필요는 없다. 나아가, 선행 기술 분야, 배경 또는 다음의 상세한 설명에 제시된 표현 또는 암시된 이론에 구속될 의도는 없다.

[0006] 본 명세서에 기술된 본 발명의 대상의 실시예는 독립형 가전 제품 또는 다른 시스템에 통합될 수 있는 솔리드 스테이트 해동 장치에 관한 것이다. 이하에서 더 상세히 설명하는 바와 같이, 솔리드 스테이트 해동 장치의 실시예는 "비평형(unbalanced)" 해동 장치 및 "평형(balanced)" 장치를 모두 포함한다. 예를 들어, 예시적인 "비평형" 해동 시스템은 캐비티에 배치된 제 1 전극, 단중단 증폭기 장치(하나 이상의 트랜지스터 포함), 단중단 임피던스 정합 회로망(이는 증폭기 장치의 출력 및 제 1 전극 사이에 연결됨), 해동 동작이 완료될 때를 검출할 수 있는 측정 및 제어 시스템을 사용하여 실현된다. 대조적으로, 예시적인 "평형" 해동 시스템은 캐비티에 배치된 제 1 및 제 2 전극, 단중단 또는 양중단 증폭기 장치(하나 이상의 트랜지스터 포함), 증폭기 장치의 출력 및 제 1 및 제 2 전극 사이에 연결된 양중단 임피던스 정합 회로망, 및 해동 동작이 완료되었을 때를 검출할 수 있는 측정 및 제어 시스템을 사용하여 실현된다. 다양한 실시예에서, 임피던스 정합 회로망은 증폭기 배열과 캐비티 사이의 정합을 개선하기 위해 해동 동작 중에 조정될 수 있는 가변 임피던스 정합 회로망을 포함한다.

[0007] 일반적으로, "해동"이라는 용어는 동결된 적재물(식품 적재물 또는 다른 유형의 적재물)의 온도를 적재물이 더는 동결되지 않는 온도(예: 0 ° C 또는 0 ° C 근처의 온도)로 낮추는 것을 의미한다. 본 명세서에 사용된 바와 같이, "해동"이라는 용어는 보다 광범위하게는 적재물에 대한 RF 전력의 공급을 통해 적재물(예를 들어, 식품 적재물 또는 다른 유형의 적재물)의 열 에너지 또는 온도가 증가되는 과정을 의미한다. 따라서, 다양한 실시예에서, "해동 동작"은 임의의 초기 온도(예를 들어, 0 ° C보다 높거나 낮은 임의의 초기 온도)를 갖는 적재물에 대해 수행될 수 있고, 해동 동작은 초기 온도(예를 들어, 0 ° C보다 높거나 낮은 최종 온도를 포함)보다 높은 임의의 최종 온도에서 중단될 수 있다. 즉, 본 명세서에 기술된 "해동 동작" 및 "해동 시스템"은 대안적으로는 "열적 증가 동작" 및 "열적 증가 시스템"으로 지칭될 수 있다. "해동"이라는 용어는 단지 동결된 적재물의 온도를 섭씨 0도 또는 그 근처의 온도까지 상승시킬 수 있는 방법 또는 시스템으로만 본 발명의 적용을 제한하는 것으로 해석되어서는 안 된다.

[0008] 도 1은 예시적인 실시예에 따른 해동 시스템(100)의 사시도이다. 해동 시스템(100)은 해동 캐비티(110)(예를 들어, 캐비티(360, 960, 도 3, 도 9)), 제어 패널(120), 하나 이상의 무선 주파수(RF) 신호 소스(예를 들어, RF 신호 소스(320, 920, 도 3, 도 9), 전원(예, 전원(326, 926, 도 3, 도 9)), 제 1 전극(170, 예를 들어, 전극(340, 940, 도 3, 도 9)), 제 2 전극(172)(예를 들어, 전극(950), 도 9), 임피던스 정합 회로(예, 회로(334, 370, 934, 972, 도 3, 도 9)), 전력 검출 회로(예를 들어, 전력 검출 회로(330, 930, 도 3, 도 9)) 및 시스템 제어기(예, 시스템 제어기(312, 912, 도 3, 도 9))를 포함한다. 해동 캐비티(110)는 상부, 하부, 측면 및 후면 캐비티 벽(111, 112, 113, 114, 115)의 내부 표면과 도어(116)의 내부 표면에 의해 형성된다. 도어(116)가 닫히면, 해동 캐비티(110)는 폐쇄된 에어 캐비티(air cavity)를 형성한다. 본원에 사용된 "에어 캐비티"는 에어 또는 다른 가스(예를 들어, 해동 캐비티(110))를 포함하는 폐쇄 구역을 의미할 수 있다.

[0009] "비평형" 실시예에 따르면, 제 1 전극(170)은 캐비티 벽(예를 들어, 상부 벽(111))에 근접하게 배치되고, 제 1 전극(170)은 잔여 캐비티 벽(예를 들어, 벽(112-115) 및 도어(116))으로부터 전기적으로 절연되고 잔여 캐비티 벽은 접지되어 있다. 이러한 구성에서, 시스템은 커패시터로서 단순하게 모델링될 수 있으며, 커패시터에서 제 1 전극(170)은 하나의 전도성 플레이트(또는 전극)로서 기능하고, 접지된 캐비티 벽(예컨대, 벽(112-115))은 제 2 전도성 플레이트(또는 전극)로서 기능하며, 에어 캐비티(그 안에 포함된 임의의 적재물 포함)는 제 1 및 제 2 전도성 플레이트 사이의 유전체 매체로서 기능한다. 도 1에는 도시되지 않았지만, 비전도성 배리어(예를 들어,

배리어(362, 962, 도 3, 도 9))가 또한 시스템(100)에 포함될 수 있고, 비전도성 배리어는 하부 캐비티 벽(112)으로부터 적재물을 전기적 및 물리적으로 격리시키는 기능을 할 수 있다. 도 1은 상부 벽(111)에 근접한 제 1 전극(170)을 도시하고, 대안적으로 제 1 전극(170)은 전극(172-175)으로 나타난 바와 같이 다른 벽(112-115) 중 어느 하나에 근접할 수 있다.

[0010] "평형" 실시예에 따르면, 제 1 전극(170)은 제 1 캐비티 벽(예를 들어, 상부 벽(111))에 인접하게 배치되고, 제 2 전극(172)은 대향하는 제 2 캐비티 벽(예, 바닥 벽(112))에 근접하게 배치되며, 제 1 및 제 2 전극(170, 172)은 잔여 캐비티 벽(예를 들어, 벽(113-115) 및 도어(116))으로부터 전기적으로 절연된다. 이러한 구성에서, 시스템은 또한 제 1 전극(170)이 하나의 전도성 플레이트(또는 전극)로서 기능하고, 제 2 전극(172)이 제 2 전도성 플레이트(또는 전극)로서 기능하며 에어 캐비티(여기에 포함된 모든 적재물 포함)가 제 1 및 제 2 전도성 플레이트 사이의 유전 매체로서 기능하는 캐퍼시터로서 단순하게 모델링될 수 있다. 도 1에는 도시되지 않았지만, 비전도성 배리어(예, 배리어(914), 도 9)는 또한 시스템(100)에 포함될 수 있으며, 비전도성 배리어는 제 2 전극(172) 및 하부 캐비티 벽(172)으로부터 적재물을 전기적 및 물리적으로 격리시키는 기능을 할 수 있다. 도 1은 제 1 전극(170)이 상부 벽(111)에 근접하고 제 2 전극(172)이 하부 벽(112)에 근접한 것으로 도시하고 있지만, 제 1 및 제 2 전극(170, 172)은 대안적으로 다른 대향 벽에 근접할 수 있다(예를 들어, 제 1 전극은 벽(113)에 근접한 전극(173)일 수 있고, 제 2 전극은 벽(114)에 근접한 전극(174)일 수 있음).

[0011] 일 실시예에 따르면, 해동 시스템(100)의 작동 중에 사용자(도시되지 않음)는 하나 이상의 적재물(예를 들어, 식품 및/또는 음료)을 해동 캐비티(110)에 배치할 수 있고, 선택적으로 적재물(들)의 특성을 특정하는 제어 패널(120)을 통해 입력을 제공할 수 있다. 예를 들어, 특정된 특성은 적재물의 근사 중량을 포함할 수 있다. 또한, 특정된 적재물 특성은 적재물을 형성하는 재료(들)(예: 육류, 빵, 음료)를 나타낼 수 있다. 대안적인 실시예에서, 적재물 특성은 일부 다른 방법으로 얻어질 수 있으며, 예를 들면, 적재물 패키지 상의 바코드를 스캐닝하거나 또는 적재물 상에 또는 내에 내장된 RFID 태그로부터의 무선 주파수 식별(RFID) 신호를 수신하는 것에 의해 얻어질 수 있다. 어느 쪽이든 나중에 더 상세히 설명하는 바와 같이, 이러한 적재물 특성에 관한 정보는 시스템 제어기(예, 시스템 제어기(312, 912, 도 3, 도 9))가 시스템의 임피던스 정합 회로망에 대한 초기 상태를 해동 동작의 시작 시에 설정하는 것을 가능하게 하고, 초기 상태는 적재물로의 최대 RF 전력 전달을 가능하게 하는 최적 상태에 비교적 근접한다. 또는 해동 동작의 시작 전에 적재물 특성을 입력하거나 수신할 수 없으며, 시스템 제어기가 임피던스 정합 회로망의 디폴트 초기 상태를 설정할 수 있다.

[0012] 해동 동작을 시작하기 위해, 사용자는 제어 패널(120)을 통해 입력을 제공할 수 있다. 이에 응답하여, 시스템 제어기는 RF 신호 소스(들)(예를 들어, RF 신호 소스(320, 920, 도 3, 도 9))으로 하여금 비평형 실시예에서 제 1 전극(170)에, 또는 평형 실시예에서 제 1 및 제 2 전극(170, 172) 모두에 RF 신호를 공급하게 하고, 이에 응답하여 전극(들)은 해동 캐비티(110) 내로 전자기 에너지를 방사한다. 전자기 에너지는 적재물의 열 에너지를 증가시킨다(즉, 전자기 에너지는 적재물을 예열시킨다).

[0013] 해동 동작 중에, 적재물의 임피던스(및 이에 따른 캐비티(110) + 적재물의 총 입력 임피던스)는 적재물의 열 에너지가 증가함에 따라 변한다. 임피던스 변화는 RF 에너지의 적재물로의 흡수도(absorption)를 변경하여 반사 전력의 크기를 변경한다. 일 실시예에 따르면, 전력 검출 회로(예를 들어, 전력 검출 회로(330, 930, 도 3, 도 9))는 RF 신호 소스(예를 들어, RF 신호 소스(320, 920, 도 3, 도 9) 및 전극(들)(170, 172)) 사이의 송신 경로(예를 들어, 전송 경로(328, 928, 도 3, 도 9))를 따라 지속적으로 또는 주기적으로 반사된 전력을 측정한다. 이러한 측정값에 기초하여, 시스템 제어기(예를 들어, 시스템 제어기(312, 912, 도 3, 도 9))는, 이하 상세히 설명하는 바와 같이, 해동 동작의 완료를 검출할 수 있다. 다른 실시예에 따르면, 임피던스 정합 회로망은 가변적이며, 반사 전력 측정치(또는 순방향 및 반사 전력 측정치 모두)에 기초하여, 시스템 제어기는 해동 동작 중에 임피던스 정합 회로망의 상태를 변경하여 적재물에 의한 RF 전력의 흡수를 증가시킬 수 있다.

[0014] 도 1의 해동 시스템(100)은 카운터-탑 유형의 기기로 구현된다. 또 다른 실시예에서, 해동 시스템(100)은 또한 전자 레인지 조리 작업을 수행하기 위한 구성 요소 및 기능을 포함할 수 있다. 대안적으로, 해동 시스템의 구성 요소는 다른 유형의 시스템 또는 기기에 통합될 수 있다. 예를 들어, 도 2는 해동 시스템(210, 220)의 다른 예시적인 실시예를 포함하는 냉장고/냉동고 기기(200)의 사시도이다. 보다 구체적으로, 해동 시스템(210)은 시스템(200)의 냉동실(212) 내에 통합되는 것으로 도시되어 있고, 해동 시스템(220)은 시스템의 냉장실(222) 내에 통합되는 것으로 도시되어 있다. 실제 냉장고/냉동고 기기는 해동 시스템(210, 220) 중 하나만을 포함하기 쉽지만 도 2에는 양 실시예를 간결하게 전달하기 위해 둘 모두가 도시되어 있다.

[0015] 해동 시스템(100)과 유사하게, 해동 시스템(210, 220) 각각은 해동 캐비티, 제어 패널(214, 224), 하나 이상의

RF 신호 소스(예를 들어, RF 신호 소스(320, 920, 도 3, 도 9)), 전원 공급 장치(전원 공급 장치(326, 926, 도 3, 도 9)), 제 1 전극(예컨대, 전극(340, 940, 도 3, 도 9)), 제 2 전극(172)(예를 들어, 격납 구조물(366)(도 3, 도 9)), 임피던스 정합 회로(예를 들어, 회로(334, 370, 934, 972 및 도 3, 도 9)), 전력 검출 회로(예, 전력 검출 회로(330, 930, 도 3 및 9)) 및 시스템 제어기(예컨대, 시스템 제어기(312, 912, 도 3, 도 9))를 포함할 수 있다. 예를 들어, 해동 캐비티는 서랍의 바닥, 측면, 전방 및 후방 벽의 내면 및 서랍이 미끄러지는 고정된 선반(216, 226)의 내부 상부면에 의해 한정될 수 있다. 서랍이 선반 아래로 완전히 밀린 상태에서 서랍과 선반은 캐비티를 밀폐된 에어 캐비티로 형성한다. 다양한 실시예에서 해동 시스템(210, 220)의 구성 요소 및 기능은 해동 시스템(100)의 구성 요소 및 기능과 실질적으로 동일할 수 있다.

[0016] 또한, 일 실시예에 따르면, 해동 시스템(210, 220) 각각은 시스템(210, 220)이 배치되는 냉동실 또는 냉장실(212, 222) 각각과 충분한 열 전달이 이루어지게 할 수 있다. 이러한 실시예에서, 해동 동작이 완료된 후에, 적재물은 시스템(210, 220)으로부터 적재물이 제거될 때까지 안전한 온도(즉, 식품 손상이 지연되는 온도)로 유지될 수 있다. 보다 구체적으로는, 냉동고 기반 해동 시스템(210)에 의한 해동 동작의 완료 시, 해동된 적재물이 수용되는 캐비티는 냉동실(212)과 열 전달이 이루어질 수 있고, 적재물이 캐비티로부터 신속하게 제거되지 않으면, 적재물은 재 동결될 수 있다. 유사하게, 냉장고 기반의 해동 시스템(220)에 의한 해동 동작의 완료 시, 해동된 적재물이 수용되는 캐비티는 냉장실(222)과 열 전달이 이루어질 수 있고, 적재물이 즉시 캐비티로부터 제거되지 않으면, 적재물은 냉장실(222) 내의 온도에서 해동된 상태로 보관될 수 있다.

[0017] 당해 분야의 기술자는 본 명세서의 설명에 기초하여, 해동 시스템의 실시예가 다른 구성을 갖는 시스템 또는 기기에도 통합될 수 있음을 이해할 것이다. 따라서, 독립형 기기, 전자 레인지 기기, 냉동고 및 냉장고에서의 해동 시스템의 전술한 구현에는 이러한 유형의 시스템에만 본 실시예를 사용하는 것을 제한하려는 것이 아니다.

[0018] 해동 시스템(100, 200)은 그 구성 요소가 서로에 대해 상대적으로 배향된 것으로 도시되어 있지만, 다양한 구성 요소가 다르게 배향될 수 있음을 이해해야 한다. 또한 다양한 구성 요소의 물리적 구성이 다를 수 있다. 예를 들어, 제어 패널(120, 214, 224)은 더 많거나 적거나 다른 사용자 인터페이스 요소를 가질 수 있고/있거나 사용자 인터페이스 요소는 상이하게 배열될 수 있다. 또한, 실질적으로 입방체 해동 캐비티(110)가 도 1에 도시되어 있지만, 해동 캐비티는 다른 실시예에서 상이한 형상(예컨대, 원통형 등)을 가질 수 있음을 이해해야 한다. 또한, 해동 시스템(100, 210, 220)은 도 1 및 도 2에 구체적으로 도시되지 않은 추가 구성 요소(예를 들어, 팬, 정지 또는 회전 플레이트, 트레이, 전기 코드 등)를 포함할 수 있다.

[0019] 도 3은 예시적인 실시예에 따른 비평형 해동 시스템(300)(예를 들어, 해동 시스템(100, 210, 220, 도 1, 도 2))의 단순화된 블록도이다. 일 실시예에서, 해동 시스템(300)은 RF 서브시스템(310), 해동 캐비티(360), 사용자 인터페이스(380), 시스템 제어기(312), RF 신호 소스(320), 전원 및 바이어스 회로(326), 가변 임피던스 정합 회로망(370), 전극(340), 격납 구조물(366), 및 전력 검출 회로(330)를 포함한다. 또한, 다른 실시예에서, 해동 시스템(300)은 온도 센서(들), 적외선(IR) 센서(들) 및/또는 중량 센서(들)(390)를 포함할 수 있지만, 이들 센서 구성 요소의 일부 또는 전부가 제외될 수 있다. 도 3은 설명 및 설명의 용이함을 위해 해동 시스템(300)의 단순화하여 표현한 것이고, 실제의 실시예는 추가적인 기능 및 특징을 제공하기 위한 다른 장치 및 구성 요소를 포함할 수 있고/있거나 해동 시스템(300)은 대형 전기 시스템의 일부일 수 있다.

[0020] 사용자 인터페이스(380)는 예를 들어, 사용자가 해동 동작을 위한 파라미터(해동할 적재물의 특성 등)와 관련하여 시스템에 입력을 제공할 수 있게 하는 제어 패널(예를 들어, 제어 패널(120, 214, 224, 도 1, 도 2)), 시작 및 취소 버튼, 기계식 컨트롤(예: 도어/서랍 열림 걸쇠) 등에 대응할 수 있다. 또한, 사용자 인터페이스는 해동 동작의 상태를 나타내는 사용자가 인지할 수 있는 출력(예를 들어, 카운트 다운 타이머, visi 해동 동작의 진행 또는 완료를 나타내는 표시, 및/또는 해동 동작의 완료를 나타내는 가청음) 및 기타 정보를 제공하도록 구성될 수 있다.

[0021] 해동 시스템(300)의 일부 실시예는 온도 센서(들), IR 센서(들) 및/또는 중량 센서(들)(390)를 포함할 수 있다. 온도 센서(들) 및/또는 IR 센서(들)은 해동 동작 중에 적재물(364)의 온도가 감지될 수 있게 하는 위치에 배치될 수 있다. 시스템 제어기(312)에 제공될 때, 온도 정보는 시스템 제어기(312)가 (예를 들어, 전원 공급 장치 및 바이어스 회로(326)에 의해 제공된 바이어스 및/또는 공급 전압을 제어함으로써) RF 신호 소스(320)에 의해 공급되는 RF 신호의 전력을 변경할 수 있게 하여, 가변 임피던스 정합 회로망(370)의 상태를 조정하고/하거나 해동 동작이 종료되어야 하는 경우를 결정하도록 한다. 중량 센서(들)은 적재물(364) 아래에 위치되고, 시스템 제어기(312)에 대한 적재물(364)의 중량의 추산치를 제공하도록 구성된다. 예를 들어, 시스템 제어기(312)는

이러한 정보를 사용하여 RF 신호 소스(320)에 의해 공급된 RF 신호에 대한 바람직한 전력 레벨을 결정하고, 가변 임피던스 정합 회로망(370)에 대한 초기 설정을 결정하고 및/또는 해동 동작에 대한 대략적인 지속 기간을 결정할 수 있다.

[0022] 일 실시예에서, RF 서브 시스템(310)은 시스템 제어기(312), RF 신호 소스(320), 제 1 임피던스 정합 회로(334)(여기서는 "제 1 정합 회로"), 전원 및 바이어스 회로(326) 및 전력 검출 회로(330)를 포함한다. 시스템 제어기(312)는 하나 이상의 범용 또는 특수 목적 프로세서(예를 들어, 마이크로 프로세서, 마이크로 제어기, 주문형 집적 회로(ASIC) 등), 휘발성 및/또는 비 휘발성 메모리(예를 들어, RAM(Random Access Memory), ROM(Read Only Memory), 플래시, 다양한 레지스터 등), 하나 이상의 통신 버스 및 기타 구성 요소를 포함할 수 있다. 일 실시예에 따르면, 시스템 제어기(312)는 사용자 인터페이스(380), RF 신호 소스(320), 가변 임피던스 정합 회로망(370), 전력 검출 회로(330) 및 센서(390)(포함되는 경우)에 연결된다. 시스템 제어기(312)는 사용자 인터페이스(380)를 통해 수신된 사용자 입력을 나타내는 신호를 수신하고 전력 검출 회로(330)로부터의 RF 신호 반사 전력(및 가능하면 RF 신호 순방향 전력)을 나타내는 신호를 수신하도록 구성된다. 수신된 신호 및 측정치에 응답하여 또한 이하에 더 상세히 설명하는 바와 같이, 시스템 제어기(312)는 전원 및 바이어스 회로(326) 및 RF 신호 소스(320)의 RF 신호 생성기(322)에 제어 신호를 제공한다. 또한, 시스템 제어기(312)는 제어 신호를 가변 임피던스 정합 회로망(370)에 제공하며, 이는 회로망(370)이 자신의 상태 또는 구성을 변경하게 한다.

[0023] 해동 캐비티(360)는 해동될 적재물(364)이 배치될 수 있는 에어 캐비티에 의해 분리되는 제 1 및 제 2 평행 플레이트 전극을 갖는 용량성 해동 장치를 포함한다. 예를 들어, 제 1 전극(340)은 에어 캐비티 위에 배치될 수 있고, 제 2 전극은 격납 구조물(366)의 일부에 의해 제공될 수 있다. 특히, 격납 구조물(366)는 하부, 상부 및 측벽을 포함할 수 있으며, 그 내부면은 캐비티(360)(예를 들어, 도 1의 캐비티(110))를 형성한다. 일 실시예에 따르면, 캐비티(360)는 해동 동작 동안 캐비티(360) 내로 도입되는 전자기 에너지를 수용하도록 (예를 들어, 도 1의 도어(116)로 또는 도 2의 선반(216, 226) 아래에서 밀폐된 서랍을 슬라이딩시킴으로써) 밀봉될 수 있다. 시스템(300)은 해동 동작 중에 밀봉이 손상되지 않도록 보장하는 하나 이상의 연동 메커니즘(interlock mechanisms)을 포함할 수 있다. 연동 메커니즘 중 하나 이상이 밀봉이 손상된 것으로 나타내는 경우, 시스템 제어기(312)는 해동 동작을 중단할 수 있다. 일 실시예에 따르면, 격납 구조물(366)는 전도성 재료로 적어도 부분적으로 형성되고, 격납 구조물의 전도 부분(들)은 접지될 수 있다. 대안적으로, 캐비티(360)의 바닥 면에 대응하는 격납 구조물(366)의 적어도 일부는 전도성 재료로 형성되고 접지될 수 있다. 어느 경우든, 격납 구조물(366)(또는 제 1 전극(340)과 평행한 격납 구조물(366)의 적어도 일부)는 용량성 해동 장치의 제 2 전극으로서 기능한다. 적재물(364)과 캐비티(360)의 접지된 바닥 면 사이의 직접적인 접촉을 피하기 위해, 비전도성 배리어(362)가 캐비티(360)의 바닥 면 위에 배치될 수 있다.

[0024] 본질적으로, 해동 캐비티(360)는 내부에 해동될 적재물(364)이 배치될 수 있는 에어 캐비티에 의해 분리되는 제 1 및 제 2 평행한 플레이트 전극(340, 366)을 갖는 용량성 해동 장치를 포함한다. 일 실시예에서, 제 1 전극(340)은 격납 구조물(366) 내에 배치되어 전극(340)과 격납 구조물(366)의 대향 표면(예를 들어, 제 2 전극으로서 기능하는 하부 면) 사이의 거리(352)를 정의하며, 거리(352)는 캐비티(360)를 부 공진 캐비티(sub-resonant cavity)로 만든다.

