(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년05월25일
(11) 등록번호 10-2537494
(24) 등록일자 2023년05월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 37/32 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01J 37/32183 (2022.08)
(21) 출원번호 10-2019-7027718
(22) 출원일자(국제) 2018년02월20일
심사청구일자 2021년02월17일
(85) 번역문제출일자 2019년09월20일
(65) 공개번호 10-2019-0112180
(43) 공개일자 2019년10월02일
(86) 국제출원번호 PCT/US2018/018720
(87) 국제공개번호 WO 2018/156486
국제공개일자 2018년08월30일
(30) 우선권주장
62/462,300 2017년02월22일 미국(US)
15/878,222 2018년01월23일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
US20160307736 A1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
램 리써치 코포레이션
미국 94538 캘리포니아주 프레몬트 쿠싱 파크웨이 4650
(72) 발명자
맥체스니, 존
미국, 94538 캘리포니아, 프레몬트, 쿠싱 파크웨이 4650
패터슨, 알렉산더
미국, 94538 캘리포니아, 프레몬트, 쿠싱 파크웨이 4650
(74) 대리인
특허법인인벤싱크

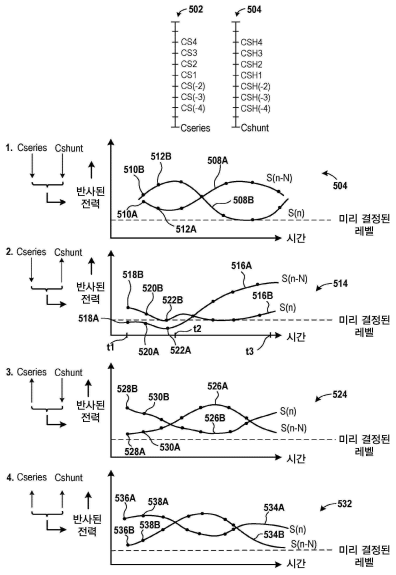
전체 청구항 수 : 총 32 항 심사관 : 윤영진

(54) 발명의 명칭 **복수의 상태에서 반사된 전력을 감소시키기 위한 튜닝 시스템들 및 방법들**

(57) 요 약

복수의 상태들에서 반사된 전력을 감소시키기 위해 튜닝하는 시스템들과 방법들이 기술되었다. 방법들은 복수의 상태들 동안 반사 전력이 감소하도록 임피던스 매칭 회로의 하나 이상의 파라미터들의 값들을 결정하는 단계를 포함한다. 이러한 반사 전력의 감소는 동시에 복수의 상태들을 사용하여 기판을 프로세싱하는 동안 임피던스 매칭 회로와 커플링된 무선 주파수 생성기의 수명을 증가시킨다.

대 표 도 - 도5a



명 세 서

청구범위

청구항 1

복수의 상태들에서 반사된 전력을 감소시키기 위해 튜닝하는 방법에 있어서,

무선 주파수 (Radio Frequency) 생성기에 의해, 디지털 펄스 신호의 제 1 상태 동안 전력을 임피던스 매칭 회로를 통해 플라즈마 챔버로 공급하는 단계;

상기 제 1 상태 동안 상기 RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력의 양을 측정하는 단계;

상기 RF 생성기에 의해, 상기 디지털 펄스 신호의 제 2 상태 동안 전력을 상기 임피던스 매칭 회로를 통해 상기 플라즈마 챔버로 공급하는 단계;

상기 제 2 상태 동안 상기 RF 생성기의 상기 출력부에서 반사된 전력의 양을 측정하는 단계; 및

상기 제 1 상태 동안 측정된 상기 전력의 양을 최소값으로 감소시키고 상기 제 2 상태 동안 측정된 상기 전력의 양을 최소값으로 감소시키기 위해 상기 임피던스 매칭 회로의 파라미터를 제어하는 단계를 포함하고,

상기 제 1 상태에 대한 상기 최소값은 상기 제 1 상태에 대한 또 다른 최소값보다 작고, 상기 제 1 상태에 대한 상기 또 다른 최소값은 상기 파라미터가 제 1 값을 가질 때 달성되고, 상기 제 1 상태에 대한 상기 최소값과 상기 제 2 상태에 대한 상기 최소값은 상기 파라미터가 제 2 값을 가질 때 달성되는, 튜닝 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 상태에 대한 상기 최소값은 미리 결정된 레벨보다 작고 상기 제 2 상태에 대한 상기 최소값은 상기 미리 결정된 레벨보다 작은, 튜닝 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 제 1 상태에 대한 상기 최소값과 상기 제 2 상태에 대한 상기 최소값은 서로 미리 결정된 문턱값 내에 있는, 튜닝 방법.

청구항 4

삭제

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 상태에 대한 상기 또 다른 최소값은 미리 결정된 레벨보다 작고, 상기 파라미터가 상기 제 1 값을 가질 때, 상기 제 2 상태에 대한 또 다른 최소값이 달성되고, 상기 제 2 상태에 대한 상기 또 다른 최소값은 상기 미리 결정된 레벨보다 큰, 튜닝 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 파라미터를 제어하는 단계는 상기 임피던스 매칭 회로의 커패시터 또는 인덕터를 제어하는 단계를 포함하고, 상기 제 1 상태 및 상기 제 2 상태에 관한 상기 최소값들은 상기 제 1 상태와 상기 제 2 상태의 상기 파라미터의 상수값에 대응하는, 튜닝 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 파라미터는 상기 임피던스 매칭 회로의 직렬 회로의 파라미터 또는 상기 임피던스 매칭 회로의 션트 회로 (shunt circuit) 의 파라미터이고, 상기 제어하는 단계는 머신 러닝 프로세스 (machine learning process) 를 적용함으로써 수행되는, 튜닝 방법.

청구항 8

복수의 상태들에서 반사된 전력을 감소시키기 위한 튜닝 시스템에 있어서,

디지털 펄스 신호의 제 1 상태 동안 전력을 공급하도록 구성된 무선 주파수 (RF) 생성기;

RF 케이블을 통해 상기 RF 생성기에 커플링된 임피던스 매칭 회로;

RF 전송 선을 통해 상기 임피던스 매칭 회로와 커플링된 플라즈마 챔버;

상기 RF 생성기의 출력부와 커플링된 센서로서, 상기 센서는 상기 제 1 상태 동안 상기 RF 생성기의 상기 출력부에서 반사된 전력의 양을 측정하도록 구성되고,

상기 RF 생성기는 상기 임피던스 매칭 회로를 통해 상기 디지털 펄스 신호의 제 2 상태 동안 상기 플라즈마 챔버에 전력을 공급하도록 구성되고,

상기 센서는 상기 제 2 상태 동안 상기 RF 생성기의 상기 출력부에서 반사된 전력의 양을 측정하도록 구성되는, 상기 센서; 및

상기 임피던스 매칭 회로의 파라미터를 제어하도록 상기 임피던스 매칭 회로와 커플링된 프로세서를 포함하고, 상기 파라미터는 상기 제 1 상태 동안 측정된 상기 전력의 양을 최소값으로 감소시키고 상기 제 2 상태 동안 측정된 상기 전력의 양을 최소값으로 감소시키도록 제어되고,

상기 제 1 상태에 대한 상기 최소값은 상기 제 1 상태에 대한 또 다른 최소값보다 작고, 상기 제 1 상태에 대한 상기 또 다른 최소값은 상기 파라미터가 제 1 값을 가질 때 달성되고, 상기 제 1 상태에 대한 상기 최소값과 상기 제 2 상태에 대한 상기 최소값은 상기 파라미터가 제 2 값을 가질 때 달성되는, 튜닝 시스템.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 제 1 상태에 대한 상기 최소값은 미리 결정된 레벨보다 작고 상기 제 2 상태에 대한 상기 최소값은 상기 미리 결정된 레벨보다 작은, 튜닝 시스템.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 제 1 상태에 대한 상기 최소값과 상기 제 2 상태에 대한 상기 최소값은 서로 미리 결정된 문턱값 내에 있는, 튜닝 시스템.

청구항 11

삭제

청구항 12

제 8 항에 있어서,

상기 제 1 상태에 대한 상기 또 다른 최소값은 미리 결정된 레벨보다 작고, 상기 파라미터가 상기 제 1 값을 가질 때, 상기 제 2 상태에 대한 또 다른 최소값이 달성되고, 상기 제 2 상태에 대한 상기 또 다른 최소값은 상기 미리 결정된 레벨보다 큰, 튜닝 시스템.

청구항 13

제 8 항에 있어서,

상기 파라미터는 상기 임피던스 매칭 회로의 커패시터 또는 인덕터의 파라미터인, 튜닝 시스템.

청구항 14

제 8 항에 있어서,

상기 파라미터는 상기 임피던스 매칭 회로의 직렬 회로의 파라미터 또는 상기 임피던스 매칭 회로의 션트 회로의 파라미터인, 튜닝 시스템.

청구항 15

무선 주파수 (RF) 생성기를 향해 반사된 전력을 최적화하기 위한 방법에 있어서,

복수의 펄싱 상태들 사이에서 펄싱하도록 RF 생성기를 제어하는 단계; 및

상기 복수의 펄싱 상태들 동안 상기 RF 생성기를 향해 반사된 전력을 감소시키기 위한 집합적 최적화 (collective optimization) 를 위해 상기 RF 생성기에 커플링된 임피던스 매칭 회로의 복수의 회로 파라미터들 중 하나 이상을 제어하는 단계를 포함하고,

상기 RF 생성기를 향해 반사된 상기 전력을 감소시키기 위한 상기 집합적 최적화는 상기 복수의 펄싱 상태들의 조합 동안 반사된 총 집합 전력을 감소시키기 위해 상기 집합적 최적화에 유리한, 상기 복수의 펄싱 상태들 중 하나 이상 동안 반사된 상기 전력의 최적화된 감소보다 작은 감소를 달성하기 위한 상기 복수의 회로 파라미터들 중 상기 하나 이상의 파라미터들의 하나 이상의 설정들을 포함하는, 반사된 전력을 최적화하기 위한 방법.

청구항 16

제 15 항에 있어서,

상기 집합적 최적화 동안, 상기 전력의 상기 최적화된 감소보다 작은 감소는 상기 복수의 펄싱 상태들 동안 상기 RF 생성기를 향해 반사된 상기 전력의 평균량이 상기 복수의 펄싱 상태들 중 상기 하나 동안 상기 RF 생성기를 향해 반사된 전력의 양보다 클 때 상기 집합적 최적화에 유리하게 달성되는, 반사된 전력을 최적화하기 위한 방법.

청구항 17

제 16 항에 있어서,

상기 집합적 최적화 동안, 상기 전력의 상기 최적화된 감소보다 작은 감소는 상기 RF 생성기를 향해 반사된 상기 전력의 평균량이 상기 복수의 펄싱 상태들 중 또 다른 하나 동안 상기 RF 생성기를 향해 반사된 전력의 양보다 적을 때 상기 집합적 최적화에 유리하게 달성되는, 반사된 전력을 최적화하기 위한 방법.

청구항 18

제 16 항에 있어서,

상기 집합적 최적화 동안, 상기 전력의 상기 최적화된 감소보다 작은 감소는 상기 복수의 펄싱 상태들 중 다른 하나 동안 상기 RF 생성기를 향해 반사된 상기 전력의 양 및 상기 전력의 평균량이 미리 결정된 문턱값 범위 내에 있을 때 상기 집합적 최적화에 유리하게 달성되는, 반사된 전력을 최적화하기 위한 방법.

청구항 19

제 16 항에 있어서,

상기 집합적 최적화 동안, 상기 전력의 상기 최적화된 감소보다 작은 감소는 상기 복수의 펄싱 상태들 중 다른 하나 동안 상기 RF 생성기를 향해 반사된 상기 전력의 양 및 상기 전력의 평균량이 미리 결정된 제한 미만일 때 상기 집합적 최적화에 유리하게 달성되는, 반사된 전력을 최적화하기 위한 방법.

청구항 20

제 15 항에 있어서,

상기 집합적 최적화 동안, 상기 RF 생성기를 향해 반사된 전력의 제 1 양은 상기 복수의 펄싱 상태들 중 하나

동안 상기 RF 생성기를 향해 반사된 전력의 제 2 양보다 크고, 상기 반사된 전력의 제 2 양은 상기 하나 이상의 설정들이 하나 이상의 수정된 설정들을 출력하기 위해 수정될 때 반사되고, 상기 집합적 최적화 동안, 상기 RF 생성기를 향해 반사된 상기 전력의 제 1 양은 상기 복수의 펄싱 상태들 중 또 다른 하나 동안 상기 RF 생성기를 향해 반사된 전력의 제 3 양 미만이고, 상기 전력의 제 2 양 및 상기 전력의 제 3 양은 상기 복수의 회로 파라미터들 중 상기 하나 이상의 파라미터들의 상기 하나 이상의 수정된 설정들이 상기 임피던스 매칭 회로에 적용될 때 상기 RF 생성기를 향해 반사되는, 반사된 전력을 최적화하기 위한 방법.

청구항 21

제 15 항에 있어서,

상기 복수의 펄싱 상태들의 조합은 상기 복수의 펄싱 상태들 모두를 포함하는, 반사된 전력을 최적화하기 위한 방법.

청구항 22

제 15 항에 있어서,

상기 하나 이상의 설정들은 복수의 설정들을 포함하고, 상기 복수의 설정들은 상기 임피던스 매칭 회로의 직렬 회로의 커패시턴스 값 또는 인덕턴스 값을 포함하고, 그리고 상기 임피던스 매칭 회로의 션트 회로의 커패시턴스 값 또는 인덕턴스 값을 포함하는, 반사된 전력을 최적화하기 위한 방법.

청구항 23

제 15 항에 있어서,

상기 복수의 회로 파라미터들 중 하나 이상을 상기 제어하는 단계는 상기 임피던스 매칭 회로의 직렬 회로의 커패시턴스 또는 인덕턴스를 추가로 수정하도록 모터를 제어하는 단계, 상기 임피던스 매칭 회로의 션트 회로의 커패시턴스 또는 인덕턴스를 추가로 수정하기 위해 또 다른 모터를 제어하는 단계, 또는 이들의 조합을 포함하는, 반사된 전력을 최적화하기 위한 방법.

청구항 24

무선 주파수 (RF) 생성기를 향해 반사된 전력을 최적화하기 위한 제어기에 있어서,

복수의 펄싱 상태들 사이에서 펄싱하기 위해 RF 생성기를 제어하도록 구성된 프로세서로서,

상기 프로세서는 상기 복수의 펄싱 상태들 동안 상기 RF 생성기를 향해 반사된 전력을 감소시키기 위한 집합적 최적화를 위해 상기 RF 생성기에 커플링된 임피던스 매칭 회로의 복수의 회로 파라미터들 중 하나 이상을 제어하도록 구성되고,

상기 RF 생성기를 향해 반사된 상기 전력을 감소시키기 위한 상기 집합적 최적화는 상기 복수의 펄싱 상태들의 조합 동안 반사된 총 집합 전력을 감소시키기 위한 상기 집합적 최적화에 유리한 상기 복수의 펄싱 상태들 중 하나 이상 동안 반사된 상기 전력의 최적화된 감소보다 작은 감소를 달성하도록 상기 복수의 회로 파라미터들 중 상기 하나 이상의 파라미터들의 하나 이상의 설정들을 포함하는, 상기 프로세서; 및

상기 프로세서에 커플링된 메모리 디바이스를 포함하는, 제어기.

청구항 25

제 24 항에 있어서,

상기 집합적 최적화에 유리한 상기 전력의 최적화된 감소보다 작은 감소를 달성하기 위해, 상기 프로세서는 상기 복수의 펄싱 상태들에 대해 상기 RF 생성기를 향해 반사된 전력의 평균량이 상기 복수의 펄싱 상태들 중 하나 동안 상기 RF 생성기를 향해 반사된 전력의 양보다 크다는 것을 결정하도록 구성되는, 제어기.

청구항 26

제 25 항에 있어서,

상기 집합적 최적화에 유리한 상기 전력의 최적화된 감소보다 작은 감소를 달성하기 위해, 상기 프로세서는 상

기 RF 생성기를 향해 반사된 상기 전력의 평균량이 상기 복수의 펄싱 상태들 중 다른 하나에 대해 상기 RF 생성기를 향해 반사된 전력의 양 미만이라는 것을 결정하도록 구성되는, 제어기.

청구항 27

제 25 항에 있어서,

상기 집합적 최적화에 유리한 상기 전력의 최적화된 감소보다 작은 감소를 달성하기 위해, 상기 프로세서는 상기 복수의 펄싱 상태들 중 상기 다른 하나에 대해 상기 RF 생성기를 향해 반사된 상기 전력의 양 및 상기 전력의 평균량이 미리 결정된 임계값 범위 내에 있다는 것을 결정하도록 구성되는, 제어기.

청구항 28

제 25 항에 있어서,

상기 집합적 최적화에 유리한 상기 전력의 최적화된 감소보다 작은 감소를 달성하기 위해, 상기 프로세서는 상기 복수의 펄싱 상태들 중 상기 다른 하나에 대해 상기 RF 생성기를 향해 반사된 상기 전력의 양 및 상기 전력의 평균량이 미리 결정된 한계 미만이라는 것을 결정하도록 구성되는, 제어기.

청구항 29

제 24 항에 있어서,

상기 집합적 최적화에 유리한 상기 전력의 최적화된 감소보다 작은 감소를 달성하기 위해, 상기 프로세서는 상기 RF 생성기를 향해 반사된 상기 전력의 제 1 양이 상기 복수의 펄싱 상태들 중 하나 동안 상기 RF 생성기를 향해 반사된 상기 전력의 제 2 양보다 크다는 것을 결정하도록 구성되고, 상기 반사된 전력의 제 2 양이 반사되는 것을 결정하기 위해, 상기 프로세서는 하나 이상의 수정된 설정들을 달성하기 위해 상기 임피던스 매칭 회로를 제어하도록 구성되고, 상기 프로세서는 상기 RF 생성기를 향해 반사된 상기 전력의 제 1 양이 상기 복수의 펄싱 상태들 중 다른 하나 동안 상기 RF 생성기를 향해 반사된 전력의 제 3 양보다 적다는 것을 결정하도록 구성되고, 상기 전력의 제 2 양 및 상기 전력의 제 3 양은 상기 임피던스 매칭 회로가 상기 하나 이상의 수정된 설정들을 달성했을 때 상기 RF 생성기를 향해 반사되는, 제어기.

청구항 30

제 24 항에 있어서,

상기 복수의 펄싱 상태들의 조합은 상기 복수의 펄싱 상태들 모두를 포함하는, 제어기.

청구항 31

제 24 항에 있어서,

상기 하나 이상의 설정들은 복수의 설정들을 포함하고, 상기 복수의 설정들은 상기 임피던스 매칭 회로의 직렬 회로의 커패시턴스 값 또는 인덕턴스 값을 포함하고, 상기 임피던스 매칭 회로의 션트 회로의 커패시턴스 값 또는 인덕턴스 값을 포함하는, 제어기.

청구항 32

제 24 항에 있어서,

상기 복수의 회로 파라미터들 중 상기 하나 이상의 파라미터들을 제어하기 위해, 상기 프로세서는 상기 임피던스 매칭 회로의 직렬 회로의 커패시턴스 또는 인덕턴스를 추가로 수정하기 위해 모터를 제어하고, 상기 임피던스 매칭 회로의 션트 회로의 커패시턴스 또는 인덕턴스를 추가로 수정하기 위해 또 다른 모터를 제어하도록 구성되는, 제어기.

청구항 33

무선 주파수 (RF) 생성기를 향해 반사된 전력을 최적화하기 위한 플라즈마 시스템에 있어서,

RF 신호를 생성하도록 구성된 RF 생성기;

상기 RF 생성기에 커플링된 임피던스 매칭 회로로서, 상기 임피던스 매칭 회로는 상기 RF 신호를 수신하고 수정

된 RF 신호를 출력하기 위해 상기 RF 신호를 수정하도록 구성되는, 상기 임피던스 매칭 회로;

상기 임피던스 매칭 회로에 커플링된 플라즈마 챔버로서, 상기 플라즈마 챔버는 플라즈마를 생성하거나 유지하기 위해 상기 수정된 RF 신호를 수신하도록 구성되는, 상기 플라즈마 챔버; 및

상기 임피던스 매칭 회로에 커플링된 호스트 컴퓨터를 포함하고, 상기 호스트 컴퓨터는,

복수의 펄싱 상태들 사이에서 펄싱하도록 상기 RF 생성기를 제어하고, 그리고

상기 복수의 펄싱 상태들 동안 상기 RF 생성기를 향해 반사된 전력을 감소시키기 위한 집합적 최적화를 달성하기 위해 상기 임피던스 매칭 회로의 복수의 회로 파라미터들 중 하나 이상을 제어하도록 구성되고,

상기 RF 생성기를 향해 반사된 상기 전력을 감소시키기 위한 상기 집합적 최적화는 상기 복수의 펄싱 상태들의 조합 동안 반사된 총 집합 전력을 감소시키기 위해 상기 집합적 최적화에 유리한, 상기 복수의 펄싱 상태들 중 하나 이상 동안 반사된 상기 전력의 최적화된 감소보다 작은 감소를 달성하기 위한 상기 복수의 회로 파라미터들 중 상기 하나 이상의 파라미터들의 하나 이상의 설정들을 포함하는, 플라즈마 시스템.

청구항 34

제 33 항에 있어서,

상기 집합적 최적화에 유리한 상기 전력의 최적화된 감소보다 작은 감소를 달성하기 위해, 상기 호스트 컴퓨터는 상기 복수의 펄싱 상태들에 대해 상기 RF 생성기를 향해 반사된 상기 전력의 평균량이 상기 복수의 펄싱 상태들 중 하나 동안 상기 RF 생성기를 향해 반사된 전력의 양보다 크다는 것을 결정하도록 구성되는, 플라즈마 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 실시예들은 복수의 상태에서 반사된 전력을 감소시키기 위한 튜닝 시스템들 및 방법들에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 일반적으로, 플라즈마 툴은 무선 주파수 (Radio Frequency) 생성기, 임피던스 매치 네트워크, 및 플라즈마 챔버를 포함한다. 무선 주파수 생성기는 임피던스 매치 네트워크를 통해 플라즈마 챔버에 전력을 공급한다. 전력이 공급되는 경우, 하나 이상의 가스들이 플라즈마 챔버 내에 플라즈마를 생성하도록 플라즈마 챔버에 제공된다. 플라즈마는 플라즈마 챔버 내의 웨이퍼 상에서 수행되는 다른 동작들뿐만 아니라 다양한 세정 동작들에 사용된다.

[0003] 그러나, 전력이 공급되는 경우 플라즈마의 전력이 RF 생성기를 향해 반대로 반사된다. 이 반사된 전력이 소스와 부하 사이의 전송 선 상에 정상파를 구축하고, 정상파들은 RF 생성기 출력 드라이브의 파손을 발생시킬 수도 있다.

[0004] 이러한 맥락에서 본 개시에서 기술되는 실시예들이 발생한다.

발명의 내용

[0005] 본 개시의 실시예들은 복수의 상태에서 반사된 전력을 감소시키기 위한 튜닝 시스템들과 방법들을 제공한다. 본 실시예들이 많은 방법들, 예를 들어 프로세스, 장치, 시스템, 디바이스 또는 컴퓨터 판독가능 매체 상의 방법으로 구현될 수 있다는 것이 인식되어야 한다. 몇 가지 실시예들이 아래에 기술되어 있다.

[0006] 반도체 플라즈마 프로세싱 동안, 인가된 무선 주파수 (RF) 전력은 1헤르츠와 50킬로헤르츠 사이의 주파수로 펄스된다. 튜닝된 매칭 네트워크는 RF 생성기와 플라즈마 사이의 효율적인 커플링을 확실하게 하기 위해 RF 전력을 플라즈마에 커플링하도록 사용된다. 연속파 (Continuous Wave) 또는 싱글 레벨 펄싱 동안, 매칭 네트워크는 고정된다. 그러나 몇 가지 경우에 둘 이상의 레벨 펄싱이 채용되고, 이 경우 둘 이상의 매칭 네트워크 위치들, 예를 들어 커패시터 값, 인덕터 값 등이 사용된다. 매칭 네트워크는 커패시터들과 인덕터들과 같은 가변 반응성 컴포넌트들을 채용한다. 이들 가변 반응성 컴포넌트들은 다레벨 펄스와 비교하여 천천히 움직이는 기계적 부품을 가진다. 기계적 부품의 느린 반응은 다레벨 펄스의 복수의 전력 레벨을 유지하기 어렵게 만든다. 이것

은 복수의 전력 레벨들 사이에 주파수 튜닝을 채용함으로써 부분적으로 완화될 수 있다. 그러나, 주파수 튜닝만으로는 크게 다른 전력 레벨들을 수용할 수 없다. 방법들과 시스템들은 다레벨 펄스의 과정을 통해 매칭 효율성을 극대화하여 매칭 네트워크 위치를 어떻게 최적화하는지를 기술한다. 매칭 효율성은 증진되었고 RF 생성기로 반사되는 전력은 감소했다. RF 생성기로 반사된 RF 전력의 평균은 더 넓은 작동 공간을 허용하도록 감소했다.

