(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0149225
(43) 공개일자 2021년12월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 37/32 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01J 37/32183 (2013.01)
H01J 37/32146 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-7038919
(22) 출원일자(국제) 2020년04월24일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2021년11월26일
(86) 국제출원번호 PCT/US2020/029900
(87) 국제공개번호 WO 2020/223129
국제공개일자 2020년11월05일
(30) 우선권주장
62/840,335 2019년04월29일 미국(US)

(71) 출원인
램 리써치 코포레이션
미국 94538 캘리포니아주 프레몬트 쿠싱 파크웨이 4650
(72) 발명자
우, 잉
미국, 94538 캘리포니아, 프레몬트, 쿠싱 파크웨이 4650
롱, 마오린
미국, 94538 캘리포니아, 프레몬트, 쿠싱 파크웨이 4650
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인인벤싱크

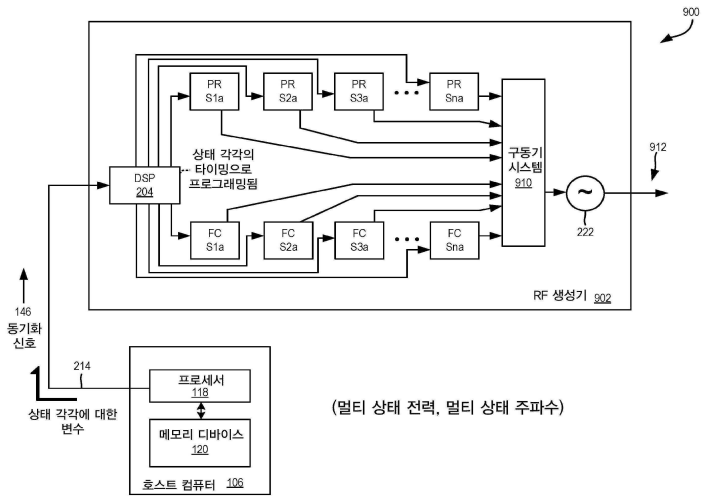
전체 청구항 수 : 총 55 항

(54) 발명의 명칭 **RF 플라즈마 툴들의 멀티 레벨 펄싱을 위한 시스템들 및 방법들**

(57) 요 약

멀티 레벨 펄싱을 위한 시스템들 및 방법들이 기술된다. 시스템들 및 방법들은 4 개 이상의 상태들을 생성하는 것을 포함한다. 4 개 이상의 상태들 각각 동안, RF (radio frequency) 생성기는 RF 신호를 생성한다. RF 신호는 4 개 이상의 전력 레벨들을 갖고, 4 개 이상의 전력 레벨들 각각은 4 개 이상의 상태들에 대응한다. 멀티 레벨 펄싱은 기판 프로세싱에서 보다 정밀한 제어를 용이하게 한다.

대 표 도



(72) 발명자

드류어리, 존

미국, 94538 캘리포니아, 프레몬트, 쿠싱 파크웨이 4650

싱, 비크람

미국, 94538 캘리포니아, 프레몬트, 쿠싱 파크웨이 4650

명 세 서

청구범위

청구항 1

멀티 상태 플라즈마 임피던스를 생성하는 방법에 있어서,

주기적으로 반복되는 복수의 사이클들을 갖는 동기화 신호를 수신하는 단계;

제 1 무선 주파수 (radio frequency; RF) 생성기에 의해 제 1 RF 신호를 생성하는 단계로서, 상기 제 1 RF 신호는 상기 복수의 사이클들 중 하나 내에 적어도 2 개의 파라미터 레벨들을 포함하는, 상기 제 1 RF 신호를 생성하는 단계; 및

제 2 RF 생성기에 의해 제 2 RF 신호를 생성하는 단계로서, 상기 제 2 RF 신호는 상기 복수의 사이클들 중 상기 하나의 사이클 내에 적어도 3 개의 파라미터 레벨들을 포함하는, 멀티 상태 플라즈마 임피던스 생성 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

플라즈마 챔버의 제 1 전극에 커플링된 임피던스 매칭 네트워크에 상기 제 1 RF 신호를 공급하는 단계; 및

상기 플라즈마 챔버의 제 2 전극에 커플링된 임피던스 매칭 네트워크에 상기 제 2 RF 신호를 공급하는 단계를 더 포함하는, 멀티 상태 플라즈마 임피던스 생성 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 동기화 신호는 듀티 사이클을 갖는 디지털 펄싱된 신호이고, 상기 듀티 사이클은 상기 복수의 사이클들 동안 반복되는, 멀티 상태 플라즈마 임피던스 생성 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 동기화 신호는 상기 복수의 사이클들 동안 제 1 논리 레벨과 제 2 논리 레벨 사이에서 반복적으로 전이하고, 상기 제 1 논리 레벨은 상기 제 2 논리 레벨보다 큰, 멀티 상태 플라즈마 임피던스 생성 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 RF 신호의 상기 적어도 2 개의 파라미터 레벨들은 제 1 포지티브 파라미터 레벨 및 제 2 포지티브 파라미터 레벨을 포함하고, 상기 제 1 RF 신호의 상기 제 2 포지티브 파라미터 레벨은 상기 제 1 RF 신호의 상기 제 1 포지티브 파라미터 레벨보다 크고, 상기 제 2 RF 신호의 상기 적어도 3 개의 파라미터 레벨들은 0 파라미터 레벨, 제 1 포지티브 파라미터 레벨, 및 제 2 포지티브 파라미터 레벨을 포함하고, 상기 제 2 RF 신호의 상기 제 2 포지티브 파라미터 레벨은 상기 제 2 RF 신호의 상기 제 1 포지티브 파라미터 레벨보다 작은, 멀티 상태 플라즈마 임피던스 생성 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 RF 신호의 상기 적어도 2 개의 파라미터 레벨들 중 하나와 상기 제 2 RF 신호의 상기 적어도 3 개의 파라미터 레벨들 중 하나의 조합은 플라즈마 임피던스 상태를 규정하는, 멀티 상태 플라즈마 임피던스 생성 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 RF 신호의 상기 적어도 2 개의 파라미터 레벨들은 제 1 파라미터 레벨 및 제 2 파라미터 레벨을 포함하는 2 개의 파라미터 레벨들을 포함하고, 그리고 상기 제 2 RF 신호의 상기 적어도 3 개의 파라미터 레벨들은 제 1 파라미터 레벨, 제 2 파라미터 레벨, 및 제 3 파라미터 레벨을 포함하는 3 개의 파라미터 레벨들을 포함하고, 상기 제 1 RF 신호는 상기 복수의 사이클들 중 상기 하나의 사이클 동안 2 개의 전이 시간들에서 상기 제 1 파라미터 레벨과 상기 제 2 파라미터 레벨 사이에서 전이하고, 상기 제 2 RF 신호는 상기 복수의 사이클들 중 상기 하나의 사이클 동안 3 개의 전이 시간들에서 상기 제 1 파라미터 레벨, 상기 제 2 파라미터 레벨, 및 상기 제 3 파라미터 레벨 사이에서 전이하고, 여기서 상기 제 2 RF 신호의 상기 3 개의 전이 시간들 중 적어도 하나는 멀티 상태 플라즈마 임피던스를 생성하기 위한 상기 제 1 RF 신호의 상기 2 개의 전이 시간들 중 적어도 하나와 상이한, 멀티 상태 플라즈마 임피던스 생성 방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 RF 신호의 상기 적어도 2 개의 파라미터 레벨들은 제 1 파라미터 레벨 및 제 2 파라미터 레벨을 포함하는 2 개의 파라미터 레벨들을 포함하고, 그리고 상기 제 2 RF 신호의 상기 적어도 3 개의 파라미터 레벨들은 0 파라미터 레벨, 제 2 파라미터 레벨, 및 제 1 파라미터 레벨을 포함하는 3 개의 파라미터 레벨들을 포함하고, 상기 방법은,

상기 복수의 사이클들 중 상기 하나의 사이클 동안 제 1 전이 시간에 상기 제 1 RF 신호를 상기 제 2 파라미터 레벨로부터 상기 제 1 파라미터 레벨로 전이하는 단계;

상기 복수의 사이클들 중 상기 하나의 사이클 동안 제 2 전이 시간에 상기 제 1 RF 신호를 상기 제 1 파라미터 레벨로부터 상기 제 2 파라미터 레벨로 전이하는 단계;

상기 복수의 사이클들 중 상기 하나의 사이클 동안 제 3 전이 시간에 상기 제 2 RF 신호를 상기 제 1 파라미터 레벨로부터 상기 0 파라미터 레벨로 전이하는 단계;

상기 복수의 사이클들 중 상기 하나의 사이클 동안 제 4 전이 시간에 상기 제 2 RF 신호를 상기 0 파라미터 레벨로부터 상기 제 2 파라미터 레벨로 전이하는 단계; 및

상기 복수의 사이클들 중 상기 하나의 사이클 동안 제 5 전이 시간에 상기 제 2 RF 신호를 상기 제 2 파라미터 레벨로부터 상기 제 1 파라미터 레벨로 전이하는 단계를 더 포함하고,

상기 제 1 전이 시간 및 상기 제 2 전이 시간 중 적어도 하나는 상기 멀티 상태 플라즈마 임피던스를 생성하기 위한 상기 복수의 사이클들 중 상기 하나의 사이클 동안 상기 제 3 전이 시간, 상기 제 4 전이 시간 및 상기 제 5 전이 시간 중 적어도 하나와 상이한, 멀티 상태 플라즈마 임피던스 생성 방법.

청구항 9

멀티 상태 플라즈마 임피던스를 생성하기 위한 제어기 시스템에 있어서,

제 1 RF 생성기의 제 1 프로세서로서, 상기 제 1 프로세서는 주기적으로 반복되는 복수의 사이클들을 갖는 동기화 신호를 수신하도록 구성되고,

상기 제 1 프로세서는 제 1 RF 신호를 생성하도록 상기 제 1 RF 생성기의 제 1 RF 전력 공급부를 제어하도록 구성되고, 상기 제 1 RF 신호는 상기 복수의 사이클들 중 하나의 사이클 내에 적어도 2 개의 파라미터 레벨들을 포함하는, 상기 제 1 프로세서; 및

제 2 RF 생성기의 제 2 프로세서로서, 상기 제 2 프로세서는 상기 동기화 신호를 수신하도록 구성되고,

상기 제 2 프로세서는 제 2 RF 신호를 생성하도록 상기 제 2 RF 생성기의 제 2 RF 전력 공급부를 제어하도록 구성되고, 상기 제 2 RF 신호는 상기 복수의 사이클들 중 상기 하나의 사이클 내에 적어도 3 개의 파라미터 레벨들을 포함하는, 제어기 시스템.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 제 1 RF 전력 공급부는 플라즈마 챔버의 제 1 전극에 커플링된 임피던스 매칭 네트워크에 상기 제 1 RF 신호를 공급하도록 구성되고, 상기 제 2 RF 전력 공급부는 상기 플라즈마 챔버의 제 2 전극에 커플링된 임피던스 매칭 네트워크에 상기 제 2 RF 신호를 공급하도록 구성되는, 제어기 시스템.

청구항 11

제 9 항에 있어서,

상기 동기화 신호는 듀티 사이클을 갖는 디지털 펄싱된 신호이고, 상기 듀티 사이클은 상기 복수의 사이클들 동안 반복되는, 제어기 시스템.

청구항 12

제 9 항에 있어서,

상기 동기화 신호는 상기 복수의 사이클들 동안 제 1 논리 레벨과 제 2 논리 레벨 사이에서 반복적으로 전이하고, 상기 제 1 논리 레벨은 상기 제 2 논리 레벨보다 큰, 제어기 시스템.

청구항 13

제 9 항에 있어서,

상기 제 1 RF 신호의 상기 적어도 2 개의 파라미터 레벨들은 제 1 포지티브 파라미터 레벨 및 제 2 포지티브 파라미터 레벨을 포함하고, 상기 제 1 RF 신호의 상기 제 2 포지티브 파라미터 레벨은 상기 제 1 RF 신호의 상기 제 1 포지티브 파라미터 레벨보다 크고, 상기 제 2 RF 신호의 상기 적어도 3 개의 파라미터 레벨들은 0 파라미터 레벨, 제 1 포지티브 파라미터 레벨, 및 제 2 포지티브 파라미터 레벨을 포함하고, 상기 제 2 RF 신호의 상기 제 2 포지티브 파라미터 레벨은 상기 제 2 RF 신호의 상기 제 1 포지티브 파라미터 레벨보다 작은, 제어기 시스템.

청구항 14

제 9 항에 있어서,

상기 제 1 RF 신호의 상기 적어도 2 개의 파라미터 레벨들 중 하나와 상기 제 2 RF 신호의 상기 적어도 3 개의 파라미터 레벨들 중 하나의 조합은 플라즈마 임피던스 상태를 규정하는, 제어기 시스템.

청구항 15

제 9 항에 있어서,

상기 제 1 RF 신호의 상기 적어도 2 개의 파라미터 레벨들은 제 1 파라미터 레벨 및 제 2 파라미터 레벨을 포함하는 2 개의 파라미터 레벨들을 포함하고, 그리고 상기 제 2 RF 신호의 상기 적어도 3 개의 파라미터 레벨들은 제 1 파라미터 레벨, 제 2 파라미터 레벨, 및 제 3 파라미터 레벨을 포함하는 3 개의 파라미터 레벨들을 포함하고, 상기 제 1 RF 신호는 상기 복수의 사이클들 중 상기 하나의 사이클 동안 2 개의 전이 시간들에서 상기 제 1 파라미터 레벨과 상기 제 2 파라미터 레벨 사이에서 전이하고, 상기 제 2 RF 신호는 상기 복수의 사이클들 중 상기 하나의 사이클 동안 3 개의 전이 시간들에서 상기 제 1 파라미터 레벨, 상기 제 2 파라미터 레벨, 및 상기 제 3 파라미터 레벨 사이에서 전이하고, 여기서 상기 제 2 RF 신호의 상기 3 개의 전이 시간들 중 적어도 하나는 멀티 상태 플라즈마 임피던스를 생성하기 위한 상기 제 1 RF 신호의 상기 2 개의 전이 시간들 중 적어도 하나와 상이한, 제어기 시스템.

청구항 16

제 9 항에 있어서,

상기 제 1 RF 신호의 상기 적어도 2 개의 파라미터 레벨들은 제 1 파라미터 레벨 및 제 2 파라미터 레벨을 포함하는 2 개의 파라미터 레벨들을 포함하고, 그리고 상기 제 2 RF 신호의 상기 적어도 3 개의 파라미터 레벨들은 0 파라미터 레벨, 제 2 파라미터 레벨, 및 제 1 파라미터 레벨을 포함하는 3 개의 파라미터 레벨들을 포함하고,

상기 제 1 프로세서는,

상기 복수의 사이클들 중 상기 하나의 사이클 동안 제 1 전이 시간에 상기 제 1 RF 신호를 상기 제 2 파라미터

레벨로부터 상기 제 1 파라미터 레벨로 전이하도록 상기 제 1 RF 전력 공급부를 제어하고; 그리고

상기 복수의 사이클들 중 상기 하나의 사이클 동안 제 2 전이 시간에 상기 제 1 RF 신호를 상기 제 1 파라미터 레벨로부터 상기 제 2 파라미터 레벨로 전이하도록 상기 제 1 RF 전력 공급부를 제어하도록 더 구성되고,

상기 제 2 프로세서는,

상기 복수의 사이클들 중 상기 하나의 사이클 동안 제 3 전이 시간에 상기 제 2 RF 신호를 상기 제 1 파라미터 레벨로부터 상기 0 파라미터 레벨로 전이하도록 상기 제 2 RF 전력 공급부를 제어하고,

상기 복수의 사이클들 중 상기 하나의 사이클 동안 제 4 전이 시간에 상기 제 2 RF 신호를 상기 0 파라미터 레벨로부터 상기 제 2 파라미터 레벨로 전이하도록 상기 제 2 RF 전력 공급부를 제어하고, 그리고

상기 복수의 사이클들 중 상기 하나의 사이클 동안 제 5 전이 시간에 상기 제 2 RF 신호를 상기 제 2 파라미터 레벨로부터 상기 제 1 파라미터 레벨로 전이하도록 상기 제 2 RF 전력 공급부를 제어하도록 구성되고,

상기 제 1 전이 시간 및 상기 제 2 전이 시간 중 적어도 하나는 상기 멀티 상태 플라즈마 임피던스를 생성하기 위한 상기 복수의 사이클들 중 상기 하나의 사이클 동안 상기 제 3 전이 시간, 상기 제 4 전이 시간 및 상기 제 5 전이 시간 중 적어도 하나와 상이한, 제어기 시스템.

청구항 17

멀티 상태 플라즈마 임피던스를 생성하기 위한 플라즈마 시스템에 있어서,

제 1 RF 신호를 생성하도록 구성된 제 1 RF 생성기; 및

제 2 RF 신호를 생성하도록 구성된 제 2 RF 생성기를 포함하고,

상기 제 1 RF 생성기 및 상기 제 2 RF 생성기 각각은 주기적으로 반복되는 복수의 사이클들을 갖는 동기화 신호를 수신하도록 구성되고,

상기 제 1 RF 신호는 상기 복수의 사이클들 중 하나의 사이클 내에 적어도 2 개의 파라미터 레벨들을 포함하고,

상기 제 2 RF 신호는 상기 복수의 사이클들 중 상기 하나의 사이클 내에 적어도 3 개의 파라미터 레벨들을 포함하는, 플라즈마 시스템.

청구항 18

제 17 항에 있어서,

상기 제 1 RF 생성기는 제 1 임피던스 매칭 네트워크를 통해 플라즈마 챔버의 RF 코일에 커플링되고, 상기 제 1 RF 생성기는 상기 제 1 임피던스 매칭 네트워크에 상기 제 1 RF 신호를 공급하도록 구성되고, 상기 제 2 RF 전력 생성기는 제 2 임피던스 매칭 네트워크를 통해 상기 플라즈마 챔버의 기판 지지부에 커플링되고, 상기 제 2 RF 생성기는 상기 제 2 임피던스 매칭 네트워크에 상기 제 2 RF 신호를 공급하도록 구성되는, 플라즈마 시스템.

청구항 19

제 17 항에 있어서,

상기 제 1 RF 신호의 상기 적어도 2 개의 파라미터 레벨들은 제 1 파라미터 레벨 및 제 2 파라미터 레벨을 포함하는 2 개의 파라미터 레벨들을 포함하고, 그리고 상기 제 2 RF 신호의 상기 적어도 3 개의 파라미터 레벨들은 제 1 파라미터 레벨, 제 2 파라미터 레벨, 및 제 3 파라미터 레벨을 포함하는 3 개의 파라미터 레벨들을 포함하고, 상기 제 1 RF 신호는 상기 복수의 사이클들 중 하나의 사이클 동안 2 개의 전이 시간들에서 상기 제 1 파라미터 레벨과 상기 제 2 파라미터 레벨 사이에서 전이하고, 상기 제 2 RF 신호는 상기 복수의 사이클들 중 하나의 사이클 동안 3 개의 전이 시간들에서 상기 제 1 파라미터 레벨, 상기 제 2 파라미터 레벨, 및 상기 제 3 파라미터 레벨 사이에서 전이하고, 여기서 상기 제 2 RF 신호의 상기 3 개의 전이 시간들 중 적어도 하나는 멀티 상태 플라즈마 임피던스를 생성하기 위한 상기 제 1 RF 신호의 상기 2 개의 전이 시간들 중 적어도 하나와 상이한, 플라즈마 시스템.

청구항 20

제 17 항에 있어서,

상기 제 1 RF 신호의 상기 적어도 2 개의 파라미터 레벨들은 제 1 파라미터 레벨 및 제 2 파라미터 레벨을 포함하는 2 개의 파라미터 레벨들을 포함하고, 그리고 상기 제 2 RF 신호의 상기 적어도 3 개의 파라미터 레벨들은 0 파라미터 레벨, 제 2 파라미터 레벨, 및 제 1 파라미터 레벨을 포함하는 3 개의 파라미터 레벨들을 포함하고,

상기 제 1 RF 생성기는,

상기 복수의 사이클들 중 상기 하나의 사이클 동안 제 1 전이 시간에 상기 제 1 RF 신호를 상기 제 2 파라미터 레벨로부터 상기 제 1 파라미터 레벨로 전이하고; 그리고

상기 복수의 사이클들 중 상기 하나의 사이클 동안 제 2 전이 시간에 상기 제 1 RF 신호를 상기 제 1 파라미터 레벨로부터 상기 제 2 파라미터 레벨로 전이하도록 구성되고,

상기 제 2 RF 생성기는,

상기 복수의 사이클들 중 상기 하나의 사이클 동안 제 3 전이 시간에 상기 제 2 RF 신호를 상기 제 1 파라미터 레벨로부터 상기 0 파라미터 레벨로 전이하고,

상기 복수의 사이클들 중 상기 하나의 사이클 동안 제 4 전이 시간에 상기 제 2 RF 신호를 상기 0 파라미터 레벨로부터 상기 제 2 파라미터 레벨로 전이하고; 그리고

상기 복수의 사이클들 중 상기 하나의 사이클 동안 제 5 전이 시간에 상기 제 2 RF 신호를 상기 제 2 파라미터 레벨로부터 상기 제 1 파라미터 레벨로 전이하도록 구성되고,

상기 제 1 전이 시간 및 상기 제 2 전이 시간 중 적어도 하나는 상기 멀티 상태 플라즈마 임피던스를 생성하기 위한 상기 복수의 사이클들 중 상기 하나의 사이클 동안 상기 제 3 전이 시간, 상기 제 4 전이 시간 및 상기 제 5 전이 시간 중 적어도 하나와 상이한, 플라즈마 시스템.

청구항 21

멀티 상태 펄싱을 위한 방법에 있어서,

동기화 신호를 수신하는 단계;

상기 동기화 신호로부터 복수의 사이클들을 식별하는 단계; 및

상기 복수의 사이클들 중 하나의 사이클 동안 4 개 이상의 변수 레벨들을 갖는 RF (radio frequency) 신호를 생성하는 단계로서, 상기 4 개 이상의 변수 레벨들 각각은 상기 RF 신호의 최대 진폭을 제공하고, 상기 4 개 이상의 변수 레벨들은 복수의 사이클들 중 또 다른 사이클 동안 반복되는, 상기 RF 신호 생성 단계를 포함하는, 멀티 상태 펄싱 방법.

청구항 22

제 21 항에 있어서,

상기 수신하는 단계는 RF 생성기에 의해 수행되고, 상기 동기화 신호는 주기적으로 반복되고 상기 복수의 사이클들을 갖는 디지털 펄싱된 신호이고, 상기 복수의 사이클들 각각은 듀티 사이클을 갖는, 멀티 상태 펄싱 방법.

청구항 23

제 21 항에 있어서,

상기 복수의 사이클들을 식별하는 단계는 상기 복수의 사이클들 중 제 1 사이클 및 상기 복수의 사이클 중 제 2 사이클을 식별하는 단계를 포함하고, 상기 복수의 사이클 중 상기 제 1 사이클 및 상기 복수의 사이클들 중 상기 제 2 사이클을 식별하는 단계는 상기 복수의 사이클들 중 상기 제 1 사이클의 시작 시간 및 중단 시간 및 상기 복수의 사이클들 중 상기 제 2 사이클의 시작 시간 및 중단 시간을 식별하는 것을 포함하는, 멀티 상태 펄싱 방법.

청구항 24

제 21 항에 있어서,

상기 4 개 이상의 변수 레벨들 각각은 파라미터 레벨이고, 상기 4 개 이상의 파라미터 레벨들 각각은 복수의 진

폭들을 갖고, 상기 최대 진폭은 상기 4 개 이상의 파라미터 레벨들 각각에서 상기 복수의 진폭들의 최대 값이고, 상기 최대 진폭은 상기 RF 신호의 엔빌로프인, 멀티 상태 펄싱 방법.

청구항 25

제 21 항에 있어서,

상기 4 개 이상의 변수 레벨들 각각은 별개의 수평 레벨이고, 상기 RF 신호는 오실레이팅 신호인, 멀티 상태 펄싱 방법.

청구항 26

제 21 항에 있어서,

상기 4 개 이상의 변수들 각각은 주파수 또는 전력인, 멀티 상태 펄싱 방법.

청구항 27

제 21 항에 있어서,

상기 복수의 사이클들 중 하나 동안, 상기 RF 신호는 상기 4 개 이상의 변수 레벨들 중 제 1 레벨로부터 상기 4 개 이상의 변수 레벨들 중 제 2 레벨로 전이하고, 상기 4 개 이상의 변수 레벨들 중 상기 제 2 레벨로부터 상기 4 개 이상의 변수 레벨들 중 제 3 레벨로 전이하고, 상기 4 개 이상의 변수 레벨들 중 상기 제 3 레벨로부터 상기 4 개 이상의 변수 레벨들 중 제 4 레벨로 전이하는, 멀티 상태 펄싱 방법.

청구항 28

제 21 항에 있어서,

상기 4 개 이상의 변수 레벨들 각각은 상기 RF 신호의 최소 진폭을 제공하고, 상기 4 개 이상의 변수 레벨들 중 제 1 레벨의 상기 최소 진폭은 상기 4 개 이상의 변수 레벨들 중 제 2 레벨의 상기 최대 진폭보다 큰, 멀티 상태 펄싱 방법.

청구항 29

제 21 항에 있어서,

상기 복수의 사이클들 중 하나 동안, 상기 RF 신호는 상기 4 개 이상의 변수 레벨들 중 제 1 레벨로부터 상기 4 개 이상의 변수 레벨들 중 제 2 레벨로 전이하고, 상기 4 개 이상의 변수 레벨들 중 상기 제 2 레벨로부터 상기 4 개 이상의 변수 레벨들 중 제 3 레벨로 전이하고, 상기 4 개 이상의 변수 레벨들 중 상기 제 3 레벨로부터 상기 4 개 이상의 변수 레벨들 중 제 4 레벨로 전이하고,

상기 방법은,

상기 4 개 이상의 변수 레벨들 중 상기 제 1 레벨로부터 상기 4 개 이상의 변수 레벨들 중 상기 제 2 레벨로의 전이의 기울기를 제어하는 단계;

상기 4 개 이상의 변수 레벨들 중 상기 제 2 레벨들로부터 상기 4 개 이상의 변수 레벨들 중 상기 제 3 레벨로의 전이의 기울기를 제어하는 단계; 및

상기 4 개 이상의 변수 레벨들 중 상기 제 3 레벨로부터 상기 4 개 이상의 변수 레벨들 중 상기 제 4 레벨로의 전이의 기울기를 제어하는 단계를 포함하는, 멀티 상태 펄싱 방법.

청구항 30

멀티 상태 펄싱을 위한 RF 생성기에 있어서,

동기화 신호를 수신하도록 구성된 프로세서로서,

상기 프로세서는 상기 동기화 신호로부터 복수의 사이클들을 식별하도록 구성되는, 상기 프로세서; 및

RF 전력 공급부를 포함하고,

상기 프로세서는 상기 복수의 사이클들 중 하나의 사이클 동안 4 개 이상의 변수 레벨들을 갖는 RF (radio

frequency) 신호를 생성하도록 상기 RF 전력 공급부를 제어하도록 구성되고, 상기 4 개 이상의 변수 레벨들 각각은 상기 RF 신호의 최대 진폭을 제공하고, 상기 4 개 이상의 변수 레벨들은 상기 복수의 사이클들 중 또 다른 사이클 동안 반복되는, RF 생성기.

청구항 31

제 30 항에 있어서,

상기 동기화 신호는 주기적으로 반복되고 상기 복수의 사이클들을 갖는 디지털 펄싱된 신호이고, 상기 복수의 사이클들 각각은 듀티 사이클을 갖는, RF 생성기.

청구항 32

제 30 항에 있어서,

상기 복수의 사이클들을 식별하기 위해, 상기 프로세서는 상기 복수의 사이클들 중 제 1 사이클 및 상기 복수의 사이클 중 제 2 사이클을 식별하도록 구성되고, 상기 복수의 사이클 중 상기 제 1 사이클 및 상기 복수의 사이클들 중 상기 제 2 사이클을 식별하기 위해, 상기 프로세서는 상기 복수의 사이클들 중 상기 제 1 사이클의 시작 시간 및 중단 시간 및 상기 복수의 사이클들 중 상기 제 2 사이클의 시작 시간 및 중단 시간을 식별하도록 구성되는, RF 생성기.

청구항 33

제 30 항에 있어서,

상기 4 개 이상의 변수 레벨들 각각은 파라미터 레벨이고, 상기 4 개 이상의 파라미터 레벨들 각각은 복수의 진폭들을 갖고, 상기 최대 진폭은 상기 4 개 이상의 파라미터 레벨들 각각에서 상기 복수의 진폭들의 최대 값이고, 상기 최대 진폭은 상기 RF 신호의 엔빌로프인, RF 생성기.

청구항 34

제 30 항에 있어서,

상기 4 개 이상의 변수 레벨들 각각은 별개의 수평 레벨이고, 상기 RF 신호는 오실레이팅 신호인, RF 생성기.

청구항 35

제 30 항에 있어서,

상기 4 개 이상의 변수들 각각은 주파수 또는 전력인, RF 생성기.

청구항 36

제 30 항에 있어서,

상기 복수의 사이클들 중 하나 동안, 상기 프로세서는 상기 4 개 이상의 변수 레벨들 중 제 1 레벨로부터 상기 4 개 이상의 변수 레벨들 중 제 2 레벨로 전이하고, 상기 4 개 이상의 변수 레벨들 중 상기 제 2 레벨로부터 상기 4 개 이상의 변수 레벨들 중 제 3 레벨로 전이하고, 상기 4 개 이상의 변수 레벨들 중 상기 제 3 레벨로부터 상기 4 개 이상의 변수 레벨들 중 제 4 레벨로 전이하도록 상기 RF 전력 공급부를 제어하도록 구성되는, RF 생성기.

청구항 37

제 30 항에 있어서,

상기 4 개 이상의 변수 레벨들 각각은 상기 RF 신호의 최소 진폭을 제공하고, 상기 4 개 이상의 변수 레벨들 중 제 1 레벨의 상기 최소 진폭은 상기 4 개 이상의 변수 레벨들 중 제 2 레벨의 상기 최대 진폭보다 큰, RF 생성기.

청구항 38

멀티 상태 펄싱을 위한 제어기에 있어서,

동기화 신호를 생성하도록 구성된 프로세서로서, 상기 동기화 신호는 복수의 사이클들을 포함하고,

상기 프로세서는 상기 복수의 사이클들 중 하나의 사이클 동안 4 개 이상의 변수 레벨들을 갖는 RF (radio frequency) 신호를 생성하도록 RF 생성기를 제어하도록 구성되고, 상기 4 개 이상의 변수 레벨들 각각은 상기 RF 신호의 최대 진폭을 제공하고, 상기 4 개 이상의 변수 레벨들은 복수의 사이클들 중 또 다른 사이클 동안 반복되는, 상기 프로세서; 및

상기 프로세서에 커플링된 메모리 디바이스를 포함하는, 제어기.

청구항 39

제 38 항에 있어서,

상기 동기화 신호는 주기적으로 반복되고 상기 복수의 사이클들을 갖는 디지털 펄싱된 신호이고, 상기 복수의 사이클들 각각은 듀티 사이클을 갖는, 제어기.

청구항 40

제 38 항에 있어서,

상기 복수의 사이클들은 상기 복수의 사이클들 중 제 1 사이클 및 상기 복수의 사이클 중 제 2 사이클을 포함하고, 상기 복수의 사이클들 중 상기 제 1 사이클은 시작 시간 및 중단 시간을 포함하고 그리고 상기 복수의 사이클들 중 상기 제 2 사이클은 시작 시간 및 중단 시간을 포함하는, 제어기.

청구항 41

제 38 항에 있어서,

상기 4 개 이상의 변수 레벨들 각각은 파라미터 레벨이고, 상기 4 개 이상의 파라미터 레벨들 각각은 복수의 진폭들을 갖고, 상기 최대 진폭은 상기 4 개 이상의 변수 레벨들 각각에서 상기 복수의 진폭들의 최대 값이고, 상기 최대 진폭은 상기 RF 신호의 엔빌로프인, 제어기.

청구항 42

플라즈마 툴의 복수의 컴포넌트들 사이에서 정보를 전달하기 위한 방법에 있어서,

RF (radio frequency) 생성기에서, 하나 이상의 EtherCAT (Ethernet for Control Automation) 프레임들을 수신하는 단계로서, 상기 RF 생성기는 플라즈마 툴의 컴포넌트들 중 하나인, 상기 수신 단계;

상기 RF 생성기에 의해, 상기 하나 이상의 EtherCAT 프레임들로부터 복수의 변수 레벨들을 추출하는 단계;

상기 RF 생성기에 의해, 동기화 신호의 사이클 동안 상기 복수의 변수 레벨들을 갖는 RF 신호를 생성하는 단계;

상기 하나 이상의 EtherCAT 프레임들의 목적지 어드레스를 식별하는 단계; 및

상기 하나 이상의 EtherCAT 프레임들을 상기 목적지 어드레스의 상기 컴포넌트들 중 또 다른 컴포넌트로 전송하는 단계를 포함하는, 정보 전달 방법.

청구항 43

제 42 항에 있어서,

상기 복수의 변수 레벨들은 제 1 변수 레벨, 제 2 변수 레벨, 제 3 변수 레벨, 및 제 4 변수 레벨을 포함하고, 상기 RF 신호는 상기 사이클 동안 상기 제 1 변수 레벨로부터 상기 제 2 변수 레벨로 전이하고, 상기 제 2 변수 레벨로부터 상기 제 3 변수 레벨로 전이하고, 그리고 상기 제 3 변수 레벨로부터 상기 제 4 변수 레벨로 전이하는, 정보 전달 방법.

청구항 44

제 42 항에 있어서,

상기 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 중 하나의 EtherCAT 프레임 내에서 상기 RF 생성기의 어드레스를 식별하는 단계를 더 포함하고, 상기 추출하는 단계는 상기 어드레스를 갖는 필드와 상기 컴포넌트들 중 다른 컴포넌트의

또 다른 어드레스를 갖는 필드 사이의 필드로부터 상기 복수의 변수 레벨들을 획득하는 단계를 포함하는, 정보 전달 방법.

청구항 45

제 42 항에 있어서,

상기 컴포넌트들 중 상기 다른 하나는 상기 RF 생성기에 커플링된 임피던스 매칭 회로를 포함하는, 정보 전달 방법.

청구항 46

제 42 항에 있어서,

상기 복수의 변수 레벨들 각각은 주파수 레벨 또는 전력 레벨인, 정보 전달 방법.

청구항 47

제 42 항에 있어서,

상기 하나 이상의 EtherCAT 프레임들은 프로세서로부터 수신되고,

상기 방법은,

상기 컴포넌트들 중 상기 다른 하나로부터 상기 하나 이상의 EtherCAT 프레임들을 수신하는 단계; 및

상기 하나 이상의 EtherCAT 프레임들을 상기 프로세서로 전송하는 단계를 더 포함하는, 정보 전달 방법.

청구항 48

제 42 항에 있어서,

상기 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 각각은 상기 RF 생성기에 제공하기 위한 상기 복수의 변수 레벨들을 포함하는 필드 및 상기 RF 생성기로부터 측정된 데이터를 수신하기 위한 필드를 갖는, 정보 전달 방법.

청구항 49

RF (radio frequency) 생성기에 있어서,

하나 이상의 EtherCAT (Ethernet for Control Automation) 프레임들을 수신하도록 구성된 통신 제어기로서, RF 생성기는 플라즈마 툴의 복수의 컴포넌트들 중 하나이고,

상기 통신 제어기는 상기 하나 이상의 EtherCAT 프레임들로부터 복수의 변수 레벨들을 추출하도록 구성되는, 상기 통신 제어기; 및

상기 통신 제어기에 커플링된 RF 전력 공급부로서, 상기 RF 전력 공급부는 동기화 신호의 사이클 동안 상기 복수의 변수 레벨들을 갖는 RF 신호를 생성하도록 구성되는, 상기 RF 전력 공급부를 포함하고,

상기 통신 제어기는 상기 하나 이상의 EtherCAT 프레임들의 목적지 어드레스를 식별하도록 구성되고, 그리고

상기 통신 제어기는 상기 목적지 어드레스에서 상기 복수의 컴포넌트들 중 또 다른 컴포넌트로 상기 하나 이상의 EtherCAT 프레임들을 전송하도록 구성되는, RF 생성기.

청구항 50

제 49 항에 있어서,

상기 복수의 변수 레벨들은 제 1 변수 레벨, 제 2 변수 레벨, 제 3 변수 레벨, 및 제 4 변수 레벨을 포함하고, 상기 RF 신호는 상기 사이클 동안 상기 제 1 변수 레벨로부터 상기 제 2 변수 레벨로 전이하고, 상기 제 2 변수 레벨로부터 상기 제 3 변수 레벨로 전이하고, 그리고 상기 제 3 변수 레벨로부터 상기 제 4 변수 레벨로 전이하는, RF 생성기.

청구항 51

제 49 항에 있어서,

상기 통신 제어기는 상기 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 중 하나의 EtherCAT 프레임 내에서 상기 RF 생성기의 어드레스를 식별하도록 구성되고, 상기 복수의 변수들을 추출하기 위해, 상기 통신 제어기는 상기 어드레스를 갖는 필드와 상기 컴포넌트들 중 다른 하나의 또 다른 어드레스를 갖는 필드 사이의 필드로부터 상기 복수의 변수 레벨들을 획득하도록 구성되는, RF 생성기.

청구항 52

제 49 항에 있어서,

상기 컴포넌트들 중 상기 다른 하나는 상기 RF 생성기에 커플링된 임피던스 매칭 회로를 포함하는, RF 생성기.

청구항 53

제 49 항에 있어서,

상기 복수의 변수 레벨들 각각은 주파수 레벨 또는 전력 레벨인, RF 생성기.

청구항 54

제 49 항에 있어서,

상기 하나 이상의 EtherCAT 프레임들은 프로세서로부터 수신되고, 상기 통신 제어기는,

상기 컴포넌트들 중 상기 다른 하나로부터 상기 하나 이상의 EtherCAT 프레임들을 수신하고; 그리고

상기 하나 이상의 EtherCAT 프레임들을 상기 프로세서로 전송하도록 구성되는, RF 생성기.

청구항 55

제 49 항에 있어서,

상기 RF 생성기는 상기 통신 제어기에 커플링된 프로세서를 포함하고, 상기 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 각각은 상기 RF 생성기의 상기 프로세서로부터 데이터를 수신하기 위한 필드 및 상기 RF 생성기의 상기 프로세서에 제공하기 위한 상기 복수의 변수 레벨들을 포함하는 필드를 갖는, RF 생성기.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 실시 예들은 RF (radio frequency) 플라즈마 툴들에서 멀티 레벨 펄싱을 위한 시스템들 및 방법들에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 본 명세서에 제공된 배경기술 기술 (description) 은 본 개시의 맥락을 일반적으로 제시할 목적을 위한 것이다. 이 배경기술 섹션에 기술된 정도의 본 명세서에 명명된 발명자들의 업적, 뿐만 아니라 출원 시 종래 기술로서 달리 인증되지 않을 수도 있는 본 기술의 양태들은 본 개시에 대한 종래 기술로서 명시적으로나 암시적으로 인정되지 않는다.

[0003] 플라즈마 툴에서, 하나 이상의 RF (radio frequency) 생성기가 임피던스 매칭 회로에 커플링된다. 임피던스 매칭 회로는 플라즈마 챔버에 커플링된다. RF 신호들은 RF 생성기들로부터 임피던스 매칭 회로로 공급된다. 임피던스 매칭 회로는 RF 신호들을 수신할 때 RF 신호를 출력한다. RF 신호는 플라즈마 챔버 내에서 웨이퍼를 프로세싱하기 위해 임피던스 매칭 회로로부터 플라즈마 챔버로 공급된다. 그러나, 웨이퍼는 목표된 상세 레벨로 프로세싱되지 않는다.

[0004] 이러한 맥락에서 본 개시에 기술된 실시 예들이 발생한다.

발명의 내용

[0005] 본 개시의 실시 예들은 무선 주파수 (radio frequency; RF) 플라즈마 툴들에서 멀티 레벨 펄싱을 위한 장치, 방

법들 및 컴퓨터 프로그램들을 제공한다. 본 실시 예들은 다수의 방식들, 예를 들어, 프로세스, 장치, 시스템, 하드웨어 부품 (a piece of hardware), 또는 컴퓨터 판독 가능 매체 상의 방법으로 구현될 수 있다는 것이 인식되어야 한다. 몇몇 실시 예들이 이하에 기술된다.

[0006] 이하의 기술에서, 멀티 레벨 펄싱 (multi-level pulsing) 의 다수의 실시 예들이 제공된다. 또한, 멀티 레벨 펄싱과 연관된 몇몇 이점들이 제공된다. 본 명세서에 기술된 실시 예들 중 2 개 이상은 서로 동작하도록 결합될 수 있거나 본 명세서에 기술된 실시 예들 각각은 멀티 레벨 펄싱과 연관된 특정한 실시 예를 제공하도록 서로 독립적으로 동작할 수 있다.

[0007] 멀티 레벨 펄싱을 용이하게 하는 RF 생성기가 기술된다. RF 생성기는 4 개 이상의 전력 레벨들을 갖는 RF 신호를 생성하고 플라즈마 챔버의 전극에 커플링된 임피던스 매칭 회로에 RF 신호를 제공한다. RF 신호는 클록 사이클 동안 멀티 레벨 펄싱을 달성한다. 예를 들어, RF 신호는 일 클록 사이클 동안 제 1 전력 레벨로부터 제 2 전력 레벨로 전이하고, 또한 제 2 전력 레벨로부터 제 3 전력 레벨로 전이하고, 제 3 전력 레벨로부터 제 4 전력 레벨로 전이한다. RF 신호는 클록 사이클의 끝에서 제 4 전력 레벨로부터 제 1 전력 레벨로 다시 전이한다. 멀티 상태 펄싱은 복수의 클록 사이클들 동안 주기적으로 반복된다.

[0008] 제 1 전력 레벨, 제 2 전력 레벨, 제 3 전력 레벨 및 제 4 전력 레벨 각각은 별개의 전력 레벨이다. 예를 들어, 제 1 전력 레벨의 하나 이상의 전력 값들은 제 2 전력 레벨의 하나 이상의 전력 값들, 제 3 전력 레벨의 하나 이상의 전력 값들, 및 제 4 전력 레벨의 하나 이상의 전력 값들과 배타적이거나 상이하다. 또한, 제 2 전력 레벨의 하나 이상의 전력 값들은 제 3 전력 레벨의 하나 이상의 전력 값들 및 제 4 전력 레벨의 하나 이상의 전력 값들과 상이하다. 제 3 전력 레벨의 하나 이상의 전력 값들은 제 4 전력 레벨의 하나 이상의 전력 값들과 상이하다.

[0009] 멀티 상태 펄싱은 4 개의 전력 레벨들로 제한되지 않는다. 예를 들어, 4 미만의 전력 레벨들이 생성된다. 예시를 위해, 2 또는 3 개의 전력 레벨들이 RF 생성기에 의해 생성된다. 또 다른 예로서, 5, 6, 또는 7 개의 전력 레벨들과 같이 4보다 큰 다수의 전력 레벨들이 RF 생성기에 의해 생성된다.

[0010] 멀티 상태 펄싱은 에칭 동작 동안 증착 페이즈와 에칭 동작 동안 에칭 페이즈 사이의 균형과 같은, 프로세싱 동작의 상이한 페이즈들 사이의 균형을 달성하도록 수행된다. 예를 들어, 멀티 상태 펄싱의 2 개의 전력 레벨들이 증착 페이즈를 수행하도록 인가되고 멀티 상태 펄싱의 2 개의 보다 높은 전력 레벨들이 에칭 페이즈를 수행하도록 인가된다. 2 개의 보다 낮은 전력 레벨들은 보다 높은 전력 레벨들보다 낮은 전력을 갖는다. 예로서, 에칭 동작은 유도 결합 플라즈마 (inductively coupled plasma; ICP) 챔버에서 수행되는 도전체 에칭이다. RF 생성기는 임피던스 매칭 회로를 통해 변압기 결합 플라즈마 (transformer coupled plasma; TCP) 전극 또는 바이어스 전극과 같은 ICP 플라즈마 챔버의 전극에 커플링된다.

[0011] 일 실시 예에서, 라인 전력 손실들을 감소시키기 위한 펄스 트레인 캘리브레이션 방법이 기술된다 (describe). 펄스 트레인 캘리브레이션 방법은 생성될 멀티 상태 전력 펄스 트레인을 시뮬레이팅하는 단계, 공지의 50 Ω 부하에 트레인을 인가하는 단계, 및 멀티 상태 전력 펄스 트레인에 대한 전압 또는 전력을 측정하는 단계를 포함한다. 예를 들어, 전압 또는 전력은 멀티 상태 전력 펄스 트레인의 상태 각각에 대해 측정된다. 전력 펄스 트레인의 상태 각각의 전력은 측정된 전압 또는 전력 또는 측정된 복소 전압 및 전류에 기초하여 라인 손실들을 설명하도록 변화될 수 있다. 라인의 예는 RF 생성기의 출력부를 매칭부의 입력부 또는 RF 케이블과 RF 송신 라인의 조합의 입력부에 커플링하는 RF 케이블을 포함하고, 매칭부의 출력부를 플라즈마 챔버의 전극에 커플링한다.

[0012] 일 실시 예에서, 라인 전력 손실들을 감소시키기 위한 전압 펄스 평탄화 (leveling) 방법이 기술된다. 전압 펄스 평탄화 방법은 공지된 부하에서 펄스 형상을 측정하거나 결정하는 단계 및 구형 (square-shaped) RF 펄스 응답을 획득하기 위해 전력을 보상하는 단계를 포함한다. 펄스 형상은 전압 또는 전력 또는 복소 전압 및 전류 프로브를 사용하여 측정된다. 이는 펄스 내 전압 제어이다. 펄스는 복수의 서브-펄스로 분할된다. 서브-펄스 각각에 대해, 전압 또는 전력 제어가 수행된다. 예를 들어, 전압 또는 전력이 너무 낮은 펄스의 부분들에 대해, 전력은 구형 편평한 펄스를 달성하도록 변화된다. 전압 펄스 평탄화 방법은 라인의 전력 손실들을 설명하도록 실행된다.

[0013] 일 실시 예에서, 라인 전력 손실들을 감소시키기 위한 듀티 사이클 캘리브레이션 방법이 기술된다. 듀티 사이클 캘리브레이션 방법은 듀티 사이클을 측정하고 라인 전력 손실들을 설명하기 위해 멀티 상태 펄싱의 상태 각각에 대한 듀티 사이클의 시간 지속 기간을 조정하는 단계를 포함한다.

[0014] 멀티 레벨 펄싱 (예를 들어, 4 개 이상의 전력 레벨들) 을 사용하면, 매칭이 반사 전력을 감소시키는 것이 때때로 어렵다.

[0015] 일 실시 예에서, TCCT (transformer coupled capacitive tuning) 매칭이 멀티 상태 펄싱 동안 반사된 전력을 감소시키도록 제공된다. TCCT 매칭은 소스 RF 생성기와 함께 사용되고 4 이상의 레벨 펄싱과 같은 멀티 레벨 펄싱과 함께 사용되기 위해 수정된다. TCCT 매칭은 멀티 레벨 펄싱에 대해 튜닝될 수 있도록 멀티 레벨 펄싱에 관한 타이밍 정보를 제공받는다.

[0016] 일 실시 예에서, 상태 매칭 튜닝 방법이 기술된다. 상태 튜닝 방법은 반사된 전력을 감소시키기 위해 일 상태 동안 TCCT 매칭을 튜닝하고 나머지 3 또는 4 또는 5 개의 나머지 상태들 동안 주파수 튜닝하는 (예를 들어, RF 생성기를 튜닝하는) 것을 포함한다.

[0017] 일 실시 예에서, 반사된 전력을 감소시키기 위해 소스 TCCT 매칭 또는 바이어스 매칭 대신, 고체 상태 매칭 디바이스가 멀티 상태 펄싱에 보다 빠르게 튜닝할 수 있도록 사용된다. 고체 상태 매칭 디바이스는 트랜지스터들, 또는 반도체 다이오드들, 또는 이들의 조합으로부터 제조된다.

[0018] 멀티 레벨 펄싱을 사용하여, 반사된 전력을 최소화하기 위해 매칭부가 멀티 레벨 펄싱을 따라 잡는 것은 어렵다.

[0019] 일 실시 예에서, 고정 주파수를 사용한 매칭 튜닝 방법이 기술된다. 4 개의 상태 시나리오에서, 매칭부는 제 1 상태에서 튜닝되고 RF 생성기의 고정 주파수는 다른 3 개의 상태들에서 유지된다. 주파수는 4 개의 상태들에 대한 가중치들과 반사된 전력들의 합을 최소화하도록 결정된다. 예를 들어, 주파수는 C1P1+C2P2+C3P3+C4P4가 상태 1 내지 상태 4에 대해 최소가 되도록 하고, 여기서 C1 내지 C4는 가중치들이고, P1 내지 P4는 각각의 상태 동안 반사된 전력들이다. 가중치 C1 내지 가중치 C4는 상태 각각에 대한 듀티 사이클의 백분율일 수 있다. 반사된 전력 대신, 전력 반사 계수가 최소화될 수 있다.

[0020] 하나 이상의 TCP (transformer coupled plasma) 코일들과 같은 TCP 전극 및 바이어스 전극이 복수의 상태들 (예를 들어, 4 개 이상의 전력 레벨들) 을 갖도록 펄싱될 때, 에칭 레이트 또는 증착 레이트와 같은 프로세싱 레이트의 균일성을 달성하는 것이 바람직하다.

[0021] 일 실시 예에서, TCP 전극과 바이어스 전극 사이의 클록 동기화 방법이 제공된다. 클록 동기화 방법에서, 복수의 상태들에 대한 정밀 분해능 클록 (fine resolution clock) 이 제공된다. 정밀 분해능 클록은 TCP 전극 및 바이어스 전극에 전력을 제공하는 RF 생성기들에 4 개 이상의 상태들과 같은 복수의 상태들을 갖는 디지털 펄스 신호를 공급한다. 동기화는 균일성의 달성을 용이하게 한다.

[0022] 일 실시 예에서, EtherCAT (Ethernet for Control Automation Technology) 동기화 방법 및 시스템이 균일성을 달성하도록 제공된다. EtherCAT 케이블은 TCP RF 생성기, 바이어스 RF 생성기 및 매칭부와 같은 상이한 디바이스들을 동기화하는데 사용된다. EtherCAT 케이블은 상이한 디바이스들과 통신하도록 통신 펄스 트레인을 전송하도록 사용된다. 일 예로서, 통신 펄스 트레인은 시작 시간 및 중단 시간을 갖는다. 시작 시간은 일련의 펄스들의 시작이고 중단 시간은 일련의 펄스들이 중단되는 시간이다. 시작 시간 및 중단 시간이 반복된다. 펄스 트레인은 상이한 디바이스들에 대한 복수의 상태들에 관한 정보와 함께 임베딩될 수 있다. 정보는 디바이스 각각의 상태에 대한 시작 및 중단 시간을 포함할 것이다. 또한, 동기화를 위해 EtherCAT 케이블을 사용하는 것은 상이한 디바이스들을 동기화하기 위해 복수의 동기화 케이블들을 통해 상이한 디바이스들에 TTL 신호들을 제공할 필요성을 제거할 것이다. 각각의 동기화 케이블은 TTL 신호를 전달한다. 동기화 케이블들은 더 이상 필요하지 않다. EtherCAT 케이블의 예는 이더넷 (Ethernet) 케이블이다.

[0023] 또한, 프로세스 균일성을 제어하고 멀티 상태 펄싱 (예를 들어, 4 개 이상의 상태들) 에서 프로세싱 레이트들 또는 에칭 깊이들을 달성하는 것이 바람직하다.

[0024] 일 실시 예에서, 동기화 마스터, 예컨대 펄스 마스터가 프로세스 균일성을 제어하고 프로세싱 레이트들을 달성하도록 제공된다. 예로서, 펄스 마스터는 TCP 및 바이어스 RF 생성기를 동기화하기 위한 ADVCI (analog-to-digital voltage control interface) 를 포함한다. 예를 들어, ADVCI는 TCP RF 생성기에 제공하기 위해 2 개의 상태들을 갖는 디지털 펄스 신호 또는 TTL 신호를 생성할 수 있고 바이어스 RF 생성기에 제공할 4 개의 상태를 갖는 또 다른 디지털 펄스 신호 또는 또 다른 TTL 신호를 생성할 수 있다. 2 개의 상태들 및 4 개의 상태들은 클록 신호의 클록 사이클 동안 생성된다. 또 다른 예로서, ADVCI는 TCP RF 생성기에 제공하기 위해 4 개의 상태들을 갖는 디지털 펄스 신호 또는 TTL 신호를 생성할 수 있고 바이어스 RF 생성기에 제공할 4 개의 상태를

갖는 또 다른 디지털 펄스 신호 또는 또 다른 TTL 신호를 생성할 수 있다. 4 개의 상태들은 클록 신호의 클록 사이클 동안 생성된다.

[0025] 일 실시 예에서, 펄스 마스터는 프로세스 균일성을 제어하고 프로세싱 레이트들을 달성하기 위해 엔드 포인트 검출과 함께 사용된다. 펄스 마스터는 OES (optical emission spectroscopy) 및 Lam 스펙트럼 반사계 (Lam spectral reflectometry) 를 멀티 레벨과 같은 멀티 상태, 펄싱과 동기화하도록 사용된다. 엔드 포인트 또는 프로세스 지점 검출은 OES 및 Lam 스펙트럼 반사계를 사용하여 이루어진다. Lam 스펙트럼 반사계 (LSR) 또는 OES는 웨이퍼로부터 반사된 광의 강도를 측정한다.

[0026] 일 실시 예에서, 소스 RF 생성기와 바이어스 RF 생성기 사이의 선택적인 동기화를 사용하는 온-오프 시간 수정 방법이 제공된다. 온-오프 시간 수정 방법은 2 개의 플라즈마 임피던스 상태들을 4 개의 플라즈마 임피던스 상태들로 변화시키거나 4 개의 플라즈마 임피던스 상태들을 8 개의 플라즈마 임피던스 상태들로 변화시키기 위해, 상태 각각에서 RF 전력의 온 시간 및 오프 시간을 지연시키거나 앞으로 이동시키는 것과 같은 변화를 포함한다. 온 시간 및 오프 시간은 2 플라즈마 임피던스 상태들로부터 4 플라즈마 임피던스 상태들을 달성하도록 상태 각각에서 조정되거나 변화될 수 있다. 예를 들어, RF 전력을 인가하기 위한 온 시간은 상태 S1에서 약간 지연되고 그리고/또는 오프 시간은 상태 S1에서 약간 일찍 달성된다. TCP 생성기 및 바이어스 RF 생성기 모두에 대한 RF 전력의 온 시간 및 오프 시간이 변화되는 경우, TCP 생성기 및 바이어스 RF 생성기 모두는 서로 동기화된다. 예로서, 4 개의 상태들 또는 8 개의 상태들을 갖는 멀티 상태 전력이 소스 RF 생성기에 의해 생성될 때, 바이어스 RF 생성기는 CW (continuous wave) 모드로 동작된다. 예로서, 4 개의 상태들 또는 8 개의 상태들을 갖는 멀티 상태 전력이 바이어스 RF 생성기에 의해 생성될 때, 소스 RF 생성기는 CW (continuous wave) 모드로 동작된다. 또한, 예로서, 상이한 프로세스들이 상태 각각에서 수행된다. 예를 들어, 웨이퍼 상의 증착이 일 상태에서 발생할 수 있고 웨이퍼의 에칭은 또 다른 상태에서 발생할 수 있다.

[0027] 프로세스는 전이 에지들에서 스파이크들로 인한 웨이퍼들의 결함들을 최소화하고 RF 생성기가 4 개 이상의 상태들에서 동작할 때 RF 생성기를 보호하도록 제어된다.

[0028] 일 실시 예에서, 프로세스 제어를 달성하기 위해 펄스 성형 방법이 제공된다. 예로서, 펄스 성형 방법은 전력 상승 에지를 성형하는 단계 및/또는 RF 생성기에 의해 생성되는 RF 신호의 전력 하강 에지를 성형하는 단계를 포함한다. 또한, 또 다른 예로서, 펄스 성형 방법은 RF 신호의 주파수 상승 에지 및/또는 주파수 하강 에지를 성형하는 단계를 포함한다. 또 다른 예로서, 펄스 성형 방법은 전력의 상승 에지 및/또는 하강 에지를 성형하는 단계 및 RF 신호의 주파수의 상승 에지 및/또는 하강 에지를 성형하는 단계를 포함한다.

[0029] 기판을 프로세싱할 때 균일성을 달성하기 위한 프로세스를 제어하는 것이 더 바람직하다.

[0030] 일 실시 예에서, 균일성을 달성하기 위해, 복수의 전력 제어기들 및 복수의 자동 주파수 튜너들 (auto frequency tuners; AFTs) 을 갖는 시스템이 제공된다.

[0031] 일 실시 예에서, 균일성을 달성하기 위해 마이크로 초 레벨에서 궤적들을 주파수 튜닝하는 방법이 기술된다. 이 방법에서, RF 신호 각각은 RF 신호의 궤적을 생성하도록 레시피 각각에 대해 반사된 전력을 감소시키도록 마이크로 초 레벨로 주파수 튜닝되고, 궤적은 웨이퍼를 프로세싱하기 위해 레시피의 적용 동안 인가된다. 궤적은 궤적을 학습하도록 생성되고, 이어서 웨이퍼의 프로세싱 동안 적용된다.

[0032] 일 실시 예에서, 오프 상태 배치 방법이 기술된다. 오프 상태 배치 방법에서, 오프 상태는 멀티 레벨 펄스 시퀀스의 어디든 제공된다. 오프 상태는 펄스 시퀀스의 어디든 있을 수 있다. 펄스 시퀀스의 제 1 상태를 반복하기 전에 오프 상태를 달성할 필요가 없다.

[0033] 본 명세서에 기술된 시스템들 및 방법들의 일부 장점들은 예를 들어, 4 개 이상의 플라즈마 임피던스 상태들과 같은, 멀티 상태 플라즈마 임피던스를 생성하도록 2 상태 RF 생성기들을 사용하는 것을 포함한다. 소스 RF 생성기 및 바이어스 RF 생성기의 파라미터 레벨들의 다양한 조합들을 생성함으로써, 멀티 상태 플라즈마 임피던스가 생성된다. 멀티 상태 플라즈마 임피던스는 기판을 프로세싱할 때 균일성을 달성하도록 사용되고 또한 기판의 프로세싱 동안 보다 정밀한 제어를 위해 사용된다.

[0034] 또한, 멀티 상태 펄싱을 위한 본 명세서에 기술된 시스템들 및 방법들의 일부 장점들은 기판 프로세싱의 제어 레벨을 상승시키는 것을 포함한다. 기판의 프로세싱 동안 4 개 이상의 변수 레벨들의 상태들을 구현함으로써, 기판의 프로세싱에서 보다 정밀한 제어가 달성된다. 이에 더하여, 2 개의 변수 레벨들 사이에서 전이하기 위한 상태 전이를 제어함으로써, 미리 결정된 프로세스 결과들을 달성하도록 기판을 프로세싱할 때 부가적인 보다 정

밀한 제어가 달성된다.

[0035] EtherCAT 케이블을 사용하기 위한 본 명세서에 기술된 시스템들 및 방법들의 장점들은 플라즈마 툴 또는 플라즈마 시스템의 다양한 컴포넌트들 사이에서 정보의 신속한 전송을 달성하는 것을 포함한다. 4 개 이상의 상태들 동안 측정된 파라미터 레벨들과 같은 데이터는 프로세서로부터 EtherCAT 프레임으로 신속하게 전송된다. 또한, 4 개 이상의 상태들을 생성하기 위한 파라미터 레벨들과 같은 데이터는 EtherCAT 프레임으로부터 프로세서로 신속하게 전송된다. 고속 전송은 멀티 상태 펄싱이 사용될 때 보다 빠른 데이터 전송을 허용하여, 기판 프로세싱 동안 제어를 허용한다.

[0036] 다른 양태들은 첨부된 도면들과 함께 취해진, 이하의 상세한 기술로부터 자명해질 것이다.

도면의 간단한 설명

[0037] 실시 예들은 첨부된 도면들과 함께 취해진 이하의 기술을 참조하여 이해된다.

도 1은 멀티 상태 플라즈마 임피던스를 생성하기 위해 2 상태 무선 주파수 (RF) 생성기의 사용을 예시하기 위한 플라즈마 시스템의 일 실시 예의 도면이다.

도 2는 RF 생성기의 상세들을 예시하기 위한 시스템의 일 실시 예의 도면이다.

도 3a는 동기화 신호를 예시하기 위한 그래프의 일 실시 예이다.

도 3b는 소스 RF 신호의 파라미터 대 시간을 예시하기 위한 그래프의 일 실시 예이다.

도 3c는 바이어스 RF 신호의 파라미터 대 시간을 예시하기 위한 그래프의 일 실시 예이다.

도 4a는 도 3a의 동기화 신호를 예시하기 위한 도 3a의 그래프의 일 실시 예이다.

도 4b는 도 3b의 그래프의 일 실시 예이다.

도 4c는 또 다른 바이어스 RF 신호의 파라미터 대 시간을 예시하기 위한 그래프의 일 실시 예이다.

도 5a는 동기화 신호를 예시하기 위한 그래프의 일 실시 예이다.

도 5b는 소스 RF 신호의 파라미터 대 시간을 예시하기 위한 그래프의 일 실시 예이다.

도 5c는 바이어스 RF 신호의 파라미터 대 시간을 예시하기 위한 그래프의 일 실시 예이다.

도 6a는 동기화 신호를 예시하기 위한 그래프의 일 실시 예이다.

도 6b는 소스 RF 신호의 파라미터 대 시간을 예시하기 위한 그래프의 일 실시 예이다.

도 6c는 바이어스 RF 신호의 파라미터 대 시간을 예시하기 위한 그래프의 일 실시 예이다.

도 6d는 소스 RF 생성기와 바이어스 RF 생성기 사이의 선택적인 동기화를 갖는 온-오프 시간 수정 방법의 일 실시 예를 예시하기 위한 도면이다.

도 7은 멀티 레벨 파라미터 펄싱을 예시하기 위한 플라즈마 시스템의 일 실시 예의 도면이다.

도 8은 멀티 레벨 주파수 펄싱을 예시하기 위한 플라즈마 시스템의 일 실시 예의 도면이다.

도 9는 동시 멀티 레벨 파라미터 펄싱 및 멀티 레벨 주파수 펄싱을 예시하기 위한 플라즈마 시스템의 일 실시 예의 도면이다.

도 10a는 도 3a의 동기화 신호를 예시하기 위한 도 3a의 그래프의 일 실시 예이다.

도 10b는 도 9의 RF 신호의 변수 대 시간을 예시하기 위한 그래프의 일 실시 예이다.

도 10c는 도 9의 RF 신호의 변수 대 시간을 예시하기 위한 그래프의 일 실시 예이다.

도 10d는 도 9의 RF 신호의 변수 대 시간 t를 예시하기 위한 그래프의 일 실시 예이다.

도 10e는 도 9의 RF 신호의 변수 대 시간을 예시하기 위한 그래프의 일 실시 예이다.

도 10f는 도 9의 RF 신호의 변수 대 시간을 예시하기 위한 그래프의 일 실시 예이다.

도 10g는 도 9의 RF 신호의 변수 대 시간 t를 예시하기 위한 그래프의 일 실시 예이다.

도 10h는 도 9의 RF 신호의 변수 대 시간을 예시하기 위한 그래프의 일 실시 예이다.

도 10i는 도 9의 RF 신호의 변수 대 시간을 예시하기 위한 그래프의 일 실시 예이다.

도 10j는 복수의 전력 제어기들 및 복수의 자동 주파수 튜너들 (auto frequency tuners; AFTs) 이 제공되는 시스템의 일 실시 예의 도면이다.

도 10k는 RF 신호의 전력 레벨들을 예시하기 위해 4 개의 상태들 S(n-3), S(n-2), S(n-1), 및 Sn을 갖는 RF 신호를 예시하기 위한 일 실시 예의 도면이다.

도 10l은 RF 신호의 전력 레벨들을 예시하기 위해 4 개의 상태들 S(n-3), S(n-2), S(n-1), 및 Sn을 갖는 또 다른 RF 신호를 예시하기 위한 일 실시 예의 도면이다.

도 10m은 RF 신호의 전력 레벨들을 예시하기 위해 4 개의 상태들 S(n-3), S(n-2), S(n-1), 및 Sn을 갖는 또 다른 RF 신호를 예시하기 위한 일 실시 예의 도면이다.

도 10n은 RF 신호의 전력 레벨들을 예시하기 위해 4 개의 상태들 S(n-3), S(n-2), S(n-1), 및 Sn을 갖는 또 다른 RF 신호를 예시하기 위한 일 실시 예의 도면이다.

도 10o는 RF 신호의 전력 레벨들을 예시하기 위해 4 개의 상태들 S(n-3), S(n-2), S(n-1), 및 Sn을 갖는 또 다른 RF 신호를 예시하기 위한 일 실시 예의 도면이다.

도 10p는 상태들 S(n-A) 내지 Sn 중 하나 이상 동안 0의 전력 레벨이 달성된다는 것을 예시하기 위한 방법의 일 실시 예의 도면이고, 여기서 (n-A) 는 n보다 작은 정수이다.

도 11a는 상태 전이의 기울기의 제어를 예시하기 위한 플라즈마 시스템의 일 실시 예의 도면이다.

도 11b는 시스템의 기능성을 예시하기 위한 도 11a의 시스템의 일 실시 예의 도면이다.

도 12a는 도 3a의 동기화 신호를 예시하기 위한 그래프의 일 실시 예이다.

도 12b는 도 11a 및 도 11b의 RF 신호의 변수 대 시간을 예시하기 위한 그래프의 일 실시 예이다.

도 12c는 도 11a 및 도 11b의 RF 신호의 변수 대 시간을 예시하기 위한 그래프의 일 실시 예이다.

도 12d는 도 11a 및 도 11b의 RF 신호의 변수의 상이한 타입들의 전이들 대 시간을 예시하기 위한 그래프의 일 실시 예의 도면이다.

도 12e는 도 11a 및 도 11b의 RF 신호의 변수의 상이한 타입들의 전이들 대 시간을 예시하기 위한 그래프의 일 실시 예의 도면이다.

도 12f는 펄스 성형 방법의 일 실시 예의 도면이다.

도 12g는 또 다른 펄스 성형 방법의 일 실시 예의 도면이다.

도 12h는 또 다른 펄스 성형 방법의 일 실시 예의 도면이다.

도 12i는 또 다른 펄스 성형 방법의 일 실시 예의 도면이다.

도 12j는 또 다른 펄스 성형 방법의 일 실시 예의 도면이다.

도 12k는 또 다른 펄스 성형 방법의 일 실시 예의 도면이다.

도 12l은 또 다른 펄스 성형 방법의 일 실시 예의 도면이다.

도 13a는 하나 이상의 EtherCAT 케이블들을 통해 플라즈마 시스템의 다양한 컴포넌트들 사이의 정보 전송을 예시하기 위한 시스템의 일 실시 예의 도면이다.

도 13b는 하나 이상의 EtherCAT 케이블들을 통해 플라즈마 시스템의 다양한 컴포넌트들 사이의 정보 전송을 예시하기 위한 시스템의 일 실시 예의 도면이다.

도 14는 EtherCAT 프레임의 일 실시 예의 도면이다.

도 15a는 하나 이상의 EtherCAT 케이블들을 통해 플라즈마 시스템의 다양한 컴포넌트들 사이의 정보 전송을 예시하기 위한 시스템의 일 실시 예의 도면이다.

도 15b는 하나 이상의 EtherCAT 케이블들을 통해 플라즈마 시스템의 다양한 컴포넌트들 사이의 정보 전송을 예시하기 위한 시스템의 일 실시 예의 도면이다.

도 16은 EtherCAT 프레임의 일 실시 예의 도면이다.

도 17은 EtherCAT 케이블들에 커플링된 RF 생성기를 예시하기 위한 시스템의 일 실시 예의 도면이다.

도 18은 RF 케이블을 통해 도 17의 RF 생성기에 커플링되고 EtherCAT 케이블들에 커플링되는 매칭부를 예시하기 위한 시스템의 일 실시 예의 도면이다.

도 19a는 EtherCAT 케이블이 플라즈마 시스템의 2 개의 컴포넌트들 사이에 커플링되는 EtherCAT 동기화 시스템의 일 실시 예를 예시한다.

도 19b는 EtherCAT 케이블이 소스 RF 생성기와 바이어스 RF 생성기 사이에 커플링되고, 또 다른 EtherCAT 케이블이 소스 RF 생성기와 소스 매칭부 사이에 커플링되는 EtherCAT 동기화 시스템의 일 실시 예의 도면이다.

도 19c는 플라즈마 시스템의 컴포넌트들이 데이지 체인 방식으로 커플링되는 EtherCAT 동기화 시스템의 일 실시 예를 예시한다.

도 19d는 플라즈마 시스템의 컴포넌트들이 데이지 체인 방식으로 커플링되는 EtherCAT 동기화 시스템의 일 실시 예를 예시한다.

도 20은 펄스 트레인 캘리브레이션 방법을 예시하기 위한 시스템의 일 실시 예의 도면이다.

도 21은 전압 펄스 평탄화 방법을 예시하기 위한 시스템의 일 실시 예의 도면이다.

도 22는 듀티 사이클 캘리브레이션 방법을 예시하기 위한 시스템의 일 실시 예의 도면이다.

도 23은 TCCT (transformer coupled capacitive tuning) 매칭의 사용을 예시하기 위한 시스템을 예시한다.

도 24a는 상태 매칭 튜닝 방법을 예시하기 위한 시스템의 일 실시 예의 도면이다.

도 24b는 또 다른 상태 매칭 튜닝 방법을 예시하기 위한 시스템의 일 실시 예의 도면이다.

도 25a는 소스 고체 상태 매칭을 예시하기 위한 시스템의 일 실시 예의 도면이다.

도 25b는 바이어스 매칭 대신 바이어스 고체 상태 매칭이 사용되는 것을 예시하기 위한 시스템의 일 실시 예의 도면이다.

도 26a는 고정 주파수를 사용한 매칭 튜닝 방법을 예시하기 위한 시스템의 일 실시 예의 도면이다.

도 26b는 고정 주파수를 사용한 매칭 튜닝 방법을 예시하기 위한 시스템의 일 실시 예의 도면이다.

도 27은 TCP (transformer coupled plasma) 와 바이어스 전극들 사이의 클록 동기화 방법을 예시하기 위한 시스템의 일 실시 예의 도면이다.

도 28a는 동기화 마스터를 예시하기 위한 시스템의 일 실시 예이다.

도 28b는 동기화 마스터를 예시하기 위한 시스템의 일 실시 예이다.

도 29는 엔드 포인트 검출과 함께 멀티 상태 제어의 사용을 예시하기 위한 시스템의 일 실시 예의 도면이다.

도 30은 마이크로 초 레벨에서 궤적들의 주파수 튜닝 또는 전력 튜닝을 위한 방법을 예시하기 위해 전력 제어기들, 자동 주파수 튜너들 (AFTs), 프로세서, 및 전력 공급부를 포함하는 시스템을 예시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0038] 다음의 실시 예들은 무선 주파수 (radio frequency; RF) 플라즈마 툴들에서 멀티 레벨 펄싱을 위한 시스템들 및 방법들을 기술한다. 본 실시 예들은 실시 예들은 이들 구체적인 상세들 중 일부 또는 전부가 없이 실시될 수도 있다는 것이 자명할 것이다. 다른 예들에서, 공지의 프로세스 동작들은 본 실시 예들을 불필요하게 모호하게 하지 않도록 상세히 기술되지 않았다.