[0025] 다양한 실시예에서, 거리가 더 작거나 더 클 수 있지만 거리(352)는 약 0.10 미터 내지 약 1.0 미터의 범위이다. 일 실시예에 따르면, 거리(352)는 RF 서브 시스템(310)에 의해 생성된 RF 신호의 하나의 파장보다 작다. 다시 말해, 전술한 바와 같이, 캐비티(360)는 부 공진 캐비티이다. 일부 실시예에서, 거리(352)는 RF 신호의 하나의 파장의 약 절반보다 작다. 다른 실시예에서, 거리(352)는 RF 신호의 하나의 파장의 약 1/4보다 작다. 또 다른 실시예에서, 거리(352)는 RF 신호의 하나의 파장의 약 1/8보다 작다. 또 다른 실시예에서, 거리(352)는 RF 신호의 하나의 파장의 약 1/50보다 작다. 또 다른 실시예에서, 거리(352)는 RF 신호의 하나의 파장의 약 1/100보다 작다.

[0026] 일반적으로, 더 낮은 동작 주파수(예를 들어, 10MHz와 100MHz 사이의 주파수)에 대해 설계된 시스템(300)은 하나의 파장의 더 작은 부분인 거리(352)를 갖도록 설계될 수 있다. 예를 들어, 시스템(300)이 약 10MHz(약 30 미터의 파장에 대응함)의 동작 주파수를 갖는 RF 신호를 생성하도록 설계되고, 거리(352)가 약 0.5 미터로 선택되면, 거리(352)는 RF 신호의 하나의 파장의 약 1/60이다. 반대로, 시스템(300)이 약 300MHz(약 1 미터의 파장에 대응함)의 동작 주파수에 대해 설계되고 거리(352)가 약 0.5 미터로 선택되면, 거리(352)는 RF 신호의 하나의 파장의 약 절반이다.

- [0027] 동작 주파수 및 전극(340)과 격납 구조물(366) 사이의 거리(352)가 부 공진 내부 캐비티(360)를 형성하도록 선택되면, 제 1 전극(340)과 격납 구조물(366)이 용량성 연결된다. 보다 구체적으로, 제 1 전극(340)은 커패시터의 제 1 플레이트와 유사할 수 있고, 격납 구조물(366)은 커패시터의 제 2 플레이트와 유사할 수 있으며, 적재물(364), 배리어(362) 및 캐비티(360) 내의 에어는 커패시터 유전체와 유사할 수 있다. 따라서, 제 1 전극(340)은 대안적으로서 본 명세서에서 "애노드"로 지칭될 수 있고, 격납 구조물(366)은 대안적으로서 본 명세서에서 "캐소드"로 지칭될 수 있다.
- [0028] 본질적으로, 제 1 전극(340) 및 격납 구조물(366) 양종단의 전압은 캐비티(360) 내의 적재물(364)을 가열한다. 다양한 실시예에 따르면, RF 서브 시스템(310)은 전극(340)과 격납 구조물(366) 사이의 전압을 일 실시예에서 약 90 볼트 내지 내지 약 3,000 볼트의 범위에서, 다른 실시예에서는 약 3000 볼트에서 약 10,000 볼트 범위에서 공급하도록 RF 신호를 생성하도록 구성되나, 또한 시스템은 전극(340)과 격납 구조물(366) 사이에서 더 낮거나 더 높은 전압을 생성하도록 구성될 수 있다.
- [0029] 제 1 전극(340)은 일 실시예에서, 제 1 정합 회로(334), 가변 임피던스 정합 회로망(370) 및 전도성 전송 경로를 통해 RF 신호 소스(320)에 전기적으로 연결된다. 제 1 정합 회로(334)는 RF 신호 소스(320)의 임피던스(예를 들어, 약 10 옴 미만)로부터 중간 임피던스(예를 들어, 50 옴, 75 옴 또는 일부 다른 값)로의 임피던스 변환을 수행하도록 구성된다. 일 실시예에 따르면, 전도성 전송 경로는 직렬로 연결된 복수의 컨덕터(328-1, 328-2, 및 328-3)를 포함하고 종합적으로 전송 경로(328)로 지칭된다. 일 실시예에 따르면, 전도성 전송 경로(328)는 비평형 RF 신호(즉, 접지에 대해 참조된 단일 RF 신호)를 전달하도록 구성된 "비평형" 경로이다. 일부 실시예에서, 하나 이상의 컨덕터(도시되지 않았지만, 각각 수컷 및 암컷 컨덕터 부분을 가짐)는 전송 경로(328)를 따라 전기적으로 연결될 수 있고, 컨덕터 사이의 전송 경로(328)의 부분은 동축 케이블 또는 다른 적절한 컨덕터를 포함할 수 있다. 이러한 연결은 도 9에 도시되고, 이하에 설명된다(예를 들어, 컨덕터(936, 938) 및 컨덕터(936, 938) 사이의 동축 케이블과 같은 전도체(928-3)를 포함함).
- [0030] 보다 상세하게 후술하는 바와 같이, 가변 임피던스 정합 회로(370)는 적재물(364)에 의해 변경되므로, 전송한 중간 임피던스로부터 해동 캐비티(320)의 입력 임피던스로의 임피던스 변환을 수행하도록 구성된다(예를 들어, 수백 또는 수천 옴, 예컨대 약 1000 옴 내지 약 4000 옴 또는 그 이상). 일 실시예에서, 가변 임피던스 정합 회로망(370)은 수동 소자(예를 들어, 인덕터, 커패시터, 저항기)의 회로망을 포함한다. 보다 구체적인 실시예에 따르면, 가변 임피던스 정합 회로망(370)은 캐비티(360) 내에 위치되고 제 1 전극(340)에 전기적으로 연결되는 복수의 고정값 집중형 인덕터(fixed-value lumped inductors)(도 4, 도 7, 도 8의 인덕터(412-414, 712-714, 812-814))를 포함한다. 또한, 가변 임피던스 정합 회로망(370)은 복수의 가변 인덕턴스 회로망(예를 들어, 회로망(410, 411, 500, 도 4, 도 5))을 포함하고, 이는 캐비티(360)의 내부 또는 외부에 배치될 수 있다. 가변 인덕턴스 회로망 각각에 의해 제공되는 인덕턴스 값은 시스템 제어기(312)로부터의 제어 신호를 사용하여 설정되며, 이에 관해서는 이하에서 더 상세히 설명한다. 어떤 경우에도, 해동 동작 동안 가변 임피던스 정합 회로망(370)의 상태를 변경하여 끊임없이 변화하는 커버터 입력 임피던스에 동적으로 정합시킴으로써, 적재물(364)에 의해 흡수되는 RF 전력의 양이 해동 동작 동안 적재물 임피던스의 변화에도 불구하고 높은 수준으로 유지될 수 있다.
- [0031] 일 실시예에 따르면, RF 신호 소스(326)는 RF 신호 생성기(322) 및 (예를 들어, 하나 이상의 전력 증폭기 단들(324, 325)을 포함하는) 전력 증폭기를 포함한다. 시스템 제어기(312)에 의해 접속부(314)를 통해 제공되는 제어 신호에 응답하여 RF 신호 생성기(322)는 ISM(산업, 과학 및 의료) 대역의 주파수를 갖는 발진 전기 신호를 생성하도록 구성되지만, 다른 주파수 대역에서의 동작도 지원하도록 변경될 수 있다. RF 신호 생성기(322)는 다양한 실시예에서 상이한 전력 레벨 및/또는 상이한 주파수의 발진 신호를 생성하도록 제어될 수 있다. 예를 들어, RF 신호 생성기(322)는 약 10.0 메가 헤르츠(MHz) 내지 약 100 MHz 및/또는 약 100 MHz 내지 약 3.0 기가 헤르츠(GHz)의 범위에서 발진하는 신호를 생성할 수 있다. 일부 바람직한 주파수는 예를 들어 13.56MHz(+/- 5 %), 27.125MHz(+/- 5 %), 40.68MHz(+/- 5 %) 및 2.45GHz(+/- 5 %)일 수 있다. 하나의 특정 실시예에서, 예를 들어, RF 신호 생성기(322)는 약 40.66MHz 내지 약 40.70MHz의 범위 및 약 10 데시벨(dB) 내지 약 15dB의 범위의 전력 레벨에서 발진하는 신호를 생성할 수 있다. 선택적으로, 발진의 주파수 및/또는 전력 레벨은 더 낮거나 더 높을 수 있다.
- [0032] 도 3의 실시예에서, 전력 증폭기는 구동 증폭기 단(324) 및 최종 증폭기 단(325)을 포함한다. 전력 증폭기는 RF 신호 생성기(322)로부터 발진 신호를 수신하고, 신호를 증폭하여 전력 증폭기의 출력에서 상당히 높은 전력 신호를 생성한다. 예를 들어, 출력 신호는 약 100 와트 내지 약 400 와트 또는 그 이상의 범위의 전력 레벨을 가질 수 있다. 전원 및 바이어스 회로(326)에 의해 각각의 증폭기 단(324, 325)에 제공되는 게이트 바이어스

전압 및/또는 드레인 공급 전압을 사용하여 전력 증폭기에 의해 적용된 이득이 제어될 수 있다. 보다 구체적으로, 전원 및 바이어스 회로(326)는 시스템 제어기(312)로부터 수신된 제어 신호에 따라 각각의 RF 증폭기 단(324, 325)으로 바이어스 및 공급 전압을 제공한다.

[0033] 일 실시예에서, 각각의 증폭기 단(324, 325)은 입력 단자(예, 게이트 또는 제어 단자) 및 2 개의 전류 운반 단자(예, 소스 및 드레인 단자)를 갖는 전계 효과 트랜지스터(FET)와 같은 전력 트랜지스터로서 구현된다. 임피던스 정합 회로(도시되지 않음)는 드라이버 증폭기 단(324)의 입력(예컨대, 게이트), 드라이버 및 최종 증폭기 단(325) 사이 및/또는 최종 증폭기 단(325)의 출력(예를 들어, 드레인 단자)에 연결될 수 있다. 일 실시예에서, 증폭기 단(324, 325)의 각 트랜지스터는 측방향으로 확산된 금속 산화물 반도체 FET(LDMOSFET) 트랜지스터를 포함한다. 그러나, 트랜지스터는 임의의 특정한 반도체 기술에 한정하려는 것이 아니며, 다른 실시예에서, 각 트랜지스터는 질화 갈륨(GaN) 트랜지스터, 다른 유형의 MOSFET 트랜지스터, 바이폴라 접합 트랜지스터(BJT), 또는 다른 반도체 기술을 이용하는 트랜지스터로서 구현될 수 있다.

[0034] 도 3에서, 전력 증폭기 장치는 특정 방식으로 다른 회로 구성 요소에 연결된 2 개의 증폭기 단(324, 325)을 포함하는 것으로 도시되어 있다. 다른 실시예에서, 전력 증폭기 장치는 다른 증폭기 토폴로지를 포함할 수 있고/있거나 증폭기 장치는 단지 하나의 증폭기 단(예를 들어, 도 9의 증폭기(924)의 실시예에 도시된 바와 같이), 또는 두 개 이상의 증폭기 단을 포함할 수 있다. 예를 들어, 전력 증폭기 장치는 단일 종단 증폭기, 도허티 증폭기(Doherty amplifier), 스위치 모드 전력 증폭기(SMPA) 또는 다른 유형의 증폭기의 다양한 실시예를 포함할 수 있다.

[0035] 해동 캐비티(360) 및 해동 캐비티(360)에 배치된 임의의 적재물(364)(예를 들어, 음식, 음료 등)은 제 1 전극(340)에 의해 캐비티(360) 내로 방사되는 전자기 에너지(또는 RF 전력)에 대한 흡수 적재물을 나타낸다. 보다 구체적으로, 캐비티(360) 및 적재물(364)는 본 명세서에서 "캐비티 입력 임피던스"로서 지칭되는 시스템에 대한 임피던스를 나타낸다. 캐비티 입력 임피던스는 적재물(364)의 온도가 증가함에 따라 해동 동작 중에 변화한다. 캐비티 입력 임피던스는 RF 신호 소스(320)와 전극(340) 사이의 전도성 전송 경로(328)를 따라 반사 신호 전력의 크기에 직접적인 영향을 미친다. 대부분의 경우에, 캐비티(360)로 전달된 신호 전력의 크기를 최대화하는 것 및/또는 전도성 전송 경로(328)를 따라 반사-대-순방향 신호 전력 비를 최소화하는 것이 바람직하다.

[0036] RF 신호 생성기(320)의 출력 임피던스를 챔버 입력 임피던스에 적어도 부분적으로 정합시키기 위해, 제 1 정합 회로(334)는 일 실시예에서, 전송 경로(328)를 따라 전기적으로 연결된다. 제 1 정합 회로(334)는 다양한 구성 중 임의의 것을 가질 수 있다. 일 실시예에 따르면, 제 1 정합 회로(334)는 고정된 구성 요소(즉, 비 가변적인 구성 요소 값을 갖는 구성 요소)를 포함하나, 다른 실시예에서는 제 1 정합 회로(334)가 하나 이상의 가변 구성 요소를 포함할 수 있다. 예를 들어, 제 1 정합 회로(334)는 다양한 실시예에서, 인덕턴스/커패시턴스 (LC) 회로망, 직렬 인덕턴스 회로망, 섀트 인덕턴스 회로망(shunt inductance network), 또는 대역 통과, 고역 통과 및 저역 통과 회로의 조합으로부터 선택된 임의의 하나 이상의 회로를 포함할 수 있다. 본질적으로, 고정 정합 회로(334)는 임피던스를 RF 신호 생성기(320)의 출력 임피던스와 챔버 입력 임피던스 사이의 중간 레벨로 상승시키도록 구성된다.

[0037] 도 15와 관련하여 이하에 설명되는 바와 같이, 식품 적재물이 동결 상태에서 해동 상태로 이행됨에 따라 많은 유형의 식품 적재물의 임피던스가 다소 예측 가능한 방식으로 온도와 관련하여 변화한다. 일 실시예에 따르면, 캐비티 입력 임피던스의 변화율이 적재물(364)이 0 °C에 접근하고 있음을 나타내는 경우 전력 검출 회로(330)로부터 반사된 전력 측정치(및 일부 실시예에서는 순방향 전력 측정치)에 기초하여, 시스템 제어기(312)는 해동 동작 동안의 소정 시점을 식별하도록 구성되고, 그 시점에서 시스템 제어기(312)는 해동 동작을 종료할 수 있다.

[0038] 일 실시예에 따르면, 전력 검출 회로(330)는 RF 신호 소스(320)의 출력과 전극(340) 사이의 전송 경로(328)를 따라 연결된다. 특정 실시예에서, 전력 검출 회로(330)는 RF 서브 시스템(310)의 일부를 형성하고, 일 실시예에서, 제 1 정합 회로(334)의 출력과 가변 임피던스 정합 회로망(370) 사이의 전도체(328-2)에 연결된다. 대안 실시예에서, 전력 검출 회로(330)는 RF 신호 소스(320)의 출력과 제 1 정합 회로(334)로의 입력 사이의 전송 경로(328)의 부분(328-1) 또는 가변 임피던스 정합 회로망(370)의 출력과 제 1 전극(340) 사이의 전송 경로(328)의 부분(328-3)을 모니터링한다.

[0039] 어디에 연결되든, 전력 검출 회로(330)는 RF 신호 소스(320)와 전극(340) 사이의 전송 경로(328)를 따라 이동하는 반사 신호(즉, 전극(340)으로부터 RF 신호 소스(320)을 향하는 방향으로 진행되는 반사 RF 신호)의 전력을 모니터링, 측정 또는 검출하도록 구성된다. 일부 실시예에서, 전력 검출 회로(330)는 또한 RF 신호 소스(320)

과 전극(340) 사이의 전송 경로(328)를 따라 진행하는 순방향 신호(즉, RF 신호 소스로부터 전극(340)을 향하는 방향으로 진행되는 순방향 RF 신호)의 전력을 검출하도록 구성된다. 접속부(332)을 통해, 전력 검출 회로(330)는 반사 신호 전력(및 일부 실시예에서는 순방향 신호 전력)의 크기(magnitude)를 시스템 제어기(312)로 전달하는 신호를 시스템 제어기(312)에 공급한다. 순방향 및 반사 신호 전력 크기 모두가 전달되는 실시예에서, 시스템 제어기(312)는 반사-대-순방향 신호 전력비 또는 S11 파라미터를 계산할 수 있다. 이하에서 보다 상세히 기술하는 바와 같이, 반사 신호 전력 크기가 반사 신호 전력 임계치를 초과할 때 또는 반사-대-순방향 신호 전력비가 S11 파라미터 임계치를 초과하는 경우, 이는 시스템(300)이 캐비티 입력 임피던스에 적절히 정합되지 않는다는 것을 나타내고, 캐비티(360) 내의 적재물(364)에 의한 에너지 흡수가 차선적일 수 있다. 이러한 상황에서, 시스템 제어기(312)는 반사 신호 전력 또는 S11 파라미터를 원하는 레벨 또는 그 이하로 (예를 들어, 반사 신호 전력 임계치 및/또는 반사-대-순방향 신호 전력비 임계치 이하로) 구동하도록 가변 정합 회로망(370)의 상태를 변경하는 프로세스를 조정하고, 이에 따라 수용 가능한 정합을 재설정하고 적재물(364)에 의한 보다 최적인 에너지 흡수를 용이하게 한다.

[0040] 보다 구체적으로, 시스템 제어기(312)는 제어 경로(316)를 통해 제어 신호를 가변 정합 회로(370)로 제공하고, 이는 가변 정합 회로(370) 하역금 회로 내의 하나 이상의 구성 요소의 유도성, 용량성 및/또는 저항성 값을 변화시켜 정합 회로(370)에 의해 제공되는 임피던스 변환을 조정하게 한다. 가변 정합 회로(370)의 구성의 조정은 S11 파라미터의 크기를 감소시키고 적재물(364)에 의해 흡수되는 전력을 증가시키는 것에 대응하는 반사 신호 전력의 크기를 바람직하게 감소시킨다.

[0041] 전술한 바와 같이, 가변 임피던스 정합 회로망(370)은 해동 캐비티(360)와 적재물(364)의 합의 입력 임피던스를 정합시켜 가능한 적재물(364)로의 RF 전력 전달을 최대화하는 데 사용된다. 해동 캐비티(360) 플러스 적재물(364)의 초기 임피던스는 해동 동작의 시작 시에는 정확하게 알려지지 않을 수 있다. 또한, 적재물(364)의 임피던스는, 적재물(364)이 워밍 업함에 따라 해동 동작 중에 변화한다. 일 실시예에 따르면, 시스템 제어기(312)는 가변 임피던스 정합 회로망(370)에 제어 신호를 제공할 수 있고, 이는 가변 임피던스 정합 회로망(370)의 상태에 대한 변경을 일으킬 수 있다. 이는 상대적으로 낮은 반사 전력 대 순방향 전력비를 갖는 해동 동작의 시작 시에 시스템 제어기(312)가 가변 임피던스 정합 회로망(370)의 초기 상태를 설정할 수 있게 하고, 이에 따라, 적재물(364)에 의한 RF 전력의 비교적 높은 흡수 가능하게 한다. 또한, 이는 시스템 제어기(312)가 가변 임피던스 정합 회로망(370)의 상태를 변경하는 것을 가능하게 하여, 적재물(364)의 임피던스의 변화에도 불구하고 해동 동작 전체에서 적절한 정합이 유지될 수 있도록 한다.

[0042] 가변 정합 회로망(370)은 다양한 구성 중 임의의 것을 가질 수 있다. 다양한 실시예에서, 예를 들어, 회로망(370)은 인덕턴스/커패시턴스(LC) 회로망, 인덕턴스 전용 회로망, 커패시턴스 전용 회로망, 또는 대역 통과, 고역 통과 및 저역 통과 회로의 조합으로부터 선택된 임의의 하나 이상의 회로를 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 가변 정합 회로망(370)은 단일 종결 회로망(예를 들어, 도 4의 회로망(400))을 포함한다. 이하에서 보다 자세히 설명되는 것과 같이, 이후에 회로망(370)에 의해 제공되는 임피던스 변환에 영향을 미치는 가변 정합 회로망(370)에 의해 제공되는 인덕턴스, 커패시턴스 및/또는 저항 값은 시스템 제어기(312)로부터의 제어 신호를 사용하여 설정된다. 어떠한 경우에도, 해동 동작 중에 가변 정합 회로망(370)의 상태를 변경하여 캐비티(360)와 캐비티(360) 내의 적재물(364)의 합의 항상 변화하는 임피던스를 동적으로 정합시킴으로써, 시스템 효율성이 해동 동작 중에 높은 수준으로 유지될 수 있다.

[0043] 가변 정합 회로망(370)은 광범위한 회로 구성 중 임의의 것을 가질 수 있으며, 그러한 구성의 비 제한적인 예가 도 4 및 도 5에 도시된다. 일 실시예에 따르면, 가변 임피던스 정합 회로망(370)은 수동 소자의 단일 종단 회로망을 포함할 수 있고, 보다 구체적으로는 고정-값 인덕터(예, 집중형 인덕티브 소자)와 가변 인덕터(또는 가변 인덕턴스 회로망)의 회로망을 포함할 수 있다. 본 명세서에 사용된 바와 같이, "인덕터"라는 용어는 다른 유형(예를 들어, 저항기 또는 커패시터)의 개재 소자 없이 함께 전기적으로 연결된 개별 인덕터 또는 인덕티브 소자를 의미한다.

[0044] 도 4는 예시적인 실시예에 따른 단종단 가변 임피던스 정합 회로망(400)(예컨대, 도 3의 가변 임피던스 정합 회로망(370))의 개략도이다. 이하에서 보다 상세히 설명되는 바와 같이, 가변 임피던스 정합 회로망(370)은 본질적으로 두 부분, 즉 RF 신호 소스(또는 최종 단 전력 증폭기)와 정합하는 하나의 부분 및 캐비티 및 적재물과 정합하는 다른 부분을 갖는다.

[0045] 가변 임피던스 정합 회로망(400)은 일 실시예에 따라, 입력 노드(402), 출력 노드(404), 제 1 및 제 2 가변 인덕턴스 회로망(410, 411), 및 복수 개의 고정 값 인덕터(412-415)를 포함한다. 해동 시스템(예컨대, 도 3의 시

스텝 300)에 통합될 때, 입력 노드(402)는 RF 신호 소스(예를 들어, 도 3의 RF 신호 소스(320))의 출력에 전기적으로 연결되고, 출력 노드(404)는 해동 캐비티(예컨대, 도 3의 해동 캐비티(360)) 내의 전극(예컨대, 도 3의 제 1 전극(340))에 전기적으로 연결된다.

[0046] 입력 및 출력 노드(402, 404) 사이에서 가변 임피던스 정합 회로망(400)은 일 실시예에서, 제 1 및 제 2 직렬 연결된 집중형 인덕터(412, 414)를 포함한다. 제 1 및 제 2 집중형 인덕터(412, 414)는 상대적 저 주파수(예를 들어, 약 4.66 MHz 내지 약 4.68 MHz) 및 고전력(예를 들어, 약 50 와트(W) 내지 약 500W) 동작에 대해 설계될 수 있기 때문에, 크기 및 인덕턴스 값 모두에서 상대적으로 크다. 예를 들어, 인덕터(412, 414)는 다른 실시예에서, 그 값이 더 낮을 수 있고/있거나 더 높을 수 있으나, 약 200 나노헨리(nH) 내지 약 600 nH의 범위의 값을 가질 수 있다.