[0007] 몇 가지 실시예들에서, 복수의 상태에서 반사된 전력을 감소시키기 위한 튜닝 방법이 기술되었다. 방법은 RF 생성기에 의해, 플라즈마 챔버에 디지털 펄스 신호의 제 1 상태 동안 전력을 임피던스 매칭 회로를 통해 공급하는 단계를 포함한다. 방법은 제 1 상태 동안 RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력 양을 측정하는 단계를 더 포함한다. 방법은 RF 생성기에 의해, 플라즈마 챔버에 디지털 펄스 신호의 제 2 상태 동안 전력을 임피던스 매칭 회로를 통해 공급하는 단계를 포함한다. 방법은 또한 제 2 상태 동안 RF 생성기의 출력부에서 반사되는 전력 양을 측정하는 단계를 포함한다. 방법은 제 1 상태 동안 측정된 전력의 양을 최소로 감소시키고 제 2 상태 동안 측정된 전력의 양을 최소로 감소시키기 위해 임피던스 매칭 회로의 파라미터를 제어하는 단계를 포함한다.

[0008] 다양한 실시예들에서, 복수의 상태에서 반사된 전력을 감소시키기 위한 튜닝 시스템이 기술되었다. 시스템은 디지털 펄스 신호의 제 1 상태 동안 전력을 공급하도록 구성된 RF 생성기를 포함한다. 시스템은 RF 케이블을 통해 RF 생성기와 커플링된 임피던스 매칭 회로와 RF 전송 선을 통해 임피던스 매칭 회로와 커플링된 플라즈마 챔버를 더 포함한다. 시스템은 RF 생성기의 출력부와 커플링된 센서를 포함한다. 센서는 제 1 상태 동안 RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력의 양을 측정하도록 구성된다. RF 생성기는 임피던스 매칭 회로를 통해 디지털 펄스 신호의 제 2 상태 동안 플라즈마 챔버에 전력을 공급하도록 구성된다. 센서는 제 2 상태 동안 RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력의 양을 측정하도록 구성된다. 시스템은 임피던스 매칭 회로의 파라미터를 제어하도록 임피던스 매칭 회로와 커플링된 프로세서를 포함한다. 파라미터는 제 1 상태 동안 측정된 전력의 양을 최소값으로 감소시키고 제 2 상태 동안 측정된 전력 양을 최소값으로 감소시키도록 제어된다.

[0009] 다양한 실시예들에서, 컴퓨터가 방법을 실행하게 하는 프로그램을 저장하는 비일시적인 컴퓨터 판독가능 매체가 기술된다. 방법은 RF 생성기에 의해, 디지털 펄스 신호의 제 1 상태 동안 전력을 임피던스 매칭 회로를 통해 플라즈마 챔버로 공급하는 단계를 포함한다. 방법은 제 1 상태 동안 RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력 양의 측정값을 수신하는 단계를 더 포함한다. 방법은 RF 생성기에 의해, 디지털 펄스 신호의 제 2 상태 동안 전력을 임피던스 매칭 회로를 통해 플라즈마 챔버로 공급하는 단계를 포함한다. 방법은 제 2 상태 동안 RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력 양의 측정값을 수신하는 단계를 포함한다. 방법은 제 1 상태 동안 측정된 전력 양을 최소로 감소시키고 제 2 상태 동안 측정된 전력 양을 최소로 감소시키기 위해 임피던스 매칭 회로의 파라미터를 제어하는 단계를 포함한다.

[0010] 본 명세서에 기술된 복수의 상태에서 반사된 전력을 감소시키기 위한 튜닝 시스템들 및 방법들에 몇 가지 이점이 있다. 예를 들어, 임피던스 매칭 회로의 직렬 회로가 A 값을 가지고 그리고/또는 임피던스 매칭 회로의 션트 회로가 B 값을 가질 때, RF 생성기를 향해 반사되는 전력은 직렬 회로가 값 C를 가지고 그리고/또는 션트 회로가 값 D를 가지는 상태 S0, S1, S2, S3 등 중 어느 하나에서 RF 생성기를 향해 반사되는 전력과 비교하여 복수의 상태 S0, S1, S2, S3 등에서 감소한다. 이러한 복수의 상태에서 반사된 전력의 감소는 전력이 반사되는 RF 생성기의 수명을 증가시킨다. 또한, 복수의 상태들은 기판 상에서 다양한 동작들을 수행하도록 사용된다. 예를 들어, 상태들 중 하나 동안 산화물과 같은 재료들은 기판 상에 증착되고, 상태들 중 다른 하나 동안 기판 또는 재료들은 에칭된다. 다른 예로서, 상태들 중 하나 동안 기판 상에서 증착 동작이 수행되고, 상태들 중 또 다른 하나 동안 기판은 세정된다. 또 다른 예로서, 상태들 중 하나 동안 기판 상에서 증착 동작이 수행되고, 상태들 중 다른 하나 동안 기판이 세정되고, 상태들 중 또 다른 하나 동안 기판 상에 에칭 동작이 수행된다. 임피던스 매칭 회로가 복수의 상태에서 전력의 감소와 함께 값 A와 B를 가질 때, RF 생성기의 컴포넌트들을 보호함과 동시에 기판 상에서 다양한 동작들이 수행된다.

[0011] 또한, 상태 S0, S1, S2, S3 등에서 반사되는 전력의 감소와 함께, 임피던스 매칭 회로의 효율성이 향상된다. 임피던스 매칭 회로는 임피던스 매칭 회로의 직렬 회로가 A 값을 가지고 그리고/또는 임피던스 매칭 회로의 션트 회로가 B 값을 가질 때 보다 많은 양의 전력이 플라즈마 챔버에 공급되는 것을 가능하게 한다. 보다 많은 전력 공급은 RF 생성기에 의해 공급되는 낮은 진폭 RF 신호들에 중요하다.

[0012] 다른 양태들은 첨부한 도면과 함께 다음의 상세한 기술에서 분명해질 것이다.

도면의 간단한 설명

[0013] 실시예들은 첨부된 도면들과 함께 행해진 이하의 기술을 참조로 가장 잘 이해될 수도 있다.

도 1a는 복수의 상태들 S(n-N) 내지 S(n)에 대해 x 메가헤르츠 (MegaHertz) 무선 주파수 (RF) 생성기에 반사된 전력을 감소시키기 위한 직렬 회로의 파라미터와 션트 회로의 파라미터의 결정을 예시하기 위한 시스템의 일 실시예의 도면이다.

도 1b는 상태들 S(n-N) 내지 S(n)에 대해 x MHz RF 생성기를 향해 반사된 전력의 감소와 y MHz RF 생성기를 향해 반사된 전력의 감소를 예시하기 위한 시스템의 일 실시예의 도면이다.

도 1c는 S(n-N) 내지 S(n)에 대해 x MHz RF 생성기를 향해 반사된 전력의 감소, y MHz RF 생성기를 향해 반사된 전력의 감소, 그리고 z MHz RF 생성기를 향해 반사된 전력의 감소를 예시하기 위한 시스템의 일 실시예의 도면이다.

도 2a는 RF 신호의 두 가지 상태를 예시하기 위해 디지털 펄스 신호의 그래프와 RF 생성기에 의해 공급되는 RF 신호의 그래프의 실시예를 예시하기 위한 도면이다.

도 2b는 세 가지 상태를 갖는 RF 신호를 보여주는 그래프의 실시예이다.

도 2c는 네 가지 상태를 갖는 RF 신호를 보여주는 그래프의 실시예이다.

도 3a는 상태들 S(n-N) 내지 S(n) 동안 임피던스 매칭 회로의 직렬 회로와 션트 회로 제어를 예시하기 위한 시스템의 일 실시예의 도면이다.

도 3b는 상태들 S(n-N) 내지 S(n) 동안 직렬 회로와 션트 회로의 제어를 예시하기 위한 시스템의 일 실시예의 도면이다.

도 3c는 임의의 수의 직렬 회로들과 임의의 수의 션트 회로들을 포함하는 임피던스 매칭 회로를 예시하기 위한 시스템의 일 실시예의 도면이다.

도 3d는 L 네트워크인 임피던스 매칭 회로를 예시하기 위한 시스템의 일 실시예의 도면이다.

도 3e는 ∏ 네트워크인 임피던스 매칭 회로를 예시하기 위한 시스템의 일 실시예의 도면이다.

도 3f는 두 개의 L 네트워크를 포함한 ∏ 네트워크인 임피던스 매칭 회로를 예시하기 위한 시스템의 일 실시예의 도면이다.

도 4는 RF 생성기를 향해 반사된 전력이 상태들 S(n-N) 내지 S(n) 동안 감소되는 임피던스 매칭 회로의 하나 이상의 파라미터들 값들의 결정을 예시하기 위한 방법 실시예의 도면이다.

도 5a는 상태들 S(n-N) 내지 S(n) 동안 RF 생성기의 출력부에 반사된 전력을 감소시키기 위해 임피던스 매칭 회로의 직렬 회로 커패시턴스 Cseries와 임피던스 매칭 회로의 션트 회로 커패시턴스 Cshunt를 결정하는 방법을 예시하기 위한 도면이다.

도 5b는 상태들 S(n-N) 내지 S(n)에서 반사된 전력을 튜닝하기 위한 방법을 적용하는 기술적 이익을 예시하기 위한 그래프 실시예의 도면이다.

도 6은 상태들 S(n-N) 내지 S(n)에 대한 변수 값들이 최소인 하나 이상의 파라미터들의 값들을 결정하기 위한 머신 러닝 네트워크의 실시예의 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] 다음의 실시예들은 복수의 상태들에서 반사된 전력을 감소시키기 위한 튜닝 시스템들과 방법들을 기술한다. 본 실시예들이 이 구체적인 방법들 중 일부 혹은 전부가 없이도 실시될 수 있음은 분명하다. 예를 들어, 공지의 프로세스 동작들은 본 실시예를 불필요하게 모호하지 않게 하기 위해 자세하게 기술되지 않는다.

[0015] 도 1a는 x 메가헤르츠 (MHz) 무선 주파수 (RF) 생성기를 향해 반사된 전력을 감소시키기 위한 직렬 회로 (102)의 파라미터와 션트 회로 (104) 의 파라미터의 결정을 예시하기 위한 시스템 (100) 의 실시예의 도면이다. 시스템 (100) 은 x 메가헤르츠 RF 생성기, 임피던스 매칭 회로 (Impedance Matching Circuit) (106), 플라즈마 챔버 (108), 호스트 컴퓨터 (111), 모터 M1, 모터 M2, 드라이버 (DRVR) D1, 드라이버 D2를 포함한다.

[0016] x 메가헤르츠 RF 생성기의 예는 2 MHz RF 생성기이다. 임피던스 매칭 회로 (106) 는 직렬 회로 (102) 와 같은 하나 이상의 직렬 회로들과 션트 회로 (104) 와 같은 하나 이상의 션트 회로들을 포함한다. 션트 회로 각각의

출력부는 접지, 예를 들어 0 전위, 0이 아닌 기준 전위 등에 커플링된다. 션트 회로 각각 또는 직렬 회로 각각은 하나 이상의 커패시터, 또는 하나 이상의 레지스터, 또는 하나 이상의 인덕터, 또는 하나 이상의 커패시터와 하나 이상의 레지스터의 결합, 또는 하나 이상의 커패시터와 하나 이상의 인덕터의 결합, 또는 하나 이상의 커패시터와 하나 이상의 레지스터와 하나 이상의 인덕터의 결합과 같이 하나 이상의 전기적 컴포넌트들을 포함한다. 하나 이상의 전기적 컴포넌트들 중 몇 가지는 직렬적 방법이나 병렬적 방법으로 서로 커플링되어 있다. 직렬 회로 (102) 의 일 단부는 임피던스 매칭 회로 (106) 의 입력부 (132) 로 커플링되어 있고 직렬 회로 (102) 의 다른 단부는 임피던스 매칭 회로 (106) 의 출력부 (134) 와 커플링되어 있다. 또한, 션트 회로 (104) 의 일 단부는 직렬 회로 (102) 및 임피던스 매칭 회로 (106) 의 출력부 (134) 와 커플링되고 션트 회로 (104) 의 다른 단부는 접지와 커플링되어 있다.

[0017] 플라즈마 챔버 (108) 는 기판 (112) 이 놓이는 정전 척 (ESC) 과 같은 척 (110), 상부 전극 (114) 과 상부 전극 (114) 을 둘러싼 상부 유전체 링, 상부 유전체 링을 둘러싼 상부 전극 연장부, 척 (110) 의 하부 전극을 둘러싼 하부 유전체 링, 하부 유전체 링을 둘러싼 하부 전극 연장부, 상부 플라즈마 차단 구역 (PEZ : Plasma Exclusion Zone) 링, 하부 PEZ 링 등과 같은 다른 부품들 (미도시) 을 포함한다. 기판 (112) 의 예들은 상부에 집적 회로들이 제작되거나 제작될 웨이퍼를 포함한다. 상부 전극 (114) 및 척 (110) 각각은 알루미늄, 알루미늄 합금, 구리, 구리와 알루미늄 조합 등의 금속으로 만들어진다.

[0018] 호스트 컴퓨터 (111) 의 예들은 데스크탑 컴퓨터, 노트북, 태블릿, 스마트폰 등을 포함한다. 호스트 컴퓨터 (111) 는 하나 이상의 프로세서들, 예를 들어 프로세서 (116) 와 하나 이상의 메모리 디바이스들, 예를 들어 메모리 디바이스 (118) 를 포함한다. 본 명세서에서 사용한 바와 같이, 프로세서는 ASIC (application specific integrated circuit), 또는 프로그램 작동이 가능한 논리 디바이스, 또는 마이크로프로세서, 또는 중앙처리장치 (CPU) 이다. 또한 본 명세서에서 사용한 바와 같이, 메모리 장치는 RAM (random access memory) 또는 ROM (read-only memory) 또는 RAM과 ROM의 결합이다. 본 명세서에서 기술된 것과 같이, 모터의 예들은 전기 에너지를 기계 에너지로 변환하는 전기적 머신을 포함한다. 예를 들어, 모터는 고정자 (stator) 와 회전자 (rotor) 를 포함한다. 회전자는 전류가 고정자의 와인딩 (winding) 에 공급될 때 전기 에너지를 기계 에너지로 변환하기 위해 회전한다. 본 명세서에서 기술된 것과 같이, 드라이버의 예들은 프로세서 (116) 로부터 제어 신호를 수신하는 즉시 전류 신호를 생성하는 하나 이상의 트랜지스터들을 포함한다.

[0019] x 메가헤르츠 RF 생성기는 RF 케이블 (126) 을 통해 임피던스 매칭 회로 (106) 와 커플링된다. 또한, 임피던스 매칭 회로 (106) 는 RF 전송 선 (128) 을 통해 척 (110) 과 커플링된다. RF 전송 선 (128) 은 RF 실린더, 예를 들어 터널이다. RF 실린더의 빈 공간 내에는 절연체와 RF 막대 (rod) 가 있다. RF 막대는 RF 실린더로 둘러싸인 절연체로 둘러싸여 있다.

[0020] x 메가헤르츠 RF 생성기는 제어 시스템 (120), 센서 (122), 그리고 RF 전력 공급부 (124) 를 포함한다. 본 명세서에서 기술된 것과 같이, 제어 시스템의 예들은 하나 이상의 전력 제어기들, 또는 하나 이상의 자동 주파수 튜너들 (AFT : Auto Frequency Tuners), 또는 하나 이상의 전력 제어기들과 하나 이상의 자동 주파수 튜너들의 조합을 포함한다. 제어 시스템은 하나 이상의 전력 제어기들과 하나 이상의 자동 주파수 튜너들에 커플링되는 디지털 신호 프로세서 (DSP : Digital Signal Processor) 를 더 포함한다. 본 명세서에서 기술된 것과 같이, 센서의 예는 전력 센서 또는 복소 전압 및 전류 센서를 포함한다. 본 명세서에서 기술된 것과 같이, RF 전력 공급부의 예는 서로 커플링된 드라이버와 RF 발진기를 포함한다. 드라이버로부터 전류 신호를 수신하는 즉시, RF 발진기는 사인형 RF 신호와 같은 무선 주파수 발진 신호를 발생시킨다.

[0021] 본 명세서에서 기술된 것과 같이, 센서는 직렬 전송 케이블, 병렬 전송 케이블, 또는 USB (universal serial bus) 케이블 등과 같은 데이터 케이블을 통해 프로세서 (116) 와 커플링된다. 유사하게, 본 명세서에서 기술된 것과 같이 제어 시스템의 DSP와 같은 제어 시스템은 데이터 케이블을 통해 프로세서 (116) 와 커플링된다. 본 명세서에서 기술된 것과 같이 모터는 하나 이상의 막대들, 하나 이상의 막대들과 하나 이상의 기어들의 조합과 같은 하나 이상의 연결 매커니즘들을 통해 직렬 회로나 션트 회로로 커플링되어 있다.

[0022] 프로세서 (116) 는 디지털 펄스 신호 (130) 를 생성하고 디지털 펄스 신호 (130) 를 제어 시스템 (120) 에 제공한다. 디지털 펄스 신호 (130) 는 두 가지 이상의 상태, 예를 들어 S(n-N) 내지 상태 S(n)을 갖고, n은 1보다 크거나 같은 정수이고, N 역시 1보다 크거나 같은 정수이며 n은 N보다 크다. 예를 들어, S(n)이 S2일 때 S(n-N)은 S1이다. 예를 들어, S(n)이 S3일 때 S(n-N)은 S1이고, S1과 S3 두 상태 사이에 중간 상태 S2가 있다.

[0023] DSP와 같은 제어 시스템 (120) 은 디지털 펄스 신호 (130) 를 수신하고 디지털 펄스 신호 (130) 의 논리 레벨에 기반하여 디지털 펄스 신호 (130) 가 상태 S(n-N)을 갖거나 상태 S(n)을 갖는지 결정한다. 예를 들어, 상태

S(n-N)은 논리 레벨 0을 갖고 상태 S(n)은 논리 레벨 1을 갖는다. 예를 들어, 상태 S0는 논리 레벨 L1, 상태 S1은 논리 레벨 L2, 상태 S2는 논리 레벨 L3를 가지고 상태 S3는 논리 레벨 L4를 가진다. 논리 레벨 L4는 논리 레벨 L2보다 큰 논리 레벨 L3보다 크다. 논리 레벨 L2는 논리 레벨 L1보다 크다.

[0024] 디지털 펄스 신호 (130) 의 상태가 S(n-N) 으로 결정되는 즉시, 제어 시스템 (120) 은 상태 S(n-N)의 전력 레벨과 상태 S(n-N)의 주파수 레벨을 확인하고, RF 전력 공급부 (124) 에 전력 레벨과 주파수 레벨을 제공한다. 예를 들어, 전력 제어기 중 하나는 상태 S(n-N) 동안 제어 시스템 (120) 의 디지털 신호 프로세서로부터 디지털 펄스 신호 (130) 의 상태가 S(n-N)이라는 지표를 수신하는 즉시 상태 S(n-N)의 전력 레벨을 확인하고, RF 전력 공급 (124) 에 전력 레벨을 제공한다. 또한 이 예에서, 자동 주파수 튜너 중 하나는 상태 S(n-N) 동안 제어 시스템 (120) 의 디지털 신호 프로세서로부터 디지털 펄스 신호 (130) 의 상태가 S(n-N)이라는 지표를 수신하는 즉시 상태 S(n-N)의 주파수 레벨을 확인하고, RF 전력 공급부 (124) 에 주파수 레벨을 제공한다. 예를 들어, 상태 S(n-N)의 전력 레벨과 주파수 레벨은 제어 시스템 (120) 에 의해 프로세서 (116) 로부터 수신된다. 상태 S(n-N)의 전력 레벨과 주파수 레벨을 수신한 즉시, RF 전력 공급부 (124) 는 상태 S(n-N)의 전력 레벨과 주파수 레벨을 갖는 RF 신호를 생성하고, 출력부 (136) 와 RF 케이블 (126) 을 통해 임피던스 매칭 회로 (106) 에 상태 S(n-N) 동안 RF 신호를 공급한다. 출력부 (136) 는 x MHz RF 생성기의 출력부이다.

[0025] 유사하게, 디지털 펄스 신호 (130) 의 상태가 S(n)이라고 결정하는 즉시, 제어 시스템 (120) 은 상태 S(n)의 전력 레벨과 상태 S(n)의 주파수 레벨을 확인하고, RF 전력 공급부 (124) 에 전력 레벨과 주파수 레벨을 제공한다. 예를 들어, 전력 제어기 중 하나는 상태 S(n) 동안 제어 시스템 (120) 의 디지털 신호 프로세서로부터 디지털 펄스 신호 (130) 의 상태가 S(n)이라는 지표를 수신하는 즉시 상태 S(n)의 전력 레벨을 확인하고, RF 전력 공급부 (124) 로 전력 레벨을 제공한다. 또한 이 예에서, 자동 주파수 튜너 중 하나는 상태 S(n) 동안 제어 시스템 (120) 의 디지털 신호 프로세서로부터 디지털 펄스 신호 (130) 의 상태가 S(n)이라는 지표를 수신하는 즉시 상태 S(n)의 주파수 레벨을 확인하고, RF 전력 공급부 (124) 로 주파수 레벨을 제공한다. 예를 들어, 프로세서 (116) 로부터 제어 시스템 (120) 에 의해 상태 S(n)에 대한 전력 레벨과 주파수 레벨이 수신된다. 상태 S(n)의 전력 레벨과 주파수 레벨을 수신하는 즉시, RF 전력 공급부 (124) 는 상태 S(n)의 전력 레벨과 주파수 레벨을 가지는 RF 신호를 생성하고 상태 S(n)의 RF 신호를 RF 케이블 (126) 을 통해 임피던스 매칭 회로 (106) 로 전송한다.

[0026] 임피던스 매칭 회로 (106) 에 의해 x MHz RF 생성기로부터 상태 S(n-N)에 대한 RF 신호를 수신할 때, 임피던스 매칭 회로 (106) 는 부하, 예를 들어 임피던스 매칭 회로 (106) 의 출력부 (134) 에 커플링된 RF 전송 선 (128) 과 플라즈마 챔버 (108) 의 임피던스를, 소스, 예를 들어 임피던스 매칭 회로 (106) 의 입력부 (132) 와 커플링된 RF 케이블 (126) 과 x 메가헤르츠 RF 생성기의 임피던스와 매칭시킨다. 임피던스 매칭 회로 (106) 는 임피던스 매칭 회로 (106) 로부터 출력부 (134) 와 RF 전송 선 (128) 을 통해 척 (110) 에 제공되는 상태 S(n-N)에 대한 수정된 RF 신호를 생성하도록 임피던스들을 매치시킨다.

[0027] 유사하게, 임피던스 매칭 회로 (106) 에 의해 x MHz RF 생성기로부터 상태 S(n)에 대한 RF 신호를 수신될 때, 임피던스 매칭 회로 (106) 는 임피던스 매칭 회로 (106) 의 출력부 (134) 와 커플링된 부하의 임피던스와 임피던스 매칭 회로 (106) 의 입력부 (132) 와 커플링된 소스의 임피던스를 매칭한다. 임피던스 매칭 회로 (106) 는 RF 전송 선 (128) 을 통해 임피던스 매칭 회로 (106) 로부터 척 (110) 에 제공되는 상태 S(n)에 대한 수정된 RF 신호를 생성하도록 임피던스들을 매치시킨다.