[0039] 이하의 기술에서, 멀티 레벨 펄싱 (multi-level pulsing) 의 다수의 실시 예들이 제공된다. 본 명세서에 기술된 실시 예들 중 2 개 이상은 서로 동작하도록 결합될 수 있거나 본 명세서에 기술된 실시 예들 각각은 멀티 레

벨 펄싱과 연관된 특정한 실시 예를 제공하도록 서로 독립적으로 동작할 수 있다.

[0040] 멀티 레벨 펄싱을 용이하게 하는 RF 생성기가 기술된다. RF 생성기는 4 개 이상의 전력 레벨들을 갖는 RF 신호를 생성하고 플라즈마 챔버의 전극에 커플링된 임피던스 매칭 회로에 RF 신호를 제공한다. RF 신호는 클록 사이클 동안 멀티 레벨 펄싱을 달성한다. 예를 들어, RF 신호는 단일 클록 사이클 동안 제 1 전력 레벨로부터 제 2 전력 레벨로 전이하고 (transition), 또한 제 2 전력 레벨로부터 제 3 전력 레벨로 전이하고, 제 3 전력 레벨로부터 제 4 전력 레벨로 전이한다. 멀티 상태 펄싱은 복수의 클록 사이클들 동안 주기적으로 반복된다.

[0041] 제 1 전력 레벨, 제 2 전력 레벨, 제 3 전력 레벨 및 제 4 전력 레벨 각각은 별개의 전력 레벨이다. 예를 들어, 제 1 전력 레벨의 하나 이상의 전력 값들은 제 2 전력 레벨의 하나 이상의 전력 값들, 제 3 전력 레벨의 하나 이상의 전력 값들, 및 제 4 전력 레벨의 하나 이상의 전력 값들과 배타적이거나 상이하다. 또한, 제 2 전력 레벨의 하나 이상의 전력 값들은 제 3 전력 레벨의 하나 이상의 전력 값들 및 제 4 전력 레벨의 하나 이상의 전력 값들과 상이하다. 제 3 전력 레벨의 하나 이상의 전력 값들은 제 4 전력 레벨의 하나 이상의 전력 값들과 상이하다. 예시를 위해, RF 신호의 전력 레벨의 최고 (highest) 전력 값과 RF 신호의 전력 레벨의 최저 (lowest) 전력 값 간의 차는 미리 결정된 백분율보다 작다. 예를 들어, 제 1 전력 레벨의 최고 전력 값은 제 1 전력 레벨의 최저 전력 값보다 최대 20 % 크다. 유사하게, 제 2 전력 레벨의 최고 전력 값은 제 2 전력 레벨의 최저 전력 값보다 최대 20 % 크다.

[0042] 일 실시 예에서, 동일한 전력 레벨이 2 이상의 상태들 동안 인가된다. 예를 들어, 제 1 상태 및 제 2 상태 동안, 일 전력 레벨이 인가되고, 제 3 상태 동안, 상이한 전력 레벨이 인가되고, 제 4 상태 동안, 또 다른 상이한 전력 레벨이 인가된다.

[0043] 멀티 상태 펄싱은 증착 동작, 에칭 동작, 세정 동작, 및 스퍼터링 동작과 같은 프로세싱 동작 동안 상이한 페이즈들 사이의 균형을 달성하도록 수행된다. 예를 들어, RF 신호의 제 1 전력 레벨 및 제 2 전력 레벨은 에칭 동작 동안 증착 페이즈를 수행하도록 사용되고 RF 신호의 제 3 전력 레벨 및 제 4 전력 레벨은 에칭 동작 동안 에칭 페이즈를 수행하도록 사용된다. 또 다른 예로서, 멀티 상태 펄싱의 상태 각각 동안, 상이한 페이즈가 수행된다. 또 다른 예로서, 멀티 상태 펄싱의 하나 이상의 상태들 동안, 일 페이즈가 수행되고, 멀티 상태 펄싱의 하나 이상의 나머지 상태들 동안, 또 다른 페이즈가 수행된다. 예로서, 에칭 동작은 유도 결합 플라즈마 (inductively coupled plasma; ICP) 챔버에서 수행되는 도전체 에칭이다. RF 생성기는 임피던스 매칭 회로를 통해 변압기 결합 플라즈마 (transformer coupled plasma; TCP) 전극 또는 바이어스 전극과 같은 ICP 플라즈마 챔버의 전극에 커플링된다.

[0044] RF 생성기는 RF 생성기에 의해 생성될 RF 신호의 전력 레벨들 각각의 듀티 사이클, 예컨대 지속 기간을 나타내는 디지털 펄스 신호를 수신한다. 원위 펄스 신호는 전력 레벨들 각각이 RF 생성기로부터 공급되는 시간 기간을 나타낸다. 디지털 펄스 신호는 4 개 이상의 상태들과 같은 복수의 상태들을 갖는다. 예를 들어, 디지털 펄스 신호는 제 1 상태 동안 제 1 논리 레벨, 제 2 상태 동안 제 2 논리 레벨, 제 3 상태 동안 제 3 논리 레벨, 및 제 4 상태 동안 제 4 논리 레벨을 갖는다. 논리 레벨 각각은 디지털 펄스 소스에 의해 생성되는 전압 신호의 전압 레벨에 의해 규정된다 (define). 디지털 펄스 소스는 RF 생성기에 디지털 펄스 신호를 제공하도록 RF 생성기에 커플링된다. 게다가, RF 생성기는 멀티 레벨 펄싱의 반복을 용이하게 하도록 복수의 클록 사이클들을 갖는 클록 신호를 수신한다. 클록 신호는 RF 생성기에 클록 신호를 제공하도록 RF 생성기에 커플링되는 클록 소스 또는 디지털 펄스 소스에 의해 생성된다.

[0045] 4 개의 전력 레벨들의 상기 기술은 일 예라는 것을 주의해야 한다. 일 실시 예에서, RF 생성기는 클록 사이클 동안 5, 6, 또는 7, 또는 8 개의 전력 레벨들과 같은 부가적인 수의 전력 레벨들을 생성하고, 전력 레벨들은 복수의 클록 사이클들 동안 반복된다. 전력 레벨들의 수의 증가와 함께, 플라즈마 챔버 내에서 기판의 프로세싱 동안 보다 정밀한 제어가 달성된다. 예를 들어, 클록 사이클 동안 전력 레벨들의 수의 증가와 함께, 기판의 최적의 에칭 또는 기판 상의 재료들의 최적의 증착 또는 이들의 조합이 달성된다. 일 실시 예에서, 4 개 미만의 전력 레벨들, 예컨대 3 개의 전력 레벨들 또는 2 개의 전력 레벨들이 생성된다.

[0046] 또한, 플라즈마 챔버는 ICP 챔버일 수도 있다. 예를 들어, RF 생성기는 플라즈마 챔버의 TCP 전극 또는 바이어스 전극과 같은 전극에 임피던스 매칭 회로를 통해 커플링된다. 멀티 레벨과 같은 멀티 상태를 예시하기 위해, RF 신호는 매칭부를 통해 TCP 전극에 공급되는 한편, 연속파 (continuous wave; CW) RF 신호 또는 듀얼 상태 RF 신호는 또 다른 매칭부를 통해 바이어스 전극에 공급된다. 또 다른 예시로서, 멀티 레벨 RF 신호는 매칭부를 통해 바이어스 전극에 공급되는 한편, CW RF 신호 또는 듀얼 상태 RF 신호는 또 다른 매칭부를 통해 TCP 전극에 공급된다. 또 다른 예시로서, 멀티 레벨 RF 신호는 매칭부를 통해 바이어스 전극에 공급되고 멀티 레벨

RF 신호는 또 다른 매칭부를 통해 TCP 전극에 공급된다. 바이어스 전극은 플라즈마 챔버의 기판 지지부 또는 척 내에 위치되는 하부 전극이다.

[0047] **4 개 이상의 플라즈마 임피던스 상태들을 생성하기 위한 2 상태 RF 생성기들.**

[0048] 도 1은 4 개 이상의 상태들을 갖는 플라즈마 임피던스를 생성하기 위해 소스 RF 생성기 (102) 또는 바이어스 RF 생성기 (104) 와 같은 2 상태 RF 생성기의 사용을 예시하기 위한 플라즈마 시스템 (100) 의 일 실시 예의 도면이다. 시스템 (100) 은 호스트 컴퓨터 (106), 소스 RF 생성기 (102), 바이어스 RF 생성기 (104), 소스 매칭부 (108), 바이어스 매칭부 (110), 및 플라즈마 챔버 (112) 를 포함한다.

[0049] 본 명세서에 사용된 호스트 컴퓨터의 예들은 데스크탑 컴퓨터, 태블릿, 스마트 폰, 및 랩탑 컴퓨터를 포함한다. 본 명세서에 사용된 바와 같이, RF 생성기의 예들은 400 kHz의 동작 주파수, 또는 2 ㎒의 동작 주파수, 또는 27 ㎒의 동작 주파수, 60 MHz의 동작 주파수를 갖는 RF 생성기를 포함한다. 예시를 위해, 바이어스 RF 생성기 (104) 는 2 ㎒의 동작 주파수를 갖고 소스 RF 생성기 (102) 는 60 ㎒의 동작 주파수를 갖고 또는 그 반대로도 된다. 또 다른 예시로서, 바이어스 RF 생성기 (104) 는 400 kHz의 동작 주파수를 갖고 소스 RF 생성기 (102) 는 60 ㎒의 동작 주파수를 갖고 또는 그 반대로도 된다.

[0050] 본 명세서에 사용된 매칭부의 예들은 서로 커플링되는 인덕터들, 커패시터들, 및 레지스터들과 같은 컴포넌트들의 네트워크를 포함한다. 예를 들어, 매칭부는 복수의 직렬 (series) 회로들 및 복수의 션트 (shunt) 회로들을 포함하고, 직렬 회로들 각각은 커패시터 또는 인덕터 또는 이들의 직렬 조합을 포함하고, 션트 회로들 각각은 커패시터 또는 인덕터 또는 이들의 직렬 조합을 포함한다. 용어들 임피던스 매칭부, 임피던스 매칭 회로, 및 임피던스 매칭 네트워크는 본 명세서에서 상호 교환 가능하게 사용된다는 것을 주의해야 한다. 플라즈마 챔버 (112) 의 예들은 변압기 결합 플라즈마 (transformer coupled plasma; TCP) 플라즈마 챔버 및 유도 결합 플라즈마 (inductively coupled plasma; ICP) 플라즈마 챔버를 포함한다.

[0051] 호스트 컴퓨터 (106) 는 프로세서 (118) 및 메모리 디바이스 (120) 를 포함하고, 프로세서 (118) 는 메모리 디바이스 (120) 에 커플링된다. 본 명세서에 사용된 바와 같이, 프로세서의 예들은 CPU (central processing unit), 마이크로 컨트롤러, 제어기, 마이크로 프로세서, ASIC (application specific integrated circuit), 및 PLD (programmable logic device) 를 포함한다. 본 명세서에 사용된 바와 같이, 메모리 디바이스의 예들은 RAM (random access memory) 및 ROM (read-only memory), 또는 이들의 조합을 포함한다. 예시를 위해, 메모리 디바이스는 플래시 메모리 또는 독립 디스크들의 리던던트 어레이이다.

[0052] 플라즈마 챔버 (112) 는 그 위에 TCP 코일 (126) 이 있는 유전체 윈도우 (124) 를 포함한다. 예를 들어, 유전체 윈도우 (124) 는 플라즈마 챔버 (112) 의 상단 표면을 형성한다. TCP 코일 (126) 은 플라즈마 챔버 (112) 의 전극의 일 예이다. 플라즈마 챔버 (114) 는 기판 S가 프로세싱을 위해 상부에 배치되는, 척과 같은 기판 지지부 (128) 를 더 포함한다. 기판 지지부 (128) 는 플라즈마 챔버 (112) 의 전극의 일 예이다. 기판 S는 기판 지지부 (128) 의 상단 표면 상에 배치된다. 기판 지지부 (128) 는 하부 전극이 임베딩된다 (embed). 예로서, 하부 전극은 알루미늄 또는 알루미늄 합금과 같은 금속으로 제조된다.

[0053] 프로세서 (118) 는 전송 케이블 시스템 (130) 을 통해 소스 RF 생성기 (102) 에 커플링된다. 유사하게, 프로세서 (118) 는 전송 케이블 시스템 (134) 을 통해 바이어스 RF 생성기 (104) 에 커플링된다. 본 명세서에 사용된 바와 같이, 전송 케이블 시스템은 하나 이상의 전송 케이블들을 포함한다. 예로서, 본 명세서에 사용된 바와 같이, 전송 케이블은 프로세서 (118) 와 프로세서 (118) 에 커플링된 RFG 사이의 데이터의 직렬 전송을 위한 직렬 전송 케이블을 포함한다. 데이터의 직렬 전송에서, 한번에 1 비트가 전송된다. 전송 케이블의 또 다른 예는 프로세서 (118) 와 프로세서 (118) 에 커플링된 RFG 사이의 데이터의 병렬 전송을 위한 병렬 전송 케이블을 포함한다. 데이터의 병렬 전송에서, 복수의 비트들이 동시에 전송된다. 전송 케이블의 또 다른 예는 USB (Universal Serial Bus) 케이블을 포함한다.

[0054] 소스 RF 생성기 (102) 의 출력부 (154) 는 RF 케이블 (138) 을 통해 소스 매칭부 (108) 의 입력부 (156) 에 커플링되고 소스 매칭부 (108) 의 출력부 (158) 는 RF 송신 라인 (140) 을 통해 TCP 코일 (126) 에 커플링된다. 유사하게, 바이어스 RF 생성기 (104) 의 출력부 (160) 는 RF 케이블 (142) 을 통해 바이어스 매칭부의 입력부 (162) 에 커플링되고 바이어스 매칭부 (110) 의 출력부 (164) 는 RF 송신 라인 (144) 을 통해 기판 지지부 (128) 에 커플링된다. RF 송신 라인의 일 예는 RF 로드 (rod) 를 포함한다. RF 로드는 절연체 재료에 의해 둘러싸이고, 절연체 재료는 RF 송신 라인의 RF 시스 (sheath) 에 의해 더 둘러싸인다. RF 송신 라인의 절연체 재료는 RF 로드와 RF 시스 사이에 있다. RF 송신 라인의 또 다른 예는 절연체 재료 및 RF 로드를 둘러싸는 RF 시

스 및 RF 로드에 커플링되는 하나 이상의 RF 스트랩들을 포함한다. RF 송신 라인의 또 다른 예는 절연체 재료 및 RF 로드를 둘러싸는 RF 시스, 하나 이상의 RF 스트랩들, 및 하나 이상의 RF 스트랩들 중 적어도 하나를 통해 RF 시스에 커플링되는 RF 실린더를 포함한다.

[0055] 프로세서 (118) 는 디지털 클록 신호 또는 디지털 펄싱된 신호와 같은 동기화 신호 (146) 를 생성하고 전송 케이블 시스템 (130) 을 통해 소스 RF 생성기 (102) 로 전송하는 클록 소스를 포함한다. 클록 소스의 일 예는 50 %의 듀티 사이클을 갖는 동기화 신호를 생성하는 위상 고정 루프 (phase-locked loop) 회로를 포함한다. 클록 소스의 또 다른 예는 변화된 듀티 사이클을 갖는 동기화 신호를 출력하기 위해, 동기 신호의 듀티 사이클을 50 %로부터 50 %보다 크거나 작게, 예컨대 80 % 또는 10 %로 변화시키도록 듀티 사이클 제어 회로와 출력부에서 커플링되는 위상 고정 루프 회로를 포함한다. 프로세서 (118) 의 클록 소스는 또한 전송 케이블 시스템 (134) 을 통해 바이어스 RF 생성기 (104) 로 동기화 신호 (146) 를 전송한다.

[0056] 이에 더하여, 프로세서 (118) 는 생성될 RF 신호 (152) 의 주파수 또는 RF 신호 (152) 의 파라미터와 같은 소스 변수들을 전송 케이블 시스템 (130) 을 통해 소스 RF 생성기 (102) 로 전송한다. 본 명세서에 사용된 바와 같이, 변수의 예들은 주파수 및 파라미터를 포함한다. 예시를 위해, 변수는 주파수 또는 전력이다. 본 명세서에 사용될 때, 파라미터의 예들은 전압 및 전력을 포함한다. 예시를 위해, 파라미터는 전압 또는 전력이다. 또한, 프로세서 (118) 는 RF 신호 (168) 의 주파수 및 RF 신호 (168) 의 파라미터와 같은 바이어스 변수들을 전송 케이블 시스템 (134) 을 통해 바이어스 RF 생성기 (104) 로 전송한다.

[0057] 소스 RF 생성기 (102) 는 전송 케이블 시스템 (130) 을 통해 동기화 신호 (146) 및 소스 변수들을 수신시 RF 신호 (152) 를 생성한다. RF 신호 (152) 는 소스 RF 생성기 (102) 에 의해 프로세서 (118) 로부터 수신되는, 주파수 및 전력 또는 전압과 같은 소스 변수들을 갖는다. RF 신호 (152) 는 소스 RF 생성기 (102) 의 출력부 (154) 로부터 RF 케이블 (138) 을 통해 소스 매칭부 (108) 의 입력부 (156) 로 전송된다. 소스 매칭부 (108) 는 RF 신호 (152) 를 수신하고 소스 매칭부 (108) 의 출력부 (158) 에 커플링되는 부하의 임피던스를 소스 매칭부 (108) 의 입력부 (156) 에 커플링되는 소스의 임피던스와 매칭하도록 RF 신호 (152) 의 임피던스를 수정한다. 소스 매칭부 (108) 는 소스 매칭부 (108) 의 출력부 (158) 에서 수정된 RF 신호 (166) 를 출력하도록 RF 신호 (152) 의 임피던스를 수정한다. 수정된 RF 신호 (166) 는 출력부 (158) 로부터 RF 송신 라인 (140) 을 통해 TCP 코일 (126) 로 전송된다.

[0058] 유사하게, 전송 케이블 (134) 을 통해 동기화 신호 (146) 및 바이어스 변수들을 수신시, 바이어스 RF 생성기 (104) 는 RF 신호 (168) 를 생성한다. RF 신호 (168) 는 바이어스 RF 생성기 (104) 에 의해 프로세서 (118) 로부터 수신되는, 주파수 및 전력 또는 전압과 같은 바이어스 변수들을 갖는다. RF 신호 (168) 는 바이어스 RF 생성기 (104) 의 출력부 (160) 로부터 RF 케이블 (142) 을 통해 바이어스 매칭부 (110) 의 입력부 (162) 로 전송된다. 바이어스 매칭부 (110) 는 RF 신호 (168) 를 수신하고 바이어스 매칭부 (110) 의 출력부 (164) 에 커플링되는 부하의 임피던스를 바이어스 매칭부 (110) 의 입력부 (162) 에 커플링되는 소스의 임피던스와 매칭시키도록 RF 신호 (168) 의 임피던스를 수정한다. 바이어스 매칭부 (110) 는 바이어스 매칭부 (110) 의 출력부 (164) 에서 수정된 RF 신호 (170) 를 출력하도록 RF 신호 (168) 의 임피던스를 수정한다. 수정된 RF 신호 (170) 는 출력부 (164) 로부터 RF 송신 라인 (144) 의 RF 로드를 통해 기판 지지부 (128) 내에 임베딩된 하부 전극으로 전송된다.

[0059] 일 실시 예에서, 수정된 RF 신호 (166) 는 수정된 RF 신호 (166) 가 생성되는 RF 신호 (152) 와 동일한 수의 파라미터 레벨들을 갖는다는 것을 주의해야 한다. 예를 들어, RF 신호들 (152 및 166) 각각은 동기화 신호 (146) 의 사이클 동안 2 개의 파라미터 레벨들을 갖는다. 또한, 일 실시 예에서, RF 신호 (152) 및 수정된 RF 신호 (166) 각각은 일 파라미터 레벨로부터 또 다른 파라미터 레벨로 동시에 전이한다. 예를 들어, RF 신호 (152) 가 일 파라미터 레벨에서 다른 레벨로 전이할 때, 수정된 RF 신호 (166) 는 일 파라미터 레벨에서 다른 레벨로 전이한다. 일 실시 예에서, 수정된 RF 신호 (166) 는 RF 신호 (152) 와 동일한 파라미터 레벨을 갖는다. 예를 들어, RF 신호 (152) 가 제 1 파라미터 레벨을 가질 때, 수정된 RF 신호는 동일한 제 1 파라미터 레벨을 갖는다.

[0060] 일 실시 예에서, 수정된 RF 신호 (170) 는 수정된 RF 신호 (170) 가 생성되는 RF 신호 (168) 와 동일한 수의 파라미터 레벨들을 갖는다는 것을 주의해야 한다. 예를 들어, RF 신호들 (168 및 170) 각각은 동기화 신호 (146) 의 사이클 동안 3 개의 파라미터 레벨들을 갖는다. 또한, 일 실시 예에서, RF 신호 (168) 및 수정된 RF 신호 (170) 각각은 일 파라미터 레벨로부터 다른 파라미터 레벨로 동시에 전이한다. 예를 들어, RF 신호 (168) 가 일 파라미터 레벨에서 다른 레벨로 전이할 때, 수정된 RF 신호 (170) 는 일 파라미터 레벨에서 다른 레벨로 전

이한다. 일 실시 예에서, 수정된 RF 신호 (170) 는 RF 신호 (168) 와 동일한 파라미터 레벨을 갖는다. 예를 들어, RF 신호 (168) 가 제 1 파라미터 레벨을 가질 때, 수정된 RF 신호는 동일한 제 1 파라미터 레벨을 갖는다.

[0061] 하나 이상의 프로세스 가스들, 예컨대 산소 함유 가스, 또는 불소 함유 가스, 또는 이들의 조합이 수정된 RF 신호들 (166 및 170) 에 더하여 플라즈마 챔버 (112) 의 인클로저 또는 하우징에 공급될 때, 플라즈마는 플라즈마 챔버 (112) 의 인클로저 또는 하우징 내에서 생성되거나 유지된다. 플라즈마는 기판 S를 프로세싱하도록 사용되고 임피던스를 갖는다. 예를 들어, 플라즈마는 기판 S 상에 재료들을 증착하거나, 기판 S를 에칭하거나, 기판 S를 스퍼터링하거나, 기판 S를 세정하거나, 이들의 조합을 위해 사용된다.

[0062] 일 실시 예에서, TCP 코일 (126) 대신, 복수의 TCP 코일들이 유전체 윈도우 (124) 위에 배치된다. 일 실시 예에서, TCP 코일 (126) 에 더하여, 하나 이상의 TCP 코일들이 플라즈마 챔버 (112) 의 측면에 배치된다.

[0063] 도 2는 RF 생성기 (202) 의 상세들을 예시하기 위한 시스템 (200) 의 일 실시 예의 도면이다. 시스템 (200) 은 RF 생성기 (202) 및 호스트 컴퓨터 (106) 를 포함한다. 시스템 (200) 은 매칭부 (216) 및 RF 케이블 (218) 을 더 포함한다. RF 생성기 (202) 는 소스 RF 생성기 (102) 또는 바이어스 RF 생성기 (104) (도 1) 의 일 예이다. 매칭부 (216) 는 소스 매칭부 (108) 또는 바이어스 매칭부 (110) (도 1) 의 일 예이다. RF 케이블 (218) 은 RF 케이블 (138) 또는 RF 케이블 (142) (도 1) 의 일 예이고, RF 전력 공급부 (222) 의 출력부 (217) 에 커플링된다. RF 생성기 (202) 는 DSP (digital signal processor) (204), 전력 제어기 (PRS1) (206), 전력 제어기 (PRS2) (208), 주파수 제어기 (FC) (210), 구동기 시스템 (driver system) (212), 및 RF 전력 공급부 (222) 를 포함한다.

[0064] 본 명세서에 사용된 디지털 신호 프로세서의 예들은 제어기, 마이크로프로세서, 및 마이크로 컨트롤러를 포함하고, 이들 용어들은 본 명세서에서 때때로 상호 교환 가능하게 사용된다. 본 명세서에 사용된 바와 같이, 파라미터 제어기의 예들은 프로세서와 메모리 디바이스의 조합을 포함한다. 파라미터 제어기의 프로세서는 파라미터 제어기의 메모리 디바이스에 커플링된다. 유사하게, 본 명세서에 사용된 바와 같이, 주파수 제어기의 예들은 프로세서와 메모리 디바이스의 조합을 포함한다. 주파수 제어기의 프로세서는 주파수 제어기의 메모리 디바이스에 커플링된다. 본 명세서에 사용된 바와 같이, 구동기 시스템의 예는 서로 커플링되는 하나 이상의 트랜지스터들과 같은 하나 이상의 구동기들을 갖는 회로를 포함한다. 본 명세서에 사용된 바와 같이, RF 전력 공급부의 예들은 사인파와 같은 주기적인 오실레이팅 RF 신호를 생성하는 전자 오실레이터를 포함한다.

[0065] 프로세서 (118) 는 전송 케이블 시스템 (214) 을 통해 DSP (204) 에 커플링된다. 전송 케이블 시스템 (214) 은 전송 케이블 시스템 (130) 또는 전송 케이블 시스템 (134) (도 1) 의 일 예이다. DSP (204) 는 파라미터 제어기들 (206 및 208) 및 주파수 제어기 (210) 에 커플링된다. 파라미터 제어기들 (206 및 208) 은 RF 전력 공급부 (222) 에 커플링되는 구동기 시스템 (212) 에 커플링된다. 또한, 주파수 제어기 (210) 는 구동기 시스템 (212) 에 커플링된다. RF 전력 공급부 (222) 는 RF 케이블 (218) 을 통해 매칭부 (216) 에 커플링된다.

[0066] 프로세서 (118) 는 소스 변수들 또는 바이어스 변수들과 같은 변수들, 및 전송 케이블 시스템 (214) 을 통해 DSP (204) 로 동기화 신호 (146) 를 제공한다. 변수들을 수신하면, DSP (204) 는 RF 신호 (220) 의 상태 S1에 대한 파라미터, 예컨대 전력 레벨 또는 전압 레벨을 파라미터 제어기 (206) 의 메모리 디바이스의 상태 S1에 대한 파라미터의 저장을 위해 파라미터 제어기 (206) 로 제공한다. 예로서, 전력 레벨 또는 전압 레벨과 같은 파라미터 레벨은 RF 신호의 엔벨로프이다. 예시로서, 파라미터 레벨은 별개의 수평 레벨이고 또 다른 파라미터 레벨의 별개의 수평 레벨보다 높거나 낮다. 또 다른 예시로서, 파라미터 레벨은 RF 신호의 하나 이상의 제로-투-피크 진폭들 (zero-to-peak amplitudes) 또는 하나 이상의 제로-투-피크 크기들 (magnitudes) 또는 하나 이상의 피크-투-피크 (peak-to-peak) 진폭들 또는 하나 이상의 피크-투-피크 크기들이다. 파라미터 레벨의 진폭들은 서로로부터 0 내지 5 %와 같은 미리 결정된 범위 내에 있고 또 다른 또는 상이한 파라미터 레벨의 진폭들을 배제한다. 또 다른 예로서, 파라미터 레벨은 최대 값과 최소 값을 갖는다. 최대 값은 파라미터 레벨의 모든 값들의 최대 값이고 최소 값은 파라미터 레벨의 모든 값들의 최소 값이다. 제 1 파라미터 레벨은 제 1 파라미터 레벨의 최대 값이 제 2 파라미터 레벨의 최소 값보다 작을 때 제 2 파라미터 레벨보다 낮고 제 1 파라미터 레벨은 제 1 파라미터 레벨의 최소 값이 제 2 파라미터 레벨의 최대 값보다 클 때 제 2 파라미터 레벨보다 높다.

[0067] 또한, 변수들의 수신에 응답하여, DSP (204) 는 RF 신호 (220) 의 상태 S2에 대한 파라미터, 예컨대 전력 레벨 또는 전압 레벨을 파라미터 제어기 (208) 의 메모리 디바이스에 상태 S1에 대한 파라미터의 저장을 위해 파라미터 제어기 (208) 로 제공한다. 유사하게, 변수들을 수신할 때, DSP (204) 는 주파수 제어기 (210) 의 메모리

디바이스에 저장하기 위해 주파수 제어기 (210) 로 주파수 레벨을 제공한다.

[0068] 일 실시 예에서, 레벨, 예컨대 변수들 중 하나의 레벨은 하나 이상의 값들을 포함한다. 예를 들어, 전력 레벨은 서로 미리 결정된 범위 내에 있는 하나 이상의 전력 값들을 포함하거나 전압 레벨은 서로로부터 미리 결정된 범위 내에 있는 하나 이상의 전압 값들을 포함한다. 또 다른 예로서, RF 신호의 변수 레벨은 RF 신호의 하나 이상의 제로-투-피크 진폭들 또는 하나 이상의 제로-투-피크 크기들 또는 하나 이상의 피크-투-피크 진폭들 또는 하나 이상의 피크-투-피크 크기들이다. 변수 레벨의 진폭들은 서로로부터 0 내지 5 %와 같은 미리 결정된 범위 내에 있고 또 다른 또는 상이한 변수 레벨의 진폭들을 배제한다. 또 다른 예로서, 변수 레벨은 별개의 수평 레벨이고 또 다른 변수 레벨의 별개의 수평 레벨보다 높거나 낮다.

[0069] 일 실시 예에서, 제 1 변수 레벨의 값들은 제 2 변수 레벨의 값들과 상이하다. 예를 들어, 제 1 변수 레벨의 값들은 제 2 변수 레벨의 값들을 배제한다. 또 다른 예로서, 제 1 변수 레벨의 값들 중 어느 것도 제 2 변수 레벨의 값들 중 어느 것과 동일하지 않다.

[0070] 동기화 신호 (146) 의 수신시, DSP (204) 는 동기화 신호 (146) 의 사이클들을 식별한다. 예를 들어, DSP (204) 는 동기화 신호 (146) 의 사이클 1이 제 1 시간에 시작되고 제 2 시간에 종료되거나 중단된다는 것을 결정하고, 동기화 신호 (146) 의 사이클 2가 제 2 시간에 시작되고 제 3 시간에 종료되거나 중단된다고 결정한다. 예시를 위해, DSP (204) 는 동기화 신호 (146) 의 사이클을 식별하기 위해 동기화 신호 (146) 의 논리 레벨이 시작 시간에 0에서 1로 전이하고 중단 시간에 0에서 1로 다시 전이한다고 결정하고, 그리고 시작 시간 및 중단 시간에서 전이들 사이에 0에서 1 로의 다른 전이가 없다고 결정한다. DSP (204) 는 동기화 신호 (146) 의 사이클들의 수를 결정하기 위해 사이클 각각을 카운팅한다.

[0071] 또한, 사이클들의 식별시, 동기화 신호 (146) 의 사이클 각각 동안, DSP (204) 는 상태 S1에 대한 인스트럭션 (instruction) 신호를 파라미터 제어기 (206) 로 전송한다. 예를 들어, DSP (204) 는 상태 S2 또는 상태 S0으로부터 상태 S1로 전이할 때 상태 S1에 대한 인스트럭션 신호를 파라미터 제어기 (206) 로 전송한다. 파라미터 제어기 (206) 로 전송된 상태 S1에 대한 인스트럭션 신호는 파라미터 제어기 (206) 가 상태 S1에 대한 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (212) 에 제공하는 사이클 각각 동안 상태 S1에 대한 시간 기간을 포함한다. 상태 S1에 대한 인스트럭션 신호를 수신하면, 파라미터 제어기 (206) 는 파라미터 제어기 (206) 의 메모리 디바이스로부터 상태 S1에 대한 파라미터 레벨에 액세스하고 상태 S1에 대한 시간 기간 동안 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (212) 으로 전송한다. 예를 들어, 파라미터 제어기 (206) 는 상태 S2 또는 상태 S0으로부터 상태 S1로 전이할 때 상태 S1에 대한 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (212) 에 전송한다. 상태 S1에 대한 시간 기간 후, 동기화 신호 (146) 의 사이클 동안, 파라미터 제어기 (206) 는 상태 S1에 대한 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (212) 에 전송하지 않는다.

[0072] 유사하게, 동기화 신호 (146) 의 수신시, 사이클들의 식별시, 동기화 신호 (146) 의 사이클 각각 동안, DSP (204) 는 상태 S2에 대한 인스트럭션 신호를 파라미터 제어기 (208) 로 전송한다. 예를 들어, DSP (204) 는 상태 S1 또는 상태 S0으로부터 상태 S2로 전이할 때 상태 S2에 대한 인스트럭션 신호를 파라미터 제어기 (208) 로 전송한다. 파라미터 제어기 (208) 로 전송된 상태 S2에 대한 인스트럭션 신호는 파라미터 제어기 (208) 가 상태 S2에 대한 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (212) 에 제공하는 사이클 각각 동안 상태 S2에 대한 시간 기간을 포함한다. 상태 S2에 대한 인스트럭션 신호를 수신하면, 파라미터 제어기 (208) 는 파라미터 제어기 (208) 의 메모리 디바이스로부터 상태 S2에 대한 파라미터 레벨에 액세스하고 상태 S2에 대한 시간 기간 동안 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (212) 으로 전송한다. 예를 들어, 파라미터 제어기 (206) 는 상태 S1 또는 상태 S0으로부터 상태 S2로 전이할 때 상태 S2에 대한 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (212) 에 전송한다. 상태 S2에 대한 시간 기간 후, 동기화 신호 (146) 의 사이클 동안, 파라미터 제어기 (208) 는 상태 S2에 대한 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (212) 에 전송하지 않는다.

[0073] 또한, 동기화 신호 (146) 의 수신시, 동기화 신호 (146) 의 사이클 각각 동안, DSP (204) 는 인스트럭션 신호를 주파수 제어기 (210) 로 전송한다. 인스트럭션 신호를 수신하면, 주파수 제어기 (210) 는 주파수 제어기 (210) 의 메모리 디바이스로부터 주파수 레벨에 액세스하고 주파수 레벨을 구동기 시스템 (212) 에 전송한다.

[0074] 상태 S1에 대한 파라미터 레벨 및 주파수 레벨을 수신하는 것에 응답하여, 구동기 시스템 (212) 은 상태 S1에 대한 시간 기간 동안 상태 S1에 대한 구동 신호를 생성하고 구동 신호를 RF 전력 공급부 (222) 로 전송한다. 예를 들어, 상태 S2 또는 상태 S0으로부터 상태 S1로 전이할 때 상태 S1에 대한 파라미터 레벨 및 주파수 레벨을 수신하면, 구동기 시스템 (212) 은 상태 S1에 대한 시간 기간 동안 상태 S1에 대한 구동 신호를 생성하고 구동 신호를 RF 전력 공급부 (222) 로 전송한다. RF 전력 공급부 (222) 는 구동기 시스템 (212) 으로부터 상태

S1에 대한 구동 신호를 수신할 때 RF 신호 (220) 의 상태 S1을 생성한다. 예를 들어, 구동기 시스템 (212) 으로부터 상태 S1에 대한 구동 신호를 수신하면, RF 전력 공급부 (222) 는 RF 신호 (220) 를 상태 S0 또는 상태 S2로부터 상태 S1로 전이한다. RF 신호 (220) 의 상태 S1은 상태 S1에 대한 파라미터 레벨 및 상태 S1에 대한 시간 기간 동안 주파수 레벨을 갖는다.

[0075] 유사하게, 상태 S2에 대한 파라미터 레벨 및 주파수 레벨을 수신하는 것에 응답하여, 구동기 시스템 (212) 은 상태 S2에 대한 시간 기간 동안 상태 S2에 대한 구동 신호를 생성하고 구동 신호를 RF 전력 공급부 (222) 로 전송한다. 예를 들어, 상태 S1 또는 상태 S0으로부터 상태 S2로 전이할 때 상태 S2에 대한 파라미터 레벨 및 주파수 레벨을 수신하면, 구동기 시스템 (212) 은 상태 S2에 대한 시간 기간 동안 상태 S2에 대한 구동 신호를 생성하고 구동 신호를 RF 전력 공급부 (222) 로 전송한다. RF 전력 공급부 (222) 는 구동기 시스템 (212) 으로부터 상태 S2에 대한 구동 신호를 수신할 때 RF 신호 (220) 의 상태 S2를 생성한다. 예를 들어, 구동기 시스템 (212) 으로부터 상태 S2에 대한 구동 신호를 수신하면, RF 전력 공급부 (222) 는 RF 신호 (220) 를 상태 S0 또는 상태 S1로부터 상태 S2로 전이한다. RF 신호 (220) 의 상태 S2는 상태 S2에 대한 시간 기간 동안 상태 S2에 대한 파라미터 레벨 및 주파수 레벨을 갖는다.

[0076] 또한, 일 실시 예에서, 동기화 신호 (146) 의 사이클 각각 동안, RF 신호 (220) 가 0의 파라미터 레벨을 갖는 시간 기간이 있다. RF 신호 (220) 는 상태 S0과 같은, 무 상태 (no-state; NS) 동안 0의 파라미터 레벨을 갖는다. 예로서, 본 명세서에 기술된 RF 신호의 파라미터 레벨은 파라미터 레벨이 0에 가깝거나 실질적으로 0일 때 0이다. 예시를 위해, 파라미터 레벨이 미리 결정된 값보다 작을 때 파라미터 레벨은 0이다. 파라미터 레벨의 미리 결정된 값의 일 예는 1 W이다. 파라미터 레벨의 미리 결정된 값의 또 다른 예는 0.25 W이다. 파라미터 레벨의 미리 결정된 값의 또 다른 예는 0.5 W이다. 동기화 신호 (146) 의 수신시, 동기화 신호 (146) 의 사이클 각각 동안, DSP (204) 는 무 상태에 대한 시간 기간 동안 파라미터 제어기들 (206 및 208) 로 상태 S1 및 상태 S2에 대한 인스트럭션 신호들을 전송하지 않는다.

[0077] 상태 S1 및 상태 S2에 대한 인스트럭션 신호가 수신되지 않는 무 상태에 대한 시간 기간 동안, 파라미터 제어기들 (206 및 208) 은 상태 S1 및 상태 S2에 대한 파라미터 레벨들을 구동기 시스템 (212) 으로 전송하지 않거나 중단한다. 예를 들어, 상태 S1에 대한 시간 기간 후, 파라미터 제어기 (206) 는 상태 S1에 대한 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (212) 에 전송하지 않는다. 또 다른 예로서, 상태 S2에 대한 시간 기간 후, 파라미터 제어기 (208) 는 상태 S2에 대한 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (212) 에 전송하지 않는다.

[0078] 상태 S1 및 상태 S2에 대한 파라미터 레벨들이 수신되지 않을 때, 구동기 시스템 (212) 은 RF 전력 공급부 (222) 로 구동 신호를 전송하지 않는다. 무 상태에 대한 시간 기간 동안 구동 신호가 수신되지 않을 때, RF 전력 공급부 (222) 는 무 상태 동안 0의 파라미터 레벨을 갖는 RF 신호 (220) 를 생성한다. 예를 들어, 구동 신호가 수신되지 않을 때, 전력 공급부 (222) 는 RF 신호 (220) 를 상태 S1 또는 상태 S2로부터 무 상태 S0으로 전이한다.

[0079] 일 실시 예에서, 파라미터 제어기 (206), 파라미터 제어기 (208), 및 주파수 제어기 (210) 대신, 하나 이상의 프로세서들과 같은 하나 이상의 제어기들이 파라미터 제어기들 (206 및 208), 및 주파수 제어기 (210) 에 의해 수행될 때 본 명세서에 기술된 기능들을 수행하도록 사용된다. 하나 이상의 제어기들 각각은 프로세서 및 메모리 디바이스를 포함하고, 프로세서는 메모리 디바이스에 커플링된다.

[0080] 일 실시 예에서, DSP (204), 파라미터 제어기 (206), 파라미터 제어기 (208), 및 주파수 제어기 (210) 대신, 하나 이상의 프로세서들과 같은 하나 이상의 제어기들이 DSP (204), 파라미터 제어기들 (206 및 208), 및 주파수 제어기 (210) 에 의해 수행될 때 본 명세서에 기술된 기능들을 수행하도록 사용된다. 하나 이상의 제어기들 각각은 프로세서 및 메모리 디바이스를 포함하고, 프로세서는 메모리 디바이스에 커플링된다.

[0081] 도 3a는 동기화 신호 (302) 를 예시하기 위한 그래프 (300) 의 일 실시 예이다. 그래프 (300) 는 동기화 신호 (302) 의 논리 레벨 대 시간 t를 플롯팅한다. 동기화 신호 (302) 는 동기화 신호 (146) (도 1) 의 일 예이다. 동기화 신호 (302) 의 논리 레벨은 y 축에 플롯팅되고 시간 t는 x 축에 플롯팅된다. 본 명세서에 사용된 바와 같이, 논리 레벨은 0으로부터 1의 범위이고, 논리 레벨 0은 0 V DC에 대응하고 논리 레벨 1은 5 V DC에 대응한다. 본 명세서에 사용된 바와 같이, 동기화 신호는 논리 레벨 1 및 논리 레벨 0을 갖는 구형파와 같은 디지털 펄싱된 신호이다.

[0082] 동기화 신호 (302) 는 50 %의 듀티 사이클을 갖는다. 예를 들어, 동기화 신호 (302) 는 시간 t0에서 시간 t5까지 1의 논리 레벨을 갖는다. 동기화 신호 (302) 는 시간 t5에서 시간 t10까지 0의 논리 레벨을 갖고, 시간

t10에서 시간 t15까지 1의 논리 레벨을 갖고, 시간 t15에서 시간 t20까지 0의 논리 레벨을 갖는다.

[0083] 시간 t0과 시간 t20 사이의 시간 인터벌 (interval) 은 동일한 시간 인터벌들로 분할된다. 예를 들어, 시간 t0과 시간 t20 사이의 시간 인터벌은 시간 t0과 시간 t1 사이의 제 1 시간 인터벌, 시간 t1과 시간 t2 사이의 제 2 시간 인터벌, 시간 t2와 시간 t3 사이의 제 3 시간 인터벌, 시간 t3과 시간 t4 사이의 제 4 시간 인터벌, 시간 t4와 시간 t5 사이의 제 5 시간 인터벌, 시간 t5와 시간 t6 사이의 제 6 시간 인터벌, 시간 t6과 시간 t7 사이의 제 7 시간 인터벌, 시간 t7과 시간 t8 사이의 제 8 시간 인터벌, 시간 t8과 시간 t9 사이의 제 9 시간 인터벌, 시간 t9와 시간 t10 사이의 제 10 시간 인터벌, 시간 t10과 시간 t11 사이의 제 11 시간 인터벌, 시간 t11과 시간 t12 사이의 제 12 시간 인터벌, 시간 t12와 시간 t13 사이의 제 13 시간 인터벌, 시간 t13과 시간 t14 사이의 제 14 시간 인터벌, 시간 t14와 시간 t15 사이의 제 15 시간 인터벌, 시간 t15와 시간 t16 사이의 제 16 시간 인터벌, 시간 t16과 시간 t17 사이의 제 17 시간 인터벌, 시간 t17과 시간 t18 사이의 제 18 시간 인터벌, 시간 t18과 시간 t19 사이의 제 19 시간 인터벌, 및 시간 t19와 시간 t20 사이의 제 20 시간 인터벌로 분할된다. 제 1 시간 인터벌 내지 제 20 시간 인터벌 각각은 동일하거나 같다.

[0084] 동기화 신호 (302) 는 사이클 1 및 사이클 2와 같은 복수의 사이클들을 갖고, 사이클 각각 동안 논리 레벨 1 및 논리 레벨 0을 반복한다. 예를 들어, 동기화 신호 (302) 는 사이클 1 동안 시간 t5에서 논리 레벨 1로부터 논리 레벨 0으로 전이하고 그리고 사이클 2 동안 시간 t15에서 논리 레벨 1로부터 논리 레벨 0으로 전이한다. 또 다른 예로서, 사이클 1의 시간 t0에서, 동기화 신호 (302) 는 사이클 0의 논리 레벨 0으로부터 사이클 1의 논리 레벨 1로 전이한다. 사이클 0은 동기화 신호 (302) 의 사이클이고 동기화 신호 (302) 의 사이클 1에 선행한다. 유사하게, 사이클 1의 시간 t10에서, 동기화 신호 (302) 는 사이클 1의 논리 레벨 0으로부터 사이클 2의 논리 레벨 1로 전이한다. 시간 t0 내지 시간 t10은 본 명세서에 기술된 동기화 신호의 사이클 1 동안 발생하고, 시간 t10 내지 시간 t20은 동기화 신호의 사이클 2 동안 발생한다. 사이클 1은 시간 t0에 시작되고 시간 t10에 종료되고, 사이클 2는 시간 t10에 시작되고 시간 t20에 종료된다.

[0085] 본 명세서에 기술된 동기화 신호의 사이클 각각은 주기적으로 반복된다. 예를 들어, 동기화 신호의 사이클 2는 동기화 신호의 사이클 1에 이어지고 연속적이며 그리고 동기화 신호의 사이클 2는 동기화 신호의 사이클 0에 이어지고 연속적이다.

[0086] 도 3b는 소스 RF 신호인 RF 신호 (152) 의 파라미터 (306) 대 시간 t를 예시하기 위한 그래프 (304) 의 일 실시예이다. 파라미터 (306) 는 y 축에 플롯팅되고 시간 t는 x 축에 플롯팅된다.

[0087] 파라미터 (306) 는 동기화 신호 (302) 와 동기하여 파라미터 레벨 PR1과 파라미터 레벨 PR2 사이에서 주기적으로 전이한다. 예를 들어, 파라미터 (306) 는 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안 파라미터 레벨 PR1과 파라미터 레벨 PR2 사이에서 전이하고 그리고 다시 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안 파라미터 레벨 PR1과 파라미터 레벨 PR2 사이에서 전이한다. 예시를 위해, 파라미터 (306) 는 시간 t0 내지 시간 t5의 상태 S1의 인스턴스 (instance) 동안 파라미터 레벨 PR1, 시간 t5로부터 시간 t10까지의 상태 S2의 인스턴스 동안 파라미터 레벨 PR2, 시간 t10으로부터 시간 t15까지 상태 S1의 또 다른 인스턴스 동안 파라미터 레벨 PR1, 그리고 시간 t15로부터 시간 t20까지 상태 S2의 또 다른 인스턴스 동안 파라미터 레벨 PR2을 갖는다. 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안, 파라미터 (306) 는 시간 t0에 파라미터 레벨 PR2로부터 파라미터 레벨 PR1로 전이하고 그리고 시간 t5에 파라미터 레벨 PR1로부터 파라미터 레벨 PR2로 전이한다. 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안, 파라미터 (306) 는 시간 t10에 파라미터 레벨 PR2로부터 파라미터 레벨 PR1로 다시 전이하고 그리고 시간 t15에 파라미터 레벨 PR1로부터 파라미터 레벨 PR2로 전이한다. 파라미터 레벨 PR1은 RF 신호 (152) 의 상태 S1에 대한 파라미터 레벨의 일 예이고 파라미터 레벨 PR2는 RF 신호 (152) 의 상태 S2에 대한 파라미터 레벨의 일 예이다.

[0088] 파라미터 레벨 PR1은 파라미터 레벨 PR2보다 작다. 예를 들어, 파라미터 레벨 PR1의 전력 값들은 파라미터 레벨 PR2의 전력 값들보다 낮다. 또 다른 예로서, 파라미터 레벨 PR1의 전력 값 중 어느 것도 파라미터 레벨 PR2의 전력 값보다 크지 않다. 파라미터 레벨 PR1은 0보다 크다.

[0089] 일 실시 예에서, 2 개의 파라미터 레벨들 사이의 전이 시간인 전이 시간은 2 시간들 사이의 시간 기간이다. 예를 들어, 시간 t5에서 전력 레벨 PR1로부터 전력 레벨 PR2로 전이하는 대신, 파라미터 (306) 는 제 1 시간에 파라미터 레벨 PR1로부터 전이를 시작하고 제 2 시간에 파라미터 레벨 PR2 로의 전이를 종료한다. 제 1 시간은 시간 t5 전이고 시간 t2와 시간 t5 사이이고 제 2 시간은 시간 t5 후 그리고 시간 t5와 시간 t8 사이이다. 전이 시간 기간은 제 1 시간과 제 2 시간 사이의 전이 시간이다.

[0090] 일 실시 예에서, PR1과 PR2 파라미터 레벨들 사이에서 전이하는 대신, 파라미터 (306) 는 0과 PR2 파라미터 레

벨들 사이 또는 0과 PR1 파라미터 레벨들 사이에서 전이한다.

[0091] 일 실시 예에서, 동기화 신호 (302) 에 더하여, 디지털 펄싱된 신호는 전송 케이블 시스템 (214) 을 통해 프로세서 (118) 로부터 DSP (204) 에 의해 수신된다. 예를 들어, 동기화 신호 (302) 는 전송 케이블 시스템 (214) 의 제 1 전송 케이블을 통해 수신되고 디지털 펄싱된 신호는 전송 케이블 시스템 (214) 의 제 2 전송 케이블을 통해 수신된다. 디지털 펄싱된 신호는 파라미터 (306) 가 파라미터 레벨 PR1과 파라미터 레벨 PR2 사이에서 전이하는 동일한 방식으로 2 개의 논리 레벨들 사이에서 주기적으로 전이한다. 예를 들어, 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안, 디지털 펄싱된 신호는 시간 t0에서 논리 레벨 1로부터 논리 레벨 0으로 전이하고 시간 t5에서 논리 레벨 0에서 논리 레벨 1로 전이한다. 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안, 디지털 펄싱된 신호는 시간 t10에서 논리 레벨 1에서 논리 레벨 0으로 전이하고 시간 t15에서 논리 레벨 0에서 논리 레벨 1로 전이한다. 디지털 펄싱된 신호를 수신하면, DSP (204) 는 디지털 펄싱된 신호로부터 파라미터 (306) 의 상태 S1 및 상태 S2에 대한 시간 기간들을 식별하고, 시간 기간들을 갖는 인스트럭션 신호들을 생성한다. 예를 들어, 파라미터 (306) 의 상태 S1에 대한 시간 기간은 디지털 펄싱된 신호의 논리 레벨 1에 대한 시간 기간과 동일하고 파라미터 (306) 의 상태 S2에 대한 시간 기간은 디지털 펄싱된 신호의 논리 레벨 2에 대한 시간 기간과 동일하다.

[0092] 도 3c는 바이어스 RF 신호인 RF 신호 (168) (도 1) 의 파라미터 (310) 대 시간 t를 예시하기 위한 그래프 (308) 의 일 실시 예이다. 파라미터 (310) 는 y 축에 플롯팅되고 시간 t는 x 축에 플롯팅된다. 파라미터 (310) 는 동기화 신호 (302) 와 동기하여 파라미터 레벨 0, 파라미터 레벨 PR1, 및 파라미터 레벨 PR2 사이에서 주기적으로 전이한다. 예를 들어, 파라미터 (310) 는 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안 파라미터 레벨 0, 파라미터 레벨 PR2, 및 파라미터 레벨 PR1 사이에서 전이하고 그리고 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안 파라미터 레벨 0, 파라미터 레벨 PR2, 및 파라미터 레벨 PR1 사이에서 다시 전이한다. 예시를 위해, 파라미터 (306) 는 시간 t0으로부터 시간 t2까지의 상태 S0의 인스턴스 동안 파라미터 레벨 0을 갖고, 시간 t2로부터 시간 t8까지의 상태 S1의 인스턴스 동안 파라미터 레벨 PR2, 시간 t8로부터 시간 t10까지 상태 S2의 인스턴스 동안 파라미터 레벨 PR1을 갖는다. 0, PR2, 및 PR1의 파라미터 레벨들은 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안 반복된다. 동기화 신호 (402) 의 사이클 1 동안, 파라미터 (310) 는 시간 t0에 파라미터 레벨 PR1로부터 파라미터 레벨 0으로 전이하고, 시간 t2에 파라미터 레벨 0으로부터 파라미터 레벨 PR2로 전이하고, 시간 t8에 파라미터 레벨 PR2로부터 파라미터 레벨 PR1로 전이하고, 그리고 시간 t10에 파라미터 레벨 PR1로부터 파라미터 레벨 0으로 전이한다. 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안, 파라미터 (310) 는 시간 t10에 파라미터 레벨 PR1로부터 파라미터 레벨 0으로 다시 전이하고, 시간 t12에 파라미터 레벨 0으로부터 파라미터 레벨 PR2로 전이하고, 시간 t18에 파라미터 레벨 PR2로부터 파라미터 레벨 PR1로 전이하고, 그리고 시간 t20에 파라미터 레벨 PR1로부터 파라미터 레벨 0으로 전이한다.

[0093] 파라미터 레벨 0은 RF 신호 (168) 의 상태 S0에 대한 파라미터 레벨의 일 예이고, 파라미터 레벨 PR1은 RF 신호 (168) 의 상태 S1에 대한 파라미터 레벨의 일 예이고, 파라미터 레벨 PR2는 RF 신호 (168) 의 상태 S2의 파라미터 레벨의 일 예이다.

[0094] 제 1 시간 기간 동안 파라미터들 (306 및 310) 의 파라미터 레벨들의 조합이 제 2 시간 기간 동안 파라미터들 (306 및 310) 의 파라미터 레벨들의 조합과 상이할 때, 제 1 시간 기간 동안 플라즈마 임피던스 상태는 제 2 시간 기간 동안 플라즈마 임피던스 상태와 상이하다. 예를 들어, 플라즈마 챔버 (112) (도 1) 내 플라즈마의 임피던스의 상태 PS1을 규정하기 위해 소스 RF 신호의 파라미터 (306) 의 파라미터 레벨은 시간 t0과 시간 t2 사이의 시간 기간 동안 PR1이고 바이어스 RF 신호의 파라미터 (310) 의 파라미터 레벨은 시간 t0과 시간 t2 사이의 시간 기간 동안 0이다. 플라즈마 챔버 (112) 내 플라즈마의 임피던스 상태는 때때로 본 명세서에서 플라즈마 임피던스 상태 (PS) 로서 지칭된다. 또 다른 플라즈마 임피던스 상태 PS2를 규정하기 위해 소스 RF 신호의 파라미터 (306) 의 파라미터 레벨은 시간 t2와 시간 t5 사이의 시간 기간 동안 PR1이고 바이어스 RF 신호의 파라미터 (310) 의 파라미터 레벨은 시간 t2와 시간 t5 사이의 시간 기간 동안 PR2이다.

[0095] 또 다른 예로서, 플라즈마 임피던스 상태 PS1 및 플라즈마 임피던스 상태 PS2 각각과 상이한 또 다른 플라즈마 임피던스 상태 PS3를 규정하기 위해 소스 RF 신호의 파라미터 (306) 의 파라미터 레벨은 시간 t5와 시간 t8 사이의 시간 기간 동안 PR2이고 바이어스 RF 신호의 파라미터 (310) 의 파라미터 레벨은 시간 t5와 시간 t8 사이의 시간 기간 동안 PR3이다.

[0096] 또 다른 예로서, 플라즈마 임피던스 상태 PS1, 플라즈마 임피던스 상태 PS2 및 플라즈마 임피던스 상태 PS3 각각과 상이한 또 다른 플라즈마 임피던스 상태 PS4를 규정하기 위해 소스 RF 신호의 파라미터 (306) 의 파라미터 레벨은 시간 t8과 시간 t10 사이의 시간 기간 동안 PR2이고 바이어스 RF 신호의 파라미터 (310) 의 파라미터 레

벨은 시간 t8과 시간 t10 사이의 시간 기간 동안 PR1이다. 이와 같이, 동기화 신호 (302) 의 사이클 각각 동안, 바이어스 RF 신호 및 소스 RF 신호의 파라미터 레벨들의 변화로 인해, 4 개의 플라즈마 임피던스 상태 PS1 내지 플라즈마 임피던스 상태 PS4와 같은 복수의 플라즈마 임피던스 상태들이 생성된다. 복수의 플라즈마 임피던스 상태 PS1 내지 플라즈마 임피던스 상태 PS4를 갖는 플라즈마 챔버 (112) (도 1) 내 플라즈마의 임피던스는 멀티 상태 플라즈마 임피던스의 예이다.

[0097] 일 실시 예에서, 파라미터 (306) 는 RF 신호 (168) 의 파라미터이고 파라미터 (310) 는 RF 신호 (152) 의 파라미터이다.

[0098] 일 실시 예에서, 동기화 신호 (302) 에 더하여, 디지털 펄싱된 신호는 전송 케이블 시스템 (214) 을 통해 프로세서 (118) 로부터 DSP (204) 에 의해 수신된다. 예를 들어, 동기화 신호 (302) 는 전송 케이블 시스템 (214) 의 제 1 전송 케이블을 통해 수신되고 디지털 펄싱된 신호는 전송 케이블 시스템 (214) 의 제 2 전송 케이블을 통해 수신된다. 디지털 펄싱된 신호는 파라미터 (310) 가 파라미터 레벨 0, 파라미터 레벨 PR2, 및 파라미터 레벨 PR1 사이에서 전이하는 동일한 방식으로 3 개의 논리 레벨들 사이에서 주기적으로 전이한다. 예를 들어, 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안, 디지털 펄싱된 신호는 시간 t0에서 논리 레벨 1로부터 논리 레벨 0으로 전이하고, 시간 t2에서 논리 레벨 0에서 논리 레벨 2로 전이하고, 그리고 시간 t8에서 논리 레벨 2로부터 논리 레벨 1로 전이한다. 논리 레벨 2는 논리 레벨 1보다 크다. 예시를 위해, 논리 레벨 1은 논리 레벨 1보다 높은 DC 전압을 갖는다. 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안, 디지털 펄싱된 신호는 시간 t10에서 논리 레벨 1에서 논리 레벨 0으로 전이하고, 시간 t12에서 논리 레벨 0에서 논리 레벨 2로 전이하고, 시간 t18에서 논리 레벨 2로부터 논리 레벨 1 로 전이한다. 디지털 펄싱된 신호를 수신하면, DSP (204) 는 디지털 펄싱된 신호로부터 파라미터 (310) 의 상태 S0, 상태 S2, 및 상태 S1에 대한 시간 기간들을 식별하고, 시간 기간들을 갖는 인스트럭션 신호들을 생성한다. 예를 들어, 파라미터 (310) 의 상태 S0에 대한 시간 기간은 디지털 펄싱된 신호의 논리 레벨 0에 대한 시간 기간과 동일하고, 파라미터 (310) 의 상태 S1에 대한 시간 기간은 디지털 펄싱된 신호의 논리 레벨 1에 대한 시간 기간과 동일하고, 그리고 파라미터 (310) 의 상태 S2에 대한 시간 기간은 디지털 펄싱된 신호의 논리 레벨 2에 대한 시간 기간과 동일하다.

[0099] 도 4a는 그래프 (300) 의 실시 예이다.

[0100] 도 4b는 그래프 (304) 의 실시 예이다.

[0101] 도 4c는 바이어스 RF 신호인 RF 신호 (168) (도 1) 의 파라미터 (402) 대 시간 t를 예시하기 위한 그래프 (400) 의 일 실시 예이다. 파라미터 (402) 는 y 축에 플롯팅되고 시간 t는 x 축에 플롯팅된다. 파라미터 (402) 는 동기화 신호 (302) 와 동기하여 파라미터 레벨 0, 파라미터 레벨 PR2, 및 파라미터 레벨 PR1 사이에서 주기적으로 전이한다. 예를 들어, 파라미터 (402) 는 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안 파라미터 레벨 0, 파라미터 레벨 PR2, 및 파라미터 레벨 PR1 사이에서 전이하고 그리고 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안 파라미터 레벨 0, 파라미터 레벨 PR2, 및 파라미터 레벨 PR1 사이에서 다시 전이한다. 예시를 위해, 파라미터 (402) 는 시간 t0 내지 시간 t2의 상태 S0의 인스턴스 동안 파라미터 레벨 0, 시간 t2로부터 시간 t8까지의 상태 S1의 인스턴스 동안 파라미터 레벨 PR2, 시간 t8로부터 시간 t9까지 상태 S2의 인스턴스 동안 파라미터 레벨 PR1, 그리고 시간 t9로부터 시간 t10까지 상태 S0의 또 다른 인스턴스 동안 파라미터 레벨 0을 갖는다. 0, PR2, 및 PR1의 파라미터 레벨들은 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안 반복된다. 동기화 신호 (310) 의 사이클 1 동안, 파라미터 (402) 는 시간 t2에 파라미터 레벨 0으로부터 파라미터 레벨 PR2로 전이하고, 시간 t8에 파라미터 레벨 PR2로부터 파라미터 레벨 PR1로 전이하고, 그리고 시간 t9에 파라미터 레벨 PR1로부터 파라미터 레벨 0으로 전이한다. 동기화 신호 (310) 의 사이클 2 동안, 파라미터 (402) 는 시간 t12에 파라미터 레벨 0으로부터 파라미터 레벨 PR2로 다시 전이하고, 시간 t18에 파라미터 레벨 PR2로부터 파라미터 레벨 PR1로 전이하고, 그리고 시간 t19에 파라미터 레벨 PR1로부터 파라미터 레벨 0으로 전이한다.

[0102] 제 1 시간 기간 동안 파라미터들 (306 및 402) 의 파라미터 레벨들의 조합이 제 2 시간 기간 동안 파라미터들 (306 및 402) 의 파라미터 레벨들의 조합과 상이할 때, 제 1 시간 기간 동안 플라즈마 임피던스 상태는 제 2 시간 기간 동안 플라즈마 임피던스 상태와 상이하다. 예를 들어, 플라즈마 임피던스 상태 PS1을 규정하기 위해 소스 RF 신호의 파라미터 (306) 의 파라미터 레벨은 시간 t0과 시간 t2 사이의 시간 기간 동안 PR1이고 바이어스 RF 신호의 파라미터 (402) 의 파라미터 레벨은 시간 t0와 시간 t2 사이의 시간 기간 동안 0이다. 또 다른 플라즈마 임피던스 상태 PS2를 규정하기 위해 소스 RF 신호의 파라미터 (306) 의 파라미터 레벨은 시간 t2와 시간 t5 사이의 시간 기간 동안 PR1이고 바이어스 RF 신호의 파라미터 (402) 의 파라미터 레벨은 시간 t2와 시간 t5 사이의 시간 기간 동안 PR2이다.

[0103] 또 다른 예로서, 플라즈마 임피던스 상태 PS1 및 플라즈마 임피던스 상태 PS2 각각과 상이한 또 다른 플라즈마 임피던스 상태 PS3를 규정하기 위해 소스 RF 신호의 파라미터 (306) 의 파라미터 레벨은 시간 t5와 시간 t8 사이의 시간 기간 동안 PR2이고 바이어스 RF 신호의 파라미터 (402) 의 파라미터 레벨은 시간 t5와 시간 t8 사이의 시간 기간 동안 PR3이다.

[0104] 또 다른 예로서, 플라즈마 임피던스 상태 PS1, 플라즈마 임피던스 상태 PS2 및 플라즈마 임피던스 상태 PS3 각각과 상이한 또 다른 플라즈마 임피던스 상태 PS4를 규정하기 위해 소스 RF 신호의 파라미터 (306) 의 파라미터 레벨은 시간 t8과 시간 t9 사이의 시간 기간 동안 PR2이고 바이어스 RF 신호의 파라미터 (402) 의 파라미터 레벨은 시간 t8과 시간 t9 사이의 시간 기간 동안 PR1이다.

[0105] 또 다른 예로서, 플라즈마 임피던스 상태 PS1, 플라즈마 임피던스 상태 PS2, 플라즈마 임피던스 상태 PS3 및 플라즈마 임피던스 상태 PS4 각각과 상이한 또 다른 플라즈마 임피던스 상태 PS5를 규정하기 위해 소스 RF 신호의 파라미터 (306) 의 파라미터 레벨은 시간 t9와 시간 t10 사이의 시간 기간 동안 PR2이고 바이어스 RF 신호의 파라미터 (402) 의 파라미터 레벨은 시간 t9와 시간 t10 사이의 시간 기간 동안 0이다.

[0106] 이와 같이, 동기화 신호 (302) 의 사이클 각각 동안, 바이어스 RF 신호 및 소스 RF 신호의 파라미터 레벨들의 변화로 인해, 5 개의 플라즈마 임피던스 상태 PS1 내지 플라즈마 임피던스 상태 PS5와 같은 복수의 플라즈마 임피던스 상태들이 생성된다. 복수의 플라즈마 임피던스 상태 PS1 내지 플라즈마 임피던스 상태 PS5를 갖는 플라즈마 챔버 (112) (도 1) 내 플라즈마의 임피던스는 멀티 상태 플라즈마 임피던스의 예이다.

[0107] 일 실시 예에서, 파라미터 (306) 는 RF 신호 (168) 의 파라미터이고 파라미터 (402) 는 RF 신호 (152) 의 파라미터이다.

[0108] 일 실시 예에서, 동기화 신호 (310) 에 더하여, 디지털 펄싱된 신호는 전송 케이블 시스템 (214) 을 통해 프로세서 (118) 로부터 DSP (204) 에 의해 수신된다. 예를 들어, 동기화 신호 (302) 는 전송 케이블 시스템 (214) 의 제 1 전송 케이블을 통해 수신되고 디지털 펄싱된 신호는 전송 케이블 시스템 (214) 의 제 2 전송 케이블을 통해 수신된다. 디지털 펄싱된 신호는 파라미터 (402) 가 파라미터 레벨 0, 파라미터 레벨 PR2, 및 파라미터 레벨 PR1 사이에서 전이하는 동일한 방식으로 3 개의 논리 레벨들 사이에서 주기적으로 전이한다. 예를 들어, 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안, 디지털 펄싱된 신호는 시간 t2에서 논리 레벨 0으로부터 논리 레벨 2로 전이하고, 시간 t8에서 논리 레벨 1에서 논리 레벨 1로 전이하고, 그리고 시간 t9에서 논리 레벨 1로부터 논리 레벨 0으로 전이한다. 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안, 디지털 펄싱된 신호는 시간 t12에서 논리 레벨 0에서 논리 레벨 2로 전이하고, 시간 t18에서 논리 레벨 2에서 논리 레벨 1로 전이하고, 시간 t19에서 논리 레벨 1로부터 논리 레벨 0으로 전이한다. 디지털 펄싱된 신호를 수신하면, DSP (204) 는 디지털 펄싱된 신호로부터 파라미터 (402) 의 상태 S0, 상태 S2, 및 상태 S1에 대한 시간 기간들을 식별하고, 시간 기간들을 갖는 인스트럭션 신호들을 생성한다. 예를 들어, 파라미터 (402) 의 상태 S0에 대한 시간 기간은 디지털 펄싱된 신호의 논리 레벨 0에 대한 시간 기간과 동일하고, 파라미터 (402) 의 상태 S1에 대한 시간 기간은 디지털 펄싱된 신호의 논리 레벨 1에 대한 시간 기간과 동일하고, 그리고 파라미터 (402) 의 상태 S2에 대한 시간 기간은 디지털 펄싱된 신호의 논리 레벨 2에 대한 시간 기간과 동일하다.

[0109] 도 5a는 동기화 신호 (502) 를 예시하기 위한 그래프 (500) 의 일 실시 예이다. 그래프 (500) 는 동기화 신호 (502) 의 논리 레벨 대 시간 t를 플롯팅한다. 동기화 신호 (502) 는 동기화 신호 (146) (도 1) 의 일 예이다. 동기화 신호 (502) 의 논리 레벨은 y 축에 플롯팅되고 시간 t는 x 축에 플롯팅된다.

[0110] 동기화 신호 (502) 는 70 %의 듀티 사이클을 갖는다. 예를 들어, 동기화 신호 (502) 는 시간 t0에서 시간 t7까지 1의 논리 레벨을 갖는다. 동기화 신호 (502) 는 시간 t7에서 시간 t10까지 0의 논리 레벨을 갖고, 시간 t10에서 시간 t17까지 1의 논리 레벨을 갖고, 시간 t17에서 시간 t20까지 0의 논리 레벨을 갖는다.

[0111] 동기화 신호 (502) 는 복수의 사이클들을 갖고 사이클 각각 동안 논리 레벨 1 및 논리 레벨 0을 반복한다. 예를 들어, 동기화 신호 (502) 는 사이클 1 동안 시간 t7에서 논리 레벨 1로부터 논리 레벨 0으로 전이하고 그리고 사이클 2 동안 시간 t17에서 논리 레벨 1로부터 논리 레벨 0으로 전이한다. 또 다른 예로서, 사이클 1의 시간 t0에서, 동기화 신호 (502) 는 동기화 신호 (502) 의 사이클 0의 논리 레벨 0으로부터 사이클 1의 논리 레벨 1로 전이한다. 유사하게, 사이클 1의 시간 t10에서, 동기화 신호 (502) 는 사이클 1의 논리 레벨 0으로부터 사이클 2의 논리 레벨 1로 전이한다. 동기화 신호 (502) 의 사이클 0은 동기화 신호 (502) 의 사이클 1에 선행하고, 동기화 신호 (502) 의 사이클 1은 동기화 신호 (502) 의 사이클 2에 선행한다.

[0112] 일 실시 예에서, 동기화 신호 (502) 는 70 % 듀티 사이클 대신에, 50 % 듀티 사이클 또는 60 % 듀티 사이클

과 같은 또 다른 듀티 사이클을 갖는다.

[0113] 도 5b는 소스 RF 신호인 RF 신호 (152) 의 파라미터 (506) 대 시간 t를 예시하기 위한 그래프 (504) 의 일 실시예이다. 파라미터 (506) 는 y 축에 플롯팅되고 시간 t는 x 축에 플롯팅된다.

[0114] 파라미터 (506) 는 동기화 신호 (502) 와 동기하여 파라미터 레벨 0, 파라미터 레벨 PR1과 파라미터 레벨 PR2 사이에서 주기적으로 전이한다. 예를 들어, 파라미터 (506) 는 동기화 신호 (502) 의 사이클 1 동안 파라미터 레벨 0, 파라미터 레벨 PR2, 및 파라미터 레벨 PR1 사이에서 전이하고 그리고 동기화 신호 (502) 의 사이클 2 동안 파라미터 레벨 0, 파라미터 레벨 PR2, 및 파라미터 레벨 PR1 사이에서 다시 전이한다. 예시를 위해, 파라미터 (506) 는 시간 t0 내지 시간 t3의 상태 S0의 인스턴스 동안 파라미터 레벨 0, 시간 t3으로부터 시간 t8까지의 상태 S1 동안 파라미터 레벨 PR2, 시간 t8로부터 시간 t9까지 상태 S2 동안 파라미터 레벨 PR1, 그리고 시간 t9로부터 시간 t10까지 상태 S0의 또 다른 인스턴스 동안 파라미터 레벨 0을 갖는다. 파라미터 (506) 는 동기화 신호 (502) 의 사이클 2 동안 상태 S0, 상태 S2, 상태 S1, 및 상태 S0의 발생 시퀀스를 반복한다. 동기화 신호 (502) 의 사이클 1 동안, 파라미터 (506) 는 시간 t3에 파라미터 레벨 0으로부터 파라미터 레벨 PR2로 전이하고, 시간 t8에 파라미터 레벨 PR2로부터 파라미터 레벨 PR1로 전이하고, 그리고 시간 t9에 파라미터 레벨 PR1로부터 파라미터 레벨 0으로 전이한다. 파라미터 (506) 는 동기화 신호 (502) 의 사이클 2 동안 파라미터 레벨 0, 파라미터 레벨 PR2, 및 파라미터 레벨 PR1 사이의 전이들을 반복한다.