[0047] 제 1 가변 인덕턴스 회로망(410)은 입력 노드(402)와 접지 기준 단자(예컨대, 도 3의 접지된 격납 구조물(366)) 사이에 연결된 제 1 셉트 유도성 회로망(first shunt inductive network)이다. 일 실시예에 따르면, 제 1 가변 인덕턴스 회로망(410)은 제 1 정합 회로(예를 들어, 도 3의 회로(334))에 의해 수정된 RF 신호 소스(예를 들어, 도 3의 RF 신호 소스)의 임피던스, 더 구체적으로는 제 1 정합 회로(334)(예를 들어, 도 3의 회로(334))에 의해 수정된 최종 단 전력 증폭기(예를 들어, 도 3의 증폭기(325))의 임피던스를 정합시키도록 구성될 수 있다. 따라서, 제 1 가변 인덕턴스 회로망(410)은 가변 임피던스 정합 회로망(400)의 "전력 증폭기 정합부"로 지칭될 수 있다. 일 실시예에 따르면, 도 5와 관련하여 보다 상세히 설명되는 바와 같이, 제 1 가변 인덕턴스 회로망(410)은 약 10 nH 내지 약 400 nH의 범위에서 인덕턴스를 제공하도록 함께 선택적으로 연결될 수 있는 유도성 구성 요소의 회로망을 포함하나, 범위는 또한 더 낮거나 더 높은 인덕턴스 값으로 확대될 수 있다.

[0048] 대조적으로, 가변 임피던스 정합 회로망(400)의 "캐비티 정합부"는 제 1 및 제 2 집중형 인덕터(412, 414) 사이의 노드(422)와 접지 기준 단자 사이에 연결된 제 2 셉트 유도성 회로망(416)에 의해 제공된다. 일 실시예에 따르면, 제 2 셉트 유도성 회로망(416)은 직렬로 연결된 제 3 집중형 인덕터(413) 및 제 2 가변 인덕턴스 회로망(411)을 포함하고, 제 3 집중형 인덕터(413)와 제 2 가변 인덕턴스 회로망(411) 사이에 중간 노드(422)가 존재한다. 제 2 가변 인덕턴스 회로망(416)의 상태는 다수의 인덕턴스 값을 제공하도록 변경될 수 있기 때문에, 제 2 셉트 유도성 회로망(416)은 캐비티 플러스 적재물(예를 들어, 도 3의 캐비티(360) 플러스 적재물(364))의 임피던스를 최적으로 정합하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 인덕터(413)는 약 400 nH 내지 약 800 nH의 범위의 값을 가질 수 있지만, 그 값은 다른 실시예에서는 더 낮거나 더 높을 수 있다. 일 실시예에 따르면, 도 5와 관련하여 보다 상세하게 설명되는 바와 같이, 제 2 가변 인덕턴스 회로망(411)은 약 50 nH 내지 약 800 nH의 범위에서 인덕턴스를 제공하기 위해 선택적으로 함께 연결될 수 있는 유도성 구성 요소의 회로망을 포함하나, 범위는 또한 더 낮거나 더 높은 인덕턴스 값으로 확장될 수도 있다.

[0049] 최종적으로, 가변 임피던스 정합 회로망(400)은 출력 노드(404)와 접지 기준 단자 사이에 연결된 제 4 집중형 인덕터(415)를 포함한다. 예를 들어, 인덕터(415)는 약 400 nH 내지 약 800 nH의 범위의 값을 가질 수 있지만, 그 값은 다른 실시예에서는 더 낮거나 더 높을 수 있다.

[0050] 도 7 및 도 8과 관련하여 보다 상세히 설명되는 바와 같이, 집중형 인덕터(412-415)의 세트(430)는 캐비티(예를 들어, 도 3의 캐비티(360)) 내에 또는 적어도 격납 구조물(예를 들어, 도 3의 격납 구조물(366))의 경계 내에 물리적으로 배치될 수 있다. 이는 집중형 인덕터(412-415)에 의해 생성된 방사선이 주변 환경으로 방사되기보다는 시스템 내에 안전하게 포함되도록 한다. 대조적으로, 가변 인덕턴스 회로망(410, 411)은 다양한 실시예에서 캐비티 또는 격납 구조물 내에 포함되거나 포함되지 않을 수 있다.

[0051] 일 실시예에 따르면, 도 4의 가변 임피던스 정합 회로망(400)은 해동 캐비티(360) 플러스 적재물(364)의 입력 임피던스에 대한 정합을 제공하는 "온리 인덕터(only inductors)"를 포함한다. 따라서, 회로망(400)은 "인덕터-온리(inductor-only)" 정합 회로망으로 간주될 수 있다. 본 명세서에서 가변 임피던스 정합 회로망의 구성 요소를 설명할 때 "온리 인덕터" 또는 "인덕터-온리"라는 문구는 회로망이 상당한 저항 값을 갖는 개별 저항기 또는 상당한 커패시턴스 값을 갖는 개별 커패시터를 포함하지 않는다는 것을 의미한다. 일부 경우에서, 정합 회로망의 구성 요소들 사이의 전도성 전송선은 최소 저항을 가질 수 있고/있거나 최소 기생 커패시턴스가 회로망 내에 존재할 수 있다. 이러한 최소 저항 및/또는 최소 기생 커패시턴스는 "인덕터-온리" 회로망의 실시예를 또한 저항기 및/또는 커패시터를 포함하는 정합 회로망으로 변환하는 것으로 해석되어서는 안 된다. 그러나, 당업자는 가변 임피던스 정합 회로망의 다른 실시예는 상이한 구성의 인덕터-온리 정합 회로망을 포함할 수 있고, 정합 회로망은 개별 인덕터, 개별 커패시터 및/또는 개별 저항기의 조합을 포함한다. 도 6과 관련하여 보다 상세하게 설명되는 바와 같이, "인덕터-온리" 정합 회로망은 대안적으로 단독 또는 일차 인덕티브 소자를 사용하

여 용량성 적재물의 임피던스 정합을 가능하게 하는 정합 회로망으로 정의될 수 있다.

[0052] 도 5는 예시적인 실시예에 따라 가변 임피던스 정합 회로망(예컨대, 가변 인덕턴스 회로망(도 4의 410 및/또는 411))에 통합될 수 있는 가변 인덕턴스 회로망(500)의 개략도이다. 회로망(500)은 입력 노드(530), 출력 노드(532), 및 입력 노드(530)와 출력 노드(532) 사이에 서로 직렬로 연결된 복수의 N 개의 개별 인덕터(501-504)를 포함하며, N 은 2와 10 사이의 정수 또는 그 보다 큰 정수일 수 있다. 또한, 회로망(500)은 복수의 N 개의 바이패스 스위치(511-514)를 포함하며, 각 스위치(511-514)는 인덕터(501-504) 중 하나의 단자 양종단에 병렬로 연결된다. 스위치(511-514)는 예를 들어, 트랜지스터, 기계적 릴레이 또는 기계적 스위치로서 구현될 수 있다. 각 스위치(511-514)의 전기적 전도 상태(즉, 개방 또는 닫힘)는 시스템 제어기(예를 들어, 도 3의 시스템 제어기(312))로부터의 제어 신호(521-524)를 통해 제어된다.

[0053] 각각의 병렬 인덕터/스위치 조합에 대해, 해당 스위치가 개방 또는 비 전도 상태에 있을 때 인덕터를 통해 실질적으로 모든 전류가 흐르고, 스위치가 닫힘 또는 전도 상태에 있을 때 실질적으로 모든 전류가 스위치를 통해 흐른다. 예를 들어, 모든 스위치(511-514)가 개방되어 있을 때, 도 5에 도시된 바와 같이, 입력 및 출력 노드(530, 532) 사이를 흐르는 실질적으로 모든 전류는 일련의 인덕터(501-504)를 통해 흐른다. 이러한 구성은 회로망(500)의 최대 인덕턴스 상태(즉, 최대 인덕턴스 값이 입력 및 출력 노드(530, 532) 사이에 존재하는 회로망(500)의 상태)를 나타낸다. 반대로, 모든 스위치(511-514)가 닫힐 때, 입력 및 출력 노드(530, 532) 사이를 흐르는 실질적으로 모든 전류는 인덕터(501-504)를 우회하여 대신에 스위치(511-514) 및 노드(530, 532)와 스위치(511-514) 사이의 전도성 상호연결부를 흐른다. 이러한 구성은 회로망(500)의 최소 인덕턴스 상태(즉, 입력 노드(530)와 출력 노드(532) 사이에 최소 인덕턴스 값이 존재하는 회로망(500)의 상태)를 나타낸다. 이상적으로, 최소 인덕턴스 값은 제로 인덕턴스에 가깝다. 그러나, 실제로 "트레이스" 인덕턴스는 스위치(511-514) 및 노드(530, 532)와 스위치(511-514) 사이의 전도성 상호 연결부의 합산 인덕턴스 때문에 최소 인덕턴스 상태에 존재한다. 예를 들어, 최소 인덕턴스 상태에서, 가변 인덕턴스 회로망(500)에 대한 트레이스 인덕턴스는 약 10 nH 내지 약 50 nH의 범위일 수 있지만, 트레이스 인덕턴스는 또한 더 작거나 더 클 수 있다. 더 크거나 작거나 또는 실질적으로 유사한 트레이스 인덕턴스는 또한 다른 회로망 상태들 각각에서 고유할 수 있으며, 임의의 주어진 회로망 상태에 대한 트레이스 인덕턴스가 전도체들의 시퀀스 및 스위치(이를 통과하는 전류가 주로 회로망(500)을 통해 운반됨)의 인덕턴스의 합이다.

[0054] 모든 스위치(511-514)가 개방되어 있는 최대 인덕턴스 상태에서부터 시작하여, 시스템 제어기는 대응하는 인덕터(501-504)의 조합을 우회함으로써 회로망(500)의 인덕턴스를 감소시키기 위해 임의의 조합의 스위치(511-514)가 닫히게 하는 제어 신호(521-524)를 제공할 수 있다. 일 실시예에서, 각각의 인덕터(501-504)는 본 명세서에서 I 의 정규화된 값으로 언급되는 실질적으로 동일한 인덕턴스 값을 갖는다. 예를 들어, 각각의 인덕터(501-504)는 약 10 nH 내지 약 200 nH의 범위의 값을 가질 수 있고, 또는 소정의 다른 값을 가질 수 있다. 이러한 실시예에서, 회로망(500)에 대한 최대 인덕턴스 값(즉, 모든 스위치(511-514)가 개방 상태에 있을 때)은 약 $N \times I$ 이고, 최대 인덕턴스 상태에 있을 때 회로망(500)에 존재할 수 있는 임의의 트레이스 인덕턴스가 플러스될 수 있다. 임의의 n 개의 스위치가 폐쇄 상태에 있을 때, 회로망(500)에 대한 인덕턴스 값은 약 $(N-n) \times I$ (플러스 트레이스 인덕턴스)가 될 것이다. 이러한 실시예에서, 회로망(500)의 상태는 인덕턴스의 $N + 1$ 값들 중 임의의 값을 갖도록 구성될 수 있다.

[0055] 다른 실시예에서, 인덕터(501-504)는 서로 다른 값을 가질 수 있다. 예를 들어, 입력 노드(530)로부터 출력 노드(532)를 향해 이동하는 경우, 제 1 인덕터(501)는 I 의 정규화된 인덕턴스 값을 가질 수 있고, 직렬의 각각의 후속 인덕터(502-504)는 더 크거나 작은 인덕턴스 값을 가질 수 있다. 예를 들어, 각각의 후속 인덕터(502-504)는 가장 가까운 다운 스트림 인덕터(501-503)의 인덕턴스 값의 배수(예를 들어, 약 2 배)인 인덕턴스 값을 가질 수 있으나, 그 차는 반드시 정수 배일 필요는 없다. 그러한 실시예에서, 회로망(500)의 상태는 인덕턴스의 2^N 값 중 임의의 값을 갖도록 구성될 수 있다. 예를 들어, $N = 4$ 이고 각 인덕터(501-504)가 다른 값을 갖는 경우, 회로망(500)은 16 개의 인덕턴스 값 중 임의의 값을 갖도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 인덕터(501)가 I 의 값을 갖고 인덕터(502)가 $2 \times I$ 의 값을 가지고 인덕터(503)가 $4 \times I$ 의 값을 가지며 인덕터(504)가 $8 \times I$ 의 값을 갖는 것으로 가정하면, 표 1은 회로망(500)의 모드 가능한 16개의 상태에 대한 전체 인덕턴스 값을 이하에 나타낸다(트레이스 인덕턴스는 고려하지 않음).

회로망 상태	스위치 511 상태 (501 값 = 1)	스위치 512 상태 (502 값 = 2x)	스위치 513 상태 (503 값 = 4x)	스위치 514 상태 (504 값 = 8x)	전체 회로망 인덕턴스 (w/o 트레이스 인덕턴스)
0	닫힘	닫힘	닫힘	닫힘	0
1	개방	닫힘	닫힘	닫힘	1
2	닫힘	개방	닫힘	닫힘	2x/
3	개방	개방	닫힘	닫힘	3x/
4	닫힘	닫힘	개방	닫힘	4x/
5	개방	닫힘	개방	닫힘	5x/
6	닫힘	개방	개방	닫힘	6x/
7	개방	개방	개방	닫힘	7x/
8	닫힘	닫힘	닫힘	개방	8x/
9	개방	닫힘	닫힘	개방	9x/
10	닫힘	개방	닫힘	개방	10x/
11	개방	개방	닫힘	개방	11x/
12	닫힘	닫힘	개방	개방	12x/
13	개방	닫힘	개방	개방	13x/
14	닫힘	개방	개방	개방	14x/
15	개방	개방	개방	개방	15x/

표 1 - 모든 가능한 가변 인덕턴스 회로망 상태에 대한 총 인덕턴스

다시 도 4를 참조하면, 가변 인덕턴스 회로망(410)의 실시예는 전술한 예시적인 특성(즉, $N = 4$ 이고 각각의 연속 인덕터는 선행 인덕터의 인덕턴스의 약 2 배임)을 갖는 가변 인덕턴스 회로망(500)의 형태로 구현될 수 있다. 최소 인덕턴스 상태에서 트레이스 인덕턴스가 약 10 nH이고, 회로망(410)에 의해 달성 가능한 인덕턴스 값의 범위가 약 10 nH(트레이스 인덕턴스)에서 약 400 nH라고 가정하면, 인덕터(501-504)의 값은 예를 들어, 약 30 nH, 약 50 nH, 약 100 nH 및 약 200 nH일 수 있다. 유사하게, 가변 인덕턴스 회로망(411)의 실시예가 동일한 방식으로 구현되는 경우, 트레이스 인덕턴스가 약 50 nH이고 회로망(411)에 의해 달성가능한 인덕턴스 값의 범위가 약 50 nH(트레이스 인덕턴스) 내지 약 800 nH인 것으로 가정하면, 인덕터(501-504)의 값은 예를 들어, 각각 약 50 nH, 약 100 nH, 약 200 nH 및 약 400 nH일 수 있다. 물론, 4 개보다 많거나 적은 인덕터(501-504)가 가변 인덕턴스 회로망(410, 411)에 포함될 수 있고, 각 회로망(410, 411) 내의 인덕터는 상이한 값을 가질 수 있다.

전술한 예시적인 실시예는 회로망(500)에서 스위칭된 인덕턴스의 수가 4이고, 각 인덕터(501-504)가 1의 값의 소정 배수인 값을 가지는 것으로 특정하였으나, 가변 인덕턴스 회로망의 다른 실시예는 4 개보다 더 많거나 적은 인덕터, 인덕터에 대한 상이한 상태 값, 상이한 수의 가능한 회로망 상태 및/또는 인덕터의 상이한 구성(예를 들어, 병렬 및/또는 직렬 연결 인덕터의 상이하게 연결된 세트)을 포함할 수 있다. 어느 경우이든, 해동 시스템의 임피던스 정합 회로망에 가변 인덕턴스 회로망을 제공함으로써, 시스템은 해동 동작 중에 존재하는 끊임 없이 변화하는 캐비티 입력 임피던스를 더 잘 정합시킬 수 있다.

도 6은 가변 임피던스 정합 회로망(예를 들어, 도 3, 4의 회로망(370, 400))의 일 실시예에서 복수의 인덕턴스가 RF 신호 소스에 대한 입력 캐비티 임피던스와 어떻게 정합되는지를 나타내는 스미스 차트(Smith chart)(600)의 예이다. 예시적인 스미스 차트(600)는 시스템이 50 옴 시스템이고, RF 신호 소스의 출력이 50 옴이라고 가정한다. 당업자는 본 명세서의 설명에 기초하여, 상이한 특성 임피던스를 갖는 시스템 및/또는 RF 신호 소스에 대해 스미스 차트가 어떻게 수정될 수 있는지를 이해할 것이다.

스미스 차트(600)에서, 포인트(601)는 가변 임피던스 정합 회로망(370, 400, 도 3, 4)에 의해 제공되는 정합이 없는 경우에(예를 들어, 해동 동작의 시작 시에) 적재물(예를 들어, 도 3의 캐비티(360) 플러스 적재물)이 위치하는 포인트에 대응한다. 스미스 차트(600)의 우측 하부 사분면에서의 적재물 포인트(601)의 위치에 의해 표시되는 바와 같이, 적재물은 용량성 적재물이다. 일 실시예에 따르면, 가변 임피던스 정합 회로망의 섀트 및 직

렬 인덕턴스는 적재물로의 RF 에너지 전달이 최소 손실로 발생하는 최적 정합 포인트(606)(예를 들어, 500hm)를 향해 실질적으로 용량성인 적재물 임피던스를 순차적으로 이동시킨다. 보다 구체적으로, 또한 도 4를 참조하면, 셉트 인덕턴스(415)는 임피던스를 포인트(602)로 이동시키고, 직렬 인덕턴스(414)는 임피던스를 포인트(603)로 이동시키며, 셉트 인덕턴스(410)는 최적 정합 포인트(606)로 이동한다.

[0061] 가변 임피던스 정합 회로망의 실시예에 의해 제공되는 임피던스 변환의 조합은 스미스 차트(600)의 우측 하부 사분면 내 또는 매우 가까운 임의의 지점에서 임피던스를 유지한다. 스미스 차트(600)의 이 사분면이 상대적으로 높은 임피던스 및 상대적으로 낮은 전류에 의해 특성화되므로, 회로의 구성 요소를 상대적으로 높거나 잠재적인 손상 전류에 노출시키지 않고 임피던스 변환이 이루어진다. 따라서, 본 명세서에서 사용된 "인덕터 전용" 정합 회로망의 다른 정의는, 단독으로 또는 주로 유도성 소자를 사용하여 용량성 적재물의 임피던스 정합을 가능하게 하는 정합 회로망일 수 있으며, 여기서 임피던스 정합 회로망은 실질적으로 스미스 차트의 오른쪽 아래 사분면 내에서 수행된다.

[0062] 전술한 바와 같이, 해동 동작 중에 적재물의 임피던스가 변한다. 따라서, 포인트(601)는 해동 동작 중에 대응하게 움직인다. 적재물 포인트(601)의 이동은 전술한 실시예에 따라, 가변 임피던스 정합 회로망에 의해 제공되는 최종 정합이 여전히 최적 정합 포인트(606)에 또는 그 부근에 도달할 수 있도록 제 1 및 제 2 셉트 인덕턴스(410, 411)의 임피던스를 변화시킴으로써 보상된다. 특정 가변 임피던스 정합 회로망이 본 명세서에 예시되고 설명되었지만, 당업자는 본 명세서의 설명에 기초하여, 상이하게 구성된 가변 임피던스 정합 회로망이 스미스 차트(600)에 의해 전달되는 것과 동일 또는 유사한 결과를 달성할 수 있다는 것을 이해할 것이다. 예를 들어, 가변 임피던스 정합 회로망의 대안적인 실시예는 더 많거나 적은 셉트 및/또는 직렬 인덕턴스를 가질 수 있고, 인덕턴스 중 상이한 인덕턴스가 가변 인덕턴스 회로망(예를 들어, 직렬 인덕턴스 중 하나 이상을 포함함)으로서 구성될 수 있다. 따라서, 특정 가변 인덕턴스 정합 회로망이 여기에 도시되고 설명되었지만, 본 발명의 대상은 도시되고 기술된 실시예에 한정되지 않는다.

[0063] 해동 시스템의 구체적인 물리적 구성이 이제 도 7 및 도 8과 관련하여 설명될 것이다. 도 7은 예시적인 실시예에 따른 해동 시스템(700)의 횡단면도이다. 일 실시예에서, 해동 시스템(700)은 일반적으로 해동 캐비티(774), 사용자 인터페이스(도시되지 않음), 시스템 제어기(730), RF 신호 소스(720), 전원 및 바이어스 회로(도시되지 않음), 전력 검출 회로(780), 가변 임피던스 정합 회로망(760), 제 1 전극(770) 및 제 2 전극(772)을 포함한다. 또한, 일부 실시예에서, 해동 시스템(700)은 중량 센서(들)(790), 온도 센서(들) 및/또는 IR 센서(들)(792)를 포함할 수 있다.

[0064] 일 실시예에서, 해동 시스템(700)이 격납 구조물(750) 내에 포함된다. 일 실시예에 따르면, 격납 구조물(750)은 3 개의 내부 영역, 즉 해동 캐비티(774), 고정 인덕터 영역(776) 및 회로 하우징 영역(778)을 정의할 수 있다. 격납 구조물(750)은 바닥, 상부 및 측면 벽을 포함한다. 격납 구조물(750)의 일부 벽의 내부 면의 일부는 해동 캐비티(774)를 정의할 수 있다. 해동 캐비티(774)는 그 내부에 해동될 적재물이 배치될 수 있는 에어 캐비티에 의해 분리되는 제 1 및 제 2 평행 플레이트 전극(770, 772)을 갖는 용량성 해동 장치를 포함한다. 예를 들어, 제 1 전극(770)은 에어 캐비티 위에 위치될 수 있고, 제 2 전극(772)은 격납 구조물(750)의 전도성 부분(예를 들어, 격납 구조물(750)의 바닥 벽의 일부)에 의해 제공될 수 있다. 대안적으로, 제 2 전극(772)은 격납 구조물(750)과 별개인 전도성 플레이트로 형성될 수 있다. 일 실시예에 따르면, 비 전기 전도성 지지 구조물(들)(754)은 에어 캐비티 상부의 제 1 전극(770)을 중단시키고, 격납 구조물(750)로부터 제 1 전극(770)을 전기적으로 절연시키며, 에어 캐비티에 대해 고정된 물리적 방향으로 제 1 전극(770)을 유지하기 위해 사용될 수 있다.

[0065] 일 실시예에 따르면, 격납 구조물(750)은 전도성 재료로 적어도 부분적으로 형성되고, 격납 구조물의 전도성 부분(들)은 시스템의 다양한 전기 부품에 대한 접지 기준을 제공하도록 접지될 수 있다. 선택적으로, 제 2 전극(772)에 대응하는 격납 구조물(750)의 적어도 일부는 전도성 재료로 형성되고 접지될 수 있다. 적재물(764) 및 제 2 전극(772) 사이의 직접 접촉을 방지하기 위해 비 전도성 베리어(756)가 제 2 전극(772) 위에 배치될 수 있다.

[0066] 시스템(700)에 포함될 때, 중량 센서(들)(790)는 적재물(764) 아래에 위치된다. 중량 센서(들)(790)는 적재물의 중량의 추정을 시스템 제어기(730)로 제공하도록 구성된다. 온도 센서(들) 및/또는 IR 센서(들)(792)는 적재물(764)의 온도가 해동 동작 전에, 중에, 후에 모두 감지되게 할 수 있는 위치에 배치될 수 있다. 일 실시예에 따르면, 온도 센서(들) 및/또는 IR 센서(들)(792)는 시스템 제어기(730)에 적재물 온도 추정을 제공하도록 구성된다.