[0028] 수정된 RF 신호가 척 (110) 으로 공급될 때, 기판 (112) 을 프로세싱하기 위한 하나 이상의 프로세스 가스들이 플라즈마 챔버 (108) 로 공급된다. 프로세스 가스들의 예들은 산소 함유 가스와 불소 함유 가스를 포함한다. 불소 함유 가스의 예는 테트라플루오로메탄 (tetrafluoromethane, CF_4), 육불화황 (sulfur hexafluoride, SF_6), 헥사플루오로에탄 (hexafluoroethane, C_2F_6) 등을 포함한다. 수정된 RF 신호가 척 (110) 으로 공급되고, 예를 들어 상부 전극 (114) 내 하나 이상의 구멍들을 통해 하나 이상의 프로세스 가스들이 플라즈마 챔버 (108) 로 공급될 때, 플라즈마 챔버 (108) 내에서 플라즈마가 스트라이킹 (striken) 되고 플라즈마는 기판 (112) 을 프로세싱하도록 사용된다. 기판 (112) 상에 하나 이상의 집적 회로 칩들을 제작하기 위해 기판 (112) 을 프로세싱하는 예들은 기판 (112) 을 에칭하고, 옥사이드 층, 금속 층, 구리 층 등 재료들을 기판 (112) 위에 증착하고, 기판 (112) 을 스퍼터링 (sputtering) 하고, 기판 (112) 을 세정하는 등을 포함한다.

[0029] 상태 S(n-N) 동안, x MHz RF 생성기의 출력부 (136) 와 커플링된 센서 (122) 는 복소 전압 및 전류, 복소 전력, 복소 반사 전력 등과 같은 변수의 값들을 센싱한다. 반사된 전력은 RF 전송 선 (128), 임피던스 매칭 회로 (106), 및 RF 케이블 (126) 을 통해 플라즈마 챔버 (108) 의 플라즈마로부터 x MHz RF 생성기의 출력부 (136)

를 향해 반사된 전력이다. 유사하게, 상태 S(n)동안 센서 (122) 는 변수의 값들을 센싱한다.

[0030] 상태 S(n-N) 내지 S(n)의 복수의 발생들, 상태 S(n-N)과 S(n)의 복수의 사이클들, 상태 S(n-N)과 S(n)의 복수의 예시들 등과 같은 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 센싱되는 변수의 값들은 데이터 케이블을 통해 센서 (122) 에서 프로세서 (116) 로 연속적으로 제공된다. 상태 S(n-N) 내지 S(n) 중 다른 하나(들)가 아니라 상태 S(n) 내지 상태 S(n) 중 하나 동안 감소되는 반사 전력과 비교하여, 반사 전력이 상태 S(n-N) 내지 S(n)에 대해 동시에 감소할 때까지 프로세서 (116) 는 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 센싱된 변수로부터 임피던스 매칭 회로 (106) 의 하나 이상 전기적 컴포넌트들의 하나 이상의 파라미터의 값들을 결정한다. 예를 들어, 하나 이상의 파라미터들의 값은 S(n-N) 내지 S(n)의 모든 상태들의 출력부 (136) 에서 전력의 양이 상태 S(n-N) 내지 S(n) 중 어느 하나의 출력부 (136) 에서 반사되는 전력의 양보다 작도록 결정된다. 더 예시하면, 상태 S1 동안 출력부 (136) 를 향해 반사되는 전력의 양은 직렬 회로 (102) 의 커패시턴스 값이 C1이고 션트 회로 (104) 의 커패시턴스 값이 C2일 때 Pr1이다. 그러나, 동일한 값의 C1과 C2가 상태 S2에 대해 사용될 때, 상태 S2 동안 출력부 (136) 를 향해 반사되는 전력의 양은 Pr1보다 상당히 큰 Pr2이다. C1과 C2의 같은 값들은 커패시터, 인덕터 등 하나 이상 전기적 컴포넌트들의 값들이 상태 S(n-N) 내지 S(n)가 변하는 것처럼 빨리 변할 수 없는 물리적 한계들 때문에 사용된다. 컴포넌트들은 임피던스 매칭 회로 (106) 의 컴포넌트이다. 반사된 전력이 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 동시에 감소하도록 직렬 회로 (102) 의 파라미터 값 C3와 션트 회로 (104) 의 파라미터 값 C4와 같은 임피던스 매칭 회로 (106) 의 하나 이상 전기적 컴포넌트들의 하나 이상의 파라미터들의 값들은 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 센싱된 변수로부터 결정되면, 반사된 전력은 Pr3 양의 전력이다. Pr3 값은 Pr2 값보다 작지만 Pr1 값보다 크다. 몇 가지 실시예에서, Pr3 값은 Pr1 값보다 작거나 같다. 파라미터들의 예들은 인덕턴스와 커패시턴스를 포함한다.

[0031] 다른 예로, 상태 S1 동안 출력부 (136) 를 향해 반사되는 전력의 양은 직렬 회로 (102) 의 커패시턴스 값이 C1이고 션트 회로 (104) 의 커패시턴스 값이 C2일 때 Pr1이다. Pr1 값은 상태 S1에 대해 아래에 더 기술된 것처럼 최저이다. 또한, 상태 S2동안 출력부 (136) 를 향해 반사되는 전력의 양은 직렬 회로 (102) 의 커패시턴스 값이 C5이고 션트 회로 (104) 의 커패시턴스 값이 C6일 때 Pr4이다. Pr4 값은 상태 S2에 대해 아래에 더 기술된 것처럼 최저이다. 상태 S1과 S2에 대해, C1과 C5 값들의 평균은 직렬 회로 (102) 의 커패시턴스로 사용된다. 또한, 상태 S1과 S2에 대해, C2와 C6 값들의 평균은 션트 회로 (104) 의 커패시턴스로 사용된다. C1과 C5 값들의 평균과 C2와 C6 값들의 평균에 대해, x MHz RF 생성기를 향해 반사된 전력은 상태 S1과 S2에 대해 감소된다.

[0032] 다른 예시로서, 반사된 전력이 상태 S(n-N) 내지 S(n)에 대해 동시에 감소하도록, 예를 들어 직렬 회로 (102) 의 파라미터 값이 C3이고 션트 회로 (104) 의 파라미터 값이 C4인, 임피던스 매칭 회로 (106) 의 하나 이상의 파라미터들의 값들이 상태 S(n-N) 내지 상태 S(n) 동안 센싱된 변수로부터 결정되면, 상태 S(n-N) 동안 반사된 전력은 Pr3 양이고 상태 S(n) 동안 반사된 전력의 양은 Pr4이다. Pr3 값은 상태 S(n-N)에 대해 반사된 전력 값들 중 상태 S(n-N)에 대한 최저이다. 상태 S(n-N)에 대해 반사된 전력의 값들은 x MHz RF 생성기의 주파수 그리고/또는 x MHz RF 생성기에 의해 공급되는 RF 신호의 전력이 상태 S(n-N) 동안 달라질 때 달성된다. Pr4 값은 상태 S(n)에 대해 반사된 전력 값들 중 상태 S(n)에 대한 최저이다. 상태 S(n)에 대해 반사된 전력의 값들은 x MHz RF 생성기의 주파수 그리고/또는 x MHz RF 생성기에 의해 공급되는 RF 신호의 전력이 상태 S(n) 동안 달라질 때 달성된다. 다양한 실시예에서, 상태 S(n-N)의 최저는 상태 S(n)의 최저의 미리 결정된 문턱값 내에 있다. 몇 가지 실시예에서, 상태 S(n-N)의 최저는 상태 S(n)의 최저의 미리 결정된 문턱값 내에 있고 두 최저들은 반사된 전력의 미리 결정된 레벨보다 낮다. 몇 가지 실시예에서, 용어 미리 결정된 레벨과 미리 결정된 한계들은 본 명세서에서 상호 교환 가능하게 사용된다. Pr2 값은 미리 결정된 레벨보다 크고 Pr1 값은 미리 결정된 레벨보다 작다.

[0033] 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안, 프로세서 (116) 는 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 출력부 (136) 에서 반사된 전력이 감소할 때까지 드라이버 D1으로 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 파라미터의 값을 나타내는 제어 신호를 전송하고 계속해서 전송한다. 제어 신호를 수신하는 즉시, 모터 M1은 직렬 회로 (102) 의 파라미터 값을 변화시키기 위해 모터 M1을 직렬 회로 (102) 에 커플링하는 하나 이상의 연결 매커니즘을 통해 회전한다. 유사하게, 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안, 프로세서 (116) 는 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 출력부 (136) 에서 반사된 전력이 감소할 때까지 드라이버 D2로 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 파라미터의 값을 나타내는 제어 신호를 전송하고 계속해서 전송한다. 제어 신호를 수신하는 즉시, 모터 M2는 션트 회로 (104) 의 파라미터 값을 변화시키기 위해 모터 M2를 션트 회로 (104) 에 커플링하는 하나 이상의 연결 매커니즘을 통해 회전한다.

[0034] 출력부 (136) 에서 반사된 전력의 감소는 x MHz RF 생성기의 수명을 증가시킨다. 반사된 전력은 제어 시스템

(120), RF 전력 공급부 (124) 등과 같은 x MHz RF 생성기의 컴포넌트들의 손상을 가져온다. 출력부 (136) 에서 상태들 S(n-N) 내지 S(n) 동안 반사된 전력의 감소는 x MHz RF 생성기의 컴포넌트들이 수명을 연장하기 위해 손상되는 경우를 감소시킨다.

[0035] 몇 가지 실시예에서, x 메가헤르츠 RF 생성기 대신 y 메가헤르츠 RF 생성기 또는 z 메가헤르츠 RF 생성기가 사용된다. y 메가헤르츠 RF 생성기의 예는 27 MHz RF 생성기이고 z 메가헤르츠 RF 생성기의 예는 60 MHz RF 생성기이다. 복수의 실시예에서, x 메가헤르츠 RF 생성기 대신 400 kHz RF 생성기와 같은 kHz RF 생성기가 사용된다.

[0036] 복수의 실시예에서, 프로세서 (116) 에 의해 생성되는 디지털 펄스 신호 (130) 대신 디지털 클록 소스가 디지털 펄스 신호 (130) 를 발생시키는 데 사용된다. 디지털 클록 소스는 호스트 컴퓨터 (111) 내부 또는 외부에 위치한다.

[0037] 디지털 펄스 신호 (130) 가 두 가지 이상의 상태를 가지는 몇 가지 실시예에서, 복수의 클록 소스들은 디지털 펄스 신호 (130) 를 발생시키도록 사용된다. 예를 들어, 다양한 클록 소스들의 클록 신호들은 두 가지 이상의 상태를 갖는 디지털 펄스 신호 (130) 를 발생시키도록 합산기 회로, 프로세서 (116) 등에 의해 합산된다. 클록 신호들은 서로 위상이 벗어난다.

[0038] 복수의 실시예에서, 제어 신호는 반사된 전력이 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 출력부 (136) 에서 감소할 때까지 션트 회로 (104) 가 아니라 직렬 회로 (102) 를 제어하기 위해 전송된다. 다양한 실시예에서, 제어 신호는 반사된 전력이 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 출력부 (136) 에서 감소할 때까지 직렬 회로 (102) 가 아니라 션트 회로 (104) 를 제어하기 위해 전송된다.

[0039] 몇 가지 실시예에서, 본 명세서에 기술된 것과 같이 센서는 RF 생성기의 출력부에 커플링되어 있고, RF 생성기 외부에 위치한다.

[0040] 몇 가지 실시예에서, 최저 (minima) 와 최소 (minimum) 는 상호 교환 가능하게 사용된다.

[0041] 도 1b는 상태 S(n-N) 내지 S(n)에 대해 x MHz RF 생성기와 y MHz RF 생성기를 향한 반사 전력의 감소를 예시하는 시스템 (150) 의 실시예의 도면이다. 시스템 (150) 은 x MHz RF 생성기, y MHz RF 생성기, 호스트 컴퓨터 (111), 임피던스 매칭 회로 (152), 플라즈마 챔버 (108), 모터 M1과 M2, 드라이버 D1과 D2, 모터 M3, 모터 M4, 드라이버 D3, 및 드라이버 D4를 포함한다. 임피던스 매칭 회로 (152) 는 서로 커플링된 직렬 회로 (166) 와 션트 회로 (168) 를 포함한다. 임피던스 매칭 회로 (152) 는 또한 직렬 회로 (102) 와 션트 회로 (104) 를 포함한다.

[0042] y MHz RF 생성기의 출력부 (158) 는 RF 케이블 (162) 을 통해 임피던스 매칭 회로 (152) 의 입력부 (160) 와 커플링되어 있다. y MHz RF 생성기는 제어 시스템 (153), RF 전원 공급부 (154), 및 센서 (156) 를 포함한다. 센서 (156) 는 y MHz RF 생성기의 출력부 (158) 와 커플링되어 있다. 또한, 센서 (156) 는 데이터 케이블을 통해 프로세서 (116) 와 커플링되어 있고 프로세서 (116) 는 데이터 케이블을 통해 제어 시스템 (153) 과 커플링되어 있다.

[0043] 프로세서 (116) 는 모터 M3와 커플링된 드라이버 D3와 커플링되어 있다. 모터 M3는 하나 이상의 연결 장치를 통해 직렬 회로 (166) 와 커플링되어 있다. 또한, 프로세서 (116) 는 모터 M4와 커플링된 드라이버 D4와 커플링되어 있다. 모터 M4는 하나 이상의 연결 매커니즘을 통해 션트 회로 (168) 와 커플링되어 있다.

[0044] 직렬 회로 (166) 의 일 단부는 입력부 (160) 와 커플링되어 있고, 직렬 회로 (166) 의 다른 단부는 출력부 (134) 와 커플링되어 있다. 또한, 션트 회로 (168) 의 일 단부는 직렬 회로 (166) 와 임피던스 매칭 회로 (152) 의 출력부 (134) 와 커플링되어 있고, 션트 회로 (168) 의 다른 단부는 접지와 커플링되어 있다.

[0045] 프로세서 (116) 는 데이터 케이블을 통해 디지털 펄스 신호 (130) 를 y MHz RF 생성기의 제어 시스템 (153) 으로 전송한다. 디지털 펄스 신호 (130) 를 수신하는 즉시, x MHz RF 생성기의 제어 시스템 (120) 이 x MHz RF 생성기의 RF 전력 공급부 (124) 로 상태 S(n-N)의 전력 레벨과 주파수 레벨을 제공하는 위에 서술한 방식으로, 제어 시스템 (153) 은 RF 전력 공급부 (154) 로 상태 S(n-N)의 전력 레벨과 주파수 레벨을 제공한다. x MHz RF 생성기의 RF 전력 공급부 (124) 가 상태 S(n-N)의 전력 레벨과 주파수 레벨을 갖는 RF 신호를 발생시키는 것처럼, RF 전력 공급부 (154) 는 상태 S(n-N)의 전력 레벨과 주파수 레벨을 갖는 RF 신호를 발생시킨다. RF 전력 공급부 (154) 는 RF 신호를 RF 케이블 (162) 을 통해 임피던스 매칭 회로 (152) 의 입력부 (160) 로 공급한다.

[0046] 유사하게, 디지털 펄스 신호 (130) 를 수신하는 즉시, x MHz RF 생성기의 제어 시스템 (120) 이 x MHz RF 생성기의 RF 전력 공급부 (124) 로 상태 S(n)의 전력 레벨과 주파수 레벨을 제공하는 위에 서술한 방식으로, 제어 시스템 (153) 은 RF 전력 공급부 (154) 로 상태 S(n)의 전력 레벨과 주파수 레벨을 제공한다. x MHz RF 생성기의 RF 전력 공급부 (124) 가 상태 S(n-N)의 전력 레벨과 주파수 레벨을 갖는 RF 신호를 발생시키는 것처럼, RF 전력 공급부 (154) 는 상태 S(n)의 전력 레벨과 주파수 레벨을 갖는 RF 신호를 발생시킨다. RF 전력 공급부 (154) 는 RF 신호를 RF 케이블 (162) 을 통해 임피던스 매칭 회로 (152) 의 입력부 (160) 로 공급한다.

[0047] x MHz RF 생성기로부터 상태 S(n-N)의 RF 신호를 수신한 것에 더하여 임피던스 매칭 회로 (152) 에 의해 y MHz RF 생성기로부터 상태 S(n-N)의 RF 신호가 수신될 때, 임피던스 매칭 회로 (152) 는 임피던스 매칭 회로 (152) 의 출력부 (134) 에 커플링된 RF 전송 선 (128) 과 플라즈마 챔버 (108) 와 같은 부하의 임피던스와, 임피던스 매칭 회로 (152) 의 입력부 (132) 와 (160) 에 커플링된 RF 케이블 (126) 과 x 메가헤르츠 RF 생성기, RF 케이블 (162) 과 y MHz RF 생성기와 같은 소스의 임피던스를 매치시킨다. 임피던스 매칭 회로 (152) 는 임피던스들을 매치시키고 출력부 (134) 와 RF 전송 선 (128) 을 통해 임피던스 매칭 회로 (152) 로부터 척 (110) 으로 제공되는 상태 S(n-N)의 수정된 RF 신호를 발생시키기 위해, 상태 S(n-N) 동안 임피던스 매칭 회로 (152) 의 브랜치 회로 (165) 와 브랜치 회로 (170) 를 통해 이송된 RF 신호들의 결합, 예를 들어 합산한다. 회로 (165) 는 직렬 회로 (102) 와 션트 회로 (104) 를 포함한다.

[0048] 유사하게, x MHz RF 생성기로부터 상태 S(n)의 RF 신호를 수신하는 것에 더하여, 임피던스 매칭 회로 (152) 에 의해 y MHz RF 생성기로부터 상태 S(n)의 RF 신호가 수신될 때, 임피던스 매칭 회로 (152) 는 임피던스 매칭 회로 (152) 의 출력부 (134) 에 커플링된 부하의 임피던스와 임피던스 매칭 회로 (152) 의 입력부들 (132 및 160) 에 커플링된 소스의 임피던스를 매치시킨다. 임피던스 매칭 회로 (152) 는 임피던스들을 매칭시키고 출력부 (134) 와 RF 전송 선 (128) 을 통해 임피던스 매칭 회로 (152) 로부터 척 (110) 으로 제공되는 상태 S(n)의 수정된 RF 신호를 발생시키기 위해, 상태 S(n) 동안 임피던스 매칭 회로 (152) 의 브랜치 회로 (165) 와 브랜치 회로 (170) 를 통해 이송된 RF 신호들의 결합, 예를 들어 합산한다. 기판 (112) 은 하나 이상의 처리 가스 이외에 임피던스 매칭 회로 (182) 로부터 RF 전송 선 (128) 을 통해 수정된 RF 신호가 수신될 때 프로세싱된다.

[0049] 상태 S(n-N) 동안, y MHz RF 생성기의 출력부 (158) 와 커플링된 센서 (156) 는 출력부 (158) 에서 반사된 전력과 같은 변수의 값을 센싱한다. 반사된 전력은 RF 전송 선 (128), 직렬 회로 (166) 와 션트 회로 (168) 를 포함하는 브랜치 회로 (170), 및 RF 케이블 (162) 를 통해 플라즈마 챔버 (108) 의 플라즈마로부터 y MHz RF 생성기의 출력부 (158) 를 향해 반사되는 전력이다. 유사하게, 상태 S(n) 동안, 센서 (156) 는 y MHz RF 생성기의 출력부 (158) 를 향해 반사되는 변수의 값을 센싱한다.

[0050] 상태 S(n-N) 내지 S(n)의 복수의 발생들과 같은 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 센싱되는 변수의 값들은 데이터 케이블을 통해 센서 (156) 에서 프로세서 (116) 로 계속적으로 제공된다. 상태 S(n-N) 내지 S(n) 중 다른 하나(들)가 아니라 상태 S(n) 내지 상태 S(n) 중 하나의 출력부 (158) 에서 감소되는 반사 전력과 비교하여, 반사 전력이 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 동시에 감소할 때까지 프로세서 (116) 는 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 센싱된 변수로부터 임피던스 매칭 회로 (106) 의 하나 이상 전기적 컴포넌트들의 하나 이상의 파라미터의 값들을 결정한다. 예를 들어, 하나 이상의 파라미터들의 값들은 S(n-N) 내지 S(n)의 모든 상태들에 대한 y MHz RF 생성기의 출력부 (158) 에서 반사된 전력의 양이 S(n-N) 내지 S(n) 상태 중 어느 하나에 대한 출력부 (158) 에서 반사된 전력의 양보다 작도록 결정된다. 더 예시하면, 전력량 PrA는 직렬 회로 (166) 의 커패시턴스 값이 CA이고 션트 회로 (168) 의 커패시턴스 값이 CB인 상태 S1 동안 y MHz RF 발생기의 출력부 (158) 를 향해 반사된다. 그러나, 같은 값의 CA와 CB가 상태 S2에 대해 사용될 때, 상태 S2 동안 출력부 (158) 를 향해 반사되는 전력의 양은 PrA보다 실질적으로 더 큰 PrB이다. 직렬 회로 (166) 의 파라미터 값 CC와 션트 회로 (168) 의 파라미터 값 CD와 같은 임피던스 매칭 회로 (152) 의 하나 이상 전기적 컴포넌트들의 하나 이상의 파라미터들의 값들이 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 센서 (156) 에 의해 센싱된 변수로부터 결정되어, 출력부 (158) 에서 반사된 전력은 상태 S(n-N) 내지 S(n)에 대해 동시에 감소하고, 반사된 전력의 양은 PrC이다. PrC 값은 PrB 값보다 작지만 PrA 값보다 크다. 몇 가지 실시예에서, 값 PrC는 PrA 값보다 작거나 같다.

[0051] 다른 예시로서, 예를 들어 직렬 회로 (166) 의 파라미터 값이 CC이고 션트 회로 (168) 의 파라미터 값이 CD일 때, 임피던스 매칭 회로 (152) 의 하나 이상의 파라미터들의 값들이 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 센싱된 변수로부터 결정되어, 반사된 전력은 상태 S(n-N) 내지 S(n)에 대해 동시에 감소하고, 반사된 전력은 상태 S(n-N)에 대해 PrD 양이며 상태 S(n)에 대해 PrE 양이다. PrD 값은 상태 S(n-N)에 대해 반사된 전력의 값들 중 상태 S(n-N)의 최저이다. 상태 S(n-N)에 대해 반사된 전력 값들은 y MHz RF 생성기의 주파수 그리고/또는 y MHz RF

생성기에서 공급하는 RF 신호의 전력이 상태 S(n-N) 동안 변화할 때 달성된다. PrD 값은 상태 S(n)에 대한 반사 전력 값들 중 상태 S(n)의 최저이다. 상태 S(n)에 대해 반사 전력 값은 y MHz RF 생성기의 주파수 그리고/또는 y MHz RF 생성기에서 공급하는 RF 신호의 전력이 상태 S(n) 동안 변화할 때 달성된다. 복수의 실시예들에서, 상태 S(n-N)의 최저는 상태 S(n)에 대한 최저의 미리 결정된 문턱값 내이다. 몇 가지 실시예들에서, 상태 S(n-N)에 대한 최저는 상태 S(n)에 대한 최저의 미리 결정된 문턱값 내이고 두 최소들은 반사 전력의 미리 결정된 레벨보다 낮다. PrB 값은 미리 결정된 레벨보다 크고 PrA 값은 미리 결정된 레벨보다 작다.

[0052] 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안, 프로세서 (116) 는 상태 S(n-N) 내지 S(n) 상태에 대한 파라미터 값을 나타내는 제어 신호를 상태 S(n-N) 내지 S(n)에 대해 y MHz RF 생성기의 출력부 (158) 에서 반사 전력이 감소할 때까지 드라이버 D3로 전송하고 계속해서 전송한다. 제어 신호를 수신하면, 모터 M3는 모터 M3를 직렬 회로 (166) 에 커플링하는 하나 이상의 연결 매커니즘들을 통해 직렬 회로 (166) 의 파라미터 값을 변화시키도록 회전한다. 유사하게, 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안, 프로세서 (116) 는 상태 S(n-N) 내지 S(n)에 대한 파라미터 값을 나타내는 제어 신호를 상태 S(n-N) 내지 S(n)에 대해 출력부 (158) 에서 반사 전력이 감소할 때까지 드라이버 D4로 전송하고 계속해서 전송한다. 제어 신호를 수신하면, 모터 M4는 모터 M4를 션트 회로 (168) 에 커플링하는 하나 이상의 연결 매커니즘들을 통해 션트 회로 (168) 의 파라미터 값을 변화시키기 위해 회전한다. 또한 출력부 (158) 에서 반사 전력의 감소는 y MHz RF 생성기의 수명을 증가시킨다.