[0115] 일 실시 예에서, 동기화 신호 (502) 에 더하여, 디지털 펄싱된 신호는 전송 케이블 시스템 (214) 을 통해 프로세서 (118) 로부터 DSP (204) 에 의해 수신된다. 예를 들어, 동기화 신호 (502) 는 전송 케이블 시스템 (214) 의 제 1 전송 케이블을 통해 수신되고 디지털 펄싱된 신호는 전송 케이블 시스템 (214) 의 제 2 전송 케이블을 통해 수신된다. 디지털 펄싱된 신호는 파라미터 (506) 가 파라미터 레벨 0, 파라미터 레벨 PR2, 및 파라미터 레벨 PR1 사이에서 전이하는 동일한 방식으로 3 개의 논리 레벨들 사이에서 주기적으로 전이한다. 예를 들어, 동기화 신호 (502) 의 사이클 1 동안, 디지털 펄싱된 신호는 시간 t3에서 논리 레벨 0으로부터 논리 레벨 2로 전이하고, 시간 t8에서 논리 레벨 2에서 논리 레벨 1로 전이하고, 시간 t9에서 논리 레벨 1로부터 논리 레벨 0으로 전이한다. 동기화 신호 (502) 의 사이클 2 동안, 디지털 펄싱된 신호는 시간 t13에서 논리 레벨 0에서 논리 레벨 2로 전이하고, 시간 t18에서 논리 레벨 2에서 논리 레벨 1로 전이하고, 시간 t19에서 논리 레벨 1로부터 논리 레벨 0으로 전이한다. 디지털 펄싱된 신호를 수신하면, DSP (204) 는 디지털 펄싱된 신호로부터 파라미터 (502) 의 상태 S0, 상태 S2, 및 상태 S1에 대한 시간 기간들을 식별하고, 시간 기간들을 갖는 인스트럭션 신호들을 생성한다. 예를 들어, 파라미터 (506) 의 상태 S0에 대한 시간 기간은 디지털 펄싱된 신호의 논리 레벨 0에 대한 시간 기간과 동일하고, 파라미터 (506) 의 상태 S2에 대한 시간 기간은 디지털 펄싱된 신호의 논리 레벨 2에 대한 시간 기간과 동일하고, 그리고 파라미터 (506) 의 상태 S1에 대한 시간 기간은 디지털 펄싱된 신호의 논리 레벨 1에 대한 시간 기간과 동일하다.

[0116] 도 5c는 바이어스 RF 신호인 RF 신호 (168) (도 1) 의 파라미터 (510) 대 시간 t를 예시하기 위한 그래프 (508) 의 일 실시 예이다. 파라미터 (510) 는 y 축에 플롯팅되고 시간 t는 x 축에 플롯팅된다. 파라미터 (510) 는 동기화 신호 (502) 와 동기하여 파라미터 레벨 PR1, 파라미터 레벨 PR2, 및 파라미터 레벨 0 사이에서 주기적으로 전이한다. 예를 들어, 파라미터 (510) 는 동기화 신호 (502) 의 사이클 1 동안 파라미터 레벨 PR1, 파라미터 레벨 PR2, 및 파라미터 레벨 0 사이에서 전이하고 그리고 동기화 신호 (502) 의 사이클 2 동안 파라미터 레벨 PR1, 파라미터 레벨 PR2, 및 파라미터 레벨 0 사이에서 다시 전이한다. 예시를 위해, 파라미터 (510) 는 시간 t0 내지 시간 t2의 상태 S1의 인스턴스 동안 파라미터 레벨 0, 시간 t2로부터 시간 t5까지의 상태 S2 동안 파라미터 레벨 PR2, 시간 t5로부터 시간 t9까지 상태 S1의 또 다른 인스턴스 동안 파라미터 레벨 PR1, 그리고 시간 t9로부터 시간 t10까지 상태 S0 동안 파라미터 레벨 0을 갖는다. PR1, PR2, 및 0의 파라미터 레벨들은 동기화 신호 (502) 의 사이클 2 동안 반복된다. 동기화 신호 (502) 의 사이클 1 동안, 파라미터 (510) 는 시간 t0에 파라미터 레벨 0으로부터 파라미터 레벨 PR1로 전이하고, 시간 t2에 파라미터 레벨 PR1로부터 파라미터 레벨 PR2로 전이하고, 시간 t5에 파라미터 레벨 PR2로부터 파라미터 레벨 PR1로 전이하고, 그리고 시간 t9에 파라미터 레벨 PR1로부터 파라미터 레벨 0으로 전이한다. 동기화 신호 (502) 의 사이클 2 동안, 파라미터 (510) 는 다시 시간 t10에 파라미터 레벨 0으로부터 파라미터 레벨 PR1로 전이하고, 시간 t12에 파라미터 레벨 PR1로부터 파라미터 레벨 PR2로 전이하고, 시간 t15에 파라미터 레벨 PR2로부터 파라미터 레벨 PR1로 전이하고, 그리고 시간 t19에 파라미터 레벨 PR1로부터 파라미터 레벨 0으로 전이한다.

[0117] 제 1 시간 기간 동안 파라미터들 (506 및 510) 의 파라미터 레벨들의 조합이 제 2 시간 기간 동안 파라미터들 (506 및 510) 의 파라미터 레벨들의 조합과 상이할 때, 제 1 시간 기간 동안 플라즈마 임피던스 상태는 제 2 시간 기간 동안 플라즈마 임피던스 상태와 상이하다. 예를 들어, 플라즈마 임피던스 상태 PS1을 규정하기 위해

소스 RF 신호의 파라미터 (506) 의 파라미터 레벨은 시간 t0과 시간 t2 사이의 시간 기간 동안 0이고 바이어스 RF 신호의 파라미터 (510) 의 파라미터 레벨은 시간 t0와 시간 t2 사이의 시간 기간 동안 PR1이다. 또 다른 플라즈마 임피던스 상태 PS2를 규정하기 위해 소스 RF 신호의 파라미터 (506) 의 파라미터 레벨은 시간 t2와 시간 t3 사이의 시간 기간 동안 0이고 바이어스 RF 신호의 파라미터 (510) 의 파라미터 레벨은 시간 t2와 시간 t3 사이의 시간 기간 동안 PR2이다.

[0118] 또 다른 예로서, 플라즈마 임피던스 상태 PS1 및 플라즈마 임피던스 상태 PS2 각각과 상이한 또 다른 플라즈마 임피던스 상태 PS3을 규정하기 위해 소스 RF 신호의 파라미터 (506) 의 파라미터 레벨은 시간 t3과 시간 t5 사이의 시간 기간 동안 PR2이고 바이어스 RF 신호의 파라미터 (510) 의 파라미터 레벨은 시간 t3과 시간 t5 사이의 시간 기간 동안 PR2이다. 또 다른 예로서, 플라즈마 임피던스 상태 PS1, 플라즈마 임피던스 상태 PS2 및 플라즈마 임피던스 상태 PS3 각각과 상이한 또 다른 플라즈마 임피던스 상태 PS4를 규정하기 위해 소스 RF 신호의 파라미터 (506) 의 파라미터 레벨은 시간 t5와 시간 t8 사이의 시간 기간 동안 PR2이고 바이어스 RF 신호의 파라미터 (510) 의 파라미터 레벨은 시간 t5와 시간 t8 사이의 시간 기간 동안 PR1이다.

[0119] 또 다른 예로서, 플라즈마 임피던스 상태 PS1, 플라즈마 임피던스 상태 PS2, 플라즈마 임피던스 상태 PS3 및 플라즈마 임피던스 상태 PS4 각각과 상이한 또 다른 플라즈마 임피던스 상태 PS5를 규정하기 위해 소스 RF 신호의 파라미터 (506) 의 파라미터 레벨은 시간 t8과 시간 t9 사이의 시간 기간 동안 PR1이고 바이어스 RF 신호의 파라미터 (510) 의 파라미터 레벨은 시간 t8과 시간 t9 사이의 시간 기간 동안 PR1이다. 또 다른 예로서, 플라즈마 임피던스 상태 PS1, 플라즈마 임피던스 상태 PS2, 플라즈마 임피던스 상태 PS3, 플라즈마 임피던스 상태 PS4 및 플라즈마 임피던스 상태 PS5 각각과 상이한 또 다른 플라즈마 임피던스 상태 PS6을 규정하기 위해 소스 RF 신호의 파라미터 (506) 의 파라미터 레벨은 시간 t9와 시간 t10 사이의 시간 기간 동안 0이고 바이어스 RF 신호의 파라미터 (510) 의 파라미터 레벨은 시간 t9와 시간 t10 사이의 시간 기간 동안 0이다. 이와 같이, 동기화 신호 (502) 의 사이클 각각 동안, 바이어스 RF 신호 및 소스 RF 신호의 파라미터 레벨들의 변화로 인해, 6 개의 플라즈마 임피던스 상태 PS1 내지 플라즈마 임피던스 상태 PS6과 같은 복수의 플라즈마 임피던스 상태들이 생성된다. 복수의 플라즈마 임피던스 상태 PS1 내지 플라즈마 임피던스 상태 PS6은 플라즈마 임피던스의 예이다.

[0120] 일 실시 예에서, 파라미터 (506) 는 RF 신호 (168) 의 파라미터이고 파라미터 (510) 는 RF 신호 (152) 의 파라미터이다.

[0121] 일 실시 예에서, 동기화 신호 (502) 에 더하여, 디지털 펄싱된 신호는 전송 케이블 시스템 (214) 을 통해 프로세서 (118) 로부터 DSP (204) 에 의해 수신된다. 예를 들어, 동기화 신호 (502) 는 전송 케이블 시스템 (214) 의 제 1 전송 케이블을 통해 수신되고 디지털 펄싱된 신호는 전송 케이블 시스템 (214) 의 제 2 전송 케이블을 통해 수신된다. 디지털 펄싱된 신호는 파라미터 (510) 가 파라미터 레벨 0, 파라미터 레벨 PR1, 및 파라미터 레벨 PR2 사이에서 전이하는 동일한 방식으로 3 개의 논리 레벨들 사이에서 주기적으로 전이한다. 예를 들어, 동기화 신호 (502) 의 사이클 1 동안, 디지털 펄싱된 신호는 시간 t0에서 논리 레벨 0으로부터 논리 레벨 1로 전이하고, 시간 t2에서 논리 레벨 1에서 논리 레벨 2로 전이하고, 시간 t5에서 논리 레벨 1에서 논리 레벨 1로 전이하고, 그리고 시간 t9에서 논리 레벨 1로부터 논리 레벨 0으로 전이한다. 동기화 신호 (502) 의 사이클 2 동안, 디지털 펄싱된 신호는 시간 t10에서 논리 레벨 0으로부터 논리 레벨 1로 전이하고, 시간 t12에서 논리 레벨 1에서 논리 레벨 2로 전이하고, 시간 t15에서 논리 레벨 1에서 논리 레벨 1로 전이하고, 그리고 시간 t19에서 논리 레벨 1로부터 논리 레벨 0으로 전이한다. 디지털 펄싱된 신호를 수신하면, DSP (204) 는 디지털 펄싱된 신호로부터 파라미터 (510) 의 상태 S0, 상태 S1 및 상태 S2에 대한 시간 기간들을 식별하고, 시간 기간들을 갖는 인스트럭션 신호들을 생성한다. 예를 들어, 파라미터 (510) 의 상태 S0에 대한 시간 기간은 디지털 펄싱된 신호의 논리 레벨 0에 대한 시간 기간과 동일하고, 파라미터 (510) 의 상태 S2에 대한 시간 기간은 디지털 펄싱된 신호의 논리 레벨 2에 대한 시간 기간과 동일하고, 그리고 파라미터 (510) 의 상태 S1에 대한 시간 기간은 디지털 펄싱된 신호의 논리 레벨 1에 대한 시간 기간과 동일하다.

[0122] 도 6a는 동기화 신호 (602) 를 예시하기 위한 그래프 (600) 의 일 실시 예이다. 그래프 (600) 는 동기화 신호 (602) 의 논리 레벨 대 시간 t를 플롯팅한다. 동기화 신호 (602) 는 동기화 신호 (146) (도 1) 의 예이다. 동기화 신호 (602) 의 논리 레벨은 y 축에 플롯팅되고 시간 t는 x 축에 플롯팅된다.

[0123] 동기화 신호 (602) 는 30 %의 듀티 사이클을 갖는다. 예를 들어, 동기화 신호 (602) 는 시간 t0에서 시간 t3까지 1의 논리 레벨을 갖는다. 동기화 신호 (602) 는 시간 t3에서 시간 t10까지 0의 논리 레벨을 갖고, 시간 t10에서 시간 t13까지 1의 논리 레벨을 갖고, 시간 t13에서 시간 t20까지 0의 논리 레벨을 갖는다.

[0124] 동기화 신호 (602) 는 복수의 사이클들을 갖고 사이클 각각 동안 논리 레벨 1 및 논리 레벨 0을 반복한다. 예

를 들어, 동기화 신호 (602) 는 사이클 1 동안 시간 t3에서 논리 레벨 1로부터 논리 레벨 0으로 전이하고 그리고 사이클 2 동안 시간 t13에서 논리 레벨 1로부터 논리 레벨 0으로 전이한다. 또 다른 예로서, 사이클 1의 시간 t0에서, 동기화 신호 (602) 는 동기화 신호 (602) 의 사이클 0의 논리 레벨 0으로부터 사이클 1의 논리 레벨 1로 전이한다. 유사하게, 사이클 1의 시간 t10에서, 동기화 신호 (602) 는 사이클 1의 논리 레벨 0으로부터 사이클 2의 논리 레벨 1로 전이한다. 동기화 신호 (602) 의 사이클 0은 동기화 신호 (602) 의 사이클 1에 선행하고, 동기화 신호 (602) 의 사이클 1은 동기화 신호 (602) 의 사이클 2에 선행한다.

[0125] 일 실시 예에서, 동기화 신호 (602) 는 30 % 듀티 사이클 대신에, 50 % 듀티 사이클 또는 60 % 듀티 사이클과 같은 또 다른 듀티 사이클을 갖는다.

[0126] 도 6b는 소스 RF 신호인 RF 신호 (152) 의 파라미터 (606) 대 시간 t를 예시하기 위한 그래프 (604) 의 일 실시 예이다. 파라미터 (606) 는 y 축에 플롯팅되고 시간 t는 x 축에 플롯팅된다.

[0127] 파라미터 (606) 는 동기화 신호 (602) 와 동기하여 파라미터 레벨 PR2, 파라미터 레벨 PR1, 및 파라미터 레벨 0 사이에서 주기적으로 전이한다. 예를 들어, 파라미터 (606) 는 동기화 신호 (502) 의 사이클 1 동안 파라미터 레벨 PR2, 파라미터 레벨 PR1, 및 파라미터 레벨 0 사이에서 전이하고 그리고 동기화 신호 (602) 의 사이클 2 동안 파라미터 레벨 PR2, 파라미터 레벨 PR1, 및 파라미터 레벨 0 사이에서 다시 전이한다. 예시를 위해, 파라미터 (606) 는 시간 t0으로부터 시간 t3까지의 상태 S2 동안 파라미터 레벨 PR1을 갖고, 시간 t3으로부터 시간 t7까지의 상태 S1 동안 파라미터 레벨 PR2, 시간 t7로부터 시간 t10까지 상태 S0 동안 파라미터 레벨 0을 갖는다. 파라미터 (606) 는 동기화 신호 (602) 의 사이클 2 동안 상태 S2, 상태 S1, 및 상태 S0의 발생 시퀀스를 반복한다. 또한, 동기화 신호 (602) 의 사이클 1 동안, 파라미터 (606) 는 시간 t0에 파라미터 레벨 0으로부터 파라미터 레벨 PR2로 전이하고, 시간 t3에 파라미터 레벨 PR2로부터 파라미터 레벨 PR1로 전이하고, 그리고 시간 t7에 파라미터 레벨 PR1로부터 파라미터 레벨 0으로 전이한다. 파라미터 (606) 는 동기화 신호 (602) 의 사이클 2 동안 파라미터 레벨 PR2, 파라미터 레벨 PR1, 및 파라미터 레벨 0 사이의 전이들을 반복한다. 예를 들어, 동기화 신호 (602) 의 사이클 2 동안, 파라미터 (606) 는 시간 t10에 파라미터 레벨 0으로부터 파라미터 레벨 PR2로 전이하고, 시간 t13에 파라미터 레벨 PR2로부터 파라미터 레벨 PR1로 전이하고, 그리고 시간 t17에 파라미터 레벨 PR1로부터 파라미터 레벨 0으로 전이한다.

[0128] 일 실시 예에서, 동기화 신호 (602) 에 더하여, 디지털 펄싱된 신호는 전송 케이블 시스템 (214) 을 통해 프로세서 (118) 로부터 DSP (204) 에 의해 수신된다. 예를 들어, 동기화 신호 (602) 는 전송 케이블 시스템 (214) 의 제 1 전송 케이블을 통해 수신되고 디지털 펄싱된 신호는 전송 케이블 시스템 (214) 의 제 2 전송 케이블을 통해 수신된다. 디지털 펄싱된 신호는 파라미터 (606) 가 파라미터 레벨 0, 파라미터 레벨 PR2, 및 파라미터 레벨 PR1 사이에서 전이하는 동일한 방식으로 3 개의 논리 레벨들 사이에서 주기적으로 전이한다. 예를 들어, 동기화 신호 (602) 의 사이클 1 동안, 디지털 펄싱된 신호는 시간 t0에서 논리 레벨 0으로부터 논리 레벨 2로 전이하고, 시간 t3에서 논리 레벨 1에서 논리 레벨 1로 전이하고, 시간 t7에서 논리 레벨 1로부터 논리 레벨 0으로 전이한다. 동기화 신호 (602) 의 사이클 2 동안, 디지털 펄싱된 신호는 시간 t10에서 논리 레벨 0에서 논리 레벨 2로 전이하고, 시간 t13에서 논리 레벨 2에서 논리 레벨 1로 전이하고, 시간 t17에서 논리 레벨 1로부터 논리 레벨 0으로 전이한다. 디지털 펄싱된 신호를 수신하면, DSP (204) 는 디지털 펄싱된 신호로부터 파라미터 (602) 의 상태 S2, 상태 S1 및 상태 S0에 대한 시간 기간들을 식별하고, 시간 기간들을 갖는 인스트럭션 신호들을 생성한다. 예를 들어, 파라미터 (606) 의 상태 S0에 대한 시간 기간은 디지털 펄싱된 신호의 논리 레벨 0에 대한 시간 기간과 동일하고, 파라미터 (606) 의 상태 S2에 대한 시간 기간은 디지털 펄싱된 신호의 논리 레벨 2에 대한 시간 기간과 동일하고, 그리고 파라미터 (606) 의 상태 S1에 대한 시간 기간은 디지털 펄싱된 신호의 논리 레벨 1에 대한 시간 기간과 동일하다.

[0129] 도 6c는 바이어스 RF 신호인 RF 신호 (168) (도 1) 의 파라미터 (610) 대 시간 t를 예시하기 위한 그래프 (608) 의 일 실시 예이다. 파라미터 (610) 는 y 축에 플롯팅되고 시간 t는 x 축에 플롯팅된다. 파라미터 (610) 는 동기화 신호 (602) 와 동기하여 파라미터 레벨 0, 파라미터 레벨 PR1, 및 파라미터 레벨 PR2 사이에서 주기적으로 전이한다. 예를 들어, 파라미터 (610) 는 동기화 신호 (602) 의 사이클 1 동안 파라미터 레벨 0, 파라미터 레벨 PR1, 및 파라미터 레벨 PR2 사이에서 전이하고 그리고 동기화 신호 (602) 의 사이클 2 동안 파라미터 레벨 0, 파라미터 레벨 PR1, 및 파라미터 레벨 PR2 사이에서 다시 전이한다. 예시를 위해, 파라미터 (610) 는 시간 t0 내지 시간 t1의 상태 S0의 인스턴스 동안 파라미터 레벨 0, 시간 t1로부터 시간 t5까지의 상태 S1 동안 파라미터 레벨 PR1, 시간 t5로부터 시간 t8까지 상태 S2 동안 파라미터 레벨 PR2, 그리고 시간 t8로부터 시간 t10까지 상태 S0의 또 다른 인스턴스 동안 파라미터 레벨 0을 갖는다. 0, PR1 및 PR2의 파라미터 레벨들은 동기화 신호 (602) 의 사이클 2 동안 반복된다. 동기화 신호 (602) 의 사이클 1 동안, 파라미터 (610) 는 시간 t1에

파라미터 레벨 0으로부터 파라미터 레벨 PR1로 전이하고, 시간 t5에 파라미터 레벨 PR1로부터 파라미터 레벨 PR2로 전이하고, 그리고 시간 t8에 파라미터 레벨 PR2로부터 파라미터 레벨 0으로 전이한다. 동기화 신호 (602) 의 사이클 2 동안, 파라미터 (610) 는 다시 시간 t11에 파라미터 레벨 0으로부터 파라미터 레벨 PR1로 전이하고, 시간 t15에 파라미터 레벨 PR1로부터 파라미터 레벨 PR2로 전이하고, 그리고 시간 t18에 파라미터 레벨 PR2로부터 파라미터 레벨 0으로 전이한다.

[0130] 제 1 시간 기간 동안 파라미터들 (606 및 610) 의 파라미터 레벨들의 조합이 제 2 시간 기간 동안 파라미터들 (606 및 610) 의 파라미터 레벨들의 조합과 상이할 때, 제 1 시간 기간 동안 플라즈마 임피던스 상태는 제 2 시간 기간 동안 플라즈마 임피던스 상태와 상이하다. 예를 들어, 플라즈마 임피던스 상태 PS1을 규정하기 위해 소스 RF 신호의 파라미터 (606) 의 파라미터 레벨은 시간 t0과 시간 t1 사이의 시간 기간 동안 PR2이고 바이어스 RF 신호의 파라미터 (510) 의 파라미터 레벨은 시간 t0와 시간 t1 사이의 시간 기간 동안 0이다. 또 다른 플라즈마 임피던스 상태 PS2를 규정하기 위해 소스 RF 신호의 파라미터 (606) 의 파라미터 레벨은 시간 t1과 시간 t3 사이의 시간 기간 동안 PR2이고 바이어스 RF 신호의 파라미터 (510) 의 파라미터 레벨은 시간 t1과 시간 t3 사이의 시간 기간 동안 PR1이다.

[0131] 또 다른 예로서, 플라즈마 임피던스 상태 PS1 및 플라즈마 임피던스 상태 PS2 각각과 상이한 또 다른 플라즈마 임피던스 상태 PS3을 규정하기 위해 소스 RF 신호의 파라미터 (606) 의 파라미터 레벨은 시간 t3과 시간 t5 사이의 시간 기간 동안 PR1이고 바이어스 RF 신호의 파라미터 (610) 의 파라미터 레벨은 시간 t3과 시간 t5 사이의 시간 기간 동안 PR1이다. 또 다른 예로서, 플라즈마 임피던스 상태 PS1, 플라즈마 임피던스 상태 PS2 및 플라즈마 임피던스 상태 PS3 각각과 상이한 또 다른 플라즈마 임피던스 상태 PS4를 규정하기 위해 소스 RF 신호의 파라미터 (606) 의 파라미터 레벨은 시간 t5와 시간 t7 사이의 시간 기간 동안 PR1이고 바이어스 RF 신호의 파라미터 (610) 의 파라미터 레벨은 시간 t5와 시간 t7 사이의 시간 기간 동안 PR2이다.

[0132] 또 다른 예로서, 플라즈마 임피던스 상태 PS1, 플라즈마 임피던스 상태 PS2, 플라즈마 임피던스 상태 PS3 및 플라즈마 임피던스 상태 PS4 각각과 상이한 또 다른 플라즈마 임피던스 상태 PS5를 규정하기 위해 소스 RF 신호의 파라미터 (606) 의 파라미터 레벨은 시간 t7과 시간 t8 사이의 시간 기간 동안 0이고 바이어스 RF 신호의 파라미터 (610) 의 파라미터 레벨은 시간 t7과 시간 t8 사이의 시간 기간 동안 PR2이다. 또 다른 예로서, 플라즈마 임피던스 상태 PS1, 플라즈마 임피던스 상태 PS2, 플라즈마 임피던스 상태 PS3, 플라즈마 임피던스 상태 PS4 및 플라즈마 임피던스 상태 PS5 각각과 상이한 또 다른 플라즈마 임피던스 상태 PS6을 규정하기 위해 소스 RF 신호의 파라미터 (606) 의 파라미터 레벨은 시간 t8과 시간 t10 사이의 시간 기간 동안 0이고 바이어스 RF 신호의 파라미터 (610) 의 파라미터 레벨은 시간 t8과 시간 t10 사이의 시간 기간 동안 0이다. 이와 같이, 동기화 신호 (602) 의 사이클 각각 동안, 바이어스 RF 신호 및 소스 RF 신호의 파라미터 레벨들의 변화로 인해, 6 개의 플라즈마 임피던스 상태 PS1 내지 플라즈마 임피던스 상태 PS6과 같은 복수의 플라즈마 임피던스 상태들이 생성된다. 복수의 플라즈마 임피던스 상태 PS1 내지 플라즈마 임피던스 상태 PS6을 플라즈마 임피던스의 예이다.

[0133] 일 실시 예에서, 파라미터 (606) 는 RF 신호 (168) 의 파라미터이고 파라미터 (610) 는 RF 신호 (152) 의 파라미터이다.

[0134] 일 실시 예에서, 동기화 신호 (602) 에 더하여, 디지털 펄싱된 신호는 전송 케이블 시스템 (214) 을 통해 프로세서 (118) 로부터 DSP (204) 에 의해 수신된다. 예를 들어, 동기화 신호 (602) 는 전송 케이블 시스템 (214) 의 제 1 전송 케이블을 통해 수신되고 디지털 펄싱된 신호는 전송 케이블 시스템 (214) 의 제 2 전송 케이블을 통해 수신된다. 디지털 펄싱된 신호는 파라미터 (610) 가 파라미터 레벨 0, 파라미터 레벨 PR1, 및 파라미터 레벨 PR2 사이에서 전이하는 동일한 방식으로 3 개의 논리 레벨들 사이에서 주기적으로 전이한다. 예를 들어, 동기화 신호 (602) 의 사이클 1 동안, 디지털 펄싱된 신호는 시간 t1에서 논리 레벨 0으로부터 논리 레벨 1로 전이하고, 시간 t5에서 논리 레벨 1에서 논리 레벨 2로 전이하고, 시간 t8에서 논리 레벨 2로부터 논리 레벨 1로 전이한다. 동기화 신호 (602) 의 사이클 2 동안, 디지털 펄싱된 신호는 시간 t11에서 논리 레벨 0에서 논리 레벨 1로 전이하고, 시간 t15에서 논리 레벨 1에서 논리 레벨 2로 전이하고, 시간 t18에서 논리 레벨 2로부터 논리 레벨 1로 전이한다. 디지털 펄싱된 신호를 수신하면, DSP (204) 는 디지털 펄싱된 신호로부터 파라미터 (610) 의 상태 S0, 상태 S2, 및 상태 S1에 대한 시간 기간들을 식별하고, 시간 기간들을 갖는 인스트럭션 신호들을 생성한다. 예를 들어, 파라미터 (610) 의 상태 S0에 대한 시간 기간은 디지털 펄싱된 신호의 논리 레벨 0에 대한 시간 기간과 동일하고, 파라미터 (610) 의 상태 S2에 대한 시간 기간은 디지털 펄싱된 신호의 논리 레벨 2에 대한 시간 기간과 동일하고, 그리고 파라미터 (610) 의 상태 S1에 대한 시간 기간은 디지털 펄싱된 신호의 논리 레벨 1에 대한 시간 기간과 동일하다.

[0135] 일 실시 예에서, 임의의 파라미터들 (310 (도 3c), 402 (도 4c), 510 (도 5c), 및 610 (도 6c)) 에 대한 파라미터 레벨 PR1 대신에, 파라미터 레벨 PR3이 사용된다. 파라미터 레벨 PR3은 파라미터 레벨 PR1보다 크거나 작다. 유사하게, 파라미터들 (310, 402, 510, 및 610) 중 임의의 파라미터에 대한 파라미터 레벨 PR2 대신, 파라미터 레벨 PR4가 사용된다. 파라미터 레벨 PR4는 파라미터 레벨 PR3보다 크거나 작다.

[0136] 도 6d는 소스 RF 생성기와 바이어스 RF 생성기 사이의 선택적인 동기화를 갖는 온-오프 시간 수정 방법의 일 실시 예를 예시하기 위한 도면이다. 도 6d에 대해 예시된 바와 같이, 바이어스 RF 생성기 또는 소스 RF 생성기와 같은 제 2 RF 생성기와 비교하여, 소스 RF 생성기 또는 바이어스 RF 생성기와 같은 제 1 RF 생성기에 의해 생성된 RF 신호를 턴 온할 때 시간 t1로부터 시간 t2까지의 시간 지연이 있다. 또한, 제 1 RF 생성기에 의해 공급되는 RF 전력이 턴 오프되는 시간은 시간 t3에서 시간 t4를 향해 이동한다. 이와 같이, 2 개의 플라즈마 임피던스 상태 S1 및 플라즈마 임피던스 상태 S0 대신에, 6 개 또는 8 개 또는 10 개 또는 20 개의 플라즈마 임피던스 상태들과 같은 2 개 이상의 플라즈마 임피던스 상태들이 생성된다.

[0137] **멀티 상태 펄싱 컴포넌트들**

[0138] 도 7은 멀티 레벨 파라미터 펄싱을 예시하기 위한 플라즈마 시스템 (700) 의 일 실시 예의 도면이다. 플라즈마 시스템 (700) 은 RF 생성기 (702) 및 호스트 컴퓨터 (106) 를 포함한다. RF 생성기 (702) 는 소스 RF 생성기 (102) (도 1) 또는 바이어스 RF 생성기 (104) (도 1) 의 일 예이다. RF 생성기 (702) 는 DSP (204), PRSna까지 복수의 파라미터 제어기들 PRS1a, PRS2a, PRS3a 등을 포함하고, 여기서 n은 3보다 큰 정수이다. 예를 들어, n은 4 이상이다. 예로서, RF 생성기 (702) 는 상태 S1a에 대한 하나, 상태 S2a에 대한 다른 하나, 상태 S3a에 대한 또 다른 하나, 그리고 상태 S4a에 대한 또 다른 하나의 4 개의 파라미터 제어기들을 포함한다. 또 다른 예로서, RF 생성기 (702) 는 상태 S1a에 대한 하나, 상태 S2a에 대한 다른 하나, 상태 S3a에 대한 또 다른 하나, 상태 S4a에 대한 또 다른 하나, 그리고 상태 S5a에 대한 하나의 5 개의 파라미터 제어기들을 포함한다. RF 생성기 (702) 는 주파수 제어기 FC (210), 구동기 시스템 (710), 및 RF 전력 공급부 (222) 를 더 포함한다.

[0139] DSP (204) 는 RF 생성기 (702) 의 파라미터 제어기 PRS1a 내지 파라미터 제어기 PRSna 각각에 커플링된다. 파라미터 제어기 PRS1a 내지 파라미터 제어기 PRSna는 RF 전력 공급부 (222) 에 커플링되는 구동기 시스템 (710) 에 커플링된다. 또한, 주파수 제어기 (210) 는 구동기 시스템 (710) 에 커플링된다.

[0140] 프로세서 (118) 는 전송 케이블 시스템 (214) 을 통해 DSP (204) 로 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 파라미터 레벨들과 같은 파라미터들, 및 동기화 신호 (146) 를 제공한다. 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 파라미터 레벨들을 수신하면, 파라미터 제어기 PRS1a의 메모리 디바이스에 상태 S1a에 대한 파라미터의 저장을 위해, DSP (204) 는 RF 신호 (712) 의 상태 S1a에 대한 파라미터, 예컨대 전력 레벨 또는 전압 레벨을 파라미터 제어기 PRS1a에 제공한다. RF 신호 (712) 는 RF 신호 (152) 또는 RF 신호 (168) (도 1) 의 예이다.

[0141] 또한, 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 파라미터 레벨들의 수신에 응답하여, 파라미터 제어기 PRS2a의 메모리 디바이스에 상태 S2a에 대한 파라미터 레벨의 저장을 위해, DSP (204) 는 RF 신호 (712) 의 상태 S2a에 대한 파라미터 레벨, 예컨대 전력 레벨 또는 전압 레벨을 파라미터 제어기 PRS2a에 제공한다. 게다가, 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 파라미터 레벨들의 수신에 응답하여, 파라미터 제어기 PRS3a의 메모리 디바이스에 상태 S3a에 대한 파라미터의 저장을 위해, DSP (204) 는 RF 신호 (712) 의 상태 S3a에 대한 파라미터 레벨, 예컨대 전력 레벨 또는 전압 레벨을 파라미터 제어기 PRS3a에 제공한다. 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 파라미터들의 수신에 응답하여, 파라미터 제어기 PRSna의 메모리 디바이스에 상태 Sna에 대한 파라미터의 저장을 위해, DSP (204) 는 RF 신호 (712) 의 상태 Sna에 대한 파라미터 레벨, 예컨대 전력 레벨 또는 전압 레벨을 파라미터 제어기 PRSna에 제공한다. 유사하게, 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 파라미터들을 수신할 때, DSP (204) 는 상태 S1a 내지 상태 Sna 모두에 대해, 단일 주파수 레벨과 같은 주파수 레벨을 주파수 제어기 (210) 의 메모리 디바이스에 저장하기 위해 주파수 제어기 (210) 에 제공한다.

[0142] 일 실시 예에서, 제 (n-1) 파라미터 레벨의 값들은 제 n 파라미터 레벨의 값들과 상이하다. 예를 들어, 제 (n-1) 파라미터 레벨의 값들은 제 n 파라미터 레벨의 값들을 배제한다. 또 다른 예로서, 제 (n-1) 파라미터 레벨의 값들 중 어느 것도 제 n 파라미터 레벨의 어떠한 값들과 동일하지 않다.

[0143] 동기화 신호 (146) 의 수신시, 동기화 신호 (146) 의 사이클 각각 동안, DSP (204) 는 상태 S1a에 대한 인스트럭션 신호를 파라미터 제어기 PRS1a로 전송한다. 예를 들어, DSP (204) 는 상태 Sna 또는 상태 S0과 같은 상태 S1a와 상이하거나 다른 상태로부터 상태 S1a로 전이할 때 상태 S1a에 대한 인스트럭션 신호를 파라미터 제어기

PRS1a로 전송한다. 파라미터 제어기 PRS1a로 전송된 상태 S1a에 대한 인스트럭션 신호는 파라미터 제어기 PRS1a가 상태 S1a에 대한 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (710) 에 제공하는 사이클 각각 동안 상태 S1a에 대한 시간 기간을 포함한다. 상태 S1a에 대한 인스트럭션 신호를 수신하면, 파라미터 제어기 PRS1a는 파라미터 제어기 PRS1a의 메모리 디바이스로부터 상태 S1a에 대한 파라미터 레벨에 액세스하고 상태 S1a에 대한 시간 기간 동안 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (710) 으로 전송한다. 예를 들어, 파라미터 제어기 PRS1a는 상태 S1a와 상이한 상태로부터 상태 S1a로 전이할 때 상태 S1a에 대한 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (710) 에 전송한다. 상태 S1a에 대한 시간 기간 후, 동기화 신호 (146) 의 사이클 동안, 파라미터 제어기 PRS1a는 상태 S1a에 대한 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (710) 에 전송하지 않는다.

[0144] 유사하게, 동기화 신호 (146) 의 수신시, 동기화 신호 (146) 의 사이클 각각 동안, DSP (204) 는 상태 S2a에 대한 인스트럭션 신호를 파라미터 제어기 PRS2a로 전송한다. 예를 들어, DSP (204) 는 상태 S1a 또는 상태 S3a 또는 상태 S0과 같은 상태 S2a와 상이하거나 다른 상태로부터 상태 S2a로 전이할 때 상태 S2a에 대한 인스트럭션 신호를 파라미터 제어기 PRS2a로 전송한다. 파라미터 제어기 PRS2a로 전송된 상태 S2a에 대한 인스트럭션 신호는 파라미터 제어기 PRS2a가 상태 S2a에 대한 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (710) 에 제공하는 사이클 각각 동안 상태 S2a에 대한 시간 기간을 포함한다. 상태 S2a에 대한 인스트럭션 신호를 수신하면, 파라미터 제어기 PRS2a는 파라미터 제어기 PRS2a의 메모리 디바이스로부터 상태 S2a에 대한 파라미터 레벨에 액세스하고 상태 S2a에 대한 시간 기간 동안 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (710) 으로 전송한다. 예를 들어, 파라미터 제어기 PRS2a는 상태 S2a와 상이한 상태로부터 상태 S2a로 전이할 때 상태 S2a에 대한 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (710) 에 전송한다. 상태 S2a에 대한 시간 기간 후, 동기화 신호 (146) 의 사이클 동안, 파라미터 제어기 PRS2a는 상태 S2a에 대한 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (710) 에 전송하지 않는다.

[0145] 또한, 동기화 신호 (146) 의 수신시, 동기화 신호 (146) 의 사이클 각각 동안, DSP (204) 는 상태 S3a에 대한 인스트럭션 신호를 파라미터 제어기 PRS3a로 전송한다. 예를 들어, DSP (204) 는 상태 S3a와 상이하거나 다른 상태, 예컨대 상태 S2a 또는 상태 S1a 또는 상태 S0으로부터 상태 S3a로 전이할 때, 상태 S3a에 대한 인스트럭션 신호를 파라미터 제어기 PRS3a로 전송한다. 파라미터 제어기 PRS3a로 전송된 상태 S3a에 대한 인스트럭션 신호는 파라미터 제어기 PRS3a가 상태 S3a에 대한 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (710) 에 제공하는 사이클 각각 동안 상태 S3a에 대한 시간 기간을 포함한다. 상태 S3a에 대한 인스트럭션 신호를 수신하면, 파라미터 제어기 PRS3a는 파라미터 제어기 PRS3a의 메모리 디바이스로부터 상태 S3a에 대한 파라미터 레벨에 액세스하고 상태 S3a에 대한 시간 기간 동안 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (710) 에 전송한다. 예를 들어, 파라미터 제어기 PRS3a는 상태 S3a와 상이한 상태로부터 상태 S3a로 전이할 때 상태 S3a에 대한 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (710) 에 전송한다. 상태 S3a에 대한 시간 기간 후, 동기화 신호 (146) 의 사이클 동안, 파라미터 제어기 PRS3a는 상태 S3a에 대한 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (710) 에 전송하지 않는다.

[0146] 게다가, 동기화 신호 (146) 의 수신시, 동기화 신호 (146) 의 사이클 각각 동안, DSP (204) 는 상태 Sna에 대한 인스트럭션 신호를 파라미터 제어기 PRSna로 전송한다. 예를 들어, DSP (204) 는 상태 Sna와 상이하거나 다른 상태, 예컨대 S(n-1)a 또는 상태 S0로부터 상태 Sna로 전이할 때 상태 Sna에 대한 인스트럭션 신호를 파라미터 제어기 PRSna로 전송한다. 파라미터 제어기 PRSna로 전송된 상태 Sna에 대한 인스트럭션 신호는 파라미터 제어기 PRSna가 상태 Sna에 대한 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (710) 에 제공하는 사이클 각각 동안 상태 Sna에 대한 시간 기간을 포함한다. 상태 Sna에 대한 인스트럭션 신호를 수신하면, 파라미터 제어기 PRSna는 파라미터 제어기 PRSna의 메모리 디바이스로부터 상태 Sna에 대한 파라미터 레벨에 액세스하고 상태 Sna에 대한 시간 기간 동안 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (710) 으로 전송한다. 예를 들어, 파라미터 제어기 PRSna는 상태 Sna로부터 상이한 상태로부터 상태 Sna로 전이할 때 상태 Sna에 대한 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (710) 에 전송한다. 상태 Sna에 대한 시간 기간 후, 동기화 신호 (146) 의 사이클 동안, 파라미터 제어기 PRSna는 상태 Sna에 대한 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (710) 으로 전송하지 않는다.

[0147] 또한, 동기화 신호 (146) 의 수신시, 동기화 신호 (146) 의 사이클 각각 동안, DSP (204) 는 인스트럭션 신호를 주파수 제어기 (210) 로 전송한다. 인스트럭션 신호를 수신하면, 주파수 제어기 (210) 는 주파수 제어기 (210) 의 메모리 디바이스로부터 주파수 레벨에 액세스하고 주파수 레벨을 구동기 시스템 (710) 에 전송한다.

[0148] 상태 S1a에 대한 파라미터 레벨 및 주파수 레벨을 수신하는 것에 응답하여, 구동기 시스템 (710) 은 상태 S1a에 대한 시간 기간 동안 상태 S1a에 대한 구동 신호를 생성하고 구동 신호를 RF 전력 공급부 (222) 로 전송한다. 예를 들어, 상태 S1a에 대한 파라미터 레벨 및 주파수 레벨을 수신하면, 상태 Sna 또는 상태 S2a 또는 상태 S3a 또는 상태 S0과 같은 상태 S1a와 상이하거나 다른 상태로부터 상태 S1a로 전이할 때, 구동기 시스템 (710) 은 상태 S1a에 대한 시간 기간 동안 상태 S1a에 대한 구동 신호를 생성하고 구동 신호를 RF 전력 공급부 (222) 로

전송한다. RF 전력 공급부 (222) 는 구동기 시스템 (710) 으로부터 상태 S1a에 대한 구동 신호를 수신할 때 RF 신호 (712) 의 상태 S1a를 생성한다. 예를 들어, 구동기 시스템 (710) 으로부터 상태 S1a에 대한 구동 신호를 수신하면, RF 전력 공급부 (222) 는 RF 신호 (712) 를 상태 S1a와 상이한 상태로부터 상태 S1a로 전이한다. RF 신호 (712) 의 상태 S1a는 상태 S1a에 대한 시간 기간 동안 상태 S1a에 대한 파라미터 레벨 및 주파수 레벨을 갖는다.

[0149] 유사하게, 상태 S2a에 대한 파라미터 레벨 및 주파수 레벨을 수신하는 것에 응답하여, 구동기 시스템 (710) 은 상태 S2a에 대한 시간 기간 동안 상태 S2a에 대한 구동 신호를 생성하고 구동 신호를 RF 전력 공급부 (222) 로 전송한다. 예를 들어, 상태 S2a에 대한 파라미터 레벨 및 주파수 레벨을 수신할 때 상태 S2a와 상이하거나 다른 상태, 예컨대 상태 S1a 또는 상태 S3a 또는 상태 Sna 또는 상태 S0으로부터 상태 S2a로 전이할 때, 구동기 시스템 (710) 은 상태 S2a에 대한 시간 기간 동안 상태 S2a에 대한 구동 신호를 생성하고 구동 신호를 RF 전력 공급부 (222) 로 전송한다. RF 전력 공급부 (222) 는 구동기 시스템 (710) 으로부터 상태 S2a에 대한 구동 신호를 수신할 때 RF 신호 (712) 의 상태 S2a를 생성한다. 예를 들어, 구동기 시스템 (710) 으로부터 상태 S2a에 대한 구동 신호를 수신하면, RF 전력 공급부 (222) 는 RF 신호 (712) 를 상태 S2a와 상이한 상태로부터 상태 S2a로 전이한다. RF 신호 (712) 의 상태 S2a는 상태 S2a에 대한 시간 기간 동안 상태 S2a에 대한 파라미터 레벨 및 주파수 레벨을 갖는다.

[0150] 또한, 상태 S3a에 대한 파라미터 레벨 및 주파수 레벨을 수신하는 것에 응답하여, 구동기 시스템 (710) 은 상태 S3a에 대한 시간 기간 동안 상태 S3a에 대한 구동 신호를 생성하고 구동 신호를 RF 전력 공급부 (222) 로 전송한다. 예를 들어, 상태 S3a에 대한 파라미터 레벨 및 주파수 레벨을 수신할 때 상태 S3a와 상이하거나 다른 상태, 예컨대 상태 S2a 또는 상태 S4a 또는 상태 Sna 또는 상태 S0으로부터 상태 S3a로 전이할 때, 구동기 시스템 (710) 은 상태 S3a에 대한 시간 기간 동안 상태 S3a에 대한 구동 신호를 생성하고 구동 신호를 RF 전력 공급부 (222) 로 전송한다. RF 전력 공급부 (222) 는 구동기 시스템 (710) 으로부터 상태 S3a에 대한 구동 신호를 수신할 때 RF 신호 (712) 의 상태 S3a를 생성한다. 예를 들어, 구동기 시스템 (710) 으로부터 상태 S3a에 대한 구동 신호를 수신하면, RF 전력 공급부 (222) 는 RF 신호 (712) 를 상태 S3a와 상이한 상태로부터 상태 S3a로 전이한다. RF 신호 (712) 의 상태 S3a는 상태 S3a에 대한 시간 기간 동안 상태 S3a에 대한 파라미터 레벨 및 주파수 레벨을 갖는다.

[0151] 게다가, 상태 Sna에 대한 파라미터 레벨 및 주파수 레벨을 수신하는 것에 응답하여, 구동기 시스템 (710) 은 상태 Sna에 대한 시간 기간 동안 상태 Sna에 대한 구동 신호를 생성하고 구동 신호를 RF 전력 공급부 (222) 로 전송한다. 예를 들어, 상태 Sna에 대한 파라미터 레벨 및 주파수 레벨을 수신할 때 상태 Sna와 상이하거나 다른 상태, 예컨대 상태 S(n-1)a 또는 상태 S0 또는 상태 S3a 또는 상태 S2a로부터 상태 Sna로 전이할 때, 구동기 시스템 (710) 은 상태 Sna에 대한 시간 기간 동안 상태 Sna에 대한 구동 신호를 생성하고 구동 신호를 RF 전력 공급부 (222) 로 전송한다. RF 전력 공급부 (222) 는 구동기 시스템 (710) 으로부터 상태 Sna에 대한 구동 신호를 수신할 때 RF 신호 (712) 의 상태 Sna를 생성한다. 예를 들어, 구동기 시스템 (710) 으로부터 상태 Sna에 대한 구동 신호를 수신하면, RF 전력 공급부 (222) 는 RF 신호 (712) 를 상태 Sna와 상이한 상태로부터 상태 Sna로 전이한다. RF 신호 (712) 의 상태 Sna는 상태 Sna에 대한 시간 기간 동안 상태 Sna에 대한 파라미터 레벨 및 주파수 레벨을 갖는다.

[0152] 또한, 일 실시 예에서, 동기화 신호 (146) 의 사이클 각각 동안, RF 신호 (712) 가 0의 파라미터 레벨을 갖는 시간 기간이 있다. RF 신호 (712) 는 상태 S0과 같은, 무 상태 동안 0의 파라미터 레벨을 갖는다. 동기화 신호 (146) 의 수신시, 동기화 신호 (146) 의 사이클 각각 동안, DSP (204) 는 무 상태에 대한 시간 기간 동안 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 인스트럭션 신호들을 파라미터 제어기 PRS1a 내지 파라미터 제어기 PRSna로 전송하지 않는다.

[0153] 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 인스트럭션 신호들이 수신되지 않는 무 상태에 대한 시간 기간 동안, 파라미터 제어기 PRS1a 내지 파라미터 제어기 PRSna는 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 파라미터 레벨들을 구동기 시스템 (710) 으로 전송하지 않거나 중단한다. 예를 들어, 상태 S1a에 대한 시간 기간 후, 파라미터 제어기 PRS1a는 상태 S1a에 대한 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (710) 에 전송하지 않는다. 또 다른 예로서, 상태 S2a에 대한 시간 기간 후, 파라미터 제어기 PRS2a는 상태 S2a에 대한 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (710) 에 전송하지 않는다.

[0154] 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 파라미터 레벨들이 수신되지 않을 때, 구동기 시스템 (710) 은 RF 전력 공급부 (222) 로 구동 신호를 전송하지 않는다. 무 상태에 대한 시간 기간 동안 구동 신호가 수신되지 않을 때, RF 전

력 공급부 (710) 는 무 상태 동안 0의 파라미터 레벨을 갖는 RF 신호 (712) 를 생성한다. 예를 들어, 구동 신호가 수신되지 않을 때, 전력 공급부 (222) 는 RF 신호 (712) 를 상태 S1a 또는 상태 S2a 또는 상태 Sna와 같은 무 상태 S0과 상이하거나 다른 상태로부터 무 상태 S0로 전이한다.

[0155] 상태 S1a 내지 상태 Sna 및 무 상태는 RF 신호 (712) 의 파라미터의 상태들이다. 예를 들어, 도 7을 참조하여 기술된 상태 S1a 내지 상태 Sna 및 무 상태 각각은 RF 신호 (712) 의 파라미터 레벨을 나타낸다. 예시를 위해, RF 신호 (712) 의 상태 S1a는 RF 신호 (712) 의 제 1 파라미터 레벨을 식별하고 RF 신호 (712) 의 상태 S2a는 RF 신호 (712) 의 제 2 파라미터 레벨을 식별한다.

[0156] 일 실시 예에서, 파라미터 제어기 PRS1a 내지 파라미터 제어기 PRSna 및 주파수 제어기 (210) 대신, 하나 이상의 프로세서들과 같은, 하나 이상의 제어기들이 파라미터 제어기 PRS1a 내지 파라미터 제어기 PRSna 및 주파수 제어기 (210) 에 의해 수행될 때 본 명세서에 기술된 기능들을 수행하도록 사용된다.

[0157] 일 실시 예에서, DSP (204), 파라미터 제어기 PRS1a 내지 파라미터 제어기 PRSna 및 주파수 제어기 (210) 대신, 하나 이상의 프로세서들과 같은, 하나 이상의 제어기들이 DSP (204), 파라미터 제어기 PRS1a 내지 파라미터 제어기 PRSna 및 주파수 제어기 (210) 에 의해 수행될 때 본 명세서에 기술된 기능들을 수행하도록 사용된다.

[0158] 도 8은 멀티 레벨 주파수 펄싱을 예시하기 위한 플라즈마 시스템 (800) 의 일 실시 예의 도면이다. 플라즈마 시스템 (800) 은 RF 생성기 (802) 및 호스트 컴퓨터 (106) 를 포함한다. RF 생성기 (802) 는 소스 RF 생성기 (102) (도 1) 또는 바이어스 RF 생성기 (104) (도 1) 의 예이다. RF 생성기 (802) 는 DSP (204), FCSna까지 복수의 주파수 제어기들 FCS1a, FCS2a, FCS3a 등을 포함하고, 여기서 n은 3보다 큰 정수이다. 예를 들어, n은 4 이상이다. 예로서, RF 생성기 (802) 는 상태 S1a에 대한 하나, 상태 S2a에 대한 또 다른 하나, 상태 S3a에 대한 또 다른 하나, 그리고 상태 S4a에 대한 또 다른 하나의 4 개의 주파수 제어기들을 포함한다. 또 다른 예로서, RF 생성기 (802) 는 상태 S1a에 대한 하나, 상태 S2a에 대한 또 다른 하나, 상태 S3a에 대한 또 다른 하나, 상태 S4a에 대한 하나, 그리고 상태 S5a에 대한 5 개의 주파수 제어기들을 포함한다. RF 생성기 (802) 는 파라미터 제어기 (814), 구동기 시스템 (810), 및 RF 전력 공급부 (222) 를 더 포함한다.

[0159] DSP (204) 는 RF 생성기 (802) 의 주파수 제어기 FCS1a 내지 주파수 제어기 FCSna 각각에 커플링된다. 주파수 제어기 FCS1a 내지 주파수 제어기 FCSna는 RF 전력 공급부 (222) 에 커플링되는 구동기 시스템 (810) 에 커플링된다. 또한, 파라미터 제어기 (814) 는 구동기 시스템 (810) 에 커플링된다.

[0160] 프로세서 (118) 는 전송 케이블 시스템 (214) 을 통해 DSP (204) 로 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 주파수 레벨들과 같은 주파수들 및 동기화 신호 (146) 를 제공한다. 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 주파수 레벨들을 수신하면, 주파수 제어기 FCS1a의 메모리 디바이스에 상태 S1a에 대한 주파수를 저장하기 위해 DSP (204) 는 RF 신호 (812) 의 상태 S1a에 대한 주파수, 예컨대 주파수 레벨을 주파수 제어기 FCS1a에 제공한다. RF 신호 (812) 는 RF 신호 (152) 또는 RF 신호 (168) (도 1) 의 예이다.

[0161] 또한, 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 주파수 레벨 수신에 응답하여, RF 신호 (812) 의 주파수 제어기 FCS2a의 메모리 디바이스에 상태 S2a에 대한 주파수 레벨의 저장을 위해 DSP (204) 는 상태 S2a에 대한 주파수 레벨을 주파수 제어기 FCS2a에 제공한다. 게다가, 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 주파수 레벨 수신에 응답하여, RF 신호 (812) 의 주파수 제어기 FCS3a의 메모리 디바이스에 상태 S3a에 대한 주파수 레벨의 저장을 위해 DSP (204) 는 상태 S3a에 대한 주파수 레벨을 주파수 제어기 FCS3a에 제공한다. 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 주파수 레벨 수신에 응답하여, 주파수 제어기 FCSna의 메모리 디바이스에 RF 신호 (812) 의 상태 Sna에 대한 주파수 레벨의 저장을 위해 DSP (204) 는 상태 Sna에 대한 주파수 레벨을 주파수 제어기 FCSna에 제공한다. 유사하게, 모든 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대해 단일 파라미터 레벨과 같은 파라미터 레벨을 수신하면, DSP (204) 는 파라미터 제어기 (814) 의 메모리 디바이스에 저장하기 위해 파라미터 제어기 (814) 로 파라미터 레벨을 제공한다.

[0162] 일 실시 예에서, 제 (n-1) 주파수 레벨의 값들은 제 n 주파수 레벨의 값들과 상이하다. 예를 들어, 제 (n-1) 주파수 레벨의 값들은 제 n 주파수 레벨의 값들을 배제한다. 또 다른 예로서, 제 (n-1) 주파수 레벨의 값들 중 어느 것도 제 n 주파수 레벨의 어떠한 값들과 동일하지 않다.

[0163] 동기화 신호 (146) 의 수신시, 동기화 신호 (146) 의 사이클 각각 동안, DSP (204) 는 상태 S1a에 대한 인스트럭션 신호를 주파수 제어기 FCS1a로 전송한다. 예를 들어, DSP (204) 는 상태 S2a 또는 상태 S0 또는 상태 S3a와 같은 상태 S1a와 상이하거나 다른 상태로부터 상태 S1a로 전이할 때 상태 S1a에 대한 인스트럭션 신호를 주파수 제어기 FCS1a로 전송한다. 주파수 제어기 FCS1a로 전송된 상태 S1a에 대한 인스트럭션 신호는 주파수 제

어기 FCS1a가 상태 S1a에 대한 주파수 레벨을 구동기 시스템 (810) 에 제공하는 사이클 각각 동안 상태 S1a에 대한 시간 기간을 포함한다. 상태 S1a에 대한 인스트럭션 신호를 수신하면, 주파수 제어기 FCS1a는 주파수 제어기 FCS1a의 메모리 디바이스로부터 상태 S1a에 대한 주파수 레벨에 액세스하고 상태 S1a에 대한 시간 기간 동안 주파수 레벨을 구동기 시스템 (810) 으로 전송한다. 예를 들어, 주파수 제어기 FCS1a는 상태 S1a와 상이한 상태로부터 상태 S1a로 전이할 때 상태 S1a에 대한 주파수 레벨을 구동기 시스템 (810) 에 전송한다. 상태 S1a에 대한 시간 기간 후, 동기화 신호 (146) 의 사이클 동안, 주파수 제어기 FCS1a는 상태 S1a에 대한 주파수 레벨을 구동기 시스템 (810) 에 전송하지 않는다.

[0164] 유사하게, 동기화 신호 (146) 의 수신시, 동기화 신호 (146) 의 사이클 각각 동안, DSP (204) 는 상태 S2a에 대한 인스트럭션 신호를 주파수 제어기 FCS2a로 전송한다. 예를 들어, DSP (204) 는 상태 S1a 또는 상태 S0 또는 상태 S2a와 같은 상태 S2a와 상이하거나 다른 상태로부터 상태 S2a로 전이할 때 상태 S2a에 대한 인스트럭션 신호를 주파수 제어기 FCS2a로 전송한다. 주파수 제어기 FCS2a로 전송된 상태 S2a에 대한 인스트럭션 신호는 주파수 제어기 FCS2a가 상태 S2a에 대한 주파수 레벨을 구동기 시스템 (810) 에 제공하는 사이클 각각 동안 상태 S2a에 대한 시간 기간을 포함한다. 상태 S2a에 대한 인스트럭션 신호를 수신하면, 주파수 제어기 FCS2a는 주파수 제어기 FCS2a의 메모리 디바이스로부터 상태 S2a에 대한 주파수 레벨에 액세스하고 상태 S2a에 대한 시간 기간 동안 주파수 레벨을 구동기 시스템 (810) 으로 전송한다. 예를 들어, 주파수 제어기 FCS2a는 상태 S2a와 상이한 상태로부터 상태 S2a로 전이할 때 상태 S2a에 대한 주파수 레벨을 구동기 시스템 (810) 에 전송한다. 상태 S2a에 대한 시간 기간 후, 동기화 신호 (146) 의 사이클 동안, 주파수 제어기 FCS2a는 상태 S2a에 대한 주파수 레벨을 구동기 시스템 (810) 에 전송하지 않는다.

[0165] 또한, 동기화 신호 (146) 의 수신시, 동기화 신호 (146) 의 사이클 각각 동안, DSP (204) 는 상태 S3a에 대한 인스트럭션 신호를 주파수 제어기 FCS3a로 전송한다. 예를 들어, DSP (204) 는 상태 S2a 또는 상태 S1a 또는 상태 S0와 같은 상태 S3a와 상이하거나 다른 상태로부터 상태 S3a로 전이할 때 상태 S3a에 대한 인스트럭션 신호를 주파수 제어기 FCS3a로 전송한다. 주파수 제어기 FCS3a로 전송된 상태 S3a에 대한 인스트럭션 신호는 주파수 제어기 FCS3a가 상태 S3a에 대한 주파수 레벨을 구동기 시스템 (810) 에 제공하는 사이클 각각 동안 상태 S3a에 대한 시간 기간을 포함한다. 상태 S3a에 대한 인스트럭션 신호를 수신하면, 주파수 제어기 FCS3a는 주파수 제어기 FCS3a의 메모리 디바이스로부터 상태 S3a에 대한 주파수 레벨에 액세스하고 상태 S3a에 대한 시간 기간 동안 주파수 레벨을 구동기 시스템 (810) 으로 전송한다. 예를 들어, 주파수 제어기 FCS3a는 상태 S3a와 상이한 상태로부터 상태 S3a로 전이할 때 상태 S3a에 대한 주파수 레벨을 구동기 시스템 (810) 에 전송한다. 상태 S3a에 대한 시간 기간 후, 동기화 신호 (146) 의 사이클 동안, 주파수 제어기 FCS3a는 상태 S3a에 대한 주파수 레벨을 구동기 시스템 (810) 에 전송하지 않는다.

[0166] 게다가, 동기화 신호 (146) 의 수신시, 동기화 신호 (146) 의 사이클 각각 동안, DSP (204) 는 상태 Sna에 대한 인스트럭션 신호를 주파수 제어기 FCSna로 전송한다. 예를 들어, DSP (204) 는 상태 Sna와 상이하거나 다른 상태, 예컨대 상태 S(n-1)a 또는 상태 S0로부터 상태 Sna로 전이할 때 상태 Sna에 대한 인스트럭션 신호를 주파수 제어기 FCSna로 전송한다. 주파수 제어기 FCSna로 전송된 상태 Sna에 대한 인스트럭션 신호는 주파수 제어기 FCSna가 상태 Sna에 대한 주파수 레벨을 구동기 시스템 (810) 에 제공하는 사이클 각각 동안 상태 Sna에 대한 시간 기간을 포함한다. 상태 Sna에 대한 인스트럭션 신호를 수신하면, 주파수 제어기 FCSna는 주파수 제어기 FCSna의 메모리 디바이스로부터 상태 Sna에 대한 주파수 레벨에 액세스하고 상태 Sna에 대한 시간 기간 동안 주파수 레벨을 구동기 시스템 (810) 으로 전송한다. 예를 들어, 주파수 제어기 FCSna는 상태 Sna와 상이하거나 다른 상태로부터 상태 Sna로 전이할 때 상태 Sna에 대한 주파수 레벨을 구동기 시스템 (810) 에 전송한다. 상태 Sna에 대한 시간 기간 후, 동기화 신호 (146) 의 사이클 동안, 주파수 제어기 FCSna는 상태 Sna에 대한 주파수 레벨을 구동기 시스템 (810) 으로 전송하지 않는다.

[0167] 또한, 동기화 신호 (146) 의 수신시, 동기화 신호 (146) 의 사이클 각각 동안, DSP (204) 는 파라미터 제어기 (814) 로 인스트럭션 신호를 전송한다. 인스트럭션 신호를 수신하면, 파라미터 제어기 (814) 는 파라미터 제어기 (814) 의 메모리 디바이스로부터 파라미터 레벨에 액세스하고 구동기 시스템 (810) 으로 파라미터 레벨을 전송한다.

[0168] 상태 S1a에 대한 주파수 레벨 및 파라미터 레벨을 수신하는 것에 응답하여, 구동기 시스템 (810) 은 상태 S1a에 대한 시간 기간 동안 상태 S1a에 대한 구동 신호를 생성하고 구동 신호를 RF 전력 공급부 (222) 로 전송한다. 예를 들어, 상태 S2a에 대한 주파수 레벨 및 파라미터 레벨을 수신할 때 상태 S2a와 상이하거나 다른 상태, 예컨대 상태 S1a 또는 상태 S3a 또는 상태 Sna 또는 상태 S0으로부터 상태 S2a로 전이할 때, 구동기 시스템 (810) 은 상태 S2a에 대한 시간 기간 동안 상태 S2a에 대한 구동 신호를 생성하고 구동 신호를 RF 전력 공급부 (222)

로 전송한다. RF 전력 공급부 (222) 는 구동기 시스템 (810) 으로부터 상태 S1a에 대한 구동 신호를 수신할 때 RF 신호 (812) 의 상태 S1a를 생성한다. 예를 들어, 구동기 시스템 (810) 으로부터 상태 S1a에 대한 구동 신호를 수신하면, RF 전력 공급부 (222) 는 RF 신호 (812) 를 상태 S1a와 상이한 상태로부터 상태 S1a로 전이한다. RF 신호 (812) 의 상태 S1a는 상태 S1a에 대한 시간 기간 동안 상태 S1a에 대한 주파수 레벨 및 파라미터 레벨을 갖는다.

[0169] 유사하게, 상태 S2a에 대한 주파수 레벨 및 파라미터 레벨을 수신하는 것에 응답하여, 구동기 시스템 (810) 은 상태 S2a에 대한 시간 기간 동안 상태 S2a에 대한 구동 신호를 생성하고 구동 신호를 RF 전력 공급부 (222) 로 전송한다. 예를 들어, 상태 S2a에 대한 주파수 레벨 및 파라미터 레벨을 수신할 때 상태 S2a와 상이하거나 다른 상태, 예컨대 상태 S1a 또는 상태 S0 또는 상태 S3a로부터 상태 S2a로 전이할 때, 구동기 시스템 (810) 은 상태 S2a에 대한 시간 기간 동안 상태 S2a에 대한 구동 신호를 생성하고 구동 신호를 RF 전력 공급부 (222) 로 전송한다. RF 전력 공급부 (222) 는 구동기 시스템 (810) 으로부터 상태 S2a에 대한 구동 신호를 수신할 때 RF 신호 (812) 의 상태 S2a를 생성한다. 예를 들어, 구동기 시스템 (810) 으로부터 상태 S2a에 대한 구동 신호를 수신하면, RF 전력 공급부 (222) 는 RF 신호 (812) 를 상태 S2a와 상이한 상태로부터 상태 S2a로 전이한다. RF 신호 (812) 의 상태 S2a는 상태 S2a에 대한 시간 기간 동안 상태 S2a에 대한 주파수 레벨 및 파라미터 레벨을 갖는다.

[0170] 또한, 상태 S3a에 대한 주파수 레벨 및 파라미터 레벨을 수신하는 것에 응답하여, 구동기 시스템 (810) 은 상태 S3a에 대한 시간 기간 동안 상태 S3a에 대한 구동 신호를 생성하고 구동 신호를 RF 전력 공급부 (222) 로 전송한다. 예를 들어, 상태 S3a에 대한 주파수 레벨 및 파라미터 레벨을 수신할 때 상태 S3a와 상이하거나 다른 상태, 예컨대 상태 S2a 또는 상태 S0 또는 상태 S1a 또는 상태 S4a로부터 상태 S3a로 전이할 때, 구동기 시스템 (810) 은 상태 S3a에 대한 시간 기간 동안 상태 S3a에 대한 구동 신호를 생성하고 구동 신호를 RF 전력 공급부 (222) 로 전송한다. RF 전력 공급부 (222) 는 구동기 시스템 (810) 으로부터 상태 S3a에 대한 구동 신호를 수신할 때 RF 신호 (812) 의 상태 S3a를 생성한다. 예를 들어, 구동기 시스템 (810) 으로부터 상태 S3a에 대한 구동 신호를 수신하면, RF 전력 공급부 (222) 는 RF 신호 (812) 를 상태 S3a와 상이한 상태로부터 상태 S3a로 전이한다. RF 신호 (812) 의 상태 S3a는 상태 S3a에 대한 시간 기간 동안 상태 S3a에 대한 주파수 레벨 및 파라미터 레벨을 갖는다.

[0171] 게다가, 상태 Sna에 대한 주파수 레벨 및 파라미터 레벨을 수신하는 것에 응답하여, 구동기 시스템 (810) 은 상태 Sna에 대한 시간 기간 동안 상태 Sna에 대한 구동 신호를 생성하고 구동 신호를 RF 전력 공급부 (222) 로 전송한다. 예를 들어, 상태 Sna에 대한 주파수 레벨 및 파라미터 레벨을 수신할 때 상태 Sna와 상이하거나 다른 상태, 예컨대 상태 S(n-1)a 또는 상태 S0으로부터 상태 Sna로 전이할 때, 구동기 시스템 (810) 은 상태 Sna에 대한 시간 기간 동안 상태 Sna에 대한 구동 신호를 생성하고 구동 신호를 RF 전력 공급부 (222) 로 전송한다. RF 전력 공급부 (222) 는 구동기 시스템 (810) 으로부터 상태 Sna에 대한 구동 신호를 수신할 때 RF 신호 (812) 의 상태 Sna를 생성한다. 예를 들어, 구동기 시스템 (810) 으로부터 상태 Sna에 대한 구동 신호를 수신하면, RF 전력 공급부 (222) 는 RF 신호 (812) 를 상태 Sna와 상이한 상태로부터 상태 Sna로 전이한다. RF 신호 (812) 의 상태 Sna는 상태 Sna에 대한 시간 기간 동안 상태 Sna에 대한 주파수 레벨 및 파라미터 레벨을 갖는다.

[0172] 또한, 일 실시 예에서, 동기화 신호 (146) 의 사이클 각각 동안, RF 신호 (812) 가 0의 주파수 레벨을 갖는 시간 기간이 있다. RF 신호 (812) 는 상태 S0과 같은 무 상태 동안 0의 주파수 레벨을 갖는다. 동기화 신호 (146) 의 수신시, 동기화 신호 (146) 의 사이클 각각 동안, DSP (204) 는 무 상태에 대한 시간 기간 동안 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 인스트럭션 신호들을 주파수 제어기 FCS1a 내지 주파수 제어기 FCSna 및 파라미터 제어기 (814) 로 전송하지 않는다.

[0173] 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 인스트럭션 신호들이 수신되지 않는 무 상태에 대한 시간 기간 동안, 주파수 제어기 FCS1a 내지 주파수 제어기 FCSna는 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 주파수 레벨들을 구동기 시스템 (810) 및 파라미터 제어기 (814) 으로 전송하지 않거나 중단하고 구동기 시스템 (810) 으로 파라미터 레벨을 전송하는 것을 중단한다. 예를 들어, 상태 S1a에 대한 시간 기간 후, 주파수 제어기 FCS1a는 상태 S1a에 대한 주파수 레벨을 구동기 시스템 (810) 에 전송하지 않는다. 또 다른 예로서, 상태 S2a에 대한 시간 기간 후, 주파수 제어기 FCS2a는 상태 S2a에 대한 주파수 레벨을 구동기 시스템 (810) 에 전송하지 않는다.

[0174] 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 주파수 레벨 및 파라미터 레벨이 수신되지 않을 때, 구동기 시스템 (810) 은 RF 전력 공급부 (222) 로 구동 신호를 전송하지 않는다. 무 상태에 대한 시간 기간 동안 구동 신호가 수신되지 않

을 때, RF 전력 공급부 (810) 는 무 상태 동안 0의 파라미터 레벨을 갖는 RF 신호 (812) 를 생성한다. 예를 들어, 구동 신호가 수신되지 않을 때, 전력 공급부 (222) 는 RF 신호 (812) 를 상태 S1a 또는 상태 S2a 또는 상태 Sna와 같은 무 상태 S0과 상이하거나 다른 상태로부터 무 상태 S0로 전이한다.

[0175] 상태 S1a 내지 상태 Sna 및 무 상태는 RF 신호 (812) 의 주파수의 상태들이다. 예를 들어, 도 8을 참조하여 기술된 상태 S1a 내지 상태 Sna 및 무 상태 각각은 RF 신호 (812) 의 주파수 레벨을 나타낸다. 예시를 위해, RF 신호 (812) 의 상태 S1은 RF 신호 (812) 의 제 1 주파수 레벨을 식별하고 RF 신호 (812) 의 상태 S2는 RF 신호 (812) 의 제 2 주파수 레벨을 식별한다.

[0176] 일 실시 예에서, 주파수 제어기 FCS1a 내지 주파수 제어기 FCSna 및 파라미터 제어기 (814) 대신, 하나 이상의 프로세서들과 같은, 하나 이상의 제어기들이 주파수 제어기 FCS1a 내지 주파수 제어기 FCSna 및 파라미터 제어기 (814) 에 의해 수행될 때 본 명세서에 기술된 기능들을 수행하도록 사용된다.

[0177] 일 실시 예에서, DSP (204), 주파수 제어기 FCS1a 내지 주파수 제어기 FCSna 및 파라미터 제어기 (814) 대신, 하나 이상의 프로세서들과 같은, 하나 이상의 제어기들이 DSP (204), 주파수 제어기 FCS1a 내지 주파수 제어기 FCSna 및 파라미터 제어기 (814) 에 의해 수행될 때 본 명세서에 기술된 기능들을 수행하도록 사용된다.

[0178] 도 9는 동시 멀티 레벨 파라미터 펄싱 및 멀티 레벨 주파수 펄싱을 예시하기 위한 플라즈마 시스템 (900) 의 일 실시 예의 도면이다. 플라즈마 시스템 (900) 은 RF 생성기 (902) 및 호스트 컴퓨터 (106) 를 포함한다. RF 생성기 (902) 는 소스 RF 생성기 (102) (도 1) 또는 바이어스 RF 생성기 (104) (도 1) 의 예이다. RF 생성기 (902) 는 DSP (204), 주파수 제어기 FCS1a 내지 주파수 제어기 FCSna, 및 파라미터 제어기 PRS1a 내지 파라미터 제어기 PRSna를 포함한다. RF 생성기 (902) 는 구동기 시스템 (910) 및 RF 전력 공급부 (222) 를 더 포함한다.

[0179] DSP (204) 는 RF 생성기 (902) 의 주파수 제어기 FCS1a 내지 주파수 제어기 FCSna 각각 및 파라미터 제어기 PRS1a 내지 파라미터 제어기 PRSna 각각에 커플링된다. 주파수 제어기 FCS1a 내지 주파수 제어기 FCSna 및 전력 제어기들 PRS1 내지 PRSna는 RF 전력 공급부 (222) 에 커플링되는 구동기 시스템 (910) 에 커플링된다.