- [0067] 시스템 제어기(730), RF 신호 소스(720), 전원 및 바이어스 회로(도시되지 않음), 전력 검출 회로(780) 및 가변 임피던스 정합 회로망(760)의 부분들(710, 711)은, 일 실시예에서, 격납 구조물(750)의 회로 하우스 영역(778) 내의 공통 기판(752)에 연결될 수 있다. 예를 들어, 위에 나열된 모든 구성 요소 중 일부는 RF 모듈(예를 들어, RF 모듈(1300, 도 13)) 및 가변 임피던스 정합 회로 모듈(예를 들어, 도 12의 모듈(1200)의 변형)에 포함될 수 있고, 이는 격납 구조물(750)의 회로 하우스 영역(778) 내에 하우스된다. 일 실시예에 따르면, 시스템 제어기(730)는 다양한 전도성 상호연결부를 통해 공통 기판(751) 상에 또는 그 내부에서 사용자 인터페이스, RF 신호 소스(720), 가변 임피던스 정합 회로망(760), 및 전력 검출 회로(780)에 연결된다. 또한, 일 실시예에서, 전력 검출 회로(780)는 RF 신호 소스(720)의 출력과 입력(702) 사이의 전송 경로(748)를 따라 가변 임피던스 정합 회로망(760)에 연결된다. 예를 들어, 기판(752)은 마이크로파 또는 RF 라미네이트, 폴리 테트라 플루오르 에틸렌(PTFE) 기판, 인쇄 회로 보드(PCB) 재료 기판(예를 들어, FR-4), 알루미늄 기판, 세라믹 타일, 또는 다른 유형의 기판을 포함할 수 있다. 다양한 대안적인 실시예에서, 구성 요소 중 다양한 구성 요소가 기판과 구성 요소 사이의 전기적 상호연결부를 통해 상이한 기판에 연결될 수 있다. 또 다른 대안적인 실시예에서, 구성 요소의 일부 또는 전부는 별개의 기판에 연결되기보다는 캐비티 벽에 연결될 수 있다.
- [0068] 일 실시예에서, 제 1 전극(770)은 가변 임피던스 정합 회로망(760) 및 전송 경로(748)를 통해 RF 신호 소스(720)에 전기적으로 연결된다. 가변 임피던스 정합 회로망(760)은 가변 인덕턴스 회로망(710, 711)(예를 들어, 도 4의 회로망(410, 411)) 및 복수의 고정 값 집중형 인덕터(도 4의 인덕터(412-415))를 포함한다. 일 실시예에서, 가변 인덕턴스 회로망(710, 711)은 공통 기판(752)에 연결되고 회로 하우스 영역(778) 내에 배치된다. 대조적으로, 고정 값 집중형 인덕터(712-715)는 격납 구조물(750)의 고정 인덕터 영역(776)(예를 들어, 공통 기판(752)과 제 1 전극(770) 사이) 내에 배치될 수 있다. 전도성 구조물(예, 전도성 비아 또는 다른 구조물)은 회로 하우스 영역(778) 내의 회로와 고정 인덕터 영역(776) 내의 집중형 인덕터(712-715) 사이의 전기 통신을 제공할 수 있다.
- [0069] 시스템(700)의 이해를 높이기 위해, 도 7 및 도 8에 도시된 가변 임피던스 정합 회로망(760)의 노드 및 구성 요소는 이제 도 4에 도시된 가변 임피던스 정합 회로망(400)의 노드 및 구성 요소와 상관될 것이다. 보다 구체적으로, 가변 임피던스 정합 회로망(760)은 일 실시예에 따르면, 입력 노드(702)(예를 들어, 도 4의 입력 노드(402)), 출력 노드(704)(예를 들어, 도 4의 출력 노드(404)), 제 1 및 제 2 가변 인덕턴스 회로망(710, 711)(예를 들어, 도 4의 가변 인덕턴스 회로망(410, 411)), 및 복수의 고정 값 인덕터(712-7015)(예, 도 4의 인덕터(412-415))를 포함할 수 있다. 입력 노드(702)는 다양한 전도성 구조물(예컨대, 전도성 비아 및 트레이스)를 통해 RF 신호 소스(720)의 출력에 전기적으로 연결되고, 출력 노드(704)는 제 1 전극(770)에 전기적으로 연결된다.
- [0070] 입력 및 출력 노드(702, 704)(예를 들어, 도 4의 입력 및 출력 노드(402, 404)) 사이에, 가변 임피던스 정합 회로망(700)은 일 실시예에서, 4 개의 집중형 인덕터(712-715)(예를 들어, 도 4의 인덕터(412-415))를 포함하며, 이는 고정된 인덕터 영역(776) 내에 배치된다. 도 7 및 도 8을 동시에 참조하면, 고정 인덕터 영역(776) 내의 집중형 인덕터(712-715)의 물리적 구성의 실시예에 대한 이해도가 향상될 수 있으며, 도 8은 고정 인덕터 영역(776)의 상부 사시도를 나타낸다. 도 8에서, 인덕터(712-715) 아래의 불규칙 형상의 음영 영역은 제 1 전극(770) 상부의 공간 내의 인덕터(712-715)의 부유(suspension)을 나타낸다. 다시 설명하면, 음영 영역은 인덕터(712-715)가 공기에 의해 제 1 전극(770)으로부터 전기적으로 절연되는 것을 나타낸다. 에어 유전체에 의존하지 않고, 비 전기 전도성 스페이서가 이 영역에 포함될 수 있다.
- [0071] 일 실시예에서, 제 1 집중형 인덕터(712)는 입력 노드(702)(및 이에 따른 RF 신호 소스(720)의 출력)에 전기적으로 연결된 제 1 단자와, 제 1 중간 노드(721)(예를 들어, 도 4의 노드(421))에 전기적으로 연결된 제 2 단자를 갖는다. 제 2 집중형 인덕터(713)는 제 1 중간 노드(721)에 전기적으로 연결된 제 1 단자 및 제 2 중간 노드(722)(예를 들어, 도 4의 노드(422))에 전기적으로 연결된 제 2 단자를 갖는다. 제 3 집중형 인덕터(714)는 제 1 중간 노드(721)에 전기적으로 연결된 제 1 단자 및 출력 노드(704)(및 이에 따른 제 1 전극(770))에 전기적으로 연결된 제 2 단자를 갖는다. 제 4 집중형 인덕터(715)는 출력 노드(704)(및 이에 따른 제 1 전극(770))에 전기적으로 연결된 제 1 단자 및 접지 기준 노드(예를 들어, 하나 이상의 전도성 상호연결부를 통해 접지된 격납 구조물(750))에 전기적으로 연결된 제 2 단자를 갖는다.
- [0072] 제 1 가변 인덕턴스 회로망(710)(예를 들어, 도 4의 회로망(410))은 입력 노드(702)와 접지 기준 단자(예를 들어, 접지된 격납 구조물(750)) 사이에 전기적으로 연결된다. 마지막으로, 제 2 가변 인덕턴스 회로망(711)(예컨대, 도 4의 회로망(411))은 제 2 중간 노드(722)와 접지 기준 단자 사이에 전기적으로 연결된다.

- [0073] 도 3 내지 도 8과 관련된 설명은 “비평형” 해동 장치에 대해 상세히 논의하며, 여기서, RF 신호는 하나의 전극(예를 들어, 도 3의 전극(340))에 인가되고 및 다른 “전극”(예를 들어, 도 3의 격납 구조물(366))은 접지된다. 전술한 바와 같이, 해동 장치의 다른 실시예는 “평형” 해동 장치를 포함한다. 이러한 장치에서, 평형 RF 신호는 양 전극에 제공된다.
- [0074] 예를 들어, 도 9는 예시적인 실시예에 따른 평형 해동 시스템(900)(예를 들어, 도 1 및 도 2의 해동 시스템(100, 210, 220))의 단순화된 블록도이다. 일 실시예에서, 해동 시스템(900)은 RF 서브시스템(910), 해동 캐비티(960), 사용자 인터페이스(980), 시스템 제어기(912), RF 신호 소스(920), 전원 및 바이어스 회로(926), 가변 임피던스 정합 회로망(970), 두 전극(940, 950) 및 전력 검출 회로(930)를 포함한다. 또한, 다른 실시예에서, 해동 시스템(900)은 온도 센서(들), 적외선(IR) 센서(들) 및/또는 중량 센서(들)(990)를 포함할 수 있지만, 이러한 센서 구성 요소의 일부 또는 전부가 제외될 수 있다. 도 9는 설명 및 설명의 용이함을 위한 해동 시스템(900)의 간략화된 표현이며, 실제의 실시예는 추가적인 기능 및 특징을 제공하기 위한 다른 장치 및 구성 요소를 포함할 수 있고 /있거나 해동 시스템(900)은 보다 큰 전기 시스템의 일부일 수 있다.
- [0075] 사용자 인터페이스(980)는 예를 들어, 사용자가 해동 동작을 위한 파라미터(예를 들면, 해동될 적재물의 특성 등)에 관해 시스템에 입력을 제공할 수 있게 하는 제어 패널(예를 들어, 제어 패널(도 1, 도 2의 120, 214, 224), 시작 및 취소 버튼, 기계식 컨트롤(예, 도어/드로어 개방 래치) 등에 대응할 수 있다. 또한, 사용자 인터페이스는 해동 동작의 상태를 나타내는 사용자 인지가능 출력(예를 들어, 카운트다운 타이머, 해동 동작의 진행 또는 완료를 나타내는 가시적인 표시, 및/또는 해동 동작의 완료를 나타내는 가청음) 및 다른 정보를 제공할 수 있도록 구성될 수 있다.
- [0076] RF 서브 시스템(910)은 일 실시예에서, 시스템 제어기(912), RF 신호 소스(920), 제 1 임피던스 정합 회로(934)(여기서, “제 1 정합 회로”), 전원 및 바이어스 회로(926) 및 전력 검출 회로(930)를 포함한다. 시스템 제어기(912)는 하나 이상의 범용 또는 전용 프로세서(예컨대, 마이크로 프로세서, 마이크로 컨트롤러, ASIC 등), 휘발성 및/또는 비 휘발성 메모리(예를 들어, RAM, ROM, 플래시 다양한 레지스터 등), 하나 이상의 통신 버스 및 기타 구성 요소를 포함할 수 있다. 일 실시예에 따르면, 시스템 제어기(912)는 사용자 인터페이스(980), RF 신호 소스(920), 전원 및 바이어스 회로(926), 전력 검출 회로(930)(또는 930' 또는 930”), 가변 정합 서브 시스템(970), 센서(들)(990)(포함되는 경우) 및 펌프(992)(포함되는 경우)를 포함한다. 시스템 제어기(912)는 전력 검출 회로(930)(또는 930' 또는 930”)로부터 RF 신호 반사 전력(및 RF 신호 순방향 전력)을 나타내는 신호를 수신하기 위해 사용자 인터페이스(980)를 통해 수신된 사용자 입력을 나타내는 신호를 수신하고, 센서(들)(990)로부터 센서 신호를 수신하도록 구성된다. 수신된 신호들 및 측정치에 응답하여, 그리고 보다 상세히 후술될 바와 같이, 시스템 제어기(912)는 전원 및 바이어스 회로(926) 및/또는 RF 신호 소스(920)의 RF 신호 생성기(922)에 제어 신호를 제공한다. 또한, 시스템 제어기(912)는 (경로(916)를 통해) 가변 정합 서브 시스템(970)에 제어 신호를 제공하여, 서브 시스템(970)의 가변 임피던스 정합 회로(972)(본 명세서에서는 “가변 정합 회로”)의 상태 및 구성을 변경할 수 있게 한다.
- [0077] 해동 캐비티(960)는 그 내부에 해동될 적재물(964)이 배치될 수 있는 에어 캐비티에 의해 분리되는 제 1 및 제 2 평행 플레이트 전극(940, 950)을 갖는 용량성 해동 장치를 포함한다. 격납 구조물(966) 내에서, 제 1 및 제 2 전극(940, 950)(예를 들어, 도 1의 전극(140, 150))은 내부 해동 캐비티(960)(예를 들면, 내부 캐비티(260), 도 2)의 어느 한 측면 상에 서로에 대해 고정된 물리적 관계로 배치된다. 일 실시예에 따르면, 전극(940, 950) 사이의 거리(952)는 일 실시예에서 캐비티(960)을 부 공진 캐비티(sub-resonant cavity)로 만든다.
- [0078] 제 1 및 제 2 전극(940, 950)은 거리(952)만큼 캐비티(960)를 가로 질러 분리되어있다. 다양한 실시예에서, 거리(952)는 더 작거나 더 클 수 있지만, 약 0.10 미터 내지 약 1.0 미터의 범위이다. 일 실시예에 따르면, 거리(952)는 RF 서브 시스템(910)에 의해 생성된 RF 신호의 하나의 파장보다 작다. 다시 말하면, 전술한 바와 같이, 캐비티(960)는 부 공진 캐비티이다. 일부 실시예에서, 거리(952)는 RF 신호의 하나의 파장의 약 절반보다 작다. 다른 실시예에서, 거리(952)는 RF 신호의 하나의 파장의 약 1/4보다 작다. 또 다른 실시예에서, 거리(952)는 RF 신호의 하나의 파장의 약 1/8보다 작다. 또 다른 실시예에서, 거리(952)는 RF 신호의 하나의 파장의 약 1/50보다 작다. 또 다른 실시예에서, 거리(952)는 RF 신호의 하나의 파장의 약 1/100보다 작다.
- [0079] 일반적으로, 더 낮은 동작 주파수(예를 들어, 10MHz와 100MHz 사이의 주파수)를 위해 설계된 시스템(900)은 하나의 파장의 더 작은 부분(fraction)인 거리(952)를 갖도록 설계될 수 있다. 예를 들어, 시스템(900)이 (약 30 미터의 파장에 대응하는) 약 10 MHz의 동작 주파수를 갖는 RF 신호를 생성하도록 설계되고 거리(952)가 약 0.5 미터로 선택되면, 거리(952)는 RF 신호의 하나의 파장의 약 1/60이다. 반대로, 시스템(900)이 (약 1 미터

의 파장에 대응하는) 약 300 MHz의 동작 주파수에 대해 설계되고, 거리(952)가 약 0.5 미터로 선택되면, 거리(952)는 RF 신호의 한 파장의 약 절반이다.

[0080] 동작 주파수 및 전극(940, 950) 사이의 거리(952)가 부 공진 내부 캐비티(960)를 형성하도록 선택되면, 제 1 및 제 2 전극(940, 950)은 용량성으로 연결된다. 보다 구체적으로는, 제 1 전극(940)이 커패시터의 제 1 플레이트와 유사할 수 있고, 제 2 전극(950)은 커패시터의 제 2 플레이트와 유사할 수 있으며, 캐비티(960) 내의 적재물(964), 배리어(962) 및 공기는 커패시터 유전체와 유사할 수 있다. 따라서, 제 1 전극(940)은 본 명세서에서 대안적으로 "애노드"로 지칭될 수 있고, 제 2 전극(950)은 본 명세서에서 대안적으로 "캐소드"로 지칭될 수 있다.

[0081] 기본적으로, 제 1 및 제 2 전극(940, 950)은 캐비티(960) 내의 적재물을 가열한다. 다양한 실시예에 따르면, RF 서브 시스템(910)은 RF 신호를 생성하여 일 실시예에서, 약 90 볼트 내지 약 3000 볼트의 범위에서 전극(940, 950)을 가로 질러 전압을 생성하도록 구성되거나 다른 실시예에서는 약 3000 볼트 내지 약 10,000 볼트의 범위에서 전극(940, 950)을 가로 질러 전압을 생성하도록 구성되나, 시스템은 또한 전극(940, 950)을 가로 질러 더 낮거나 더 높은 전압을 생성하도록 구성될 수 있다.

[0082] RF 서브 시스템(910)의 출력, 더 구체적으로는 RF 신호 소스(920)의 출력은 직렬로 연결된 복수의 컨덕터(928-1, 928-2, 928-3, 928-4, 928-5)를 포함하고 전체가 전송 경로(928)이라고 지칭되는 전도성 전송 경로를 통해 가변 정합 서브 시스템(970)에 전기적으로 연결된다. 일 실시예에 따르면, 전도성 전송 경로(928)는 "비평형" 부분 및 "평형" 부분을 포함하며, 여기서 "비평형" 부분은 비평형 RF 신호(즉, 접지에 대해 참조되는 단일 RF 신호)를 전달하도록 구성되며, "균형" 부분은 평형 RF 신호(즉, 서로에 대해 참조되는 두 개의 신호)를 전달하도록 구성된다. 전송 경로(928)의 "비평형" 부분은 RF 서브 시스템(910) 내의 비평형의 제 1 및 제 2 전도체(928-1, 928-2), 하나 이상의 커넥터(936, 938)(각각 수컷 및 암컷 커넥터 부분을 가짐), 및 커넥터(936, 938) 사이에 전기적으로 연결된 비평형 제 3 전도체(928-3)를 포함할 수 있다. 일 실시예에 따르면, 제 3 전도체(928-3)는 동축 케이블을 포함하나, 전기적 길이는 또한 더 짧거나 더 길 수 있다. 다른 실시예에서, 가변 정합 서브 시스템(970)은 RF 서브 시스템(910)과 함께 하우징될 수 있고, 이러한 실시예에서, 전도성 전송 경로(928)는 커넥터(936, 938) 및 제 3 전도체(928-3)를 배제할 수 있다. 어쨌든, 일 실시예에서 전도성 전송 경로(928)의 "균형 잡힌" 부분은 가변 정합 서브 시스템(970) 내의 평형인 제 4 전도체(928-4) 및 가변 정합 서브 시스템(970)과 전극(940, 950) 사이에 전기적으로 연결된 평형인 제 5 전도체(928-5)를 포함한다.

[0083] 도 9에 도시된 바와 같이, 가변 정합 서브 시스템(970)은 장치의 입력에서 송신 경로의 비평형 부분(즉, 비평형 전도체(928-1, 928-2 및 928-3)를 포함하는 부분)을 통해 RF 신호 소스(920)으로부터 비평형 RF 신호를 수신하여, 비평형 RF 신호를 2 개의 평형 RF 신호(예를 들어, 약 180도와 같이 120도 내지 240도 사이의 위상차를 갖는 2 개의 RF 신호)로 변환하고, 장치의 2 개의 출력에서 2 개의 평형 RF 신호를 생성하도록 구성된 장치를 수용한다. 예를 들어, 일 실시예에서, 변환 장치는 발룬(balun)(974)일 수 있다. 평형 RF 신호는 평형 전도체(928-4)를 통해 가변 정합 회로(972)로 전달되고, 궁극적으로는 평형 전도체(928-5)를 통해 전극(940, 950)으로 전달된다.

[0084] 다른 실시예에서, 도 9의 중앙의 점선 박스에 나타내며, 이하에서 더 상세히 설명되는 바와 같이, 대체 RF 신호 발생기(920')는 평형 전도체(928-1') 상에 평형 RF 신호를 생성할 수 있으며, 이는 가변 정합 회로(972)에 직접 연결될 수 있다(또는 다양한 중간 전도체 및 커넥터를 통해 연결됨). 그러한 실시예에서, 발룬(974)은 시스템(900)으로부터 배제될 수 있다. 어느 경우든, 아래에서 보다 상세히 설명되는 바와 같이, 양종단 가변 정합 회로(972, 예를 들어, 도 10의 가변 정합 회로(1000))는 (예를 들어, 연결부(928-4 또는 928-1'))를 통해 평형 RF 신호를 수신하여 양종단 가변 정합 회로(972)의 그 때의 전류 구성(then-current configuration)에 대응하는 임피던스 변환을 수행하고, 평형 RF 신호를 연결부(928-5)를 통해 제 1 및 제 2 전극(940, 950)에 연결된다.

[0085] 일 실시예에 따르면, RF 신호 소스(920)는 RF 신호 발생기(922) 및 (예를 들어, 하나 이상의 전력 증폭기 단을 포함하는) 전력 증폭기(924)를 포함한다. 연결부(914)를 통해 시스템 제어기(912)에 의해 제공된 제어 신호에 응답하여, RF 신호 발생기(922)는 ISM(산업, 과학 및 의료) 대역의 주파수를 갖는 발진 전기 신호를 생성하도록 구성되지만, 시스템은 또한 다른 주파수 대역에서의 동작을 지원하도록 변경될 수 있다. 다양한 실시예에서, RF 신호 발생기(922)는 상이한 전력 레벨 및/또는 상이한 주파수의 발진 신호를 생성하도록 제어될 수 있다. 예를 들어, RF 신호 발생기(922)는 약 10.0 MHz 내지 약 100 MHz 및/또는 약 100 MHz 내지 약 3.0 GHz 범위에서 발진하는 신호를 생성할 수 있다. 일부 바람직한 주파수는, 예를 들어 13.56 MHz (+/- 5 %), 27.125 MHz (+/- 5

%), 40.68 MHz (+/- 5 %) 및 2.45 GHz (+/- 5 %)일 수 있다. 대안적으로, 발진의 주파수는 위에 주어진 범위 또는 값보다 낮거나 높을 수 있다.

[0086] 전력 증폭기(924)는 RF 신호 생성기(922)로부터 발진 신호를 수신하고, 전력 증폭기(924)의 출력에서 상당히 높은 전력 신호를 생성하도록 신호를 증폭하도록 구성된다. 예를 들어, 출력 신호는 약 100 와트 내지 약 400 와트 또는 그 이상의 범위의 레벨을 가지나, 또한 전력 레벨은 더 낮거나 더 높을 수 있다. 전력 증폭기(924)에 의해 인가되는 이득(gain)은 전원 및 바이어스 회로(926)에 의해 증폭기(924)의 하나 이상의 단에 제공되는 게이트 바이어스 전압 및/또는 드레인 바이어스 전압을 사용하여 제어될 수 있다. 더 구체적으로, 전원 및 바이어스 회로(926)는 시스템 제어기(912)로부터 수신된 제어 신호에 따라 각 RF 증폭기 단의 입력 및/또는 출력(예를 들어, 게이트 및/또는 드레인)에 바이어스를 제공하고 전압을 공급한다.

[0087] 전력 증폭기는 하나 이상의 증폭단을 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 증폭기(924)의 각 단은 입력 단자(예를 들어, 게이트 또는 제어 단자) 및 2 개의 전류 운반 단자(예를 들어, 소스 및 드레인 단자)를 갖는 FET와 같은 전력 트랜지스터로서 구현된다. 임피던스 정합 회로(도시되지 않음)는 다양한 실시예에서, 증폭기 단의 일부 또는 전부의 입력(예를 들어, 게이트) 및/또는 출력(예를 들어, 드레인 단자)에 연결될 수 있다. 일 실시예에서, 증폭기 단의 각 트랜지스터는 LDMOS FET를 포함한다. 그러나, 트랜지스터는 임의의 특정 반도체 기술에 국한되지는 않으며, 다른 실시예에서, 각각의 트랜지스터는 GaN 트랜지스터, 다른 유형의 MOS FET 트랜지스터, BJT, 또는 다른 반도체 기술을 이용하는 트랜지스터로서 구현될 수 있다.

[0088] 도 9에서, 전력 증폭기 장치(924)는 특정 방식으로 다른 회로 구성 요소에 연결된 하나의 증폭기 단을 포함하는 것으로 도시되어 있다. 다른 실시예에서, 전력 증폭기 장치(924)는 다른 증폭기 토폴로지를 포함할 수 있고/있거나 증폭기 장치는 (예를 들어, 도 3의 증폭기(324/325)의 실시예에 도시된 바와 같이) 둘 이상의 증폭기 단을 포함할 수 있다. 예를 들어, 전력 증폭기 장치는 단종단 증폭기, 양종단(평형) 증폭기, 푸시 풀 증폭기, 도허티 증폭기, 스위치 모드 전력 증폭기(SMPA), 또는 다른 유형의 증폭기를 포함할 수 있다.

[0089] 예를 들어, 도 9의 중앙에 있는 파선 상자에 표시된 바와 같이, 대체 RF 신호 발생기(920')는 평형 증폭기(924')를 포함할 수 있고, 이는 입력에서 RF 신호 발생기(922)로부터 비평형 RF 신호를 수신하여 비평형 RF 신호를 증폭하고 증폭기(924')의 두 개의 출력에서 평형 RF 신호를 생성하도록 구성되며, 2 개의 평형 RF 신호는 이후 컨덕터(928-1')를 통해 전극(940, 950)으로 전달된다. 그러한 실시예에서, 발룬(974)은 시스템(900)으로부터 배제될 수 있고, 컨덕터(928-1')는 가변 정합 회로(972)에 직접 연결될 수 있다(또는 다중 동축 케이블 및 커넥터 또는 다른 다중 전도체 구조를 통해 연결될 수 있음).