[0053] 몇 가지 실시예들에서, 프로세서 (116) 는 출력부 (158) 에서 반사된 전력이 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 상태 S(n-N) 내지 S(n)에 대해 출력부 (136) 에서 반사 전력이 감소하는 레벨로부터 미리 결정되는 범위 내의 레벨로 감소할 때까지 직렬 회로 (102), 션트 회로 (104), 직렬 회로 (166) 및 션트 회로 (168) 중 하나 이상의 하나 이상의 파라미터들의 값들을 동시에 제어한다. 예를 들어, 출력부 (158) 에서의 값 PrC는 출력부 (136) 에서 반사 전력의 값 Pr3의 미리 결정된 범위 내에 있다.

[0054] 다양한 실시예에서, 프로세서 (116) 는 출력부 (158) 에서 반사된 전력이 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 상태 S(n-N) 내지 S(n)에 대해 출력부 (136) 에서 반사 전력이 감소하는 레벨로부터 미리 결정되는 범위 이내의 레벨로 감소할 때까지 직렬 회로 (102), 션트 회로 (104), 직렬 회로 (166) 및 션트 회로 (168) 중 하나 이상의 하나 이상의 파라미터들의 값들을 동시에 제어한다. 또한, 프로세서 (116) 는 출력부 (136) 의 반사 전력과 출력부 (158) 의 반사 전력이 미리 결정된 한계보다 작을 때까지 직렬 회로 (102), 션트 회로 (104), 직렬 회로 (166) 및 션트 회로 (168) 중 하나 이상의 하나 이상의 파라미터들의 값들을 동시에 제어한다. 예를 들어, 출력부 (158) 의 값 PrC는 출력부 (136) 에서 반사 전력 값 Pr3의 미리 결정된 범위 내에 있고 PrC와 Pr3 값은 반사 전력의 미리 결정된 한계보다 작다. 미리 결정된 범위와 미리 결정된 한계는 프로세서 (116) 에 의한 접근을 위해 메모리 장치 (118) 에 저장되어 있다.

[0055] 몇 가지 실시예들에서, 프로세서 (116) 는 출력부 (158) 에서 반사된 전력이 상태 S(n-N) 동안 상태 S(n-N)에 대해 출력부 (136) 에서 반사 전력이 감소하는 레벨 범위로부터 미리 결정되는 레벨로 감소할 때까지 직렬 회로 (102), 션트 회로 (104), 직렬 회로 (166) 및 션트 회로 (168) 중 하나 이상의 하나 이상의 파라미터들의 값들을 동시에 제어한다. 또한, 프로세서 (116) 는 출력부 (158) 에서 반사된 전력이 상태 S(n) 동안 상태 S(n)에 대해 출력부 (136) 에서 반사 전력이 감소하는 레벨 범위로부터 미리 결정되는 레벨로 감소할 때까지 직렬 회로 (102), 션트 회로 (104), 직렬 회로 (166) 및 션트 회로 (168) 중 하나 이상의 하나 이상의 파라미터들의 값들을 동시에 제어한다. 예를 들어, 출력부 (158) 의 값 PrD는 출력부 (136) 에서 반사 전력 값 Pr4의 미리 결정된 범위 내에 있고 출력부 (158) 의 값 PrE는 출력부 (136) 에서 반사 전력 값 Pr5의 미리 결정된 범위 내에 있다.

[0056] 다양한 실시예에서, 프로세서 (116) 는 출력부 (158) 에서 반사된 전력이 상태 S(n-N) 동안 상태 S(n-N)에 대해 출력부 (136) 에서 반사 전력이 감소하는 레벨 범위 이내에서 미리 결정되는 레벨로 감소할 때까지 직렬 회로 (102), 션트 회로 (104), 직렬 회로 (166) 및 션트 회로 (168) 중 하나 이상의 하나 이상의 파라미터들의 값들을 동시에 제어한다. 또한, 프로세서 (116) 는 출력부 (158) 에서 반사된 전력이 상태 S(n) 동안 상태 S(n)에 대해 출력부 (136) 에서 반사 전력이 감소하는 레벨 범위 이내에서 미리 결정되는 레벨로 감소할 때까지 직렬 회로 (102), 션트 회로 (104), 직렬 회로 (166) 및 션트 회로 (168) 중 하나 이상의 하나 이상의 파라미터들의 값들을 동시에 제어한다. 또한, 프로세서 (116) 는 출력부 (136) 의 반사 전력과 출력부 (158) 의 반사 전력이 미리 결정된 한계보다 작을 때까지 직렬 회로 (102), 션트 회로 (104), 직렬 회로 (166) 및 션트 회로 (168) 중 하나 이상의 하나 이상의 파라미터들의 값들을 동시에 제어한다. 예를 들어, 출력부 (158) 의 값 PrD는 출력부 (136) 에서 반사 전력 값 Pr4의 미리 결정된 범위 내에 있고 PrD와 Pr4 값은 반사 전력의 미리 결정된 한계보다 작다. 또한, 출력부 (158) 의 PrE 값은 출력부 (136) 의 반사 전력 값 Pr5로부터 미리 결정된 범위 내에 있고

PrE와 Pr5 값은 반사 전력의 미리 결정된 한계보다 작다.

[0057] 도 1c는 상태 S(n-N) 내지 S(n)에 대해 x MHz RF 생성기, y MHz RF 생성기, 및 z MHz RF 생성기를 향한 반사 전력의 감소를 예시하는 시스템 (180) 의 실시예 도면이다. 시스템 (180) 은 x MHz RF 생성기, y MHz RF 생성기, z MHz RF 생성기, 호스트 컴퓨터 (111), 임피던스 매칭 회로 (182), 플라즈마 챔버 (108), 모터 M1 내지 M4, 드라이버 D1 내지 D4, 모터 M5, 모터 M6, 드라이버 D5 및 드라이버 D6를 포함한다. 임피던스 매칭 회로 (182) 는 서로 커플링된 직렬 회로 (196) 와 션트 회로 (198) 를 포함한다.

[0058] z MHz RF 생성기의 출력부 (184) 는 RF 케이블 (188) 을 통해 임피던스 매칭 회로 (182) 의 입력부 (186) 와 커플링되어 있다. z MHz RF 생성기는 제어 시스템 (190), RF 전력 공급부 (192), 및 센서 (194) 를 포함한다. 센서 (194) 는 z MHz RF 생성기의 출력부 (184) 와 커플링되어 있다. 또한, 센서 (194) 는 데이터 케이블을 통해 프로세서 (116) 와 커플링되어 있고 프로세서 (116) 는 데이터 케이블을 통해 제어 시스템 (190) 과 커플링되어 있다.

[0059] 프로세서 (116) 는 모터 M5와 커플링된 드라이버 D5와 커플링되어 있다. 모터 M5는 하나 이상의 연결 매커니즘들을 통해 직렬 회로 (196) 와 커플링되어 있다. 또한, 프로세서 (116) 는 모터 M6과 커플링된 드라이버 D6과 커플링되어 있다. 모터 M6은 하나 이상의 연결 매커니즘들을 통해 션트 회로 (198) 와 커플링되어 있다.

[0060] 임피던스 매칭 회로 (182) 는 직렬 회로 (102), 션트 회로 (104), 직렬 회로 (164), 션트 회로 (166), 직렬 회로 (196), 및 션트 회로 (198) 를 포함한다. 직렬 회로 (196) 의 일 단부는 입력부 (186) 와 커플링되어 있고 직렬 회로 (196) 의 다른 단부는 출력부 (134) 와 커플링되어 있다. 또한, 션트 회로 (198) 의 일 단부는 직렬 회로 (196) 와 임피던스 매칭 회로 (182) 의 출력부 (134) 와 커플링되어 있고 션트 회로 (198) 의 다른 단부는 접지와 커플링되어 있다.

[0061] 프로세서 (116) 는 디지털 펄스 신호 (130) 를 데이터 케이블을 통해 z MHz RF 생성기의 제어 시스템 (190) 으로 전송한다. 디지털 펄스 신호 (130) 를 수신하면, x MHz RF 생성기의 제어 시스템 (120) 이 x MHz RF 생성기의 RF 전력 공급부 (124) 로 상태 S(n-N)의 전력 레벨과 주파수 레벨을 제공하는 위에 서술한 방식으로, 제어 시스템 (190) 이 RF 전력 공급부 (192) 에 상태 S(n-N)의 전력 레벨과 주파수 레벨을 제공한다. x MHz RF 생성기의 RF 전력 공급부 (124) 가 상태 S(n-N)의 전력 레벨과 주파수 레벨을 갖는 RF 신호를 발생시키는 방식대로 RF 전력 공급부 (192) 는 상태 S(n-N)의 전력 레벨과 주파수 레벨을 갖는 RF 신호를 발생시킨다. RF 전력 공급부 (192) 는 RF 케이블 (188) 을 통해 임피던스 매칭 회로 (182) 의 입력부 (186) 로 RF 신호를 공급한다.

[0062] 유사하게, 디지털 펄스 신호 (130) 를 수신하면, 제어 시스템 (190) 은 x MHz RF 생성기의 제어 시스템 (120) 이 x MHz RF 생성기의 RF 전력 공급부 (124) 로 상태 S(n)의 전력 레벨과 주파수 레벨을 제공하는 위에 서술한 방식으로, RF 전력 공급부 (192) 에 상태 S(n)의 전력 레벨과 주파수 레벨을 제공한다. x MHz RF 생성기의 RF 전력 공급부 (124) 가 상태 S(n)의 전력 레벨과 주파수 레벨을 갖는 RF 신호를 발생시키는 방식대로 RF 전력 공급부 (192) 는 상태 S(n)의 전력 레벨과 주파수 레벨을 갖는 RF 신호를 발생시킨다. RF 전력 공급부 (192) 는 RF 케이블 (162) 을 통해 임피던스 매칭 회로 (182) 의 입력부 (186) 로 RF 신호를 공급한다.

[0063] x MHz 및 y MHz RF 생성기들로부터 상태 S(n-N)의 RF 신호들에 더하여 임피던스 매칭 회로 (182) 에 의해 z MHz RF 생성기로부터 상태 S(n-N)의 RF 신호가 수신될 때, 임피던스 매칭 회로 (182) 는 임피던스 매칭 회로 (182) 의 출력부 (134) 에 커플링된 RF 전송 선 (128) 과 플라즈마 챔버 (108) 와 같은 부하의 임피던스를, 임피던스 매칭 회로 (182) 의 입력부들 (132, 160, 및 186) 과 커플링된 RF 케이블 (126), x 메가헤르츠 RF 생성기, RF 케이블 (162), y MHz RF 생성기, RF 케이블 (188), 및 z MHz RF 생성기와 같은 소스의 임피던스와 매칭시킨다. 임피던스 매칭 회로 (182) 는 임피던스들을 매치시키고 상태 S(n-N)의 수정된 RF 신호를 발생시키도록 브랜치 회로들 (165 (도 1b), 170, 및 199) 을 통해 전송된 RF 신호들을 결합시킨다. 상태 S(n-N)의 수정된 RF 신호는 출력부 (134) 와 RF 전송선 (128) 을 통해 임피던스 매칭 회로 (182) 로부터 척 (110) 으로 제공된다. 브랜치 회로 (199) 는 직렬 회로 (196) 와 션트 회로 (198) 를 포함한다.

[0064] 유사하게, x MHz 및 y MHz RF 생성기들로부터 상태 S(n)의 RF 신호들에 더하여 임피던스 매칭 회로 (182) 에 의해 z MHz RF 생성기로부터 상태 S(n)의 RF 신호가 수신될 때, 임피던스 매칭 회로 (182) 는 임피던스 매칭 회로 (182) 의 출력부 (134) 와 커플링된 부하의 임피던스와 임피던스 매칭 회로 (182) 의 입력부들 (132, 160 및 186) 과 커플링된 소스와 매치시킨다. 임피던스 매칭 회로 (182) 는 임피던스들을 매치시키고 브랜치 회로들 (165 (도 1b), 170 및 199) 을 통해 전송된 RF 신호들을 결합시켜 상태 S(n)에 대한 수정된 RF 신호를 생성한다. 상태 S(n)에 대해 수정된 RF 신호는 RF 전송 선 (128) 을 통해 임피던스 매칭 회로 (182) 로부터 척

(110) 으로 제공된다. 기판 (112) 은 하나 이상의 프로세스 가스들에 더하여 임피던스 매칭 회로 (152) 로부터 RF 전송 선 (128) 을 통해 수정된 RF 신호가 수신될 때 프로세싱된다.

[0065] 상태 S(n-N) 동안, z MHz RF 생성기의 출력부 (184) 에 커플링된 센서 (194) 는 출력부 (184) 에서의 반사 전력과 같은 변수의 값들을 센싱한다. 반사된 전력은 RF 전송 선 (128), 임피던스 매칭 회로 (182) 의 브랜치 회로 (199), 및 RF 케이블 (188) 을 통해 플라즈마 챔버 (108) 의 플라즈마로부터 z MHz RF 생성기의 출력부 (184) 를 향해 반사되는 전력이다. 유사하게, 상태 S(n) 동안, 센서 (194) 는 z MHz RF 생성기의 출력부 (184) 를 향해 반사된 변수의 값들을 센싱한다.

[0066] 예를 들면, 상태 S(n-N) 내지 S(n)의 복수의 발생들과 같은 S(n-N) 내지 S(n) 상태들 동안 센싱된 변수의 값들은, 데이터 케이블을 통해 센서 (194) 내지 프로세서 (116) 로 계속적으로 제공된다. 프로세서 (116) 는 출력부 (184) 에서 상태 S(n-N) 내지 S(n) 중 하나에 대해 감소하지만 상태 S(n-N) 내지 S(n) 중 다른 하나(들)에 대해서는 감소하지 않는 반사 전력과 비교하여 출력부 (184) 에서 반사된 전력이 상태 S(n-N) 내지 S(n) 에 대해 동시에 감소될 때까지 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 센싱된 변수로부터 임피던스 매칭 회로 (182) 의 하나 이상의 전기적 컴포넌트들의 하나 이상의 파라미터들의 값들을 결정한다. 예를 들어, 하나 이상의 파라미터들의 값들은 모든 S(n-N) 내지 S(n)으로의 상태들에 대한 출력부 (184) 에서 반사된 전력의 양들이 상태 S(n-N) 내지 S(n) 중 어느 하나에서는 감소하지만, 상태 S(n-N) 내지 S(n)의 나머지에 대해서는 감소하지 않는 출력부 (184) 에서 반사된 전력의 양과 비교하여 감소하도록 결정된다. 더 예시하면, 전력의 양 Pra는 직렬 회로 (196) 의 커패시턴스 값이 Ca이고 션트 회로 (198) 의 커패시턴스 값이 Cb일 때 상태 S1 동안 출력부 (184) 를 향해 반사된다. 그러나, 같은 값 Ca와 Cb가 상태 S2에 사용될 때, 상태 S2 동안 출력부 (184) 를 향해 반사되는 전력의 양은 Pra보다 실질적으로 더 큰 Prb이다. 직렬 회로 (196) 의 파라미터 값 Cc와 션트 회로 (198) 의 파라미터 값 Cd와 같은 임피던스 매칭 회로 (182) 의 하나 이상의 전기적 컴포넌트들의 하나 이상의 파라미터의 값들이고, 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 센서 (194) 에 의해 센싱된 변수로부터 결정되어 출력부 (184) 에서 반사된 전력은 상태 S(n-N)과 S(n)에 대해 동시에 감소하고, 반사된 전력의 양은 Prc이다. Prc 값은 Prb 값보다 작지만 Pra 값보다 크다. 몇 가지 실시예들에서, Prc 값은 Pra 값보다 작거나 같다.

[0067] 다른 예로서, 반사된 전력이 상태 S(n-N) 내지 S(n)에 대해 동시에 감소하도록 직렬 회로 (196) 의 파라미터 값 Cc와 션트 회로 (198) 의 파라미터 값 Cd와 같은 임피던스 매칭 회로 (182) 의 하나 이상의 파라미터들의 값들이 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 센싱된 변수로부터 결정되면, 반사된 전력은 상태 S(n-N)에 대해 Prd 양이고 상태 S(n)에 대해 Pre 양이다. Prd 값은 상태 S(n-N)에 반사된 전력 값들 중 상태 S(n-N)의 최저이다. 상태 S(n-N)에 대해 반사된 전력 값들은 z MHz RF 생성기의 주파수 그리고/또는 z MHz RF 생성기에 의해 공급된 RF 신호의 전력이 상태 S(n-N) 동안 변화할 때 달성된다. Prd 값은 상태 S(n)에 대해 반사된 전력 값들 중 상태 S(n)의 최저이다. 상태 S(n)에 대해 반사된 전력 값들은 z MHz RF 생성기의 주파수 그리고/또는 z MHz RF 생성기에 의해 공급된 RF 신호의 전력이 상태 S(n) 동안 변화할 때 달성된다. 다양한 실시예에서, 상태 S(n-N)의 최저는 상태 S(n)의 최저 미리 결정된 문턱값 내에 있다. 몇 가지 실시예에서, 상태 S(n-N)의 최저는 상태 S(n)의 최저 미리 결정된 문턱값 내에 있고 두 최저들은 반사 전력의 미리 결정된 레벨보다 작다. Prb 값은 미리 결정된 레벨보다 크고 Pra 값은 미리 결정된 레벨보다 작다.

[0068] 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안, 프로세서 (116) 는 상태 S(n-N) 내지 S(n)에 대해 z MHz RF 생성기의 출력부 (184) 에서 반사 전력이 감소할 때까지 상태 S(n-N) 내지 S(n)에 대한 파라미터 값을 나타내는 제어 신호를 드라이버 D5로 전송하고 계속해서 전송한다. 제어 신호를 수신하면, 모터 M5는 모터 M5를 직렬 회로 (196) 와 커플링하는 하나 이상의 연결 매커니즘들을 통해 직렬 회로 (196) 의 파라미터 값을 변경하도록 회전한다. 유사하게, 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 프로세서 (116) 는 상태 S(n-N) 내지 S(n)에 대해 출력부 (184) 에서 반사 전력이 감소할 때까지 상태 S(n-N) 내지 S(n)에 대한 파라미터 값을 나타내는 제어 신호를 드라이버 D6로 전송하고 계속해서 전송한다. 제어 신호를 수신하는 동안, 모터 M6는 모터 M6를 션트 회로 (198) 와 커플링하는 하나 이상의 연결 매커니즘들을 통해 션트 회로 (198) 의 파라미터 값을 변경하도록 회전한다. 출력부 (184) 에서 반사된 전력의 감소는 또한 z MHz RF 생성기의 수명을 증가시킨다.

[0069] 몇 가지 실시예에서, 출력부 (184) 에서 반사 전력이 상태 S(n-N) 내지 S(n)에 대해 상태 S(n-N) 내지 S(n)에 대해 출력부 (136) 에서 반사 전력이 감소하는 레벨과 상태 S(n-N) 내지 S(n)의 출력부 (158) 에서 반사 전력이 감소하는 레벨로부터 미리 결정된 범위 이내의 레벨로 감소할 때까지, 프로세서 (116) 는 직렬 회로 (102), 션트 회로 (104), 직렬 회로 (166), 션트 회로 (168), 직렬 회로 (196), 및 션트 회로 (198) 중 하나 이상의 하나 이상의 파라미터 값들을 동시에 제어한다. 예를 들어, 출력부 (184) 의 Prc 값은 출력부 (136) 의 반사 전

력 값 Pr3와 출력부 (158) 의 반사 전력 값 PrC 으로부터 미리 결정된 범위 내에 있다.

[0070] 다양한 실시예에서, 프로세서 (116) 는 출력부 (184) 에서 반사 전력이 상태 S(n-N) 내지 S(n)에 대해 상태 S(n-N) 내지 S(n)의 출력부 (136) 에서 반사 전력이 감소하는 레벨과 상태 S(n-N) 내지 S(n)의 출력부 (158) 에서 반사 전력이 감소하는 레벨로부터 미리 결정된 범위 이내의 레벨로 감소할 때까지 직렬 회로 (102), 션트 회로 (104), 직렬 회로 (166), 션트 회로 (168), 직렬 회로 (196), 및 션트 회로 (198) 중 하나 이상의 하나 이상의 파라미터 값들을 동시에 제어한다. 또한, 프로세서 (116) 는 출력부 (136) 의 반사 전력, 출력부 (158) 의 반사 전력, 출력부 (184) 의 반사 전력이 미리 결정된 한계보다 작을 때까지 직렬 회로 (102), 션트 회로 (104), 직렬 회로 (166), 션트 회로 (168), 직렬 회로 (196), 및 션트 회로 (198) 중 하나 이상의 하나 이상의 파라미터 값들을 동시에 제어한다. 예를 들어, 출력부 (158) 의 값 PrC는 출력부 (136) 의 반사 전력 값 Pr3와 출력부 (184) 의 값 Prc 으로부터 미리 결정된 범위 내에 있고, 값들 PrC, Pr3, 및 Prc 은 반사 전력의 미리 결정된 한계보다 작다.

[0071] 몇 가지 실시예에서, 프로세서 (116) 는 출력부 (184) 에서 반사 전력이 상태 S(n-N) 동안 상태 S(n-N)의 출력부 (136) 에서 반사 전력이 감소하는 레벨과 상태 S(n-N)의 출력부 (158) 에서 반사 전력이 감소하는 레벨로부터 미리 결정된 범위 이내의 레벨로 감소할 때까지 직렬 회로 (102), 션트 회로 (104), 직렬 회로 (166), 션트 회로 (168), 직렬 회로 (196), 및 션트 회로 (198) 중 하나 이상의 하나 이상의 파라미터 값들을 동시에 제어한다. 또한, 프로세서 (116) 는 출력부 (184) 에서 반사 전력이 상태 S(n) 동안 상태 S(n)의 출력부 (136) 에서 반사 전력이 감소하는 레벨과 상태 S(n)의 출력부 (158) 에서 반사 전력이 감소하는 레벨의 미리 결정된 범위 이내의 레벨로 감소할 때까지 직렬 회로 (102), 션트 회로 (104), 직렬 회로 (166), 션트 회로 (168), 직렬 회로 (196), 및 션트 회로 (198) 중 하나 이상의 하나 이상의 파라미터들의 값들을 동시에 제어한다. 예를 들어, 출력부 (184) 의 값 Prd 은 출력부 (136) 의 반사 전력 값 Pr4과 출력부 (158) 의 반사 전력 값 PrD의 미리 정해진 범위 내에 있다. 또한, 출력부 (184) 의 값 Pre은 출력부 (136) 의 반사 전력 값 Pr5과 출력부 (158) 의 반사 전력 값 PrE로부터 미리 정해진 범위 내에 있다.

[0072] 다양한 실시예에서, 프로세서 (116) 는 출력부 (184) 에서 반사 전력이 상태 S(n-N) 동안 상태 S(n-N)의 출력부 (136) 에서 반사 전력이 감소하는 레벨과 상태 S(n-N)의 출력부 (158) 에서 반사 전력이 감소하는 레벨로부터 미리 결정된 범위 이내의 레벨로 감소할 때까지 직렬 회로 (102), 션트 회로 (104), 직렬 회로 (166), 션트 회로 (168), 직렬 회로 (196), 및 션트 회로 (198) 중 하나 이상의 하나 이상의 파라미터 값들을 동시에 제어한다. 또한, 프로세서 (116) 는 출력부 (184) 에서 반사 전력이 상태 S(n) 동안 상태 S(n)의 출력부 (136) 에서 반사 전력이 감소하는 레벨과 상태 S(n)의 출력부 (158) 에서 반사 전력이 감소하는 레벨의 미리 결정된 범위 이내의 레벨로 감소할 때까지 직렬 회로 (102), 션트 회로 (104), 직렬 회로 (166), 션트 회로 (168), 직렬 회로 (196), 및 션트 회로 (198) 중 하나 이상의 하나 이상의 파라미터 값들을 동시에 제어한다. 또한, 프로세서 (116) 는 출력부 (136) 의 반사 전력, 출력부 (158) 의 반사 전력, 및 출력부 (184) 의 반사 전력들이 미리 결정된 한계보다 작을 때까지 직렬 회로 (102), 션트 회로 (104), 직렬 회로 (166), 션트 회로 (168), 직렬 회로 (196), 및 션트 회로 (198) 중 하나 이상의 하나 이상의 파라미터 값들을 동시에 제어한다. 예를 들어, 출력부 (184) 의 값 Prd은 출력부 (136) 의 반사 전력 값 Pr4과 출력부 (158) 의 반사 전력 값 PrD으로부터 미리 정해진 범위 내에 있다. 또한, 출력부 (184) 의 값 Pre은 출력부 (136) 의 반사 전력 값 Pr5과 출력부 (158) 의 반사 전력 값 PrE의 미리 정해진 범위 내에 있다. 모든 값들 Prd, Pr4, PrD, Pre, Pr5, 및 PrE 은 미리 결정된 한계보다 작다.