[0180] 프로세서 (118) 는 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 주파수 레벨 및 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 파라미터 레벨, 및 전송 케이블 시스템 (214) 을 통해 DSP (204) 로 동기화 신호 (146) 를 제공한다. 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 주파수 레벨들을 수신할 때, 주파수 제어기 FCS1a 내지 주파수 제어기 FCSna의 메모리 디바이스들에 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 주파수 레벨들의 저장을 위해, DSP (204) 는 도 8을 참조하여 상기 기술된 방식으로, RF 신호 (912) 의 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 주파수 레벨들을 주파수 제어기 FCS1a 내지 주파수 제어기 FCSna에 제공한다. RF 신호 (912) 는 RF 신호 (152) 또는 RF 신호 (168) (도 1) 의 예이다. 유사하게, 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 파라미터 레벨들을 수신할 때, 파라미터 제어기 PRS1a 내지 파라미터 제어기 PRSna의 메모리 디바이스들에 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 파라미터 레벨들의 저장을 위해, DSP (204) 는 도 7을 참조하여 상기 기술된 방식으로, RF 신호 (912) 의 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 파라미터 레벨들을 파라미터 제어기 PRS1a 내지 파라미터 제어기 PRSna에 제공한다.

[0181] 동기화 신호 (146) 의 수신시, 동기화 신호 (146) 의 사이클 각각 동안, DSP (204) 는 도 8을 참조하여 상기 기술된 방식으로, 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 인스트럭션 신호들을 주파수 제어기 FCS1a 내지 주파수 제어기 FCSna로 전송한다. 게다가, 동기화 신호 (146) 의 수신시, 동기화 신호 (146) 의 사이클 각각 동안, DSP (204) 는 도 7을 참조하여 상기 기술된 방식으로, 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 인스트럭션 신호들을 파라미터 제어기 PRS1a 내지 파라미터 제어기 PRSna로 전송한다.

[0182] 도 8을 참조하여 상기 방식으로 기술된 바와 같이, 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 인스트럭션 신호들을 수신하면, 주파수 제어기 FCS1a 내지 주파수 제어기 FCSna는 주파수 제어기 FCS1a 내지 주파수 제어기 FCSna의 메모리 디바이스들로부터 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 주파수 레벨들에 액세스하고, 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 시간 기간들 동안 구동기 시스템 (910) 에 주파수 레벨들을 전송한다. 유사하게, 도 7을 참조하여 상기 방식으로 기술된 바와 같이, 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 인스트럭션 신호들을 수신할 때, 파라미터 제어기 PRS1a 내지 파라미터 제어기 PRSna는 파라미터 제어기 PRS1a 내지 파라미터 제어기 PRSna의 메모리 디바이스들로부터 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 파라미터 레벨들에 액세스하고 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 시간 기간들 동안 구동기 시스템 (910) 에 파라미터 레벨들을 전송한다.

[0183] 도 7 및 도 8을 참조하여 상기 기술된 방식에서, 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 주파수 레벨들 및 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 파라미터 레벨들을 수신하는 것에 응답하여, 구동기 시스템 (910) 은 주파수 레벨들의 상태

S1a 내지 상태 Sna에 대한 구동 신호 및 파라미터 레벨들의 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 구동 신호들을 생성하고 구동 신호들을 RF 전력 공급부 (222) 로 전송한다. 예를 들어, 상태 Sna에 대한 주파수 레벨 및 상태 Sna에 대한 파라미터 레벨을 수신할 때 상태 Sna와 상이하거나 다른 상태, 예컨대 상태 S(n-1)a 또는 상태 S0으로부터 상태 Sna로 전이할 때, 구동기 시스템 (910) 은 상태 Sna에 대한 시간 기간 동안 주파수 레벨의 상태 Sna에 대한 구동 신호 및 파라미터 레벨의 상태 Sna에 대한 구동 신호를 생성하고 구동 신호를 RF 전력 공급부 (222) 로 전송한다. RF 전력 공급부 (222) 는 구동기 시스템 (910) 으로부터 주파수 레벨 및 파라미터 레벨의 상태들 Sna에 대한 구동 신호들을 수신할 때 RF 신호 (912) 의 파라미터 레벨의 상태 Sna 및 주파수 레벨의 상태 Sna를 생성한다. 예를 들어, 구동기 시스템 (910) 으로부터 주파수 레벨의 상태 Sna에 대한 구동 신호를 수신하면, RF 전력 공급부 (222) 는 RF 신호 (912) 의 주파수 레벨을 상태 Sna와 상이하거나 다른 상태로부터 상태 Sna로 전이한다. RF 신호 (912) 의 상태 Sna는 상태 Sna의 주파수 레벨을 갖는다. 구동기 시스템 (910) 으로부터 파라미터 레벨의 상태 Sna에 대한 구동 신호를 수신하면, RF 전력 공급부 (222) 는 RF 신호 (912) 의 파라미터 레벨을 상태 Sna와 상이한 상태로부터 상태 Sna로 전이한다. RF 신호 (912) 의 상태 Sna는 상태 Sna의 파라미터 레벨을 갖는다.

[0184] 또한, 일 실시 예에서, 동기화 신호 (146) 의 사이클 각각 동안, RF 신호 (912) 가 0의 주파수 레벨 및 0의 파라미터 레벨을 갖는 시간 기간이 있다. RF 신호 (912) 는 상태 S0과 같은 무 상태 동안 0의 주파수 레벨 및 0의 파라미터 레벨을 갖는다. 동기화 신호 (146) 의 수신시, 동기화 신호 (146) 의 사이클 각각 동안, DSP (204) 는 무 상태에 대한 시간 기간 동안 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 인스트럭션 신호들을 주파수 제어기 FCS1a 내지 주파수 제어기 FCSna로 전송하지 않고 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 인스트럭션 신호들을 파라미터 제어기 PRS1a 내지 파라미터 제어기 PRSna로 전송하지 않는다.

[0185] 도 8을 참조하여 상기 기술된 방식에서, 주파수 레벨들의 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 인스트럭션 신호들이 수신되지 않는 무 상태에 대한 시간 기간 동안, 주파수 제어기 FCS1a 내지 주파수 제어기 FCSna는 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 주파수 레벨들을 구동기 시스템 (910) 에 전송하지 않거나 중단한다. 유사하게, 도 7을 참조하여 상기 기술된 방식에서, 파라미터 레벨들의 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 인스트럭션 신호들이 수신되지 않는 무 상태에 대한 시간 기간 동안, 파라미터 제어기 PRS1a 내지 파라미터 제어기 PRSna는 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 파라미터 레벨들을 구동기 시스템 (910) 으로 전송하지 않거나 중단한다.

[0186] 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 주파수 레벨 및 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 파라미터 레벨이 수신되지 않을 때, 구동기 시스템 (910) 은 RF 전력 공급부 (222) 로 구동 신호를 전송하지 않는다. 무 상태에 대한 시간 기간 동안 구동 신호가 수신되지 않을 때, RF 전력 공급부 (222) 는 무 상태 동안 0의 파라미터 레벨 및 0의 주파수 레벨을 갖는 RF 신호 (912) 를 생성한다. 예를 들어, 구동 신호가 수신되지 않을 때, 전력 공급부 (222) 는 RF 신호 (912) 를 주파수 레벨의 상태 S1a 또는 주파수의 상태 S2a 또는 주파수 레벨의 상태 Sna와 같은 무 상태 S0과 상이하거나 다른 상태로부터 주파수 레벨의 무 상태 S0으로 전이한다. 유사하게, 구동 신호가 수신되지 않을 때, 전력 공급부 (222) 는 RF 신호 (912) 를 파라미터 레벨의 상태 S1a 또는 파라미터 레벨의 상태 S2a 또는 파라미터 레벨의 상태 Sna와 같은 파라미터 레벨의 무 상태 S0과 상이하거나 다른 상태로부터 파라미터 레벨의 무 상태 S0으로 전이한다.

[0187] 일 실시 예에서, 주파수 제어기 FCS1a 내지 주파수 제어기 FCSna 및 파라미터 제어기 PRS1a 내지 파라미터 제어기 PRSna 대신, 하나 이상의 프로세서들과 같은, 하나 이상의 제어기들이 주파수 제어기 FCS1a 내지 주파수 제어기 FCSna 및 파라미터 제어기 PRS1a 내지 파라미터 제어기 PRSna 에 의해 수행될 때 본 명세서에 기술된 기능들을 수행하도록 사용된다.

[0188] 일 실시 예에서, DSP (204), 주파수 제어기 FCS1a 내지 주파수 제어기 FCSna 및 파라미터 제어기 PRS1a 내지 파라미터 제어기 PRSna 대신, 하나 이상의 프로세서들과 같은, 하나 이상의 제어기들이 DSP (204), 주파수 제어기 FCS1a 내지 주파수 제어기 FCSna 및 파라미터 제어기 PRS1a 내지 파라미터 제어기 PRSna 에 의해 수행될 때 본 명세서에 기술된 기능들을 수행하도록 사용된다.

[0189] 일 실시 예에서, 소스 RF 생성기에 의해 생성된 RF 신호 (152) (도 1) 가 4 개의 변수 레벨들과 같은 복수의 변수 레벨들을 가질 때, 바이어스 RF 생성기 (104) 는 단일 변수 레벨 또는 RF 신호 (152) 의 변수 레벨들과 상이한 수의 변수 레벨들, 예컨대 2 또는 3 또는 8 또는 10 개의 변수 레벨들을 갖는 연속파 신호인 RF 신호 (168) 를 생성한다. 또 다른 예로서, 바이어스 RF 생성기에 의해 생성된 RF 신호 (168) (도 1) 가 4 개의 변수 레벨들과 같은 복수의 변수 레벨들을 가질 때, 소스 RF 생성기 (102) 는 단일 변수 레벨 또는 RF 신호 (168) 의 변수 레벨들과 상이한 수의 변수 레벨들, 예컨대 2 또는 3 개의 변수 레벨들 또는 8 또는 10 개의 변수 레벨들을

갖는 연속파 신호인 RF 신호 (152) 를 생성한다.

[0190] 일 실시 예에서, RF 신호들 (152 및 168) 은 6 개의 변수 레벨들 또는 8 개의 변수 레벨들과 같은 동일한 수의 변수 레벨들을 갖는다.

[0191] 도 10a는 동기화 신호 (302) 를 예시하기 위한 그래프 (300) 의 일 실시 예이다.

[0192] 도 10b는 RF 신호 (912) (도 9) 의 변수 (1006) 대 시간 t를 예시하기 위한 그래프 (1004) 의 일 실시 예이다. 변수 (1006) 는 y 축에 플롯팅되고 시간 t는 x 축에 플롯팅된다.

[0193] 변수 (1006) 는 동기화 신호 (302) 와 동기하여 변수 레벨들 (V8a, 0, V6a, 및 V2a) 사이에서 주기적으로 전이한다. 예를 들어, 변수 (1006) 는 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안 변수 레벨들 (V8a, 0, V6a, 및 V2a) 사이에서 전이하고 그리고 다시 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안 변수 레벨들 (V8a, 0, V6a, 및 V2a) 사이에서 전이한다. 예시를 위해, 변수 (1006) 는 상태 S4a 동안 시간 t0으로부터 시간 t2.5까지 변수 레벨 V8a를 갖고, 시간 t2.5로부터 시간 t5까지 무 상태 동안 변수 레벨 0, 상태 S3a 동안 시간 t5로부터 시간 t7.5까지 변수 레벨 V6a, 그리고 상태 S1a 동안 시간 t7.5로부터 시간 t10까지 변수 레벨 V2a를 갖는다. 시간 t2.5는 시간 t2와 시간 t3 사이에 발생한다. 유사하게, 시간 t7.5는 시간 t7과 시간 t8 사이에 발생한다. 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안, 변수 (1006) 는 시간 t0에 변수 레벨 V2a로부터 변수 레벨 V8a로 전이하고, 시간 t2.5에 변수 레벨 V8a로부터 변수 레벨 0으로 전이하고, 시간 t5에서 변수 레벨 0으로부터 변수 레벨 V6a로 전이하고, 그리고 시간 t7.5에 변수 레벨 V6a로부터 변수 레벨 V2a로 전이한다. 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안, 변수 (1006) 는 다시 시간 t10에 변수 레벨 V2a로부터 변수 레벨 V8a로 전이하고, 시간 t12.5에 변수 레벨 V8a로부터 변수 레벨 0으로 전이하고, 시간 t15에서 변수 레벨 0으로부터 변수 레벨 V6a로 전이하고, 그리고 시간 t17.5에 변수 레벨 V6a로부터 변수 레벨 V2a로 전이한다. 시간 t12.5는 시간 t12와 시간 t13 사이에 발생한다. 유사하게, 시간 t17.5는 시간 t17과 t18 사이에 발생한다. 변수 레벨 V8a는 RF 신호 (912) 의 상태 S4a에 대한 변수 레벨의 예이고, 변수 레벨 0은 RF 신호 (912) 의 상태 0에 대한 변수 레벨의 예이고, 변수 레벨 V6a는 RF 신호 (912) 의 상태 S3a에 대한 변수 레벨의 예이고, 및 변수 레벨 V2a는 RF 신호 (912) 의 상태 S1a에 대한 변수 레벨의 예이다.

[0194] 변수 레벨 V2a는 변수 레벨 0보다 크다. 또한, 변수 레벨 V6a는 변수 레벨 V2a보다 크고 변수 레벨 V8a는 변수 레벨 V6a보다 크다. 예를 들어, 변수 레벨 V6a의 전력 값들은 변수 레벨 V8a의 전력 값들보다 낮다. 또 다른 예로서, 변수 레벨 V6a의 전력 값 중 어느 것도 변수 레벨 V8a의 전력 값보다 크지 않다. 또 다른 예로서, 변수 레벨은 최대 값과 최소 값을 갖는다. 최대 값은 변수 레벨의 모든 값들의 최대 값이고 최소 값은 변수 레벨의 모든 값들의 최소 값이다. 제 1 변수 레벨은 제 1 변수 레벨의 최대 값이 제 2 변수 레벨의 최소 값보다 작을 때 제 2 변수 레벨보다 낮고 제 1 변수 레벨은 제 1 변수 레벨의 최소 값이 제 2 변수 레벨의 최대 값보다 클 때 제 2 변수 레벨보다 높다.

[0195] 일 실시 예에서, 변수 레벨 V2a를 달성하는 대신, 변수 (1006) 는 0의 변수 레벨을 갖는다. 예를 들어, 변수 (1006) 는 시간 t7.5로부터 시간 t10까지 그리고 시간 t17.5로부터 시간 t20까지 0의 변수 레벨을 갖는다.

[0196] 일 실시 예에서, 2 개의 변수 레벨들 사이의 전이 시간인 전이 시간은 전이의 시작 시간과 전이의 종료 시간 사이의 시간 기간이다. 예를 들어, 시간 t2.5에서 변수 레벨 V8a로부터 변수 레벨 0으로 전이하는 대신, 변수 (1006) 는 변수 레벨 V8a로부터 처음으로 전이를 시작하고 제 2 시간에 변수 레벨 0으로 전이를 종료한다. 제 1 시간은 시간 t2.5 전이고 시간 t1과 시간 t2.5 사이이고 제 2 시간은 시간 t2.5 후 그리고 시간 t2.5와 시간 t4 사이이다. 전이 시간 기간은 제 1 시간과 제 2 시간 사이의 전이 시간이다.

[0197] 일 실시 예에서, 동기화 신호 (302) 에 더하여, 디지털 펄싱된 신호는 전송 케이블 시스템 (214) 을 통해 프로세서 (118) 로부터 DSP (204) 에 의해 수신된다. 예를 들어, 동기화 신호 (302) 는 전송 케이블 시스템 (214) 의 제 1 전송 케이블을 통해 수신되고 디지털 펄싱된 신호는 전송 케이블 시스템 (214) 의 제 2 전송 케이블을 통해 수신된다. 디지털 펄싱된 신호는 변수 (1006) 가 변수 레벨들 (V8a, 0, V6a, 및 V2a) 사이에서 전이하는 동일한 방식으로 4 개의 변수 레벨들 사이에서 주기적으로 전이한다. 예를 들어, 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안, 디지털 펄싱된 신호는 시간 t0에서 논리 레벨 1로부터 논리 레벨 3으로 전이하고, 시간 t2.5에서 논리 레벨 3에서 논리 레벨 0으로 전이하고, 시간 t5에서 논리 레벨 0에서 논리 레벨 2로 전이하고, 그리고 시간 t7.5에서 논리 레벨 2로부터 논리 레벨 1로 전이한다. 논리 레벨 3은 논리 레벨 2보다 크다. 예를 들어, 논리 레벨 3은 논리 레벨 2의 DC 전압보다 높은 DC 전압을 갖는다. 디지털 펄싱된 신호를 수신하면, DSP (204) 는 디지털 펄싱된 신호로부터, 변수 (1006) 의 상태들 S4a, 무 상태, S3a 및 S1a에 대한 시간 기간들을 식별하고,

시간 기간들을 갖는 인스트럭션 신호들을 생성한다. 예를 들어, 변수 (1006) 의 상태 S4a에 대한 시간 기간은 디지털 펄싱된 신호의 논리 레벨 3에 대한 시간 기간과 동일하고, 변수 (1006) 의 상태 S0에 대한 시간 기간은 디지털 펄싱된 신호의 논리 레벨 0에 대한 시간 기간과 동일하고, 변수 (1006) 의 상태 S3a에 대한 시간 기간은 디지털 펄싱된 신호의 논리 레벨 2에 대한 시간 기간과 동일하고, 변수 (1006) 의 상태 S1a에 대한 시간 기간은 디지털 펄싱된 신호의 논리 레벨 1에 대한 시간 기간과 동일하다.

[0198] 도 10c는 RF 신호 (912) (도 9) 의 변수 (1010) 대 시간 t를 예시하기 위한 그래프 (1008) 의 일 실시 예이다. 변수 (1010) 는 y 축에 플롯팅되고 시간 t는 x 축에 플롯팅된다.

[0199] 변수 (1010) 는 동기화 신호 (302) 에 동기하여 변수 레벨들 (V8a, V6a, V4a, 및 V2a) 사이에서 주기적으로 전이한다. 예를 들어, 변수 (1010) 는 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안 변수 레벨들 (V8a, V6a, V4a, 및 V2a) 사이에서 전이하고 그리고 다시 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안 변수 레벨들 (V8a, V6a, V4a, 및 V2a) 사이에서 전이한다. 예시를 위해, 변수 (1010) 는 상태 S4a 동안 시간 t0으로부터 시간 t2.5까지 변수 레벨 V8a를 갖고, 시간 t2.5로부터 시간 t5까지 상태 S3a 동안 변수 레벨 V6a, 상태 S2a 동안 시간 t5로부터 시간 t7.5까지 변수 레벨 V4a, 그리고 상태 S1a 동안 시간 t7.5로부터 시간 t10까지 변수 레벨 V2a를 갖는다. 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안, 변수 (1010) 는 시간 t0에 변수 레벨 V2a로부터 변수 레벨 V8a로 전이하고, 시간 t2.5에 변수 레벨 V8a로부터 변수 레벨 V6a로 전이하고, 시간 t5에서 변수 레벨 V6a로부터 변수 레벨 V4a로 전이하고, 그리고 시간 t7.5에 변수 레벨 V4a로부터 변수 레벨 V2a로 전이한다. 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안, 변수 (1010) 는 다시 시간 t10에 변수 레벨 V2a로부터 변수 레벨 V8a로 전이하고, 시간 t12.5에 변수 레벨 V8a로부터 변수 레벨 V6a로 전이하고, 시간 t15에서 변수 레벨 V6a로부터 변수 레벨 V4a로 전이하고, 그리고 시간 t17.5에 변수 레벨 V4a로부터 변수 레벨 V2a로 전이한다. 변수 레벨 V4a는 RF 신호 (912) 의 상태 S2a에 대한 변수 레벨의 예이다.

[0200] 변수 레벨 V4a는 변수 레벨 V2a보다 크고 변수 레벨 V6a보다 작다. 예를 들어, 변수 레벨 V4a의 전력 값들은 변수 레벨 V6a의 전력 값들보다 낮고 변수 레벨 V2a의 전력 값들보다 크다. 또 다른 예로서, 변수 레벨 V4a의 전력 값들 중 어느 것도 변수 레벨 V6a의 전력 값들보다 크지 않고, 변수 레벨 V2a의 전력 값들 중 어느 것도 변수 레벨 V4a의 전력 값들보다 크지 않다.

[0201] 일 실시 예에서, 변수 레벨 V2a를 달성하는 대신, 변수 (1010) 는 0의 변수 레벨을 갖는다. 예를 들어, 변수 (1010) 는 시간 t7.5로부터 시간 t10까지 그리고 시간 t17.5로부터 시간 t20까지 0의 변수 레벨을 갖는다.

[0202] 도 10d는 RF 신호 (912) (도 9) 의 변수 (1014) 대 시간 t를 예시하기 위한 그래프 (1012) 의 일 실시 예이다. 변수 (1014) 는 y 축에 플롯팅되고 시간 t는 x 축에 플롯팅된다.

[0203] 변수 (1014) 는 동기화 신호 (302) 와 동기하여 변수 레벨들 (V8a, V2a, V6a, 및 0) 사이에서 주기적으로 전이한다. 예를 들어, 변수 (1014) 는 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안 변수 레벨들 (V8a, V2a, V6a, 및 0) 사이에서 전이하고 그리고 다시 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안 변수 레벨들 (V8a, V2a, V6a, 및 0) 사이에서 전이한다. 예시를 위해, 변수 (1014) 는 상태 S4a 동안 시간 t0으로부터 시간 t2.5까지 변수 레벨 V8a를 갖고, 시간 t2.5로부터 시간 t5까지 상태 S1a 동안 변수 레벨 V2a, 상태 S3a 동안 시간 t5로부터 시간 t7.5까지 변수 레벨 V6a, 그리고 상태 S0 동안 시간 t7.5로부터 시간 t10까지 변수 레벨 0을 갖는다. 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안, 변수 (1014) 는 시간 t0에 변수 레벨 0으로부터 변수 레벨 V8a로 전이하고, 시간 t2.5에 변수 레벨 V8a로부터 변수 레벨 V2a로 전이하고, 시간 t5에서 변수 레벨 V2a로부터 변수 레벨 V6a로 전이하고, 그리고 시간 t7.5에 변수 레벨 V6a로부터 변수 레벨 0으로 전이한다. 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안, 변수 (1014) 는 다시 시간 t10에 변수 레벨 0으로부터 변수 레벨 V8a로 전이하고, 시간 t12.5에 변수 레벨 V8a로부터 변수 레벨 V2a로 전이하고, 시간 t15에서 변수 레벨 V2a로부터 변수 레벨 V6a로 전이하고, 그리고 시간 t17.5에 변수 레벨 V6a로부터 변수 레벨 0으로 전이한다.

[0204] 도 10e는 RF 신호 (912) (도 9) 의 변수 (1018) 대 시간 t를 예시하기 위한 그래프 (1016) 의 일 실시 예이다. 변수 (1018) 는 y 축에 플롯팅되고 시간 t는 x 축에 플롯팅된다.

[0205] 변수 (1018) 는 동기화 신호 (302) 와 동기하여 변수 레벨들 (V8a, V6a, V2a, 및 V4a) 사이에서 주기적으로 전이한다. 예를 들어, 변수 (1018) 는 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안 변수 레벨들 (V8a, V6a, V2a, 및 V4a) 사이에서 전이하고 그리고 다시 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안 변수 레벨들 (V8a, V6a, V2a, 및 V4a) 사이에서 전이한다. 예시를 위해, 변수 (1018) 는 상태 S4a 동안 시간 t0으로부터 시간 t2.5까지 변수 레벨 V8a를 갖고, 시간 t2.5로부터 시간 t5까지 상태 S3a 동안 변수 레벨 V6a, 상태 S1a 동안 시간 t5로부터 시간

t7.5까지 변수 레벨 V2a, 그리고 상태 S2a 동안 시간 t7.5로부터 시간 t10까지 변수 레벨 V4a를 갖는다. 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안, 변수 (1018) 는 시간 t0에 변수 레벨 V4a로부터 변수 레벨 V8a로 전이하고, 시간 t2.5에 변수 레벨 V8a로부터 변수 레벨 V6a로 전이하고, 시간 t5에서 변수 레벨 V6a로부터 변수 레벨 V2a로 전이하고, 그리고 시간 t7.5에 변수 레벨 V2a로부터 변수 레벨 V4a로 전이한다. 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안, 변수 (1018) 는 다시 시간 t10에 변수 레벨 V4a로부터 변수 레벨 V8a로 전이하고, 시간 t12.5에 변수 레벨 V8a로부터 변수 레벨 V6a로 전이하고, 시간 t15에서 변수 레벨 V6a로부터 변수 레벨 V2a로 전이하고, 그리고 시간 t17.5에 변수 레벨 V2a로부터 변수 레벨 V4a로 전이한다.

[0206] 일 실시 예에서, 변수 레벨 V2a를 달성하는 대신, 변수 (1018) 는 0의 변수 레벨을 갖는다. 예를 들어, 변수 (1018) 는 시간 t5로부터 시간 t7.5까지 그리고 시간 t15로부터 시간 t17.5까지 0의 변수 레벨을 갖는다.

[0207] 도 10f는 RF 신호 (912) (도 9) 의 변수 (1022) 대 시간 t를 예시하기 위한 그래프 (1020) 의 일 실시 예이다. 변수 (1022) 는 y 축에 플롯팅되고 시간 t는 x 축에 플롯팅된다.

[0208] 변수 (1022) 는 동기화 신호 (302) 와 동기하여 변수 레벨들 (V6a, V8a, V4a, 및 V2a) 사이에서 주기적으로 전이한다. 예를 들어, 변수 (1022) 는 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안 변수 레벨들 (V6a, V8a, V4a, 및 V2a) 사이에서 전이하고 그리고 다시 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안 변수 레벨들 (V6a, V8a, V4a, 및 V2a) 사이에서 전이한다. 예시를 위해, 변수 (1022) 는 상태 S3a 동안 시간 t0으로부터 시간 t2.5까지 변수 레벨 V6a를 갖고, 시간 t2.5로부터 시간 t5까지 상태 S4a 동안 변수 레벨 V8a, 상태 S2a 동안 시간 t5로부터 시간 t7.5까지 변수 레벨 V4a, 그리고 상태 S1a 동안 시간 t7.5로부터 시간 t10까지 변수 레벨 V2a를 갖는다. 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안, 변수 (1022) 는 시간 t0에 변수 레벨 V2a로부터 변수 레벨 V6a로 전이하고, 시간 t2.5에 변수 레벨 V6a로부터 변수 레벨 V8a로 전이하고, 시간 t5에서 변수 레벨 V8a로부터 변수 레벨 V4a로 전이하고, 그리고 시간 t7.5에 변수 레벨 V4a로부터 변수 레벨 V2a로 전이한다. 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안, 변수 (1022) 는 다시 시간 t10에 변수 레벨 V2a로부터 변수 레벨 V6a로 전이하고, 시간 t12.5에 변수 레벨 V6a로부터 변수 레벨 V8a로 전이하고, 시간 t15에서 변수 레벨 V8a로부터 변수 레벨 V4a로 전이하고, 그리고 시간 t17.5에 변수 레벨 V4a로부터 변수 레벨 V2a로 전이한다.

[0209] 도 10g는 RF 신호 (912) (도 9) 의 변수 (1026) 대 시간 t를 예시하기 위한 그래프 (1024) 의 일 실시 예이다. 변수 (1026) 는 y 축에 플롯팅되고 시간 t는 x 축에 플롯팅된다.

[0210] 변수 (1026) 는 동기화 신호 (302) 와 동기하여 변수 레벨들 (V4a, V6a, V8a, 및 V2a) 사이에서 주기적으로 전이한다. 예를 들어, 변수 (1022) 는 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안 변수 레벨들 (V4a, V6a, V8a, 및 V2a) 사이에서 전이하고 그리고 다시 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안 변수 레벨들 (V4a, V6a, V8a, 및 V2a) 사이에서 전이한다. 예시를 위해, 변수 (1026) 는 상태 S2a 동안 시간 t0으로부터 시간 t2.5까지 변수 레벨 V4a를 갖고, 시간 t2.5로부터 시간 t5까지 상태 S3a 동안 변수 레벨 V6a, 상태 S4a 동안 시간 t5로부터 시간 t7.5까지 변수 레벨 V8a, 그리고 상태 S1a 동안 시간 t7.5로부터 시간 t10까지 변수 레벨 V2a를 갖는다. 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안, 변수 (1026) 는 시간 t0에 변수 레벨 V2a로부터 변수 레벨 V4a로 전이하고, 시간 t2.5에 변수 레벨 V4a로부터 변수 레벨 V6a로 전이하고, 시간 t5에서 변수 레벨 V6a로부터 변수 레벨 V8a로 전이하고, 그리고 시간 t7.5에 변수 레벨 V8a로부터 변수 레벨 V2a로 전이한다. 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안, 변수 (1026) 는 다시 시간 t10에 변수 레벨 V2a로부터 변수 레벨 V4a로 전이하고, 시간 t12.5에 변수 레벨 V4a로부터 변수 레벨 V6a로 전이하고, 시간 t15에서 변수 레벨 V6a로부터 변수 레벨 V8a로 전이하고, 그리고 시간 t17.5에 변수 레벨 V8a로부터 변수 레벨 V2a로 전이한다.

[0211] 일 실시 예에서, 변수 레벨 V2a를 달성하는 대신, 변수 (1026) 는 0의 변수 레벨을 갖는다. 예를 들어, 변수 (1026) 는 시간 t7.5로부터 시간 t10까지 그리고 시간 t17.5로부터 시간 t20까지 0의 변수 레벨을 갖는다.

[0212] 도 10h는 RF 신호 (912) (도 9) 의 변수 (1030) 대 시간 t를 예시하기 위한 그래프 (1028) 의 일 실시 예이다. 변수 (1030) 는 y 축에 플롯팅되고 시간 t는 x 축에 플롯팅된다.

[0213] 변수 (1030) 는 동기화 신호 (302) 와 동기하여 변수 레벨들 (V8a, V6a, V4a, V2a, 및 0) 사이에서 주기적으로 전이한다. 예를 들어, 변수 (1030) 는 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안 변수 레벨들 (V8a, V6a, V4a, V2a, 및 0) 사이에서 전이하고 그리고 다시 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안 변수 레벨들 (V8a, V6a, V4a, V2a, 및 0) 사이에서 전이한다. 예시를 위해, 변수 (1030) 는 상태 S4a 동안 시간 t0으로부터 시간 t2까지 변수 레벨 V8a를 갖고, 상태 S3a 동안 시간 t2로부터 시간 t4까지 변수 레벨 V6a, 상태 S2a 동안 시간 t4로부터 시간 t6까지 변수 레벨 V4a, 상태 S1a 동안 시간 t6으로부터 시간 t8까지 변수 레벨 V2a, 그리고 무 상태 동안

시간 t8로부터 시간 t10까지 변수 레벨 0을 갖는다. 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안, 변수 (1030) 는 시간 t0에 변수 레벨 0으로부터 변수 레벨 V8a로 전이하고, 시간 t2에 변수 레벨 V8a로부터 변수 레벨 V6a로 전이하고, 시간 t4에서 변수 레벨 V6a로부터 변수 레벨 V4a로 전이하고, 시간 t6에서 변수 레벨 V4a로부터 변수 레벨 V2a로 전이하고, 그리고 시간 t8에 변수 레벨 V2a로부터 변수 레벨 0으로 전이한다. 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안, 변수 (1030) 는 다시 시간 t10에 변수 레벨 0으로부터 변수 레벨 V8a로 전이하고, 시간 t12에 변수 레벨 V8a로부터 변수 레벨 V6a로 전이하고, 시간 t14에서 변수 레벨 V6a로부터 변수 레벨 V4a로 전이하고, 시간 t16에서 변수 레벨 V4a로부터 변수 레벨 V2a로 전이하고, 그리고 시간 t18에 변수 레벨 V2a로부터 변수 레벨 0으로 전이한다.

[0214] 변수 레벨들의 스텝-다운 (step-down) 변화가 그래프 (1028) 에 예시되었지만, 일 실시 예에서, 변수 레벨들의 스텝-업 (step-up) 변화가 발생할 수 있다는 것을 주의해야 한다. 예를 들어, 동기화 신호의 사이클 각각 동안, RF 신호 (912) 의 변수는 0에서 변수 레벨 V2a로, 변수 레벨 V2a에서 변수 레벨 V4a로, 변수 레벨 V4a에서 변수 레벨 V6a로 증가할 수 있고, 및 변수 레벨 V6a로부터 변수 레벨 V8a로 증가할 수 있다.

[0215] 도 10i는 RF 신호 (912) (도 9) 의 변수 (1034) 대 시간 t를 예시하기 위한 그래프 (1032) 의 일 실시 예이다. 변수 (1034) 는 y 축에 플롯팅되고 시간 t는 x 축에 플롯팅된다.

[0216] 변수 (1034) 는 동기화 신호 (302) 와 동기하여 변수 레벨들 (V18a, V16a, V14a, V12a, V10a, V8a, V6a, V4a, V2a, 및 0) 사이에서 주기적으로 전이한다. 예를 들어, 변수 (1034) 는 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안 변수 레벨들 (V18a, V16a, V14a, V12a, V10a, V8a, V6a, V4a, V2a, 및 0) 사이에서 전이하고 그리고 다시 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안 변수 레벨들 (V18a, V16a, V14a, V12a, V10a, V8a, V6a, V4a, V2a, 및 0) 사이에서 전이한다. 예시를 위해, 변수 (1034) 는 시간 t0 내지 시간 t1의 상태 S9a 동안 변수 레벨 V18a, 시간 t1 내지 시간 t2의 상태 S8a 동안 변수 레벨 V14a, 시간 t2 내지 시간 t3 상태 S7a 동안 변수 레벨 V14a, 시간 t3 내지 시간 t4의 상태 S6a 동안 변수 레벨 V12a, 시간 t4 내지 시간 t5의 상태 S5a 동안 변수 레벨 V10a, 시간 t5 내지 시간 t6의 상태 S4a 동안 변수 레벨 V8a, 시간 t6 내지 시간 t7의 상태 S3a 동안 변수 레벨 V6a, 시간 t7 내지 시간 t8의 상태 S2a 동안 변수 레벨 V4a,는 시간 t8 내지 시간 t9의 상태 S1a 동안 변수 레벨 V2a, 그리고 시간 t9 내지 시간 t10의 상태 S0 동안 변수 레벨은 0을 갖는다. 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안, 변수 (1034) 는 시간 t0에 변수 레벨 0으로부터 변수 레벨 V18a로 전이하고, 시간 t1에 변수 레벨 V18a로부터 변수 레벨 V16a로 전이하고, 시간 t2에 변수 레벨 V16a로부터 변수 레벨 V14a로 전이하고, 시간 t3에 변수 레벨 V14a로부터 변수 레벨 V12a로 전이하고, 시간 t4에 변수 레벨 V12a로부터 변수 레벨 V10a로 전이하고, 시간 t5에 변수 레벨 V10a로부터 변수 레벨 V10a로 전이하고, 시간 t6에서 변수 레벨 V8a로부터 변수 레벨 V6a로 전이하고, 시간 t7에서 변수 레벨 V6a로부터 변수 레벨 V4a로 전이하고, 시간 t8에 변수 레벨 V4a로부터 변수 레벨 V2a로 전이하고, 그리고 시간 t9에 변수 레벨 V2a로부터 변수 레벨 0으로 전이한다. 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안, 변수 (1034) 는 다시 시간 t10에 변수 레벨 0으로부터 변수 레벨 V18a로 전이하고, 시간 t11에 변수 레벨 V18a로부터 변수 레벨 V16a로 전이하고, 시간 t12에 변수 레벨 V16a로부터 변수 레벨 V14a로 전이하고, 시간 t13에 변수 레벨 V14a로부터 변수 레벨 V12a로 전이하고, 시간 t14에 변수 레벨 V12a로부터 변수 레벨 V10a로 전이하고, 시간 t15에 변수 레벨 V10a로부터 변수 레벨 V10a로 전이하고, 시간 t16에서 변수 레벨 V8a로부터 변수 레벨 V6a로 전이하고, 시간 t17에서 변수 레벨 V6a로부터 변수 레벨 V4a로 전이하고, 시간 t18에 변수 레벨 V4a로부터 변수 레벨 V2a로 전이하고, 그리고 시간 t19에 변수 레벨 V2a로부터 변수 레벨 0으로 전이한다.

[0217] 변수 레벨 V10a는 변수 레벨 V8a보다 크다. 또한, 변수 레벨 V12a는 변수 레벨 V10a보다 크고 변수 레벨 V14a는 변수 레벨 V12a보다 크다. 변수 레벨 V16a는 변수 레벨 V14a보다 크고 변수 레벨 V18a는 변수 레벨 V16a보다 크다. 예를 들어, 변수 레벨 V14a의 전력 값들은 변수 레벨 V16a의 전력 값들보다 낮다. 또 다른 예로서, 변수 레벨 V14a의 전력 값들 중 어느 것도 변수 레벨 V16a의 전력 값들보다 크지 않다.

[0218] 변수 레벨들의 스텝-다운 변화가 그래프 (1032) 에 예시되었지만, 일 실시 예에서, 변수 레벨들의 스텝-업 변화가 발생할 수 있다는 것을 주의해야 한다. 예를 들어, 동기화 신호의 사이클 각각 동안, RF 신호 (912) 의 변수는 0에서 변수 레벨 V2a로, 변수 레벨 V2a에서 변수 레벨 V4a로, 변수 레벨 V4a에서 변수 레벨 V6a로 증가할 수 있고, 변수 레벨 V6a에서 변수 레벨 V8a로 증가할 수 있고, 변수 레벨 V8a에서 변수 레벨 V10a로 증가할 수 있고, 그리고 변수 레벨 V18a까지 계속된다.

[0219] 도 10j는 복수의 전력 제어기들 및 복수의 자동 주파수 튜너들 (auto frequency tuners; AFTs) 이 제공되는 RF 생성기 (1070) 의 일 실시 예의 도면이다. RF 생성기 (1070) 는 소스 RF 생성기 (102) 또는 바이어스 RF 생성

기 (104) (도 1) 의 예이다. 시스템 (1070) 은 또한 DSP (204) 및 RF 전력 공급부 (222) 를 포함한다. DSP (204) 는 수신기의 예이다. 전력 제어기들은 전력 제어기 PWR_{Sn}이 포함될 때까지 전력 제어기 $PWR_{S(n-A)}$, 또 다른 전력 제어기 $PWR_{S(n-1)}$ 등을 포함한다. AFT들은 자동 주파수 튜너 AFT_{Sn}이 포함될 때까지 자동 주파수 튜너 $AFT_{S(n-A)}$, 또 다른 자동 주파수 튜너 $AFT_{S(n-1)}$ 등을 포함한다. 본 명세서에 사용된 자동 주파수 튜너는 또한 주파수 제어기이다.

[0220] 상태 S(n-A) 동안, 자동 주파수 튜너 $AFT_{S(n-A)}$는 RF 전력 공급부 (222) 또는 전력 제어기 $PWR_{S(n-A)}$에 의해 생성된 RF 신호 (220) 의 주파수를 튜닝하여 RF 신호 (220) 의 전력을 수정하거나 또는 주파수 및 전력 모두 수정되고, 여기서 (n-A) 는 정수 n 미만의 정수이고, A는 정수이다. 예를 들어, n이 4, 5 또는 10 일 때, (n-A) 는 1이다. 예를 들어, 상태 S(n-A) 동안, DSP (204) 는 상태 S(n-A) 의 논리 레벨, 예컨대 전압 레벨을 나타내도록 자동 주파수 튜너 $AFT_{S(n-A)}$에 제어 신호를 제공한다. DSP (204) 로부터 제어 신호를 수신하면, 자동 주파수 튜너 $AFT_{S(n-A)}$는 상태 S(n-A) 동안 자동 주파수 튜너 $AFT_{S(n-A)}$의 메모리 디바이스 내의 데이터베이스로부터 주파수 레벨에 액세스한다. 자동 주파수 튜너 $AFT_{S(n-A)}$는 상태 S(n-A) 에 대한 주파수 레벨을 RF 전력 공급부 (222) 에 제공한다. 상태 S(n-A) 에 대한 주파수 레벨 수신시, RF 전력 공급부 (222) 는 상태 S(n-A) 동안 주파수 레벨을 갖는 RF 신호 (220) 를 생성한다. 유사하게, 상태 S(n-A) 동안, DSP (204) 는 상태 S(n-A) 의 논리 레벨을 나타내도록 전력 제어기 $PWR_{S(n-A)}$에 제어 신호를 제공한다. DSP (204) 로부터 제어 신호를 수신하면, 전력 제어기 $PWR_{S(n-A)}$는 상태 S(n-A) 동안 전력 제어기 $PWR_{S(n-A)}$의 메모리 디바이스 내의 데이터베이스로부터 전력 레벨 $PL_{S(n-A)}$에 액세스한다. 전력 제어기 $PWR_{S(n-A)}$는 상태 S(n-A) 에 대한 전력 레벨 $PL_{S(n-A)}$를 RF 전력 공급부 (222) 에 제공한다. 상태 S(n-A) 동안 전력 레벨 $PL_{S(n-A)}$를 수신하면, RF 전력 공급부 (222) 는 상태 S(n-A) 동안 전력 레벨 $PL_{S(n-A)}$를 갖는 RF 신호 (220) 를 생성한다.

[0221] 유사하게, 상태 S(n-1) 동안, 자동 주파수 튜너 $AFT_{S(n-A)}$는 RF 전력 공급부 (222) 에 의해 생성되는 RF 신호 (220) 의 주파수를 튜닝하고 또는 전력 제어기 $PWR_{S(n-A)}$는 RF 신호 (220) 의 전력 또는 주파수 및 전력 모두를 수정된다. 또한, 상태 Sn 동안, 자동 주파수 튜너 AFT_{Sn}는 RF 전력 공급부 (222) 에 의해 생성되는 RF 신호 (220) 의 주파수를 튜닝하고 또는 전력 제어기 PWR_{Sn}는 RF 신호 (220) 의 전력 또는 주파수 및 전력 모두를 수정된다.

[0222] RF 신호 (220) 는 RF 생성기 (1070) 의 출력, 예컨대 RF 출력 포트를 통해 임피던스 매칭 회로 (216) 로 제공되고 임피던스 매칭 회로 (216) 는 수정된 RF 신호를 플라즈마 챔버 (112) (도 1) 의 전극, 예컨대 TCP 전극 또는 하단 전극으로 수정된 RF 신호를 제공하기 위해 RF 신호 (220) 에 기초하여 수정된 신호를 생성한다. 하단 전극은 플라즈마 챔버 (112) 의 척 내에 위치된다. 전극 또는 플라즈마 챔버 (112) 는 부하의 예이다.

[0223] RF 신호 (220) 는 상태 S(n-A) 내지 상태 Sn을 갖는 디지털 펄스 신호가 호스트 제어기 또는 호스트 컴퓨터 (106) (도 1) 또는 제어기의 또 다른 프로세서로부터 또는 아날로그 디지털 전압 제어 인터페이스 (analog-to-digital voltage control interface; ADVCI) 로부터 DSP (204) 에 의해 수신될 때 생성된다. 디지털 펄스 신호는 도 10j에 도시된 DSP (204) 의 입력, 예컨대 입력 포트에서 수신된다. DSP (204) 가 RF 생성기 (1070) 내에 위치될 때, 디지털 펄스 신호는 RF 생성기 (1070) 의 입력 포트에 의해 수신된다. 디지털 펄스 신호는 입력 신호의 일 예이고 다른 프로세서에 의해 또는 ADVCI에 의해 생성된다. 4 개의 상태들 S(n-4) 내지 Sn 각각의 듀티 사이클들, 예컨대 시간 지속 기간은 디지털 펄스 신호에 의해 식별된다. 4 개의 상태들은 도 10j에 도시된 프로세서의 또 다른 입력, 예컨대 또 다른 입력 포트에서 수신되는 클록 신호의 클록 사이클 동안 발생한다. 클록 신호는 다른 프로세서 또는 ADVCI에 의해 생성된다.

[0224] 일 실시 예에서, 전력 레벨 또는 주파수 레벨과 같은 레벨은 미리 결정된 범위 내에 있는 하나 이상의 값들 또는 양들을 포함한다. 예를 들어, 제 1 전력 레벨은 미리 결정된 범위 내에 있는 하나 이상의 전력 값들을 갖고 제 2 전력 레벨은 미리 결정된 범위 내에 있는 하나 이상의 전력 값들을 갖는다. 제 2 전력 레벨은 제 1 전력 레벨을 배제한다. 예를 들어, 제 2 전력 레벨의 전력 값들 중 어느 것도 제 1 전력 레벨의 전력 값과 동일하지 않다.

[0225] 도 10k는 RF 신호의 전력 레벨들 $PL_{S(n-3)}$, $PL_{S(n-2)}$, $PL_{S(n-1)}$, 및 PL_{Sn}를 예시하기 위해 4 개의 상태 S(n-3), 상태 S(n-2), 상태 S(n-1), 및 상태 Sn을 갖는 RF 신호를 예시하기 위한 일 실시 예의 도면이다. 상태 S(n-3) 에서

상태 Sn으로 스텝 다운 전이가 발생한다. 예를 들어, 상태 Sn 동안 소스 RF 생성기 (102) 또는 바이어스 RF 생성기 (104) (도 1) 와 같은 RF 생성기에 의해 생성된 RF 신호의 전력 레벨 PL_{Sn}은 상태 S(n-1) 동안 RF 신호의 전력 레벨 $PL_{S(n-1)}$보다 낮다. 유사하게, 상태 S(n-1) 동안 RF 신호의 전력 레벨 $PL_{S(n-1)}$는 상태 S(n-2) 동안 RF 신호의 전력 레벨 $PL_{S(n-2)}$보다 낮고, 상태 S(n-2) 동안 RF 신호의 전력 레벨 $PL_{S(n-2)}$는 상태 S(n-3) 동안 RF 신호의 전력 레벨 $PL_{S(n-3)}$보다 낮다.

[0226] 도 10l은 4 개의 상태 S(n-3), 상태 S(n-2), 상태 S(n-1), 및 상태 Sn을 갖는 또 다른 RF 신호를 예시하기 위한 실시 예의 도면이다. 도 10l에 예시된 RF 신호는 또한 상태 S(n-1) 동안, RF 신호가 상태 S(n-2) 동안 전력 레벨 $PL_{S(n-2)}$보다 높은 전력 레벨 $PL_{S(n-1)}$을 갖는다는 것을 제외하고는 스텝 다운 신호이다.

[0227] 도 10m은 4 개의 상태 S(n-3), 상태 S(n-2), 상태 S(n-1), 및 상태 Sn을 갖는 또 다른 RF 신호를 예시하기 위한 실시 예의 도면이다. 도 10m에 예시된 RF 신호는 또한 상태 Sn 동안, RF 신호가 상태 S(n-1) 동안 전력 레벨 $PL_{S(n-1)}$보다 높은 전력 레벨 PL_{Sn}을 갖는 것을 제외하고는 스텝 다운 신호이다.

[0228] 도 10n은 4 개의 상태 S(n-3), 상태 S(n-2), 상태 S(n-1), 및 상태 Sn을 갖는 또 다른 RF 신호를 예시하기 위한 실시 예의 도면이다. 도 10n에 예시된 RF 신호는 상태 S(n-2) 동안, RF 신호가 상태 S(n-3) 동안 전력 레벨 $PL_{S(n-3)}$보다 높은 전력 레벨 $PL_{S(n-2)}$을 갖는다는 것을 제외하고는 스텝 다운 신호이다.

[0229] 도 10o는 4 개의 상태 S(n-3), 상태 S(n-2), 상태 S(n-1), 및 상태 Sn을 갖는 또 다른 RF 신호를 예시하기 위한 실시 예의 도면이다. RF 신호는 상태 S(n-3) 내지 상태 S(n-1) 동안 전력 레벨 $PL_{S(n-3)}$ 내지 $PL_{S(n-1)}$을 스텝 업하고 상태 S(n-1) 동안 전력 레벨 $PL_{S(n-1)}$을 상태 Sn 동안 전력 레벨 PL_{Sn}으로 스텝 다운한다.

[0230] 전력 레벨 $PL_{S(n-4)}$ 내지 전력 레벨 PL_{Sn}은 도 14a에 예시된 RF 생성기의 프로세서에 의해 수신되는 클록 신호의 클록 사이클 각각에 대해 반복된다. 전력 레벨 $PL_{S(n-4)}$ 내지 전력 레벨 PL_{Sn}은 복수의 클록 사이클들 동안 반복된다. 클록 신호는 클록 소스로부터 또는 호스트 컴퓨터 또는 호스트 제어기의 프로세서 또는 ADVCI로부터 수신된다. 클록 신호는 클록 소스에 의해 또는 호스트 컴퓨터의 프로세서 또는 호스트 제어기의 프로세서 또는 ADVCI에 의해 생성된다. 유사하게, 전력 레벨 $PL_{S(n-A)}$ 내지 전력 레벨 PL_{Sn}은 클록 사이클 동안 발생하는 상태 S(n-A) 내지 상태 Sn에 대해 반복된다. 전력 레벨 $PL_{S(n-A)}$ 내지 전력 레벨 PL_{Sn}은 복수의 클록 사이클들 동안 반복된다. 전력 레벨 $PL_{S(n-A)}$ 내지 전력 레벨 PL_{Sn}은 클록 사이클의 인스턴스 동안 한번 발생하고 클록 사이클의 이어지는 인스턴스 각각 동안 반복된다.

[0231] 도 14b 내지 도 14f 중 어느 하나의 도면에 예시된 RF 신호는 소스 RF 생성기 (102) 또는 바이어스 RF 생성기 (104) (도 1) 와 같은 RF 생성기에 의해 생성된 사인형 RF 신호의 엔벨로프라는 것을 주의해야 한다.

[0232] 도 10p는 상태 S(n-A) 내지 상태 Sn 중 임의의 상태 동안 0의 전력 레벨이 달성되는 것을 예시하기 위한 방법의 일 실시 예의 도면이다. 도 10p에 예시된 바와 같이, RF 신호가 상태 Sn 동안 0의 전력 레벨을 갖는 대신, RF 신호는 S2 또는 S3과 같은 또 다른 상태에서 0의 전력 레벨을 갖는다.

[0233] 일 실시 예에서, 전력에 대해, 도 10k 내지 도 10p에서 본 명세서에 기술된 실시 예들은 또한 주파수에 동일하게 적용된다. 예를 들어, 복수의 전력 레벨 대신 또는 이에 더하여, 상태 S(n-A) 내지 상태 Sn 동안 복수의 주파수 레벨들이 달성된다.

[0234] 일 실시 예에서, 전력 레벨이 0 일 때 0의 전력 레벨이 달성된다는 것을 주의해야 한다. 일 실시 예에서, 0의 전력 레벨은 RF 전력 레벨이 0에 가깝거나, 예컨대 미리 설정된 범위 내에서 실질적으로 0 일 때 달성된다. 미리 설정된 범위 값의 예는 0.1 W 내지 1 W의 범위이다. 미리 설정된 범위의 또 다른 예는 0.1 W 내지 0.25 W의 범위이다. 미리 설정된 범위의 또 다른 예는 0.1 W 내지 0.5 W의 범위이다.

[0235] **전이 제어 (Transition Control)**

[0236] 도 11a는 상태 전이의 기울기의 제어를 예시하기 위한 플라즈마 시스템 (1100) 의 일 실시 예의 도면이다. 플라즈마 시스템 (1100) 은 RF 생성기 (1102) 및 호스트 컴퓨터 (106) 를 포함한다. RF 생성기 (1102) 는 소스 RF 생성기 (102) (도 1) 또는 바이어스 RF 생성기 (104) (도 1) 의 일 예이다. RF 생성기 (1102) 는 DSP (204), 파라미터 제어기 PRS1a 내지 파라미터 제어기 PRSna, 및 복수의 전이 파라미터 제어기 PRST1a, 전이 파

라미터 제어기 PRTS2a, 전이 파라미터 제어기 PRST(n-1)a, 및 전이 파라미터 제어기 PRSTna를 포함하고, 여기서 n은 3보다 큰 정수이다. 예를 들어, n은 4 이상이다. 예로서, RF 생성기 (1102) 는 4 개의 전이 파라미터 제어기들을 포함하고, 하나는 동기화 신호의 현재 사이클 동안 파라미터의 상태 S1a와 상태 S2a 사이의 상태 전이 ST1a를 위한 것이고 다른 하나는 동기화 신호의 현재 사이클 동안 파라미터의 상태 S2a와 상태 S3a 사이의 상태 전이 ST2a를 위한 것이고, 또 다른 하나는 동기화 신호의 현재 사이클 동안 파라미터의 상태 S(n-1)a와 상태 Sna 사이의 상태 전이 ST(n-1)a를 위한 것이고, 그리고 또 다른 하나는 동기화 신호의 현재 사이클 동안 파라미터의 상태 Sna와 동기화 신호의 후속 사이클 동안 파라미터의 상태 S1a 사이의 상태 전이 STna를 위한 것이다. 현재 사이클은 다음 사이클에 선행한다. 예를 들어, 현재 사이클과 후속 사이클 사이에 동기화 신호의 사이클이 없다. 또 다른 예로서, RF 생성기 (1102) 는 5 개의 전이 파라미터 제어기들을 포함한다.

[0237] RF 생성기 (1102) 는 주파수 제어기 FCS1a 내지 주파수 제어기 FCSna, 및 복수의 전이 주파수 제어기 FCST1a, 전이 주파수 제어기 FCTS2a, 전이 주파수 제어기 FCST(n-1)a, 및 전이 주파수 제어기 FCSTna를 더 포함하고, 여기서 n은 3보다 큰 정수이다. 예를 들어, n은 4 이상이다. 예로서, RF 생성기 (1102) 는 4 개의 전이 주파수 제어기들을 포함하고, 하나는 동기화 신호의 현재 사이클 동안 주파수의 상태 S1a와 상태 S2a 사이의 상태 전이 ST1a를 위한 것이고 다른 하나는 동기화 신호의 현재 사이클 동안 주파수의 상태 S2a와 상태 S3a 사이의 상태 전이 ST2a를 위한 것이고, 또 다른 하나는 동기화 신호의 현재 사이클 동안 주파수의 상태 S(n-1)a와 상태 Sna 사이의 상태 전이 ST(n-1)a를 위한 것이고, 그리고 또 다른 하나는 동기화 신호의 현재 사이클 동안 주파수의 상태 Sna와 동기화 신호의 후속 사이클 동안 주파수의 상태 S1a 사이의 상태 전이 STna를 위한 것이다. 또 다른 예로서, RF 생성기 (1102) 는 5 개의 전이 주파수 제어기들을 포함한다. RF 생성기 (1102) 는 구동기 시스템 (1104) 및 RF 전력 공급부 (222) 를 더 포함한다.

[0238] DSP (204) 는 RF 생성기 (1102) 의 파라미터 제어기 PRS1a 내지 파라미터 제어기 PRSna 각각 및 RF 생성기 (1102) 의 전이 파라미터 제어기 PRST1a 내지 전이 파라미터 제어기 PRSTna 각각에 커플링된다. 파라미터 제어기 PRS1a 내지 파라미터 제어기 PRSna 및 전이 파라미터 제어기 PRST1a 내지 전이 파라미터 제어기 PRSTna는 RF 전력 공급부 (222) 에 커플링되는 구동기 시스템 (1104) 에 커플링된다.

[0239] 또한, DSP (204) 는 RF 생성기 (1102) 의 주파수 제어기 FCS1a 내지 주파수 제어기 FCSna 각각 및 RF 생성기 (1102) 의 전이 주파수 제어기 FCST1a 내지 전이 주파수 제어기 FCSTna 각각에 커플링된다. 주파수 제어기 FCS1a 내지 주파수 제어기 FCSna 및 전이 주파수 제어기 FCST1a 내지 전이 주파수 제어기 FCSTna는 구동기 시스템 (1104) 에 커플링된다. 시스템 (1110) 의 기능은 도 11b를 참조하여 이하에 기술된다.

[0240] 도 11b는 시스템 (1100) 의 기능을 예시하기 위한 시스템 (1100) 의 일 실시 예의 도면이다. 시스템 (1100) 은 RF 생성기 (1102) 및 호스트 컴퓨터 (106) 를 포함한다. RF 생성기 (1102) 는 DSP (204), 파라미터 제어기 PRS(N±M)a, 전이 파라미터 제어기 PRSTa, 및 파라미터 제어기 PRSna를 포함하고, 여기서 N은 0보다 큰 정수이고 N±M은 N과 상이한 정수이다. 예를 들어, N이 1 일 때, N±M은 2 또는 3 또는 4이고, N이 3 일 때, N±M은 4 또는 2 또는 1이다. 정수 N±M은 양의 정수인 M을 규정한다. 파라미터 제어기 PRSna의 예들은 파라미터 제어기 PRS1a 또는 파라미터 제어기 PRS2a 또는 파라미터 제어기 PRS3a 또는 파라미터 제어기 PRSna를 포함한다 (도 11a). 파라미터 제어기 PRS(N±M)a의 예들은 파라미터 제어기 PRS1a 또는 파라미터 제어기 PRS2a 또는 파라미터 제어기 PRS3a 또는 파라미터 제어기 PRSna를 포함하고 (도 11a) 파라미터 제어기 PRS(N±M)a는 파라미터 제어기 PRSna와 상이하다. 예를 들어, 파라미터 제어기 PRSna가 PRS4a일 때, 파라미터 제어기 PRS(N±M)a는 PRS2a 또는 PRS1a이다.

[0241] 전이 파라미터 제어기 PRSTa의 예들은 파라미터 제어기 PRST1a 또는 파라미터 제어기 PRST2a 또는 파라미터 제어기 PRST3a 또는 파라미터 제어기 PRST(n-1) 또는 PRSTna를 포함한다 (도 11a). 예시를 위해, 파라미터 제어기 PRSna가 파라미터 제어기 PRS1a이고, 파라미터 제어기 PRS(N±M)a가 파라미터 제어기 PRS2a일 때, 전이 파라미터 제어기 PRSTa는 PRST1a이고, 이는 파라미터의 상태 S1a와 상태 S2a 사이의 전이를 제어한다. 또 다른 예시로서, 파라미터 제어기 PRSna가 파라미터 제어기 PRS3a이고, 파라미터 제어기 PRS(N±M)a가 파라미터 제어기 PRS5a일 때, 전이 파라미터 제어기 PRSTa는 PRST3a이고, 이는 파라미터의 상태 S3a와 상태 S5a 사이의 전이를 제어한다.

[0242] RF 생성기 (1102) 는 전이 파라미터 제어기 PRSTa와 같은 임의의 수의 전이 파라미터 제어기들을 포함한다는 것을 주의해야 한다. 예를 들어, 파라미터가 동기화 신호 (146) 의 이전 사이클의 상태 S4a로부터 현재 사이클의 상태 S1a로, 현재 사이클의 상태 S1a로부터 현재 사이클의 상태 S2a로, 현재 사이클의 상태 S2a로부터 현재 사이클의 상태 S3a로, 그리고 현재 사이클의 상태 S3a로부터 현재 사이클의 상태 S4a로 전이할 때, RF 생성기

(1102) 는 4 개의 전이 파라미터 제어기들을 포함한다. 4 개의 전이 파라미터 제어기들은 동기화 신호 (146) 의 이전 사이클의 상태 S4a로부터 현재 사이클의 상태 S1a로의 전이를 제어하기 위한 제어기, 그리고 현재 사이클의 상태 S1a로부터 현재 사이클의 상태 S2a로의 전이를 제어하기 위한 다른 제어기, 현재 사이클의 상태 S2a로부터 현재 사이클의 상태 S3a로의 전이를 제어하기 위한 또 다른 제어기, 및 현재 사이클의 상태 S3a로부터 현재 사이클의 상태 S4a로의 전이를 제어하기 위한 또 다른 제어기를 포함한다. 동기화 신호 (146) 의 선행 사이클은 동기화 신호 (146) 의 현재 사이클에 선행한다.

[0243] RF 생성기 (1102) 는 주파수 제어기 FCS(N±M)a, 전이 주파수 제어기 FCSTa, 및 주파수 제어기 FCSNa를 더 포함하고, 여기서 M 및 N은 상기에 규정된다. 주파수 제어기 FCSNa의 예들은 주파수 제어기 FCS1a 또는 주파수 제어기 FCS2a 또는 주파수 제어기 FCS3a 또는 주파수 제어기 FCSna를 포함한다 (도 11a). 주파수 제어기 FCS(N±M)a의 예들은 주파수 제어기 FCS1a 또는 주파수 제어기 FCS2a 또는 주파수 제어기 FCS3a 또는 주파수 제어기 FCSna (도 11a) 를 포함하고 주파수 제어기 FCS(N±M)a는 주파수 제어기 FCSNa와 상이하다.

[0244] 전이 주파수 제어기 FCSTa의 예들은 주파수 제어기 FCST1a 또는 주파수 제어기 FCST2a 또는 주파수 제어기 FCST3a 또는 주파수 제어기 FCST(n-1) 또는 주파수 제어기 FCSTna를 포함한다. 예시를 위해, 주파수 제어기 FCSNa가 주파수 제어기 FCS1a이고, 주파수 제어기 FCS(N±M)a가 주파수 제어기 FCS2a이면, 전이 주파수 제어기 FCSTa는 FCST1a이고, 이는 주파수의 상태 S1a와 상태 S2a 사이의 전이를 제어한다. 또 다른 예시로서, 주파수 제어기 FCSNa가 주파수 제어기 FCS3a이고, 주파수 제어기 FCS(N±M)a가 주파수 제어기 FCS5a이면, 전이 주파수 제어기 FCSTa는 FCST3a이고, 이는 주파수의 상태 S3a와 상태 S5a 사이의 전이를 제어한다.

[0245] RF 생성기 (1102) 는 전이 주파수 제어기 FCSTa와 같은 임의의 수의 전이 주파수 제어기들을 포함한다는 것을 주의해야 한다. 예를 들어, 주파수가 동기화 신호 (146) 의 이전 사이클의 상태 S4a로부터 현재 사이클의 상태 S1a로, 현재 사이클의 상태 S1a로부터 현재 사이클의 상태 S2a로, 현재 사이클의 상태 S2a로부터 현재 사이클의 상태 S3a로, 그리고 현재 사이클의 상태 S3a로부터 현재 사이클의 상태 S4a로 전이할 때, RF 생성기 (1102) 는 4 개의 전이 주파수 제어기들을 포함한다. 4 개의 전이 주파수 제어기들은 동기화 신호 (146) 의 이전 사이클의 상태 S4a로부터 현재 사이클의 상태 S1a로의 전이를 제어하기 위한 제어기, 그리고 현재 사이클의 상태 S1a로부터 현재 사이클의 상태 S2a로의 전이를 제어하기 위한 다른 제어기, 현재 사이클의 상태 S2a로부터 현재 사이클의 상태 S3a로의 전이를 제어하기 위한 또 다른 제어기, 및 현재 사이클의 상태 S3a로부터 현재 사이클의 상태 S4a로의 전이를 제어하기 위한 또 다른 제어기를 포함한다.

[0246] DSP (204) 는 파라미터 제어기 PRS(N±M)a 및 파라미터 제어기 PRSna 및 전이 파라미터 제어기 PRSTa에 커플링된다. 또한, DSP (204) 는 주파수 제어기 FCS(N±M)a 및 주파수 제어기 FCSNa 및 전이 주파수 제어기 FCSTa에 커플링된다. 파라미터 제어기들 (PRS(N±M)a 및 PRSna), 전이 파라미터 제어기 PRSTa, 주파수 제어기들 (FCS(N±M)a 및 FCSNa), 및 전이 주파수 제어기 FCSTa는 RF 전력 공급부 (222) 에 커플링되는 구동기 시스템 (1104) 에 커플링된다.

[0247] 프로세서 (118) 는 전송 케이블 시스템 (214) 을 통해 DSP (204) 로 상태 S(N±M)a 및 상태 SNa에 대한 파라미터 레벨들, 및 동기화 신호 (146) 를 제공한다. 이에 더하여, 프로세서 (118) 는 전송 케이블 시스템 (214) 을 통해 DSP (204) 로 파라미터의 상태 전이 STa에 대한 하나 이상의 파라미터 값들을 제공한다. 예를 들어, 프로세서 (118) 는 파라미터의 상태 전이 ST1a 동안 달성될 하나 이상의 파라미터 값들, 파라미터의 상태 전이 ST2a 동안 달성될 하나 이상의 파라미터 값들, 파라미터의 상태 전이 ST(n-1)a 동안 달성될 하나 이상의 파라미터 값들, 및 파라미터의 상태 전이 STna 동안 달성될 하나 이상의 파라미터 값들을 제공한다.

[0248] 파라미터의 상태 전이 STa는 파라미터의 상태 S(N±M)a와 파라미터의 상태 SNa 사이의 전이이다. 예를 들어, 파라미터의 상태 전이 STa는 파라미터의 상태 S(N±M)a로부터 파라미터의 상태 SNa로 또는 파라미터의 상태 SNa로부터 파라미터의 상태 S(N±M)a 로의 전이이다.

[0249] 또한, 프로세서 (118) 는 전송 케이블 시스템 (214) 을 통해 DSP (204) 로 상태 S(N±M)a 및 상태 SNa에 대한 주파수 레벨을 제공한다. 이에 더하여, 프로세서 (118) 는 전송 케이블 시스템 (214) 을 통해 DSP (204) 로 주파수의 상태 전이 STa에 대한 주파수 값들을 제공한다. 예를 들어, 프로세서 (118) 는 주파수의 상태 전이 ST1a 동안 달성될 하나 이상의 주파수 값들, 주파수의 상태 전이 ST2a 동안 달성될 하나 이상의 주파수 값들, 주파수의 상태 전이 ST(n-1)a 동안 달성될 하나 이상의 주파수 값들, 및 주파수의 상태 전이 STna 동안 달성될 하나 이상의 주파수 값들을 제공한다.

[0250] 주파수의 상태 전이 STa는 주파수의 상태 S(N±M)a와 상태 SNa 사이의 전이이다. 예를 들어, 주파수의 상태 전

이 STa는 주파수의 상태 S(N±M)a로부터 주파수의 상태 SNa로 또는 주파수의 상태 SNa로부터 주파수의 상태 S(N±M)a 로의 전이이다.

[0251] 상태 S(N±M)a 내지 상태 SNa에 대한 파라미터 레벨들을 수신하면, 파라미터 제어기 PRS(N±M)a의 메모리 디바이스에 상태 S(N±M)a에 대한 파라미터 레벨의 저장을 위해, DSP (204) 는 RF 신호 (1106) 의 상태 S(N±M)a에 대한 파라미터 레벨을 파라미터 제어기 PRS(N±M)a에 제공한다. RF 신호 (1106) 는 RF 신호 (152) 또는 RF 신호 (168) (도 1) 의 예이다. 또한, 파라미터의 상태 전이 STa에 대한 하나 이상의 파라미터 값들을 수신하면, DSP (204) 는 상태 전이 STa에 대한 하나 이상의 파라미터 값들의 전이 파라미터 제어기 PRSTa의 메모리 디바이스에 저장을 위해 RF 신호 (1106) 의 파라미터의 상태 전이 STa에 대한 하나 이상의 파라미터 값들을 전이 파라미터 제어기 PRSTa에 제공한다. 상태 전이 STa 동안 파라미터 값의 예는 상태 전이 STa 동안 RF 신호 (1106) 의 파라미터의 제로-투-피크 진폭 또는 피크-투-피크 진폭과 같은 엔벨로프이다. 또한, 상태 S(N±M)a 및 상태 SNa에 대한 파라미터 레벨들을 수신하는 것에 응답하여, DSP (204) 는 파라미터 제어기 PR SNa의 메모리 디바이스에 상태 SNa에 대한 파라미터 레벨의 저장을 위해 RF 신호 (1106) 의 상태 SNa에 대한 파라미터 레벨을 파라미터 제어기 PRSNa에 제공한다.

[0252] 동기화 신호 (146) 의 수신시, 동기화 신호 (146) 의 사이클 각각 동안, DSP (204) 는 파라미터의 상태 S(N±M)a에 대한 인스트럭션 신호를 파라미터 제어기 PRS(N±M)a로 전송한다. 예를 들어, DSP (204) 는 상태 S(N±M-1)a 또는 상태 S0과 같은 상태 S(N±M)a와 상이하거나 다른 상태로부터 상태 S(N±M)a로 전이 종료시 상태 S(N±M)a에 대한 인스트럭션 신호를 파라미터 제어기 PRS(N±M)a로 전송한다. 파라미터 제어기 PRS(N±M)a로 전송된 상태 S(N±M)a에 대한 인스트럭션 신호는 파라미터 제어기 PRS(N±M)a가 상태 S(N±M)a에 대한 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (1104) 에 제공하는 사이클 각각 동안 상태 S(N±M)a에 대한 시간 기간을 포함한다. 상태 S(N±M)a에 대한 인스트럭션 신호를 수신하면, 파라미터 제어기 PRS(N±M)a는 파라미터 제어기 PRS(N±M)a의 메모리 디바이스로부터 상태 S(N±M)a에 대한 파라미터 레벨에 액세스하고 상태 S(N±M)a에 대한 시간 기간 동안 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (1104) 으로 전송한다. 예를 들어, 파라미터 제어기 PRS(N±M)a는 상태 S(N±M)a로부터 상이한 상태로부터 상태 S(N±M)a로 전이 종료시 상태 S(N±M)a에 대한 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (1104) 에 전송한다. 상태 S(N±M)a에 대한 시간 기간 후, 동기화 신호 (146) 의 사이클 동안, 파라미터 제어기 PRS(N±M)a는 상태 S(N±M)a에 대한 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (1104) 으로 전송하지 않는다.

[0253] 유사하게, 동기화 신호 (146) 의 수신시, 동기화 신호 (146) 의 사이클 각각 동안, DSP (204) 는 파라미터의 상태 STa에 대한 인스트럭션 신호를 전이 파라미터 제어기 PRSTa로 전송한다. 예를 들어, DSP (204) 는 상태 S(N±M)a로부터 상태 SNa로 또는 상태 S0으로부터 상태 SNa로의 전이의 시작시 상태 전이 STa에 대한 인스트럭션 신호를 전이 파라미터 제어기 PRSTa로 전송한다. 전이 파라미터 제어기 PRSTa로 전송된 상태 전이 STa를 위한 인스트럭션 신호는 전이 파라미터 제어기 PRSTa가 상태 전이 STa에 대한 하나 이상의 파라미터 값들을 구동기 시스템 (1104) 로 제공하는 사이클 각각 동안 상태 전이 STa를 위한 시간 기간을 포함한다. 상태 전이 STa에 대한 인스트럭션 신호를 수신하면, 전이 파라미터 제어기 PRSTa는 전이 파라미터 제어기 PRSTa의 메모리 디바이스로부터 상태 전이 STa에 대한 하나 이상의 파라미터 값들을 액세스하고 상태 전이 STa를 위한 시간 기간 동안 하나 이상의 파라미터 값들을 구동기 시스템 (1104) 으로 전송한다. 예를 들어, 전이 파라미터 제어기 PRSTa는 상태 S(N±M)a의 종료시 상태 전이 STa에 대한 하나 이상의 파라미터 값들을 구동기 시스템 (1104) 에 전송한다. 상태 전이 STa를 위한 시간 기간 후, 동기화 신호 (146) 의 사이클 동안, 전이 파라미터 제어기 PRSTa는 상태 전이 STa에 대한 하나 이상의 파라미터 값들을 구동기 시스템 (1104) 으로 전송하지 않는다.