[0090] 해동 캐비티(960)에 배치된 해동 캐비티(960) 및 임의의 적재물(964)(예를 들어, 음식, 음료 등)은 전극(940, 950)에 의해 내부 챔버(962)로 방사되는 전자기 에너지(또는 RF 전력)에 대한 흡수가능한 적재물을 나타낸다. 더 구체적으로는, 전술한 바와 같이, 해동 캐비티(960) 및 적재물(964)이 본 명세서에서 "캐비티 입력 임피던스"로 지칭되는 시스템에 대한 임피던스를 제공한다. 캐비티 입력 임피던스는 해동 동작 중에 적재물(964)의 온도가 증가함에 따라 변경된다. 캐비티 입력 임피던스는 RF 신호 소스(920)와 전극(940, 950) 사이의 전도성 전송 경로(928)를 따라 반사 신호 전력의 크기에 직접적인 영향을 미친다. 대부분의 경우에, 캐비티(960)로의 전송된 신호 전력의 크기를 최대화하는 것 및/또는 전도성 전송 경로(928)를 따라 반사-대-순방향 신호 전력을 최소화하는 것이 바람직하다.

[0091] RF 신호 생성기(920)의 출력 임피던스를 챔버 입력 임피던스에 적어도 부분적으로 정합시키기 위해, 일 실시예에서, 제 1 정합 회로(934)는 전송 경로(928)를 따라 전기적으로 연결된다. 제 1 정합 회로(934)는 RF 신호 소스(920)의 임피던스(예를 들어, 약 10 옴 미만)로부터 중간 임피던스(예를 들어, 50 옴, 75 옴 또는 일부 다른 값)로의 임피던스 변환을 수행하도록 구성된다. 제 1 정합 회로(934)는 다양한 구성 중 임의의 것을 가질 수 있다. 일 실시예에 따르면 제 1 정합 회로(934)가 고정 구성 요소(즉, 비 가변적인 구성 요소 값을 갖는 구성 요소)를 포함하나, 다른 실시예에서는 제 1 정합 회로(934)는 하나 이상의 가변 구성 요소를 포함할 수 있다. 예를 들어, 제 1 정합 회로(934)는 다양한 실시예에서, 인덕턴스/커패시턴스(LC) 회로망, 직렬 인덕턴스 회로망, 섀트 인덕턴스 회로망, 또는 대역 통과, 고역 통과 및 저역 통과 회로의 조합으로부터 선택된 임의의 하나 이상의 회로를 포함할 수 있다. 본질적으로, 제 1 정합 회로(934)는 임피던스를 RF 신호 발생기(920)의 출력 임피던스와 캐비티 입력 임피던스 사이의 중간 레벨로 상승 시키도록 구성된다.

[0092] 일 실시예에 따르면, 전술한 바와 같이, 전력 검출 회로(930)는 RF 신호 소스(920)의 출력과 전극(940, 950) 사이의 전송 경로(928)를 따라 연결된다. 특정 실시예에서, 전력 검출 회로(930)는 RF 서브시스템(910)의 일부를 형성하고 RF 신호 소스(920)와 커넥터(936) 사이의 전도체(928-2)에 연결된다. 대안적인 실시예에서, 전력 검

출 회로(930)는 예를 들어, 전송 경로(928)의 다른 부분(예를 들어, 전도체(928-1), 전도체(928-3), RF 신호 소스(920)(또는 발원(974))과 가변 정합 회로(972) 사이(즉, 전력 검출 회로(930')로 표시됨), 또는 가변 정합 회로(972)와 전극(들)(940, 950)사이의 전도체(928-5)(즉, 전력 검출 회로(930'')로 표시됨))에 연결될 수 있다. 간략화를 위해, 전력 검출 회로는 본 명세서에서 참조 번호 930으로 나타내나, 회로는 참조 번호 930' 및 930''으로 표시된 다른 위치에 배치될 수 있다.

[0093] 어디에 연결되든, 전력 검출 회로(930)는 RF 신호 소스(920)와 전극(940, 950) 중 하나 또는 둘 모두 사이의 전송 경로(928)를 따라 이동하는 반사 신호(즉, 전극(들)(940, 950)로부터 RF 신호 소스(920)를 향하는 방향으로 진행하는 반사 RF 신호)의 전력을 모니터, 측정 또는 검출하도록 구성된다. 일부 실시예에서, 전력 검출 회로(930)는 또한 RF 신호 소스(920)와 전극(들)(940, 950) 사이의 전송 경로(928)를 따라 진행하는 순방향 신호(즉, RF 신호 소스(920)로부터 전극(940, 950)을 향하는 방향으로 진행하는 순방향 RF 신호)의 전력을 검출하도록 구성된다.

[0094] 연결부(932)를 통해, 전력 검출 회로(930)는 반사 신호 전력의 측정된 크기를 전달하고, 또한 일부 실시예에서는 순방향 신호 전력의 측정된 크기를 전달하는 신호를 시스템 제어기(912)에 공급한다. 순방향 및 반사 신호 전력 크기 모두가 전달되는 실시예에서, 시스템 제어기(912)는 반사-대-순방향 신호 전력비 또는 S11 파라미터를 계산할 수 있다. 아래에서보다 상세히 설명되는 바와 같이, 반사 신호 전력 크기가 반사 신호 전력 임계 값을 초과할 때 또는 반사-대-순방향 신호 전력비가 S11 파라미터 임계 값을 초과하는 경우, 이는 시스템(900)이 캐비티 입력 임피던스에 적절히 매칭되지 않는다는 것을 나타내고, 캐비티(960) 내의 적재물(964)에 의한 에너지 흡수가 차선적일 수 있다는 것을 나타낸다. 이러한 상황에서, 시스템 제어기(912)는 반사 신호 전력 또는 S11 파라미터를 원하는 레벨(예를 들어, 반사 신호 전력 임계치 및/또는 반사-대-순방향 신호 전력비 임계치)로 또는 그 아래로 구동하도록 가변 정합 회로(972)의 상태를 변경하는 프로세스를 조율하고, 이에 따라 수용가능한 정합을 재설정하고 적재물(964)에 의한 보다 최적의 에너지 흡수를 용이하게 할 수 있다.

[0095] 더 구체적으로, 시스템 제어기(912)는 제어 신호를 제어 경로(916)를 통해 가변 정합 회로(972)에 제공할 수 있으며, 이는 가변 정합 회로(972)를 회로 내의 하나 이상의 구성 요소의 유도성, 용량성 및/또는 저항성 값을 변화시켜 회로(972)에 의해 제공된 임피던스 변환을 조정한다. 가변 정합 회로(972)의 구성의 조정은 바람직하게는 반사 신호 전력의 크기를 감소시키고, 이는 S11 파라미터의 크기를 감소시키는 것 및 적재물(964)에 의해 흡수되는 전력을 증가시키는 것에 대응한다.

[0096] 진술한 바와 같이, 가변 정합 회로(972)는 해동 캐비티(960) 플러스 적재물(964)의 입력 임피던스를 정합하여 가능한 한도까지 적재물(964)로의 RF 전력 전달을 최대화하는 데 사용된다. 해동 캐비티(960) 플러스 적재물(964)의 초기 임피던스는 해동 동작의 시작 시 정확하지 않을 수 있다. 또한, 적재물(964)의 임피던스는 해동 동작 중에 적재물(964)이 위밍업함에 따라 변화한다. 일 실시예에 따르면, 시스템 제어기(912)는 가변 정합 회로(972)에 제어 신호를 제공할 수 있고, 이는 가변 정합 회로(972)의 상태를 변경시킨다. 이는 시스템 제어기(912)가 상대적으로 낮은 반사-대-순방향 전력비를 갖는 해동 동작의 시작 시에 가변 정합 회로(972)의 초기 상태를 설정하는 것을 가능하게 하고, 이에 따라 적재물(964)에 의한 RF 전력의 비교적 높은 흡수를 가능하게 한다. 또한, 이는 시스템 제어기(912)가 가변 정합 회로(972)의 상태를 변경할 수 있게 하여 적재물(964)의 임피던스의 변화에 상관없이, 해동 동작 동안 내내 적절한 정합이 유지될 수 있도록 한다.

[0097] 가변 정합 회로(972)는 다양한 구성 중 임의의 것을 가질 수 있다. 예를 들어, 다양한 실시예에서, 회로(972)는 인덕턴스/커패시턴스(LC) 회로망, 인덕턴스 전용 회로망, 커패시턴스 전용 회로망, 또는 대역 통과, 고역 및 저역 회로의 조합으로부터 선택된 임의의 하나 이상의 회로를 포함할 수 있다. 가변 정합 회로(972)가 전송 경로(928)의 평형 부분에 구현되는 실시예에서, 가변 정합 회로(972)는 2 개의 입력 및 2 개의 출력을 갖는 양종단 회로이다. 가변 정합 회로가 전송 경로(928)의 비평형 부분에 구현되는 대안 실시예에서, 가변 정합 회로는 단일 입력 및 단일 출력을 갖는 단종단 회로(예를 들어, 도 4의 정합 회로)일 수 있다. 더 구체적인 실시예에 따르면, 가변 정합 회로(972)는 가변 인덕턴스 네트워크(예, 양종단 네트워크(1000), 도 10)를 포함한다. 이하에 더 자세히 설명할 바와 같이, 가변 정합 회로(972)에 의해 제공되는 인덕턴스, 커패시턴스 및/또는 저항 값(이는 차례로 회로(972)에 의해 제공되는 임피던스 변환에 영향을 미침)은 시스템 제어기(912)로부터의 제어 신호를 통해 설정된다. 어느 경우에도, 처리 동작(treatment operation) 동안 가변 정합 회로(972)의 상태를 변경하여 캐비티(964) 내의 캐비티(960) 플러스 적재물(964)의 끊임없이 변화하는 임피던스를 동적으로 정합시킴으로써, 시스템 효율이 해동 동작 전체에서 높은 레벨로 유지될 수 있다.

[0098] 가변 정합 회로(972)는 매우 다양한 회로 구성 중 임의의 것을 가질 수 있으며, 그러한 구성의 비 제한적인 예

가 도 10 및 도 11에 도시된다. 예를 들어, 도 10은 일 실시예에 따라, 해동 시스템(예컨대, 도 1, 2, 9의 시스템(100, 200, 900))에 통합될 수 있는 양중단 가변 임피던스 정합 회로(1000)의 개략도이다. 일 실시예에 따르면, 가변 정합 회로(1000)는 고정 값 및 가변 수동 소자의 회로망을 포함한다.

[0099] 회로(1000)는 양중단 입력(1001-1, 1001-2)(입력 (1001)이라고 함), 양중단 출력(1002-1, 1002-2)(출력(1002)이라고 함) 및 입력(1001)과 출력(1002) 사이의 사다리 배열로 연결되는 수동 소자의 회로망을 포함한다. 예를 들어, 시스템(900)에 연결될 때, 제 1 입력(1001-1)은 평형 전도체(928-4)의 제 1 전도체에 연결될 수 있고, 제 2 입력(1001-2)은 평형 전도체(928-4)의 제 2 전도체에 연결될 수 있다. 유사하게, 제 1 출력(1002-1)은 평형 전도체(928-5)의 제 1 전도체에 연결될 수 있고, 제 2 출력(1002-2)은 평형 전도체(928-5)의 제 2 전도체에 연결될 수 있다.

[0100] 도 10에 도시된 특정 실시예에서, 회로(1000)는 입력(1001-1)과 출력(1002-1) 사이에 직렬로 연결된 제 1 가변 인덕터(1011) 및 제 1 고정 인덕터(1015), 출력(1002-2), 입력(1001-2)과 출력(1002-2) 사이에 직렬로 연결된 제 2 가변 인덕터(1016) 및 제 2 고정 인덕터(1020), 입력들(1001-1, 1001-2) 사이에 연결된 제 3 가변 인덕터(1021) 및 노드들(1025 및 1026) 사이에 연결된 제 3 고정 인덕터(1024)를 포함한다.

[0101] 일 실시예에 따르면, 제 3 가변 인덕터(1021)는 “RF 신호 소스 정합부”에 대응하고, 이는 제 1 정합 회로(예를 들어, 도 9의 회로(934))에 의해 수정된 RF 신호 소스(예를 들어, 도 9의 RF 신호 소스(920))의 임피던스를 정합하도록 구성될 수 있으며, 더 구체적으로 제 1 정합 회로(예를 들어, 도 9의 회로(934))에 의해 수정된 최종 단 전력 증폭기(예를 들어, 도 9의 증폭기(924))의 임피던스를 정합시킨다. 일 실시예에 따르면, 도 11과 관련하여 보다 상세하게 설명되는 바와 같이, 제 3 가변 인덕터(1021)는 약 5 nH 내지 약 200 nH의 범위에서 인덕턴스를 제공하기 위해 선택적으로 함께 연결될 수 있는 유도성 구성 요소의 회로망을 포함하지만, 범위는 또한 더 낮거나 더 높은 인덕턴스 값으로 확장될 수 있다.

[0102] 대조적으로, 제 1 및 제 2 가변 인덕터(1011, 1016) 및 고정 인덕터(1015, 1020, 1024)에 의해 가변 임피던스 정합 회로망(1000)의 “캐비티 정합부”가 제공된다. 제 1 및 제 2 가변 인덕터(1011, 1016)의 상태가 다중 인덕턴스 값을 제공하도록 변경될 수 있기 때문에, 제 1 및 제 2 가변 인덕터(1011, 1016)는 캐비티 플러스 적재물(예를 들어, 도 9의 캐비티(960) + 적재물(964))의 임피던스를 최적으로 정합하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 인덕터(1011, 1016) 각각은 다른 실시예에서 그 값이 더 낮을 수 있고/있거나 더 높더라도, 약 10 nH 내지 약 200 nH의 범위의 값을 가질 수 있다.

[0103] 고정 인덕터(1015, 1020, 1024)는 또한 인덕턴스 값이 더 낮거나 더 높을지라도 약 50 nH 내지 약 800 nH 범위의 인덕턴스 값을 가질 수 있다. 인덕터(1011, 1015, 1016, 1020, 1021, 1024)는 다양한 실시예에서 개별 인덕터, 분산형 인덕터(예를 들어, 프린트 코일), 와이어 본드, 전송 라인 및/또는 다른 유도성 구성 요소를 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 가변 인덕터(1011 및 1016)는 쌍을 이루는 방식으로 동작하는데, 이는 출력(1002-1 및 1002-2)으로 전달되는 RF 신호가 균형을 이루는 것을 보장하기 위해, 동작 동안의 이들의 인덕턴스 값이 임의의 주어진 시간에서 서로 동일하게 제어되는 것을 의미한다.

[0104] 전술한 바와 같이, 가변 정합 회로(1000)는 (예를 들어, 커넥터들(928-4 및 928-5) 사이의) 전송 경로(928)의 평형 부분을 따라 연결되도록 구성된 양중단 회로이며, 다른 실시예들은 전송 경로(928)의 비평형 부분을 따라 접속되도록 구성된 단중단(즉, 하나의 입력 및 하나의 출력) 가변 정합 회로를 포함할 수 있다.

[0105] 회로(1000)의 인덕터(1011, 1016, 1021)의 인덕턴스 값을 변화시킴으로써, 시스템 제어기(912)는 회로(1000)에 의해 제공되는 임피던스 변환을 증가 또는 감소시킬 수 있다. 바람직하게는, 인덕턴스 값 변화는 RF 신호 소스(920)와 캐비티 입력 임피던스 사이의 전체 임피던스 정합을 향상시키고, 이는 반사 신호 전력 및/또는 반사-대-순방향 신호 전력비의 감소로 이어질 수 있다. 대부분의 경우, 시스템 제어기(912)는 최대 전자기장 세기가 캐비티(960)에서 달성되고/되거나 최대 전력량이 적재물(964)에 의해 흡수되고/되거나 최소 전력량이 적재물(964)에 의해 반사되는 상태에서 회로(1000)를 구성하려고 할 수 있다.

[0106] 도 11은 다른 예시적 실시예에 따른 양중단 가변 임피던스 정합 회로망(1100)의 개략도이다. 회로망(1100)은 양중단 입력(1101-1, 1101-2)(입력(1101)이라고 함), 양중단 출력(1102-1, 1102-2)(출력(1102)라고 함), 및 입력(1101)과 출력(1102) 사이에 사다리 배열로 연결된 수동 소자의 회로망을 포함한다. 사다리 배열은 입력(1101-1)과 출력(1102-2) 사이에 서로 직렬로 연결된 제 1 복수(N)의 개별 인덕터(1111-1114)를 포함하며, 여기서 N은 2와 10 사이, 또는 그 이상의 정수 일 수 있다. 사다리 배열은 또한 입력(1101-2)과 출력(1102-2) 사이에서 서로 직렬로 연결된 제 2 복수(N)의 개별 인덕터(1116-1119)를 포함한다. 추가의 개별 인덕터(1115 및

1120)는 중간 노드(1125, 1126) 및 출력 노드(1102-1, 1102-2) 사이에 연결될 수 있다. 또한, 사다리 배열은 입력(1101-1 및 1101-2) 사이에 서로 직렬로 연결된 제 3 복수의 개별 인덕터(1121-1123) 및 노드(1125 및 1126) 사이에 연결된 추가의 개별 인덕터(1124)를 포함한다. 예를 들어, 고정 인덕터(1115, 1120, 1124)는 약 50 nH 내지 약 800 nH 범위의 인덕턴스 값을 가질 수 있으나, 인덕턴스 값은 또한, 더 낮거나 더 높을 수 있다.

[0107] 인덕터(1111-1114)의 직렬 배열은 제 1 가변 인덕터(예컨대, 도 10의 인덕터(1011))로 간주될 수 있고, 인덕터(1116-1119)의 직렬 배열은 제 2 가변 인덕터(예를 들어, 도 10의 인덕터)로 간주될 수 있고, 인덕터(1121-1123)의 직렬 배열은 제 3 가변 인덕터(예를 들어, 도 10의 인덕터(1021))로 간주될 수 있다. "가변 인덕터"의 가변성을 제어하기 위해, 회로망(1100)은 복수의 바이패스 스위치(1131-1134, 1136-1139, 1141 및 1143)를 포함하며, 각 스위치(1131-1134, 1136-1139, 1141 및 1143)는 인덕터(1111-1114, 1116-1119, 1121 및 1123) 중 하나의 단자 양단에 병렬로 연결될 수 있다. 스위치(1131-1134, 1136-1139, 1141 및 1143)는 예를 들어, 트랜지스터, 기계적 릴레이 또는 기계적 스위치로서 구현될 수 있다. 각 스위치(1131-1134, 1136-1139, 1141 및 1143)의 전기 전도성 상태(즉, 개방 또는 폐쇄)는 시스템 제어기로부터의 제어 신호(1151-1154, 1156-1159, 1161, 1163)(예를 들어, 도 9의 연결(916)을 통해 제공되는 시스템 제어기(912)로부터의 신호)를 사용하여 제어된다.

[0108] 일 실시예에서, 입력(1101)과 출력(1102) 사이의 2 개의 경로에서 대응하는 인덕터 세트는 실질적으로 동일한 값을 가지며, 대응하는 인덕터의 각 세트에 대한 스위치의 전도 상태가 쌍을 이루는 방식으로 동작하며, 이는 출력(1102-1 및 1102-2)으로 전달되는 RF 신호들이 균형을 이루는 것을 보장하기 위해 동작 동안 스위치 상태가 임의의 주어진 시간에, 서로 동일하게 제어될 것이라는 것을 의미한다. 예를 들어, 인덕터(1111 및 1116)는 실질적으로 동일한 값을 갖는 제 1 "대응 인덕터 세트" 또는 "인덕터 쌍"을 구성할 수 있고, 동작 동안, 스위치(1131 및 1136)의 상태는 임의의 주어진 시간에 동일하게 제어된다(예를 들어, 둘 다 개방 또는 둘 다 폐쇄). 유사하게, 인덕터(1112, 1117)는 쌍을 이루는 방식으로 동작되는 동일한 인덕터 값을 갖는 대응하는 인덕터의 제 2 세트를 구성할 수 있고, 인덕터(1113, 1118)는 쌍을 이루는 방식으로 동작되는 동일한 인덕턴스 값을 갖는 대응하는 인덕터의 제 3 세트를 구성할 수 있으며, 인덕터(1114, 1119)는 쌍을 이루는 방식으로 동작하는 동일한 인덕턴스 값을 갖는 대응하는 인덕터의 제 4 세트를 구성할 수 있다.

[0109] 각각의 병렬 인덕터/스위치 조합에 대해, 해당 스위치가 개방 또는 비 전도 상태에 있을 때 인덕터를 통해 실질적으로 모든 전류가 흐르고, 스위치가 폐쇄 또는 전도 상태에 있을 때 실질적으로 모든 전류가 스위치를 통해 흐른다. 예를 들어, 모든 스위치(1131-1134, 1136-1139, 1141, 및 1143)가 개방된 경우, 도 11에 도시된 바와 같이, 입력 및 출력 노드(1101-1, 1102-1) 사이를 흐르는 실질적으로 모든 전류는 일련의 인덕터(1111-1115)를 통해 흐르고, 입력 및 출력 노드(1101-2, 1102-2) 사이를 흐르는 실질적으로 모든 전류는 일련의 인덕터(1116-1120)를 통해 흐른다(인덕터(1121-1123) 또는 인덕터(1124)를 통해 흐르는 임의의 전류에 의해 수정됨)를 포함한다. 이러한 구성은 회로망(1100)의 최대 인덕턴스 상태(즉, 입력 노드(1101)와 출력 노드(1102) 사이에 최대 인덕턴스 값이 존재하는 회로망(1100)의 상태)를 나타낸다. 역으로, 모든 스위치(1131-1134, 1136-1139, 1141 및 1143)가 폐쇄될 때, 입력 및 출력 노드들(1101, 1102) 사이에 흐르는 실질적으로 모든 전류는 인덕터(1111-1114 및 1116-1119)를 우회하여 대신에 스위치(1131-1134 또는 1136-1139), 인덕터(1115 또는 1120) 및 입력 및 출력 노드(1101, 1102)와 스위치(1131-1134, 1136) 사이의 전도성 상호연결을 통해 흐른다. 이러한 구성은 회로망(1100)의 최소 인덕턴스 상태(즉, 입력 노드(1101)와 출력 노드(1102) 사이에 최소 인덕턴스 값이 존재하는 회로망(1100)의 상태)를 나타낸다. 이상적으로, 최소 인덕턴스 값은 제로 인덕턴스에 가까울 수 있다. 그러나, 실제로는, 스위치(1131-1134 또는 1136-1139), 인덕터(1115 또는 1120), 및 노드(1101, 1102)와 스위치(1131-1134 또는 1136-1139) 사이의 전도성 상호연결의 합산 인덕턴스로 인해 최소 인덕턴스 상태에 비교적 작은 인덕턴스가 존재한다. 예를 들어, 최소 인덕턴스 상태에서, 스위치(1131-1134 또는 1136-1139)의 직렬 조합에 대한 트레이스 인덕턴스는 약 10nH 내지 약 400nH의 범위에 있을 수 있으나, 트레이스 인덕턴스는 또한 더 작거나 더 클 수 있다. 더 크거나, 작거나 또는 실질적으로 유사한 트레이스 인덕턴스는 또한 다른 회로망 상태들 각각에서 공유할 수 있고, 임의의 주어진 회로망 상태에 대한 트레이스 인덕턴스는 전도체 및 스위치(이들을 통해 전류가 일차적으로 회로망(1100)을 통해 운반됨)의 시퀀스의 인덕턴스의 합이다.

[0110] 모든 스위치(1131-1134, 1136-1139)가 개방되어 있는 최대 인덕턴스 상태에서부터 시작하여, 시스템 제어기는 인덕터(1111-1114, 1136-1139)의 대응하는 조합을 우회함으로써 회로망(1100)의 인덕턴스를 감소시키기 위해 임의의 조합의 스위치(1131-1134, 1136-1139)가 닫히도록 하는 제어 신호(1151-1154, 1156-1159)를 제공할 수 있다.