[0073] 몇 가지 실시예에서, 본 명세서에 기술된 임피던스 매칭 회로의 인덕터, 커패시터 등 각각의 회로 컴포넌트들은 전기적으로 제어된다. 예를 들어, 모터는 회로 컴포넌트를 제어하는 데 사용되지 않는다.

[0074] 도 2a는, 예를 들어 x MHz RF 생성기 또는 y MHz RF 생성기 또는 z MHz RF 생성기인 RF 생성기에서 공급되는 RF 신호 (208) 의 실시예를 예시하기 위한 그래프 (204) 및 디지털 펄스 신호 (206) 의 그래프 (202) 의 실시예를 예시하는 도면이다. 디지털 펄스 신호 (206) 는 디지털 펄스 신호 (130) (도 1a 내지 도 1c) 의 예이다. 그래프 (202) 는 시간 대비 논리 레벨을 플롯팅한다 (plots). 또한, 그래프 (204) 는 시간 대비 RF 신호 (208) 의 전력 레벨을 나타낸다. 예를 들어, RF 신호의 전력 레벨은 RF 신호의 제로-피크 진폭 등과 같은 인벨롭 (envelope) 이다. 다른 예로서, RF 신호의 전력 레벨은 RF 신호의 진폭들의 제곱 평균 값이다.

[0075] 디지털 펄스 신호 (206) 의 논리 레벨이 0인 상태 S0 동안, RF 신호 (208) 의 전력 레벨은 0 또는 양수인 P1이다. 또한, 디지털 펄스 신호 (206) 의 논리 레벨이 1인 상태 S1 동안, RF 신호 (208) 의 전력 레벨은 P2이다. 전력 레벨 P2는 전력 레벨 P1보다 크다. 또한, 디지털 펄스 신호 (206) 가 상태 S0에서 상태 S1으로 전환될

때, RF 신호 (208) 는 전력 레벨 P1에서 전력 레벨 P2로 전환된다. 디지털 펄스 신호 (206) 가 상태 S1에서 S0로 전환될 때, RF 신호 (208) 는 전력 레벨 P2에서 전력 레벨 P1으로 전환된다. 이와 같이, 디지털 펄스 신호 (206) 는 RF 신호 (208) 와 동기화된다.

[0076] 디지털 펄스 신호 (206) 의 상태 S0는 클록 사이클의 시간 기간 t1 동안 발생한다는 점에 주목해야 한다. 또한, 디지털 펄스 신호 (206) 의 상태 S1는 클록 사이클의 시간 기간 t2 동안 발생한다.

[0077] 도 2b는 S0, S1, 및 S2 세 상태들을 갖는 RF 신호 (212) 를 예시하기 위한 그래프 (210) 의 실시예이다. RF 신호 (212) 는 x MHz RF 생성기 또는 y MHz RF 생성기 또는 z MHz RF 생성기로부터 공급되는 RF 신호의 예이다. 상태 S0 동안, RF 신호 (212) 는 전력 레벨 P1을 갖는다. 또한, 상태 S1 동안 RF 신호 (212) 는 전력 레벨 P3를 갖는다. 또한, 상태 S2 동안 RF 신호 (212) 는 전력 레벨 P2를 갖는다. 전력 레벨 P3는 전력 레벨 P2보다 작지만 전력 레벨 P1보다 크다. 디지털 펄스 신호 (130) (도 1a 내지 도 1c) 가 상태 S0에서 상태 S1로 전환될 때, RF 신호 (212) 는 전력 레벨 P1에서 전력 레벨 P3로 전환된다. 또한, 디지털 펄스 신호 (130) 가 상태 S1에서 상태 S2로 전환될 때, RF 신호 (212) 는 전력 레벨 P3에서 전력 레벨 P2로 전환된다. 또한, 디지털 펄스 신호 (130) 가 상태 S2에서 상태 S0로 다시 전환될 때, RF 신호 (212) 는 전력 레벨 P2에서 전력 레벨 P1로 다시 전환된다. RF 신호 (212) 의 상태 S0에서 S2는 시간 기간 t1과 t2의 합인 클록 사이클 동안 발생한다.

[0078] 도 2c는 S0, S1, S2, 및 S3 네 상태들을 갖는 RF 신호 (216) 를 예시하기 위한 그래프 214의 실시예이다. RF 신호 (216) 는 x MHz RF 생성기 또는 y MHz RF 생성기 또는 z MHz RF 생성기로부터 공급되는 RF 신호의 예이다. S0 상태 동안, RF 신호 (216) 는 전력 레벨 P1을 갖는다. 또한, 상태 S1 동안 RF 신호 (216) 는 전력 레벨 P2를 갖는다. 또한, 상태 S2 동안 RF 신호 (216) 는 전력 레벨 P3를 갖는다. 상태 S3 동안, RF 신호 (216) 는 전력 레벨 P4를 갖는다. 전력 레벨 P4는 전력 레벨 P3보다 작지만 전력 레벨 P1보다 크다. 디지털 펄스 신호 (130) (도 1a 내지 도 1c) 가 상태 S0에서 상태 S1로 전환될 때, RF 신호 (216) 는 전력 레벨 P1에서 전력 레벨 P2로 전환된다. 또한, 디지털 펄스 신호 (130) 가 상태 S1에서 상태 S2로 전환될 때, RF 신호 (216) 는 전력 레벨 P2에서 전력 레벨 P3로 전환된다. 또한, 디지털 펄스 신호 (130) 이 상태 S2에서 상태 S3로 전환될 때, RF 신호 (216) 는 전력 레벨 P3에서 전력 레벨 P4로 전환된다. 또한, 디지털 펄스 신호 (130) 가 상태 S3에서 S0로 다시 전환될 때, RF 신호 (216) 는 전력 레벨 P4에서 전력 레벨 P1으로 다시 전환된다. RF 신호 (216) 의 상태들 S0에서 S3는 시간 기간 t1과 t2의 합인 클록 사이클 동안 발생한다.

[0079] 도 3a는 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 직렬 회로 (306) 와 션트 회로 (308) 의 제어를 예시하기 위한 시스템 (300) 의 실시예의 도면이다. 직렬 회로 (306) 는 직렬 회로 (102), (166), 또는 (196) (도 1c) 의 예이다. 또한, 션트 회로 (308) 는 션트 회로 (104), (168), 또는 (198) (도 1c) 의 예이다. 시스템 (300) 은 x MHz RF 생성기 또는 y MHz RF 생성기 또는 z MHz RF 생성기와 같은 RF 생성기 (302) 를 포함한다. RF 생성기 (302) 는 출력부 (136) 또는 출력부 (158) 또는 출력부 (184) (도 1c) 의 예와 같은 출력부 (370) 를 가진다. 또한, 시스템 (300) 은 임피던스 매칭 회로 (106) (도 1a), 또는 브랜치 회로 (170) (도 1b), 또는 브랜치 회로 (199) (도 1c) 의 예와 같은 임피던스 매칭 회로 (304) 를 포함한다.

[0080] RF 생성기 (302) 는 RF 케이블 (126), 또는 RF 케이블 (162), 또는 RF 케이블 (188) (도 1c) 의 예와 같은 RF 케이블 (310) 을 통해 임피던스 매칭 회로 (304) 와 커플링되어 있다. 임피던스 매칭 회로 (304) 의 출력부 (134) 는 RF 전송 선 (128) 을 통해 플라즈마 챔버 (108) 와 커플링되어 있다.

[0081] 시스템 (300) 은 모터 (312) 와 모터 (314) 를 더 포함한다. 모터 (312) 는 모터 M1, 또는 모터 M3, 또는 모터 M5 (도 1c) 의 예이다. 또한, 모터 (314) 는 모터 M2, 또는 모터 M4, 또는 모터 M6 (도 1c) 의 예이다.

[0082] 직렬 회로 (306) 는 임피던스 매칭 회로 (304) 의 입력부 (316) 를 통해 RF 케이블 (310) 과 커플링되어 있다. 입력부 (316) 는 입력부 (132), 또는 입력부 (160), 또는 입력부 (186) (도 1c) 의 예이다. 직렬 회로는 가변적인 커패시터 C1과 직렬인 인덕터 L1을 포함한다. 인덕터 L1의 일 단부는 입력부 (316) 와 커플링되어 있고 인덕터 L1의 다른 단부는 커패시터 C1과 커플링되어 있다. 션트 회로 (308) 는 또한 가변적인 커패시터 C2와 직렬인 인덕터 L2를 포함한다. 인덕터 L2의 일 단부는 커패시터 C1의 단부와 커플링된 출력부 (134) 와 커플링되어 있다. 또한, 인덕터 L2의 다른 단부는 다른 단부가 접지와 커플링된 커패시터 C2와 커플링되어 있다. 인덕터 L1와 인덕터 L2는 가변적이지 않고 고정이다.

[0083] 모터 (312) 는 하나 이상의 연결 매커니즘들을 통해 커패시터 C1과 커플링되어 있고 커패시터 C1의 평행한 판들 사이 거리 또는 면적을 변경하기 위해 회전한다. 예를 들어, 커패시터의 판들은 서로에 대하여 판들 사이 거리

나 면적을 변경하기 위해 이동, 예를 들어 회전한다. 거리 또는 면적의 변화는 커패시터의 커패시턴스를 변경, 예를 들어 증가하거나 감소하도록 시킨다. 유사하게, 모터 (314) 는 하나 이상 연결 매커니즘들을 통해 커패시터 C2와 커플링되어 있고 커패시터 C2의 평행 판들 사이 거리 또는 면적을 변경하기 위해 회전한다.

[0084] 도 3b는 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 직렬 회로 (324) 와 션트 회로 (326) 의 제어를 예시하기 위한 시스템 (320) 의 실시예의 도면이다. 직렬 회로 (324) 는 직렬 회로 (102), (166), 또는 (196) (도 1c) 의 예이다. 또한, 션트 회로 (326) 는 션트 회로 (104), (168), 또는 (198) (도 1c) 의 예이다. 시스템 (320) 은 RF 생성기 (302) 를 포함한다. 또한, 시스템 (320) 은 임피던스 매칭 회로 (106) (도 1a), 또는 브랜치 회로 (170) (도 1b), 또는 브랜치 회로 (199) (도 1c) 의 예인 임피던스 매칭 회로 (322) 를 포함한다.

[0085] RF 생성기 (302) 는 RF 케이블 (310) 을 통해 임피던스 매칭 회로 (322) 와 커플링되어 있다. 임피던스 매칭 회로 (322) 의 출력부 (134) 는 RF 전송 선 (128) 을 통해 플라즈마 챔버 (108) 와 커플링되어 있다.

[0086] 시스템 (320) 은 모터 (312), 모터 (314), 모터 (328), 및 모터 (330) 를 더 포함한다. 모터 (328) 는 모터 M1, 또는 모터 M3, 또는 모터 M5 (도 1c) 의 예이다. 또한, 모터 (330) 는 모터 M2, 또는 모터 M4, 또는 모터 M6 (도 1c) 의 예이다.

[0087] 직렬 회로 (324) 는 임피던스 매칭 회로 (322) 의 입력부 (332) 를 통해 RF 케이블 (310)과 커플링되어 있다. 입력부 (332) 는 입력부 (132), 또는 입력부 (160), 또는 입력부 (186) (도 1c) 의 예이다. 직렬 회로는 커패시터 C1과 직렬인 인덕터 L3를 포함한다. 인덕터 L3의 일 단부는 입력부 (332) 와 커플링되어 있고 다른 단부는 커패시터 C1과 커플링되어 있다. 션트 회로 (326) 는 커패시터 C2와 직렬인 인덕터 L4를 포함한다. 인덕터 L4의 일 단부는 출력부 (134) 와 커패시터 C1의 단부와 커플링되어 있다. 또한, 인덕터 L4의 다른 단부는, 다른 단부가 접지와 커플링된 커패시터 C2와 커플링되어 있다. 인덕터 L3와 인덕터 L4는 가변적이다.

[0088] 모터 (328) 는 하나 이상의 연결 매커니즘들을 통해 인덕터 L3와 커플링되어 있고, 인덕터 L3의 코어와 인덕터 L3의 코일 사이의 중첩된 면적을 변경하도록 회전한다. 예를 들어, 인덕터의 코일로 둘러싸인 인덕터의 코어는 인덕터의 인덕턴스를 변경하도록 코일에 관하여 변위된다 (displaced). 중첩된 면적의 변화는, 예를 들어 인덕터의 인덕턴스를 증가 또는 감소시킨다. 유사하게, 모터 (330) 는 하나 이상의 연결 매커니즘들을 통해 인덕터 L4와 커플링되어 있고, 인덕터 L4의 코어와 인덕터 L4의 코일 사이의 중첩된 면적을 변경하도록 회전한다.

[0089] 몇 가지 실시예에서, 인덕터 L1과 인덕터 L2는 인덕터들의 인덕턴스들을 변화시키도록 제어되고, 커패시터 C1과 C2 대신, 고정된 커패시터들이 임피던스 매칭 회로 (322) 에서 사용된다. 다양한 실시예에서, 커패시터 C1, 커패시터 C2, 인덕터 L1, 및 인덕터 L2들 중 하나 이상이 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 출력부 (370) 의 반사 전력을 감소시키도록 제어된다.

[0090] 도 3c는 임의의 수의 직렬 회로들과 임의의 수의 션트 회로들을 포함하는 임피던스 매칭 회로 (352) 를 예시하기 위한 시스템 (350) 의 실시예의 도면이다. 시스템 (350) 은 RF 생성기 (302), 임피던스 매칭 회로 (352), 플라즈마 챔버 (108), 모터 (312) 와 모터 (314), 모터 (362), 및 모터 (364) 를 포함한다.

[0091] RF 생성기 (302) 는 RF 케이블 (310) 을 통해 임피던스 매칭 회로 (352) 의 입력부 (366) 와 커플링되어 있다. 임피던스 매칭 회로 (352) 는 직렬 회로 (354), 션트 회로 (356), 또 다른 직렬 회로 (358), 및 또 다른 션트 회로 (360) 를 포함한다. 직렬 회로 (354) 의 일 단부는 입력부 (366) 와 커플링되어 있고 직렬 회로 (354) 의 다른 단부는 션트 회로 (356) 의 일 단부와 커플링되어 있다. 또한, 직렬 회로 (354) 의 다른 단부는 직렬 회로 (358) 의 일 단부와 커플링되어 있다. 션트 회로 (356) 의 다른 단부는 접지와 커플링되어 있다. 또한, 직렬 회로 (358) 의 다른 단부는 션트 회로 (360) 의 일 단부와 임피던스 매칭 회로 (352) 의 출력부 (134) 와 커플링되어 있다. 션트 회로 (360) 의 다른 단부는 접지와 커플링되어 있다.

[0092] 모터 (312) 는 하나 이상의 연결 매커니즘들을 통해 직렬 회로 (354) 와 커플링되어 있다. 또한, 모터 (314) 는 하나 이상의 연결 매커니즘들을 통해 션트 회로 (356) 와 커플링되어 있다. 또한, 모터 (362) 는 하나 이상의 연결 매커니즘들을 통해 직렬 회로 (358) 와 커플링되어 있다. 모터 (364) 는 하나 이상의 연결 매커니즘들을 통해 션트 회로 (360) 와 커플링되어 있다.

[0093] 모터들 (312, 314, 362 및 364) 과 커플링된 드라이버 (미도시) 에서 전류 신호를 수신하면, 모터 (312) 는 직렬 회로 (354) 의 파라미터를 변경하도록 작동하고, 모터 (314) 는 션트 회로 (356) 의 파라미터를 변경하도록 작동하고, 모터 (362) 는 직렬 회로 (358) 의 파라미터를 변경하기 위해 작동하며, 모터 (364) 는 션트 회로 (360) 의 파라미터를 변경하기 위해 작동한다. RF 생성기 (302) 의 출력부 (370) 에서 반사된 전력이 상태 S(n-N) 내지 S(n) 중 다른 하나(들)가 아닌 상태 S(n-N) 내지 S(n) 중 하나에서 감소한 반사된 전력과 비교하여

상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 감소하도록 회로 (354, 356, 358 및 360) 들은 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 제어된다.

[0094] 몇 가지 실시예에서, 임피던스 매칭 회로 (352) 는 도 3c에 나타난 것보다 많은 수의 직렬 회로와 도 3c에 나타난 것보다 많은 수의 션트 회로를 포함한다. 예를 들어, 직렬 회로 (358) 와 커플링된 션트 회로 (360) 의 단부는 다른 션트 회로 (미도시) 의 단부와 커플링된 다른 직렬 회로 (미도시) 와 커플링되어 있다. 션트 회로 (미도시) 의 단부는 출력부 (134) 와 커플링된다. 다른 션트 회로 (미도시) 의 다른 단부는 접지와 커플링되어 있다.

[0095] 도 3d는 L 네트워크인 임피던스 매칭 회로 (382) 를 예시하기 위한 시스템 (380) 의 실시예의 도면이다. 임피던스 매칭 회로 (382) 는 인덕터 X1과 커패시터 X2를 포함한다. 본 명세서에서 기술된 X는 인덕터, 커패시터 등과 같은 회로 컴포넌트의 리액턴스를 나타낸다. 예를 들어, X1은 인덕터 X1의 리액턴스이고 X2는 커패시터 X2의 리액턴스이다. 인덕터 X1은 가변적이거나 고정된다. 유사하게, 커패시터 X2는 가변적이거나 고정된다. 커패시터 X2의 단부는 접지와 커플링되어 있고 커패시터 X2의 단부는 인덕터 X1의 단부 및 임피던스 매칭 회로 (382) 의 출력부 (384) 와 커플링되어 있다. 인덕터 X1의 다른 단부는 임피던스 매칭 회로 (382) 의 출력부 (134) 와 커플링되어 있다.

[0096] 임피던스 매칭 회로 (382) 가 본 명세서에서 기술된 임의의 다른 임피던스 매칭 회로를 대신하여 사용된다는 점에 주목해야 한다. 예를 들어, 임피던스 매칭 회로 (382) 는 임피던스 매칭 회로 (106), 또는 브랜치 회로 (170), 또는 브랜치 회로 (199) (도 1c) 를 대신하여 사용된다. 임피던스 매칭 회로 (382) 는 입력부 (132), 입력부 (160), 또는 입력부 (186) (도 1c) 의 예인 입력부 (384) 를 가진다.

[0097] RF 전력 공급부는 도 3b에 예시되어 있고 RF 전력 공급부는 입력부 (384) 에 커플링되는 소스의 저항인 레지스터 Rs에 커플링된 것으로 도시된다. 또한, 레지스터 Rp는 도 3b에 예시되어 있다. 레지스터 Rp는 출력부 (134) 에 커플링된 부하의 저항을 갖는다.

[0098] 도 3e는 ∏ 네트워크인 임피던스 매칭 회로 (388) 를 예시하기 위한 시스템 (386) 의 실시예의 도면이다. 임피던스 매칭 회로 (388) 는 인덕터 X2, 커패시터 X3, 및 커패시터 X4를 포함한다. 인덕터 X2는 가변적이거나 고정된다. 유사하게, 커패시터 X3와 X4 각각은 가변적이거나 고정된다. 커패시터 X3의 일 단부는 접지와 커플링되어 있고, 커패시터 X3의 다른 단부는 인덕터 X2의 일 단부 및 임피던스 매칭 회로 (388) 의 입력부 (390) 와 커플링되어 있다. 또한, 인덕터 X2의 다른 단부는 커패시터 X4의 일 단부와 커플링되어 있고 커패시터 X4의 다른 단부는 접지와 커플링되어 있다. 인덕터 X2의 다른 단부는 임피던스 매칭 회로 (388) 의 출력부 (134) 와 커플링되어 있다. 또한, 레지스터 RI는 도 3c에 예시되어 있다. 레지스터 RI는 출력부 (134) 와 커플링된 부하의 저항을 갖는다.

[0099] 도 3f는 ∏ 네트워크인 임피던스 매칭 회로 (392) 의 실시예의 도면이다. ∏ 네트워크는 두 개의 L 네트워크로 표현된다. 임피던스 매칭 회로 (392) 는 인덕터 X21, 커패시터 X3, 레지스터 Rx, 또 다른 인덕터 X22, 및 커패시터 X4를 포함한다. 인덕터 X21과 X22 각각은 가변적이거나 고정된다. 유사하게, 커패시터 X3와 X4 각각은 가변적이거나 고정된다. 커패시터 X3의 일 단부는 접지와 커플링되어 있고 커패시터 X3의 다른 단부는 인덕터 X21의 일 단부 및 임피던스 매칭 회로 (392) 의 입력부 (394) 와 커플링되어 있다. 또한, 인덕터 X21의 다른 단부는 레지스터 Rx의 일 단부와 커플링되어 있고 레지스터 Rx의 다른 단부는 접지와 커플링되어 있다. 또한, 인덕터 X21의 다른 단부는 인덕터 X22의 일 단부와 커플링되어 있고 인덕터 X22의 다른 단부는 커패시터 X4의 일 단부와 커플링되어 있다. 커패시터 X4의 다른 단부는 접지와 커플링되어 있다. 인덕터 X22의 다른 단부와 커패시터 X4의 일 단부는 임피던스 매칭 회로 (392) 의 출력부 (134) 에 커플링된다.

[0100] 임피던스 매칭 회로 (388) 가 본 명세서에서 기술된 것과 같이 임의의 다른 임피던스 매칭 회로를 대신해서 사용된다는 점에 주목해야 한다. 예를 들어, 임피던스 매칭 회로 (388) 는 임피던스 매칭 회로 (106), 또는 브랜치 회로 (170), 또는 브랜치 회로 (199) (도 1c) 를 대신하여 사용된다.

[0101] 도 4는 RF 생성기를 향해 반사된 전력이 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 감소하는 하나 이상의 파라미터들의 값들의 결정을 예시하기 위한 방법 (400) 의 실시예의 도면이다. 방법 (400) 은 상태 S(n-N) 동안 RF 생성기의 출력부에서 반사 전력을 측정하는 동작 (402) 을 포함한다. 예를 들어, RF 생성기에 의해 생성된 RF 신호가 상태 S(n-N)을 갖는 시간 기간 동안, 반사 전력은 RF 생성기의 출력부에서 측정된다. RF 생성기의 출력부와 커플링된 센서와 같은 RF 생성기의 센서는 반사 전력을 측정한다. 센서는 RF 생성기의 내부 또는 외부에 위치한다. 센서는 상태 S(n-N) 동안 측정된 반사 전력의 값들을 프로세서 (116) (도 1c) 에 제공한다.

[0102] 또한, 상태 S(n-N) 동안 방법 (400) 의 동작 (404) 에서, RF 케이블을 통해 RF 생성기와 커플링된 임피던스 매칭 회로의 인덕턴스, 커패시턴스 등과 같은 하나 이상의 파라미터의 값들은 RF 생성기의 출력부에서 반사되는 전력이 감소하도록 프로세서 (116) 에 의해 변경된다. 예를 들어, 상태 S(n-N) 동안 측정된 반사 전력이 PRF1 일 때, 임피던스 매칭 회로의 하나 이상의 파라미터들의 값들은 CV1과 CV2이다. 또한, 임피던스 매칭 회로의 하나 이상의 파라미터들의 값들이 CV1에서 CV3로, CV2에서 CV4로 변경될 때, 상태 S(n-N) 동안 측정된 반사 전력은 PRF1 값보다 작은 PRF2로 감소한다.

[0103] 방법 (400) 의 동작 (406) 에서, 반사 전력은 상태 S(n) 동안 RF 생성기의 출력부에서 측정된다. 예를 들어, RF 생성기에 의해 생성된 RF 신호가 상태 S(n)을 갖는 시간 기간 동안, 반사 전력은 센서에 의해 RF 생성기의 출력부에서 측정된다. 센서는 상태 S(n) 동안 측정된 반사 전력의 값들을 프로세서 (116) 에 제공한다.