[0254] 동기화 신호 (146) 의 수신시, 동기화 신호 (146) 의 사이클 각각 동안, DSP (204) 는 상태 SNa에 대한 인스트럭션 신호를 파라미터 제어기 PRSNa로 전송한다. 예를 들어, DSP (204) 는 상태 S(N±M)a로부터 상태 SNa로 전이 종료시 상태 SNa에 대한 인스트럭션 신호를 파라미터 제어기 PRSNa로 전송한다. 파라미터 제어기 PRSNa로 전송된 상태 SNa에 대한 인스트럭션 신호는 파라미터 제어기 PRSNa가 상태 SNa에 대한 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (1104) 에 제공하는 사이클 각각 동안 상태 SNa에 대한 시간 기간을 포함한다. 상태 SNa에 대한 인스트럭션 신호를 수신하면, 파라미터 제어기 PRSNa는 파라미터 제어기 PRSNa의 메모리 디바이스로부터 상태 SNa에 대한 파라미터 레벨에 액세스하고 상태 SNa에 대한 시간 기간 동안 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (1104) 으로 전송한다. 예를 들어, 파라미터 제어기 PRSNa는 상태 S(N±M)a로부터 상태 SNa로 전이할 때 상태 SNa에 대한 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (1104) 에 전송한다. 상태 SNa에 대한 시간 기간 후, 동기화 신호 (146) 의 사이클 동안, 파라미터 제어기 PRSNa는 상태 SNa에 대한 파라미터 레벨을 구동기 시스템 (1104) 으로 전송하지 않는다.

[0255] 유사하게, 상태 S(N±M)a 및지 상태 SNa에 대한 주파수 레벨 수신시, 주파수 제어기 FCS(N±M)a의 메모리 디바

이스에 RF 신호 (1106) 의 주파수의 상태 S(N±M)a에 대한 주파수 레벨의 저장을 위해 DSP (204) 는 상태 S(N±M)a에 대한 주파수 레벨을 주파수 제어기 FCS(N±M)a에 제공한다. 또한, 주파수의 상태 전이 STa에 대한 하나 이상의 주파수 값들을 수신하면, DSP (204) 는 상태 전이 STa에 대한 하나 이상의 주파수 값들의 전이 주파수 제어기 FCSTa의 메모리 디바이스에 저장을 위해 RF 신호 (1106) 의 주파수의 상태 전이 STa에 대한 하나 이상의 주파수 값들을 전이 주파수 제어기 FCSTa에 제공한다. 상태 전이 STa 동안 주파수 값의 예는 상태 전이 STa 동안 RF 신호 (1106) 의 주파수의 제로-투-피크 진폭 또는 피크-투-피크 진폭과 같은 엔벨로프이다. 또한, 상태 S(N±M)a 내지 상태 SNa에 대한 주파수 레벨 수신에 응답하여, 주파수 제어기 FCSNa의 메모리 디바이스에 RF 신호 (1106) 의 상태 SNa에 대한 주파수 레벨의 저장을 위해 DSP (204) 는 상태 SNa에 대한 주파수 레벨을 주파수 제어기 FCSNa에 제공한다.

[0256] 동기화 신호 (146) 의 수신시, 동기화 신호 (146) 의 사이클 각각 동안, DSP (204) 는 주파수의 상태 S(N±M)a에 대한 인스트럭션 신호를 주파수 제어기 FCS(N±M)a로 전송한다. 예를 들어, DSP (204) 는 상태 S(N±M-1)a 또는 상태 S0과 같은 상태 S(N±M)a와 상이하거나 다른 상태로부터 상태 S(N±M)a로 전이 종료시 상태 S(N±M)a에 대한 인스트럭션 신호를 주파수 제어기 FCS(N±M)a로 전송한다. 주파수 제어기 FCS(N±M)a로 전송된 상태 S(N±M)a에 대한 인스트럭션 신호는 주파수 제어기 FCS(N±M)a가 상태 S(N±M)a에 대한 주파수 레벨을 구동기 시스템 (1104) 에 제공하는 사이클 각각 동안 상태 S(N±M)a에 대한 시간 기간을 포함한다. 상태 S(N±M)a에 대한 인스트럭션 신호를 수신하면, 주파수 제어기 FCS(N±M)a는 주파수 제어기 FCS(N±M)a의 메모리 디바이스로부터 상태 S(N±M)a에 대한 주파수 레벨에 액세스하고 상태 S(N±M)a에 대한 시간 기간 동안 주파수 레벨을 구동기 시스템 (1104) 으로 전송한다. 예를 들어, 주파수 제어기 FCS(N±M)a는 상태 S(N±M)a로부터 상이한 상태로부터 상태 S(N±M)a로 전이 종료시 상태 S(N±M)a에 대한 주파수 레벨을 구동기 시스템 (1104) 에 전송한다. 상태 S(N±M)a에 대한 시간 기간 후, 동기화 신호 (146) 의 사이클 동안, 주파수 제어기 FCS(N±M)a는 상태 S(N±M)a에 대한 주파수 레벨을 구동기 시스템 (1104) 으로 전송하지 않는다.

[0257] 유사하게, 동기화 신호 (146) 의 수신시, 동기화 신호 (146) 의 사이클 각각 동안, DSP (204) 는 주파수의 상태 STa에 대한 인스트럭션 신호를 전이 주파수 제어기 FCSTa로 전송한다. 예를 들어, DSP (204) 는 상태 S(N±M)a로부터 상태 SNa로 또는 상태 S0으로부터 상태 SNa로의 전이의 시작시 상태 전이 STa에 대한 인스트럭션 신호를 전이 주파수 제어기 FCSTa로 전송한다. 전이 주파수 제어기 FCSTa로 전송된 상태 전이 STa를 위한 인스트럭션 신호는 전이 주파수 제어기 FCSTa가 상태 전이 STa에 대한 하나 이상의 파라미터 값들을 구동기 시스템 (1104) 로 제공하는 사이클 각각 동안 상태 전이 STa를 위한 시간 기간을 포함한다. 상태 전이 STa에 대한 인스트럭션 신호를 수신하면, 전이 주파수 제어기 FCSTa는 전이 주파수 제어기 FCSTa의 메모리 디바이스로부터 상태 전이 STa에 대한 하나 이상의 주파수 값들을 액세스하고 상태 전이 STa를 위한 시간 기간 동안 하나 이상의 주파수 값들을 구동기 시스템 (1104) 으로 전송한다. 예를 들어, 전이 주파수 제어기 FCSTa는 상태 S(N±M)a의 종료시 상태 전이 STa에 대한 하나 이상의 주파수 값들을 구동기 시스템 (1104) 에 전송한다. 상태 전이 STa를 위한 시간 기간 후, 동기화 신호 (146) 의 사이클 동안, 전이 주파수 제어기 FCSTa는 상태 전이 STa에 대한 하나 이상의 주파수 값들을 구동기 시스템 (1104) 으로 전송하지 않는다.

[0258] 동기화 신호 (146) 의 수신시, 동기화 신호 (146) 의 사이클 각각 동안, DSP (204) 는 상태 SNa에 대한 인스트럭션 신호를 주파수 제어기 FCSNa로 전송한다. 예를 들어, DSP (204) 는 상태 S(N±M)a로부터 상태 SNa 로의 전이의 종료시 상태 SNa에 대한 인스트럭션 신호를 주파수 제어기 FCSNa로 전송한다. 주파수 제어기 FCSNa로 전송된 상태 SNa에 대한 인스트럭션 신호는 주파수 제어기 FCSNa가 상태 SNa에 대한 주파수 레벨을 구동기 시스템 (1104) 에 제공하는 사이클 각각 동안 상태 SNa에 대한 시간 기간을 포함한다. 상태 SNa에 대한 인스트럭션 신호를 수신하면, 주파수 제어기 FCSNa는 주파수 제어기 FCSNa의 메모리 디바이스로부터 상태 SNa에 대한 주파수 레벨에 액세스하고 상태 SNa에 대한 시간 기간 동안 주파수 레벨을 구동기 시스템 (1104) 에 전송한다. 예를 들어, 주파수 제어기 FCSNa는 상태 S(N±M)a로부터 상태 SNa로의 전이의 종료시 상태 SNa에 대한 주파수 레벨을 구동기 시스템 (1104) 에 전송한다. 상태 SNa에 대한 시간 기간 후, 동기화 신호 (146) 의 사이클 동안, 주파수 제어기 FCSNa는 상태 SNa에 대한 주파수 레벨을 구동기 시스템 (1104) 으로 전송하지 않는다.

[0259] 상태 S(N±M)a에 대한 파라미터 레벨 및 상태 S(N±M)a에 대한 주파수 레벨을 수신하는 것에 응답하여, 구동기 시스템 (1104) 은 파라미터 레벨의 상태 S(N± M)a 및 주파수 레벨의 상태 S(N±M)a에 대한 시간 기간 동안 구동 신호를 생성하고 구동 신호를 RF 전력 공급부 (222) 로 전송한다. 예를 들어, 파라미터의 상태 S(N±M-1)a 또는 상태 S0으로부터 상태 S(N±M)a로의 전이의 종료시 상태 S(N±M)a에 대한 파라미터 레벨을 수신하고 주파수의 상태 S(N±M-1)a 또는 상태 S0로부터 상태 S(N±M)a로의 전이의 종료시 상태 S(N±M)a에 대한 주파수 레벨을 수신할 때, 구동기 시스템 (1104) 은 상태 S(N±M)a에 대한 시간 기간 동안 파라미터 레벨의 상태 S(N±M)a

및 주파수 레벨의 상태 S(N±M)a에 대한 구동 신호를 생성하고 구동 신호를 RF 전력 공급부 (222) 로 전송한다. RF 전력 공급부 (222) 는 구동기 시스템 (1104) 으로부터 상태 S(N±M)a에 대한 구동 신호를 수신할 때 RF 신호 (1106) 의 주파수의 상태 S(N±M)a 및 파라미터의 상태 S(N±M)a를 생성한다. 예를 들어, 구동기 시스템 (1104) 으로부터 파라미터의 상태 S(N±M)a 및 주파수의 상태 S(N±M)a에 대한 구동 신호를 수신하면, RF 전력 공급부 (222) 는 RF 신호 (1106) 의 주파수의 상태 S(N±M)a 및 파라미터의 상태 S(N±M)a를 생성한다. RF 신호 (1106) 의 파라미터의 상태 S(N±M)a는 파라미터의 상태 S(N±M)a에 대한 시간 기간 동안 상태 S(N±M)a에 대한 파라미터 레벨을 갖는다. 또한, RF 신호 (1106) 의 주파수의 상태 S(N±M)a는 주파수의 상태 S(N±M)a에 대한 시간 기간 동안 상태 S(N±M)a에 대한 주파수 레벨을 갖는다.

[0260] 유사하게, 상태 전이 STa에 대한 하나 이상의 파라미터 값들 및 상태 전이 STa에 대한 하나 이상의 주파수 값들을 수신하는 것에 응답하여, 구동기 시스템 (1104) 은 RF 신호 (1106) 의 파라미터의 상태 전이 STa 및 RF 신호 (1106) 의 주파수의 상태 전이 STa에 대한 시간 기간 동안 구동 신호를 생성하고 구동 신호를 RF 전력 공급부 (222) 로 전송한다. 예를 들어, 파라미터의상태 S(N±M)a 또는 상태 S0의 종료시 파라미터의 상태 전이 STa에 대한 하나 이상의 파라미터 값들 및 주파수의 상태 S(N±M)a 또는 상태 S0의 종료시 주파수의 상태 전이 STa에 대한 하나 이상의 주파수 값들을 수신할 때, 구동기 시스템 (1104) 은 주파수 및 파라미터의 상태 전이 STa에 대한 시간 기간 동안 파라미터의 상태 전이 STa 및 주파수의 상태 전이 STa에 대한 구동 신호를 생성하고, 구동 신호를 RF 전력 공급부 (222) 로 전송한다. RF 전력 공급부 (222) 는 구동기 시스템 (1104) 으로부터 주파수 및 파라미터의 상태 전이들 STa에 대한 구동 신호를 수신할 때 RF 신호 (1106) 의 주파수의 상태 전이 STa 및 파라미터의 상태 전이 STa를 생성한다. 예를 들어, 구동기 시스템 (1104) 으로부터 파라미터의 상태 전이 STa 및 주파수의 상태 전이 STa에 대한 구동 신호를 수신하면, RF 전력 공급부 (222) 는 파라미터의 상태 S(N±M)a 또는 파라미터의 상태 S0으로부터 파라미터의 상태 SNa로 그리고 주파수의 상태 S(N±M)a 또는 주파수의 상태 S0으로부터 주파수의 상태 SNa로 RF 신호 (1106) 를 전이하기 시작한다. RF 신호 (1106) 의 파라미터의 상태 전이 STa는 파라미터의 상태 전이 STa에 대한 시간 기간 동안 상태 전이 STa에 대한 하나 이상의 파라미터 값들을 갖는다. 또한, RF 신호 (1106) 의 주파수의 상태 전이 STa는 주파수의 상태 전이 STa에 대한 시간 기간 동안 상태 전이 STa에 대한 주파수 레벨을 갖는다.

[0261] 상태 SNa에 대한 파라미터 레벨 및 상태 SNa에 대한 주파수 레벨을 수신하는 것에 응답하여, 구동기 시스템 (1104) 은 파라미터 레벨의 상태 SNa 및 주파수 레벨의 상태 SNa에 대한 시간 기간 동안 구동 신호를 생성하고 구동 신호를 RF 전력 공급부 (222) 로 전송한다. 예를 들어, 파라미터의 상태 SNa 또는 상태 S0으로부터 상태 S(N±M)a로의 전이의 종료시 상태 SNa에 대한 파라미터 레벨을 수신하고 주파수의 상태 S(N±M)a 또는 상태 S0로부터 상태 SNa로의 전이의 종료시 상태 SNa에 대한 주파수 레벨을 수신할 때, 구동기 시스템 (1104) 은 상태 SNa에 대한 시간 기간 동안 파라미터 레벨의 상태 SNa 및 주파수 레벨의 상태 SNa에 대한 구동 신호를 생성하고 구동 신호를 RF 전력 공급부 (222) 로 전송한다. RF 전력 공급부 (222) 는 구동기 시스템 (1104) 으로부터 상태 SNa에 대한 구동 신호를 수신할 때 RF 신호 (1106) 의 주파수의 상태 SNa 및 파라미터의 상태 SNa를 생성한다. 예를 들어, 구동기 시스템 (1104) 으로부터 파라미터의 상태 SNa 및 주파수의 상태 SNa에 대한 구동 신호를 수신하면, RF 전력 공급부 (222) 는 RF 신호 (1106) 의 주파수의 상태 Sa 및 파라미터의 상태 SNa를 생성한다. RF 신호 (1106) 의 파라미터의 상태 SNa는 파라미터의 상태 SNa에 대한 시간 기간 동안 상태 SNa에 대한 파라미터 레벨을 갖는다. 또한, RF 신호 (1106) 의 주파수의 상태 SNa는 주파수의 상태 SNa에 대한 시간 기간 동안 상태 SNa에 대한 주파수 레벨을 갖는다.

[0262] 일 실시 예에서, 파라미터 제어기들 (PRS(N±M)a 및 PRSNa), 전이 파라미터 제어기 PRSTa, 주파수 제어기들 (FCS(N±M)a 및 FCSNa), 및 전이 주파수 제어기 FCSTa 대신, 하나 이상의 프로세서들과 같은, 하나 이상의 제어기들이 파라미터 제어기들 (PRS(N±M)a 및 PRSna), 전이 파라미터 제어기 PRSTa, 주파수 제어기들 (FCS(N±M)a 및 FCSNa), 및 전이 주파수 제어기 FCSTa에 의해 수행되는 것으로 본 명세서에 기술된 기능들을 수행하도록 사용된다.

[0263] 일 실시 예에서, DSP (204), 파라미터 제어기들 (PRS(N±M)a 및 PRSNa), 전이 파라미터 제어기 PRSTa, 주파수 제어기들 (FCS(N±M)a 및 FCSNa), 및 전이 주파수 제어기 FCSTa 대신, 하나 이상의 프로세서들과 같은, 하나 이상의 제어기들이DSP (204), 파라미터 제어기들 (PRS(N±M)a 및 PRSna), 전이 파라미터 제어기 PRSTa, 주파수 제어기들 (FCS(N±M)a 및 FCSNa), 및 전이 주파수 제어기 FCSTa에 의해 수행되는 것으로 본 명세서에 기술된 기능들을 수행하도록 사용된다.

[0264] 도 12a는 동기화 신호 (302) 를 예시하기 위한 그래프 (300) 의 일 실시 예이다.

[0265] 도 12b는 RF 신호 (1106) (도 11a 및 도 11b) 의 주파수 또는 파라미터와 같은 변수 (1206) 대 시간 t를 예시하기 위한 그래프 (1204) 의 일 실시 예이다. 변수 (1206) 는 y 축에 플롯팅되고 시간 t는 x 축에 플롯팅된다.

[0266] 변수 (1206) 는 동기화 신호 (302) 와 동기하여 변수 레벨들 (V8a, V6a, V4a, 및 V2a) 사이에서 주기적으로 전이한다. 예를 들어, 변수 (1206) 는 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안 변수 레벨들 (V8a, V6a, V4a, 및 V2a) 사이에서 전이하고 그리고 다시 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안 변수 레벨들 (V8a, V6a, V4a, 및 V2a) 사이에서 전이한다. 예시를 위해, 변수 (1206) 는 시간 t0로부터 시간 t1.5로의 RF 신호 (1106) 의 변수의 상태 S4a 동안 변수 레벨 V8a, 시간 t1.5에서 시간 t2.5로의 변수의 상태 전이 ST3a 동안 하나 이상의 변수 값들, 시간 t2.5로부터 시간 t4로 상태 S3a 동안의 변수 레벨 V6a, 시간 t4로부터 시간 t5로의 변수의 상태 전이 ST2a 동안 하나 이상의 변수 값들, 시간 t5로부터 시간 t6.5로 상태 S2a 동안 변수 레벨 V4a, 시간 t6.5로부터 시간 t7.5로의 변수의 상태 전이 ST1a 동안 하나 이상의 변수 값들, 시간 t7.5로부터 시간 t9로 상태 S1a 동안 변수 레벨 V2a, 및 시간 t9로부터 시간 t10으로 변수의 상태 전이 ST4a 동안 하나 이상의 변수 값들을 갖는다. 시간 t1.5는 시간 t1과 시간 t2 사이이고, 시간 t6.5는 시간 t6과 시간 t7 사이라는 것을 주의해야 한다.

[0267] 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안, 변수 (1206) 는 시간 t1.5에서 변수 레벨 V8a로부터 변수 레벨 V6a로의 전이를 시작하고 시간 t2.5에서 전이를 종료한다. 또한, 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안, 변수 (1206) 는 시간 t4에서 변수 레벨 V6a로부터 변수 레벨 V4a로의 전이를 시작하고 시간 t5에서 전이를 종료한다. 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안, 변수 (1206) 는 시간 t6.5에서 변수 레벨 V4a로부터 변수 레벨 V2a로의 전이를 시작하고 시간 t7.5에서 전이를 종료한다. 또한, 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안, 변수 (1206) 는 시간 t9에서 변수 레벨 V2a로부터 변수 레벨 V8a로의 전이를 시작하고 시간 t10에서 전이를 종료한다.

[0268] 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안, 변수 (1206) 는 시간 t11.5에서 변수 레벨 V8a로부터 변수 레벨 V6a로의 전이를 시작하고 시간 t12.5에서 전이를 종료한다. 또한, 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안, 변수 (1206) 는 시간 t14에서 변수 레벨 V6a로부터 변수 레벨 V4a로의 전이를 시작하고 시간 t15에서 전이를 종료한다. 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안, 변수 (1206) 는 시간 t16.5에서 변수 레벨 V4a로부터 변수 레벨 V2a로의 전이를 시작하고 시간 t17.5에서 전이를 종료한다. 또한, 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안, 변수 (1206) 는 시간 t19에서 변수 레벨 V2a로부터 변수 레벨 V8a로의 전이를 시작하고 시간 t20에서 전이를 종료한다. 시간 t11.5는 시간 t11과 시간 t12 사이이고, 시간 t16.5는 시간 t16과 시간 t17 사이라는 것을 주의해야 한다.

[0269] 변수 레벨 V8a와 변수 레벨 V6a 사이의 상태 전이 ST3a의 하나 이상의 변수 값들은 변수 레벨 V8a보다 작고 변수 레벨 V6a보다 크다. 유사하게, 변수 레벨 V6a와 변수 레벨 V4a 사이의 상태 전이 ST2a의 하나 이상의 변수 값들은 변수 레벨 V6a보다 작고 변수 레벨 V4a보다 크다. 또한, 변수 레벨 V4a와 변수 레벨 V2a 사이의 상태 전이 ST1a의 하나 이상의 변수 값들은 변수 레벨 V4a보다 작고 변수 레벨 V2a보다 크다. 변수 레벨 V2a와 변수 레벨 V8a 사이의 상태 전이 ST4a의 하나 이상의 변수 값들은 변수 레벨 V8a보다 작고 변수 레벨 V2a보다 크다.

[0270] 일 실시 예에서, 상태 S1a의 변수 레벨 V2a로 전이하는 대신, RF 신호 (1106) 의 변수는 변수 레벨 0으로 전이한다.

[0271] 일 실시 예에서, 동기화 신호 (302) 에 더하여, 디지털 펄싱된 신호는 전송 케이블 시스템 (214) 을 통해 프로세서 (118) 로부터 DSP (204) 에 의해 수신된다 (도 11b). 예를 들어, 동기화 신호 (302) 는 전송 케이블 시스템 (214) 의 제 1 전송 케이블을 통해 수신되고 디지털 펄싱된 신호는 전송 케이블 시스템 (214) 의 제 2 전송 케이블을 통해 수신된다. 디지털 펄싱된 신호는 변수 (1206) 가 변수 레벨들 (V8a, V6a, V4a, 및 V2a) 사이에서 전이하는 동일한 방식으로 4 개의 논리 레벨들 8, 6, 4, 및 2 사이에서 주기적으로 전이한다. 예를 들어, 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안, 디지털 펄싱된 신호는 시간 t1.5에서 논리 레벨 8로부터 논리 레벨 6으로의 전이를 시작하고 시간 t2.5에서 전이를 종료한다. 또한, 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안, 디지털 펄싱된 신호는 시간 t4에서 논리 레벨 6으로부터 논리 레벨 4로의 전이를 시작하고 시간 t5에서 전이를 종료한다. 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안, 디지털 펄싱된 신호는 시간 t6.5에서 논리 레벨 4로부터 논리 레벨 2로의 전이를 시작하고 시간 t7.5에서 전이를 종료한다. 또한, 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안, 디지털 펄싱된 신호는 시간 t9에서 논리 레벨 2로부터 논리 레벨 8로의 전이를 시작하고 시간 t10에서 전이를 종료한다. 논리 레벨 8은 논리 레벨 4보다 큰 논리 레벨 6보다 크다. 논리 레벨 4는 논리 레벨 2보다 크다. 예를 들어, 논리 레벨 8의 DC 전압은 논리 레벨 6의 DC 전압보다 크고, 논리 레벨 6의 DC 전압은 논리 레벨 4의 DC 전압보다 크다. 논리 레벨 4의 DC 전압은 논리 레벨 2의 DC 전압보다 크다.

[0272] 이 실시 예에서, 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안, 디지털 펄싱된 신호는 시간 t11.5에서 논리 레벨 8로부터 논리 레벨 6으로의 전이를 시작하고 시간 t12.5에서 전이를 종료한다. 또한, 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안, 디지털 펄싱된 신호는 시간 t14에서 논리 레벨 6으로부터 논리 레벨 4로의 전이를 시작하고 시간 t15에서 전이를 종료한다. 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안, 디지털 펄싱된 신호는 시간 t16.5에서 논리 레벨 4로부터 논리 레벨 2로의 전이를 시작하고 시간 t17.5에서 전이를 종료한다. 또한, 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안, 디지털 펄싱된 신호는 시간 t19에서 논리 레벨 2로부터 논리 레벨 8로의 전이를 시작하고 시간 t20에서 전이를 종료한다. 디지털 펄싱된 신호를 수신하면, DSP (204) 는 디지털 펄싱된 신호로부터, 변수 (1206) 의 상태 S1a 내지 상태 S4a 및 상태 전이 ST1a 내지 상태 전이 ST4a에 대한 시간 기간들을 식별하고, 시간 기간들을 갖는 인스트럭션 신호들을 생성한다. 예를 들어, 변수 (1206) 의 상태 전이 ST1을 위한 시간 기간은 디지털 펄싱된 신호의 논리 레벨 4로부터 논리 레벨 2로의 디지털 펄싱된 신호의 전이를 위한 시간 기간과 동일하고 변수 (1206) 의 상태 전이 ST2를 위한 시간 기간은 디지털 펄싱된 신호의 논리 레벨 6으로부터 논리 레벨 4로의 전이를 위한 시간 기간과 동일하다.

[0273] 도 12c는 RF 신호 (1106) (도 11a 및 도 11b) 의 주파수 또는 파라미터와 같은 변수 (1210) 대 시간 t를 예시하기 위한 그래프 (1208) 의 일 실시 예이다. 변수 (1210) 는 y 축에 플롯팅되고 시간 t는 x 축에 플롯팅된다.

[0274] 변수 (1210) 는 동기화 신호 (302) 와 동기하여 변수 레벨들 (V8a, V6a, V4a, 및 V2a) 사이에서 주기적으로 전이한다. 예를 들어, 변수 (1210) 는 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안 변수 레벨들 (V8a, V6a, V4a, 및 V2a) 사이에서 전이하고 그리고 다시 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안 변수 레벨들 (V8a, V6a, V4a, 및 V2a) 사이에서 전이한다. 예시를 위해, 변수 (1210) 는 시간 t0로부터 시간 t1.5로의 RF 신호 (1106) 의 변수의 상태 S4a 동안 변수 레벨 V8a, 시간 t1.5에서 시간 t3.5로의 변수의 상태 전이 ST3a 동안 하나 이상의 변수 값들, 시간 t3.5로부터 시간 t4로 상태 S3a 동안의 변수 레벨 V6a, 시간 t4로부터 시간 t5로의 변수의 상태 전이 ST2a 동안 하나 이상의 변수 값들, 시간 t5로부터 시간 t6.5로 상태 S2a 동안 변수 레벨 V4a, 시간 t6.5로부터 시간 t7.5로의 변수의 상태 전이 ST1a 동안 하나 이상의 변수 값들, 시간 t7.5로부터 시간 t9로 상태 S1a 동안 변수 레벨 V2a, 및 시간 t9로부터 시간 t10으로 변수의 상태 전이 ST4a 동안 하나 이상의 변수 값들을 갖는다. 시간 t3.5는 시간 t3과 시간 t4 사이에 있다는 것을 주의해야 한다.

[0275] 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안, 변수 (1210) 는 시간 t1.5에서 변수 레벨 V8a로부터 변수 레벨 V6a로의 전이를 시작하고 시간 t3.5에서 전이를 종료한다. 또한, 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안, 변수 (1210) 의 나머지 전이들은 변수 (1206) (도 12b) 와 동일하다.

[0276] 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안, 변수 (1210) 는 시간 t11.5에서 변수 레벨 V8a로부터 변수 레벨 V6a로의 전이를 시작하고 시간 t13.5에서 전이를 종료한다. 또한, 동기화 신호 (302) 의 사이클 2 동안, 변수 (1210) 의 나머지 전이들은 변수 (1206) 와 동일하다. 시간 t13.5는 시간 t13과 시간 t14 사이에 있다는 것을 주의해야 한다. 상태 전이 ST3a의 기울기는 상태 전이 ST2a의 기울기 및 상태 전이 ST1a의 기울기보다 크다.

[0277] 일 실시 예에서, 상태 S1a의 변수 레벨 V2a로 전이하는 대신, 변수 (1210) 는 변수 레벨 0으로 전이한다.

[0278] 일 실시 예에서, 상태 전이 ST3a의 기울기는 상태 전이 ST2a의 기울기 및 상태 전이 ST1a의 기울기보다 작다.

[0279] 일 실시 예에서, 본 명세서에 기술된 변수의 상태 전이 ST1a 내지 상태 전이 STna 중 하나 이상은 상태 전이 ST1a 내지 상태 전이 STna 중 하나 이상과 상이한 기울기를 갖는다. 예를 들어, 상태 전이 ST1a는 상태 전이 ST2a의 기울기, 상태 전이 ST3a의 기울기, 및 상태 전이 ST4a의 기울기 상이한 기울기, 예컨대 보다 큰 기울기 또는 보다 작은 기울기를 갖는다. 예시를 위해, 상태 전이 ST1a는 상태 전이 ST2a의 각도 및 상태 전이 ST3a의 각도보다 큰 각도를 갖고 상태 전이 ST4a의 각도보다 작은 각도를 갖는다.

[0280] 도 12d는 RF 신호 (1106) (도 11a 및 도 11b) 의 주파수 또는 파라미터와 같은 변수 (1214) 의 상이한 타입들의 전이 대 시간 t를 예시하기 위한 그래프 (1212) 의 일 실시 예의 도면이다. 변수 (1214) 는 y 축에 플롯팅되고 시간 t는 x 축에 플롯팅된다.

[0281] 변수 (1214) 는 동기화 신호 (302) 와 동기하여 변수 레벨 VRa와 변수 레벨 VSa 사이에서 주기적으로 전이하고, 여기서 R 및 S 각각은 실수이고 S는 R보다 크다. 예를 들어, 변수 (1214) 는 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안 변수 레벨 VRa와 변수 레벨 VSa 사이에서 전이하고 다시 동기화 신호 (302) (도 12a) 의 사이클 2와 같은 나머지 사이클들 동안 변수 레벨 VRa와 변수 레벨 VSa 사이에서 전이한다. 예시를 위해, 변수 (1214) 는 시간 t1로부터 시간 t2.5까지 RF 신호 (1106) 의 변수의 상태 (1216) 동안 변수 레벨 VSa, 시간 t2.5로부터 시간

t3.5로 변수의 상태 전이 (1220) 동안 하나 이상의 변수 값들, 그리고 시간 t3.5로부터 시간 t5까지 상태 (1218) 동안 변수 레벨 VRa을 갖는다.

[0282] 상태 전이 (1220) 동안, 변수 (1214) 는 상태들 (1216 및 1218) 사이의 상태 전이 (1220) 의 음의 선형 기울기를 규정하도록 복수의 값들 (1222 및 1224) 을 갖는다. 값들 (1222 및 1224) 은 변수 레벨 VSa의 값들보다 작고 변수 레벨 VRa의 값들보다 크다. 변수 (1214) 는 상태 전이 (1220) 동안 2 개보다 많거나 적은 값들을 가질 수 있다는 것을 주의해야 한다.

[0283] 일 실시 예에서, 상태 전이 (1220) 동안, 변수 (1214) 는 상태들 (1216 및 1218) 사이의 상태 전이 (1220) 의 볼록한 기울기를 규정하도록 복수의 값들 (1226 및 1228) 을 갖는다.

[0284] 일 실시 예에서, 상태 전이 (1220) 동안, 변수 (1214) 는 상태들 (1216 및 1218) 사이의 상태 전이 (1220) 의 오목한 기울기를 규정하도록 복수의 값들 (1230 및 1232) 을 갖는다. 변수 (1214) 의 볼록한 기울기 및 오목한 기울기 각각은 커브된 기울기의 예이다.

[0285] 도 12e는 RF 신호 (1106) (도 11a 및 도 11b) 의 주파수 또는 파라미터와 같은 변수 (1252) 의 상이한 타입들의 전이 대 시간 t를 예시하기 위한 그래프 (1250) 의 일 실시 예의 도면이다. 변수 (1252) 는 y 축에 플롯팅되고 시간 t는 x 축에 플롯팅된다.

[0286] 변수 (1252) 는 동기화 신호 (302) 와 동기하여 변수 레벨 VRa와 변수 레벨 VSa 사이에서 주기적으로 전이한다. 예를 들어, 변수 (1252) 는 동기화 신호 (302) 의 사이클 1 동안 변수 레벨 VRa와 변수 레벨 VSa 사이에서 전이하고 그리고 다시 동기화 신호 (302) 의 사이클 2와 같은, 남아 있는 사이클들 동안 변수 레벨 VRa와 변수 레벨 VSa 사이에서 전이한다 (도 12a). 예시를 위해, 변수 (1252) 는 시간 t1로부터 시간 t2.5까지 RF 신호 (1106) 의 변수의 상태 (1218) 동안 변수 레벨 VRa, 시간 t2.5로부터 시간 t3.5로 변수의 상태 전이 (1260) 동안 하나 이상의 변수 값들, 그리고 시간 t3.5로부터 시간 t5까지 상태 (1216) 동안 변수 레벨 VSa을 갖는다.

[0287] 상태 전이 (1260) 동안, 변수 (1252) 는 상태들 (1216 및 1218) 사이의 상태 전이 (1260) 의 양의 선형 기울기를 규정하도록 복수의 값들 (1262 및 1264) 을 갖는다. 값들 (1262 및 1264) 은 변수 레벨 VSa의 값들보다 작고 변수 레벨 VRa의 값들보다 크다. 변수 (1252) 는 상태 전이 (1260) 동안 2 개보다 많거나 적은 값들을 가질 수 있다는 것을 주의해야 한다.

[0288] 일 실시 예에서, 상태 전이 (1260) 동안, 변수 (1252) 는 상태들 (1216 및 1218) 사이의 상태 전이 (1260) 의 볼록한 기울기를 규정하도록 복수의 값들 (1266 및 1268) 을 갖는다.

[0289] 일 실시 예에서, 상태 전이 (1260) 동안, 변수 (1252) 는 상태들 (1216 및 1218) 사이의 상태 전이 (1260) 의 오목한 기울기를 규정하도록 복수의 값들 (1270 및 1272) 을 갖는다. 변수 (1252) 의 볼록한 기울기 및 오목한 기울기 각각은 커브된 기울기의 예이다.

[0290] 도 12f는 펄스 성형 방법의 일 실시 예의 도면이다. 도 12f를 참조하여 예시된 바와 같이, RF 생성기 (1102) (도 11b) 에 의해 생성되는 RF 신호 (1106) (도 11b) 의 전이는 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 중 하나 이상의 상태들에 대한 펄스 폭을 감소시키기 위해 음의 기울기를 갖도록 변화된다. 예를 들어, 상태 S(n-1) 로부터 상태 Sn으로의 수직 또는 실질적으로 수직 전이 대신에, 상태 S(n-1) 과 상태 Sn 사이에 음의 기울기를 갖는 경사진 전이 (sloped transition) 가 제공된다. 음의 기울기로 인해, 상태 S(n-1) 동안 RF 신호 (1106) 의 전력 레벨 $PL_{S(n-1)}$의 펄스 폭이 감소된다. 경사진 전이를 달성하기 위한 전력 레벨들은 경사진 전이를 달성하기 위해 호스트 컴퓨터 또는 호스트 제어기로부터 RF 생성기 (1102) 로 제공된다.

[0291] 일 실시 예에서, 주파수 레벨들 사이의 경사진 전이가 발생한다. 예를 들어, 일 주파수 레벨은 양 또는 음의 기울기 전이를 통해 또 다른 주파수 레벨로 전이한다. 기울기 전이 동안 주파수 레벨들은 그 주파수 레벨들을 갖는 RF 신호 (1106) 를 생성하도록 호스트 컴퓨터로부터 RF 생성기 (1102) 로 제공된다.

[0292] 도 12g는 또 다른 펄스 성형 방법의 일 실시 예의 도면이다. 도 12g에 예시된 바와 같이, RF 생성기 (1102) (도 11b) 에 의해 생성된 RF 신호 (1106) (도 11b) 의 상태 S(n-A)로부터 상태 S(n-A+1)로의 전이의 기울기는 상태 S(n-1)로부터 상태 Sn으로의 RF 신호 (1106) 의 전이의 기울기보다 큰 것과 같이, 보다 가파르다.

[0293] 일 실시 예에서, RF 생성기 (1102) 에 의해 생성된 RF 신호 (1106) 의 상태 S(n-A)로부터 RF 생성기 (1106) 의 상태 S(n-A+1)로의 전이의 기울기는 RF 신호 (1106) 의 상태 S(n-1) 로부터 상태 Sn으로의 전이의 기울기보다 낮은 것과 같이, 보다 덜 가파르다.

[0294] 도 12h는 또 다른 펄스 성형 방법의 일 실시 예의 도면이다. 도 12h에서, RF 생성기 (1102) (도 11b) 에 의해 생성된 RF 신호 (1106) (도 11b) 의 상태 S(n-A)로부터 상태 S(n-A+1)로의 전이의 기울기는 반포물선 또는 지수와 같이, 커브된다. 또한, RF 신호 (1106) 의 상태 S(n-1)로부터 상태 Sn으로의 전이의 기울기가 커브된다.

[0295] 도 12i는 또 다른 펄스 성형 방법의 일 실시 예의 도면이다. 도 12i에 예시된 바와 같이, RF 생성기 (1102) (도 11b) 에 의해 생성된 RF 신호 (1106) (도 11b) 의 상태 S(n-A)로부터 상태 S(n-A+1)로의 전이의 기울기는 커브되고 RF 신호 (1106) 의 상태 S(n-1)로부터 상태 Sn으로의 전이의 기울기는 선형이다.

[0296] 도 12j는 또 다른 펄스 성형 방법의 또 다른 실시 예의 도면이다. 도 12j를 참조하여 예시된 바와 같이, RF 생성기 (1102) (도 11b) 에 의해 생성되는 RF 신호 (1106) (도 11b) 의 전이는 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 중 하나 이상의 상태들에 대한 RF 신호 (1106) 의 펄스 폭을 감소시키기 위해 양 또는 음의 기울기를 갖도록 변화된다. 예를 들어, 상태 S(n-1) 로부터 상태 Sn으로의 수직 또는 실질적으로 수직 전이 대신에, 상태 S(n-A) 과 상태 S(n-A+1) 사이에 음의 기울기를 갖는 경사진 전이가 제공된다. 음의 기울기로 인해, 상태 S(n-A) 동안 RF 신호 (1106) 의 전력 레벨 $PL_{S(n-A)}$의 펄스 폭이 감소된다. 또 다른 예로서, 상태 S(n-1) 로부터 상태 Sn으로의 수직 또는 실질적으로 수직 전이 대신에, 상태 S(n-1) 과 상태 Sn 사이에 양의 기울기를 갖는 경사진 전이가 제공된다. 양의 기울기로 인해, 상태 Sn 동안 RF 신호 (1106) 의 전력 레벨 PL_{Sn}의 펄스 폭이 감소된다.

[0297] 도 12k는 또 다른 펄스 성형 방법을 예시하기 위한 실시 예의 도면이다. 도 12k에서, RF 생성기 (1102) (도 11b) 에 의해 생성되는 RF 신호 (1106) (도 11b) 의 상태 S(n-A)로부터 상태 S(n-A+1)로의 전이는 선형 기울기, 예를 들어, 음의 직선 기울기를 갖고, RF 신호 (1106) 의 상태 S(n-1)로부터 상태 Sn으로의 전이는 오목한 기울기와 같은 커브된 기울기를 갖는다. 커브된 기울기는 양의 기울기를 갖는다.

[0298] 도 12l은 또 다른 펄스 성형 방법을 예시하기 위한 실시 예의 도면이다. 도 12l에서,RF 생성기 (1102) (도 11b) 에 의해 생성되는 RF 신호 (1106) (도 11b) 의 상태 S(n-A)로부터 상태 S(n-A+1)로의 전이는 선형 기울기, 예를 들어, 음의 직선 기울기를 갖고, RF 신호 (1106) 의 상태 S(n-1)로부터 상태 Sn으로의 전이는 볼록한 기울기와 같은 커브된 기울기를 갖는다. 커브된 기울기는 양의 기울기를 갖는다.

[0299] **EtherCAT 케이블**

[0300] 도 13a는 하나 이상의 EtherCAT (Ethernet for Control Automation) 케이블들을 통해 플라즈마 시스템의 다양한 컴포넌트들 사이의 정보 전송을 예시하기 위한 시스템 (1300) 의 일 실시 예의 도면이다. EtherCAT 케이블의 예는 이더넷 (Ethernet) 케이블이다. EtherCAT은 이더넷 기반 프로토콜이고, 정보의 실시간 분산 제어에 사용되며 자동화 기술에 적합하다. EtherCAT 슬레이브 디바이스 (slave device) 는 EtherCAT 프레임 또는 패킷이 EtherCAT 슬레이브 디바이스를 통과하는 동안, EtherCAT 슬레이브 디바이스로 어드레스된 데이터를 읽고, 데이터를 즉시 (on the fly) 프로세싱한다. 유사하게, EtherCAT 프레임이 EtherCAT 슬레이브 디바이스를 통과하는 동안 입력 데이터는 EtherCAT 슬레이브 디바이스로부터 EtherCAT 프레임 내로 삽입된다. EtherCAT 프레임은 프로세싱되기 전에 EtherCAT 슬레이브 디바이스에 의해 완전히 수신되지 않고, 대신 프로세싱은 가능한 빨리 시작된다. EtherCAT 슬레이브 디바이스로부터의 입력 데이터의 전송은 또한 작은 비트 시간들의 최소 지연으로 수행된다.

[0301] 시스템 (1300) 은 호스트 컴퓨터 (106), 소스 RF 생성기 (102), 바이어스 RF 생성기 (104), 소스 매칭부 (108), 및 바이어스 매칭부 (110) 를 포함하고, 이들 각각은 플라즈마 툴 또는 플라즈마 시스템의 컴포넌트의 예이다. 하나 이상의 EtherCAT 프레임들을 전송하는 플라즈마 툴의 컴포넌트는 본 명세서에서 마스터 EtherCAT 디바이스로서 지칭되고, 하나 이상의 EtherCAT 프레임들을 수신하는 플라즈마 툴의 컴포넌트는 본 명세서에서 슬레이브 EtherCAT 디바이스로서 지칭된다. 예를 들어, 바이어스 RF 생성기 (104), 소스 매칭부 (108), 바이어스 매칭부 (110) 각각은 슬레이브 EtherCAT 디바이스의 예이고 소스 RF 생성기 (102) 는 마스터 EtherCAT 디바이스의 예이다. 소스 RF 생성기 (102), 바이어스 RF 생성기 (104), 소스 매칭부 (108), 및 바이어스 매칭부 (110) 각각은 플라즈마 시스템의 컴포넌트의 예이다. 하나 이상의 EtherCAT 프레임들은 본 명세서에서 때때로 펄스 트레인으로 지칭된다.

[0302] 호스트 컴퓨터 (106) 는 프로세서 (118) 및 통신 제어기 (1302) 를 포함한다. 본 명세서에 사용된 바와 같이, 통신 제어기의 예들은 ASIC, PLD, 제어기, 및 프로세서를 포함한다.

[0303] 프로세서 (118) 는 통신 제어기 (1302) 에 커플링된다. 통신 제어기 (1302) 는 EtherCAT 케이블 (1304) 을 통해 소스 RF 생성기 (102) 의 포트 (1308) 에 커플링된다. 본 명세서에 사용된 이더넷 케이블의 예들은 트위스

트 페어 케이블 (twisted pair cable) 을 포함한다. 예시를 위해, 이더넷 케이블은 100 Mbps (megabits per second) 이상의 속도로 데이터를 전송할 수 있는 100BASE-TX™ 또는 100BASE-T4™ 케이블이다. 게다가, 소스 RF 생성기 (102) 의 또 다른 포트 (1310) 는 EtherCAT 케이블 (1306) 을 통해 바이어스 RF 생성기 (104) 의 포트 (1312) 에 커플링된다.

[0304] 프로세서 (118) 는 동기화 신호 (146) (도 7) 의 타이밍 정보, 소스 RF 생성기 변수 정보, 및 바이어스 RF 생성기 변수 정보와 같은 프로세서 데이터 (1311) 를 통신 제어기 (1302) 로 전송한다. 동기화 신호 (146) 의 타이밍 정보의 예들은 동기화 신호 (146) 의 사이클 각각 동안, 동기화 신호 (146) 가 논리 레벨을 1에서 0으로 또는 0에서 1로 변화시키는 시간, 및 동기화 신호 (146) 의 사이클들의 수를 포함한다. 타이밍 정보는 또한 동기화 신호 (146) 의 논리 레벨 0 및 논리 레벨 1을 포함한다. 소스 RF 생성기 변수 정보의 예들은 소스 RF 생성기 (102) 의 동작의 상태 각각에 대한, 파라미터 레벨 또는 주파수 레벨과 같은 변수 레벨을 포함한다. 예시를 위해, 소스 RF 생성기 변수 정보는 소스 RF 생성기 (102) 에 의해 생성된 RF 신호 (152) 의 변수의 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 주파수 레벨들 및 전력 레벨들을 포함한다. 바이어스 RF 생성기 가변 정보의 예들은 바이어스 RF 생성기 (104) 의 동작의 상태 각각에 대한, 파라미터 레벨 또는 주파수 레벨과 같은 변수 레벨을 포함한다. 예시를 위해, 바이어스 RF 생성기 변수 정보는 바이어스 RF 생성기 (104) 에 의해 생성된 RF 신호 (168) 의 변수의 상태 S1a 내지 상태 Sna에 대한 주파수 레벨들 및 전력 레벨들을 포함한다.

[0305] 통신 제어기 (1302) 는 프로세서 데이터 (1311) 를 수신하고 프로세서 데이터 (1311) 를 갖는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1314) 을 생성하도록 프로세서 데이터 (1311) 를 임베딩하도록 EtherCAT 프로토콜을 적용하고, 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1314) 을 EtherCAT 케이블 (1304) 을 통해 소스 RF 생성기 (102) 의 포트 (1308) 로 전송한다. 소스 RF 생성기 (102) 의 통신 제어기는 포트 (1308) 를 통해 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1314) 을 수신하고 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1314) 로부터 소스 RF 생성기 변수 정보 및 동기화 신호 (146) 의 타이밍 정보를 식별하고, 소스 RF 생성기 변수 정보 및 타이밍 정보를 소스 RF 생성기 (102) 의 DSP (204) 로 전송한다.

[0306] 게다가, 소스 RF 생성기 (102) 의 통신 제어기는 소스 RF 생성기 측정된 정보와 같은 정보에 대한 요청을 소스 RF 생성기 (102) 의 DSP (204) 로 전송한다. 소스 RF 생성기 측정된 정보의 예는 소스 RF 생성기 (102) 의 DSP (204) 에 의해 결정되거나 식별된 인자를 포함한다. 소스 RF 생성기 (102) 의 DSP (204) 에 의해 식별된 인자의 예는 복소 전압 및 전류 또는 복소 전압 또는 복소 전력 또는 복소 전류 또는 복소 임피던스와 같은 기준을 포함한다. 이 기준은 RF 신호 (152) 의 상태 각각에 대해 센서에 의해 측정된다. 이 기준을 측정하는 센서는 소스 RF 생성기 (102) 내부 또는 외부에 위치되고 소스 RF 생성기 (102) 의 출력부 (154) 에 커플링된다. 복소 인자는 크기와 위상을 포함한다. 예를 들어, 복소 전압은 복소 전압의 크기 및 복소 전압의 위상을 포함한다. 복소 전압 및 전류는 전압의 크기, 전류의 크기, 및 전압과 전류 사이의 위상을 포함한다. 센서는 기준을 측정하고 이 기준을 소스 RF 생성기 (102) 의 DSP (204) 에 제공한다. 소스 RF 생성기 (102) 의 DSP (204) 는 RF 신호 (152) 의 상태 각각에 대해 측정된 기준으로부터 기준을 식별하고 그리고/또는 기준의 주파수를 결정한다. 예를 들어, 소스 RF 생성기 (102) 의 DSP (204) 는 기준의 주파수를 결정하기 위해 기준의 값들에 푸리에 변환을 적용한다. 기준의 주파수는 인자의 예이다.

[0307] 정보에 대한 요청을 수신하면, 소스 RF 생성기 (102) 의 DSP (204) 는 소스 RF 생성기 측정된 정보를 소스 RF 생성기 (102) 의 통신 제어기에 제공한다. 소스 RF 생성기 측정된 정보가 수신될 때, 소스 RF 생성기 (102) 의 통신 제어기는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1314) 내에 소스 RF 생성기 측정된 정보를 임베딩하고 소스 RF 생성기 (102) 의 포트 (1310) 및 EtherCAT 케이블 (1306) 을 통해 바이어스 RF 생성기 (104) 의 포트 (1312) 로 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1314) 을 전송한다.

[0308] 바이어스 RF 생성기 (104) 의 통신 제어기는 포트 (1312) 를 통해 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1314) 을 수신하고 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1314) 로부터 바이어스 RF 생성기 변수 정보 및 동기화 신호 (146) 의 타이밍 정보를 식별하고, 바이어스 RF 생성기 변수 정보 및 타이밍 정보를 바이어스 RF 생성기 (104) 의 DSP (204) 로 전송한다.

[0309] 게다가, 바이어스 RF 생성기 (104) 의 통신 제어기는 바이어스 RF 생성기 측정된 정보와 같은 정보에 대한 요청을 바이어스 RF 생성기 (104) 의 DSP (204) 로 전송한다. 바이어스 RF 생성기 측정된 정보의 예는 바이어스 RF 생성기 (104) 의 DSP (204) 에 의해 결정되거나 식별된 인자를 포함한다. 바이어스 RF 생성기 (104) 의 DSP (204) 에 의해 식별된 인자의 예는 복소 전압 및 전류 또는 복소 전압 또는 복소 전력 또는 복소 전류 또는 복소 임피던스와 같은 기준을 포함한다. 이 기준은 RF 신호 (168) 의 상태 각각에 대해 센서에 의해 측정된다.

이 기준을 측정하는 센서는 바이어스 RF 생성기 (104) 내부 또는 외부에 위치되고 바이어스 RF 생성기 (104) 의 출력부 (160) 에 커플링된다. 센서는 기준을 측정하고 이 기준을 바이어스 RF 생성기 (104) 의 DSP (204) 에 제공한다. 바이어스 RF 생성기 (104) 의 DSP (204) 는 RF 신호 (168) 의 상태 각각에 대해 측정된 기준으로부터 기준을 식별하고 그리고 기준의 주파수를 결정한다. 예를 들어, 바이어스 RF 생성기 (104) 의 DSP (204) 는 기준의 주파수를 결정하기 위해 기준의 값들에 푸리에 변환을 적용한다.

[0310] 정보에 대한 요청을 수신하면, 바이어스 RF 생성기 (104) 의 DSP (204) 는 바이어스 RF 생성기 측정된 정보를 바이어스 RF 생성기 (104) 의 통신 제어기에 제공한다. 바이어스 RF 생성기 측정된 정보가 수신될 때, 바이어스 RF 생성기 (104) 의 통신 제어기는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1314) 내에 소스 RF 생성기 측정된 정보를 임베딩하고 바이어스 RF 생성기 (104) 의 포트 (1312) 및 EtherCAT 케이블 (1306) 을 통해 소스 RF 생성기 (102) 의 포트 (1310) 로 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1314) 을 전송한다. 소스 RF 생성기 (102) 의 통신 제어기는 포트 (1310) 를 통해 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1314) 을 수신하고 호스트 컴퓨터 (106) 의 통신 제어기 (1302) 로 포트 (1308) 및 EtherCAT 케이블 (1304) 을 통해 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1314) 을 전송한다.

[0311] 호스트 컴퓨터 (106) 의 통신 제어기 (1302) 는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1314) 로부터 소스 RF 신호 (152) 의 변수의 상태 각각에 대한 소스 RF 생성기 측정된 정보 및 바이어스 RF 신호 (168) 의 변수의 상태 각각에 대해 바이어스 RF 생성기 측정된 정보를 획득하거나 추출하도록 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1314) 에 EtherCAT 프로토콜을 적용한다. 통신 제어기 (1302) 는 소스 RF 생성기 측정된 정보 및 바이어스 RF 생성기 측정된 정보를 프로세서 (118) 에 제공한다. 프로세서 (118) 는 소스 RF 생성기 측정된 정보 또는 바이어스 RF 생성기 측정된 정보 또는 이들의 조합에 기초하여, RF 신호 (152) 의 변수의 상태 각각 동안 소스 RF 생성기 (102) 의 변수 또는 RF 신호 (168) 의 변수의 상태 각각 동안 바이어스 RF 생성기 (104) 의 변수 또는 이들의 조합을 수정할지 여부를 결정한다. 프로세서 (118) 는 상태에 대한 소스 RF 생성기 (102) 의 수정된 변수에 기초하여 소스 RF 생성기 (102) 에 의해 생성된 RF 신호 (152) 의 변수의 상태 각각을 제어하고 그리고/또는 상태에 대한 바이어스 RF 생성기 (104) 의 수정된 변수에 기초하여 바이어스 RF 생성기 (104) 에 의해 생성된 RF 신호 (168) 의 변수의 상태 각각을 제어한다.

[0312] 일 실시 예에서, 소스 RF 생성기 (102) 내에 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1314) 을 저장하지 않고 바이어스 RF 생성기 (104) 내 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1314) 을 저장하지 않는다는 것을 주의해야 한다. 예를 들어, 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1314) 은 소스 RF 생성기 (102) 의 통신 제어기의 메모리 디바이스 내에서 일정한 운동 상태에 있고 그리고 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1314) 은 바이어스 RF 생성기 (104) 의 통신 제어기의 메모리 디바이스 내에서 일정한 운동 상태에 있다. 예시를 위해, 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1314) 은 소스 RF 생성기 (102) 의 통신 제어기의 레지스터들 중 일 레지스터로부터 또 다른 레지스터의 스트링으로 이동하는 한편, 소스 RF 생성기 변수 정보 및 소스 RF 생성기 측정된 정보는 소스 RF 생성기 (102) 의 통신 제어기와 소스 RF 생성기 (102) 의 DSP (204) 사이에서 전송된다. 또 다른 예시로서, 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1314) 은 바이어스 RF 생성기 (104) 의 통신 제어기의 레지스터들 중 일 레지스터로부터 또 다른 레지스터의 스트링으로 이동하는 한편, 바이어스 RF 생성기 변수 정보 및 바이어스 RF 생성기 측정된 정보는 바이어스 RF 생성기 (104) 의 통신 제어기와 바이어스 RF 생성기 (104) 의 DSP (204) 사이에서 전송된다.

[0313] 도 13b는 하나 이상의 EtherCAT 케이블들을 통해 플라즈마 시스템의 다양한 컴포넌트들 사이의 정보 전송을 예시하기 위한 시스템 (1350) 의 일 실시 예의 도면이다. 시스템 (1350) 은 호스트 컴퓨터 (106), 소스 RF 생성기 (102), 바이어스 RF 생성기 (104), 소스 매칭부 (108), 및 바이어스 매칭부 (110) 를 포함한다. 통신 제어기 (1302) 는 EtherCAT 케이블 (1306) 을 통해 바이어스 RF 생성기 (104) 의 포트 (1312) 에 커플링된다.

[0314] 프로세서 (118) 는 프로세서 데이터 (1311) 를 통신 제어기 (1302) 로 전송한다. 통신 제어기 (1302) 는 프로세서 데이터 (1311) 를 수신하고 동기화 신호 (146) 의 타이밍 정보 및 프로세서 데이터 (1311) 의 소스 RF 생성기 변수 정보를 갖는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1352) 을 생성하기 위해 동기화 신호 (146) 의 타이밍 정보 및 프로세서 데이터 (1311) 의 소스 RF 생성기 변수 정보를 임베딩하기 위해 EtherCAT 프로토콜을 적용하고, 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1352) 을 EtherCAT 케이블 (1304) 을 통해 소스 RF 생성기 (102) 의 포트 (1308) 로 전송한다. 소스 RF 생성기 (102) 의 통신 제어기는 포트 (1308) 를 통해 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1352) 을 수신하고 소스 RF 생성기 변수 정보를 식별하고 소스 RF 생성기 측정된 정보가 소스 RF 생성기 (102) 의 DSP (204) 로부터 수신될 때까지 도 13a를 참조하여 상기 기술된 바와 동일한 기능들을 수행한다. 소스 RF 생성기 측정된 정보가 수신될 때, 소스 RF 생성기 (102) 의 통신 제어기는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1352) 내에 소스 RF 생성기 측정된 정보를 임베딩하고 소스 RF 생성기 (102) 의 포트 (1308) 및

EtherCAT 케이블 (1306) 을 통해 호스트 컴퓨터 (106) 의 통신 제어기 (1302) 로 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1352) 을 전송한다.

[0315] 유사한 방식으로, 통신 제어기 (1302) 는 프로세서 데이터 (1311) 를 수신하고 동기화 신호 (146) 의 타이밍 정보 및 프로세서 데이터 (1311) 의 바이어스 RF 생성기 변수 정보를 갖는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1354) 을 생성하기 위해 동기화 신호 (146) 의 타이밍 정보 및 프로세서 데이터 (1311) 의 바이어스 RF 생성기 변수 정보를 임베딩하기 위해 EtherCAT 프로토콜을 적용하고, 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1354) 을 EtherCAT 케이블 (1306) 을 통해 바이어스 RF 생성기 (104) 의 포트 (1312) 로 전송한다. 바이어스 RF 생성기 (104) 의 통신 제어기는 포트 (1312) 를 통해 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1354) 을 수신하고 바이어스 RF 생성기 변수 정보를 식별하고 바이어스 RF 생성기 측정된 정보가 바이어스 RF 생성기 (104) 의 DSP (204) 로부터 수신될 때까지 도 13a를 참조하여 상기 기술된 바와 동일한 기능들을 수행한다. 바이어스 RF 생성기 측정된 정보가 수신될 때, 바이어스 RF 생성기 (104) 의 통신 제어기는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1354) 내에 소스 RF 생성기 측정된 정보를 임베딩하고 바이어스 RF 생성기 (104) 의 포트 (1312) 및 EtherCAT 케이블 (1306) 을 통해 호스트 컴퓨터 (106) 의 통신 제어기 (1302) 로 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1354) 을 전송한다.

[0316] 호스트 컴퓨터 (106) 의 통신 제어기 (1302) 는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1352) 로부터 소스 RF 생성기 측정된 정보를 획득하거나 추출하도록 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1352) 에 EtherCAT 프로토콜을 적용한다. 통신 제어기 (1302) 는 소스 RF 생성기 측정된 정보를 프로세서 (118) 에 제공한다.

[0317] 유사하게, 호스트 컴퓨터 (106) 의 통신 제어기 (1302) 는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1354) 로부터 바이어스 RF 생성기 측정된 정보를 획득하거나 추출하도록 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1354) 에 EtherCAT 프로토콜을 적용한다. 통신 제어기 (1302) 는 바이어스 RF 생성기 측정된 정보를 프로세서 (118) 에 제공한다. 프로세서 (118) 는 도 13a를 참조하여 상기 기술된 바와 동일한 기능들을 수행한다.

[0318] 일 실시 예에서, 소스 RF 생성기 (102) 내에 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1352) 을 저장하지 않고 바이어스 RF 생성기 (104) 내 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1354) 을 저장하지 않는다는 것을 주의해야 한다. 예를 들어, 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1352) 은 소스 RF 생성기 (102) 의 통신 제어기의 메모리 디바이스 내에서 일정한 운동 상태에 있고 그리고 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1354) 은 바이어스 RF 생성기 (104) 의 통신 제어기의 메모리 디바이스 내에서 일정한 운동 상태에 있다. 예시를 위해, 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1352) 은 소스 RF 생성기 (102) 의 통신 제어기의 레지스터들 중 일 레지스터로부터 또 다른 레지스터의 스트링으로 이동하는 한편, 소스 RF 생성기 변수 정보 및 소스 RF 생성기 측정된 정보는 소스 RF 생성기 (102) 의 통신 제어기와 소스 RF 생성기 (102) 의 DSP (204) 사이에서 전송된다. 또 다른 예시로서, 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1352) 은 바이어스 RF 생성기 (104) 의 통신 제어기의 레지스터들 중 일 레지스터로부터 또 다른 레지스터의 스트링으로 이동하는 한편, 바이어스 RF 생성기 변수 정보 및 바이어스 RF 생성기 측정된 정보는 바이어스 RF 생성기 (104) 의 통신 제어기와 바이어스 RF 생성기 (104) 의 DSP (204) 사이에서 전송된다.

[0319] 도 14는 EtherCAT 프레임 (1400) 의 일 실시 예의 도면이다. EtherCAT 프레임 (1400) 은 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1314) (도 13a) 중 어느 하나의 예이다. 또한, EtherCAT 프레임 (1400) 은 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1352) (도 13b) 중 어느 하나 및 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1354) (도 13b) 중 어느 하나의 예이다.

[0320] 일 실시 예에서, 용어들 프레임 및 패킷은 본 명세서에서 상호 교환 가능하게 사용된다. EtherCAT 프레임 (1400) 은 필드들 (1401, 1403, 1402, 1404, 1406, 1408, 1410, 1412, 1414, 1416, 및 1418) 을 포함한다.

[0321] 필드 (1401) 는 EtherCAT 프레임 (1400) 의 시작을 식별하는 프레임의 시작 구분 기호 (delimiter) 를 포함한다. 필드 (1402) 는 EtherCAT 프레임 (1400) 의 소스 어드레스를 포함한다. 소스 어드레스의 예는 EtherCAT 프레임 (1400) 을 생성하는 호스트 컴퓨터 (106) 의 통신 제어기 (1302) 의 어드레스이다. EtherCAT 프레임 (1400) 의 필드 (1403) 는 EtherCAT 프레임 (1400) 이 플라즈마 시스템의 다양한 컴포넌트들로 순환되는 순서를 포함한다. 순서의 예는 통신 제어기 (1302) 로부터 소스 RF 생성기 (102) 로 바이어스 RF 생성기 (104) 로, 바이어스 RF 생성기 (104) 로부터 다시 소스 RF 생성기 (102) 로, 그리고 소스 RF 생성기 (102) 로부터 프로세서 (118) 로의 시퀀스를 포함한다. 순서의 또 다른 예는 통신 제어기 (1302) 로부터 소스 RF 생성기 (102) 로, 그리고 다시 소스 RF 생성기 (102) 로부터 통신 제어기 (1302) 로의 시퀀스를 포함한다.

[0322] 필드 (1404) 는 EtherCAT 프레임 (1400) 의 목적지 어드레스를 포함한다. 목적지 어드레스의 예는 호스트 컴퓨터 (106) 의 통신 제어기 (1302) 의 어드레스이고 통신 제어기 (1302) 의 어드레스는 EtherCAT 프레임 (1400)

의 최종 목적지이다.

[0323] 필드 (1406) 는 플라즈마 시스템의 다른 RF 생성기들로부터 소스 RF 생성기 (102) 를 구별하기 위해 소스 RF 생성기 (102) (도 13a) 를 식별하는, 어드레스, 예컨대 미디어 액세스 제어 (MAC) 어드레스를 포함한다. 필드 (1408) 는 소스 RF 생성기 변수 정보를 포함하고 필드 (1410) 는 소스 RF 생성기 측정된 정보를 포함한다. 소스 RF 생성기 (102) 를 식별하는 어드레스는 필드 (1408) 내의 데이터가 소스 RF 생성기 (102) 의 DSP (204) 로 제공된다는 것을 결정하고 소스 RF 생성기 (102) 의 DSP (204) 로부터 수신된 데이터가 필드 (1410) 에 저장된다는 것을 결정하도록 소스 RF 생성기 (102) 의 통신 제어기에 의해 사용된다.

[0324] 필드 (1412) 는 플라즈마 시스템의 다른 RF 생성기들로부터 바이어스 RF 생성기 (104) 를 구별하기 위해 바이어스 RF 생성기 (104) (도 13a) 를 식별하는 어드레스, 예컨대, MAC 어드레스를 포함한다. 필드 (1414) 는 바이어스 RF 생성기 변수 정보를 포함하고 필드 (1416) 는 바이어스 RF 생성기 측정된 정보를 포함한다. 바이어스 RF 생성기 (104) 를 식별하는 어드레스는 필드 (1414) 내의 데이터가 바이어스 RF 생성기 (104) 의 DSP (204) 로 제공된다는 것을 결정하고 바이어스 RF 생성기 (104) 의 DSP (204) 로부터 수신된 데이터가 필드 (1416) 에 저장된다는 것을 결정하도록 바이어스 RF 생성기 (104) 의 통신 제어기에 의해 사용된다.

[0325] 필드 (1418) 는 필드들 (1408 및 1414) 중 하나 이상에 대한 CRC (cyclic redundancy check) 를 포함한다. 예를 들어, CRC는 통신 제어기 (1302) (도 13a) 에 의해 전송된, 필드 (1408) 내 소스 RF 생성기 변수 정보가 EtherCAT 프레임 (1400) 의 유효성을 결정하기 위해 통신 제어기 (1302) 에 의해 수신된, 필드 (1408) 내 소스 RF 생성기 변수 정보와 매칭하는지 여부를 결정하기 위해 EtherCAT 프레임 (1400) 을 수신한 후 통신 제어기 (1302) 에 의해 수행된다.

[0326] 일 실시 예에서, 필드들 (1406, 1408 및 1410) 또는 필드들 (1412, 1414, 및 1416) 은 EtherCAT 프레임 (1400) 에 포함되지 않는다. 예를 들어, EtherCAT 프레임 (1400) 이 소스 RF 생성기 (102) (도 13b) 로 전송되는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1452) 중 어느 하나의 예일 때, EtherCAT 프레임 (1400) 은 바이어스 RF 생성기 (104) 에 대한 필드들 (1412, 1414, 및 1416) 을 배제한다.

[0327] 일 실시 예에서, 필드들 (1406, 1408 및 1410) 또는 필드들 (1412, 1414, 및 1416) 은 EtherCAT 프레임 (1400) 에 포함되지만 비어 있다. 예를 들어, EtherCAT 프레임 (1400) 이 소스 RF 생성기 (102) (도 13b) 로 전송되는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1452) 중 어느 하나의 예일 때, EtherCAT 프레임 (1400) 은 바이어스 RF 생성기 (104) 에 대한 필드들 (1412, 1414, 및 1416) 의 임의의 데이터 또는 정보를 배제한다.

[0328] 도 15a는 하나 이상의 EtherCAT 케이블들을 통해 플라즈마 시스템의 다양한 컴포넌트들 사이의 정보 전송을 예시하기 위한 시스템 (1500) 의 일 실시 예의 도면이다. 시스템 (1500) 은 호스트 컴퓨터 (106), 소스 RF 생성기 (102), 바이어스 RF 생성기 (104), 소스 매칭부 (108), 및 바이어스 매칭부 (110) 를 포함한다.

[0329] 소스 RF 생성기 (102) 의 포트 (1310) 는 EtherCAT 케이블 (1306) 을 통해 소스 매칭부 (108) 의 포트 (1502) 에 커플링된다. 또한, 소스 매칭부 (108) 의 또 다른 포트 (1505) 는 EtherCAT 케이블 (1504) 을 통해 바이어스 RF 생성기 (104) 의 포트 (1312) 에 커플링된다. 바이어스 RF 생성기 (104) 의 또 다른 포트 (1506) 는 EtherCAT 케이블 (1508) 을 통해 바이어스 매칭부 (110) 의 포트 (1510) 에 커플링된다.

[0330] 프로세서 (118) 는 소스 RF 생성기 (102) 및 바이어스 RF 생성기 (104) 에 대한 프로세서 데이터 (1302) (도 13a) 를 포함하고 바이어스 매칭 데이터 또는 소스 매칭 데이터, 또는 이들의 조합과 같은 매칭 데이터를 포함하는 프로세서 데이터 (1501) 를 전송한다. 프로세서 데이터 (1501) 는 통신 제어기 (1302) 로 전송된다. 소스 매칭 데이터의 예는 소스 매칭부 (108) 의 하나 이상의 컴포넌트들의 하나 이상의 사양들을 포함하고 바이어스 매칭 데이터의 예는 바이어스 매칭부 (110) 의 하나 이상의 컴포넌트들의 하나 이상의 사양들을 포함한다. 소스 매칭부 (108) 의 하나 이상의 컴포넌트들의 하나 이상의 사양들의 예들은 소스 매칭부 (108) 의 커패시터의 커패시턴스 값 및 소스 매칭부 (108) 의 인덕터의 인덕턴스 값을 포함한다. 바이어스 매칭부 (110) 의 하나 이상의 컴포넌트들의 하나 이상의 사양들의 예들은 바이어스 매칭부 (110) 의 커패시터의 커패시턴스 값 및 바이어스 매칭부 (110) 의 인덕터의 인덕턴스 값을 포함한다.

[0331] 통신 제어기 (1302) 는 프로세서 데이터 (1501) 를 수신하고 프로세서 데이터 (1501) 를 갖는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1512) 을 생성하도록 프로세서 데이터 (1501) 를 임베딩하도록 EtherCAT 프로토콜을 적용하고, 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1512) 을 EtherCAT 케이블 (1304) 을 통해 소스 RF 생성기 (102) 의 포트 (1308) 로 전송한다. 소스 RF 생성기 (102) 의 통신 제어기는 포트 (1308) 를 통해 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1512) 을 수신하고 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1512) 로부터 소스 RF 생성기 변수 정보 및 동기화

신호 (146) 의 타이밍 정보를 식별하고, 소스 RF 생성기 변수 정보 및 타이밍 정보를 소스 RF 생성기 (102) 의 DSP (204) 로 전송한다.

[0332] 게다가, 소스 RF 생성기 (102) 의 통신 제어기는 RF 신호 (152) 의 소스 RF 생성기 측정된 정보 및 소스 상태 정보와 같은 정보에 대한 요청을 소스 RF 생성기 (102) 의 DSP (204) 로 전송한다. RF 신호 (152) 의 소스 상태 정보의 예는 RF 신호 (152) 의 상태들의 타이밍 정보 및/또는 상태 전이들의 타이밍 정보를 포함한다. 예시로서, RF 신호 (152) 의 상태들의 타이밍 정보는 RF 신호 (152) 가 변수 레벨을 변화시키는 시간 및 RF 신호 (152) 가 변수 레벨로 유지되는 시간을 포함한다. 더 예시하기 위해, 도 10b를 참조하면, RF 신호 (152) 의 상태 S4a의 타이밍 정보는 RF 신호 (152) 의 변수 (1006) 가 변수 레벨 V2a로부터 변수 레벨 V8a로 전이하는 시간 t0, RF 신호 (152) 의 변수 (1006) 가 변수 레벨 V8a로 유지되는 시간 t0과 시간 t2.5 사이의 시간 기간, RF 신호 (152) 의 변수 (1006) 가 변수 레벨 V8a로부터 0의 변수 레벨로 전이하는 시간 t2.5, 변수 (1006) 가 변수 레벨 0으로부터 변수 레벨 V6a로 전이하는 시간 t5, RF 신호 (152) 의 변수 (1006) 가 변수 레벨 V6a로 유지되는 시간 t5와 시간 t7.5 사이의 시간 기간, 변수 (1006) 가 변수 레벨 V6a로부터 변수 레벨 V2a로 전이하는 시간 t7.5, 및 RF 신호 (152) 의 변수 (1006) 가 변수 레벨 V2a로 남아 있는 시간 t7.5와 시간 t10 사이의 시간 기간을 포함한다.