- [0111] 도 10의 실시예와 유사하게, 회로(1100)에서, 제 1 및 제 2 복수의 개별 인덕터(1111-1114, 1116-1119) 및 고정 인덕터(1124)는 회로의 "캐비티 정합 부"에 대응한다. 도 5와 관련하여 상술한 실시예와 유사하게, 일 실시예에서, 각각의 인덕터(1111-1114, 1116-1119)는 본 명세서에서 I의 정규화된 값으로 언급되는 실질적으로 동일한 인덕턴스 값을 갖는다. 예를 들어, 각각의 인덕터(1111-1114, 1116-1119)는 약 1 nH 내지 약 400 nH의 범위의 값, 또는 일부 다른 값을 가질 수 있다. 이러한 실시예에서, 입력 노드(1101-1 및 1102-2) 사이의 최대 인덕턴스 값, 및 입력 노드(1101-2 및 1102-2) 사이의 최대 인덕턴스 값(즉, 모든 스위치(1131-1134, 1136-1139)가 개방 상태인 경우)은 대략 이들이 최대 인덕턴스 상태에 있을 때 회로망(1100)에 존재할 수 있는 임의의 트레이스 인덕턴스 플러스 $N \times I$ 일 것이다. 임의의 n 개의 스위치가 닫힌 상태에 있을 때, 해당 입력과 출력 노드 사이의 인덕턴스 값은 약 $(N - n) \times I$ (플러스 트레이스 인덕턴스)일 것이다.
- [0112] 또한, 도 5와 관련하여 설명되는 바와 같이, 위의 대안적인 실시예에서, 인덕터(1111-1114, 1116-1119)는 서로 다른 값을 가질 수 있다. 예를 들어, 입력 노드(1101-1)에서 출력 노드(1102-1)를 향해 이동하면, 제 1 인덕터(1111)는 정규화된 인덕턴스 값 I를 가질 수 있고, 직렬의 각 후속 인덕터(1112-1114)는 더 크거나 작은 인덕턴스 값을 가질 수 있다. 마찬가지로, 입력 노드(1101-2)로부터 출력 노드(1102-2)를 향해 이동함에 따라, 제 1 인덕터(1116)는 I의 정규화된 인덕턴스 값을 가질 수 있고, 직렬의 각 후속 인덕터(1117-1119)는 더 크거나 작은 인덕턴스 값을 가질 수 있다. 예를 들어, 각 후속 인덕터(1112-1114 또는 1117-1119)는 가장 가까운 다운스트림 인덕터(1111-1114 또는 1116-1118)의 인덕턴스 값의 배수(예를 들어, 약 2 배 또는 절반)인 인덕턴스 값을 가질 수 있다. 위의 표 1의 예는 또한 입력 및 출력 노드(1101-1 및 1102-1) 사이의 제 1 직렬 인덕턴스 경로 및 입력 및 출력 노드(1101-2 및 1102-1) 사이의 제 2 직렬 인덕턴스 경로에도 적용된다. 보다 구체적으로, 인덕터/스위치 조합(1111/1131 및 1116/1156) 각각은 인덕터/스위치 조합(501/511)과 유사하고, 인덕터/스위치 조합(1112/1132 및 1117/1157) 각각은 인덕터/스위치 조합(502/512)과 유사하며, 인덕터/스위치 조합(1113/1133 및 1118/1158) 각각은 인덕터/스위치 조합(503/513)과 유사하며, 인덕터/스위치 조합(1114/1134 및 1119/1159)는 각각은 인덕터/스위치 조합(504/514)과 유사하다.
- [0113] 최소 인덕턴스 상태에서 직렬 인덕터(1111-1114)에 걸친 트레이스 인덕턴스가 약 10 nH이고, 직렬 인덕터(1111-1114)에 의해 얻을 수 있는 인덕턴스 값의 범위가 약 10 nH(트레이스 인덕턴스)에서 약 400 nH인 것으로 가정하면, 인덕터(1111-1114)의 값은 예를 들어, 각각 약 10nH, 약 20 nH, 약 40 nH, 약 80 nH 및 약 160 nH일 수 있다. 직렬 인덕터(1116-1119)의 조합은 유사하게 또는 동일하게 구성될 수 있다. 물론, 4 개보다 많거나 적은 인덕터(1111-1114 또는 1116-1119)가 입력 및 출력 노드(1101-1/1102-1 또는 1101-2/1102-2) 사이의 어느 직렬 조합에도 포함될 수 있고, 각 직렬 조합 내의 인덕터는 위에 주어진 예시 값과 상이한 값을 가질 수 있다.
- [0114] 위의 예시적인 실시예는 대응하는 입력 및 출력 노드 사이의 각 직렬 조합에서의 스위칭된 인덕턴스의 개수가 4 이고, 각각의 인덕터(1111-1114, 1116-1119)가 I의 값의 소정 배수인 값을 가지는 것으로 특정하였으나, 가변 직렬 인덕턴스 회로망의 실시예는 4 개보다 많거나 적은 인덕터, 인덕터에 대한 상이한 상대 값, 및/또는 인덕터의 상이한 구성(예를 들어, 병렬 및/또는 직렬 연결 인덕터의 상이하게 연결된 세트)을 가질 수 있다. 어느 경우든, 해동 시스템의 임피던스 정합 회로망에 가변 인덕턴스 회로망을 제공함으로써, 시스템은 해동 동작 중에 존재하는 끊임없이 변화하는 커패시턴스 입력 임피던스를 더 잘 정합할 수 있다.
- [0115] 도 10의 실시예에서와 같이, 제 3 복수의 개별 인덕터(1121-1123)는 회로의 "RF 신호 소스 정합 부"에 대응한다. 제 3 가변 인덕터는 인덕터의 직렬 배열(1121-1123)을 포함하고, 여기서 바이패스 스위치(1141 및 1143)는 인덕터(1121 및 1123)가 직렬 배열에 선택적으로 연결되거나 제어 신호(1161 및 1163)에 기초하여 우회되게 한다. 일 실시예에서, 인덕터(1121-1123) 각각은 동일한 값(예를 들어, 약 1 nH 내지 약 100 nH 범위의 값)을 가질 수 있다. 대안 실시예에서, 인덕터(1121-1123)는 서로 상이한 값을 가질 수 있다. 인덕터(1122)는 바이패스 스위치(1141 및 1143)의 상태에 상관 없이 입력 단자(1101-1 및 1101-2) 사이에 전기적으로 연결된다. 따라서, 인덕터(1122)의 인덕턴스 값은 입력 단자(1101-1 및 1101-2) 사이의 베이스 라인(즉, 최소) 인덕턴스로서 기능한다. 일 실시예에 따르면, 제 1 및 제 3 인덕터(1121, 1123)는 서로의 비율인 인덕턴스 값을 가질 수 있다. 예를 들어, 제 1 인덕터(1121)가 평균화된 인덕턴스 값 J를 갖는 경우, 인덕터(1123)는 다양한 실시예에서 $2 \times J$, $3 \times J$, $4 \times J$, 또는 일부 다른 비율을 가질 수 있다.
- [0116] 도 10 및 도 11에 도시된 가변 임피던스 정합 회로(1000, 1100)는 바람직한 양종단 가변 임피던스 변환을 수행할 수 있는 두 가지 가능한 회로 구성일 뿐이라는 것을 이해해야 한다. 양종단 가변 임피던스 정합 회로의 다른 실시예는 상이한 배열의 유도성 회로망을 포함할 수 있거나, 인덕터, 커패시터 및/또는 저항기를 포함하는 수동 회로망을 포함할 수 있는데, 수동 소자의 일부는 고정 값 소자일 수 있고, 수동 소자의 일부는 가변 값 소자(예: 가변 인덕터, 가변 커패시터 및/또는 가변 저항기)일 수 있다. 또한, 양종단 가변 임피던스 정합 회로

는 회로에 의해 제공되는 전체 임피던스 변환을 변경하기 위해 수동 소자를 회로망 내외로 스위칭하는 능동 장치(예: 트랜지스터)를 포함할 수 있다.

[0117] 다양한 실시예에 따르면, 본 명세서에서 논의된 단종단 또는 양종단 가변 임피던스 정합 회로망과 관련된 회로는 하나 이상의 모듈의 형태로 구현될 수 있으며, 여기서 "모듈"은 본 명세서에서 공통 기관에 연결된 전기 소자의 어셈블리로서 정의된다. 예를 들어, 도 12는 일 실시예에 따른 양종단 가변 임피던스 정합 회로망(예를 들어, 도 10 및 도 11의 회로망(1000, 1100))을 포함하는 모듈(1200)의 일례의 사시도이다. 모듈(1200)은 전면(1206) 및 대향 후면(1208)을 갖는 인쇄 회로 기관(PCB)(1204)을 포함한다. PCB(1204)는 하나 이상의 유전체 층 및 2 이상의 인쇄된 전도 층으로 형성된다. 전도성 비아(도 12에는 보이지 않음)는 다수의 전도성 층들 사이의 전기적 연결을 제공할 수 있다. 전면(1206)에서, 제 1 인쇄된 전도 층으로부터 형성된 복수의 인쇄된 전도성 트레이스는 PCB(1204)의 전면(1206)에 연결되는 다양한 구성 요소 사이의 전기적 연결 가능성을 제공한다. 유사하게, 후면(1208)에서, 제 2 인쇄된 전도 층으로부터 복수의 인쇄된 전도성 트레이스는 PCB(1204)의 후면(1208)에 연결되는 다양한 구성 요소 사이의 전기적 연결 가능성을 제공한다.

[0118] 일 실시예에 따르면, PCB(1204)는 RF 입력 커넥터(1238)(예를 들어, 후면(1208)에 연결되고 도 12의 도면에서는 보이지 않지만, 도 9의 커넥터(938)에 대응) 및 발룬(1274)(예를 들어, 후면(1208)에 연결되고 도 12의 도면에서는 보이지 않지만 도 9의 발룬(balun)(974)에 대응함)을 수용한다. 입력 커넥터(1238)는 동축 케이블 또는 다른 유형의 전도체와 같은 연결(예를 들어, 도 9의 연결(928-3))을 사용하여 RF 서브 시스템(예를 들어, 도 3, 도 9의 서브시스템(310, 910))에 전기적으로 연결되도록 구성된다. 그와 같은 실시예에서, RF 입력 커넥터(1238)로부터 발룬(1274)에 의해 수신된 비평형 RF 신호는 평형 신호로 변환되고, 이는 한 쌍의 평형 전도체(예컨대, 도 9의 연결부(928-4))를 통해 양종단 입력(제 1 입력(1201-1) 및 제 2 입력(1201-2)을 포함함)에 제공된다. 입력 커넥터(1238)와 발룬(1274) 사이의 연결, 및 발룬(1274)과 입력(1201-1, 1201-2) 사이의 연결은 각각 PCB(1204) 상에 형성된 전도성 트레이스 및 비아를 사용하여 구현될 수 있다. 위에 논의된 대안적인 실시예에서, 대안적 실시예는 평형 증폭기(예를 들어, 도 9의 평형 증폭기(924'))를 포함할 수 있고, 입력(1201-1 및 1201-2)에 직접 결합될 수 있는 연결부(예를 들어, 도 9의 전도체(928-1')와 같은)에서 평형 신호를 생성한다. 그러한 실시예에서, 발룬(1274)은 모듈(1200)로부터 배제될 수 있다.

[0119] 또한, PCB(1204)는 양종단 가변 임피던스 정합 회로망(예를 들어, 도 9 내지 11의 회로망(972, 1000, 1100))과 연관된 회로를 수용한다. 따라서, PCB(1204)에 의해 수용된 회로는 이중 종단 입력(1201-1, 1201-2)(예를 들어, 도 11의 입력(1101-1, 1101-2)), 양종단 출력(1202-1, 1202-2)(예를 들어, 도 11의 출력(1102-1, 1102-2)), 양종단 입력의 제 1 입력(1201-1) 및 양종단 출력의 제 1 출력(1202-1) 사이에 직렬로 연결된 복수의 제 1 인덕터(1211, 1212, 1213, 1214, 1215)(예를 들어, 도 11의 인덕터(1111-1115)), 양종단 입력의 제 2 입력(1201-2) 및 양종단 출력의 제 2 출력(1202-2) 사이에 직렬로 연결된 제 2 복수의 인덕터(예를 들어, 도 11의 인덕터(1116-1120)), 및 제 1 및 제 2 입력들(1201-1, 1201-2) 사이에 직렬로 연결된 복수의 제 3 인덕터(예를 들어, 도 12에서는 보이지 않지만 도 11의 인덕터(1121-1123)에 대응함), 및 노드(1225, 1226)(예를 들어, 노드(1125, 1126)) 사이에 연결된 하나 이상의 추가 인덕터(1224)(예를 들어, 도 11의 인덕터(1124))를 포함한다.

[0120] 복수의 스위치 또는 릴레이(예를 들어, 도 12의 도면에서는 보이지 않지만, 예를 들어, 도 11의 스위치(1131-1134, 1136-1139, 1141, 1143)에 대응함)도 PCB(1204)에 연결된다. 예를 들어, 복수의 스위치 또는 릴레이는 PCB(1204)의 전면(1206) 또는 후면(1208)에 연결될 수 있다. 일 실시예에서, 스위치 또는 릴레이 각각은 인덕터(1211-1214, 1216-1219) 중 하나 또는 입력(1202-1 및 1202-2) 사이의 인덕터(예를 들어, 인덕터(1121, 1123, 도 11)) 중 하나에 전기적으로 연결될 수 있다. 제어 커넥터(1230)는 PCB(1204)에 연결되고, 제어 커넥터(1230)의 전도체는 전도성 트레이스(1232)에 전기적으로 연결되어 스위치에 제어 신호(예를 들면, 도 11의 제어 신호(1151-1154, 1156-1159, 1161, 1163))를 제공하고, 이에 따라 전술한 바와 같이 인덕터를 회로의 내부 또는 외부로 스위칭한다. 도 12에 도시된 바와 같이, 고정 값 인덕터(1215, 1220)(예를 들어, 도 11의 인덕터(1115, 1120))는 비교적 큰 코일로 형성될 수 있지만, 이들은 또한 다른 구조를 이용하여 구현될 수 있다. 도 12의 실시예에 도시된 바와 같이, 출력(1202-1, 1202-2)에 대응하는 전도성 특징(feature)은 비교적 클 수 있고, 시스템의 전극(예를 들어, 전극(940, 950, 도 9))에 직접 부착하기 위해 연장될 수 있다.

[0121] 다양한 실시예에서, RF 서브 시스템(예를 들어, 도 3 및 9의 RF 서브 시스템(310, 910))과 연관된 회로는 또한 하나 이상의 모듈의 형태로 구현될 수 있다. 예를 들어, 도 13은 예시적인 실시예에 따라, RF 서브 시스템(예를 들어, 도 3 및 9의 RF 서브 시스템(310, 910))을 포함하는 RF 모듈(1300)의 사시도이다. RF 모듈(1300)은 접지 기관(1304)에 연결된 PCB(1302)를 포함한다. 접지 기관(1304)은 PCB(1302)에 대한 구조적 지지를 제공하

고, 또한 PCB(1302)에 연결된 다양한 전기 소자에 대한 전기적 접지 기준 및 히트 싱크 기능을 제공한다.

[0122] 일 실시예에서, PCB(1302)는 RF 서브 시스템(예를 들어, 도 3 및 9의 서브 시스템(310 또는 910))과 연관된 회로를 수용한다. 따라서, PCB(1302)에 의해 수용된 회로는 시스템 제어기 회로(1312)(예를 들어, 시스템 제어기(312, 912, 도 3, 도 9)에 대응함), RF 신호 소스 회로(1320)(예를 들어, RF 신호 생성기(322, 922) 및 전력 증폭기(324, 325, 924)를 포함하는 RF 신호 소스 회로(320, 920, 도 3, 도 9)에 대응함), 전력 검출 회로(1330)(제 1 전력 검출 회로(330, 930, 도 3, 도 9)에 대응함), 및 임피던스 정합 회로(1334)(예를 들어, 제 1 정합 회로(334, 934, 도 3, 도 9)에 대응함)를 포함한다.

[0123] 도 13의 실시예에서, 시스템 제어기 회로(1312)는 프로세서 IC 및 메모리 IC를 포함하고, RF 신호 소스 회로(1320)는 신호 발생기 IC 및 하나 이상의 전력 증폭기 장치를 포함하며, 전력 검출 회로(1330)는 전력 커플러 장치를 포함하고, 임피던스 정합 회로(1334)는 함께 연결되어 임피던스 정합 회로망을 형성하는 복수의 수동 소자(예컨대, 인덕터(1335, 1336) 및 커패시터(1337))를 포함한다. 회로(1312, 1320, 1330, 1334) 및 다양한 서브-구성 요소는 도 3, 도 9와 함께 논의된 다양한 전도체 및 연결에 관하여 전술한 PCB(1302) 상의 전도체 트레이스를 통해 전기적으로 연결될 수도 있다.

[0124] RF 모듈(1300)은 또한 일 실시예에서 복수의 커넥터(1316, 1326, 1338, 1380)를 포함한다. 예를 들어, 커넥터(1380)는 사용자 인터페이스(예컨대, 사용자 인터페이스(380, 980, 도 3, 도 9)) 및 다른 기능을 포함하는 호스트 시스템과 접속하도록 구성될 수 있다. 커넥터(1316)는 전술한 바와 같이 제어 신호를 회로에 제공하기 위해 가변 정합 회로(예를 들어, 회로(372, 972, 도 3, 도 9))와 연결하도록 구성될 수 있다. 커넥터(1326)는 시스템 전원을 수신하기 위해 전원에 연결되도록 구성될 수 있다. 마지막으로, 커넥터(1338)(예를 들면, 커넥터(336, 936, 도 3, 도 9))는 RF 모듈(1300)에 동축 케이블 또는 다른 전송 라인에 연결되도록 구성될 수 있으며, 이는 RF 모듈(1300)이 가변 정합 서브 시스템(예를 들어, 서브 시스템(370, 970, 도 3, 도 9))에 (예를 들면, 전도체(328-2, 928-3, 도 3, 도 9)의 동축 케이블 구현예를 통해) 전기적으로 연결되게 할 수 있다. 다른 실시예에서, 가변 정합 서브 시스템(예를 들어, 가변 정합 회로망(370), 발룬(974) 및/또는 가변 정합 회로(972, 도 3, 도 9))의 구성 요소는 PCB(1302)에 통합될 수 있으며, 이러한 경우에 커넥터(1336)는 모듈(1300)로부터 배제될 수 있다. 또한, RF 모듈(1300)의 레이아웃, 서브 시스템 및 구성 요소의 다른 변형이 이루어질 수 있다.

[0125] RF 모듈(예를 들어, 도 13의 모듈(1300)) 및 가변 임피던스 정합 회로망 모듈(예컨대, 도 12의 모듈(1200))은 전기적으로 서로 및 다른 구성 요소와 연결될 수 있어 해동 장치나 시스템(예를 들어, 장치(100, 200, 300, 900), 도 1 내지 도 3, 도 9))을 형성할 수 있다. 예를 들어, RF 신호 연결은 RF 커넥터(1338, 도 13)와 RF 커넥터(1238, 도 12) 사이의 동축 케이블과 같은 연결(예를 들어, 도 9의 전도체(928-3))을 통해 이루어질 수 있고, 제어 연결은 커넥터(1316, 도 13)와 커넥터(1230, 도 12) 사이의 다중 전도체 케이블과 같은 연결(예를 들어, 전도체(928-3), 도 9)를 통해 이루어질 수 있다. 시스템을 더 조립하기 위해, 호스트 시스템 또는 사용자 인터페이스가 커넥터(1380)를 통해 RF 모듈(1300)에 연결될 수 있고, 전원은 커넥터(1326)를 통해 RF 모듈(1300)에 연결될 수 있으며, 전극(예를 들면, 전극(940, 950), 도 9)은 출력(1202-1, 1202-2)에 접속될 수 있다. 물론, 조립체는 또한 다양한 지지 구조 및 다른 시스템 구성 요소에 물리적으로 연결되어 전극이 해동 캐비티(예컨대, 캐비티(110, 360, 960), 도 1, 도 3, 도 9)를 가로 질러 서로 고정된 관계로 유지되도록 하고, 해동 장치는 더 큰 시스템(예컨대, 시스템(100, 200, 도 1, 2)) 내에 통합될 수 있다.

[0126] 이제, 해동 시스템의 전기적 및 물리적 측면의 실시예가 설명되었으므로, 이러한 해동 시스템을 작동시키는 방법의 다양한 실시예가 도 14 및 도 15와 관련하여 설명될 것이다. 더 구체적으로, 도 14는 일 실시예에 따라, 동적 적재물 정합을 갖는 해동 시스템(예를 들어, 시스템(100, 210, 220, 300, 700, 900, 도 1-3, 7, 9))을 동작시키는 방법의 흐름도이다.

[0127] 시스템 제어기(예를 들어, 시스템 제어기(312, 912, 도 3, 도 9))가 해동 동작이 시작되어야 한다는 표시를 수신하는 경우, 블록(1402)에서, 방법이 시작될 수 있다. 예를 들어, 사용자가 적재물(예를 들어, 적재물(364, 964), 도 3, 도 9)을 시스템의 해동 캐비티(예를 들어, 캐비티(360, 960), 도 3, 도 9)에 배치한 후에, (예컨대, 문 또는 셔랍을 닫음으로써) 캐비티를 밀봉한 후에, (예를 들어, 사용자 인터페이스(380, 980, 도 3, 도 9)의 시작 버튼을 누른 후에, 그러한 표시가 수신될 수 있다. 일 실시예에서, 캐비티의 밀봉은 하나 이상의 안전 연동 메커니즘(safety interlock mechanisms)을 연결시킬 수 있으며, 이는 연결될 때 캐비티에 공급되는 RF 전력이 캐비티 외부의 환경으로 실질적으로 누설되지 않음을 나타낼 것이다. 후술하는 바와 같이, 안전 연동 메커니즘의 연결 해제(disengagement)는 시스템 제어기가 해동 동작을 즉시 정지시키거나 종료하게 할 수 있다.