[0104] 방법 (400) 의 동작 (408) 에서, 두 상태 S(n)과 S(n-N) 동안 RF 생성기의 출력부에서 측정된 반사 전력은 감소하도록 임피던스 매칭 회로의 하나 이상의 파라미터들의 값들은 상태 S(n) 동안 프로세서 (116) 에 의해 변경된다. 예를 들어, 상태 S(n) 동안, 임피던스의 하나 이상의 파라미터 값들이 프로세서 (116) 에 의해 CV3에서 CV5로, CV4에서 CV6로 변경되도록 제어되고, 반사 전력은 PRF1 값보다 작은 PRF3로 감소된다. PRF3 값은 PRF2 값보다 크다. 다른 예로서, PRF3 값은 PRF2 값보다 작거나 같다. 예를 들어, 값 PRF2와 값 PRF3은 서로로부터 미리 결정된 문턱값 내에 있다. 미리 결정된 문턱값은 프로세서 (116) 에 의한 액세스를 위해 메모리 디바이스 (118) (도 1c) 에 저장된다. 또 다른 예로, PRF2와 PRF3 두 값들은 미리 결정된 레벨보다 작고 서로로부터 미리 결정된 문턱값 내에 있다. 미리 결정된 레벨은 프로세서 (116) 에 의한 액세스를 위해 메모리 디바이스 (118) 에 저장된다. PRF1 값은 미리 결정된 레벨보다 크다. 동작 (408) 이후, 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안, 임피던스 매칭 회로의 하나 이상의 파라미터들의 값들은 CV5와 CV6으로 유지된다.

[0105] 몇 가지 실시예에서, 동작 (408) 이후, CV5와 CV6 값들은 RF 생성기에 의해 발생된 RF 신호의 전력 그리고/또는 주파수가 변할 때 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 RF 생성기의 출력부에서 반사 전력을 더 감소시키도록 프로세서 (116) 에 의해 증가하거나 감소하는 것과 같이 튜닝된다.

[0106] 다양한 실시예들에서, 본 명세서에 기술된 임피던스 매칭 회로가 임피던스 매칭 회로와 커플링된 RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력이 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 감소하도록 결정되는 복수의 파라미터 값들을 포함하면, 파라미터 값들을 결정하기 위해 다변수 분석 방법이 프로세서 (116) 에 의해 적용되는 것에 주목해야 한다. 예를 들어, 프로세서 (116) 는 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력의 최저값들은 미리 결정된 레벨 아래 있고, 상태 S(n-N) 동안 RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력의 최저값은 상태 S(n) 동안 RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력의 최저값의 미리 결정된 문턱값 내에 있도록, 임피던스 매칭 회로의 직렬 회로와 션트 회로의 커패시턴스 그리고/또는 인덕턴스 값들을 결정하기 위해, 다변수 분석 방법을 적용한다.

[0107] 몇 가지 실시예에서, 신경 네트워크, 예를 들어 인간 뇌를 모델로 한 컴퓨터 시스템, 인간 뇌를 모델로 한 컴퓨터 네트워크 등은 본 명세서에서 기술된 임피던스 매칭 회로의 하나 이상의 파라미터 값들과, 임피던스 매칭 회로와 커플링된 본 명세서에서 기술된 RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력 사이의 관계를 결정한다. 예를 들어, 회귀 분석은 신경 네트워크에 입력된 하나 이상의 파라미터들의 값들 및 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 반사되는 전력의 값들에 기초하여 관계를 결정하도록 신경 네트워크에 의해 적용된다. 예를 들어, 하나 이상의 파라미터들의 값들은 신경 네트워크의 입력부 노드에서 입력되고 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 반사 전력은 신경 네트워크의 출력부 노드에서 출력된다. 회귀 분석은 입력부와 출력부 사이 관계를 결정하기 위해 적용된다. 이 관계는 RF 생성기의 출력부에서 반사 전력이 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 감소하는 하나 이상의 파라미터들의 값들을 결정하기 위해 기판 (112) 의 프로세싱 동안 (도 1a 내지 도 1c) 프로세서 (116) 또는 신경 네트워크에 의해 적용된다.

[0108] 도 5a는 상태 S(n-N) 내지 상태 S(n) 동안 본 명세서에서 기술된 RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력을 감소시키기 위해 임피던스 매칭 회로의 직렬 회로 커패시턴스 Cseries와 본 명세서에서 기술한 임피던스 매칭 회로의 션트 회로 커패시턴스 Cshunt를 결정하는 방법을 예시하기 위한 도면이다. 몇 가지 실시예에서, 임피던스 매칭 회로의 직렬 회로의 커패시턴스는 직렬 회로에서 복수의 커패시터들의 조합이다. 예를 들어, 직렬 회로의 커패시턴스는 커패시턴스들의 합으로 나뉜 직렬 회로에서 서로 직렬로 커플링되는 커패시터들의 커패시턴스들의 곱이다. 다른 예로서, 임피던스 매칭 회로의 직렬 회로의 커패시턴스는 직렬 회로에서 서로 병렬로 연결되는 커패시터들의 커패시턴스들의 합이다. 유사하게, 임피던스 매칭 회로의 션트 회로의 커패시턴스는 션트 회로에서 복수의 커패시터들의 결합이다.

[0109] 선 (502) 은 커패시턴스 Cseries의 값을 가지고 다른 선 (504) 은 커패시턴스 Cshunt의 값을 가진다. 커패시턴

스 값 Cseries가 CS1 값으로부터 감소하고 커패시턴스 값 Cshunt가 CSH1 값으로부터 감소할 때, RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력 값들은 상태 S(n-1)과 S(n) 동안 측정되고 그래프 (506) 에서 플롯팅된다 (plotted). 그래프 (506) 는 시간 대비 RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력을 플롯팅한다 (plots). 값 (510A), 값 (512A) 등과 같은 상태 S(n-N) 동안 RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력 값들은 플롯 (plot) (508A) 에 도시되고, 값 (510B), 값 (512B) 등과 같은 상태 S(n) 동안 RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력 값들은 플롯 (plot) (508B) 에 도시된다. 예시하면, 반사 전력 값 (510A) 과 (510B) 들은 커패시턴스 Cseries가 CS(-2)이고 커패시턴스 Cshunt가 CSH(-2)일 때 측정된다. 또한, 반사 전력 값 (512A) 과 (512B) 들은 커패시턴스 Cseries가 CS(-3)이고 커패시턴스 Cshunt가 CSH(-3)일 때 측정된다. 그래프 (504) 에서 도시되듯이, RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력 값들은 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 미리 결정된 레벨보다 크고, 따라서 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 감소하지 않는다.

[0110] 또한, 커패시턴스 Cseries의 값이 CS1 값으로부터 감소하고 커패시턴스 Cshunt의 값이 CSH1 값으로부터 증가할 때, RF 생성기의 출력부에서 반사 전력 값들은 상태 S(n-1)과 S(n) 동안 측정되고 그래프 (514) 에서 플롯팅된다. 그래프 (514) 는 시간 대비 RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력을 플롯팅한다. 값 (518A), 값 (520A), 값 (522A) 등과 같은 상태 S(n-N) 동안 RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력 값들은 플롯 (516A) 에 도시되고, 값 (518B), 값 (520B), 값 (522B) 등과 같은 상태 S(n) 동안 RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력 값들은 플롯 (516B) 에서 도시된다. 예시하면, 반사 전력 값 (518A) 와 (518B) 들은 커패시턴스 Cseries가 CS(-2)이고 커패시턴스 Cshunt가 CSH(2)일 때 측정된다. 또한, 반사 전력 값 (520A) 와 (520B) 들은 커패시턴스 Cseries가 CS(-3)이고 커패시턴스 Cshunt가 CSH(3)일 때 측정된다. 또한, 반사 전력 값 (522A) 과 (522B) 들은 커패시턴스 Cseries가 CS(-4)이고 커패시턴스 Cshunt가 CSH(4)일 때 측정된다. 그래프 (514) 에서 도시된 바와 같이, RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력 값 (522A) 과 (522B) 들은 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 미리 결정된 레벨보다 작다. 또한, 값 (522A) 와 (522B) 들은 서로 미리 결정된 문턱값 내에 있다. 예시하면, 값 (522A) 은 플롯 (516A) 의 절대 최소값이고 값 (522B) 은 플롯 (516B) 의 절대 최소값이다. 다양한 실시예에서, 값 (522A) 은 플롯 (516A) 의 국소 최저값이고 값 (522B) 은 플롯 (516B) 의 국소 최저값이다. 국소 최저값은 반사 전력이 측정되는 시간 t1과 시간 t2 사이와 같은 미리 설정된 시간 기간 동안 반사 전력의 최소값이다. 비교해 보면, 절대 최소값은 반사 전력이 측정되는 시간 t1과 시간 t3 사이와 같은 전체 시간 기간 동안 반사 전력의 최소값이다. 커패시턴스 값 CS(-4)와 CSH(4)들은 상태 S(n-N) 내지 S(n)의 다른 하나(들)가 아닌 상태 S(n-N) 내지 S(n)의 하나에 대해 감소하는 반사 전력과 비교하여 RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력이 상태 S(n-N) 내지 S(n)에 대해 감소하는 커패시턴스들의 값들이다.

[0111] 또한, 커패시턴스 Cseries의 값이 CS1 값으로부터 증가하고 커패시턴스 Cshunt의 값이 CSH1 값으로부터 감소할 때, RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력 값들은 상태 S(n-1)과 S(n) 동안 측정되고 그래프 (524) 에서 플롯팅된다. 그래프 (524) 는 시간 대비 RF 생성기의 출력부에서 반사 전력을 플롯팅한다. 값 (528A), 값 (530A) 등과 같은 상태 S(n-N) 동안 RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력 값들은 플롯 (526A) 에서 도시되고 값 (528B), 값 (530B) 등과 같은 상태 S(n) 동안 RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력 값들은 플롯 (526B) 에서 도시된다. 예시하면, 반사 전력 값 (526A) 과 (526B) 들은 커패시턴스 Cseries가 CS(2)이고 커패시턴스 Cshunt가 CSH(-2)일 때 측정된다. 또한, 반사 전력 값 (530A) 과 (530B) 들은 커패시턴스 Cseries가 CS(3)이고 커패시턴스 Cshunt가 CSH(-3)일 때 측정된다. 그래프 (524) 에서 도시된 바와 같이, RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력 값들은 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 미리 결정된 레벨보다 크다.

[0112] 또한, 커패시턴스 Cseries의 값이 CS1 값으로부터 증가하고 커패시턴스 Cshunt의 값이 CSH1 값으로부터 감소할 때, RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력 값들은 상태 S(n-1)과 S(n) 동안 측정되고 그래프 (524) 에서 플롯팅된다. 그래프 (524) 는 시간 대비 RF 생성기의 출력부에서 반사 전력을 플롯팅한다. 값 (528A), 값 (530A) 등과 같은 상태 S(n-N) 동안 RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력 값들은 플롯 (526A) 에서 도시되고 값 (528B), 값 (530B) 등과 같은 상태 S(n) 동안 RF 생성기의 출력부에서 반사되는 전력 값들은 플롯 (526B) 에서 도시된다. 예시하면, 반사 전력 값 (528A) 과 (528B) 들은 커패시턴스 Cseries가 CS(2)이고 커패시턴스 Cshunt가 CSH(-2)일 때 측정된다. 또한, 반사 전력 값 (530A) 과 (530B) 들은 커패시턴스 Cseries가 CS(3)이고 커패시턴스 Cshunt가 CSH(-3)일 때 측정된다. 그래프 (524) 에서 도시된 바와 같이, RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력 값들은 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 미리 결정된 레벨보다 크고, 따라서 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 감소하지 않는다.

[0113] 커패시턴스 Cseries의 값이 CS1 값으로부터 증가하고 커패시턴스 Cshunt의 값이 CSH1 값으로부터 증가할 때, RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력 값들은 상태 S(n-1)과 S(n) 동안 측정되고 그래프 (532) 에서 플롯팅된다.

그래프 (532) 는 시간 대비 RF 생성기의 출력부에서 반사 전력을 플롯팅한다. 값 (536A), 값 (538A) 등과 같은 상태 S(n-N) 동안 RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력 값들은 플롯 (534A) 에서 도시되고 값 (536B), 값 (538B) 등과 같은 상태 S(n) 동안 RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력 값들은 플롯 (534B) 에서 도시된다. 예시하면, 반사 전력 값 (536A) 과 (536B) 들은 커패시턴스 Cseries가 CS(2)이고 커패시턴스 Cshunt가 CSH(2)일 때 측정된다. 또한, 반사 전력 값 (538A) 과 (538B) 들은 커패시턴스 Cseries가 CS(3)이고 커패시턴스 Cshunt가 CSH(3)일 때 측정된다. 그래프 (532) 에서 도시된 바와 같이, RF 생성기의 출력부에서 반사된 전력 값들은 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 미리 결정된 레벨보다 크고, 따라서 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 감소하지 않는다.

[0114] 몇 가지 실시예에서, 커패시턴스 Cseries와 Cshunt 중 하나가 도 5a에서 예시된 방법 동안 변경되고 커패시턴스 Cseries와 Cshunt 중 다른 하나는 변하지 않는다.

[0115] 다양한 실시예에서, 커패시턴스 Cseries와 Cshunt를 수정하는 대신, 도 5a를 사용하여 예시된 방법은 임피던스 매칭 회로의 직렬 회로 인덕턴스의 변경과 임피던스 매칭 회로의 션트 회로 인덕턴스의 변경에 동일하게 적용된다. 몇 가지 실시예에서, 커패시턴스 Cseries와 Cshunt를 수정하는 대신, 도 5a를 사용하여 예시된 방법은 임피던스 매칭 회로의 직렬 회로 커패시턴스와 인덕턴스들의 변경과 임피던스 매칭 회로의 션트 회로 커패시턴스와 인덕턴스들의 변경에 동일하게 적용된다.

[0116] 도 5a를 사용하여 예시된 방법은 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 반사된 전력의 최저들을 획득하는 실험적 과정임에 주목해야 한다. 예를 들어, 도 5a를 사용하여 예시된 방법은 값들 Cseries와 Cshunt가 상태 S(n-N) 동안 반사 전력의 최저와 상태 S(n) 동안 반사 전력의 최저와 같은 두 개의 목표를 달성하도록 결정되는 다변수 튜닝 방법이다.

[0117] CS(-4) 내지 CS(4) 값들은 서로에 대하여 증가한다는 것에 더 주목해야 한다. 예를 들어, CS(-4) 값은 CS(-2) 값보다 작은 CS(-3) 값보다 작다. CS(-2) 값은 CS(0) 값보다 작은 CS(-1) 값보다 작다. CS(0) 값은 CS(2) 값보다 작은 CS(1) 값보다 작다. CS(2) 값은 CS(4) 값보다 작은 CS(3) 값보다 작다. 더 예시하면, CS(-4) 값은 단위, 예를 들어 0.1 피코패럿 (picoFarad), 0.2 피코패럿 (picoFarad) 등이고 CS(-2) 값보다 작은 단위인 CS(-3) 값보다 작다. CS(-2) 값은 CS(0) 값보다 작은 단위인 CS(-1) 값보다 작은 단위이다. CS(0) 값은 CS(2) 값보다 작은 단위인 CS(1) 값보다 작은 단위이다. CS(2) 값은 CS(4) 값보다 작은 단위인 CS(3) 값보다 작은 단위이다.

[0118] 유사하게, CSH(-4) 내지 CSH(4) 값들이 서로에 대하여 증가한다는 것에 더 주목해야 한다. 예를 들어, CSH(-4) 값은 CSH(-2) 값보다 작은 CSH(-3) 값보다 작다. CSH(-2) 값은 CSH(0) 값보다 작은 CSH(-1) 값보다 작다. CSH(0) 값은 CSH(2) 값보다 작은 CSH(1) 값보다 작다. CSH(2) 값은 CSH(4) 값보다 작은 CSH(3) 값보다 작다. 더 예시하면, CSH(-4) 값은 단위, 예를 들어 0.1 피코패럿, 0.2 피코패럿 등이고 CSH(-2) 값보다 작은 단위인 CSH(-3) 값보다 작다. CSH(-2) 값은 CSH(0) 값보다 작은 단위인 CSH(-1) 값보다 작은 단위이다. CSH(0) 값은 CSH(2) 값보다 작은 단위인 CSH(1) 값보다 작은 단위이다. CSH(2) 값은 CSH(4) 값보다 작은 단위인 CSH(3) 값보다 작은 단위이다.

[0119] 도 5b는 상태 S(n-N) 내지 S(n)의 반사 전력이 감소하도록 튜닝하는 방법을 적용하는 것의 기술적 이익을 예시하기 위한 그래프 (550) 의 실시예의 도면이다. 그래프 (550) 는 RF 생성기의 주파수 대비 반사 계수를 플롯팅한다. 반사 계수는 RF 발생기를 향해 반사되는 전력의 척도이다. 그래프 (550) 는 플롯 (552), 플롯 (554), 플롯 (556), 플롯 (558) 을 포함한다. 몇 가지 실시예에서, 반사 계수는 플라즈마 챔버 (108) (도 1c) 로부터 RF 생성기, 예를 들어 x MHz RF 생성기, 또는 y MHz RF 생성기, 또는 z MHz RF 생성기를 향해 반사된 RF 신호의 양을 나타낸다. 예를 들어, 반사 계수는 반사된 전력의 진폭과 순방향 전력의 진폭과 같다. 순방향 전력은 RF 생성기에 의해 임피던스 매칭 회로를 통해 플라즈마 챔버 (108) 로 공급되는 전력이다.

[0120] 플롯 (552) 은 RF 생성기의 Fmin 작동 주파수와 Fmax 작동 주파수 사이인 f1 MHz의 RF 생성기 동작의 주파수에 대해 반사 계수가 0 또는 0에 가까울 때를 플롯팅한다. 또한, 플롯 (554) 은 상태 S(n-N) 동안 반사 계수가 최소인 파라미터 값들이 상태 S(n) 동안 사용될 때를 플롯팅한다. 예를 들어, 상태 S1 동안 도 1a의 임피던스 매칭 회로 (106) 의 직렬 회로 (102) 와 션트 회로 (104) (도 1a) 의 커패시턴스 값들은 CA1과 CA2이다. 커패시턴스 값 CA1과 CA2들이 상태 S2 동안 사용될 때, x MHz RF 생성기의 출력부 (136) 에서 반사 계수는 플롯 (554) 에 나타난 것과 같다. 플롯 (554) 의 반사 계수는 참조 번호 (560) 에 의해 예시된 미리 결정된 레벨보다 크다는 점에 주목해야 한다. 예를 들어, 플롯 (554) 의 최소는 미리 결정된 레벨 (560) 보다 크다.

[0121] 플로우차트 (400) 에서 예시된 방법들 또는 도 1a 내지 도 1c를 사용하여 예시된 방법들 또는 도 5a 또는 이하에 기술된 도 6을 사용하여 예시된 방법들이 적용될 때, RF 생성기의 출력부에서 반사 계수는 상태 S(n-N) 동안 (556) 로 플롯팅되고 상태 S(n) 동안 (558) 로 플롯팅된다. 예를 들어, 직렬 회로 (102) 의 파라미터 값이 CA3 이고 션트 회로 (104) 의 파라미터 값이 CA4일 때, 상태 S(n-N)에 대해 플롯 (556) 에 의해 예시된 것처럼 반사 계수가 달성되고, 상태 S(n)에 대해 플롯 (558) 에 의해 예시된 것처럼 반사 계수가 달성된다. 플롯 (556) 이 x MHz RF 생성기와 같은 RF 생성기의 주파수 f2에서 절대 최소값 등과 같은 최소값을 갖고, 플롯 (558) 이 RF 생성기의 주파수 f3에서 절대 최소값 등과 같은 최소값을 갖는 것을 주목해야 한다. 플롯 (556) 과 (558) 의 최소값들은 미리 결정된 한계 (560) 보다 작고 서로 미리 결정된 문턱값 (562) 내에 있고, 이는 반사 계수 값들의 범위이다. 주파수 값 f2와 f3들은 주파수 값들 Fmin과 Fmax 사이에 있다.

[0122] 몇 가지 실시예에서, 반사 전력을 측정하는 대신, 순방향 전력과 반사 전력은 본 명세서에서 기술된 것과 같이 센서에 의해 측정된다. 순방향 전력과 반사 전력은 반사 계수를 산출하도록 센서에 의해 프로세서 (116) 로 제공된다. 또한, 위에서 예시한 반사 전력에 적용 가능한 어느 정보이든, 반사 계수에 적용이 가능하다. 예를 들어, 반사 전력의 미리 결정된 레벨 대신, 미리 결정된 레벨은 반사 계수의 미리 결정된 레벨이다. 다른 예로서, 반사 전력의 미리 결정된 문턱값 대신, 미리 결정된 문턱값은 반사 계수의 미리 결정된 문턱값이다. 다른 예로서, 반사 결정의 미리 결정된 범위 대신, 미리 결정된 범위는 반사 계수의 미리 결정된 범위이다. 또 다른 예로서, 반사 전력의 미리 결정된 한계 대신, 미리 결정된 한계는 반사 계수의 미리 결정된 한계이다.

[0123] 도 6은 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 변수의 값들이 최소인 하나 이상의 파라미터들의 값들을 결정하기 위한 머신 러닝 네트워크 (machine learning network) (600) 의 실시예의 도면이다. 머신 러닝 네트워크 (600) 의 예들은, 인간 뇌를 모델로 한 컴퓨터 시스템, 인간 뇌를 모델로 한 컴퓨터 네트워크 등을 포함한다. 하나 이상의 파라미터들의 값, 예를 들어 본 명세서에 기술된 임피던스 매칭 회로의 Cseries, 인덕턴스 등은, 예를 들어 마우스, 키보드, 버튼, 터치스크린 등의 입력 디바이스를 통해 입력으로서 수신되고, 그리고 임피던스 매칭 회로의 Cshunt 또는 인덕턴스 등의 다른 파라미터의 값은 머신 러닝 네트워크 (600) 에 의해 다른 입력으로서 수신된다. 머신 러닝 네트워크 (600) 는 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 반사 전력 값들과 같은 변수의 값들을 출력으로서 계산하도록 입력으로서 수신된 값들을 프로세싱한다. 또한, 머신 러닝 네트워크 (600) 는 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 변수의 값들이 최소인지 결정한다. 상태 S(n-N) 동안 변수의 값들이 최소가 아닌 경우, 머신 러닝 네트워크 (600) 는 입력으로 수신된 파라미터들의 값들을 변경하도록 역전파를 수행하고 난 다음 상태 S(n-N) 내지 S(n) 동안 변수의 값들이 최소인지 다시 결정한다. 머신 러닝 네트워크 (600) 는 변수의 값들이 최소인 하나 이상의 파라미터들의 값들을 찾도록 변수의 값들이 최소일 때까지 계속해서 앞뒤로 반복한다.

[0124] 본 명세서에 기술된 실시예들은 휴대용 하드웨어 유닛들, 마이크로프로세서 시스템, 마이크로프로세서 기반 또는 프로그래밍 가능한 가전제품, 미니컴퓨터, 메인프레임 컴퓨터 등을 포함하는 다양한 컴퓨터 시스템 구성과 함께 실시될 수도 있다. 실시예들은 또한 네트워크를 통해 링크된 원격 프로세싱 하드웨어 유닛들에 의해 동작이 수행되는 분산된 컴퓨터 환경에서도 실시 가능하다.

[0125] 몇 가지 실시예에서, 제어기는 위에서 기술한 예시들의 부분일 수도 있는 시스템의 일부이다. 이러한 시스템들은 프로세싱 툴 또는 툴들, 챔버 또는 챔버들, 프로세싱을 위한 플랫폼 또는 플랫폼들 그리고/또는 특정한 프로세싱 컴포넌트들 (웨이퍼 페데스탈 (pedestal), 가스 플로우 시스템 등) 을 포함하는 반도체 프로세싱 장비를 포함한다. 이들 시스템들은 반도체 웨이퍼나 기판의 프로세싱 이전, 도중, 이후 동작을 제어하는 전자 장치들과 통합된다. 시스템 또는 시스템들의 다양한 컴포넌트들 또는 하위부분들을 제어할 수도 있는 이 전자 장치를 “제어기” 라고 한다. 프로세싱 요구사항들 그리고/또는 시스템 유형에 따른 제어기는, 본 명세서에서 개시된 임의의 프로세스들을 제어하도록 프로그램되고, 프로세스 가스들의 전달, 온도 설정 (예를 들어, 가열 및/또는 냉각), 압력 설정, 진공 설정, 전력 설정, RF 생성기 설정, RF 매칭 회로 설정, 주파수 설정, 플로우 레이트 설정, 유체 전달 설정, 위치 및 동작 설정 등을 포함하며, 웨이퍼는 툴의 내부 및 외부로 이동하고 다른 이동 툴들 그리고/또는 로드록들은 시스템과 연결되거나 접속되어 있다.