[0333] 또 다른 예시로서, 도 12b를 참조하면, RF 신호 (152) 의 상태 S4a의 타이밍 정보는 RF 신호 (152) 의 변수 (1206) 가 변수 레벨 V2a로부터 변수 레벨 V8a로 전이하는 시간 t0 및 RF 신호 (152) 의 변수 (1206) 가 변수 레벨 V8a로 유지되는 시간 t0과 시간 t1.5 사이의 시간 기간을 포함한다. RF 신호 (152) 의 변수 (1206) 의 상태 전이 ST4a의 타이밍 정보는 RF 신호 (152) 의 변수가 변수 레벨 V8a로부터 변수 레벨 V6a로의 전이를 시작하는 시간 t1.5 및 RF 신호 (152) 의 변수 (1206) 가 전이를 중단하는 시간 t2.5를 포함한다. 유사하게, RF 신호 (152) 의 변수 (1206) 의 상태 전이 ST3a의 타이밍 정보는 RF 신호 (152) 의 변수 (1206) 가 변수 레벨 V6a로부터 변수 레벨 V4a 로의 전이를 시작하는 시간 t4, RF 신호 (152) 의 변수 (1206) 가 전이를 중단하는 시간 t5를 포함하고, RF 신호 (152) 의 변수 (1206) 의 상태 전이 ST2a의 타이밍 정보는 RF 신호 (152) 의 변수 (1206) 가 변수 레벨 V4a로부터 변수 레벨 V2a로 전이를 시작하는 시간 t6.5 및 RF 신호 (152) 의 변수 (1206) 가 전이를 중단하는 시간 t7.5를 포함하고, RF 신호 (152) 의 변수 (1206) 의 상태 전이 ST4a의 타이밍 정보는 RF 신호 (152) 의 변수 (1206) 가 변수 레벨 V2a로부터 변수 레벨 V8a로의 전이를 시작하는 시간 t9 및 RF 신호 (152) 의 변수 (1206) 가 전이를 중단하는 시간 t10을 포함한다.

[0334] 정보에 대한 요청을 수신하면, 소스 RF 생성기 (102) 의 DSP (204) 는 소스 RF 생성기 측정된 정보 및 소스 상태 정보를 소스 RF 생성기 (102) 의 통신 제어기에 제공한다. 소스 RF 생성기 측정된 정보 및 소스 상태 정보가 수신될 때, 소스 RF 생성기 (102) 의 통신 제어기는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1512) 내에 소스 RF 생성기 측정된 정보 및 소스 상태 정보를 임베딩하고 소스 RF 생성기 (102) 의 포트 (1310) 및 EtherCAT 케이블 (1306) 을 통해 바이어스 소스 매칭부 (108) 의 포트 (1502) 로 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1512) 을 전송한다.

[0335] 소스 매칭부 (108) 의 통신 제어기는 소스 매칭부 (108) 의 포트 (1502) 를 통해 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1512) 을 수신하고, 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1512) 로부터 소스 매칭 데이터 및 소스 상태 정보를 추출하고, 소스 매칭 데이터 및 소스 상태 정보를 소스 매칭부 (108) 의 프로세서로 전송한다. 소스 매칭부 (108) 의 프로세서는 소스 매칭 데이터 및 소스 상태 정보에 따라 소스 매칭부 (108) 의 하나 이상의 컴포넌트들을 제어한다. 예를 들어, 소스 매칭부 (108) 의 프로세서는 상태 S1a 내지 상태 Sna 중 하나 이상 동안 소스 매칭부 (108) 의 컴포넌트들을 제어하지 않고, 상태 S1a 내지 상태 Sna의 나머지 동안 컴포넌트들을 제어한다. 소스 매칭부 (108) 의 프로세서는 소스 매칭 데이터 내에서 커패시턴스 및 인덕턴스 값들을 달성하도록 소스 매칭부 (108) 의 컴포넌트들을 제어한다.

[0336] 또한, 소스 매칭부 (108) 의 통신 제어기는 소스 매칭부 측정된 정보와 같은 정보에 대한 요청을 소스 매칭부 (108) 의 프로세서로 전송한다. 소스 매칭 측정된 정보의 예는 소스 매칭부 (108) 의 컴포넌트 또는 소스 매칭부 (108) 의 출력부 (158) 에 커플링된 센서에 의해 측정된 기준을 포함한다. 센서는 소스 매칭부 (108) 내부 또는 외부에 위치된다. 정보에 대한 요청을 수신하면, 소스 매칭부 (108) 의 프로세서는 소스 매칭부 (108) 의 통신 제어기에 소스 매칭부 측정된 정보를 제공한다. 소스 매칭부 (108) 의 통신 제어기는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1512) 내에 소스 매칭 측정된 정보를 임베딩하고 포트 (1505) 및 EtherCAT 케이블 (1504) 을 통해 바이어스 RF 생성기 (104) 의 포트 (1312) 로 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1512) 을 전송한다.

[0337] 바이어스 RF 생성기 (104) 의 통신 제어기는 포트 (1312) 를 통해 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1512) 을 수

신하고 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1512) 로부터 바이어스 RF 생성기 변수 정보 및 동기화 신호 (146) 의 타이밍 정보를 식별하고, 바이어스 RF 생성기 변수 정보 및 타이밍 정보를 바이어스 RF 생성기 (104) 의 DSP (204) 로 전송한다.

[0338] 게다가, 바이어스 RF 생성기 (104) 의 통신 제어기는 RF 신호 (168) 의 바이어스 RF 생성기 측정된 정보 및 바이어스 상태 정보와 같은 정보에 대한 요청을 바이어스 RF 생성기 (104) 의 DSP (204) 로 전송한다. RF 신호 (168) 의 바이어스 상태 정보의 예는 RF 신호 (168) 의 상태들의 타이밍 정보 및/또는 상태 전이들의 타이밍 정보를 포함한다. 예시로서, RF 신호 (168) 의 상태들의 타이밍 정보는 RF 신호 (168) 가 변수 레벨을 변화시키는 시간 및 RF 신호 (168) 가 변수 레벨로 유지되는 시간을 포함한다. 더 예시하기 위해, 도 10b를 참조하면, RF 신호 (168) 의 상태 S4a의 타이밍 정보는 RF 신호 (168) 의 변수 (1006) 가 변수 레벨 V2a로부터 변수 레벨 V8a로 전이하는 시간 t0, RF 신호 (168) 의 변수 (1006) 가 변수 레벨 V8a로 유지되는 시간 t0과 시간 t2.5 사이의 시간 기간, RF 신호 (168) 의 변수 (1006) 가 변수 레벨 V8a로부터 0의 변수 레벨로 전이하는 시간 t2.5, 변수 (1006) 가 변수 레벨 0으로부터 변수 레벨 V6a로 전이하는 시간 t5, RF 신호 (168) 의 변수 (1006) 가 변수 레벨 V6a로 유지되는 시간 t5와 시간 t7.5 사이의 시간 기간, 변수 (1006) 가 변수 레벨 V6a로부터 변수 레벨 V2a로 전이하는 시간 t7.5, 및 RF 신호 (168) 의 변수 (1006) 가 변수 레벨 V2a로 남아 있는 시간 t7.5와 시간 t10 사이의 시간 기간을 포함한다.

[0339] 또 다른 예시로서, 도 12b를 참조하면, RF 신호 (168) 의 상태 S4a의 타이밍 정보는 RF 신호 (168) 의 변수 (1206) 가 변수 레벨 V2a로부터 변수 레벨 V8a로 전이하는 시간 t0 및 RF 신호 (168) 의 변수 (1206) 가 변수 레벨 V8a로 유지되는 시간 t0과 시간 t1.5 사이의 시간 기간을 포함한다. RF 신호 (168) 의 변수 (1206) 의 상태 전이 ST4a의 타이밍 정보는 RF 신호 (168) 의 변수가 변수 레벨 V8a로부터 변수 레벨 V6a로의 전이를 시작하는 시간 t1.5 및 RF 신호 (168) 의 변수 (1206) 가 전이를 중단하는 시간 t2.5를 포함한다. 유사하게, RF 신호 (168) 의 변수 (1206) 의 상태 전이 ST3a의 타이밍 정보는 RF 신호 (168) 의 변수 (1206) 가 변수 레벨 V6a로부터 변수 레벨 V4a 로의 전이를 시작하는 시간 t4, RF 신호 (168) 의 변수 (1206) 가 전이를 중단하는 시간 t5를 포함하고, RF 신호 (168) 의 변수 (1206) 의 상태 전이 ST2a의 타이밍 정보는 RF 신호 (168) 의 변수 (1206) 가 변수 레벨 V4a로부터 변수 레벨 V2a로 전이를 시작하는 시간 t6.5 및 RF 신호 (168) 의 변수 (1206) 가 전이를 중단하는 시간 t7.5를 포함하고, RF 신호 (168) 의 변수 (1206) 의 상태 전이 ST4a의 타이밍 정보는 RF 신호 (168) 의 변수 (1206) 가 변수 레벨 V2a로부터 변수 레벨 V8a로의 전이를 시작하는 시간 t9 및 RF 신호 (168) 의 변수 (1206) 가 전이를 중단하는 시간 t10을 포함한다.

[0340] 정보에 대한 요청을 수신하면, 바이어스 RF 생성기 (104) 의 DSP (204) 는 바이어스 RF 생성기 측정된 정보 및 바이어스 상태 정보를 바이어스 RF 생성기 (104) 의 통신 제어기에 제공한다. 바이어스 RF 생성기 측정된 정보 및 바이어스 상태 정보가 수신될 때, 바이어스 RF 생성기 (104) 의 통신 제어기는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1512) 내에 소스 RF 생성기 측정된 정보 및 바이어스 상태 정보를 임베딩하고 바이어스 RF 생성기 (104) 의 포트 (1506) 및 EtherCAT 케이블 (1508) 을 통해 바이어스 매칭부 (110) 의 포트 (1510) 로 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1512) 을 전송한다.

[0341] 바이어스 매칭부 (110) 의 통신 제어기는 바이어스 매칭부 (110) 의 포트 (1510) 를 통해 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1512) 을 수신하고, 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1512) 로부터 바이어스 매칭 데이터 및 바이어스 상태 정보를 추출하고, 바이어스 매칭 데이터 및 바이어스 상태 정보를 바이어스 매칭부 (110) 의 프로세서로 전송한다. 바이어스 매칭부 (110) 의 프로세서는 바이어스 매칭 데이터 및 바이어스 상태 정보에 따라 바이어스 매칭부 (110) 의 하나 이상의 컴포넌트들을 제어한다. 예를 들어, 바이어스 매칭부 (110) 의 프로세서는 상태 S1a 내지 상태 Sna 중 하나 이상 동안 바이어스 매칭부 (110) 의 컴포넌트들을 제어하지 않고, 상태 S1a 내지 상태 Sna의 나머지 동안 컴포넌트들을 제어한다. 바이어스 매칭부 (110) 의 프로세서는 바이어스 매칭 데이터 내의 커패시턴스 값 및 인덕턴스 값을 달성하도록 바이어스 매칭부 (110) 의 컴포넌트들을 제어한다.

[0342] 또한, 바이어스 매칭부 (110) 의 통신 제어기는 바이어스 매칭부 측정된 정보와 같은 정보에 대한 요청을 바이어스 매칭부 (110) 의 프로세서로 전송한다. 바이어스 매칭 측정된 정보의 예는 바이어스 매칭부 (110) 의 컴포넌트 또는 바이어스 매칭부 (110) 의 출력부 (164) 에 커플링된 센서에 의해 측정된 기준을 포함한다. 센서는 바이어스 매칭부 (110) 내부 또는 외부에 위치된다. 정보에 대한 요청을 수신하면, 바이어스 매칭부 (110) 의 프로세서는 바이어스 매칭부 (110) 의 통신 제어기에 바이어스 매칭부 측정된 정보를 제공한다. 바이어스 매칭부 (110) 의 통신 제어기는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1512) 내에 바이어스 매칭 측정된 정보를 임베딩하고 포트 (1510) 및 EtherCAT 케이블 (1508) 을 통해 바이어스 RF 생성기 (104) 의 포트 (1506) 로 하나 이

상의 EtherCAT 프레임들 (1512) 을 전송한다.

[0343] 바이어스 RF 생성기 (104) 의 통신 제어기는 바이어스 매칭부 (110) 로부터 포트 (1506) 를 통해 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1512) 을 수신하고 소스 매칭부 (108) 의 포트 (1505) 로 포트 (1312) 및 EtherCAT 케이블 (1504) 을 통해 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1512) 을 전송한다. 소스 매칭부 (108) 의 통신 제어기는 바이어스 RFG (104) 로부터 포트 (1505) 를 통해 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1512) 을 수신하고 포트 (1502) 및 EtherCAT 케이블 (1306) 및 포트 (1310) 를 통해 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1512) 을 소스 RF 생성기 (102) 로 전송한다. 소스 RF 생성기 (102) 의 통신 제어기는 포트 (1310) 를 통해 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1512) 을 수신하고 호스트 컴퓨터 (106) 의 통신 제어기 (1302) 로 포트 (1308) 및 EtherCAT 케이블 (1304) 을 통해 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1512) 을 전송한다.

[0344] 호스트 컴퓨터 (106) 의 통신 제어기 (1302) 는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1314) 로부터 소스 RF 생성기 측정된 정보 및 바이어스 RF 생성기 측정된 정보를 획득하거나 추출하도록 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1512) 에 EtherCAT 프로토콜을 적용한다. 통신 제어기 (1302) 는 소스 RF 생성기 측정된 정보 및 바이어스 RF 생성기 측정된 정보를 프로세서 (118) 에 제공한다.

[0345] 도 15b는 하나 이상의 EtherCAT 케이블들을 통해 플라즈마 시스템의 다양한 컴포넌트들 사이의 정보 전송을 예시하기 위한 시스템 (1550) 의 일 실시 예의 도면이다. 시스템 (1550) 은 호스트 컴퓨터 (106), 소스 RF 생성기 (102), 바이어스 RF 생성기 (104), 소스 매칭부 (108), 및 바이어스 매칭부 (110) 를 포함한다. 통신 제어기 (1302) 는 EtherCAT 케이블 (1508) 을 통해 소스 매칭부 (108) 의 포트 (1505) 에 커플링되고 통신 제어기 (1302) 는 EtherCAT 케이블 (1504) 을 통해 바이어스 매칭부 (110) 의 포트 (1510) 에 커플링된다.

[0346] 프로세서 (118) 는 프로세서 데이터 (1501) 를 통신 제어기 (1302) 로 전송한다. 통신 제어기 (1302) 는 프로세서 데이터 (1501) 를 수신하고 동기화 신호 (146) 의 타이밍 정보 및 프로세서 데이터 (1501) 의 소스 매칭 데이터를 갖는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1552) 을 생성하기 위해 동기화 신호 (146) 의 타이밍 정보 및 프로세서 데이터 (1501) 의 소스 매칭 데이터를 임베딩하기 위해 EtherCAT 프로토콜을 적용하고, 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1552) 을 EtherCAT 케이블 (1508) 을 통해 소스 매칭부 (108) 의 포트 (1505) 로 전송한다. 소스 매칭부 (108) 의 통신 제어기는 포트 (1505) 를 통해 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1552) 을 수신하고 소스 매칭 데이터를 식별하고 소스 매칭부 측정된 정보가 소스 매칭부 (108) 의 프로세서로부터 수신될 때까지 도 15a를 참조하여 상기 기술된 바와 동일한 기능들을 수행한다. 소스 매칭부 측정된 정보가 수신될 때, 소스 매칭부 (108) 의 통신 제어기는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1552) 내에 소스 매칭부 측정된 정보를 임베딩하고 호스트 컴퓨터 (106) 의 통신 제어기 (1302) 로 소스 매칭부 (108) 의 포트 (1505) 및 EtherCAT 케이블 (1508) 을 통해 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1552) 을 전송한다.

[0347] 유사한 방식으로, 통신 제어기 (1302) 는 프로세서 데이터 (1501) 를 수신하고 동기화 신호 (146) 의 타이밍 정보 및 프로세서 데이터 (1501) 의 바이어스 매칭 데이터를 갖는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1554) 을 생성하기 위해 동기화 신호 (146) 의 타이밍 정보 및 프로세서 데이터 (1501) 의 바이어스 매칭 데이터를 임베딩하기 위해 EtherCAT 프로토콜을 적용하고, 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1554) 을 EtherCAT 케이블 (1504) 을 통해 바이어스 매칭부 (110) 의 포트 (1510) 로 전송한다. 바이어스 매칭부 (110) 의 통신 제어기는 포트 (1510) 를 통해 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1554) 을 수신하고 바이어스 매칭 데이터를 식별하고 바이어스 매칭부 측정된 정보가 바이어스 매칭부 (110) 의 프로세서로부터 수신될 때까지 도 15a를 참조하여 상기 기술된 바와 동일한 기능들을 수행한다. 바이어스 매칭부 측정된 정보가 수신될 때, 바이어스 매칭부 (110) 의 통신 제어기는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1554) 내에 바이어스 매칭부 측정된 정보를 임베딩하고 호스트 컴퓨터 (106) 의 통신 제어기 (1302) 로 바이어스 매칭부 (110) 의 포트 (1510) 및 EtherCAT 케이블 (1504) 을 통해 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1554) 을 전송한다.

[0348] 호스트 컴퓨터 (106) 의 통신 제어기 (1302) 는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1552) 로부터 소스 매칭부 측정된 정보를 획득하거나 추출하도록 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1552) 에 EtherCAT 프로토콜을 적용한다. 통신 제어기 (1302) 는 소스 매칭부 측정된 정보를 프로세서 (118) 에 제공한다. 소스 매칭부 측정된 정보를 수신하면, 프로세서 (118) 는 소스 매칭부 측정된 정보에 기초하여 소스 RF 생성기 (102), 소스 매칭부 (108), 바이어스 RF 생성기 (104), 및 바이어스 매칭부 (110) 중 하나 이상을 제어한다.

[0349] 유사하게, 호스트 컴퓨터 (106) 의 통신 제어기 (1302) 는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1554) 로부터 바이어스 매칭부 측정된 정보를 획득하거나 추출하도록 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1554) 에 EtherCAT 프로토콜을 적용한다. 통신 제어기 (1302) 는 바이어스 매칭부 측정된 정보를 프로세서 (118) 에 제공한다. 바이어

스 매칭부 측정된 정보를 수신하면, 프로세서 (118) 는 바이어스 매칭 측정된 정보에 기초하여 소스 RF 생성기 (102), 소스 매칭부 (108), 바이어스 RF 생성기 (104), 및 바이어스 매칭부 (110) 중 하나 이상을 제어한다.

[0350] 일 실시 예에서, 소스 매칭부 (108) 내에 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1552) 을 저장하지 않고 바이어스 매칭부 (110) 내 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1554) 을 저장하지 않는다는 것을 주의해야 한다. 예를 들어, 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1552) 은 소스 RF 매칭부 (108) 내에서 일정한 운동 상태에 있고 그리고 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1554) 은 바이어스 매칭부 (110) 내에서 일정한 운동 상태에 있다. 예시를 위해, 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1552) 은, 소스 매칭 데이터 및 소스 매칭부 측정된 정보를 소스 매칭부 (108) 의 통신 제어기와 소스 매칭부 (108) 의 프로세서 사이에서 전송하는 동안 소스 매칭부 (108) 의 통신 제어기의 메모리 디바이스 내에서 레지스터들의 스트링 중 하나로부터 또 다른 레지스터로 이동한다. 또 다른 예시로서, 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1554) 은, 바이어스 매칭 데이터 및 바이어스 매칭부 측정된 정보가 바이어스 매칭부 (110) 의 통신 제어기와 바이어스 매칭부 (110) 의 프로세서 사이에서 전송되는 동안 바이어스 매칭부 (110) 의 통신 제어기의 메모리 디바이스 내에서 레지스터들의 스트링 중 일 레지스터로부터 또 다른 레지스터로 이동한다.

[0351] 도 16은 EtherCAT 프레임 (1600) 의 일 실시 예의 도면이다. EtherCAT 프레임 (1600) 은 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1512) (도 15a) 중 어느 하나의 예이다. EtherCAT 프레임 (1600) 은 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1552) (도 15b) 중 어느 하나의 예이다. 또한, EtherCAT 프레임 (1600) 은 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1554) (도 15b) 중 어느 하나의 예이다.

[0352] EtherCAT 프레임 (1600) 은 복수의 필드들 (1401, 1403, 1402, 1404, 1406, 1408, 1410, 1602, 1604, 1606, 1608, 1412, 1414, 1416, 1610, 1612, 1614, 1616, 및 1418) 을 포함한다. 필드 (1401) 는 EtherCAT 프레임 (1600) 의 시작을 식별하는 프레임의 시작 구분 기호를 포함한다. 필드 (1402) 는 EtherCAT 프레임 (1600) 의 소스 어드레스를 포함한다. 소스 어드레스의 예는 EtherCAT 프레임 (1600) 을 생성하는 호스트 컴퓨터 (106) 의 어드레스이다.

[0353] EtherCAT 프레임 (1600) 의 필드 (1403) 는 EtherCAT 프레임 (1600) 이 플라즈마 시스템의 다양한 컴포넌트들로 순환되는 순서를 포함한다. EtherCAT 프레임 (1600) 이 순환되는 순서의 예는 통신 제어기 (1302) 로부터 소스 RF 생성기 (102) 로 소스 매칭부 (108) 로, 소스 매칭부 (108) 로부터 바이어스 RF 생성기 (104) 로, 바이어스 RF 생성기 (104) 로부터 바이어스 매칭부 (110) 로, 바이어스 매칭부 (110) 로부터 다시 바이어스 RF 생성기 (104) 로, 바이어스 RF 생성기 (104) 로부터 소스 매칭부 (108) 로, 소스 매칭부 (108) 로부터 소스 RF 생성기 (102) 로, 그리고 소스로부터 RF 생성기 (102) 로부터 통신 제어기 (1302) 로의 시퀀스를 포함한다. EtherCAT 프레임 (1600) 이 순환되는 순서의 또 다른 예는 통신 제어기 (1302) 로부터 소스 RF 생성기 (102) 로, 그리고 다시 소스 RF 생성기 (102) 로부터 통신 제어기 (1302) 로의 시퀀스를 포함한다.

[0354] 필드 (1404) 는 EtherCAT 프레임 (1600) 의 목적지 어드레스를 포함한다. 목적지 어드레스의 예는 호스트 컴퓨터 (106) 의 통신 제어기 (1302) 의 어드레스이고 통신 제어기 (1302) 의 어드레스는 EtherCAT 프레임 (1600) 의 최종 목적지이다.

[0355] 필드 (1602) 는 소스 상태 정보를 포함한다. 소스 RF 생성기 (102) 를 식별하는 어드레스는 소스 RF 생성기 (102) 의 DSP (204) 로부터 수신된 데이터가 필드 (1602) 에 저장된다는 것을 결정하도록 소스 RF 생성기 (102) 의 통신 제어기에 의해 사용된다.

[0356] 필드 (1604) 는 플라즈마 시스템의 다른 RF 생성기들로부터 소스 매칭부 (108) 를 구별하기 위해 소스 매칭부 (108) (도 13a) 를 식별하는, 소스 매칭부 (108) 의 MAC 어드레스와 같은, 어드레스를 포함한다. 필드 (1606) 는 소스 매칭 데이터를 포함하고, 필드 (1608) 는 소스 매칭부 측정된 정보를 포함한다. 소스 매칭부 (108) 를 식별하는 어드레스는 필드 (1606) 내의 데이터가 소스 매칭부 (108) 의 프로세서로 제공되고 소스 매칭부 (108) 의 프로세서로부터 수신된 데이터가 필드 (1608) 에 저장된다는 것을 결정하도록 소스 매칭부 (108) 의 통신 제어기에 의해 사용된다.

[0357] 필드 (1610) 는 바이어스 상태 정보를 포함한다. 바이어스 RF 생성기 (104) 를 식별하는 어드레스는 바이어스 RF 생성기 (104) 의 DSP (204) 로부터 수신된 데이터가 필드 (1610) 에 저장된다는 것을 결정하도록 바이어스 RF 생성기 (104) 의 통신 제어기에 의해 사용된다.

[0358] 필드 (1612) 는 플라즈마 시스템의 다른 RF 생성기들로부터 바이어스 매칭부 (110) 을 구별하기 위해 바이어스 매칭부 (110) (도 13a) 를 식별하는, 바이어스 매칭부 (110) 의 MAC 어드레스와 같은, 어드레스를 포함한다.

필드 (1614) 는 바이어스 매칭 데이터를 포함하고, 필드 (1616) 는 바이어스 매칭부 측정된 정보를 포함한다. 바이어스 매칭부 (110) 를 식별하는 어드레스는 필드 (1614) 내의 데이터가 바이어스 매칭부 (110) 의 프로세서로 제공되고 및 바이어스 매칭부 (110) 의 프로세서로부터 수신된 데이터는 필드 (1616) 에 저장된다는 것을 결정하도록 바이어스 매칭부 (110) 의 통신 제어기에 의해 사용된다.

[0359] 필드 (1418) 는 필드들 (1408, 1410, 1602, 1606, 1608, 1414, 1416, 1610, 1614, 및 1616) 중 하나 이상에 대한 CRC를 포함한다. 예를 들어, CRC는 통신 제어기 (1302) (도 13a) 에 의해 전송된, 필드 (1408) 내 소스 RF 생성기 변수 정보가 EtherCAT 프레임 (1400) 의 유효성을 결정하기 위해 통신 제어기 (1302) 에 의해 수신된, 필드 (1408) 내 소스 RF 생성기 변수 정보와 매칭하는지 여부를 결정하기 위해 EtherCAT 프레임 (1600) 을 수신한 후 통신 제어기 (1302) 에 의해 수행된다.

[0360] 일 실시 예에서, 필드들 (1408, 1410, 및 1602) 또는 필드들 (1606 및 1608) 또는 필드들 (1414, 1416, 및 1610) 또는 필드들 (1614 및 1616) 또는 이들의 조합은 EtherCAT 프레임 (1600) 에 포함되지 않는다. 예를 들어, EtherCAT 프레임 (1600) 이 소스 매칭부 (108) (도 15b) 로 전송되는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1552) (도 15b) 중 어느 하나의 예일 때, EtherCAT 프레임 (1600) 은 소스 RF 생성기 (102), 바이어스 RF 생성기 (104), 및 바이어스 매칭부 (110) 에 대해, 필드들 (1408, 1410, 1602, 1414, 1416, 1610, 1614, 및 1616) 을 배제한다.

[0361] 일 실시 예에서, 필드들 (1408, 1410, 및 1602) 또는 필드들 (1606 및 1608) 또는 필드들 (1414, 1416, 및 1610) 또는 필드들 (1614 및 1616) 또는 이들의 조합은 EtherCAT 프레임 (1600) 내에 포함되지만 비어 있다. 예를 들어, EtherCAT 프레임 (1600) 이 소스 매칭부 (108) 로 전송되는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1552) 중 어느 하나의 예일 때, EtherCAT 프레임 (1600) 은 소스 RF 생성기 (102), 바이어스 RF 생성기 (104), 및 바이어스 매칭부 (110) 에 대해, 필드들 (1408, 1410, 1602, 1414, 1416, 1610, 1614, 및 1616) 의 임의의 데이터 또는 정보를 배제한다.

[0362] 일 실시 예에서, 본 명세서에 기술된 플라즈마 시스템의 컴포넌트의 어드레스들은 컴포넌트의 통신 제어기의 어드레스라는 것을 주의해야 한다. 예를 들어, 소스 RF 생성기 (102) 의 MAC 어드레스는 소스 RF 생성기 (102) 의 통신 제어기의 어드레스이고, 바이어스 RF 생성기 (104) 의 MAC 어드레스는 바이어스 RF 생성기 (104) 의 통신 제어기의 어드레스이고, 소스 매칭부 (108) 의 MAC 어드레스는 소스 매칭부 (108) 의 통신 제어기의 어드레스이고, 바이어스 매칭부 (110) 의 MAC 어드레스는 바이어스 매칭부 (110) 의 통신 제어기의 어드레스이다.

[0363] 도 17은 EtherCAT 케이블들 (1706 및 1708) 에 커플링되는 RF 생성기 (1702) 를 예시하기 위한 시스템 (1700) 의 일 실시 예의 도면이다. RF 생성기 (1702) 는 소스 RF 생성기 (102) 또는 바이어스 RF 생성기 (104) (도 15a) 의 예이다. EtherCAT 케이블 (1706) 은 EtherCAT 케이블들 (1304 (도 13a), 1306 (도 13b), 및 1504 (도 15a)) 중 어느 하나의 예이다. EtherCAT 케이블 (1708) 은 EtherCAT 케이블들 (1306 및 1508 (도 13a 및 도 15a)) 중 어느 하나의 예이다.

[0364] RF 생성기 (1702) 는 통신 제어기 (1704), DSP (204), RF 전력 공급부 (222), 및 센서 (1710) 를 포함한다. 센서 (1710) 의 예들은 복소 전압 및 전류 센서, 복소 임피던스 센서, 복소 전력 센서, 및 복소 전압 센서를 포함한다. RF 생성기 (202) (도 2) 는 RF 생성기 (1702) 에서, DSP (204) 가 통신 제어기 (1704) 를 통해 호스트 컴퓨터 (106) 의 프로세서 (118) 에 커플링되는 것을 제외하고 RF 생성기 (1702) 의 예이다. 또한, RF 생성기들 (702 (도 7), 802 (도 8), 및 902 (도 9), 1102 (도 11a)) 중 어느 하나는 RF 생성기 (1702) 에서 DSP (204) 가 통신 제어기 (1704) 를 통해 호스트 컴퓨터 (106) 의 프로세서 (118) 에 커플링되는 것을 제외하고 RF 생성기 (1702) 의 예이다.

[0365] 통신 제어기 (1704) 는 통신 제어기 (1704) 의 포트 (1714) 를 통해 EtherCAT 케이블 (1706) 에 커플링되고 통신 제어기 (1704) 의 또 다른 포트 (1716) 를 통해 EtherCAT 케이블 (1708) 에 커플링된다. 통신 제어기 (1704) 는 또한 DSP (204) 에 커플링된다. 센서 (1710) 는 DSP (204) 및 RF 생성기 (1702) 의 출력부 (1712) 에 커플링된다. 출력부들 (158 및 164) (도 1) 중 어느 하나는 출력부 (1712) 의 예이다.

[0366] 통신 제어기 (1704) 는 플라즈마 시스템의 컴포넌트로부터 포트 (1714) 를 통해 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1712) 을 수신한다. 예를 들어, 통신 제어기 (1704) 는 플라즈마 시스템의 컴포넌트로부터 포트 (1714) 를 통해 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1314 (도 13a), 또는 1352 (도 13b), 또는 1354 (도 13c), 또는 1512 (도 15a)) 를 수신한다. 통신 제어기 (1704) 는 RF 생성기 (1702) 의 어드레스를 식별하도록 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1712) 을 프로세싱한다. 예를 들어, 통신 제어기 (1704) 는 RF 생성기 (1702) 의 어드레스를 통신

제어기 (1704) 의 메모리 디바이스 내 RF 생성기 (1702) 의 미리 저장된 어드레스와 비교하고 2 개의 어드레스들이 매칭하는지 여부를 결정한다. 2 개의 어드레스들이 매칭한다는 결정시, 통신 제어기 (1704) 는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1712) 로부터 RF 생성기 (1702) 의 어드레스를 식별한다.

[0367] 일단 어드레스가 식별되면, 통신 제어기 (1704) 는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1712) 로부터 추출되고 DSP (204) 로 제공될 데이터를 식별한다. 예로서, RF 생성기 (1702) 의 DSP (204) 로 제공될 데이터는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1712) 내의 RF 생성기 (1702) 의 어드레스와 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1712) 내의 후속하는 어드레스 사이에 있는 것으로 식별된다. 도 14에 대해 예시하면, 필드 (1408) 내의 소스 RF 생성기 변수 정보는 필드 (1406) 내의 소스 RF 생성기 어드레스와 필드 (1412) 내의 바이어스 RF 생성기 어드레스 사이에 있다. DSP (204) 에 제공될 데이터의 예는 필드 (1408) 의 소스 RF 생성기 변수 정보 또는 필드 (1414) 의 바이어스 RF 생성기 변수 정보를 포함한다. 일단 데이터가 식별되면, 통신 제어기 (1704) 는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1712) 로부터 DSP (204) 로 제공될 데이터를 획득하거나 판독하거나 복사하는 것과 같이 추출하고, 데이터를 DSP (204) 로 전송한다.

[0368] 센서 (1710) 는 상기 기술된 상태들 중 하나 이상에 대한 기준을 측정하고, 기준을 DSP (204) 에 제공한다. DSP (204) 는 이 기준을 통신 제어기 (1714) 에 제공하거나 이 기준으로부터 인자를 계산하고 이 인자를 통신 제어기 (1714) 또는 이들의 조합으로 제공한다. 또한, 통신 제어기 (1704) 는 DSP (204) 로부터 데이터를 수신하고 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1712) 내에 RF 생성기 (1702) 에 대한 필드들 내에 데이터를 포함한다. 예를 들어, 통신 제어기 (1704) 는 DSP (204) 로부터 인자를 수신하고 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1712) 내에 인자를 임베딩하고, 포트 (1714) 및 EtherCAT 케이블 (1706) 을 통해 플라즈마 시스템의 프로세서 (118) 또는 소스 RF 생성기 (102) 또는 소스 매칭부 (108) 와 같은 소스 컴포넌트로 인자를 전송하거나 포트 (1716) 를 통해 플라즈마 시스템의 소스 매칭부 (108) 또는 바이어스 RF 생성기 (104) 와 같은 목적지 컴포넌트로 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1712) 을 전송한다. 예시를 위해, 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1712) 을 컴포넌트, 예컨대 플라즈마 시스템의 소스 컴포넌트 또는 목적지 컴포넌트 또는 임의의 다른 컴포넌트로 전송하기 위해, 통신 제어기 (1704) 는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1712) 로부터 컴포넌트의 어드레스를 식별하기 위해 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1712) 의 순서 필드 (1403) 를 판독한다. 더 예시하기 위해, 컴포넌트의 어드레스를 식별하기 위해, 통신 제어기 (1704) 는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1712) 에 저장된 목적지 컴포넌트의 어드레스를 통신 제어기의 메모리 디바이스 내 컴포넌트의 미리 저장된 어드레스와 비교하고 2 개의 어드레스들이 매칭하는지 여부를 결정한다. 2 개의 어드레스들이 매칭된다는 결정시, 통신 제어기 (1704) 는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1712) 로부터 컴포넌트의 어드레스를 식별하고, 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1712) 을 컴포넌트로 전송한다. 소스 컴포넌트는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1712) 이 RF 생성기 (1702) 에 의해 수신되는 컴포넌트이고 목적지 컴포넌트는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1712) 이 RF 생성기 (1702) 에 의해 전송되는 컴포넌트이다. 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1712) 이 포트 (1716) 를 통해 플라즈마 시스템의 목적지 컴포넌트로 전송될 때, 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1712) 은 나중에 목적지 컴포넌트로부터 포트 (1716) 를 통해 수신되고 통신 제어기 (1704) 에 의해 포트 (1714) 를 통해 소스 컴포넌트에 전송된다.

[0369] 일 실시 예에서, 복수의 센서들이 RF 생성기 (1702) 와 연관된다. 예를 들어, 또 다른 센서는 RF 케이블 (138 또는 142) (도 1) 상의 지점에 커플링되고 또한 기준을 측정하고 DSP (204) 에 제공하도록 DSP (204) 에 커플링된다.

[0370] 일 실시 예에서, 시스템 (1700) 은 EtherCAT 케이블 (1708) 을 배제하고 통신 제어기 (1702) 는 포트 (1716) 를 배제한다.

[0371] 도 18은 RF 케이블 (1804) 을 통해 RF 생성기 (1702) (도 17) 에 커플링되고 EtherCAT 케이블들 (1806 및 1808) 에 커플링되는 매칭부 (1802) 를 예시하기 위한 시스템 (1800) 의 일 실시 예의 도면이다. RF 케이블 (1804) 은 임의의 RF 케이블들 (138 및 142 (도 1) 및 218 (도 2)) 의 예이다. 매칭부 (1802) 는 소스 매칭부 (108) (도 15a) 또는 바이어스 매칭부 (110) (도 15b) 의 예이다. EtherCAT 케이블 (1806) 은 임의의 EtherCAT 케이블 (1306 (도 15a), 1508 (도 15b), 및 1504 (도 15a 및 도 15b)) 의 예이다. EtherCAT 케이블 (1808) 은 EtherCAT 케이블 (1504 (도 15a)) 의 예이다.

[0372] 매칭부 (1802) 는 통신 제어기 (1810), 프로세서 (1812), 구동기 시스템 (1814), 센서 시스템 (1816), 회로 컴포넌트 시스템 (1818), 및 모터 시스템 (1820) 을 포함한다. 센서 시스템 (1816) 의 예는 센서 (1710) (도 17) 와 같은 하나 이상의 센서들을 포함한다. 구동기 시스템 (1814) 의 일 예는 서로 커플링되는 하나 이상의

구동기들, 예컨대 하나 이상의 트랜지스터들을 포함한다. 회로 컴포넌트 시스템 (1818) 의 예는 서로 커플링된 하나 이상의 회로 컴포넌트들, 예컨대 인덕터들 및 커패시터들을 포함한다. 모터 시스템 (1820) 의 예는 하나 이상의 전기 모터들을 포함한다. 전기 모터 각각은 회로 컴포넌트 시스템 (1818) 의 인덕터 또는 커패시터와 같은 각각의 회로 컴포넌트에 커플링된다.

[0373] 소스 매칭부 (108) 또는 바이어스 매칭부 (110) 는 매칭부 (1802) 가 통신 제어기 (1810) 및 프로세서 (1812) 를 포함하는 것을 제외하고 매칭부 (1802) 의 예이다. 통신 제어기 (1810) 는 통신 제어기 (1810) 의 포트 (1826) 를 통해 EtherCAT 케이블 (1806) 에 커플링되고 통신 제어기 (1810) 의 포트 (1828) 를 통해 EtherCAT 케이블 (1808) 에 커플링된다. 통신 제어기 (1810) 는 또한 프로세서 (1812) 에 커플링된다. 프로세서 (1812) 는 센서 시스템 (1816) 및 모터 시스템 (1820) 에 커플링되는 구동기 시스템 (1814) 에 커플링된다. 모터 시스템 (1820) 은 RF 송신 라인 (1822) 을 통해 RF 케이블 (1804) 및 플라즈마 챔버 (112) 에 커플링되는 회로 컴포넌트 시스템 (1818) 에 커플링된다. 회로 컴포넌트 시스템 (1818) 은 센서 시스템 (1816) 에 커플링된다. 예를 들어, 센서 시스템 (1816) 의 제 1 센서는 회로 컴포넌트 시스템 (1818) 의 제 1 회로 컴포넌트에 커플링되고 센서 시스템 (1816) 의 제 2 센서는 회로 컴포넌트 시스템 (1818) 의 제 2 회로 컴포넌트에 커플링된다. RF 송신 라인 (140 및 144) (도 1) 중 어느 하나는 RF 송신 라인 (1822) 의 예이다.

[0374] 통신 제어기 (1810) 는 플라즈마 시스템의 컴포넌트로부터 포트 (1826) 를 통해 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1824) 을 수신한다. 예를 들어, 통신 제어기 (1810) 는 플라즈마 시스템의 컴포넌트로부터 포트 (1826) 를 통해 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1512 (도 15a), 또는 1552 (도 15b), 또는 1554 (도 15c)) 을 수신한다. 통신 제어기 (1810) 는 매칭부 (1802) 의 어드레스를 식별하도록 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1824) 을 프로세싱한다. 예를 들어, 통신 제어기 (1810) 는 매칭부 (1802) 의 어드레스를 통신 제어기 (1810) 의 메모리 디바이스 내에 매칭부 (1802) 의 미리 저장된 어드레스와 비교하고 2 개의 어드레스들이 매칭하는지 여부를 결정한다. 2 개의 어드레스들이 매칭된다는 결정시, 통신 제어기 (1810) 는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1824) 로부터 매칭 (1802) 의 어드레스를 식별한다.

[0375] 일단 어드레스가 식별되면, 통신 제어기 (1810) 는 프로세서 (1812) 로 제공하기 위해 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1824) 로부터 추출될 데이터를 식별한다. 예로서, 매칭부 (1802) 의 프로세서 (1812) 로 제공될 데이터는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1824) 내의 매칭부 (1802) 의 어드레스와 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1824) 내의 후속하는 어드레스 사이에 있는 것으로 식별된다. 도 16에 대해 예시하면, 필드 (1606) 내의 소스 매칭 데이터는 필드 (1604) 내의 소스 매칭부 어드레스와 필드 (1412) 내의 바이어스 RF 생성기 어드레스 사이에 있다. 프로세서 (1812) 에 제공될 데이터의 예는 필드 (1606) 내의 소스 매칭 데이터 또는 필드 (1614) 내의 바이어스 매칭 데이터를 포함한다. 통신 제어기 (1810) 는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1512) 로부터 프로세서 (1812) 로 제공될 데이터를 판독, 획득 또는 복사와 같이 추출하고 데이터를 프로세서 (1812) 로 전송한다.

[0376] 센서 시스템 (1816) 은 회로 컴포넌트 시스템 (1818) 의 하나 이상의 회로 컴포넌트들의 하나 이상의 출력부들에서 기준을 측정하고 이 기준을 프로세서 (1812) 에 제공한다. 프로세서 (1812) 는 통신 제어기 (1810) 에 기준을 제공한다. 또한, 통신 제어기 (1810) 는 프로세서 (1812) 로부터 데이터를 수신하고 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1824) 내의 매칭부 (1802) 를 위한 필드들 내에 데이터를 포함한다. 예를 들어, 통신 제어기 (1810) 는 프로세서 (1812) 로부터 기준을 수신하고 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1824) 내에 기준을 임베딩하고, 포트 (1826) 및 EtherCAT 케이블 (1806) 을 통해 플라즈마 시스템의 소스 RF 생성기 (108) 또는 바이어스 RF 생성기 (104) 또는 호스트 컴퓨터 (106) 와 같은 소스 컴포넌트로 기준을 전송하거나 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1824) 을 포트 (1828) 를 통해 플라즈마 시스템의 바이어스 RF 생성기 (104) 와 같은 목적지 컴포넌트로 전송한다. 예를 들어, 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1824) 을 컴포넌트, 예컨대 플라즈마 시스템의 소스 컴포넌트 또는 목적지 컴포넌트 또는 임의의 다른 컴포넌트로 전송하기 위해, 통신 제어기 (1810) 는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1824) 로부터 목적지의 어드레스를 식별하기 위해 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1824) 의 순서 필드 (1403) 를 판독한다. 예시를 위해, 목적지 컴포넌트의 어드레스를 식별하기 위해, 통신 제어기 (1810) 는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1824) 에 저장된 목적지 컴포넌트의 어드레스를 통신 제어기 (1810) 의 메모리 디바이스 내 목적지 컴포넌트의 미리 저장된 어드레스와 비교하고 2 개의 어드레스들이 매칭되는지 여부를 결정한다. 2 개의 어드레스들이 매칭한다는 결정시, 통신 제어기 (1810) 는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1824) 로부터 목적지 컴포넌트의 어드레스를 식별하고, 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1824) 을 목적지 컴포넌트로 전송한다.

[0377] 소스 컴포넌트는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1824) 이 매칭부 (1802) 에 의해 수신되는 컴포넌트이고 목적

지 컴포넌트는 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1824) 이 매칭부 (1802) 에 의해 전송되는 컴포넌트이다. 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1824) 이 포트 (1828) 를 통해 플라즈마 시스템의 목적지 컴포넌트로 전송될 때, 하나 이상의 EtherCAT 프레임들 (1824) 은 나중에 목적지 컴포넌트로부터 포트 (1828) 를 통해 수신되고 통신 제어기 (1810) 에 의해 포트 (1826) 를 통해 소스 컴포넌트에 전송된다.

[0378] 일 실시 예에서, 복수의 센서들이 매칭부 (1802) 와 연관된다. 예를 들어, 또 다른 센서는 RF 송신 라인 (1804) 상의 지점에 커플링되고 또한 기준을 측정하고 프로세서 (1812) 에 제공하도록 프로세서 (1812) 에 커플링된다.

[0379] 일 실시 예에서, 시스템 (1800) 은 EtherCAT 케이블 (1808) 을 배제하고 통신 제어기 (1810) 는 포트 (1828) 를 배제한다.

[0380] 도 19a는 복수의 EtherCAT 케이블들이 EtherCAT 동기화 시스템 (1920) 의 임의의 2 개의 컴포넌트들 사이에 커플링되는, 플라즈마 시스템과 같은, EtherCAT 동기화 시스템 (1920) 의 또 다른 실시 예를 예시한다. 예를 들어, EtherCAT 케이블은 마스터 제어기의 출력 포트로부터 소스 RF 생성기 (102) 의 입력 포트에 커플링되고, 또 다른 EtherCAT 케이블은 마스터 제어기의 또 다른 출력 포트로부터 바이어스 RF 생성기 (104) 의 입력 포트에 커플링되고, EtherCAT 케이블은 소스 RF 생성기 (102) 의 출력 포트로부터 소스 매칭부 (108) 의 입력 포트에 커플링되고, EtherCAT 케이블은 바이어스 RF 생성기 (104) 의 출력 포트로부터 바이어스 매칭부 (110) 의 입력 포트에 커플링된다. 마스터 제어기의 예들은 호스트 제어기 또는 호스트 컴퓨터 (106) (도 1) 또는 ADVCI 또는 또 다른 제어기를 포함한다.

[0381] 소스 RF 생성기 (102) 및 소스 매칭부 (108) 에 대한 상태 정보는 마스터 제어기로부터 소스 RF 생성기 (102) 로 전송되고 소스 RF 생성기 (102) 로부터 소스 매칭부 (108) 로 전송되는 펄스 트레인에 제공된다. 예를 들어, 소스 RF 생성기 (102) 에 의해 생성될 RF 신호 (152) 의 변수의 상태 S(n-A) 내지 상태 Sn의 듀티 사이클들, 전력 레벨들, 및 주파수 레벨들 및 소스 매칭 데이터는 마스터 제어기로부터 소스 RF 생성기 (102) 로 전송된 펄스 트레인에 제공되고 변수의 상태 S(n-A) 내지 상태 Sn의 듀티 사이클들은 소스 RF 생성기 (102) 로부터 소스 매칭부 (108) 로 전송된 펄스 트레인에 제공된다. 유사하게, RF 신호 (168) 의 변수의 상태 S(n-A) 내지 상태 Sn의 듀티 사이클들, 전력 레벨들, 및 주파수 레벨들 및 바이어스 매칭 데이터는 마스터 제어기로부터 바이어스 RF 생성기 (104) 로 전송된 또 다른 펄스 트레인에 제공되고 상태 S(n-A) 내지 상태 Sn의 듀티 사이클들은 바이어스 RF 생성기 (104) 로부터 바이어스 매칭부 (110) 로 전송된 다른 펄스 트레인에 제공된다.

[0382] 도 19b는 EtherCAT 케이블이 마스터 제어기의 출력 포트와 소스 RF 생성기 (102) 의 입력 포트 사이에 커플링되는, 플라즈마 시스템과 같은 EtherCAT 동기화 시스템 (1930) 의 일 실시 예의 도면이고, EtherCAT 케이블은 소스 RF 생성기 (102) 의 출력 포트와 바이어스 RF 생성기 (104) 의 입력 포트 사이에 커플링되고, EtherCAT 케이블은 소스 RF 생성기 (102) 의 출력 포트로부터 소스 매칭부 (108) 의 입력 포트에 커플링되고, EtherCAT 케이블은 소스 매칭부 (108) 의 출력 포트와 바이어스 매칭부 (110) 의 입력 포트 사이에 커플링된다.

[0383] 소스 RF 생성기 (102), 소스 매칭부 (108), 바이어스 RF 생성기 (104), 및 바이어스 매칭부 (110) 에 대한 상태 정보는 마스터 제어기로부터 소스 RF 생성기 (102) 로 전송되는 펄스 트레인에 제공된다. 예를 들어, RF 신호들 (152 및 168) 의 변수들의 상태 S(n-A) 내지 상태 Sn의 듀티 사이클들, 전력 레벨들, 및 주파수 레벨들, 소스 매칭 데이터, 및 바이어스 매칭 데이터는 마스터 제어기로부터 소스 RF 생성기 (102) 로 전송된 펄스 트레인에 제공된다. 펄스 트레인은 소스 RF 생성기 (102) 로부터 바이어스 RF 생성기 (104) 로 포워딩된다 (forward). 또한, 소스 RF 생성기 (102) 로부터 소스 매칭부 (108) 로 전송된 펄스 트레인은 소스 매칭부 (108) 로부터 바이어스 매칭부 (110) 로 전송된다.

[0384] 일 실시 예에서, EtherCAT 케이블은 바이어스 RF 생성기 (104) 의 출력 포트로부터 소스 RF 생성기 (102) 의 입력부에 커플링되고 EtherCAT 케이블은 바이어스 매칭부 (110) 의 출력 포트로부터 소스 매칭부 (108) 의 입력 포트에 커플링된다. 이 실시 예에서, 마스터 제어기를 소스 RF 생성기 (102) 에 커플링하는 EtherCAT 케이블 대신, 마스터 제어기의 출력 포트를 바이어스 RF 생성기 (104) 의 입력 포트에 커플링하는 EtherCAT 케이블이 사용된다. 또한, EtherCAT 케이블은 바이어스 RF 생성기 (104) 의 출력 포트로부터 바이어스 매칭부 (110) 의 입력 포트로 커플링된다. 소스 RF 생성기 (102), 소스 매칭부 (108), 바이어스 RF 생성기 (104), 및 바이어스 매칭부 (110) 에 대한 상태 정보는 마스터 제어기로부터 바이어스 RF 생성기 (104) 로 전송되는 펄스 트레인에 제공된다. 예를 들어, 펄스 트레인은 마스터 제어기로부터 바이어스 RF 생성기 (104) 로 전송되고, 바이어스 RF 생성기 (104) 로부터 소스 RF 생성기 (102) 로 포워딩되고, 바이어스 RF 생성기 (104) 로부터 바이어스 매칭부 (110) 로 포워딩되고, 바이어스 매칭부 (110) 로부터 소스 매칭부 (108) 로 포워딩된다.

[0385] 도 19c는 컴포넌트들이 데이지 체인 방식으로 커플링되는, 플라즈마 시스템과 같은 EtherCAT 동기화 시스템 (1950) 의 일 실시 예를 예시한다. 예를 들어, EtherCAT 케이블은 마스터 제어기의 출력 포트로부터 소스 RF 생성기 (102) 의 입력 포트로 커플링되고, EtherCAT 케이블은 소스 RF 생성기 (102) 의 출력 포트로부터 소스 매칭부 (108) 의 입력 포트에 커플링되고, EtherCAT 케이블은 소스 매칭부 (108) 의 출력 포트로부터 바이어스 매칭부 (110) 의 입력 포트에 커플링되고, EtherCAT 케이블은 바이어스 매칭부 (110) 의 출력 포트로부터 바이어스 RF 생성기 (104) 의 입력 포트에 커플링된다.

[0386] 소스 RF 생성기 (102), 소스 매칭부 (108), 바이어스 RF 생성기 (104), 및 바이어스 매칭부 (110) 에 대한 상태 정보는 마스터 제어기로부터 소스 RF 생성기 (102) 로 전송되는 펄스 트레인에 제공된다. 펄스 트레인은 이어서 소스 RF 생성기 (102) 로부터 소스 매칭부 (108) 로 전송되고, 이어서 소스 매칭부 (108) 로부터 바이어스 매칭부 (110) 로, 그리고 바이어스 매칭부 (110) 로부터 바이어스 RF 생성기 (104) 로 전송된다.

[0387] 도 19d는 컴포넌트들이 데이지 체인 방식으로 커플링되는, 플라즈마 시스템과 같은 EtherCAT 동기화 시스템 (1960) 의 일 실시 예를 예시한다. 예를 들어, EtherCAT 케이블은 마스터 제어기의 출력 포트로부터 바이어스 RF 생성기 (104) 의 입력 포트에 커플링되고, EtherCAT 케이블은 바이어스 RF 생성기 (104) 의 출력 포트로부터 바이어스 매칭부 (110) 의 입력 포트에 커플링되고, EtherCAT 케이블은 바이어스 매칭부 (110) 의 출력 포트로부터 소스 매칭부 (108) 의 입력 포트에 커플링되고, EtherCAT 케이블은 소스 매칭부 (108) 의 출력 포트로부터 소스 RF 생성기 (102) 의 입력 포트에 커플링된다.

[0388] 소스 RF 생성기 (102), 소스 매칭부 (108), 바이어스 RF 생성기 (104), 및 바이어스 매칭부 (110) 에 대한 상태 정보는 마스터 제어기로부터 바이어스 RF 생성기 (104) 로 전송되는 펄스 트레인에 제공된다. 펄스 트레인은 이어서 바이어스 RF 생성기 (104) 로부터 바이어스 매칭부 (110) 로, 바이어스 매칭부 (110) 로부터 소스 매칭부 (108) 로, 그리고 소스 매칭부 (108) 로부터 소스 RF 생성기 (102) 로 전송된다.

[0389] **캘리브레이션 (calibration)**

[0390] 도 20은 펄스 트레인 캘리브레이션 방법을 예시하기 위한 시스템 (2000) 의 일 실시 예의 도면이다. 도 20에 대해 예시된 바와 같이, 호스트 컴퓨터 (106) (도 1) 또는 디지털 신호 프로세서 또는 ADVCI와 같은 RFG (radio frequency generator) 제어기는 복수의 상태들 (S(n-A), S(n-A+1). . . S(n-1), 및 Sn) 에 대해 무선 주파수 생성기 RFG로 ($PL_{S(n-A)}$, $PL_{S(n-A+1)}$ . . . $PL_{S(n-1)}$, 및 PL_{Sn}) 와 같은 전력 레벨들을 제공하고, 여기서 A는 양의 정수이다. 예로서, 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 의 수는 4 내지 36의 범위이다. 예시를 위해, 상태들의 수는 4 개의 상태들, 또는 5 개의 상태들, 또는 6 개의 상태들, 또는 7 개의 상태들, 또는 8 개의 상태들, 또는 9 개의 상태들, 또는 10 개의 상태들, 또는 12 개의 상태들, 또는 13 개의 상태들, 또는 14 개의 상태들, 또는 15 상태, 또는 16 상태들이다. 상태 각각은 1 마이크로 초 이상 동안 발생한다. 예를 들어, 상태 S(n-A) 내지 상태 Sn 각각의 듀티 사이클은 동일하다. 예시를 위해, 상태 S(n-A)는 다수의 마이크로 초 동안 발생하고, 상태 S(n-A+1)는 동일한 수의 마이크로 초 동안 발생되고, 상태 Sn이 이 수의 마이크로 초 동안 발생할 때까지 계속된다. 또 다른 예로서, 하나 이상의 상태들의 듀티 사이클은 하나 이상의 나머지 상태들의 듀티 사이클과 상이하다. 예시를 위해, 상태 S(n-A)는 제 1 수 마이크로 초 동안 발생하고 상태 Sn은 제 2 수의 마이크로 초 동안 발생한다. 또 다른 예시로서, 상태 S(n-A)는 제 1 수의 마이크로 초 동안 발생하고, 상태 S(n-A+1)은 제 2 수의 마이크로 초 동안 발생하고, 상태 Sn은 제 3 수의 마이크로 초 동안 발생한다. 무선 주파수 생성기 RFG의 예는 RF 생성기 (702) (도 7) 이다. 무선 주파수 생성기 RFG의 또 다른 예는 RF 생성기 (902) (도 9) 이다.

[0391] 무선 주파수 생성기 RFG는 전력 레벨 ($PL_{S(n-A)}$, $PL_{S(n-A+1)}$ . . . $PL_{S(n-1)}$, 및 PL_{Sn}) 을 갖는 RF 신호를 생성하고 50 Ω 부하와 같은 공지의 부하에 RF 신호를 공급한다. 공지된 부하에 커플링된 전압 센서는 전압 값들을 측정하고 전압 값들을 RFG 제어기에 제공한다. 예를 들어, 전압 센서는 공지된 부하의 입력부에 커플링된다. 또 다른 예로서, 전압 센서는 무선 주파수 생성기 RFG와 공지된 부하 사이에 커플링되는 RF 케이블에 커플링된다. RFG 제어기는 전압 센서로부터 수신된 전압 값들로부터 상태들 (S(n-A), S(n-A+1) . . . S(n-1), 및 Sn) 에 대한 전압 값들, 예컨대 ($V_{S(n-A)}$, $V_{S(n-A+1)}$ . . . $V_{S(n-1)}$, V_{Sn}) 을 결정한다. 상태 각각에 대해, RFG 제어기는 상태에 대한 전력 레벨이 상태에 대한 전압 값에 기초하여 변화되는지 여부를 결정하고, 결정에 기초하여 전력 레벨들 ($PL_{S(n-A)}$, $PL_{S(n-A+1)}$ . . . $PL_{S(n-1)}$, 및 PL_{Sn}) 중 하나 이상을 조정한다. 예로서, RFG 제어기는 상태에 대한 전압 값이 미리 설정된 범위 밖에 있는지 여부를 결정하고, 전압 값이 미리 설정된 범위 내에 있을 때까지 상태에 대한 전력 레벨을 조정한다.

[0392] 도 21은 전압 펄스 평탄화 방법을 예시하기 위한 시스템 (2000) 의 일 실시 예의 도면이다. 도 20의 시스템

(2000) 에 대해 상기 기술된 바와 같이, 전력 레벨들 ($PL_{S(n-A)}$, $PL_{S(n-A+1)}$ . . . $PL_{S(n-1)}$, 및 PL_{Sn}) 을 갖는 RF 신호는 공지된 부하에 공급되고 전압 센서는 전압 값들을 측정한다. 전압 값들은 RFG 제어기에 제공된다. 도 21의 시스템 (2000) 을 다시 참조하면, RFG 제어기는 각각의 상태를 복수의 서브 상태들 또는 서브 펄스들로 분할한다. 예를 들어, 상태 S(n-A)는 서브 상태 S(n-A)m이 결정될 때까지 서브 상태 S(n-A)1, S(n-A)2 등으로 분할되고, 여기서 m은 2보다 큰 정수이다. 또 다른 예로서, 상태 S(n-1)은 서브 상태 S(n-1)m까지 서브 상태들 S(n-1)1, S(n1-1)2 등으로 분할되고, 그리고 상태 Sn은 서브 상태 Snm가 결정될 때까지 서브 상태들 Sn1, Sn2, 등으로 분할된다. 서브 상태 각각에 대해, RFG 제어기는 전압 센서로부터 수신된 측정된 전압 값들로부터 전압 값들을 결정한다. 예로서, RFG 제어기는 서브 상태들 (S(n-A)1 내지 상태 S(n-A)m) 에 대한 전압 값 $V_{S(n-A)m}$이 계산될 때까지 전압 값들 ($V_{S(n-A)1}$, $V_{S(n-A)2}$, 등) 을 계산한다. 예시를 위해, 전압 값 $V_{S(n-A)1}$은 서브 상태 S(n-A)1 동안 측정된 전압 값들의 평균 또는 중앙값과 같은 통계적 측정 값이고 전압 값 $V_{S(n-A)2}$는. 서브 상태 S(n-A)2 동안 측정된 전압 값들의 통계적 측정 값이다. 유사하게, RFG 제어기는 서브 상태들 (S(n-1)1 내지 S(n-1)m) 에 대한 전압 값 $V_{S(n-1)m}$이 계산될 때까지 전압 값들 ($V_{S(n-1)1}$, $V_{S(n-1)2}$, 등) 을 계산하고, 서브 상태들 (Sn1 내지 상태 Snm) 에 대한 전압 값 V_{Snm}이 계산될 때까지 전압 값들 (V_{Sn1}, V_{Sn2}, 등) 을 계산한다. 서브 상태 각각에 대해 계산된 전압 값에 기초하여, RFG 제어기는 전압 값이 미리 결정된 범위 내에 있을 때까지 서브 상태에 대한 전력 레벨, 예컨대 상태 S(n-A)의서브 상태 S(n-A)2에 대한 전력 레벨 $PL_{S(n-A)2}$ 및 상태 S(n-1) 의 서브 상태 S(n-1)1에 대한 전력 레벨 $PL_{S(n-1)1}$를 조정한다. 이러한 방식으로, RFG 제어기는 전력 레벨들 ($PL_{S(n-A)}$, $PL_{S(n-A+1)}$ . . . $PL_{S(n-1)}$, 및 PL_{Sn}) 중 하나 이상을 조정한다.

[0393] 도 22는 듀티 사이클 캘리브레이션 방법을 예시하기 위한 시스템 (2000) 의 일 실시 예의 도면이다. 도 20을 참조하여 상기 기술된 바와 같이, 전압 센서는 전압 값들을 측정하고 전압 값들을 RFG 제어기에 제공한다. 시스템 (100) 을 참조하면, RFG 제어기는 상태들에 대한 전압 값들에 기초하여 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 에 대한 전력 레벨들 ($PL_{S(n-A)}$, $PL_{S(n-A+1)}$ . . . $PL_{S(n-1)}$, 및 PL_{Sn}) 의 듀티 사이클들을 결정한다. 예를 들어, 상태 Sn에 대한 복수의 전압 값들이 시간 지속 기간 동안 측정되고 상태 S(n-A)에 대한 복수의 전압 값들이 동일하거나 상이한 시간 지속 기간 동안 측정된다. 상태 S(n-A)에 대한 전압 값들은 상태 Sn에 대한 전압 값들과 상이하다.

[0394] 결정된 듀티 사이클들은 전력 레벨 $PL_{S(n-1)}$의 상태 S(n-1) 동안 듀티 사이클 $DC_{S(n-1)}$ 및 전력 레벨 PL_{Sn}의 상태 Sn에 대한 듀티 사이클 DC_{Sn}이 결정될 때까지 전력 레벨 $PL_{S(n-A)}$의 상태 S(n-A) 동안 듀티 사이클 $DC_{S(n-A)}$ 등을 포함한다. RFG 제어기는 대응하는 상태에 대한 듀티 사이클들 각각이 미리 설정된 듀티 사이클 범위 내에 있는지 여부를 결정한다. RFG 제어기는 하나 이상의 듀티 사이클들이 대응하는 하나 이상의 미리 설정된 듀티 사이클 범위들 내에 있을 때까지 대응하는 상태들 중 하나 이상에 대한 듀티 사이클들 중 하나 이상을 조정한다. 예를 들어, RFG 제어기는 듀티 사이클 DC_{Sn}이 상태 Sn에 대해 미리 설정된 듀티 사이클 범위 내에 있지 않다는 결정에 응답하여 전력 레벨 PL_{Sn}에 대해 상태 Sn 동안 듀티 사이클 DC_{Sn}을 증가 시키거나 감소시킨다.

[0395] 일 실시 예에서, 도 20, 도 21 또는 도 22의 시스템들에서 전압 센서를 사용하는 대신, 전력을 측정하는 전력 센서 또는 복소 전압 및 전류를 측정하는 복소 전압 및 전류 센서가 사용될 수 있다는 것을 주의해야 한다.

[0396] **4 개 이상의 상태들의 튜닝 (평균 임피던스로 TCCT 매칭 튜닝)**

[0397] 도 23은 제어기 CTRL 및 소스 TCCT (transformer coupled capacitive tuning) 매칭부와 같은 소스 매칭부 (108) 를 포함하는 시스템 (2300) 을 예시한다. 제어기의 예는 RFG 제어기 (도 20) 를 포함한다. 제어기 CRTL의 부가적인 예들은 호스트 컴퓨터 (106) (도 1) 및 호스트 제어기를 포함한다. TCCT 매칭부의 예는 미국 특허 제 10,056,231 호에 제공되며, 이는 전체가 본 명세서에 참조로서 인용된다.

[0398] 제어기 CTRL은 소스 RF 생성기 (102), 바이어스 RF 생성기 (104), 소스 매칭부 (108), 및 바이어스 매칭부 (110) 에 커플링된다. 소스 매칭부 (108) 는 플라즈마 챔버 (112) 의 TCP 코일 (126) 에 커플링된다. 기판 지지부 (128) 또는 기판 지지부 (128) 의 하부 전극은 본 명세서에서 때때로 바이어스 전극으로 지칭된다.

[0399] 제어기 CTRL은 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 에 관한 타이밍 정보를 소스 매칭부 (108) 에 제공한다. 예를 들어, 제어기 CTRL은 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 각각의 시작 시간 및 종료 시간을 포함하는 듀티 사이클을 소스 매칭부 (108) 에 제공한다. 타이밍 정보는 소스 매칭부 (108) 로 하여금 소스 RF 생성기 (102) 를 향하여 반사된 전력을 감소시키기 위해 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 중 하나 이상 동안 소스 매칭부 (108) 의 출력부에 커플링된 부하

의 임피던스를 소스 매칭부 (108) 의 입력부에 커플링된 소스의 임피던스와 매칭시키게 튜닝되게 하도록 소스 매칭부 (108) 에 제공된다. 부하의 예는 소스 매칭부 (108) 를 TCP 코일 (126) 에 커플링하는 RF 송신 라인 (140) 및 플라즈마 챔버 (112) 를 포함하고 소스의 예는 소스 RF 생성기 (102) 및 소스 RF 생성기 (102) 를 소스 매칭부 (108) 로 커플링하는 RF 케이블 (138) 을 포함한다.

[0400] 제어기 CTRL은 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 중 하나 이상에 대해 소스 RF 생성기 (102) 를 향해 반사되는 전력을 더 감소시키기 위해 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 중 하나 이상에 대해 커패시턴스, 또는 인덕턴스, 또는 이들의 조합을 조정하도록 하나 이상의 모터 구동기들 및 대응하는 하나 이상의 모터들을 통해 소스 매칭부 (108) 를 제어한다. 예를 들어, 소스 매칭부 (108) 는 소스 매칭부 (108) 의 출력부 (158) 에 커플링된 부하의 임피던스가 소스 매칭부 (108) 의 입력부 (156) 에 커플링된 소스의 임피던스와 매칭하도록 클록 신호의 복수의 클록 사이클들에 걸쳐 상태에 대해 커패시턴스 또는 인덕턴스 또는 이들의 조합을 변화시킨다. 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 은 클록 신호의 클록 사이클 각각에 걸쳐 발생하고 클록 사이클 각각에 대해 반복된다. 클록 신호는 제어기 CTRL로부터 또는 클록 오실레이터와 같은 클록 소스로부터 수신된다. 소스 RF 생성기 (102) 가 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 을 갖는 RF 신호 (152) 를 생성하는 동안, 바이어스 RF 생성기 (104) 는 연속적이거나 2 개의 상태들을 갖거나 3 개 이상의 상태들을 갖는 RF 신호 (168) 를 생성할 수 있다.

[0401] 일 실시 예에서, 바이어스 RF 생성기 (104) 에 더하여, 하나 이상의 부가적인 바이어스 RF 생성기들은 바이어스 매칭부 (110) 를 통해 플라즈마 챔버 (112) 에 커플링된다.

[0402] 일 실시 예에서, 바이어스 매칭부 (110) 는 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 과 동기화하여 동작한다. 바이어스 매칭부 (110) 는 또한 제어기 CTRL에 의해 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 에 관한 타이밍 정보를 함께 제공받는다. 타이밍 정보는 바이어스 매칭부 (110) 로 하여금 바이어스 매칭부 (110) 의 출력부 (164) 에 커플링된 부하의 임피던스를 바이어스 매칭부 (110) 의 입력부 (162) 에 커플링된 소스의 임피던스와 매칭시키게 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 중 하나 이상 동안 튜닝하게 하도록 바이어스 매칭부 (110) 에 제공된다. 부하의 예는 플라즈마 챔버 (112) 의 기판 지지부 (128) 에 바이어스 매칭부 (110) 을 커플링하는 RF 송신 라인 (144) 및 플라즈마 챔버 (112) 를 포함하고 소스의 예는 바이어스 RF 생성기 (104) 및 바이어스 RF 생성기 (104) 를 바이어스 매칭부 (110) 에 커플링 RF 케이블 (142) 을 포함한다.

[0403] 일 실시 예에서, 소스 TCCT 매칭의 하나 이상의 회로 컴포넌트들, 예컨대 커패시터들, 인덕터들, 및 레지스터들은 TCP 코일 (126) 을 통과하는 전류와 또 다른 TCP 코일 (미도시) 을 통과하는 또 다른 전류 사이의 비를 달성하도록 조정된다. 다른 TCP 코일은 TCP 코일 (126) 이 위치되는 동일한 수평 평면에 또는 TCP 코일 (126) 의 수평 평면 위 또는 아래의 상이한 수평 평면에 위치된다. 두 TCP 코일들은 함께 TCP 전극을 형성한다.

[0404] 일 실시 예에서, 소스 RF 생성기 (102) 에 더하여, 하나 이상의 부가적인 소스 RF 생성기들은 소스 TCCT 매칭부를 통해 다른 TCP 코일에 커플링된다.

[0405] **매칭의 선택적인 튜닝 (일 상태 동안 TCCT 매칭부를 튜닝하고 다른 상태들 동안 RFG를 튜닝)**

[0406] 도 24a는 상태 매칭 튜닝 방법을 예시하기 위한 시스템 (2400) 의 일 실시 예의 도면이다. 소스 매칭부 (108) 는 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 중 하나 동안 튜닝되고 소스 RF 생성기 (102) 는 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 중 하나 이상 동안 튜닝된다. 예를 들어, 소스 매칭부 (108) 의 커패시턴스 또는 인덕턴스 또는 이들의 조합은 소스 RF 생성기 (102) 를 향해 반사되는 전력을 감소시키기 위해 상태 S(n-A) 동안 소스 매칭부 (108) 를 튜닝하도록 하나 이상의 모터 구동기들 및 대응하는 하나 이상의 모터들을 통해 제어기 CTRL에 의해 수정된다. 또한, 소스 RF 생성기 (102) 의 주파수 또는 전력 레벨 또는 이들의 조합은 나머지 상태들 중 하나 이상 동안 소스 RF 생성기 (102) 를 향하여 반사되는 전력을 감소시키기 위해 소스 RF 생성기 (102) 를 튜닝하도록 남아 있는 상태들 (S(n-A+1) 내지 Sn) 중 하나 이상 동안 수정된다.

[0407] 반사된 전력은 반사된 전력이 감소되었는지 여부를 결정하기 위해 소스 RF 생성기 (102) 의 출력부에 커플링되는, 전압 센서 또는 복소 전압 및 전류 센서와 같은 센서에 의해 측정될 수 있다. 측정된 전력은 측정된 전력을 더 감소시키도록 소스 RF 생성기 (102) 에 의해 공급될 전력량을 결정하도록 센서로부터 제어기 CTRL로 제공된다.

[0408] 일 실시 예에서, 측정된 전력 대신, 전압 반사 계수가 소스 RF 생성기 (102) 에 의해 공급된 전력을 변화시킬지 여부를 결정하도록 사용된다.

[0409] 도 24b는 상태 매칭 튜닝 방법을 예시하기 위한 시스템 (2400) 의 일 실시 예의 도면이다. 바이어스 매칭부 (110) 는 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 중 하나 동안 튜닝되고 바이어스 RF 생성기 (104) 는 상태들 (S(n-A) 내지

Sn) 의 나머지들 하나 이상 동안 튜닝된다. 예를 들어, 바이어스 매칭부 (110) 의 커패시턴스 또는 인덕턴스 또는 이들의 조합은 바이어스 RF 생성기 (104) 를 향해 반사되는 전력을 감소시키기 위해 상태 S(n-A) 동안 바이어스 매칭부 (110) 를 튜닝하도록 하나 이상의 모터 구동기들 및 대응하는 하나 이상의 모터들을 통해 제어기 CTRL에 의해 수정된다. 또한, 바이어스 RF 생성기 (104) 의 주파수 또는 전력 레벨 또는 이들의 조합은 나머지 상태들 중 하나 이상 동안 바이어스 RF 생성기 (104) 를 향하여 반사되는 전력을 감소시키기 위해 바이어스 RF 생성기 (104) 를 튜닝하도록 남아 있는 상태들 (S(n-A+1) 내지 Sn) 중 하나 이상 동안 수정된다.