- [0128] 다양한 실시예에 따르면, 시스템 제어기는 선택적으로 적재물 유형(예를 들어, 육류, 액체 또는 다른 재료), 초기 적재물 온도 및/또는 적재물 중량을 나타내는 추가 입력을 수신할 수 있다. 예를 들어, 적재물 유형에 관한 정보는 (예를 들어, 사용자가 인식된 적재물 유형의 리스트로부터 선택함으로써) 사용자 인터페이스와의 상호 작용을 통해 사용자로부터 수신될 수 있다. 대안적으로, 시스템은 적재물의 외부에서 가시적인 바코드를 스캔 하거나 적재물에 내장되거나 적재물 상의 RFID 장치로부터 전자 신호를 수신하도록 구성될 수 있다. 초기 적재물 온도에 관한 정보는 예를 들어 시스템의 하나 이상의 온도 센서 및/또는 IR 센서(예를 들어, 센서(390, 792, 990, 도 3, 도 7, 도 9))로부터 수신될 수 있다. 적재물 중량에 관한 정보는 사용자 인터페이스와의 상호 작용을 통해 또는 시스템의 중량 센서(예컨대, 센서(390, 790, 990) 도 3, 도 7, 도 9))로부터 수신될 수 있다. 전술한 바와 같이, 적재물 유형, 초기 적재물 온도 및/또는 적재물 중량을 나타내는 입력의 수신은 선택적이며, 시스템은 대안적으로 이러한 입력의 일부 또는 전부를 수신하지 않을 수도 있다.
- [0129] 블록(1404)에서, 시스템 제어기는 가변 정합 회로망의 초기 구성 또는 상태를 설정하기 위해 가변 정합 회로망 (예를 들어, 회로망(370, 400, 972, 1000, 1100, 도 3, 도 4, 도 9-11))에 제어 신호를 제공한다. 도 4, 도 5, 도 10 및 11과 관련하여 상세하게 기술된 바와 같이, 제어 신호는 가변 정합 회로망 내의 가변 정합 회로망 (예컨대, 회로망(410, 411, 1011, 1016, 1021), 도 4 및 도 10)의 인덕턴스에 영향을 미친다. 예를 들어, 제어 신호는 시스템 제어기로부터의 제어 신호들(예를 들어, 제어 신호들(521-524, 1151-1154, 1156-1159, 1161, 1163), 도 5, 도 11)에 응답하는 바이패스 스위치들(예를 들어, 스위치들(511-514, 1131-1134, 1136-1139, 1141, 1143, 도 5, 도 11))의 상태에 영향을 줄 수 있다.
- [0130] 또한, 전술한 바와 같이, 가변 정합 회로망의 제 1 부분은 RF 신호 소스(예를 들어, RF 신호 소스(320, 920), 도 3, 도 9)) 또는 최종 단 전력 증폭기(예를 들어, 전력 증폭기(325, 924), 도 3, 도 9)에 대한 정합을 제공하도록 구성되고, 가변 정합 회로망의 제 2 부분은 캐비티(예를 들어, 캐비티(360, 960), 도 3, 도 9)) 플러스 적재물(예를 들어, (364, 964), 도 3, 도 9)에 대한 정합을 제공하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 도 4에 도시된 바와 같이, 제 1 섀트, 가변 인덕턴스 회로망(410)은 RF 신호 소스 정합을 제공하도록 구성될 수 있고, 제 2 섀트 가변 인덕턴스 회로망(416)은 캐비티 플러스 적재물 정합을 제공하도록 구성될 수 있다.
- [0131] 동결된 적재물에 대한 최상의 초기 전체 정합(즉, 최대 량의 RF 전력이 적재물에 의해 흡수되는 정합)은 전형적으로 정합 회로망의 캐비티 정합부에 대해 상대적으로 높은 인덕턴스를 가지며, 정합 회로망의 RF 신호 소스 정합 부분에 대한 비교적 낮은 인덕턴스를 갖는 것으로 관찰되었다. 예를 들어, 도 15는 2 개의 상이한 적재물에 대한 해동 동작을 통한 RF 신호 소스 정합 설정에 대한 최적의 캐비티 정합 설정을 플로팅한 차트이고, 여기서 트레이스(1510)는 제 1 적재물(예를 들어, 제 1 타입, 중량 등을 가짐)에 대응하고, 트레이스(1520)는 제 2 적재물(예를 들어, 제 2 유형, 중량 등을 가짐)에 대응한다. 도 15에서, 해동 동작의 시작 시(예를 들어, 적재물이 동결되는 경우)에 2 개의 적재물에 대한 최적의 초기 정합 설정은 각각 포인트(1512 및 1522)로 표시된다. 알 수 있는 바와 같이, 포인트(1512, 1522) 모두는 비교적 낮은 RF 소스 정합 설정과 비교하여 비교적 높은 캐비티 정합 설정을 나타낸다. 도 4의 실시예를 참조하면, 이는 가변 인덕턴스 회로망(416)에 대한 비교적 높은 인덕턴스 및 가변 인덕턴스 회로망(410)에 대한 비교적 낮은 인덕턴스로 해석된다. 도 10의 실시예를 참조하면, 이는 가변 인덕턴스 회로망(1011 및 1016)에 대해 비교적 높은 인덕턴스로 변환되고, 가변 인덕턴스 회로망(1021)에 대해 비교적 낮은 인덕턴스로 변환된다.
- [0132] 일 실시예에 따르면, 블록(1404)에서 가변 정합 회로망에 대한 초기 구성 또는 상태를 설정하기 위해, 시스템 제어기는 RF 신호 소스 정합에 대한 가변 인덕턴스 회로망(예를 들어, 회로망(410))이 상대적으로 낮은 인덕턴스를 갖고, 캐비티 정합에 대한 가변 인덕턴스 회로망(예를 들어, 회로망(411))이 상대적으로 높은 인덕턴스를 갖도록 제어 신호를 제 1 및 제 2 가변 인덕턴스 회로망(예를 들어, 도 4의 회로망(410, 411))에 송신한다. 시스템 제어기는 선행적 시스템 제어기에 알려진 적재물 유형/중량/온도 정보에 기초하여 인덕턴스가 얼마나 낮게 또는 얼마나 높게 설정되는지를 결정할 수 있다. 선행적 적재물 유형/중량/온도 정보가 시스템 제어기에 이용 가능하지 않은 경우, 시스템 제어기는 RF 신호 소스 정합에 대해 비교적 낮은 디폴트 인덕턴스 및 캐비티 정합에 대해 비교적 높은 디폴트 인덕턴스를 선택할 수 있다.
- [0133] 그러나, 시스템 제어기가 적재물 특성에 관한 선행적 정보를 가지고 있다고 가정하면, 시스템 제어기는 최적의 초기 정합 포인트 근처에서 초기 구성을 확립하려고 시도할 수 있다. 예를 들어, 다시 도 15를 참조하면, 제 1 유형의 적재물에 대한 최적의 초기 정합 포인트(1512)는 회로망의 최대 값의 약 80 %의 캐비티 정합(예를 들어, 회로망(411 또는 1011/1016)에 의해 구현됨)을 가지며, 회로망의 최대 값의 약 10 %의 RF 신호 소스 정합(회로망(410 또는 1021)에 의해 구현됨)을 가진다. 가변 인덕턴스 회로망 각각이 도 5의 회로망(500)과 유사한 구조를 갖는다고 가정하면, 예를 들어, 위의 표 1에서의 상태가 적용된다고 가정하면, 제 1 유형의 적재물에 대해,

시스템 제어기는 가변 인덕턴스 회로망을 초기화하여 캐비티 정합 회로망(예를 들어, 회로망(411) 또는 1011/1016)이 상태 12(즉, 회로망(411 또는 1011/1016)의 최대 가능 인덕턴스의 약 80 %)를 가지며, RF 신호 소스 정합 회로망(예, 회로망(410 또는 1021))은 상태 2(즉, 회로망(410)의 최대 가능 인덕턴스의 약 10 %)를 갖는다. 반대로, 제 2 유형의 적재물에 대한 최적의 초기 정합 포인트(1522)는 회로망의 최대 값의 약 40 %의 캐비티 정합(예를 들어, 회로망(411 또는 1011/1016)에 의해 구현됨)을 가지며, 회로망의 최대 값의 약 10 %의 RF 신호 소스 정합(회로망(410 또는 1021)에 의해 구현됨)을 가질 수 있다. 따라서, 제 2 유형의 적재물에 대해, 시스템 제어기는 캐비티 정합 회로망(예를 들어, 회로망(411 또는 1011/1016))이 상태 6(즉, 회로망(411 또는 1011/1016)의 최대 가능 인덕턴스의 약 40 %)를 갖도록 가변 인덕턴스 회로망을 초기화할 수 있고, RF 신호 소스 정합 회로망(예, 회로망(410 또는 1021))은 상태 2(즉, 회로망(410 또는 1021)의 최대 가능 인덕턴스의 약 10 %)를 갖는다. 일반적으로, 해동 동작 중에, RF 신호 소스 정합 회로망 및 캐비티 정합 회로망의 임피던스 값에 대한 조정은 반대의 방식으로 이루어진다. 다시 말해서, RF 신호 소스 정합 회로망의 임피던스 값이 감소되면, 캐비티 정합 회로망의 임피던스 값은 증가하고, 그 반대의 경우도 마찬가지이다.

[0134] 다시 도 14를 참조하면, 일단 초기 가변 정합 회로망 구성이 확립되면, 시스템 제어기는, 필요하다면, 가변 임피던스 정합 회로망의 구성을 정합의 품질을 나타내는 실제 측정값에 기초하여 수용가능한 또는 최적의 정합을 찾도록 조정하는 프로세스(1410)를 수행할 수 있다. 일 실시예에 따르면, 이러한 프로세스는 블록(1412)에서, RF 신호 소스(예를 들어, RF 신호 소스(320, 920, 도 3, 도 9))로 하여금 가변 임피던스 정합 회로망을 통해 비교적 낮은 전력의 RF 신호를 전극(들)(예, 제 1 전극(340) 또는 두 전극(940, 950), 도 3 및 9)에 공급하게 하는 것을 포함한다. 시스템 제어기는 전원 및 바이어스 회로(예를 들어, 회로(326, 926), 도 3 및 9)에 대한 제어 신호를 통해 RF 신호 전력 레벨을 제어할 수 있고, 예를 들어, 제어 신호들은 전원 및 바이어스 회로로 하여금 원하는 신호 전력 레벨과 정합하는 증폭기들(예를 들어, 증폭기 단들(324, 325, 924, 도 3, 도 9))에 공급 및 바이어스 전압을 제공하게 한다. 예를 들어, 비교적 낮은 전력 RF 신호는 약 10W 내지 약 20W의 범위의 전력 레벨을 갖는 신호일 수 있지만, 상이한 전력 레벨이 대안적으로 사용될 수 있다. 정합 조정 프로세스(1410) 동안 상대적으로 낮은 전력 레벨 신호는 (예를 들어, 초기 정합이 높은 반사 전력을 발생시키는 경우) 캐비티 또는 적재물을 손상시킬 위험을 감소시키고, 가변 인덕턴스 회로망의 스위칭 구성 요소를 손상시킬 위험(예를 들면, 스위치 콘택트를 통한 아크 발생으로 인한 것)을 감소시키는 것이 바람직하다.

[0135] 블록(1414)에서, 전력 검출 회로(예를 들어, 전력 검출 회로(330, 930, 930', 930''), 도 3, 도 9)는 RF 신호 소스 및 전극(들) 사이의 전송 경로를 따라 반사 및 (일부 실시예에서) 순방향 전력을 측정하고, 이들 측정치를 시스템 제어기에 제공한다. 시스템 제어기는 반사 신호 전력 및 순방향 신호 전력 사이의 비율을 결정할 수 있고, 그 비율에 기초하여 시스템에 대한 S11 파라미터를 결정할 수 있다. 시스템 제어기는 일 실시예에서 수신된 전력 측정치(예를 들어, 수신된 반사 전력 측정치, 수신된 순방향 전력 측정치, 또는 둘 모두) 및/또는 계산된 비율, 및/또는 차후의 평가 또는 비교를 위한 S11 파라미터를 저장할 수 있다.

[0136] 블록(1416)에서, 시스템 제어기는 반사된 전력 측정치 및/또는 반사-대-순방향 신호 전력비 및/또는 S11 파라미터에 기초하여, 가변 임피던스 정합 회로망에 의해 제공된 정합이 허용가능한지의 여부를 결정할 수 있다(예를 들어, 반사 전력의 임계값 미만이거나 비율이 10 % 이하이거나 측정값 또는 값이 일부 다른 기준과 유리하게 비교되는 경우). 대안으로, 시스템 제어기는 정합이 "최적의" 정합인지를 결정하도록 구성될 수 있다. "최적의" 정합은, 예를 들어, 모든 가능한 임피던스 정합 회로망 구성(또는 적어도 임피던스 정합 회로망 구성의 정의된 서브 세트에 대해)에 대한 반사 RF 전력(및 일부 실시예에서는 순방향으로 반사된 RF 전력)을 반복적으로 측정함으로써, 그리고 어떤 구성이 가장 낮은 반사된 RF 전력 및/또는 가장 낮은 반사-대-순방향 전력비로 이어질 수 있는 결정함으로써 결정될 수 있다.

[0137] 시스템 제어기가 정합이 허용 가능하지 않거나 최적 정합이 아니라고 결정하면, 시스템 제어기는 가변 임피던스 정합 회로망을 재구성함으로써 블록(1418)에서 정합을 조정할 수 있다. 예를 들어, 이는 회로망이 가변 임피던스 정합 회로망에 제어 신호를 송신함으로써 얻을 수 있는데, 제어 신호는 (예를 들면, 가변 인덕턴스 회로망(410, 411, 1011, 1016, 1021)으로 하여금 상이한 인덕턴스 상태를 갖게 하거나 인덕터(501-504, 1111-1114, 1116-1119, 1121, 1123, 도 4, 도 5, 도 10, 도 11)를 회로 내부 또는 외부로 스위칭함으로써) 회로망 내의 가변 인덕턴스를 증가 및/또는 감소시키도록 한다. 가변 인덕턴스 회로망을 재구성한 후, 블록(1414, 1416 및 1418)은 블록(1416)에서 수용 가능하거나 최적의 정합이 결정될 때까지 반복적으로 수행될 수 있다.

[0138] 수용 가능한 또는 최상의 정합이 결정되면, 해동 동작이 개시될 수 있다. 해동 동작의 개시는 블록(1420)에서, RF 신호 소스(예를 들어, RF 신호 소스(320, 920, 도 3, 도 9))에 의해 공급되는 RF 신호의 전력을 비교적 높은 전력 RF 신호로 증가시키는 것을 포함한다. 다시, 시스템 제어기는 전원 및 바이어스 회로(예를 들어, 회로

(326, 926), 도 3, 도 9))에 대한 제어 신호를 통해 RF 신호 전력 레벨을 제어할 수 있으며, 제어 신호는 원하는 전원 및 바이어스 회로로 하여금 신호 전력 레벨과 정합하는 증폭기들(예를 들어, 증폭기 단들(324, 325, 924), 도 3, 도 9))로 전원 및 바이어스 전압을 공급하게 한다. 예를 들어, 비교적 높은 전력 RF 신호는 약 50W 내지 약 500W의 범위의 전력 레벨을 갖는 신호일 수 있지만, 다른 전력 레벨들이 대안적으로 사용될 수 있다.

[0139] 블록(1422)에서, 전력 검출 회로(예를 들어, 전력 검출 회로(330, 930, 930', 930"), 도 3, 도 9))는 반사 전력을 측정하고, 일부 실시예에서는 전송 경로(예를 들어, 경로(328, 928), 도 3, 도 9)를 RF 신호 소스와 전극 사이에 제공하고, 이들 측정치를 시스템 제어기에 제공한다. 시스템 제어기는 반사 신호 전력과 순방향 신호 전력 사이의 비율을 다시 결정할 수 있고, 비율에 기초하여 시스템에 대한 S11 파라미터를 결정할 수 있다. 시스템 제어기는 일 실시예에서, 수신된 전력 측정값, 및/또는 계산된 비율, 및/또는 차후의 평가 또는 비교를 위한 S11 파라미터를 저장할 수 있다. 일 실시예에 따르면, 순방향 및 반사 전력의 주기적인 측정은 상당히 높은 빈도(예를 들어, 수 밀리 초 정도) 또는 상당히 낮은 빈도(예를 들어, 수 초 정도)로 취해질 수 있다. 예를 들어, 주기적 측정을 위한 상당히 낮은 빈도는 10 초에서 20 초마다 한 번의 측정 비율일 수 있다.

[0140] 블록(1424)에서, 시스템 제어기는 하나 이상의 반사 신호 전력 측정, 하나 이상의 계산된 반사-대-순방향 신호 전력비 및/또는 하나 이상의 계산된 S11 파라미터에 기초하여, 가변 임피던스 정합 회로망에 의해 제공된 정합이 수용가능한지 여부를 결정할 수 있다. 예를 들어, 시스템 제어기는 이러한 결정을 내릴 시에 단일 반사 신호 전력 측정치, 단일 계산된 반사-대-순방향 신호 전력비, 또는 단일 계산된 S11 파라미터를 사용할 수 있거나, 또는 이러한 결정을 내릴 시에 복수의 이전에 수신된 반사 신호 전력 측정치의 수, 이전에 계산된 반사-대-순방향 전력비, 또는 이전에 계산된 S11 파라미터의 평균값(또는 다른 계산식)을 사용할 수 있다. 정합이 수용가능한지 여부를 결정하기 위해, 시스템 제어기는 예를 들어, 수신된 반사 신호 전력, 계산된 비율 및/또는 S11 파라미터를 하나 이상의 대응하는 임계치와 비교할 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서, 시스템 제어기는 수신된 반사 신호 전력을 순방향 신호 전력의 예를 들어 5 퍼센트(또는 소정의 다른 값)의 임계치와 비교할 수 있다. 순방향 신호 전력의 5 % 미만의 반사 신호 전력은 정합이 수용가능함을 나타내고, 5 % 보다 높은 비율은 정합이 더 이상 수용 가능하지 않음을 나타낼 수 있다. 다른 실시예에서, 시스템 제어기는 계산된 반사-대-순방향 신호 전력비를 10 퍼센트(또는 소정의 다른 값)의 임계치와 비교할 수 있다. 10 퍼센트 미만의 비율은 정합이 수용가능하게 유지되는 것으로 나타낼 수 있으며, 10 퍼센트 이상의 비율은 정합이 더 이상 수용가능하지 않음을 나타낼 수 있다. 측정된 반사 전력, 또는 계산된 비율 또는 S11 파라미터가 대응 임계 값보다 큰 경우(즉, 비교가 바람직하지 않은 경우), 수용 불가능한 정합을 나타내면, 시스템 제어기는 프로세스(1410)를 다시 수행함으로써 가변 임피던스 정합 회로망의 재구성성을 개시할 수 있다.

[0141] 전술한 바와 같이, 가변 임피던스 정합 회로망에 의해 제공되는 정합은 적재물이 워 업될 때 적재물(예컨대, 도 3의 적재물(364))의 임피던스 변화로 인해 해동 동작 중에 저하될 수 있다. 해동 동작 동안, (예를 들어, 도 4의 가변 인덕턴스 회로망(411)의 인덕턴스를 감소시킴으로써) 캐비티 정합 인덕턴스를 감소시키고 (예를 들어, 도 4의 가변 인덕턴스 회로망(410)의 인덕턴스를 증가시킴으로써) RF 신호 소스 인덕턴스를 증가시킴으로써 최적의 캐비티 정합이 유지될 수 있다는 것이 관찰되었다. 다시, 도 15를 참조하면, 예를 들어 해동 동작 종료 시의 제 1 유형의 적재물에 대한 최적 정합은 포인트(1514)에 의해 표시되고, 해동 동작 종료 시의 제 2 유형의 적재물에 대한 최적 정합은 포인트(1524)로 표시된다. 두 경우 모두, 해동 동작의 개시와 완료 사이의 최적 정합을 추적하는 것은 캐비티 정합의 인덕턴스를 점차 감소시키고 RF 신호 소스 정합의 인덕턴스를 증가시키는 것을 포함한다.

[0142] 일 실시예에 따르면, 가변 임피던스 정합 회로망을 재구성하는 반복 프로세스(1410)에서, 시스템 제어기는 이러한 경향을 고려할 수 있다. 더 구체적으로, 블록(1418)에서 가변 임피던스 정합 회로망을 재구성함으로써 정합을 조정할 때, 시스템 제어기는 초기에 보다 낮은 인덕턴스(캐비티 정합 또는 회로망(411, 도 4)에 대해) 및 보다 높은 인덕턴스(RF 신호 소스 정합, 또는 도 4의 회로망(410)에 대해)에 대응하는 캐비티 및 RF 신호 소스 정합에 대한 가변 인덕턴스 회로망의 상태를 선택할 수 있다. 예상되는 최적 정합 궤적(예를 들어, 도 15에 도시된 것)을 따르는 경향이 있는 임피던스를 선택함으로써, 가변 임피던스 정합 회로망 재구성 프로세스(1410)를 수행하는 시간은 이러한 경향을 고려하지 않는 재구성 프로세스와 비교할 때 감소될 수 있다.

[0143] 대안적 실시예에서, 시스템 제어기는 수용 가능한 구성을 결정하기 위해 대신에 각 인접 구성을 반복적으로 테스트할 수 있다. 예를 들어, 위의 표 1을 다시 참조하면, 현재 구성이 캐비티 정합 회로망에 대한 상태 12 및 RF 신호 소스 정합 회로망에 대한 상태 3에 대응한다면, 시스템 제어기는 캐비티 정합 회로망에 대한 상태 11 및/또는 13를 테스트할 수 있고, RF 신호 소스 정합 회로망에 대해 상태 2 및/또는 4를 테스트할 수 있다. 이

러한 테스트가 유리한 결과(즉, 허용 가능한 정합)를 나타내지 않으면, 시스템 제어기는 캐비티 정합 회로망에 대해 상태 10 및/또는 14를 테스트할 수 있으며 RF 신호 소스 정합 회로망에 대해 상태 1 및/또는 5를 테스트할 수 있는 것 등이다.

[0144] 실제로, 가능한 모든 가변 임피던스 정합 회로망 구성을 테스트하는 것을 포함하여 시스템 제어기가 수용 가능한 임피던스 정합을 갖도록 시스템을 재구성하는 데 사용할 수 있는 다양한 상이한 검색 방법이 존재한다. 수용 가능한 구성을 검색하는 임의의 합리적인 방법은 본 발명의 대상의 범주 내에 있는 것으로 간주된다. 어느 경우에도, 허용 가능한 정합이 블록(1416)에서 결정되면, 해동 동작은 블록(1414)에서 재개되고, 프로세스는 반복을 계속한다.

[0145] 다시 블록(1424)을 참조하면, 시스템 제어기가 하나 이상의 반사된 전력 측정, 하나 이상의 계산된 반사-대-순방향 신호 전력비 및/또는 하나 이상의 계산된 S11 파라미터에 기초하여, 가변 임피던스 정합 회로망에 의해 제공된 정합이 여전히 수용 가능하다고 결정하는 경우(예를 들어, 반사된 전력 측정치, 계산된 비율 또는 S11 파라미터가 대응하는 임계값보다 작거나, 비교가 유리한 경우), 시스템은 출구 조건(exit condition)이 블록(1426)에서 발생했는지를 여부를 평가할 수 있다. 실제로, 출구 조건이 발생했는지 여부의 결정은 해동 프로세스 중 임의의 포인트에서 발생할 수 있는 인터럽트 구동 프로세스일 수 있다. 그러나, 도 14의 흐름도에 프로세스를 포함시키기 위해, 프로세스는 블록(1424) 후에 발생하는 것으로 도시되어 있다.

[0146] 어떤 경우에도, 몇몇 조건은 해동 동작의 중지를 보증할 수 있다. 예를 들어, 시스템은 안전 인터록이 위반되었을 때 출구 조건이 발생했는지를 결정할 수 있다. 대안적으로, 시스템은, 사용자에게 의해(예를 들어, 사용자 인터페이스(380, 980, 도 3, 도 9)를 통해) 설정된 타이머의 만료 시 또는 해동 동작이 얼마나 오래 수행되어야 하는지에 대한 시스템 제어기의 추정치에 기초하여 시스템 제어기에 의해 설정되었던 타이머의 만료 시에 출구 조건이 발생했다는 결정을 할 수 있다. 또 다른 실시예에서, 시스템은 달리 해동 동작의 완료를 검출할 수 있다.

[0147] 출구 조건이 발생하지 않았다면, 해동 동작은 블록(1422 및 1424)(및 필요에 따라 정합 회로망 재구성 프로세스(1410))를 반복적으로 수행함으로써 계속될 수 있다. 출구 조건이 발생했다면, 블록(1428)에서, 시스템 제어기는 RF 신호 소스에 의한 RF 신호의 공급이 중단되게 한다. 예를 들어, 시스템 제어기는 RF 신호 발생기(예를 들어, RF 신호 발생기(322, 922), 도 3, 도 9))를 디스에이블시키고/시키거나 전원 및 바이어스 회로(예를 들어, 회로(326, 926), 도 3, 도 9)로의 공급 전류의 제공을 중단시킬 수 있다. 또한, 시스템 제어기는 사용자 인터페이스가 (디스플레이 장치 상에 "도어 열림" 또는 "완료"를 디스플레이하거나 가청음을 제공함으로써) 출구 조건의 사용자-인지 가능한 표시를 생성하게 하는 신호를 사용자 인터페이스(예컨대, 사용자 인터페이스(380, 980), 도 3, 도 9)에 송신할 수 있다. 이후에 방법이 종료될 수 있다.

[0148] 도 14에 도시된 블록들과 연관된 동작들의 순서는, 예시적인 실시예에 대응하며, 설명된 순서로만 동작 시퀀스를 한정하는 것으로 해석되어서는 안 된다는 점을 이해해야 한다. 그 대신, 일부 동작은 상이한 순서로 수행될 수 있고/있거나 일부 동작은 병렬로 수행될 수 있다.