[0126] 일반적으로 말하면, 다양한 실시예들에서 제어기는 인스트럭션들 (instructions) 을 수신하고, 인스트럭션들을 발행하고, 동작을 제어하고, 세정 동작들을 가능하게 하고, 엔드포인트 측정을 가능하게 하는 것과 같은 다양한 집적 회로들, 로직, 메모리, 그리고/또는 소프트웨어를 가지는 전자 장치로 규정된다. 집적 회로들은 프로그램 인스트럭션들을 저장하는 펌웨어 형태의 칩들, 디지털 신호 프로세서들 (Digital Signal Processors), ASICs, PLDs로 규정되는 칩들, 그리고/또는 프로그램 인스트럭션들 (예를 들어, 소프트웨어) 을 실행하는 하나 이상의 마이크로프로세서들 (microprocessors), 또는 마이크로컨트롤러들 (microcontrollers) 을 포함한다. 프로그램 인스트럭션들은 반도체 웨이퍼 상 또는 반도체 웨이퍼에 대해 특정한 프로세스를 수행하기 위한 동작

파라미터들을 규정하는 다양한 개별 설정들의 형태로 (또는 프로그램 파일들) 제어기 또는 시스템에 전달되는 인스트럭션들이다. 동작 파라미터들은 몇 가지 실시예에서 하나 이상의 층들, 재료들, 금속들, 산화물들, 실리콘, 이산화실리콘, 표면들, 회로들, 그리고/또는 웨이퍼 다이들의 제작 동안 하나 이상의 프로세싱 단계를 달성하기 위해, 프로세스 엔지니어들에 의해 규정된 레시피의 일부이다.

[0127] 제어기는 몇 가지 실시예에서 시스템과 통합되거나 시스템과 커플링되거나, 그렇지 않으면 시스템에 네트워크로 연결되거나, 그것들의 조합인 컴퓨터와 커플링되거나 컴퓨터의 일부이다. 예를 들어, 제어기는 "클라우드" 내에 있거나 웨이퍼 프로세싱의 원격 액세스를 허용하는 fab 호스트 컴퓨터 시스템의 전부 또는 일부이다. 컴퓨터는 제조 동작들의 현재 진행을 모니터하도록 시스템에 원격 액세스를 가능하게 하고, 현재 프로세싱의 파라미터를 변경하고, 현재 프로세싱을 따라 프로세싱 단계를 설정하고, 또는 새로운 프로세스를 시작하도록 과거 제조 동작들의 이력을 검사하고, 복수의 제조 동작에서 경향 또는 성능 메트릭을 검사한다.

[0128] 몇 가지 실시예에서, 원격 컴퓨터 (예를 들어, 서버) 는 로컬 네트워크 또는 인터넷을 포함하는 네트워크를 통해 시스템에 프로세스 레시피를 제공한다. 원격 컴퓨터는 파라미터들 그리고/또는 설정들의 입력 또는 프로그래밍을 가능하게 하는 사용자 인터페이스를 포함하고, 파라미터들 또는 설정들은 원격 컴퓨터에서 시스템에 전달된다. 몇 가지 예에서, 제어기는 하나 이상의 동작 동안 수행될 프로세싱 단계들 각각에 대한 파라미터들을 명시하는 데이터 형태의 인스트럭션을 수신한다. 파라미터들이 수행될 프로세스의 유형 및 제어기가 인터페이스하거나 하도록 구성되는 툴의 유형에 특정된다는 것을 이해해야 한다. 따라서 위에 기술된 것과 같이, 제어기는 본 명세서에서 기술된 프로세스들 및 제어들과 같이 공동의 목적을 향해 작용하고 함께 네트워크로 커플링되어 있는 하나 이상의 별개의 제어기를 포함함으로써 분산된다. 이러한 목적을 위한 분산된 제어기의 예는 챔버의 프로세스를 제어하기 위해 결합한 (플랫폼 레벨 또는 원격 컴퓨터의 일부와 같은) 이격되어 위치한 하나 이상 집적회로들과 통신하는 챔버 상의 하나 이상 집적 회로들을 포함한다.

[0129] 비한정적으로, 다양한 실시예들에서, 예시적인 시스템들은 플라즈마 에칭 챔버 또는 모듈, 증착 챔버 또는 모듈, 스핀-린스 챔버 또는 모듈, 금속 도금 챔버 또는 모듈, 세정 챔버 또는 모듈, 베벨 에지 에칭 챔버 또는 모듈, 물리적 기상 증착 (PVD : Physical Vapor Deposition) 챔버 또는 모듈, 화학적 기상 증착 (CVD : Chemical Vapor Deposition) 챔버 또는 모듈, 원자층 증착 (ALD : Atomic Layer Deposition) 챔버 또는 모듈, 원자층 에칭 (ALE : Atomic Layer Etch) 챔버 또는 모듈, 이온 주입 챔버 또는 모듈, 트랙 챔버 또는 모듈, 및 반도체 웨이퍼들의 제조 그리고/또는 제작에 사용되거나 연관되는 임의의 다른 반도체 프로세싱 시스템들을 포함한다.

[0130] 몇 가지 실시예에서, 위에서 기술된 동작들은 여러 유형들의 플라즈마 챔버들, 예를 들어 유도 결합 플라즈마 (ICP : Inductively Coupled Plasma) 반응기, 플라즈마 챔버와 결합한 변압기, 용량 결합 플라즈마 반응기, 전도체 툴들, 유전체 툴들, 전자 사이클로트론 공명 (ECR : Electron Cyclotron Resonance) 반응기 등에 적용되는 것에 더 주목해야 한다. 예를 들어, 하나 이상 RF 생성기들은 ICP 반응기 내 인덕터와 커플링되어 있다. 인덕터 형상의 예들은 솔레노이드, 돔 형상 코일, 평평한 형상 코일 등을 포함한다.

[0131] 다양한 실시예에서, RF 전송 선 (128) (도 1a 내지 도 1c) 은 척 (110) 대신 상부 전극 (114) 과 커플링되어 있고, 척 (110) 은 접지와 커플링되어 있다.

[0132] 상기 언급한 것과 같이, 툴에 의해 수행되는 프로세스 단계 또는 단계들에 따라, 반도체 제조 공장 내 제어기는 하나 이상의 다른 툴 회로들 또는 모듈들, 다른 툴 컴포넌트들, 클러스터 툴들, 다른 툴 인터페이스들, 인접한 툴들, 이웃한 툴들, 공장 전체에 위치한 툴들, 메인 컴퓨터, 또 다른 제어기, 또는 툴 위치들 및/또는 로드 포트들로 및 로드 포트들로부터 웨이퍼의 컨테이너들을 가져오는 재료 수송에 사용된 툴들과 통신한다.

[0133] 위의 실시예들을 염두에 두고, 실시예 중 몇 가지는 컴퓨터 시스템에 저장된 데이터를 포함하는 다양한 컴퓨터 구현 동작을 채용하는 것을 이해해야 한다. 이러한 동작들은 물리적으로 물리적 양들을 조작하는 것이다. 본 명세서에서 기술한 실시예들의 일부를 형성하는 어느 동작들이든 유용한 기계 동작이다.

[0134] 실시예 중 몇 가지는 또한 이 동작들을 수행하기 위한 하드웨어 유닛이나 장치를 포함한다. 장치는 특수 목적 컴퓨터로 특별히 제작되었다. 특수 목적 컴퓨터로 규정될 때, 컴퓨터는 여전히 특수 목적을 위해 동작할 수 있는 동안 특수 목적의 일부가 아닌 다른 프로세싱, 프로그램 실행 또는 루틴을 수행한다.

[0135] 몇 가지 실시예에서, 동작은 컴퓨터 메모리, 캐시에 저장되거나 컴퓨터 네트워크를 통해 획득된 하나 이상의 컴퓨터 프로그램에 의해 선택적으로 활성화되거나 구성된 컴퓨터에 의해 프로세스될 수도 있다. 컴퓨터 네트워크를 통해 데이터를 획득할 때, 데이터는 컴퓨터 네트워크 상의 컴퓨팅 리소스 클라우드와 같은 다른 컴퓨터들에

의해 프로세스될 수도 있다.

[0136] 하나 이상의 실시예들은 비일시적인 컴퓨터 판독가능 매체 상에서 컴퓨터 판독가능 코드로 제조될 수 있다. 비일시적인 컴퓨터 판독가능 매체는 이후 컴퓨터 시스템 판독 가능 데이터를 저장하는 메모리 디바이스 등과 같은 임의의 데이터 저장 하드웨어 장치이다. 비일시적인 컴퓨터 판독가능 매체의 예들은, 하드 드라이브, NAS (Network Attached Storage), ROM, RAM, 컴팩트 디스크-ROM (CD-ROM), CD-Rs (CD-Recordables), CD-RWs (CD-Rewritables), 자기 테이프들 및 다른 광학 및 비광학 데이터 저장 하드웨어 유닛들을 포함한다. 몇 가지 실시예에서, 비일시적인 컴퓨터 판독가능 매체들은 네트워크로 커플링된 컴퓨터 시스템 상에 분산된 컴퓨터 판독가능 유형의 매체를 포함하여, 컴퓨터 판독가능 코드가 분산된 방식으로 저장되고 실행된다.

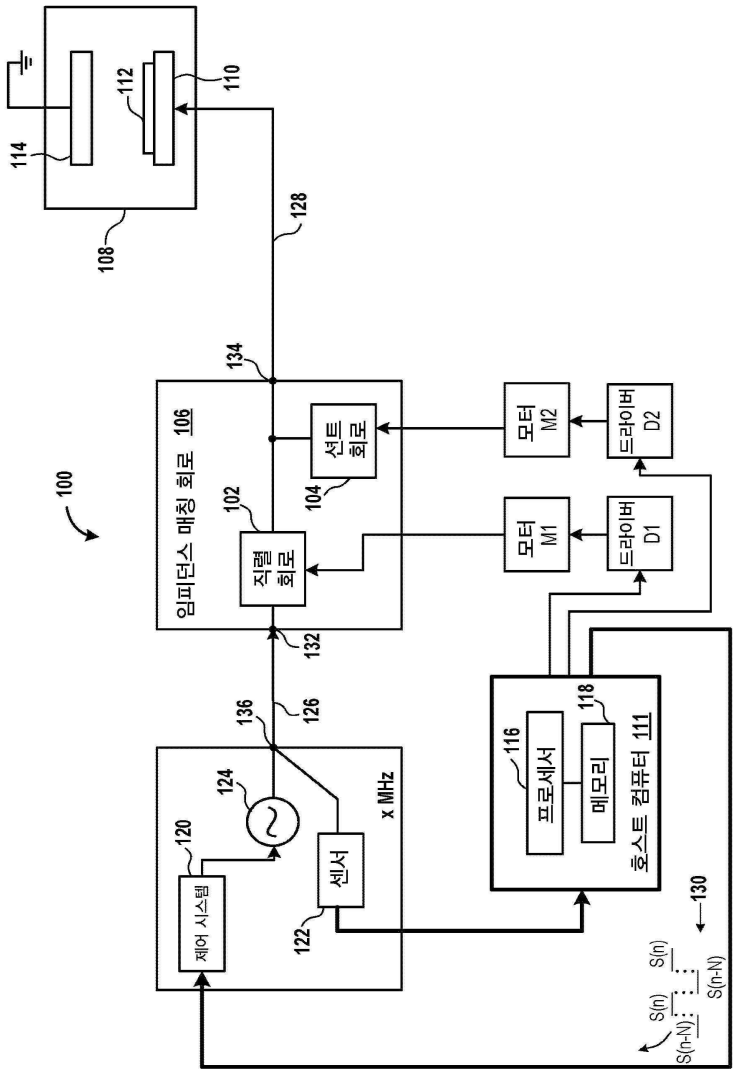
[0137] 상기 방법 동작들이 특정 순서로 기술되었지만, 다양한 실시예에서, 다른 하우스키핑 동작들이 동작 사이에 수행되거나 방법 동작들이 조정되어, 그것들이 약간 다른 시간에 발생하거나 다양한 인터벌에서 방법 동작들의 발생을 허용하는 시스템 내에서 분산되거나, 상기 기술한 것과 다른 순서대로 수행되는 것을 이해해야 한다.

[0138] 실시예에서, 상기 기술한 임의의 실시예의 하나 이상의 피처들은 본 개시에서 기술한 다양한 실시예에서 기술한 범위에서 벗어나지 않고 임의의 다른 실시예의 피처들과 결합되는 것에 더 주목해야 한다.

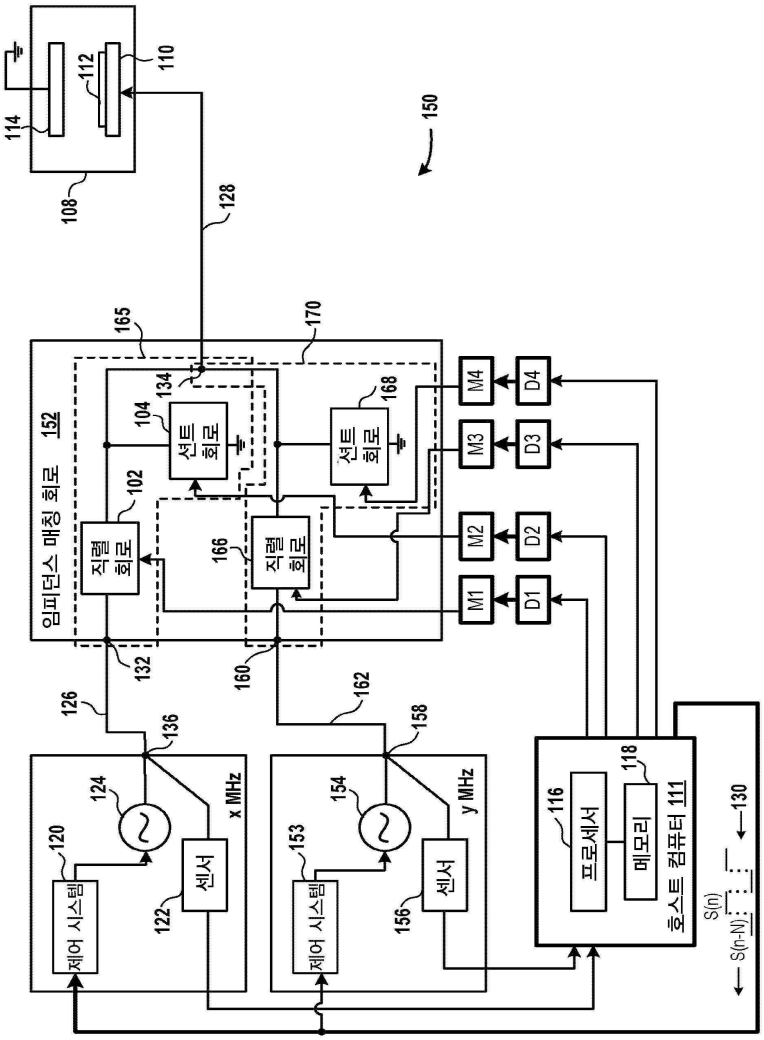
[0139] 전술한 실시예들이 이해의 명확성을 위한 목적으로 다소 자세하게 기술되었지만, 첨부된 청구항들의 범위 내에서 특정한 변경 및 수정이 실시될 수 있는 것이 자명할 것이다. 따라서, 본 실시예들은 예시가 되고 제한하지 않는 것으로 간주되어야 하며, 실시예들은 본 명세서에 주어진 세부 사항들에 한정되는 것은 아니고, 첨부된 청구항들의 범위와 등가물 내에서 수정될 수도 있다.

도면

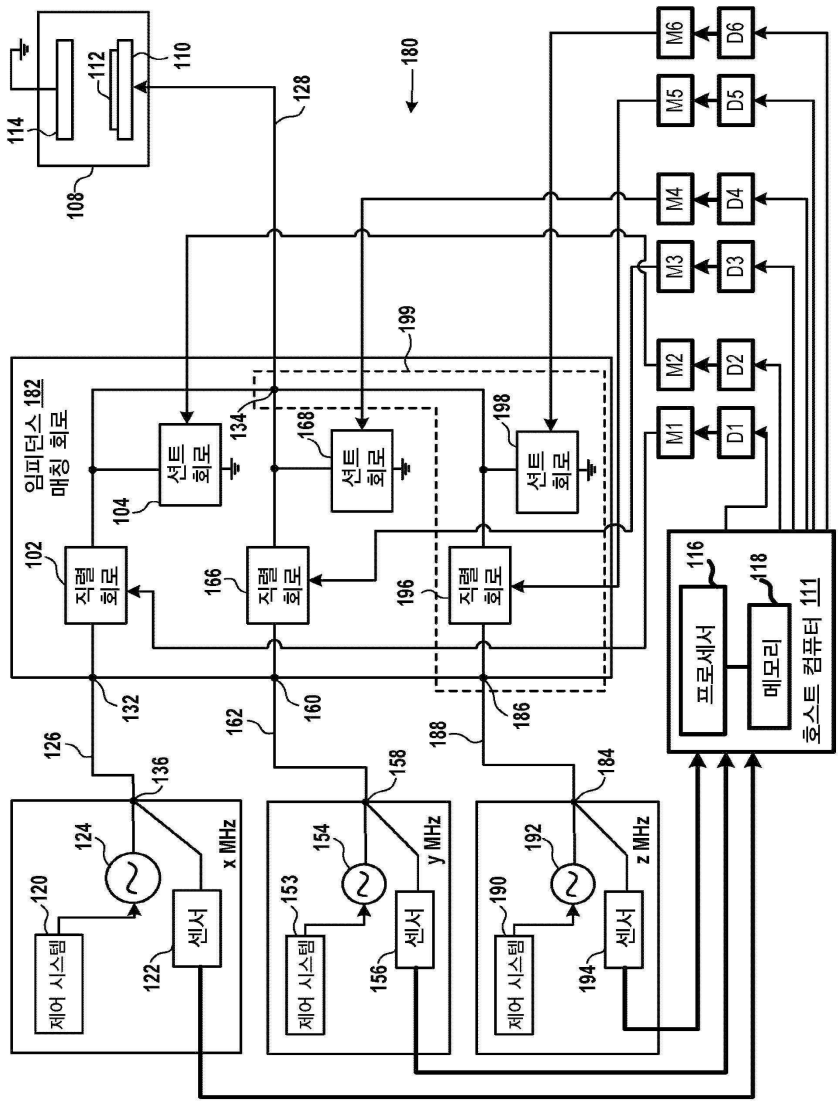
도면1a


100
108
110
112
114
128
134
임피던스 매칭 회로 106
102
직렬 회로
104
션트 회로
132
126
136
124
120
제어 시스템
x MHz
센서
122
모터 M1
드라이버 D1
모터 M2
드라이버 D2
116
프로세서
118
메모리
호스트 컴퓨터 111
130
S(n)
S(n-N)

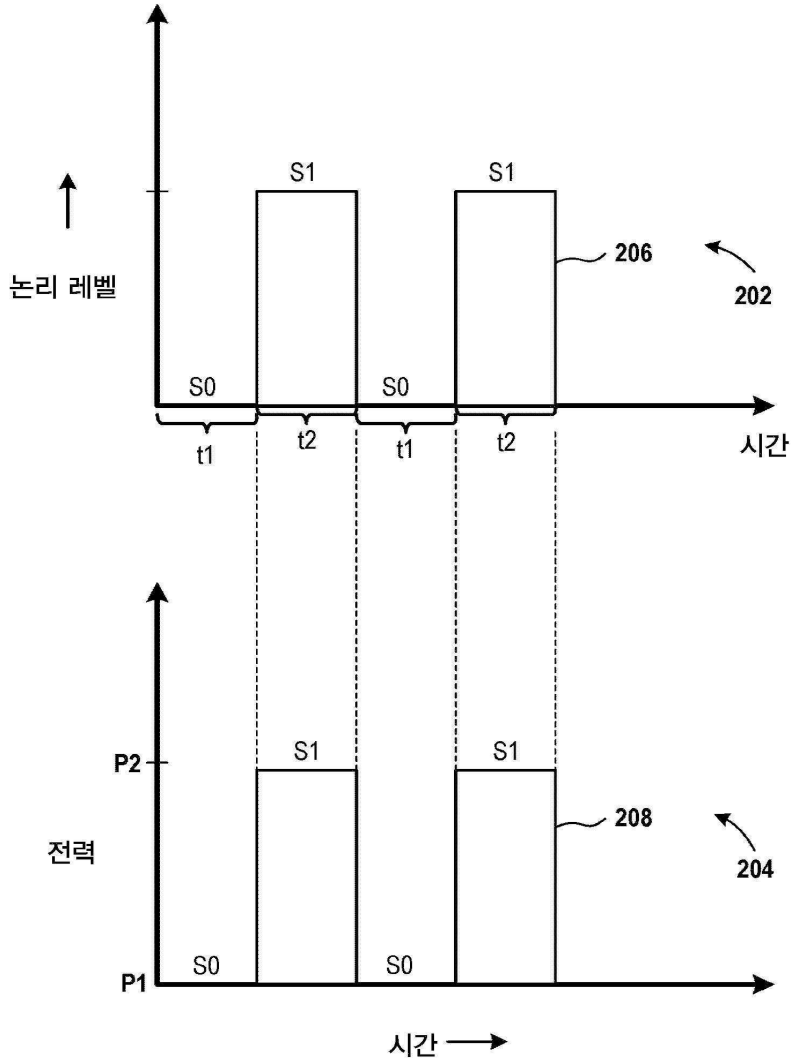
도면1b


150
128
108
110
112
114
165
170
임피던스 매칭 회로 152
134
104
션트 회로
102
직렬 회로
166
직렬 회로
168
션트 회로
M4
M3
M2
M1
D4
D3
D2
D1
132
160
162
126
136
158
124
120
제어 시스템
센서
122
x MHz
154
153
제어 시스템
센서
156
y MHz
116
프로세서
118
메모리
호스트 컴퓨터 111
130
S(n)
S(n-N)

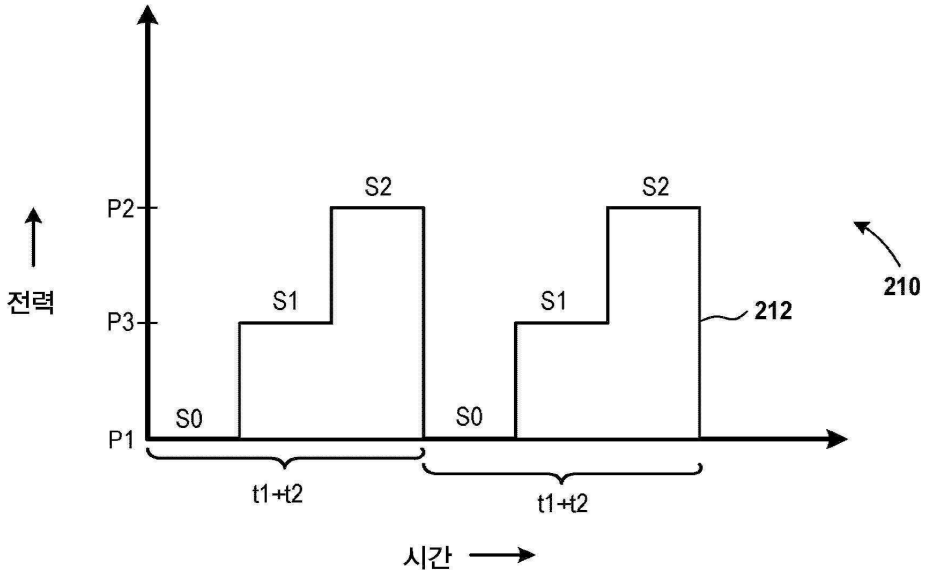
도면1c


180
110
112
114
108
128
199
임피던스 182
매칭 회로
션트 회로
션트 회로
션트 회로
직렬 회로
직렬 회로
직렬 회로
104
134
168
198
102
166
196
132
160
186
126
162
188
136
158
184
x MHz
y MHz
z MHz
제어 시스템
센서
제어 시스템
센서
제어 시스템
센서
120
124
122
153
154
156
190
192
194
M6
M5
M4
M3
M2
M1
D6
D5
D4
D3
D2
D1
116
118
프로세서
메모리
호스트 컴퓨터 111