[0410] 반사된 전력은 반사된 전력이 감소되었는지 여부를 결정하기 위해 바이어스 RF 생성기 (104) 의 출력부에 커플링되는, 전압 센서 또는 복소 전압 및 전류 센서와 같은 센서에 의해 측정될 수도 있다. 측정된 전력은 측정된 전력을 더 감소시키도록 바이어스 RF 생성기 (104) 에 의해 공급될 전력량을 결정하도록 센서로부터 제어기 CTRL로 제공된다.

[0411] 일 실시 예에서, 측정된 전력 대신, 전압 반사 계수가 바이어스 RF 생성기 (104) 에 의해 공급된 전력을 변화시킬지 여부를 결정하도록 사용된다.

[0412] **고체 상태 매칭 (Solid State Match)**

[0413] 도 25a는 본 명세서에서 때때로 전자적 매칭으로 지칭되는, 고체 상태 매칭을 예시하기 위한 시스템 (2500) 의 일 실시 예의 도면이다. 소스 매칭부 (108) 대신, 도 25a에 대해 예시된 바와 같이, 고체 상태 매칭부가 사용된다. 도 25a의 시스템 (2500) 은 도 25a에서 소스 매칭부 (108) 가 소스 고체 상태 매칭부로 대체되는 것을 제외하고 도 24a의 시스템 (2400) 과 동일한 컴포넌트들을 갖는다. 소스 고체 상태 매칭부는 플라즈마 챔버 (112) 의 TCP 전극의 TCP 코일 (126) 을 통해 흐르는 전류들과 TCP 전극의 다른 TCP 코일 사이의 전류비를 달성하는 것을 용이하게 한다. 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 에 대한 타이밍 정보와 같은 상태 정보는 제어기 CTRL에 의해 소스 고체 상태 매칭부에 제공된다. 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 각각 동안, 소스 고체 상태 매칭부는 소스 RF 생성기 (102) 를 향해 반사되는 전력을 감소시키기 위해 고체 상태 매칭부의 출력부 (2502) 에 커플링된 부하의 임피던스를 고체 상태 매칭부의 입력부 (2504) 에 커플링된 소스의 임피던스와 매칭한다. 고체 상태 매칭부의 출력부 (2502) 에 커플링된 부하의 예는 RF 송신 라인 (140) 및 플라즈마 챔버 (112) 를 포함하고 입력부 (2504) 에 커플링된 소스의 예는 RF 케이블 (138) 및 소스 RF 생성기 (102) 를 포함한다. RF 케이블 (138) 은 입력부 (2504) 에 커플링되고 RF 송신 라인 (140) 은 출력부 (2502) 에 커플링된다. 바이어스 RF 생성기 (104) 는 연속파 (continuous wave; CW) 모드 또는 듀얼 상태 모드 또는 멀티 상태 모드에서 동작한다. 멀티 상태 모드의 예는 멀티 레벨 펄싱을 적용하는 모드이다.

[0414] 도 25b는 바이어스 매칭부 (110) 대신, 바이어스 고체 상태 매칭부가 사용되는 것을 예시하기 위한 시스템 (2550) 의 일 실시 예의 도면이다. 시스템 (2550) 은 바이어스 매칭부 (110) 대신 바이어스 고체 상태 매칭부가 사용되고 소스 고체 상태 매칭부 대신 소스 매칭부 (108) 가 사용되는 것을 제외하고 시스템 (2500) 과 동일하다. 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 에 대한 타이밍 정보와 같은 상태 정보는 제어기 CTRL에 의해 바이어스 고체 상태 매칭부에 제공된다. 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 각각 동안, 바이어스 고체 상태 매칭부는 바이어스 RF 생성기 (104) 를 향하여 반사되는 전력을 감소시키기 위해, 바이어스 고체 상태 매칭부의 출력부 (2552) 에 커플링된 부하의 임피던스를 바이어스 고체 상태 매칭부의 입력부 (2554) 에 커플링된 소스의 임피던스와 매칭시킨다. 바이어스 고체 상태 매칭부의 출력부 (2552) 에 커플링된 부하의 예는 플라즈마 챔버 (112) 및 플라즈마 챔버 (112) 에 바이어스 고체 상태 매칭부를 커플링하는 RF 송신 라인 (144) 을 포함한다. 바이어스 고체 상태 매칭부의 입력부 (2554) 에 커플링된 소스의 예는 RF 케이블 (142) 및 바이어스 RF 생성기 (104) 를 포함한다. 출력부 (2552) 는 RF 송신 라인 (144) 에 커플링되고 입력부 (2554) 는 RF 케이블 (142) 에 커플링된다. 바이어스 RF 생성기 (104) 가 멀티 상태 모드에서 동작될 때, 소스 RF 생성기 (102) 는 CW (continuous wave) 모드 또는 듀얼 상태 모드 또는 멀티 상태 모드에서 동작한다.

[0415] **RF 생성기의 선택적 튜닝 (일 상태 동안 RF 생성기를 튜닝하지만 다른 상태에서는 튜닝하지 않음)**

[0416] 도 26a는 고정 주파수를 사용한 매칭 튜닝 방법을 예시하기 위한 시스템 (2600) 의 일 실시 예의 도면이다. 도 26a에 대해 예시된 시스템 (2600) 은 시스템 (2600) 에서, 센서 (1710) 가 소스 RF 생성기 (102) 의 출력부에 커플링되는 것을 제외하고 도 23을 참조하여 예시된 것과 동일한 컴포넌트들을 갖는다. 센서 (1710) 는 소스 RF 생성기 (102) 를 향해 반사된 전력을 측정한다. 제어기 CTRL은 상태 S(n-A) 동안 소스 매칭부 (108) 를 튜닝한다. 게다가, 제어기 CTRL은 남아 있는 상태들 (S(n-A+1) 내지 Sn) 동안 소스 RF 생성기 (102) 의 일정한 주파수를 유지한다. 일정한 주파수는 소스 RF 생성기 (102) 를 향해 반사된 전력의 합 $\sum_{v=1}^{w} CvPv$ 이 최소가 되

도록 제어기 CTRL에 의해 결정되고, 여기서 Cv는 상태에 대한 가중치이고, Pv는 상태 동안 소스 RF 생성기 (102) 를 향해 반사되는 전력이고, 그리고 v는 상태의 상태 번호이다. 예를 들어, 상태 S(n-A)의 상태 번호는 1이고, 상태 S(n-A+1)의 상태 번호는 2이고, 상태 Sn의 상태 번호가 w일 때까지, 계속되고, 여기서 w는 양의 정수이다. 소스 RF 생성기 (102) 가 멀티 상태 모드에서 동작되는 동안, 바이어스 RF 생성기 (104) 는 CW (continuous wave) 상태 또는 2 개의 상태들 또는 멀티 상태 모드에서 동작한다.

[0417] 도 26b는 고정 주파수를 사용한 매칭 튜닝 방법을 예시하기 위한 시스템 (2650) 의 일 실시 예의 도면이다. 제어기 CTRL은 상태 S(n-A) 동안 바이어스 매칭부 (110) 를 튜닝한다. 게다가, 제어기 CTRL은 남아있는 상태들 (S(n-A+1) 내지 Sn) 동안 바이어스 RF 생성기 (104) 의 일정한 주파수를 유지한다. 일정한 주파수는 바이어스 RF 생성기 (104) 를 향해 반사된 전력의 합 $\sum_{v=1}^{w} CvPv$이 최소가 되도록 제어기 CTRL에 의해 결정되고, 여기서 Cv는 상태에 대한 가중치이고, Pv는 상태 동안 바이어스 RF 생성기 (104) 를 향해 반사되는 전력이고, 그리고 v는 상태의 상태 번호이다. 예를 들어, 상태 S(n-A)의 상태 번호는 1이고, 상태 S(n-A+1)의 상태 번호는 2이고, 상태 Sn의 상태 번호가 w일 때까지, 계속된다. 센서 (1710) 는 바이어스 RF 생성기 (104) 를 향해 반사된 전력을 측정하기 위해 바이어스 RF 생성기 (104) 의 출력부 (160) 에 커플링된다. 바이어스 RF 생성기 (104) 가 멀티 상태 모드에서 동작하는 동안, 소스 RF 생성기 (102) 는 CW (continuous wave) 상태 또는 2 개의 상태들 또는 멀티 상태 모드에서 동작한다.

[0418] 일 실시 예에서, 소스 RF 생성기 및 바이어스 RF 생성기 (102 및 104) 모두는 복수의 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 에서 동작한다.

[0419] 일 실시 예에서, 소스 RF 생성기 (102) 는 바이어스 RF 생성기 (104) 와 상이한 수의 상태들에서 동작한다.

[0420] **마스터 동기 제어기 (ADVCI 또는 펄스 마스터 제어기)**

[0421] 도 27은 TCP 전극과 바이어스 전극 사이의 클록 동기화 방법을 예시하기 위한 시스템 (2700) 의 일 실시 예의 도면이다. 도 27에 예시된 바와 같이, 디지털 펄스 소스 또는 디지털 신호 프로세서 또는 호스트 컴퓨터 (106) 또는 호스트 제어기 또는 ADVCI와 같은 펄스 마스터 제어기는 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 을 갖는 TTL (transistor-transistor logic) 신호를 생성하고 바이어스 RF 생성기 (104) 로 TTL 신호를 제공한다. 펄스 마스터 제어기는 본 명세서에서 때때로 외부 펄스 마스터 제어기로 지칭된다. TTL 신호를 수신하면, 바이어스 RF 생성기 (104) 는 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 에 대한 전력 레벨들 ($PL_{S(n-A)}$ 내지 PL_{Sn}) 을 갖는 RF 신호를 생성한다. 게다가, 펄스 마스터 제어기는 TTL 신호를 소스 RF 생성기 (102) 에 제공한다. TTL 신호를 수신하면, 소스 RF 생성기 (102) 는 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 에 대해 복수의 전력 레벨들 ($PL_{S(n-A)}$ 내지 PL_{Sn}) 을 갖는 RF 신호를 생성한다. 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 각각에 대해 소스 RF 생성기 (102) 에 의해 생성된 일 전력 레벨이 있다. 예를 들어, 제 1 전력 레벨은 상태 S(n-A)에 대해 생성되고, 제 2 전력 레벨은 상태 S(n-A+1)에 대해 생성되고, 제 3 전력 레벨은 상태 S(n-1)에 대해 생성되고, 제 4 전력 레벨이 상태 Sn에 대해 생성된다.

[0422] 일 실시 예에서, 일 상태 동안 소스 RF 생성기 (102) 에 의해 생성된 전력 레벨은 그 상태 동안 바이어스 RF 생성기 (104) 에 의해 생성된 전력 레벨과 상이하다. 예를 들어, 상태 Sn 동안 소스 RF 생성기 (102) 에 의해 생성된 전력 레벨 PL_{Sn}은 상태 Sn 동안 바이어스 RF 생성기 (104) 에 의해 생성된 전력 레벨보다 높거나 낮은 것과 같이 상이하다.

[0423] 일 실시 예에서, 소스 RF 생성기 (102) 에는 바이어스 RF 생성기 (104) 에 제공된 TTL 신호와 상이한 수의 상태들을 갖는 TTL 신호가 제공된다. 예를 들어, 소스 RF 생성기 (102) 에는 4 개의 상태들을 갖는 TTL 신호가 제공되고 바이어스 RF 생성기 (104) 에는 5 개의 상태들을 갖는 TTL 신호가 제공된다. 또 다른 예로서, 소스 RF 생성기 (102) 에는 5 개의 상태들을 갖는 TTL 신호가 제공되고 바이어스 RF 생성기 (104) 에는 4 개의 상태들을 갖는 TTL 신호가 제공된다.

[0424] 도 28a는 동기화 마스터를 예시하기 위한 시스템 (2800) 의 일 실시 예이다. 도 28a에 예시된 시스템 (2800) 은 ADVCI와 같은 동기화 마스터를 포함하고, 소스 RF 생성기 (102) 및 바이어스 RF 생성기 (104) 를 더 포함한다. ADVCI는 아날로그 전압 신호와 같은 아날로그 신호를 디지털 전압 신호와 같은 디지털 신호로 변환한다. 또한, ADVCI는 전압 피크 검출 및 복수의 상태 (S(n-A) 내지 Sn) 를 갖는 상태 신호의 생성과 같은 하나 이상의 다른 기능들을 수행한다. 예를 들어, ADVCI는 DC 전압 레벨들과 같은 복수의 논리 레벨들을 갖는 상태 신호를 생성한다. 동기화 마스터는 소스 RF 생성기 (102) 및 바이어스 RF 생성기 (104) 에 커플링된다.

[0425] 동기화 마스터는 2 개의 상태 S1 및 상태 S0을 갖는 TTL 신호와 같은 클록 신호를 생성하고, 클록 신호를 바이

어스 RF 생성기 (104) 에 제공한다. 클록 신호를 수신하면, 바이어스 RF 생성기 (104) 는 2 개의 상태들 (S(n-1) 및 Sn) 의 2 개의 전력 레벨들을 갖는 RF 신호를 생성한다. 예를 들어, 바이어스 RF 생성기 (104) 에 의해 생성된 RF 신호는 고 전력 레벨 및 저 전력 레벨을 갖는다. 저 전력 레벨은 고 전력 레벨의 전력 값보다 낮은 하나 이상의 전력 값을 갖는다. 고 전력 레벨은 하나 이상의 전력 값을 갖는다. 또한, 동기화 마스터는 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 을 갖는 디지털 펄스 신호를 생성하고, 디지털 펄스 신호를 소스 RF 생성기 (102) 로 전송한다. 디지털 펄스 신호의 예는 멀티 상태 파형이다. 디지털 펄스 신호를 수신하면, 소스 RF 생성기 (102) 는 상태들 (S(n-A) 내지 Sn), 예컨대 4 개 이상의 상태들을 갖는 RF 신호를 생성한다. 예를 들어, 소스 RF 생성기 (102) 에 의해 생성된 RF 신호는 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 의 수와 동일한 수의 전력 레벨들을 갖는다.

[0426] 일 실시 예에서, 클록 신호 대신, 다수의 상태들 (S(n-1) 및 Sn), 상이한 수의 상태들을 갖는 디지털 펄스 신호가 동기화 마스터로부터 바이어스 RF 생성기 (104) 로 제공된다는 것을 주의해야 한다.

[0427] 도 28b는 동기화 마스터를 예시하기 위한 시스템 (2800) 의 일 실시 예이다. 동기화 마스터는 2 개의 상태들 (S(n-1) 및 Sn) 을 갖는 TTL 신호와 같은 클록 신호를 생성하고, 클록 신호를 소스 RF 생성기 (102) 에 제공한다. 클록 신호를 수신하면, 소스 RF 생성기 (102) 는 2 개의 상태들 (S(n-1) 및 Sn) 의 2 개의 전력 레벨들을 갖는 RF 신호를 생성한다. 예를 들어, 소스 RF 생성기 (102) 에 의해 생성된 RF 신호는 고 전력 레벨 및 저 전력 레벨을 갖는다. 저 전력 레벨은 고 전력 레벨의 전력 값보다 낮은 하나 이상의 전력 값을 갖는다. 고 전력 레벨은 하나 이상의 전력 값들을 가질 수도 있다. 또한, 동기화 마스터는 4 개 이상의 상태들과 같은, 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 을 갖는 디지털 펄스 신호를 생성하고, 디지털 펄스 신호를 바이어스 RF 생성기 (104) 로 전송한다. 디지털 펄스 신호를 수신하면, 바이어스 RF 생성기 (104) 는 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 을 갖는 RF 신호를 생성한다. 예를 들어, 바이어스 RF 생성기 (104) 에 의해 생성된 RF 신호는 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 의 수와 동일한 수의 전력 레벨들을 갖는다.

[0428] 일 실시 예에서, 클록 신호 대신, 다수의 상태들 (S(n-A) 내지 Sn), 상이한 수의 상태들을 갖는 디지털 펄스 신호가 동기화 마스터로부터 바이어스 RF 생성기 (104) 로 제공될 수도 있다는 것을 주의해야 한다.

[0429] **엔드 포인트 검출과 함께 마스터 동기화 제어기**

[0430] 도 29는 엔드 포인트 검출과 함께 멀티 상태 제어의 사용을 예시하기 위한 시스템 (2900) 의 일 실시 예의 도면이다. 시스템 (2900) 은 엔드 포인트 검출 제어기, ADVCI, 소스 RF 생성기 (102), 바이어스 RF 생성기 (104), 소스 매칭부 (108), 바이어스 매칭부 (110), 및 플라즈마 챔버 (112) 를 포함한다. 소스 RF 생성기 (102) 가 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 중 하나 이상을 갖는 RF 신호 (152) 를 생성할 때, 바이어스 RF 생성기 (104) 는 기판 S을 프로세싱하기 위해 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 중 하나 이상을 갖는 RF 신호 (168) 를 생성한다. 예로서, 소스 RF 생성기 (102) 에 의해 생성된 RF 신호 (152) 는 바이어스 RF 생성기 (104) 에 의해 생성된 RF 신호 (168) 와 동일한 수의 상태들을 갖는다. 또 다른 예로서, 소스 RF 생성기 (102) 에 의해 생성된 RF 신호 (152) 는 바이어스 RF 생성기 (104) 에 의해 생성된 RF 신호 (168) 의 상태들의 수와 상이한 수의 상태들을 갖는다.

[0431] 기판 S가 플라즈마 챔버 (112) 내에서 프로세싱되는 동안 플라즈마 챔버 (122) 로부터 반사되는 광의 강도를 결정하기 위해 광학 방출 분광기 (optical emission spectroscope) 또는 램 스펙트럼 반사계 (Lam spectral reflectometer; LSR) 가 플라즈마 챔버 (112) 외부에 위치된다. 엔드 포인트 검출 제어기는 프로세스의 엔드 포인트 또는 프로세스 지점에 도달하였는지 여부를 결정하기 위해 광학 방출 분광기 또는 LSR로부터 강도를 나타내는 전기 신호를 수신한다. 기판 S 상에서 수행된 프로세스의 예들은 증착 프로세스, 에칭 프로세스, 세정 프로세스, 및 스퍼터링 프로세스를 포함한다. 엔드 포인트 또는 프로세스 지점 또는 이들의 조합이 아직 달성되지 않았다는 결정시, 엔드 포인트 검출 제어기는 조정 신호를 ADVCI로 전송한다. 조정 신호를 수신하면, ADVCI는 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 동안 소스 RF 생성기 (102) 의 전력 레벨들을 제어하거나, 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 동안 바이어스 RF 생성기 (104) 의 전력 레벨들, 또는 이들의 조합을 제어한다. 엔드 포인트 또는 프로세스 지점이 달성되었다고 결정될 때, 엔드 포인트 검출 제어기는 중단 신호를 ADVCI로 전송한다. 중단 신호를 수신하면, ADVCI는 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 동안 소스 RF 생성기 (102) 의 전력 레벨들이 0이 되도록 제어하고, 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 동안 바이어스 RF 생성기 (104) 의 전력 레벨들이 0이 되도록 제어한다.

[0432] **멀티 상태 펄싱을 위한 반사 전력 감소**

[0433] 도 30은 마이크로 초 레벨에서 궤적들을 주파수 튜닝하기 위한 방법을 예시하기 위한, 전력 제어기들 ($PWR_{S(n-A)}$ 내지 PWR_{Sn}), 자동 주파수 튜너들 ($AFT_{S(n-A)}$ 내지 AFT_{Sn}), DSP (204), 및 RF 전력 공급부 (222) 를 포함하는, RF 생성기 (1070) 를 포함하는 시스템 (3000) 을 예시한다. 시스템 (3000) 은 소스 매칭부 (108) 또는 바이어스

매칭부 (110) 와 같은 매칭부 (216) 를 더 포함하고, 플라즈마 챔버 (112) 를 포함한다. 센서 (1710) 는 RF 전력 공급부 (222) 의 출력부 (217) 에 커플링된다. RF 전력 공급부 (222) 는 소스 RF 생성기 (102) 또는 바이어스 RF 생성기 (104) 의 공급부이다.

[0434] 센서 (1710) 는 출력부 (217) 에서 기준을 측정하고 기준을 DSP (204) 에 제공한다. DSP (204) 는 상태들 중 하나 이상 동안 반사된 전력을 감소시키기 위해 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 중 하나 이상의 상태들에 대한 주파수 및/또는 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 중 하나 이상의 상태들에 대한 전력을 변화 시키도록 결정한다. 도 10j를 참조하여 상기 기술된 바와 같이 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 중 하나 이상에 대한 주파수를 변화시키기 위해, DSP (204) 는 자동 주파수 튜너들 ($AFT_{S(n-A)}$ 내지 AFT_{Sn}) 중 대응하는 하나 이상의 자동 주파수 튜너들을 제어하고, 상태들 (S(n-A) 내지 Sn) 중 하나 이상의 상태들에 대한 전력을 변화시키기 위해, DSP (204) 는 전력 제어기들 ($PWR_{S(n-A)}$ 내지 PWR_{Sn}) 중 대응하는 하나 이상의 전력 제어기들을 제어한다.

[0435] 일 실시 예에서, RF 생성기를 튜닝하는 방법이 기술된다. 방법은 4 개 이상의 상태들을 갖는 디지털 펄스 신호를 생성하는 단계, 디지털 펄스 신호를 RF 생성기에 제공하는 단계, 및 4 개 이상의 디지털 펄스 신호 상태들과 동기화되는 4 개 이상의 전력 레벨들을 갖는 RF 신호를 생성하는 단계를 포함한다.

[0436] 일 실시 예에서, 4 개 이상의 상태들 중 첫번째 상태는 4 개 이상의 전력 레벨들 중 제 1 전력 레벨의 발생의 시간 지속 기간을 제공하고, 4 개 이상의 상태들 중 두번째 상태는 4 개 이상의 전력 레벨들 중 제 2 전력 레벨의 발생의 시간 지속 기간을 제공하고, 4 개 이상의 상태들 중 세 번째 상태는 4 개 이상의 전력 레벨들 중 제 3 전력 레벨의 발생의 시간 지속 기간을 제공하고, 그리고 4 개 이상의 상태들 중 네 번째 상태는 4 개 이상의 전력 레벨들 중 제 4 전력 레벨의 발생의 시간 지속 기간을 제공한다.

[0437] 일 실시 예에서, 반도체 제조를 위해 플라즈마를 생성하는데 사용되는 생성기가 기술된다. 생성기는 멀티 상태 파형을 규정하는 입력 신호를 프로세싱하기 위한 수신기를 포함한다. 다중 상태 파형은 멀티 상태 파형의 복수의 멀티 상태들 중 상태 각각 동안 생성기에 의해 인가될 각각의 전력 레벨과 연관된다. 생성기는 RF 생성기의 부하로 RF 전력 신호를 전달하기 위한 출력부를 더 포함한다. RF 전력 신호는 멀티 상태 파형과 연관된 전력 레벨들을 사용한다. 전력 레벨들은 복수의 클록 사이클들에 대해 클록 사이클 각각 동안 반복된다.

[0438] 일 실시 예에서, 전력 레벨들은 4 레벨, 또는 5 레벨, 또는 6 레벨, 또는 7 레벨, 또는 8 레벨을 포함한다.

[0439] 일 실시 예에서, 전력 레벨들 중 하나는 전력 레벨들 중 또 다른 하나의 펄스 폭을 감소시키기 위해 전력 레벨들 중 또 다른 하나로 전이한다.

[0440] 일 실시 예에서, 전력 레벨들 중 하나는 전력 레벨들 중 하나의 펄스 폭을 감소시키기 위해 전력 레벨들 중 또 다른 하나로 전이한다.

[0441] 일 실시 예에서, 부하는 TCP 전극이고 멀티 상태 파형은 바이어스 전극에 커플링된 또 다른 생성기에 인가된다.

[0442] 일 실시 예에서, 전극을 갖는 플라즈마 프로세싱 챔버로 전력을 공급하는데 사용되는 생성기가 기술된다. 생성기는 적어도 4 개의 상태들을 포함하는 멀티 상태 신호를 수신하기 위한 입력부 및 멀티 상태 신호에 기초하여 복수의 레벨들의 전력을 공급하는 RF 신호를 제공하기 위한 출력부를 포함한다. RF 신호는 플라즈마 프로세싱 챔버의 전극에 연결된 매칭부로 전달된다.

[0443] 일 실시 예에서, 플라즈마 프로세싱 챔버의 전극에 멀티 상태 전력을 공급하기 위한 방법이 기술된다. 방법은 적어도 4 개의 상태들을 갖는 디지털 펄스 신호를 생성하는 단계 및 멀티 상태 RF 신호를 생성하도록 디지털 펄스 신호를 프로세싱하는 단계를 포함한다. 멀티 상태 RF 신호는 적어도 4 개의 상태들 각각에 대응하는 복수의 전력 레벨들을 갖는다. 방법은 전극으로 전력을 전달하기 위해 부하로 멀티 상태 RF 신호를 출력하는 단계를 포함한다.

[0444] 일 실시 예에서, 적어도 4 개의 상태들은 복수의 클록 사이클들에 대해 클록 사이클 각각 동안 반복된다.

[0445] 본 명세서에 기술된 실시 예들은 휴대형 하드웨어 유닛들, 마이크로프로세서 시스템들, 마이크로프로세서-기반 또는 프로그램가능한 가전제품들, 미니컴퓨터들, 메인프레임 컴퓨터들 등을 포함하는 다양한 컴퓨터 시스템 구성들로 실시될 수도 있다. 본 명세서에 기술된 실시 예들은 또한 컴퓨터 네트워크를 통해 링크된 원격 프로세싱 하드웨어 유닛들에 의해 태스크들이 수행되는 분산 컴퓨팅 환경들에서 실시될 수 있다.

[0446] 일부 실시 예들에서, 제어기는 상기 기술된 예들의 일부일 수도 있는 시스템의 일부이다. 시스템은, 프로세싱 툴 또는 툴들, 챔버 또는 챔버들, 프로세싱용 플랫폼 또는 플랫폼들, 및/또는 특정 프로세싱 컴포넌트들 (웨이

퍼 페데스탈, 가스 플로우 시스템, 등) 을 포함하는, 반도체 프로세싱 장비를 포함한다. 시스템은 반도체 웨이퍼 또는 기판의 프로세싱 이전에, 프로세싱 동안에 그리고 프로세싱 이후에 그들의 동작을 제어하기 위한 전자장치와 통합된다. 전자장치는 시스템의 다양한 컴포넌트들 또는 하위부분들을 제어할 수도 있는 "제어기"로서 지칭된다. 제어기는, 시스템의 프로세싱 요건들 및/또는 타입에 따라서, 프로세스 가스들의 전달, 온도 설정사항들 (예를 들어, 가열 및/또는 냉각), 압력 설정사항들, 진공 설정사항들, 전력 설정사항들, RF 생성기 설정사항들, RF 매칭부 회로 설정사항들, 주파수 설정사항들, 플로우 레이트 설정사항들, 유체 전달 설정사항들, 위치 및 동작 설정사항들, 툴 및 다른 이송 툴들 및/또는 시스템과 연결되거나 인터페이싱된 로드록들 내외로의 웨이퍼 이송들을 포함하는, 본 명세서에 개시된 임의의 프로세스를 제어하도록 프로그래밍된다.

[0447] 일반적으로 말하면, 다양한 실시 예들에서, 제어기는 인스트럭션들을 수신하고, 인스트럭션들을 발행하고, 동작을 제어하고, 세정 동작들을 인에이블하고, 엔드포인트 측정들을 인에이블하는, 등을 하는 다양한 집적 회로들, 로직, 메모리, 및/또는 소프트웨어를 갖는 전자장치로서 규정된다. 집적 회로들은 프로그램 인스트럭션들을 저장하는 펌웨어의 형태의 칩들, 디지털 신호 프로세서들 (DSPs), ASIC들 (Application Specific Integrated Circuits) 로서 규정되는 칩들, PLD들 (programmable logic devices), 프로그램 인스트럭션들 (예를 들어, 소프트웨어) 을 실행하는 하나 이상의 마이크로프로세서들, 또는 마이크로제어기들을 포함한다. 프로그램 인스트럭션들은 반도체 웨이퍼 상에서 또는 반도체 웨이퍼에 대한 프로세스를 수행하기 위한 동작 파라미터들을 규정하는, 다양한 개별 설정사항들 (또는 프로그램 파일들) 의 형태로 제어기로 전달되는 인스트럭션들이다. 일부 실시 예들에서, 동작 파라미터들은 하나 이상의 층들, 재료들, 금속들, 옥사이드들, 실리콘, 실리콘 다이옥사이드, 표면들, 회로들, 및/또는 웨이퍼의 다이들의 제조 동안에 하나 이상의 프로세싱 단계들을 달성하도록 프로세스 엔지니어들에 의해서 규정된 레시피의 일부이다.

[0448] 제어기는, 일부 실시 예들에서, 시스템에 통합되거나, 시스템에 커플링되거나, 그렇지 않으면 시스템에 네트워킹되거나, 또는 이들의 조합인 컴퓨터에 커플링되거나 일부이다. 예를 들어, 제어기는 웨이퍼 프로세싱을 위해 원격 액세스를 가능하게 하는 공장 (fab) 호스트 컴퓨터 시스템의 전부 또는 일부이거나 "클라우드" 내에 있다. 제어기는 제조 동작들의 현재 진행을 모니터링하고, 과거 제조 동작들의 이력을 조사하고, 복수의 제조 동작들로부터 경향들 또는 성능 메트릭들을 조사하고, 현재 프로세싱의 파라미터들을 변경하고, 현재 프로세싱에 후속하는 프로세싱 단계들을 설정하고, 또는 새로운 프로세스 시작하도록 시스템에 대한 원격 액세스를 인에이블한다.

[0449] 일부 실시 예들에서, 원격 컴퓨터 (예를 들어, 서버) 는 로컬 네트워크 또는 인터넷을 포함하는 컴퓨터 네트워크를 통해 시스템에 프로세스 레시피들을 제공한다. 원격 컴퓨터는 차후에 원격 컴퓨터로부터 시스템으로 전달될 파라미터들 및/또는 설정사항들의 입력 또는 프로그래밍을 인에이블하는 사용자 인터페이스를 포함한다. 일부 예들에서, 제어기는 웨이퍼를 프로세싱하기 위한 설정들의 형태의 인스트럭션들을 수신한다. 설정들은 웨이퍼 상에서 수행될 프로세스의 타입 및 제어기가 인터페이싱하거나 제어하는 툴의 타입에 특정된다는 것이 이해되어야 한다. 따라서 상기 기술된 바와 같이, 제어기는 예컨대 본 명세서에 기술된 프로세스들을 이행하는 것과 같은, 공동의 목적을 향해 함께 네트워킹되고 작동되는 하나 이상의 개별 제어기들을 포함함으로써 분산된다. 이러한 목적들을 위한 분산형 제어기의 예는 챔버의 프로세스를 제어하도록 조합되는 (예컨대 플랫폼 레벨에서 또는 원격 컴퓨터의 일부로서) 원격으로 위치한 하나 이상의 집적 회로들과 통신하는 챔버 상의 하나 이상의 집적 회로들을 포함한다.

[0450] 비한정적으로, 다양한 실시 예들에서, 시스템은 플라즈마 에칭 챔버, 증착 챔버, 스핀-린스 챔버, 금속 도금 챔버, 세정 챔버, 베벨 에지 에칭 챔버, PVD (physical vapor deposition) 챔버, CVD (chemical vapor deposition) 챔버, ALD (atomic layer deposition) 챔버, ALE (atomic layer etch) 챔버, 이온 주입 챔버, 트랙 챔버, 및 반도체 웨이퍼들의 제조 및/또는 제작에 연관되거나 사용되는 임의의 다른 반도체 프로세싱 챔버를 포함한다.

[0451] 상기 기술된 동작들이 TCP (transformer coupled plasma) 반응기를 참조하여 기술되었지만, 일부 실시 예들에서, 상기 기술된 동작들은 다른 타입들의 플라즈마 챔버들, 예를 들어, 병렬 플레이트 플라즈마 챔버, 예를 들어, 용량 결합 플라즈마 챔버, 등, 유전체 툴들, ECR (electron cyclotron reson-Ance) 반응기를 포함하는 플라즈마 챔버, 등에 적용된다는 것을 또한 주의한다. TCP 반응기의 예는 ICP (inductively coupled plasma) 반응기를 포함한다. TCP 반응기의 또 다른 예는 도전체 툴을 포함한다. 때때로, 용어들 반응기 및 플라즈마 챔버는 본 명세서에서 상호 교환 가능하게 사용된다.

[0452] 상술한 바와 같이, 툴에 의해서 수행될 프로세스 동작에 따라서, 제어기는, 반도체 제작 공장 내의 툴 위치들

및/또는 로드 포트들로부터/로드 포트들로 웨이퍼들의 컨테이너들을 이동시키는 재료 이송 시에 사용되는, 다른 툴 회로들 또는 모듈들, 다른 툴 컴포넌트들, 클러스터 툴들, 다른 툴 인터페이스들, 인접 툴들, 이웃하는 툴들, 공장 도처에 위치한 툴들, 메인 컴퓨터, 또 다른 제어기, 또는 툴들 중 하나 이상과 통신한다.

[0453] 상기 실시 예들을 염두에 두고, 일부 실시 예들은 컴퓨터 시스템들에 저장된 데이터를 수반하는 다양한 컴퓨터-구현된 동작들을 채용한다는 것이 이해되어야 한다. 이러한 컴퓨터로 구현된 동작들은 물리량들을 조작하는 동작들이다.

[0454] 실시 예들 중 일부는 또한 이들 동작들을 수행하기 위한 하드웨어 유닛 또는 장치와 관련된다. 장치는 특수 목적 컴퓨터를 위해 특별히 구성된다. 특수 목적 컴퓨터로서 규정될 때, 컴퓨터는 특수 목적의 일부가 아닌 다른 프로세싱, 프로그램 실행 또는 루틴들을 수행하지만, 여전히 특수 목적을 위해 동작할 수 있다.

[0455] 일부 실시 예들에서, 본 명세서에 기술된 동작들은 선택적으로 활성화된 컴퓨터에 의해 수행되거나 컴퓨터 메모리에 저장되거나 컴퓨터 네트워크를 통해 획득되는 하나 이상의 컴퓨터 프로그램들에 의해 구성된다. 데이터가 컴퓨터 네트워크를 통해 획득될 때, 데이터는 컴퓨터 네트워크 상의 다른 컴퓨터들, 예를 들어, 컴퓨팅 리소스들의 클라우드에 의해 프로세싱될 수도 있다.

[0456] 본 명세서에 기술된 하나 이상의 실시 예들은 또한 비일시적인 컴퓨터 판독 가능 매체 상의 컴퓨터 판독 가능 코드로서 제조될 수 있다. 비 일시적 컴퓨터-판독 가능 매체는 데이터를 저장하는 임의의 데이터 저장 하드웨어 유닛, 예를 들어, 메모리 디바이스, 등이고, 그 후 컴퓨터 시스템에 의해 판독된다. 비 일시적 컴퓨터 판독 가능 매체의 예들은 하드 드라이브들, n-AS(network attached storage), ROM, RAM, CD-ROM들, CD-Rs (CD-recordables), CD RWs (CD-rewritables), 자기 테이프들 및 기타 광학 및 비광학 데이터 저장 하드웨어 유닛들을 포함한다. 일부 실시 예들에서, 비일시적인 컴퓨터-판독 가능 매체는 컴퓨터-판독 가능 코드가 분산된 방식으로 저장되고 실행되도록 네트워크-커플링된 컴퓨터 시스템을 통해 분산된 컴퓨터-판독 가능 유형의 매체를 포함한다.

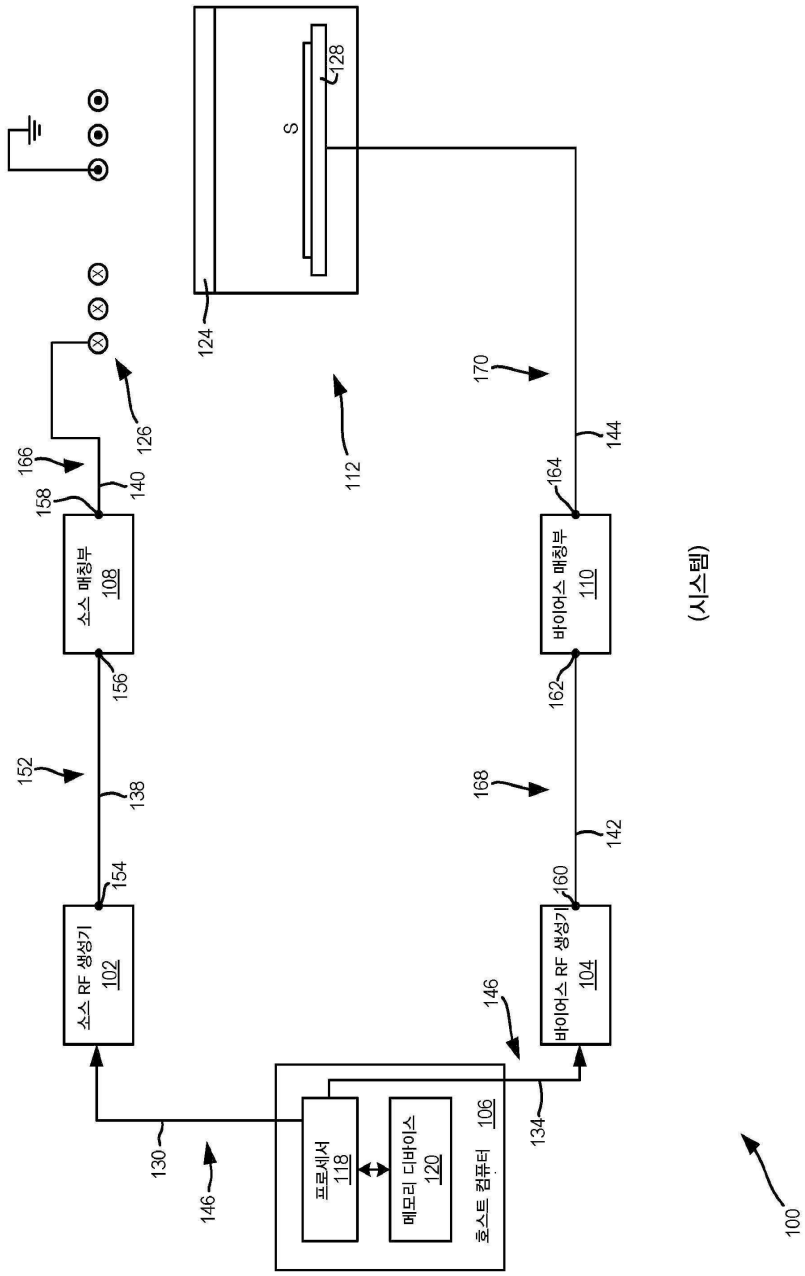
[0457] 상기 기술된 일부 방법 동작들이 특정한 순서로 제시되었지만, 다양한 실시 예들에서, 다른 하우스 키핑 동작들이 방법 동작들 사이에 수행되거나, 방법 동작들이 약간 상이한 시간들에 발생하도록 조정되거나, 다양한 인터벌들로 방법 동작들의 발생을 허용하거나 상기 기술된 것과 상이한 순서로 수행되는 시스템에 분산된다는 것이 이해되어야 한다.

[0458] 일 실시 예에서, 상기 기술된 임의의 실시 예로부터의 하나 이상의 특징들은 본 개시에 기술된 다양한 실시 예들에서 기술된 범위로부터 벗어나지 않고 임의의 다른 실시 예의 하나 이상의 특징들과 결합된다는 것을 또한 주의해야 한다.

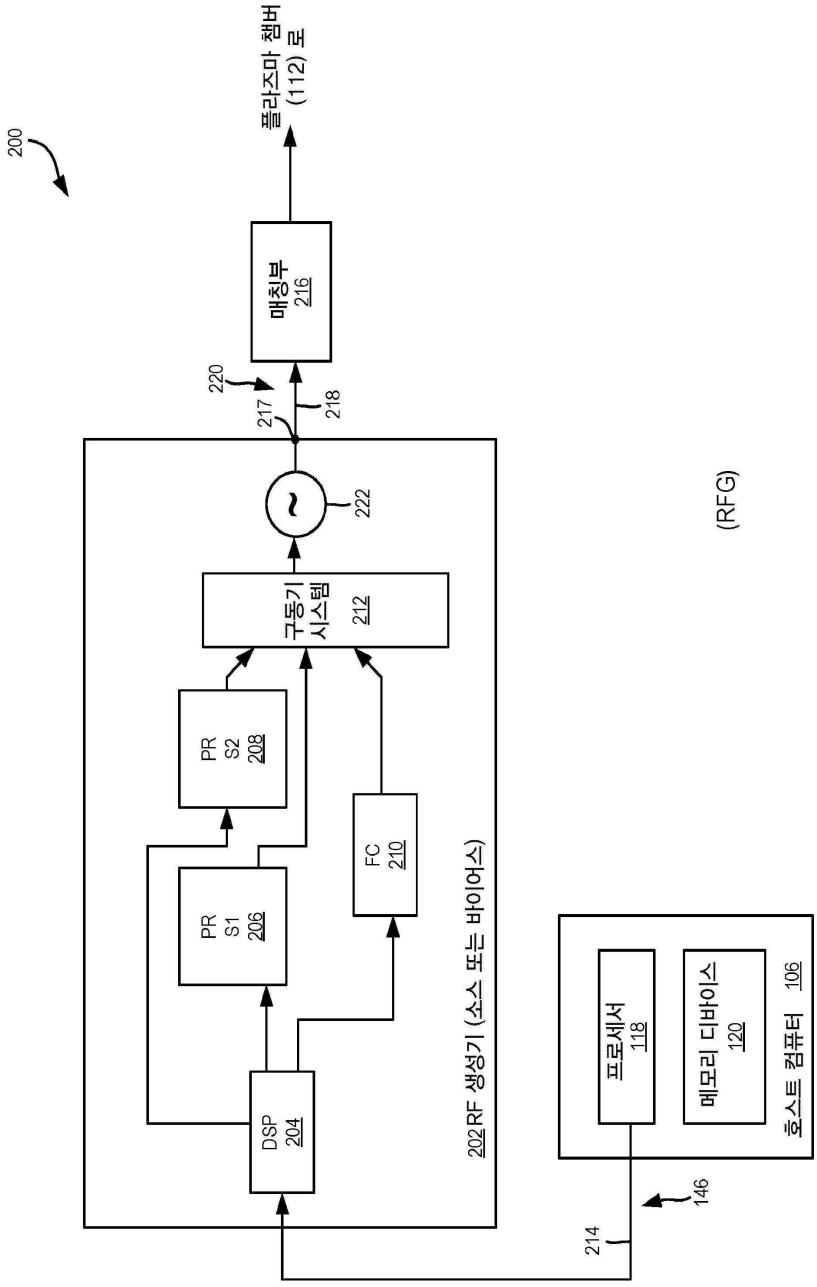
[0459] 전술한 실시 예들이 이해의 명확성의 목적들을 위해 다소 상세히 기술되었지만, 특정한 변화들 및 수정들이 첨부된 청구항들의 범위 내에서 실시될 수도 있다는 것이 자명할 것이다. 따라서, 본 실시 예들은 제한적이지 않고 예시적인 것으로 간주되어야 하고, 실시 예들은 본 명세서에 제공된 상세들로 제한되지 않고, 첨부된 청구항들의 범위 및 등가물 내에서 수정될 수도 있다.

도면

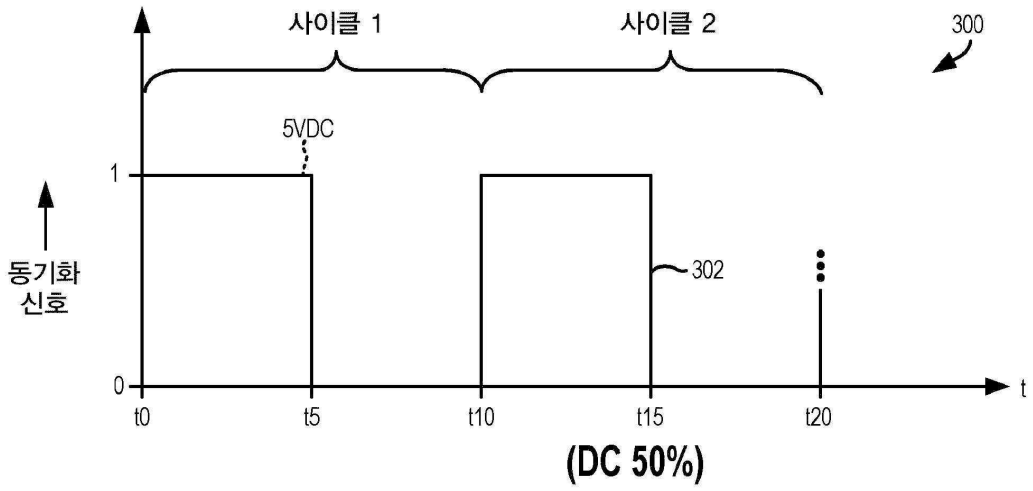
도면1


소스 RF 생성기 102
바이어스 RF 생성기 104
호스트 컴퓨터 106
프로세서 118
메모리 디바이스 120
소스 매칭부 108
바이어스 매칭부 110
(시스템)
S
128
124
112
126
140
144
130
134
138
142
146
152
154
156
158
160
162
164
166
168
170
100

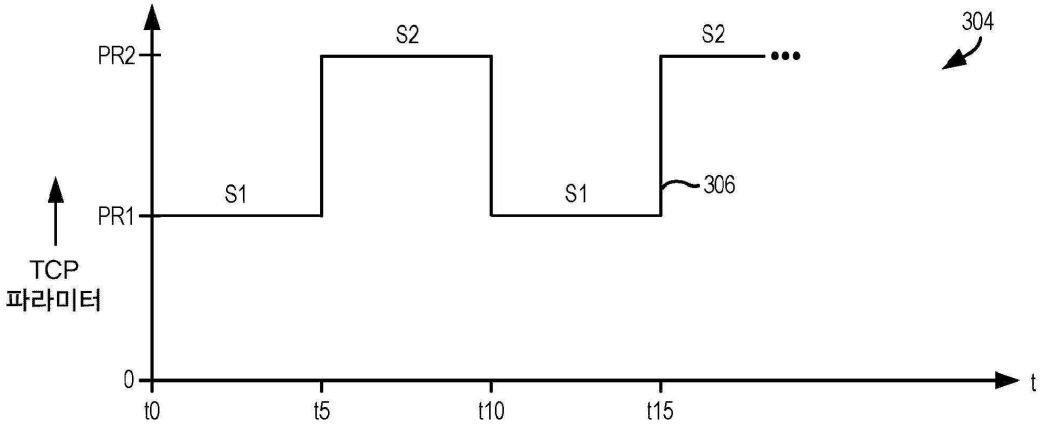
도면2


200
플라즈마 챔버 (112) 로
매칭부 216
220
217
218
222
구동기 시스템 212
PR S2 208
PR S1 206
FC 210
DSP 204
202 RF 생성기 (소스 또는 바이어스)
214
146
프로세서 118
메모리 디바이스 120
호스트 컴퓨터 106
(RFG)

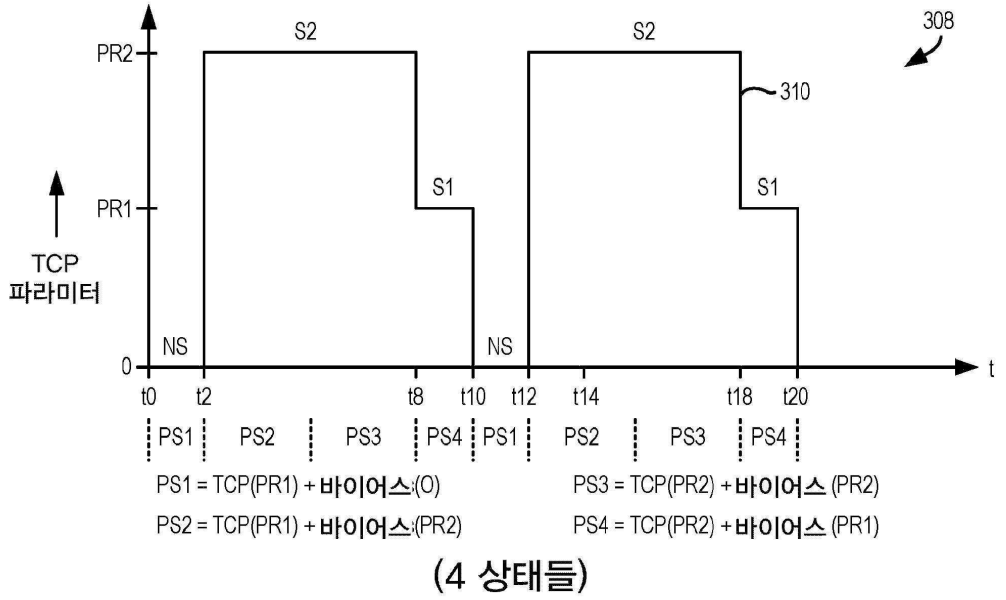
도면3a


사이클 1
사이클 2
300
5VDC
1
동기화
신호
302
0
t
t0
t5
t10
t15
t20
(DC 50%)

도면3b

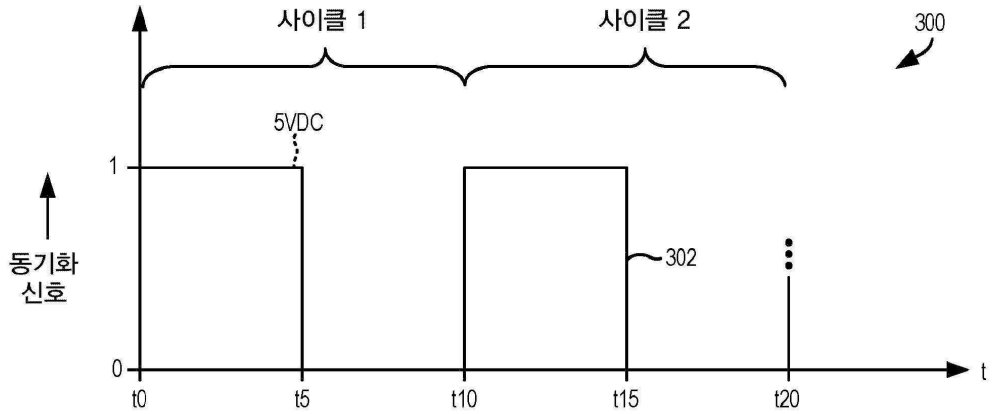

304
PR2
S2
S2
S1
S1
306
PR1
TCP
파라미터
0
t
t0
t5
t10
t15

도면3c



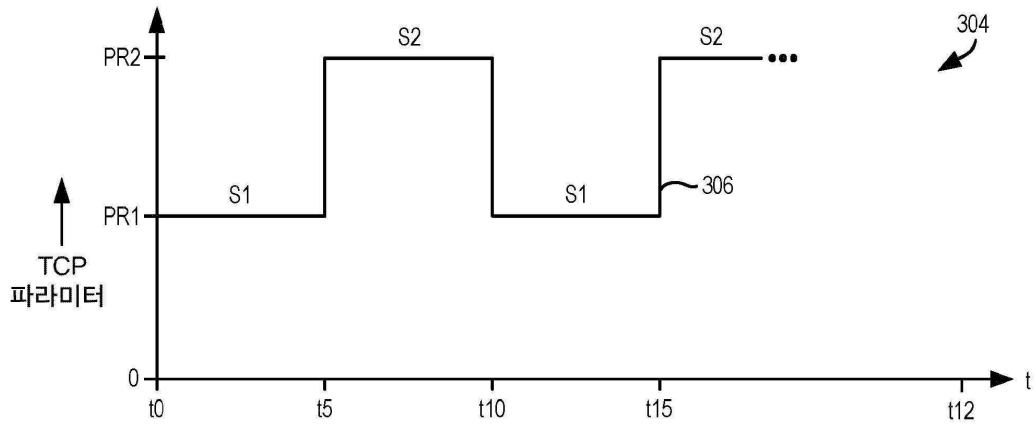
(4 상태들)

도면4a

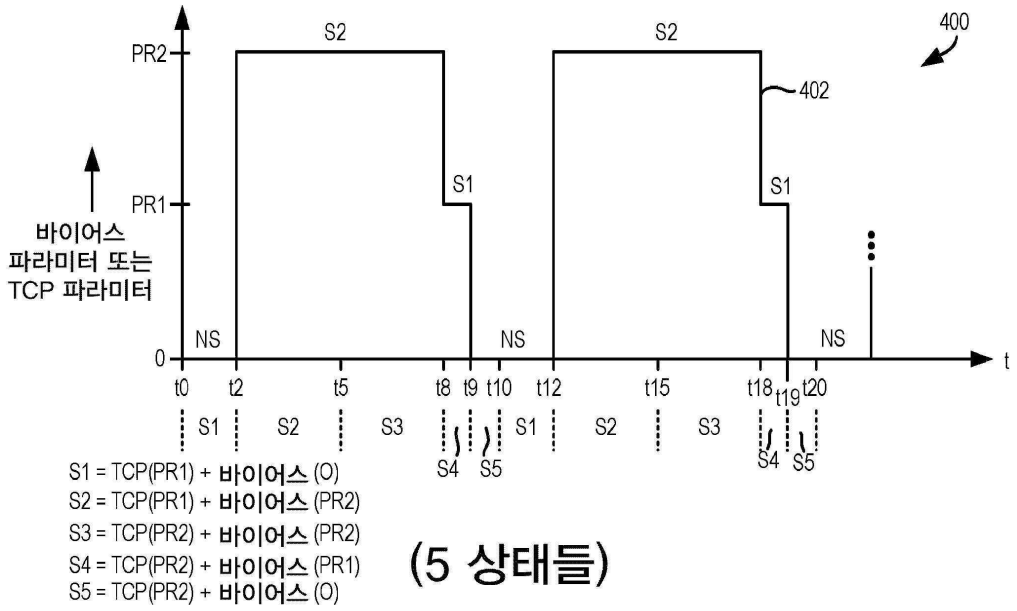


(DC 50%)

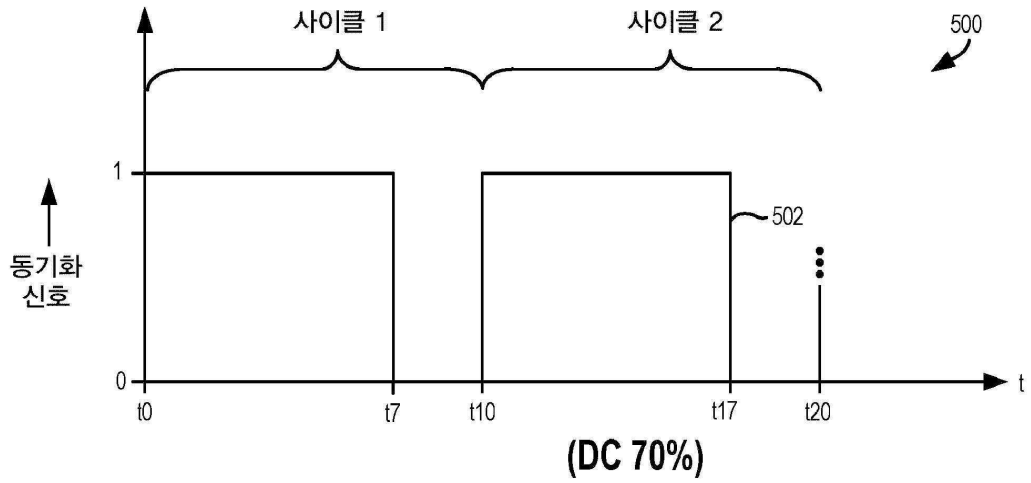
도면4b


304
PR2
S2
S2
S1
S1
306
PR1
TCP
파라미터
0
t0
t5
t10
t15
t12
t

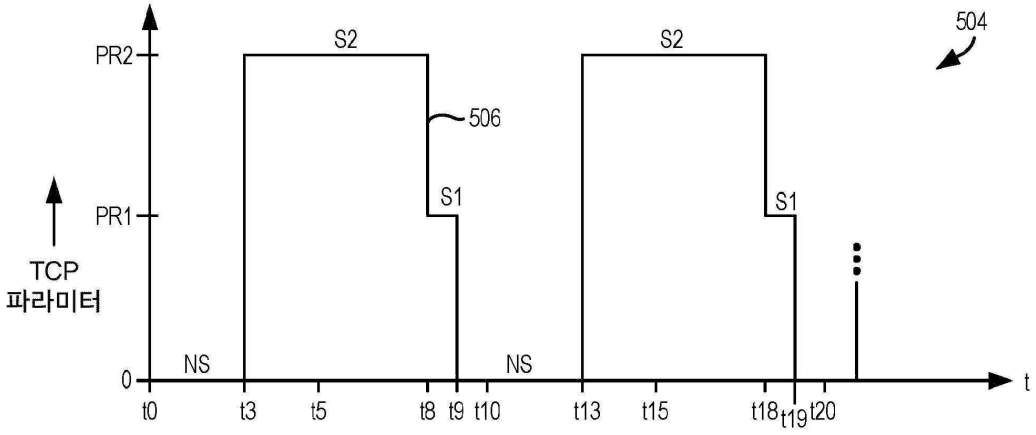
도면4c


400
PR2
S2
S2
402
S1
S1
PR1
바이어스
파라미터 또는
TCP 파라미터
NS
NS
NS
0
t0
t2
t5
t8
t9
t10
t12
t15
t18
t19
t20
t
S1
S2
S3
S1
S2
S3
S4
S5
S4
S5
S1 = TCP(PR1) + 바이어스 (O)
S2 = TCP(PR1) + 바이어스 (PR2)
S3 = TCP(PR2) + 바이어스 (PR2)
S4 = TCP(PR2) + 바이어스 (PR1)
S5 = TCP(PR2) + 바이어스 (O)
(5 상태들)

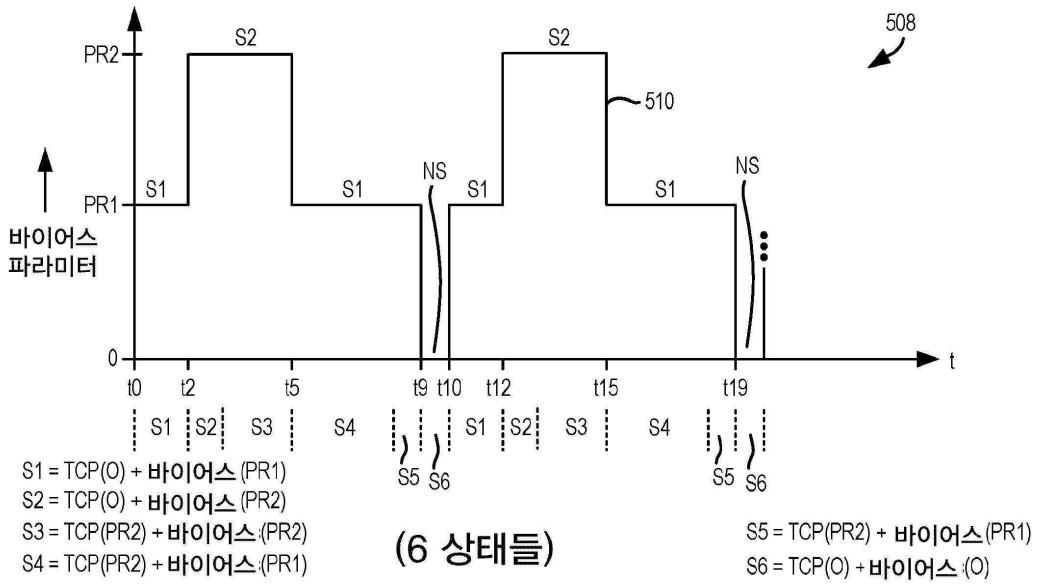
도면5a


사이클 1
사이클 2
500
1
0
동기화
신호
502
t
t0
t7
t10
t17
t20
(DC 70%)

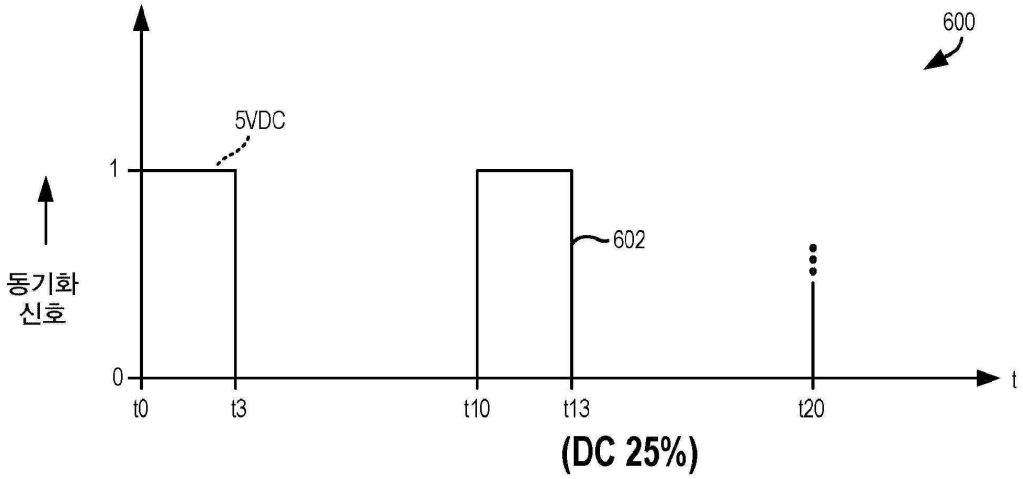
도면5b


504
PR2
PR1
0
TCP
파라미터
S2
S2
506
S1
S1
NS
NS
t
t0
t3
t5
t8
t9
t10
t13
t15
t18
t19
t20

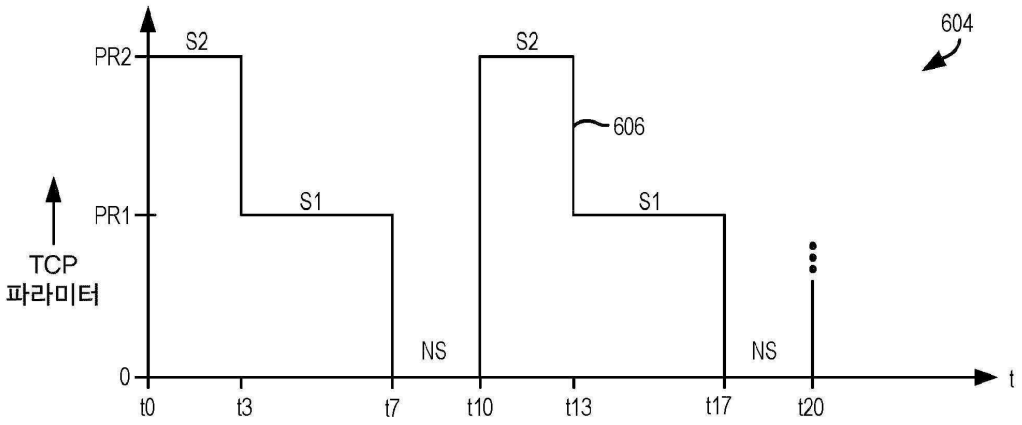
도면5c


508
PR2
PR1
0
S1
S2
NS
510
바이어스
파라미터
t
t0
t2
t5
t9
t10
t12
t15
t19
S1
S2
S3
S4
S5
S6
S1 = TCP(O) + 바이어스(PR1)
S2 = TCP(O) + 바이어스(PR2)
S3 = TCP(PR2) + 바이어스(PR2)
S4 = TCP(PR2) + 바이어스(PR1)
(6 상태들)
S5 = TCP(PR2) + 바이어스(PR1)
S6 = TCP(O) + 바이어스(O)

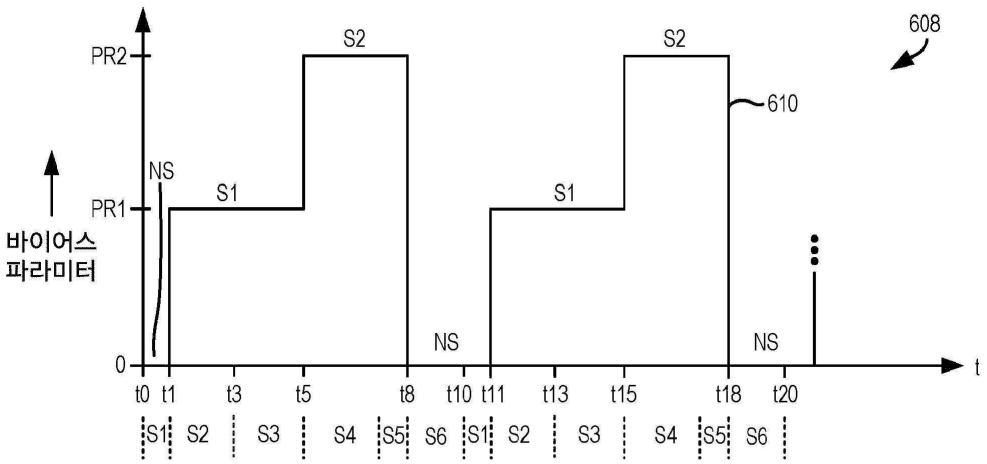
도면6a


600
5VDC
1
0
동기화
신호
602
t
t0
t3
t10
t13
t20
(DC 25%)

도면6b



도면6c

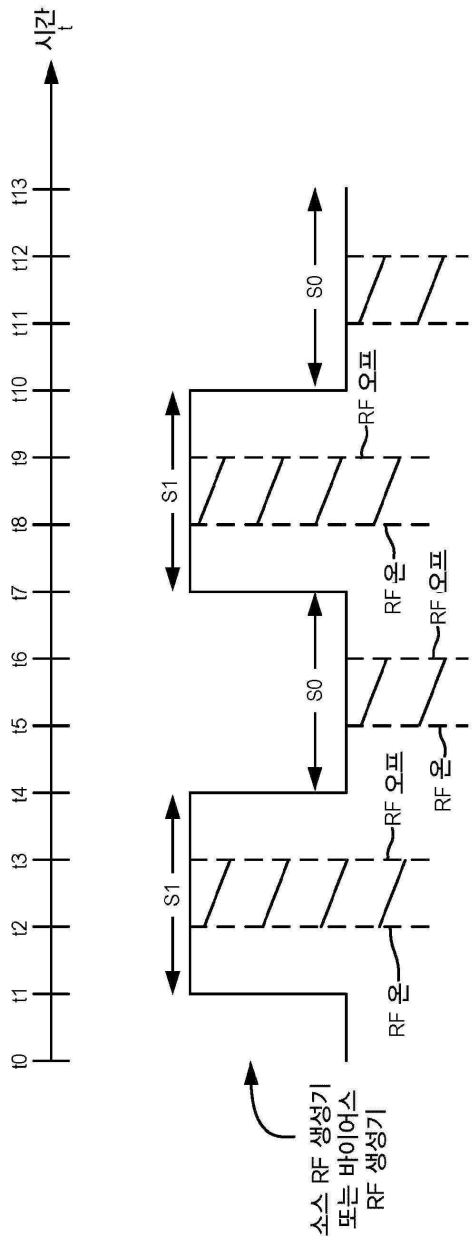


S1 = TCP(PR2) + 바이어스(O)
S2 = TCP(PR2) + 바이어스(PR1)
S3 = TCP(PR1) + 바이어스(PR1)
S4 = TCP(PR1) + 바이어스(PR2)

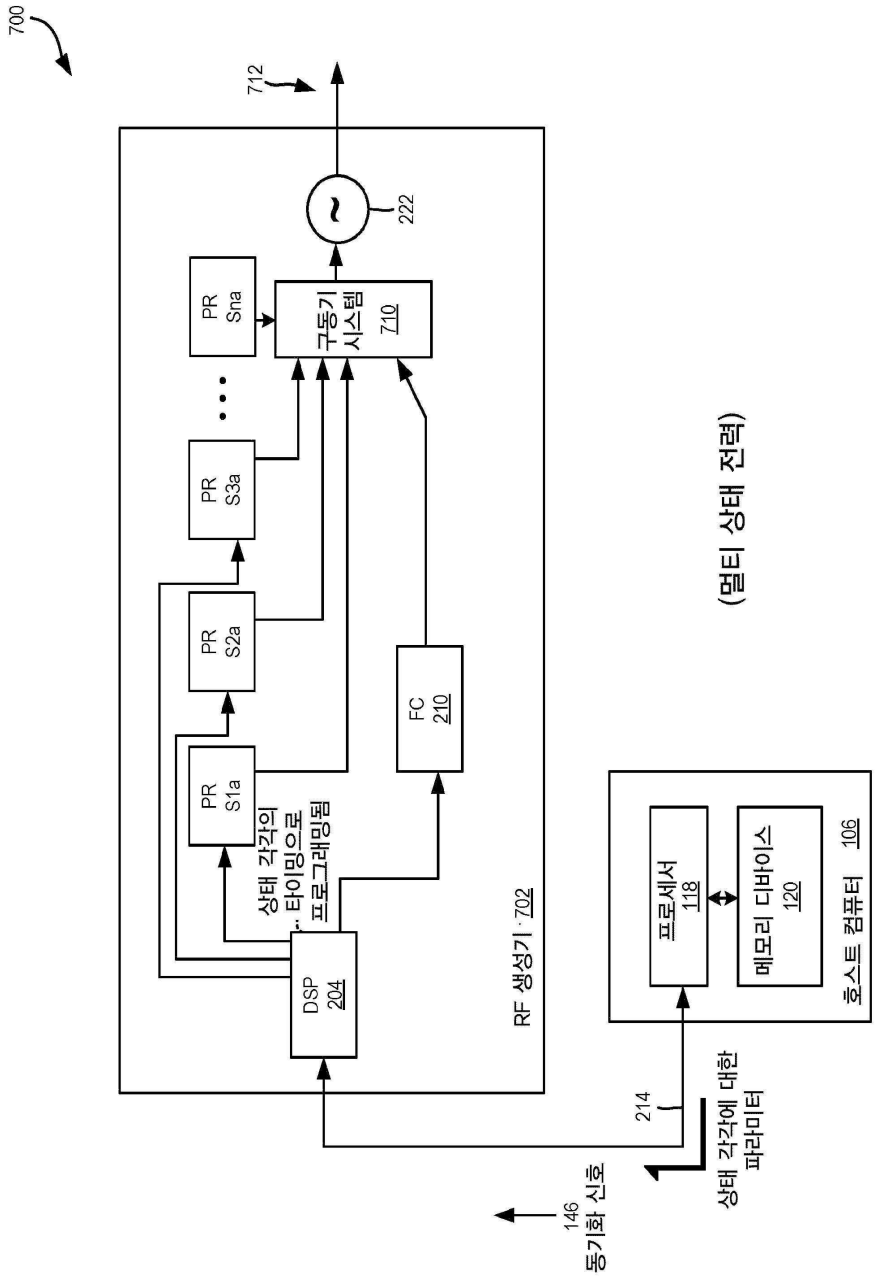
(6 상태들)

S5 = TCP(O) + 바이어스(PR2)
S6 = TCP(O) + 바이어스(O)