[0149] 본 명세서에 포함된 다양한 도면에 도시된 연결 라인은 다양한 요소들 간의 예시적인 기능적 관계 및/또는 물리적 연결을 나타내기 위한 것이다. 다수의 대안적인 또는 추가의 기능적 관계 또는 물리적 연결이 본 발명의 실시예에 존재할 수 있음을 알아야 한다. 또한, 특정 용어는 참고 용어로 본 명세서에 사용될 뿐이며, 따라서 제한하려는 의도가 아니며, "제 1", "제 2" 및 구조를 언급하는 다른 수치 용어는 문맥상 명시적으로 표시되지 않는 한 시퀀스나 순서를 의미하지 않는다.

[0150] 본 명세서에서 사용되는 "노드"는 주어진 신호, 논리 레벨, 전압, 데이터 패턴, 전류 또는 양이 존재하는 임의의 내부 또는 외부 기준점, 연결점, 접합부, 신호선, 전도성 소자 등을 의미하고, 여기에는 지정 신호, 로직 레벨, 전압, 데이터 패턴, 전류 또는 품질이 존재한다. 또한, 2 개 이상의 노드는 하나의 물리적 구성 요소에 의해 실현될 수 있다(그리고 2 개 이상의 신호는 공통 노드에서 수신되거나 출력되더라도 멀티플렉싱, 변조 또는 다른 방식으로 구별될 수 있다).

[0151] 전술한 설명은 함께 "연결된" 또는 "결합된" 구성 요소 또는 노드 또는 특징을 언급한다. 본 명세서에 사용된 바와 같이, 달리 명시적으로 언급되지 않는 한, "연결된"은 하나의 구성 요소가 다른 구성 요소에 직접적으로 결합되거나(또는 직접적으로 통신하는) 것을 의미하나, 반드시 기계적으로 연결되어야 할 필요는 없다. 마찬가지로, 달리 명시하지 않는 한, "결합된"은 한 구성 요소가 다른 구성 요소에 직접 또는 간접적으로 결합되거나(또는 직접 또는 간접적으로 통신하는) 것을 의미하나, 반드시 기계적으로 연결되어야 할 필요는 없다.

따라서, 도면에 도시된 개략도는 구성 요소의 하나의 예시적인 배열을 도시하지만, 추가적인 개재 구성 요소들, 장치들, 특징들 또는 컴포넌트가 도시된 발명의 대상의 실시예에 존재할 수 있다.

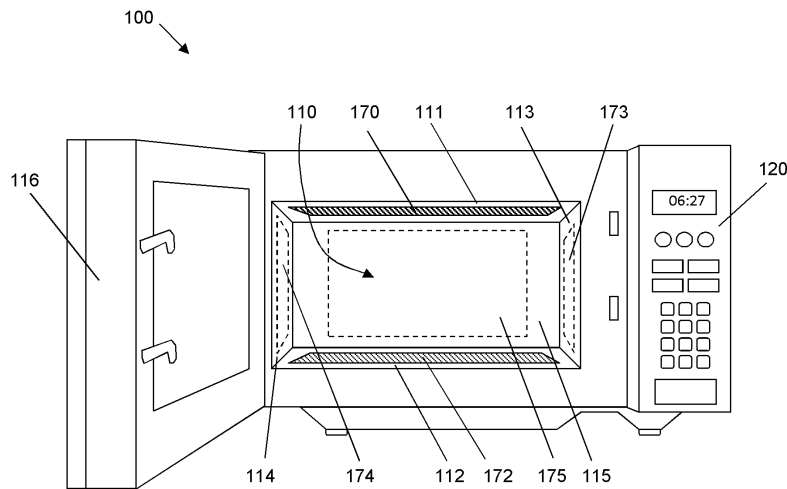
[0152] 열적 증가 시스템(thermal increase system)의 일 실시예는 적재물을 수용하기 위한 캐비티에 연결된다. 열적 증가 시스템은 RF 신호를 제공하도록 구성된 RF 신호 소스, 전송 경로, 임피던스 정합 회로망, 전력 검출 회로 및 제어기를 포함한다. 전송 경로는 RF 신호 소스와 캐비티 양단에 배치된 제 1 및 제 2 전극 사이에 전기적으로 연결된다. 임피던스 정합은 전송 경로를 따라 전기적으로 연결되고, 임피던스 정합 회로망은 가변 수동 소자의 회로망을 포함한다. 전력 검출 회로는 전송 경로를 따라 반사 신호 전력을 검출하도록 구성된다. 제어기는 반사 신호 전력에 기초하여 임피던스 정합 회로망의 하나 이상의 가변 수동 컴포넌트 중 하나 이상의 하나 이상의 값을 수정하여 반사 신호 전력을 감소시키도록 구성된다.

[0153] 캐비티를 포함하는 열적 증가 시스템을 동작시키는 방법의 일 실시예는 RF 신호 소스에 의해, RF 신호 소스와 제 1 및 제 2 전극(캐비티 양단에 배치됨) 사이에 전기적으로 연결된 전송 경로에 하나 이상의 RF 신호를 공급하는 단계를 포함한다. 이 방법은 또한 전력 검출 회로에 의해 전송 경로를 따라 반사 신호 전력을 검출하는 단계와, 제어기에 의해 전송 경로를 따라 전기적으로 연결된 임피던스 정합 회로망의 가변 수동 소자 중 하나 이상의 하나 이상의 값을 수정하여 반사 신호 전력을 감소시키는 단계를 더 포함한다.

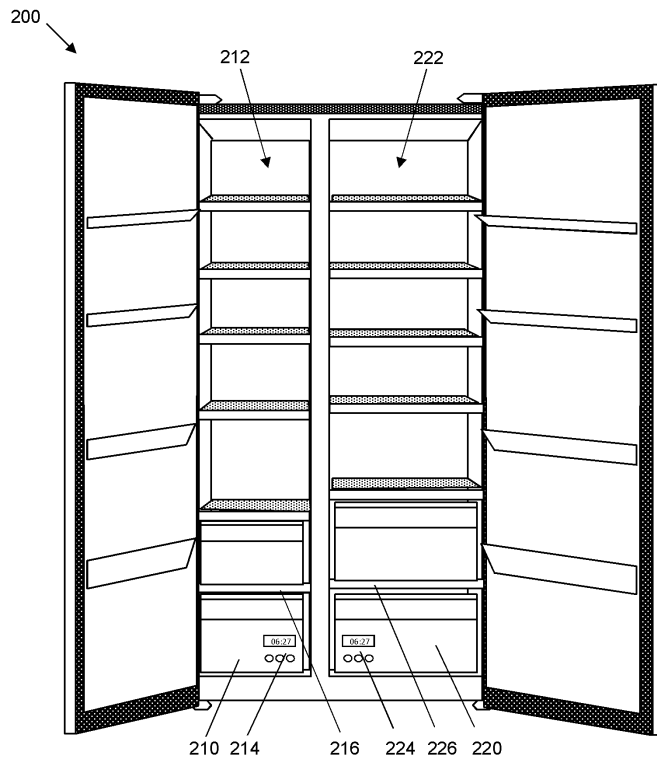
[0154] 적어도 하나의 예시적인 실시예가 전술한 상세한 설명에 제시되었지만, 수 많은 변형이 존재한다는 것을 이해해야 한다. 또한, 여기에 기술된 예시적인 실시예(들)는 어떤 식으로든 청구되는 대상의 범주, 적용 가능성 또는 구성을 제한하지 않는다는 것을 이해해야 한다. 오히려, 전술한 상세한 설명은 설명된 실시예 또는 실시예를 구현하기 위한 편리한 로드맵을 당업자에게 제공할 것이다. 청구범위에 의해 정의된 범주를 벗어나지 않는다면 구성 요소의 기능 및 배열에서 다양한 변경이 가능하다는 것을 이해해야 하고, 이는 본 특허 출원 시에 공지된 균등물 및 예측가능한 균등물을 포함한다.

도면

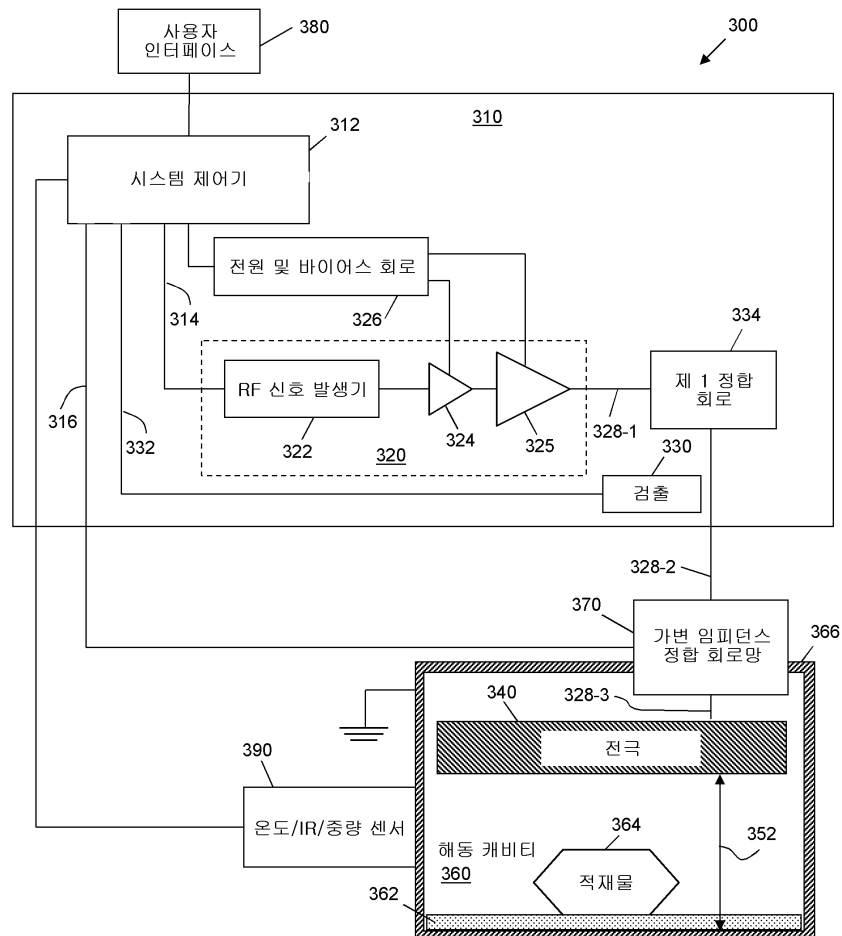
도면1



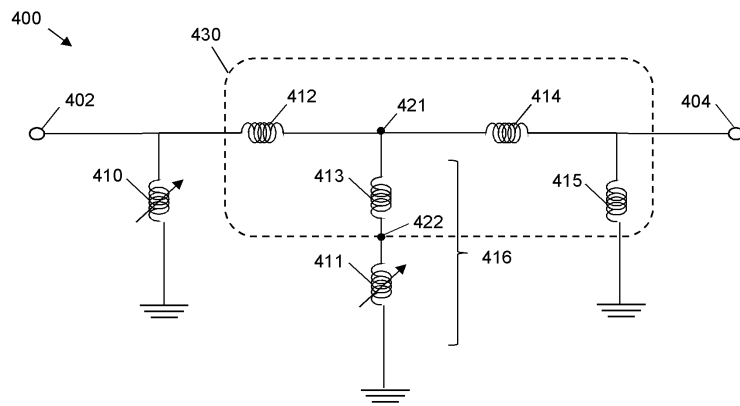
도면2



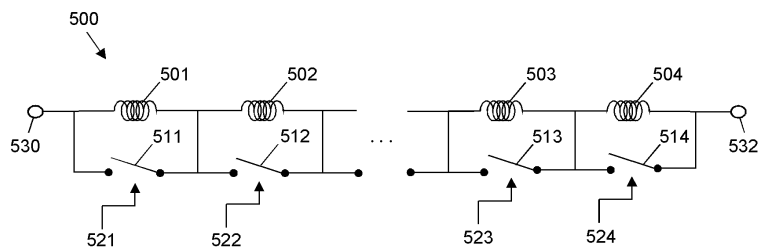
도면3



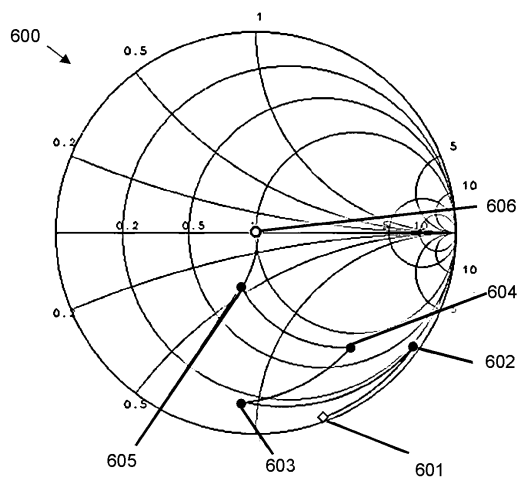
도면4



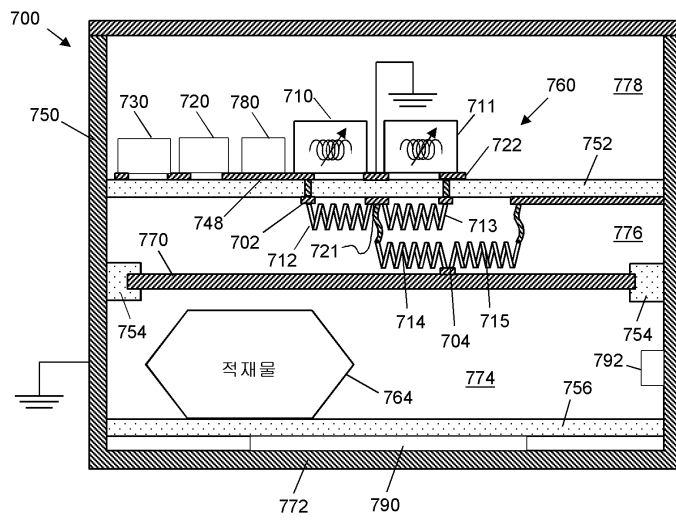
도면5



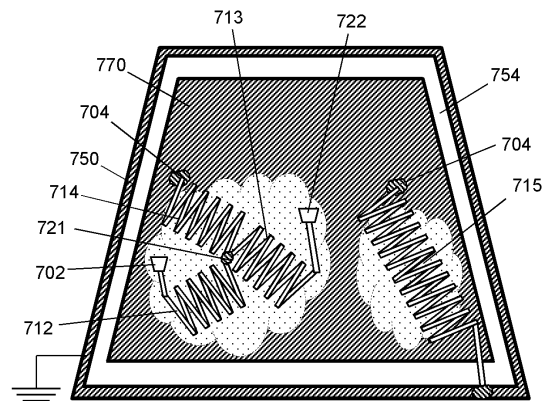
도면6



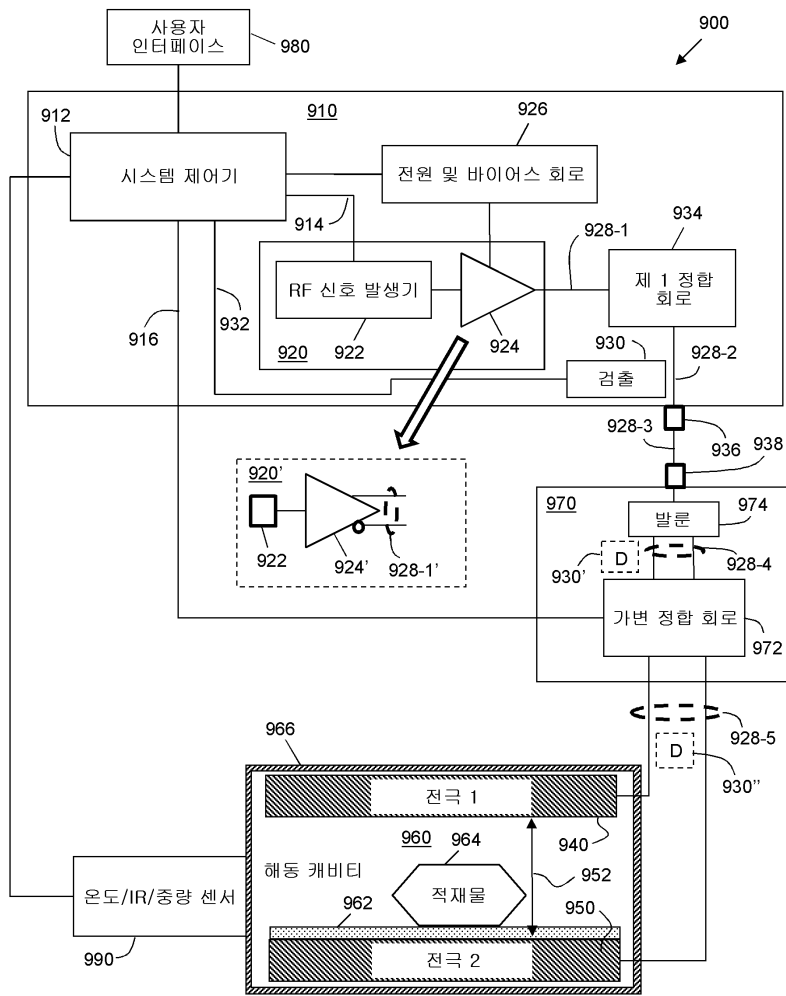
도면7



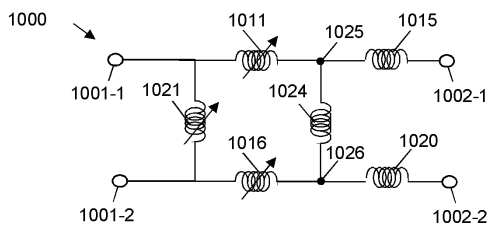
도면8



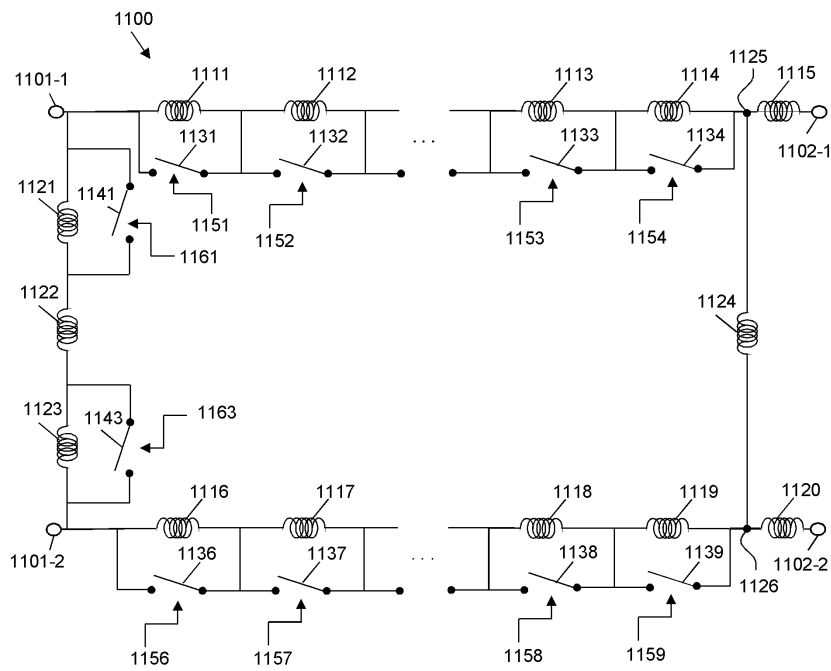
도면9



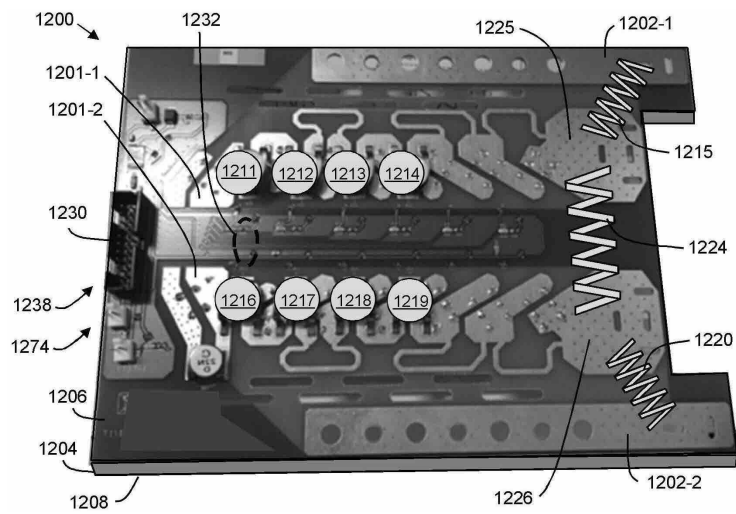
도면10



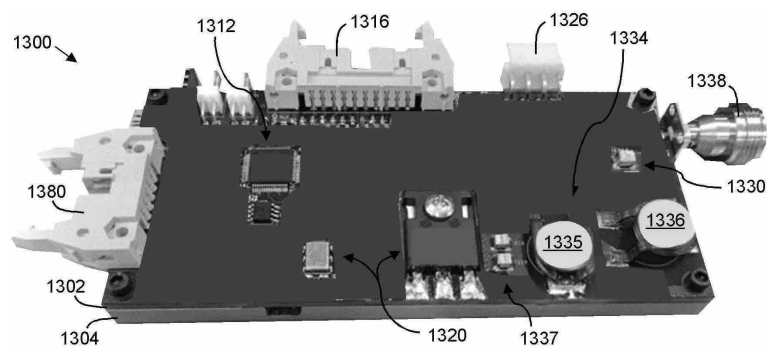
도면11



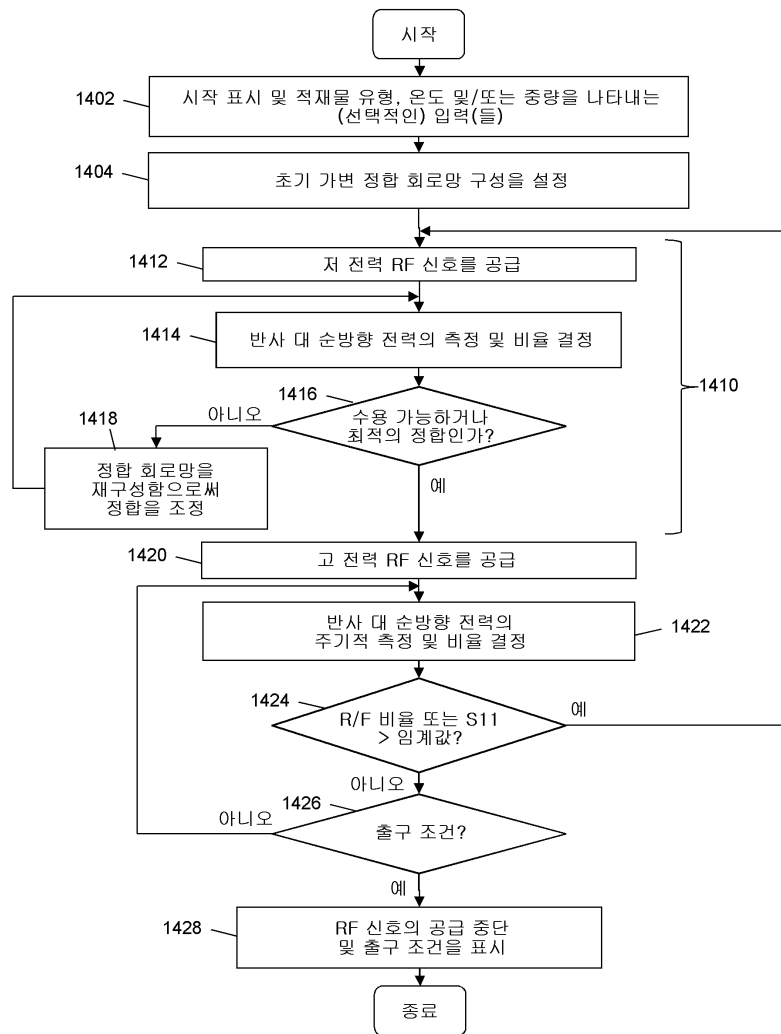
도면12



도면13



도면14



도면15