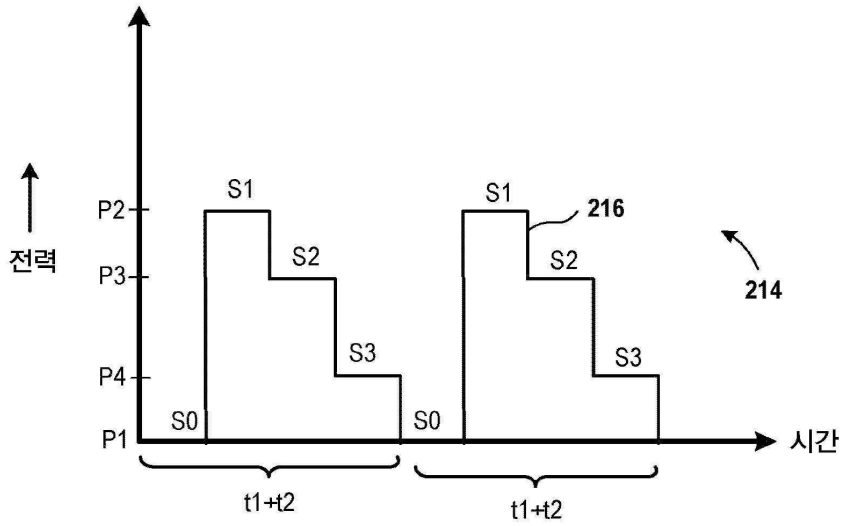
도면2a


논리 레벨
S1
S1
206
202
S0
S0
t1
t2
t1
t2
시간
전력
P2
P1
S1
S1
208
204
S0
S0
시간

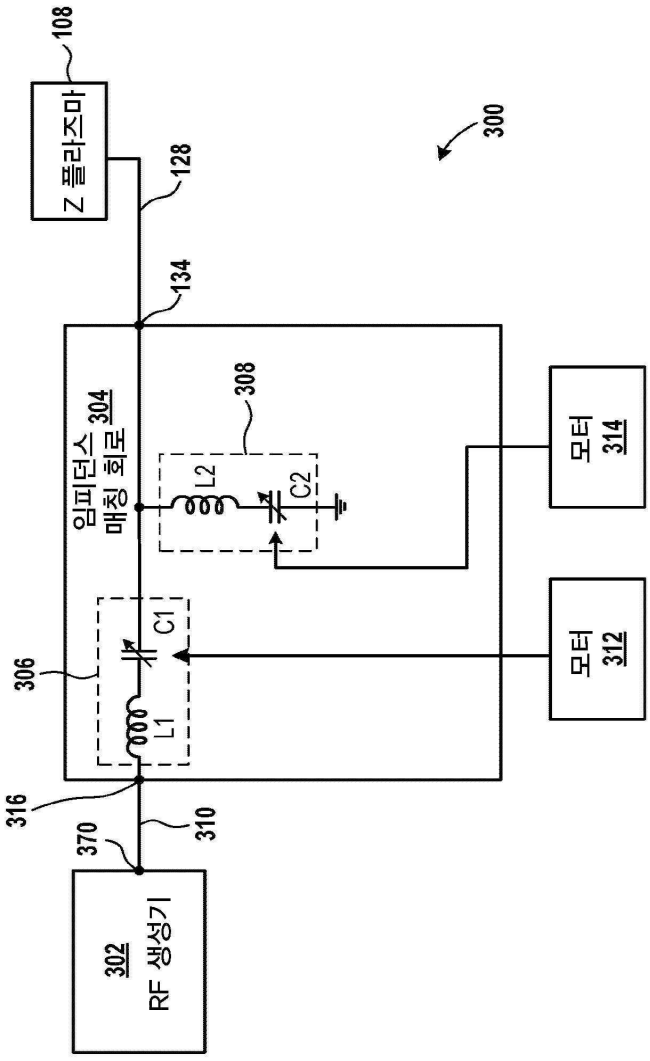
도면2b


전력
P2
P3
P1
S2
S2
S1
S1
210
212
S0
S0
t1+t2
t1+t2
시간

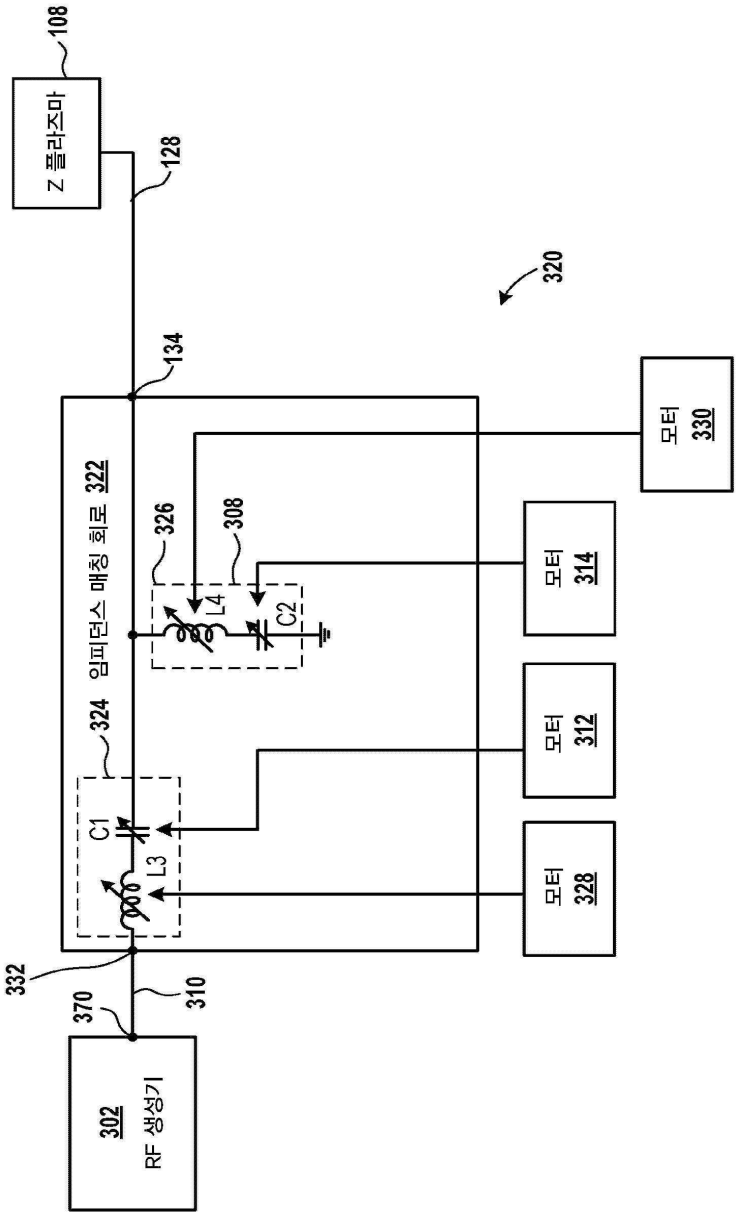
도면2c


전력
P2
P3
P4
P1
S1
S2
S3
S0
S1
S2
S3
S0
216
214
시간
t1+t2
t1+t2

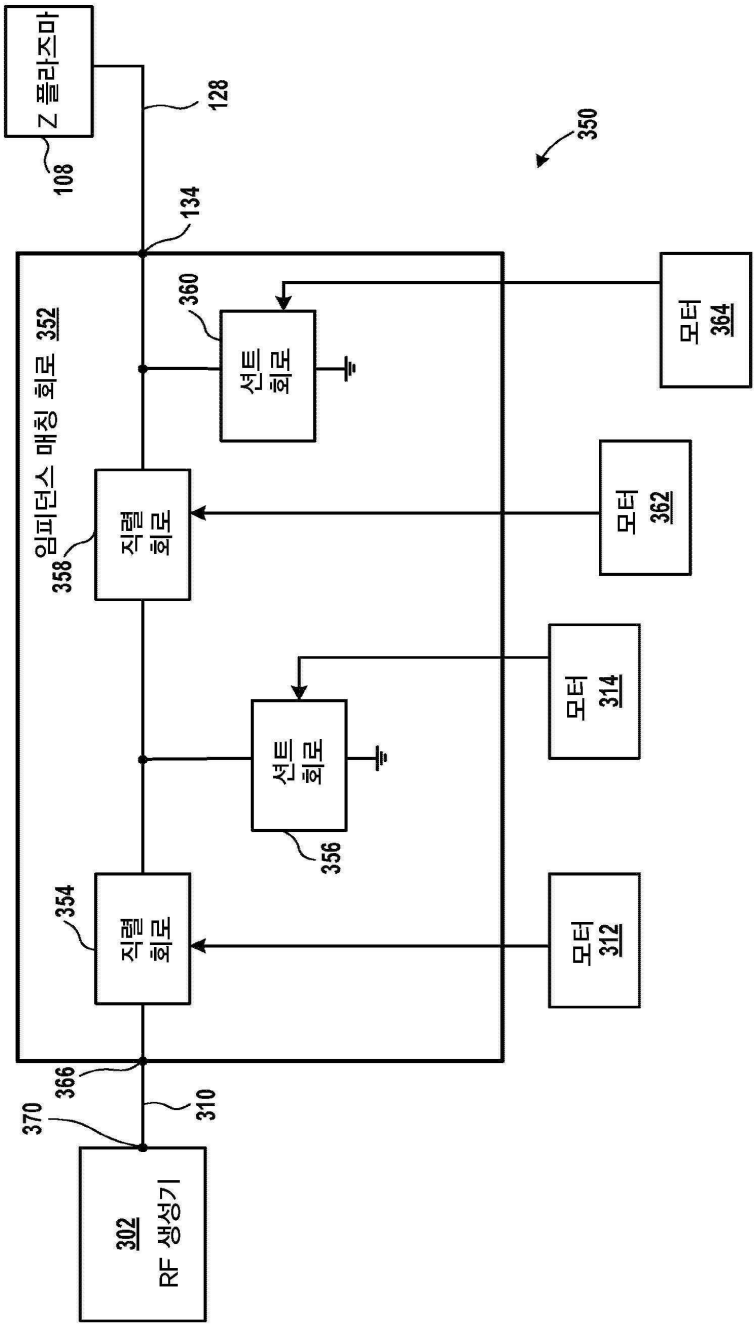
도면3a


108
Z 플라즈마
300
128
134
임피던스 매칭 회로 304
308
L2
C2
모터 314
모터 312
306
C1
L1
316
370
310
302 RF 생성기

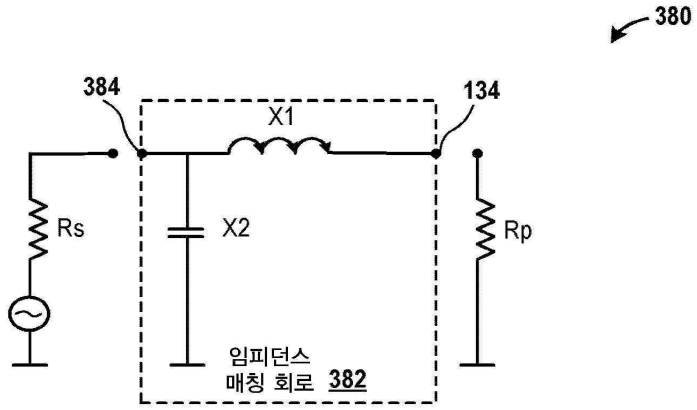
도면3b


108
Z 플라즈마
128
320
134
임피던스 매칭 회로 322
326
308
L4
C2
324
C1
L3
332
370
310
302
RF 생성기
모터 330
모터 314
모터 312
모터 328

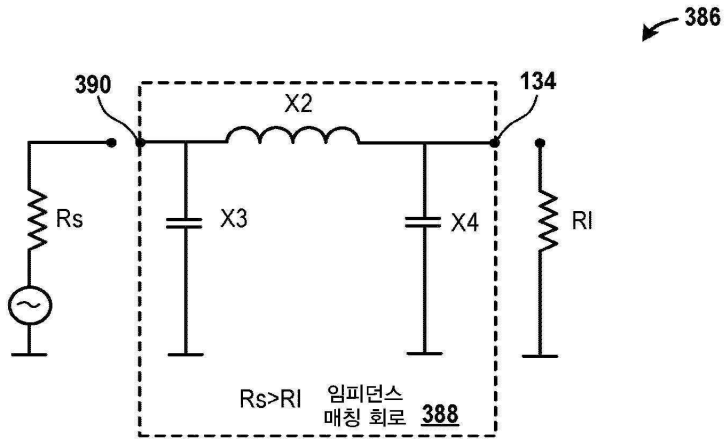
도면3c


Z 플라즈마
108
128
350
134
임피던스 매칭 회로 352
360
션트 회로
모터 364
직렬 회로
358
모터 362
모터 314
션트 회로
356
직렬 회로
354
모터 312
366
370
310
302 RF 생성기

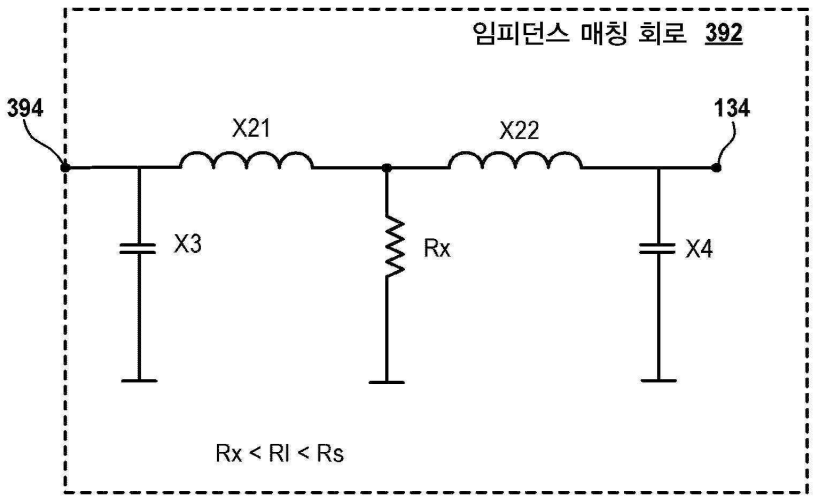
도면3d



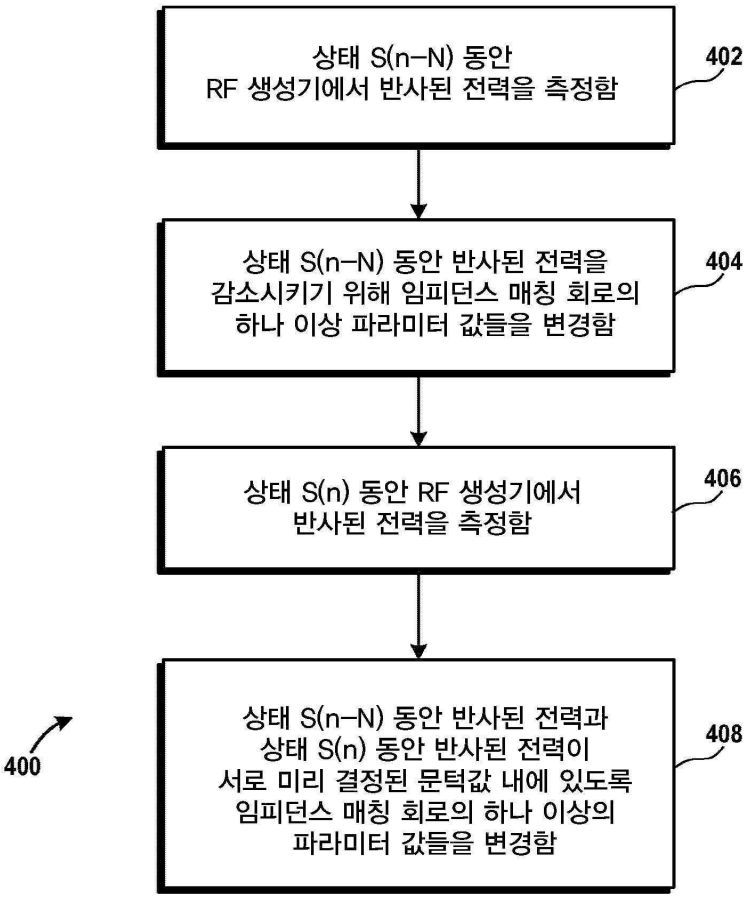
도면3e



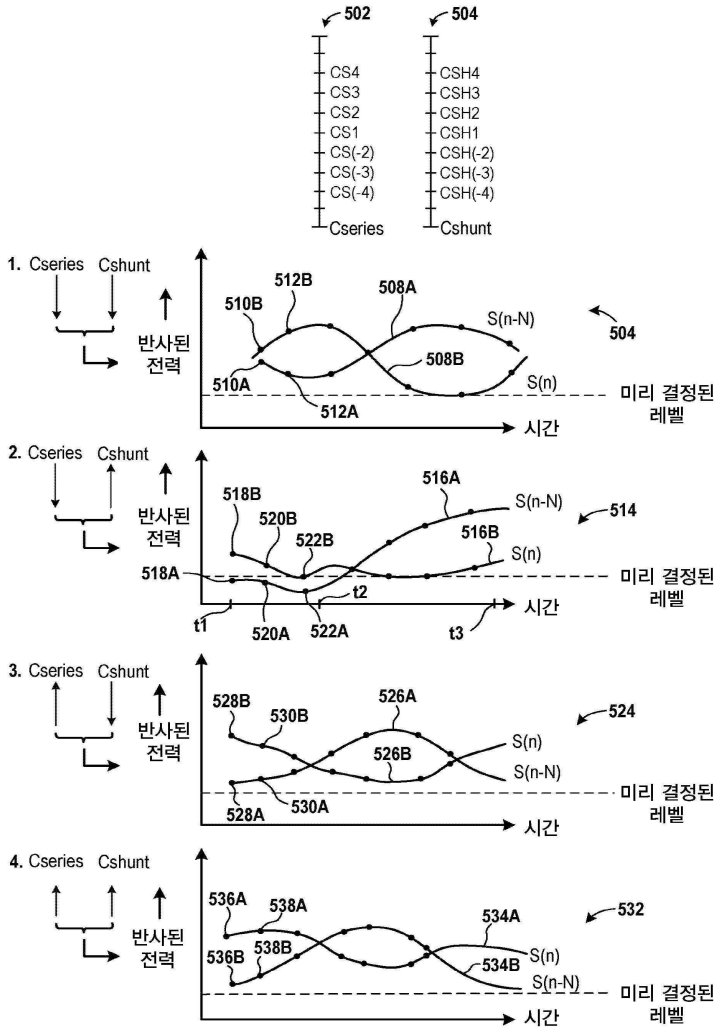
도면3f



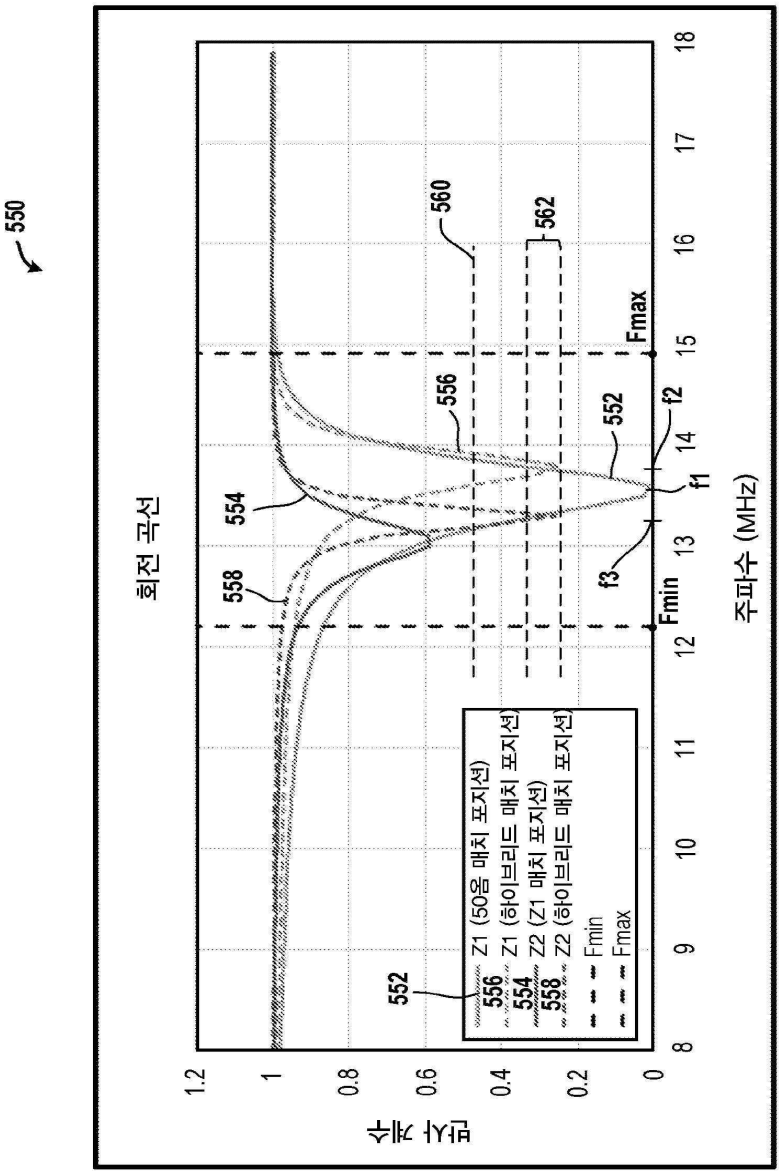
도면4


상태 S(n-N) 동안
RF 생성기에서 반사된 전력을 측정함
402
상태 S(n-N) 동안 반사된 전력을
감소시키기 위해 임피던스 매칭 회로의
하나 이상 파라미터 값들을 변경함
404
상태 S(n) 동안 RF 생성기에서
반사된 전력을 측정함
406
상태 S(n-N) 동안 반사된 전력과
상태 S(n) 동안 반사된 전력이
서로 미리 결정된 문턱값 내에 있도록
임피던스 매칭 회로의 하나 이상의
파라미터 값들을 변경함
408
400

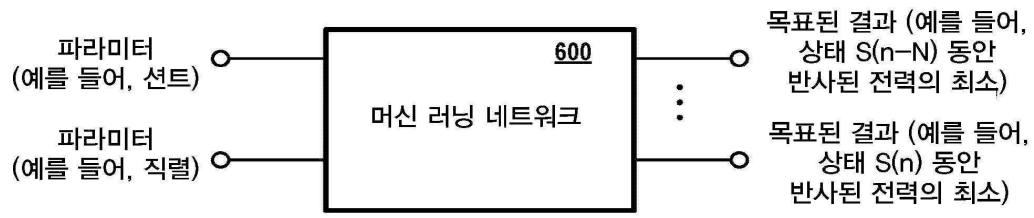
도면5a


502
504
CS4
CS3
CS2
CS1
CS(-2)
CS(-3)
CS(-4)
Cseries
CSH4
CSH3
CSH2
CSH1
CSH(-2)
CSH(-3)
CSH(-4)
Cshunt
1. Cseries Cshunt
반사된 전력
510B
512B
508A
S(n-N)
504
508B
510A
S(n)
512A
미리 결정된 레벨
시간
2. Cseries Cshunt
반사된 전력
518B
516A
S(n-N)
514
520B
522B
516B
S(n)
518A
미리 결정된 레벨
t2
시간
t1
520A
522A
t3
3. Cseries Cshunt
반사된 전력
528B
530B
526A
524
S(n)
526B
S(n-N)
미리 결정된 레벨
528A
530A
시간
4. Cseries Cshunt
반사된 전력
536A
538A
534A
532
538B
536B
S(n)
534B
S(n-N)
미리 결정된 레벨
시간

도면5b


550
회전 곡선
반사 계수
주파수 (MHz)
552
554
556
558
560
562
Fmax
Fmin
f1
f2
f3
Z1 (50옴 매치 포지션)
Z1 (하이브리드 매치 포지션)
Z2 (Z1 매치 포지션)
Z2 (하이브리드 매치 포지션)
Fmin
Fmax

도면6


파라미터
(예를 들어, 션트)
파라미터
(예를 들어, 직렬)
600
머신 러닝 네트워크
목표된 결과 (예를 들어,
상태 S(n-N) 동안
반사된 전력의 최소)
목표된 결과 (예를 들어,
상태 S(n) 동안
반사된 전력의 최소)