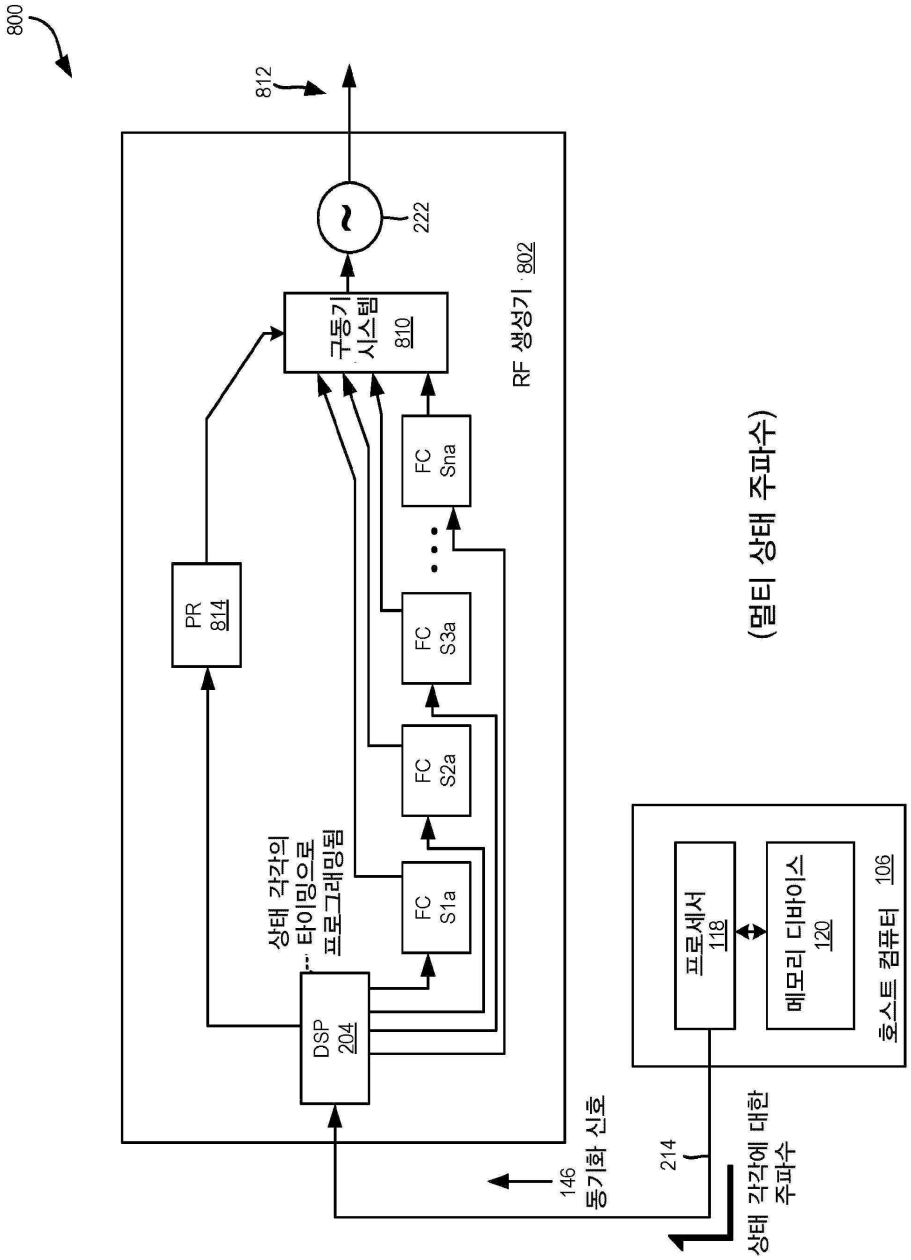
도면6d


시간
t
t0
t1
t2
t3
t4
t5
t6
t7
t8
t9
t10
t11
t12
t13
S1
S0
S1
S0
RF 온
RF 오프
RF 온
RF 오프
RF 온
RF 오프
소스 RF 생성기
또는 바이어스
RF 생성기

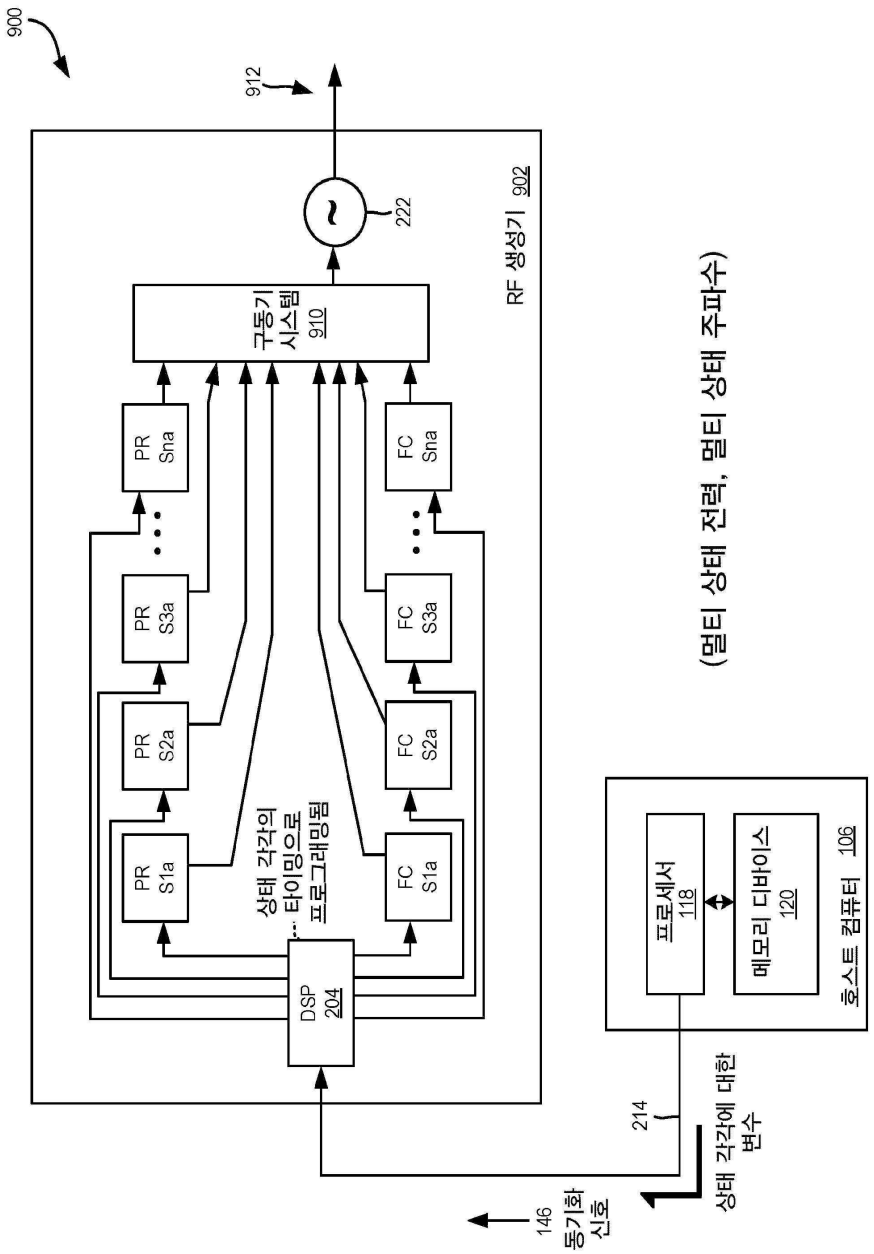
도면7


700
712
222
PR Sna
구동기 시스템 710
PR S3a
PR S2a
PR S1a
FC 210
상태 각각의 타이밍으로 프로그래밍됨
DSP 204
RF 생성기 702
(멀티 상태 전력)
프로세서 118
메모리 디바이스 120
호스트 컴퓨터 106
214
상태 각각에 대한 파라미터
146
동기화 신호

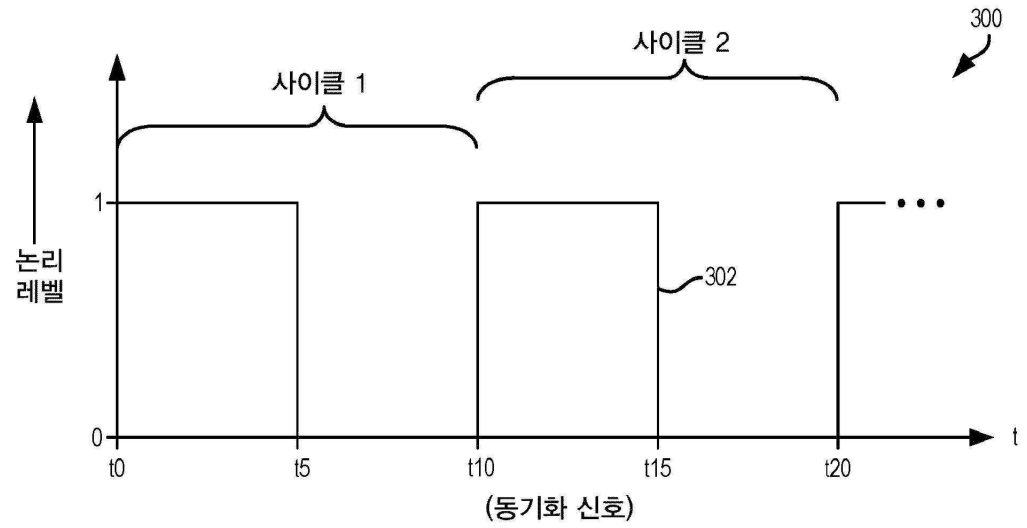
도면8


800
812
222
구동기 시스템 810
RF 생성기 802
PR 814
FC Sna
FC S3a
FC S2a
FC S1a
상태 각각의 타이밍으로 프로그래밍됨
DSP 204
(멀티 상태 주파수)
프로세서 118
메모리 디바이스 120
호스트 컴퓨터 106
146 동기화 신호
214
상태 각각에 대한 주파수

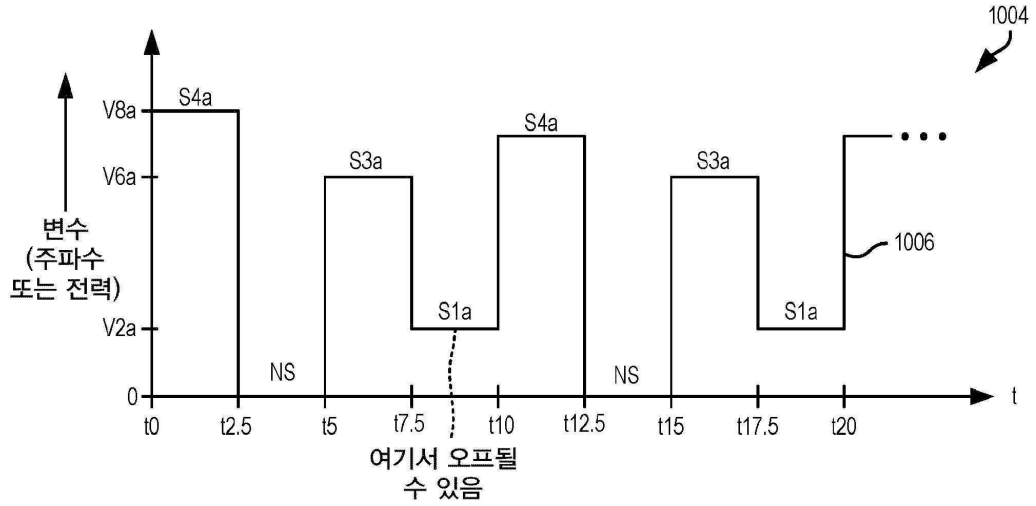
도면9


900
912
222
RF 생성기 902
구동기 시스템 910
PR Sna
PR S3a
PR S2a
PR S1a
FC Sna
FC S3a
FC S2a
FC S1a
상태 각각의 ... 타이밍으로 프로그래밍됨
DSP 204
(멀티 상태 전력, 멀티 상태 주파수)
프로세서 118
메모리 디바이스 120
호스트 컴퓨터 106
214
상태 각각에 대한 변수
146
동기화 신호

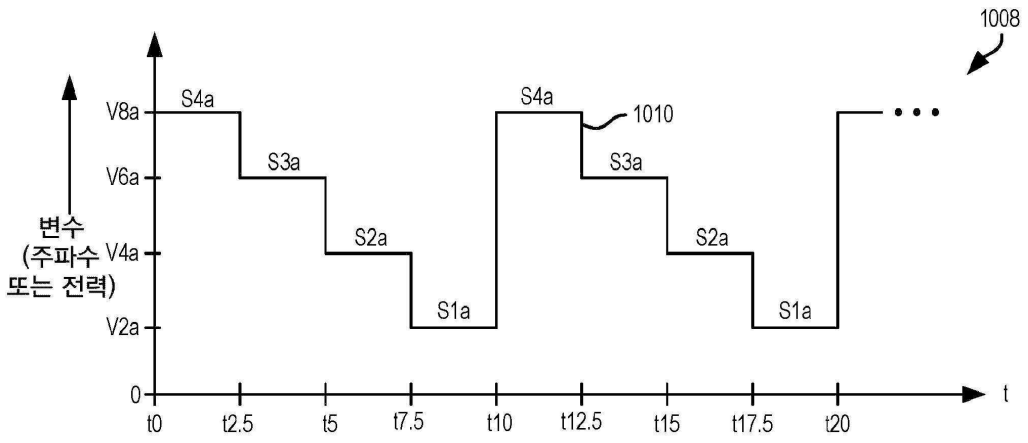
도면10a



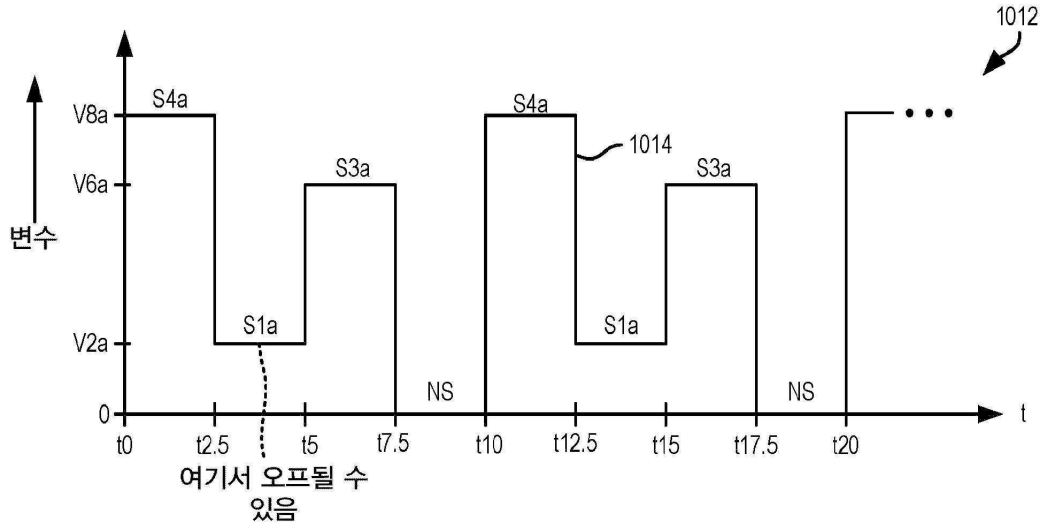
도면10b



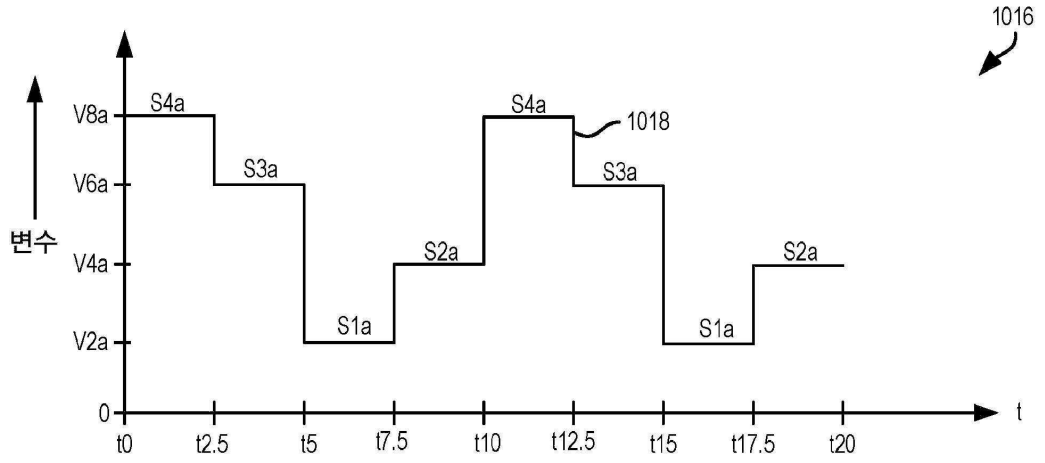
도면10c



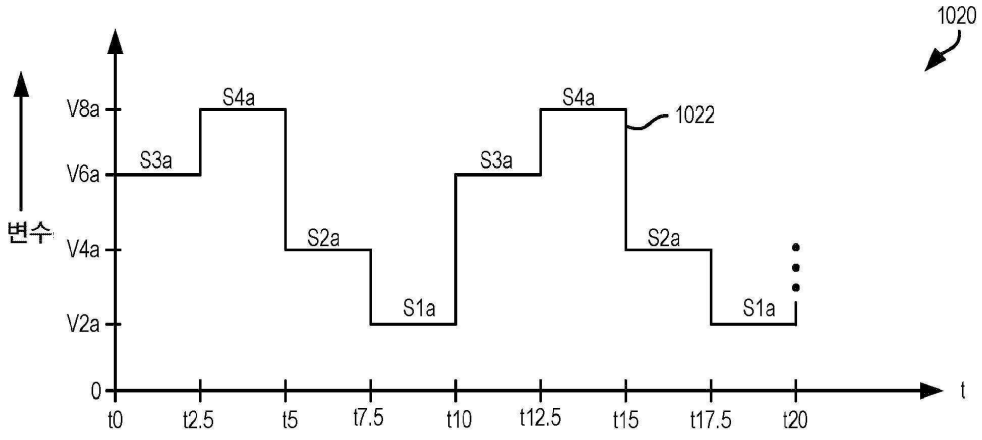
도면10d



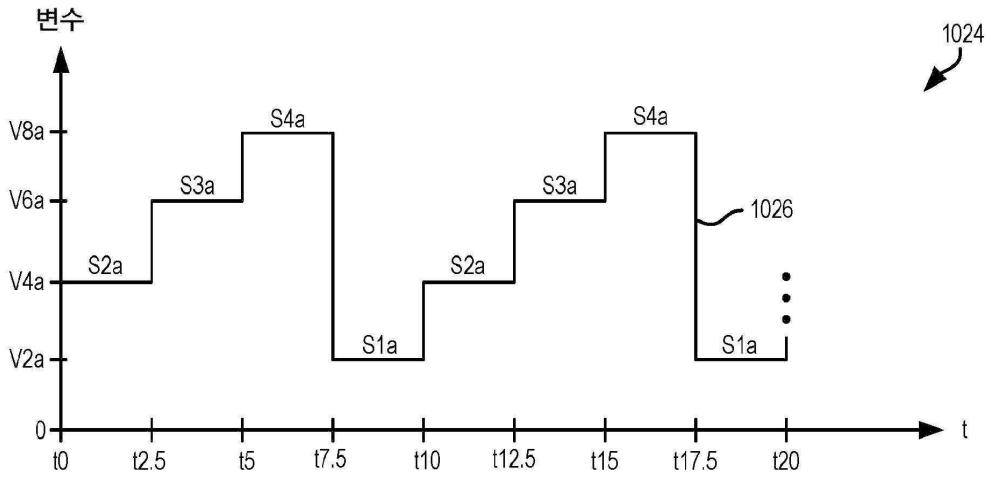
도면10e



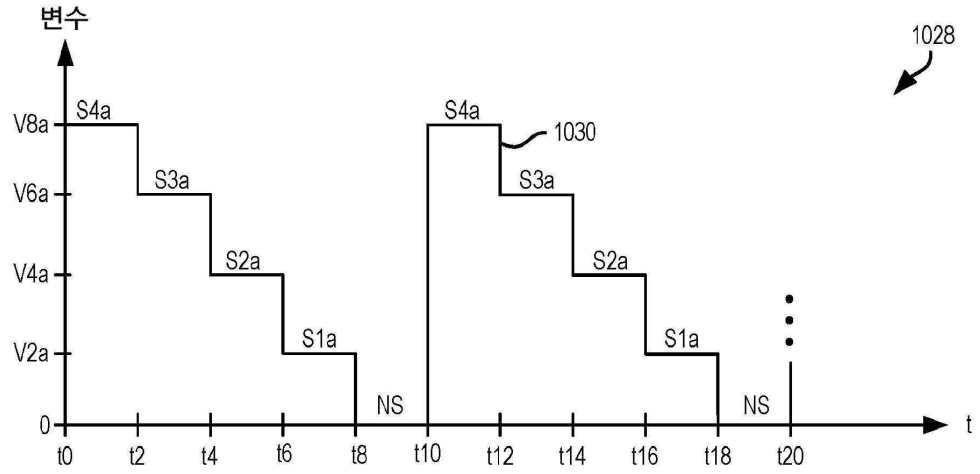
도면10f



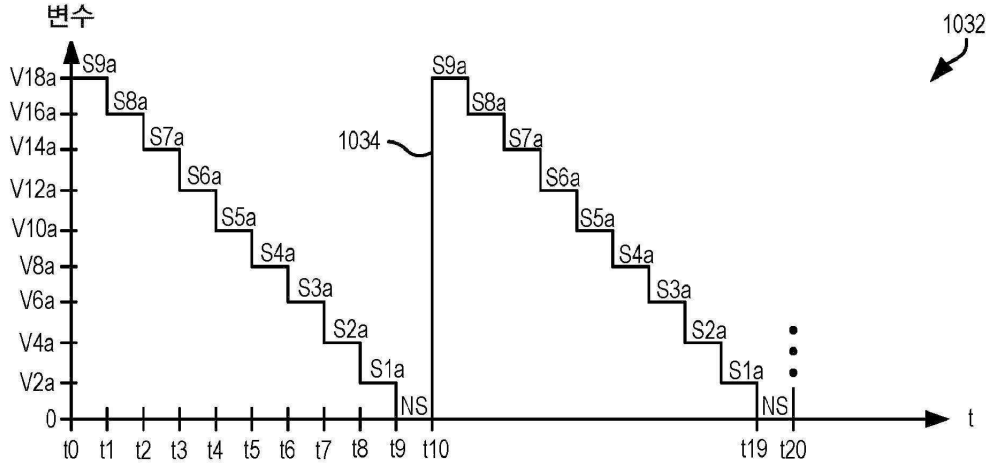
도면10g



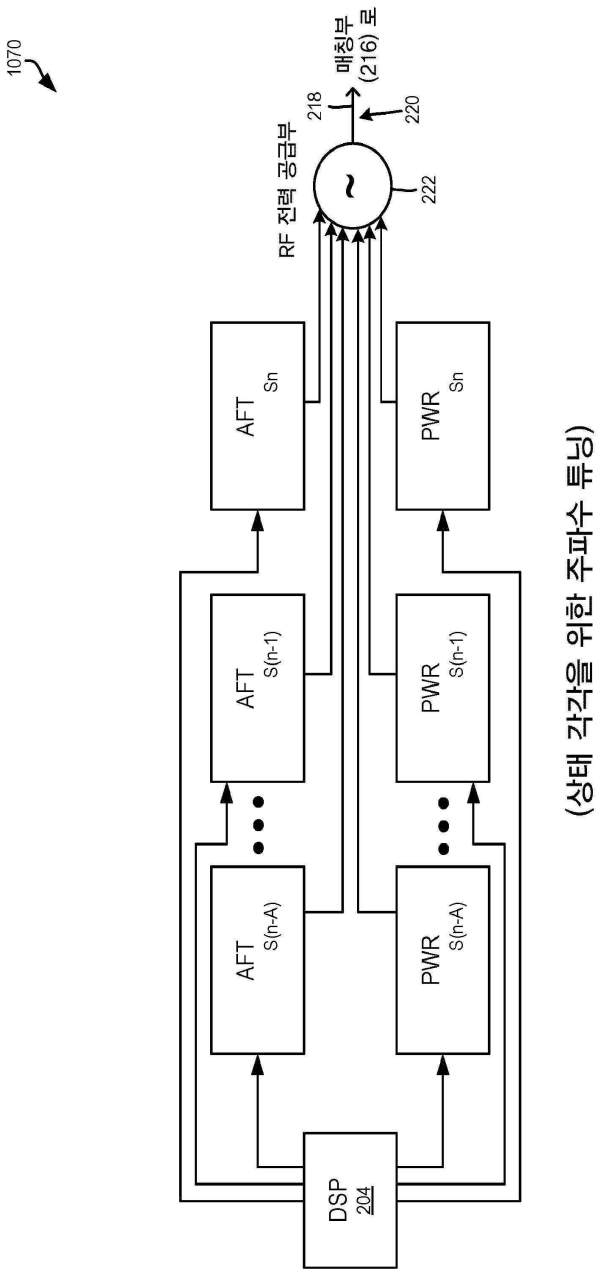
도면10h



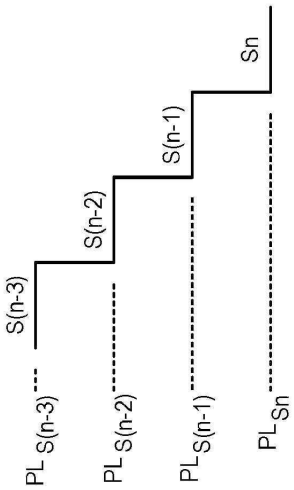
도면10i



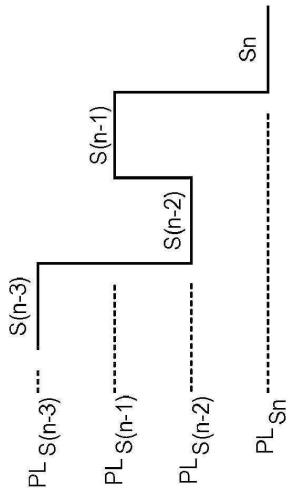
도면10j


1070
매칭부 (216) 로
218
220
222
RF 전력 공급부
AFT Sn
PWR Sn
AFT S(n-1)
PWR S(n-1)
AFT S(n-A)
PWR S(n-A)
DSP 204
(상태 각각을 위한 주파수 튜닝)

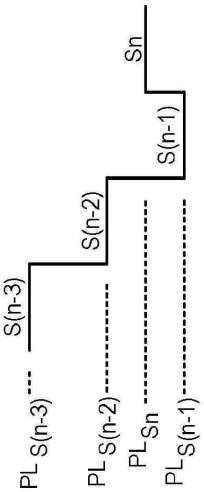
도면10k



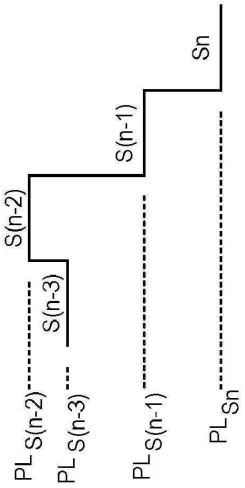
도면10l



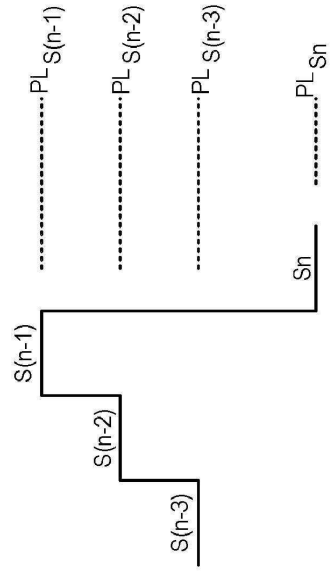
도면10m



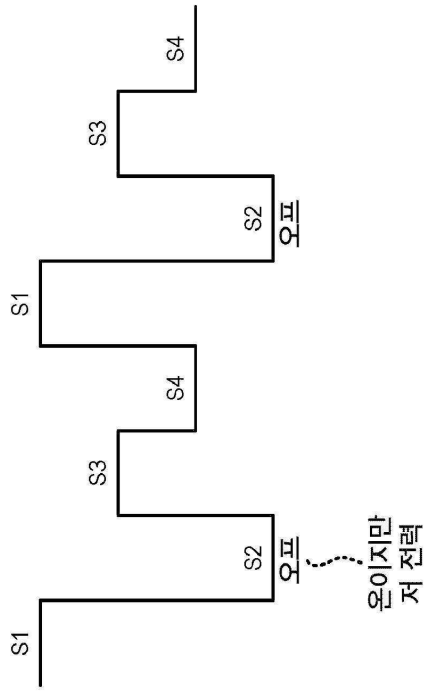
도면10n


S(n-2)
S(n-3)
S(n-1)
Sn
PL S(n-2)
PL S(n-3)
PL S(n-1)
PL Sn

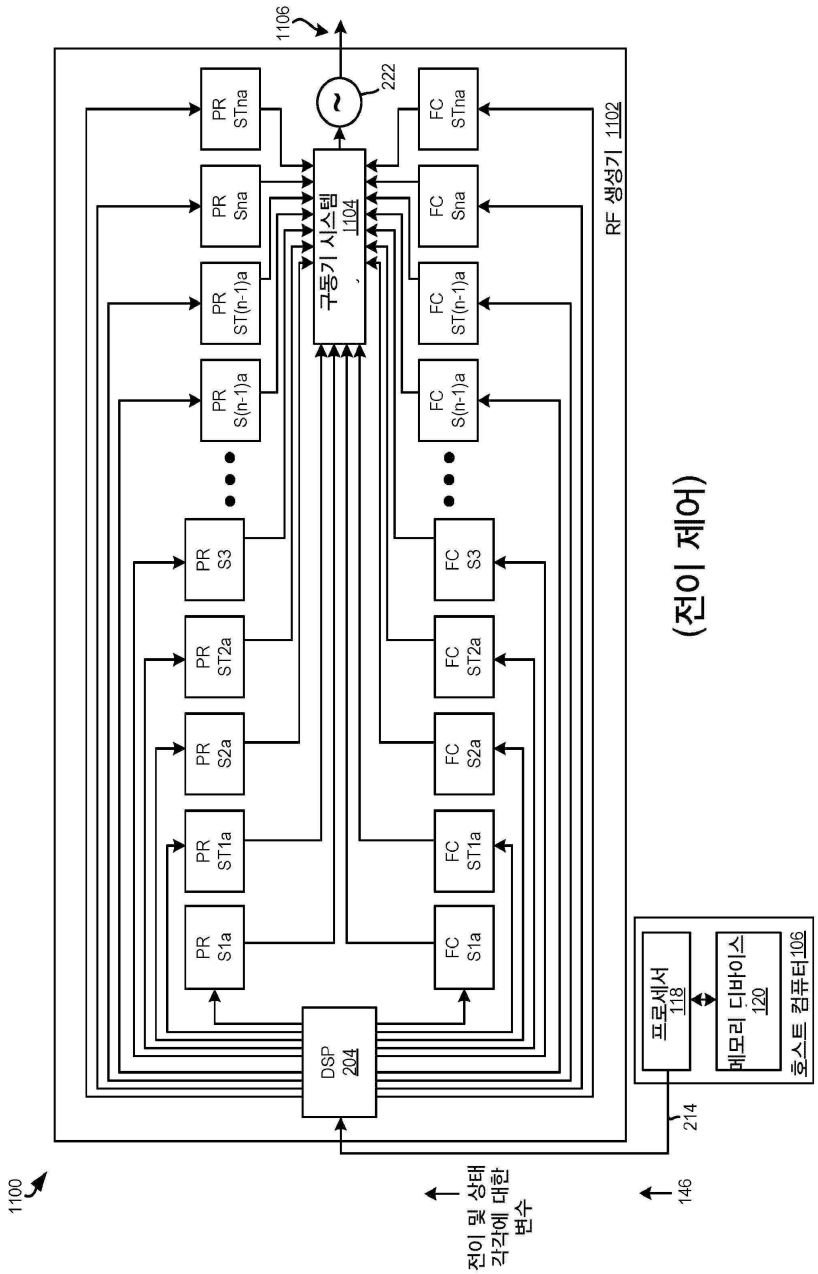
도면10o


PL S(n-1)
PL S(n-2)
PL S(n-3)
PL Sn
Sn
S(n-1)
S(n-2)
S(n-3)

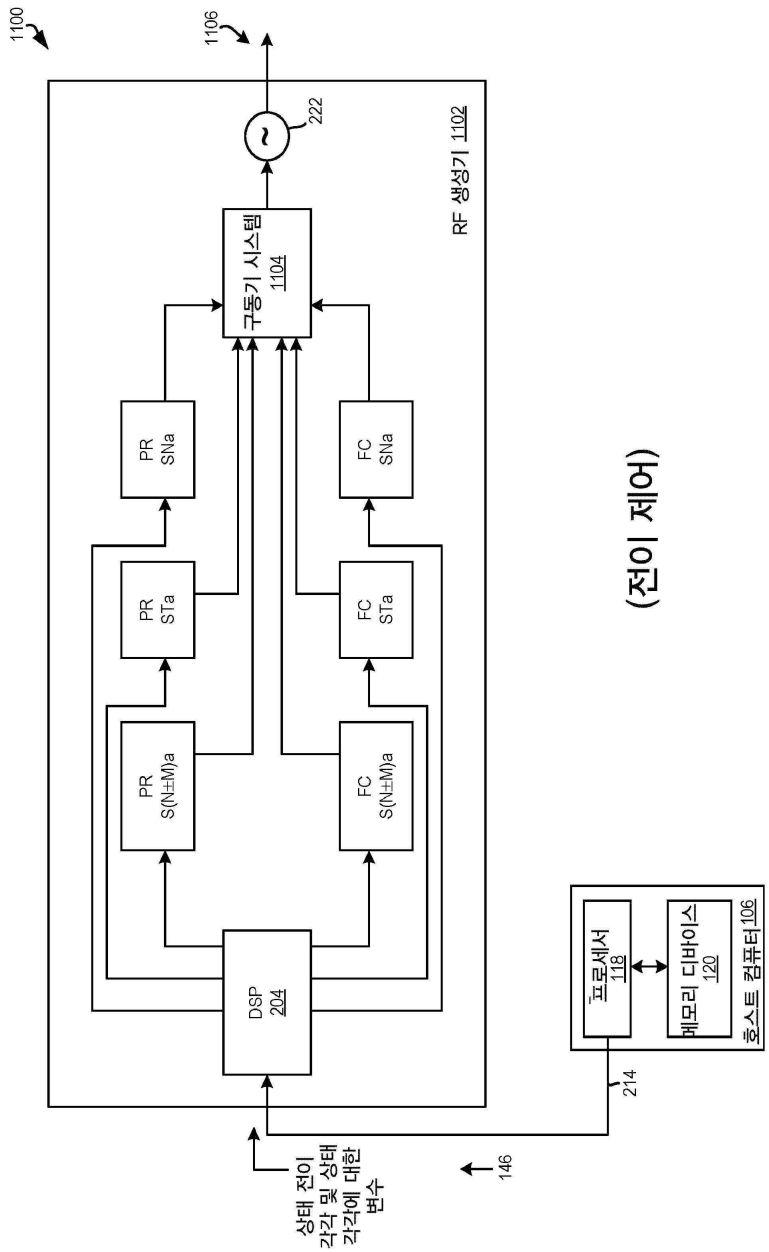
도면10p



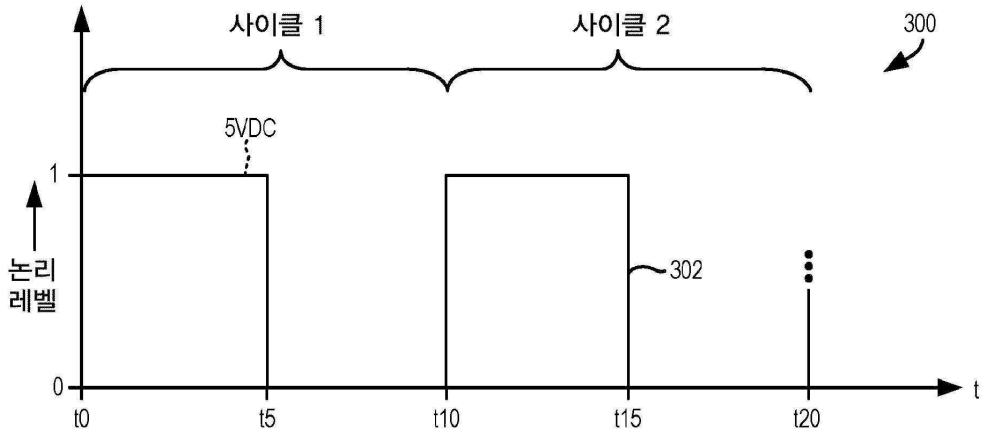
도면11a


1106
222
RF 생성기 1102
구동기 시스템 1104
PR STna
PR Sna
PR ST(n-1)a
PR S(n-1)a
PR S3
PR ST2a
PR S2a
PR ST1a
PR S1a
FC STna
FC Sna
FC ST(n-1)a
FC S(n-1)a
FC S3
FC ST2a
FC S2a
FC ST1a
FC S1a
DSP 204
프로세서 118
메모리 디바이스 120
호스트 컴퓨터 106
214
146
1100
전이 및 상태 각각에 대한 변수
(전이 제어)

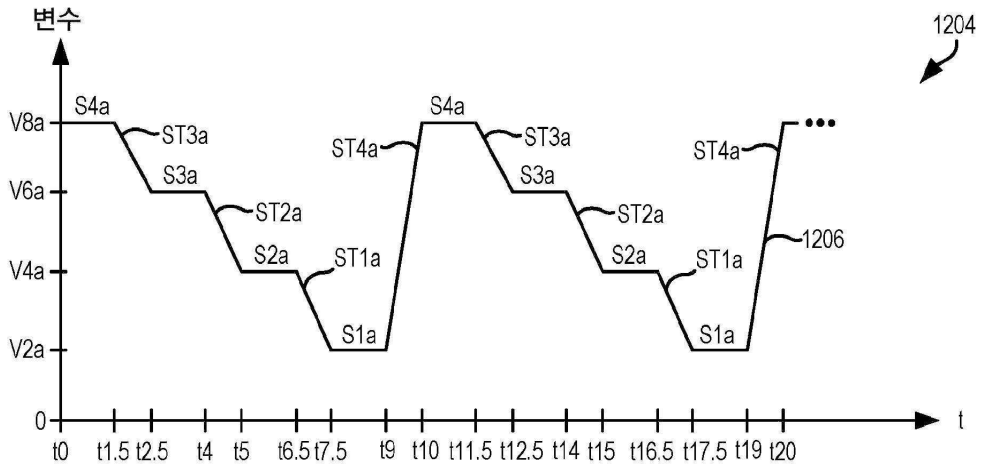
도면11b


1100
1106
222
RF 생성기 1102
구동기 시스템 1104
PR SNa
PR STa
PR S(N±M)a
FC SNa
FC STa
FC S(N±M)a
DSP 204
프로세서 118
메모리 디바이스 120
호스트 컴퓨터 106
214
146
상태 전이 각각 및 상태 각각에 대한 변수
(전이 제어)

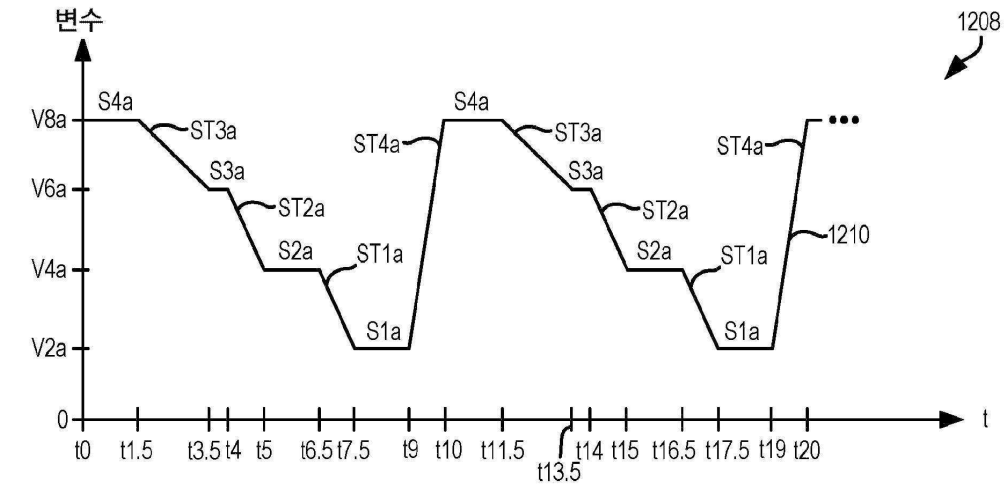
도면12a



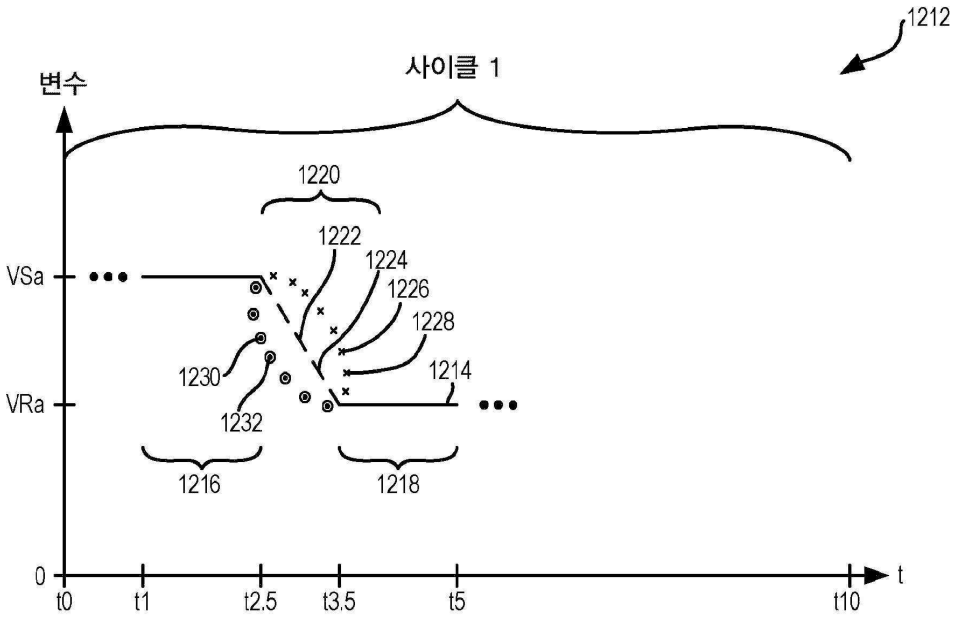
도면12b



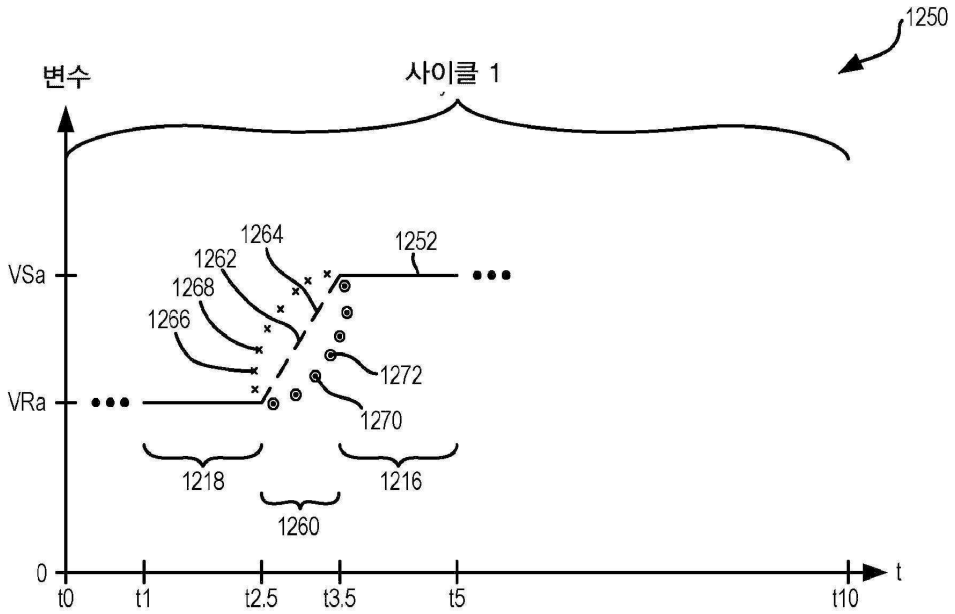
도면12c



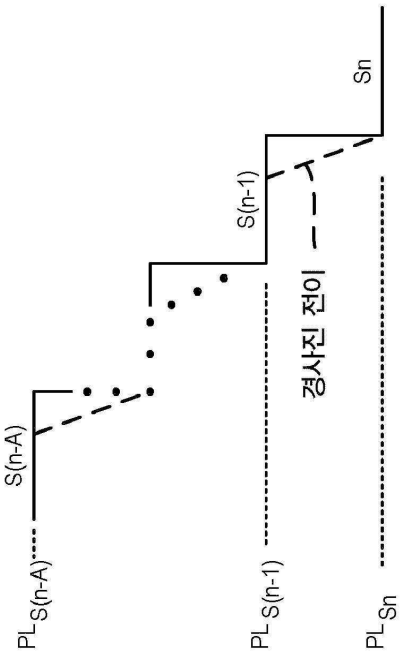
도면12d


1212
사이클 1
변수
1220
1222
1224
1226
1228
VSa
1230
1214
VRa
1232
1216
1218
0
t0
t1
t2.5
t3.5
t5
t10
t

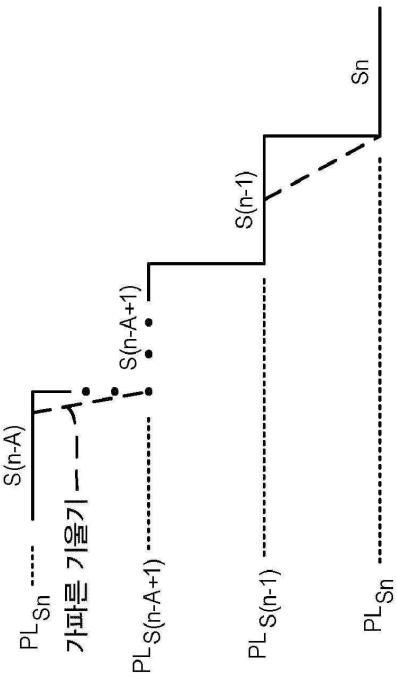
도면12e


1250
사이클 1
변수
1264
1252
1262
VSa
1268
1266
1272
VRa
1270
1218
1216
1260
0
t0
t1
t2.5
t3.5
t5
t10
t

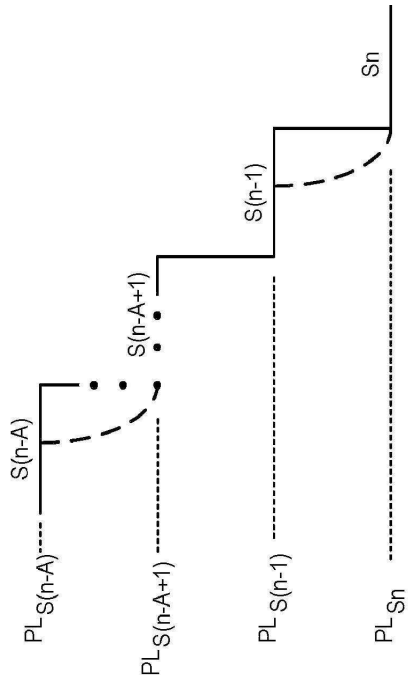
도면12f


S(n-A)
PL S(n-A)
경사진 전이
S(n-1)
PL S(n-1)
Sn
PL Sn

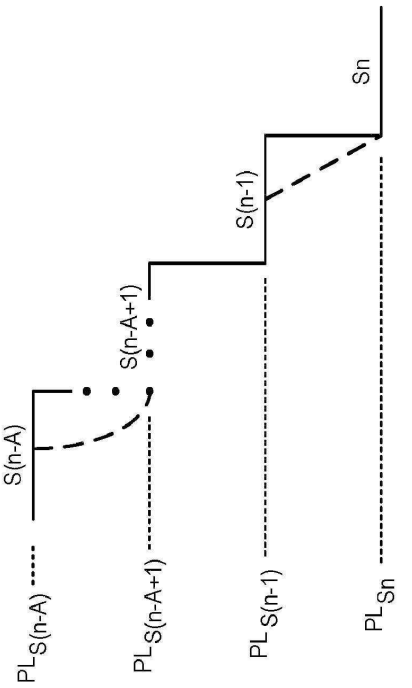
도면12g


S(n-A)
PL Sn
가파른 기울기
S(n-A+1)
PL S(n-A+1)
S(n-1)
PL S(n-1)
Sn
PL Sn

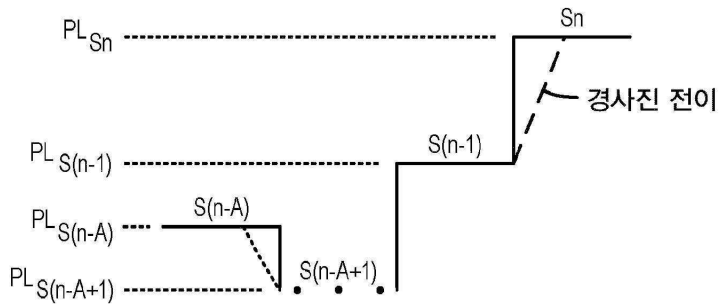
도면12h


Sn
S(n-1)
S(n-A+1)
S(n-A)
PL S(n-A)
PL S(n-A+1)
PL S(n-1)
PL Sn

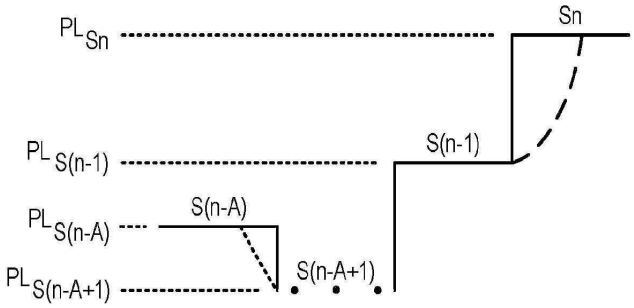
도면12i


Sn
S(n-1)
S(n-A+1)
S(n-A)
PL S(n-A)
PL S(n-A+1)
PL S(n-1)
PL Sn

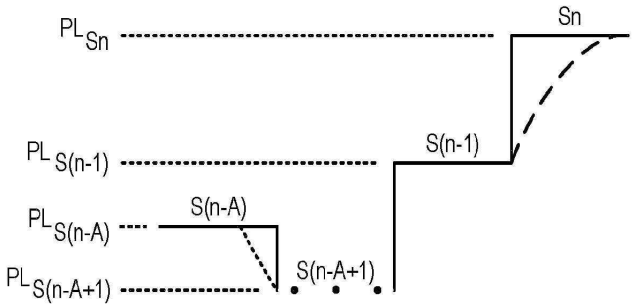
도면12j



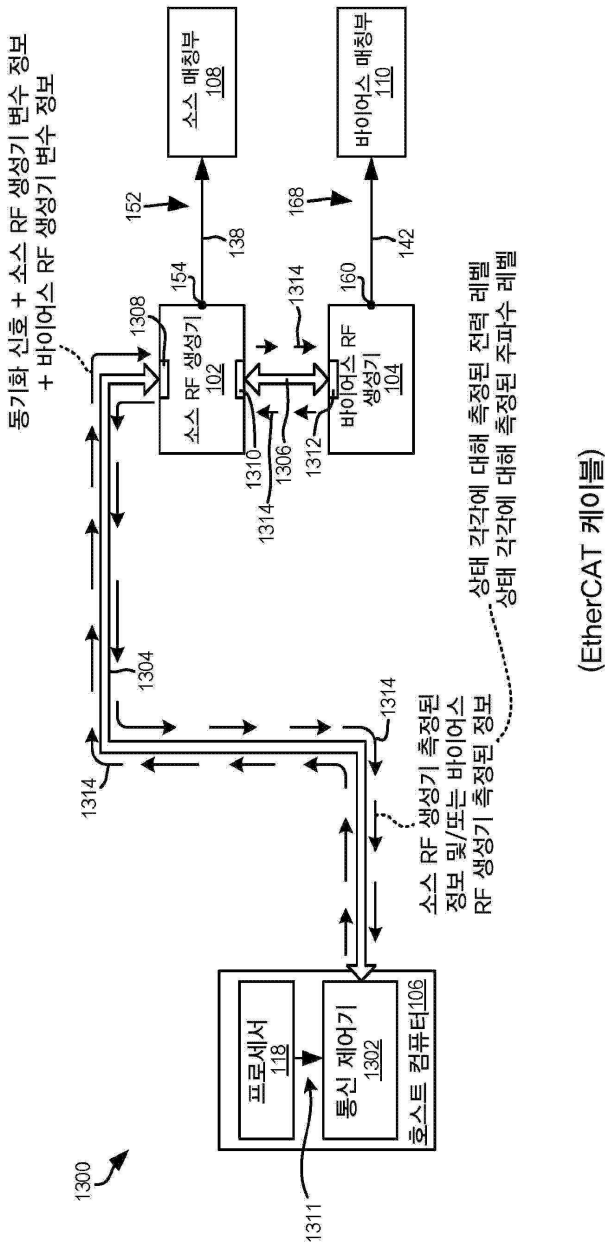
도면12k



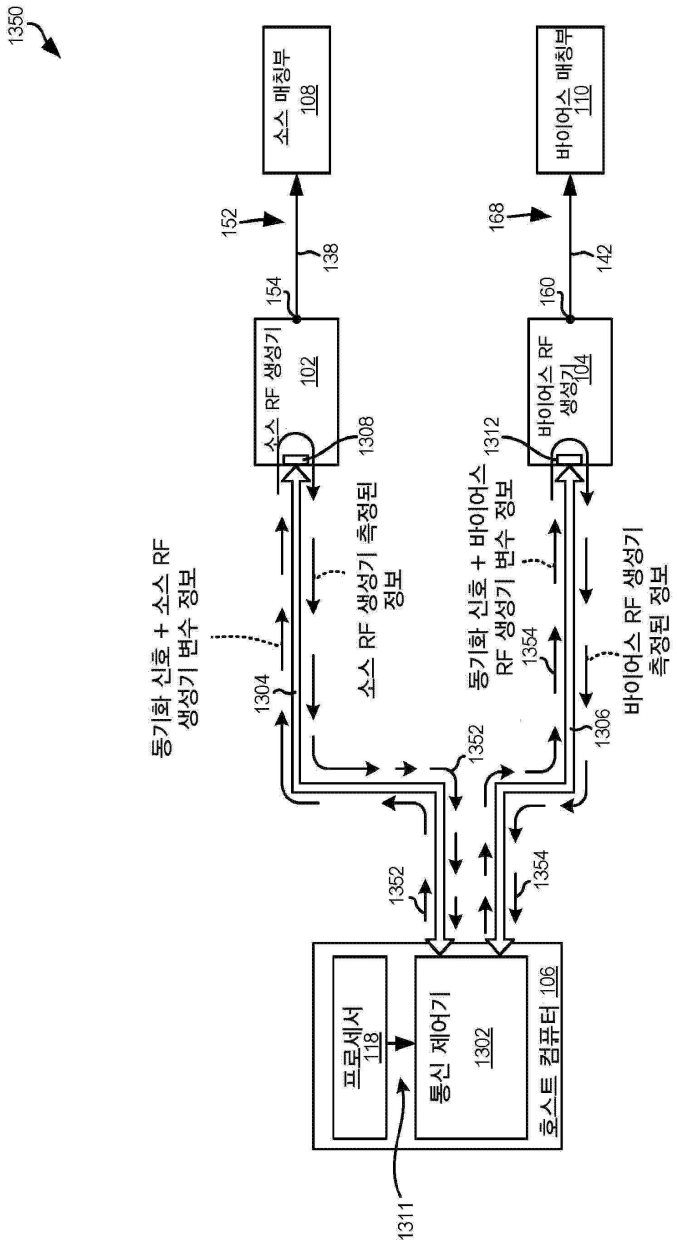
도면12l



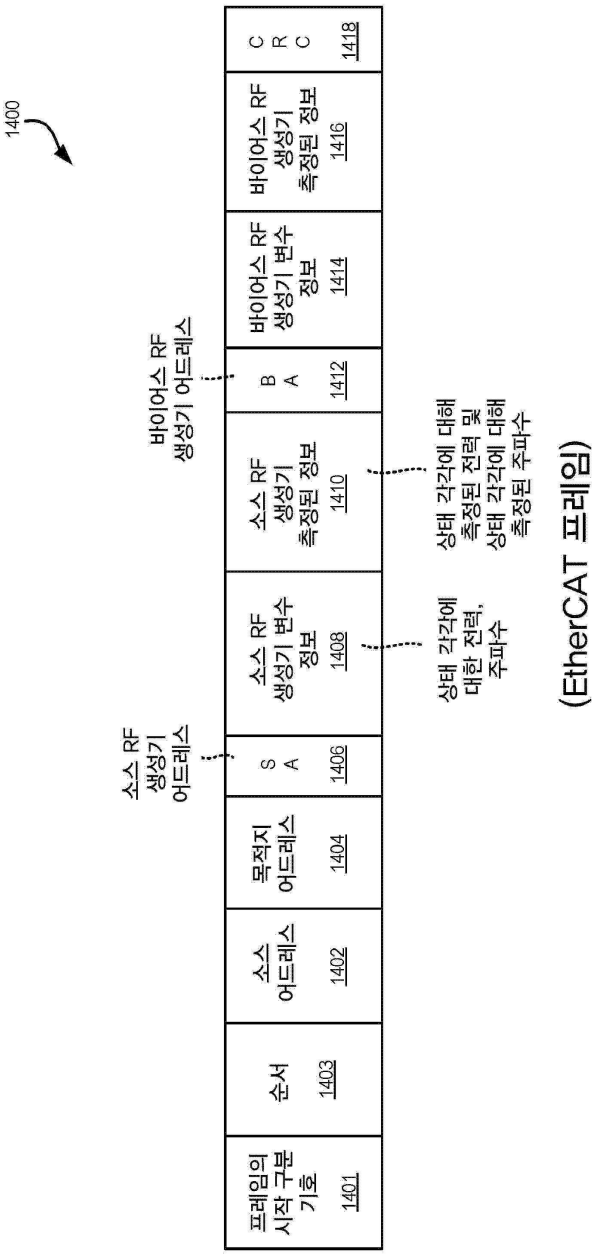
도면13a


동기화 신호 + 소스 RF 생성기 변수 정보
+ 바이어스 RF 생성기 변수 정보
소스 매칭부
108
바이어스 매칭부
110
152
168
138
142
154
1314
160
1308
소스 RF 생성기
102
바이어스 RF
생성기
104
1310
1306
1312
1314
1314
1304
1314
상태 각각에 대해 측정된 전력 레벨
상태 각각에 대해 측정된 주파수 레벨
소스 RF 생성기 측정된
정보 및/또는 바이어스
RF 생성기 측정된 정보
프로세서
118
통신 제어기
1302
호스트 컴퓨터106
1300
1311
(EtherCAT 케이블)

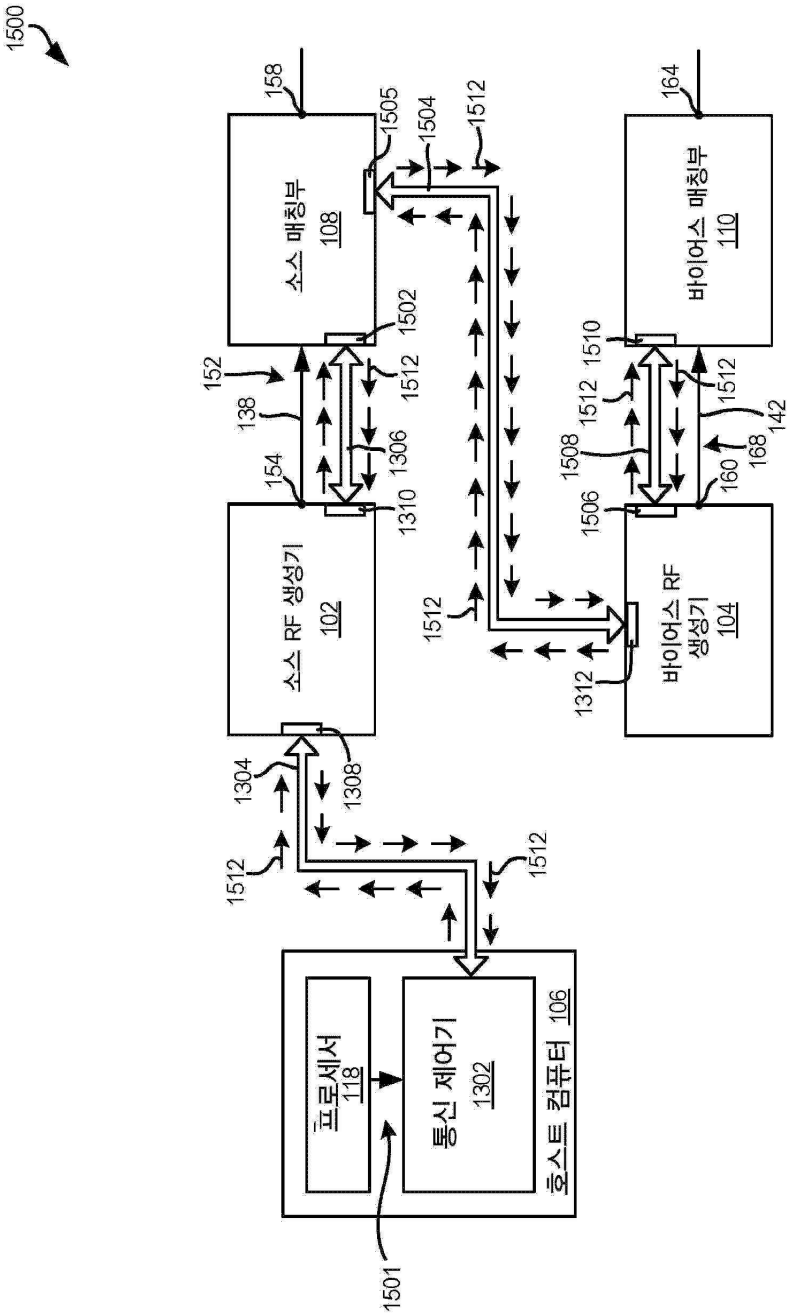
도면13b


1350
소스 매칭부 108
바이어스 매칭부 110
152
168
138
142
154
160
소스 RF 생성기 102
바이어스 RF 생성기 104
1308
1312
동기화 신호 + 소스 RF 생성기 변수 정보
1304
소스 RF 생성기 측정된 정보
동기화 신호 + 바이어스 RF 생성기 변수 정보
1354
1306
바이어스 RF 생성기 측정된 정보
1352
1352
1354
프로세서 118
통신 제어기 1302
호스트 컴퓨터 106
1311

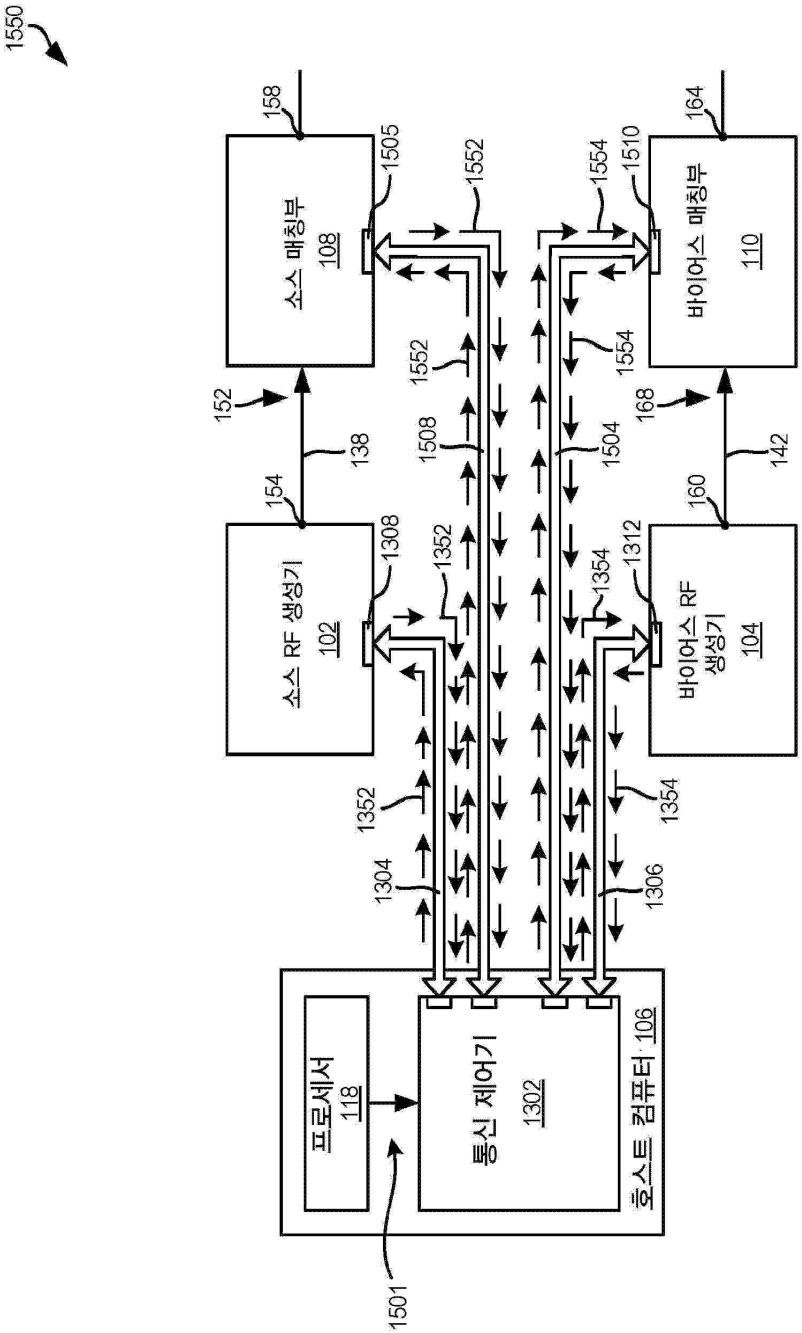
도면14


1400
프레임의 시작 구분 기호 1401
순서 1403
소스 어드레스 1402
목적지 어드레스 1404
S A 1406
소스 RF 생성기 변수 정보 1408
소스 RF 생성기 측정된 정보 1410
B A 1412
바이어스 RF 생성기 변수 정보 1414
바이어스 RF 생성기 측정된 정보 1416
C R C 1418
소스 RF 생성기 어드레스
바이어스 RF 생성기 어드레스
상태 각각에 대한 전력, 주파수
상태 각각에 대해 측정된 전력 및 상태 각각에 대해 측정된 주파수
(EtherCAT 프레임)

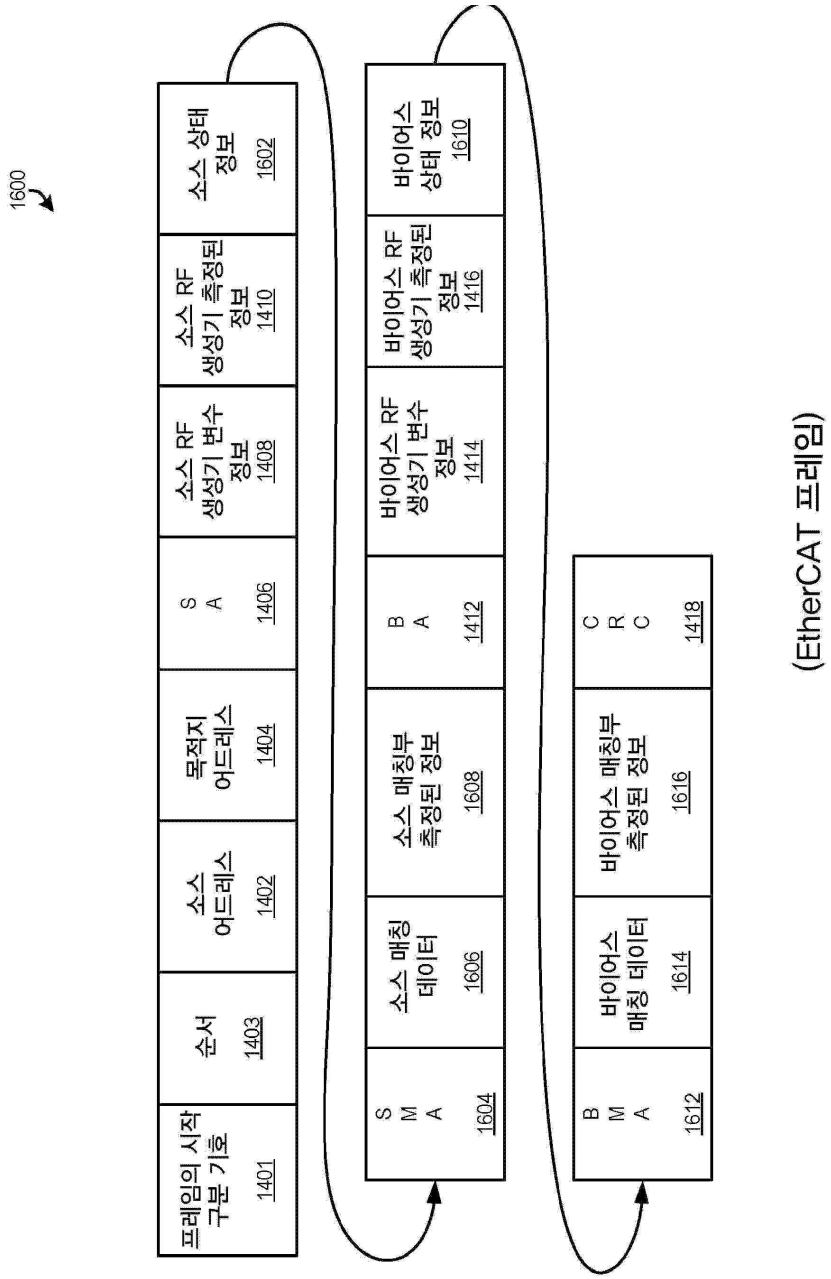
도면15a


1500
158
소스 매칭부 108
1505
1504
1512
164
바이어스 매칭부 110
1502
152
138
154
1306
1310
1512
소스 RF 생성기 102
1304
1308
1512
1512
1510
1512
1508
1506
1512
142
168
160
바이어스 RF 생성기 104
1312
1512
프로세서 118
통신 제어기 1302
호스트 컴퓨터 106
1501

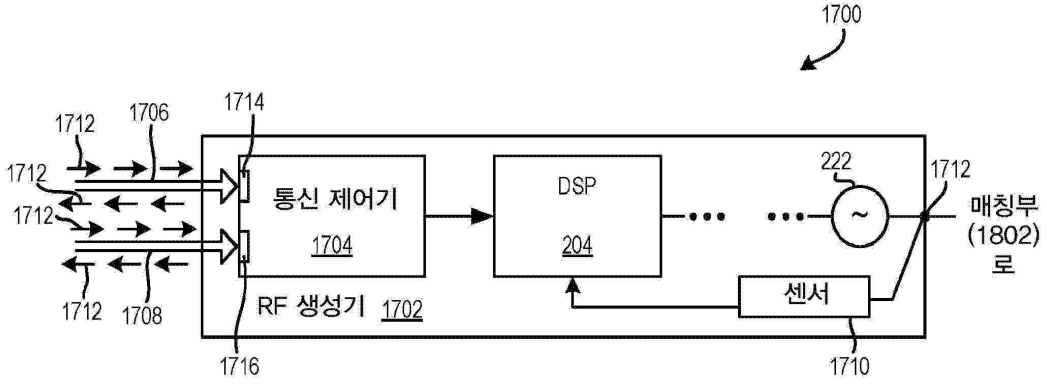
도면15b


1550
158
소스 매칭부
108
1505
1552
1554
1510
164
바이어스 매칭부
110
152
138
154
소스 RF 생성기
102
1308
1352
1354
1312
160
142
168
바이어스 RF
생성기
104
1304
1306
1501
프로세서
118
통신 제어기
1302
호스트 컴퓨터 106

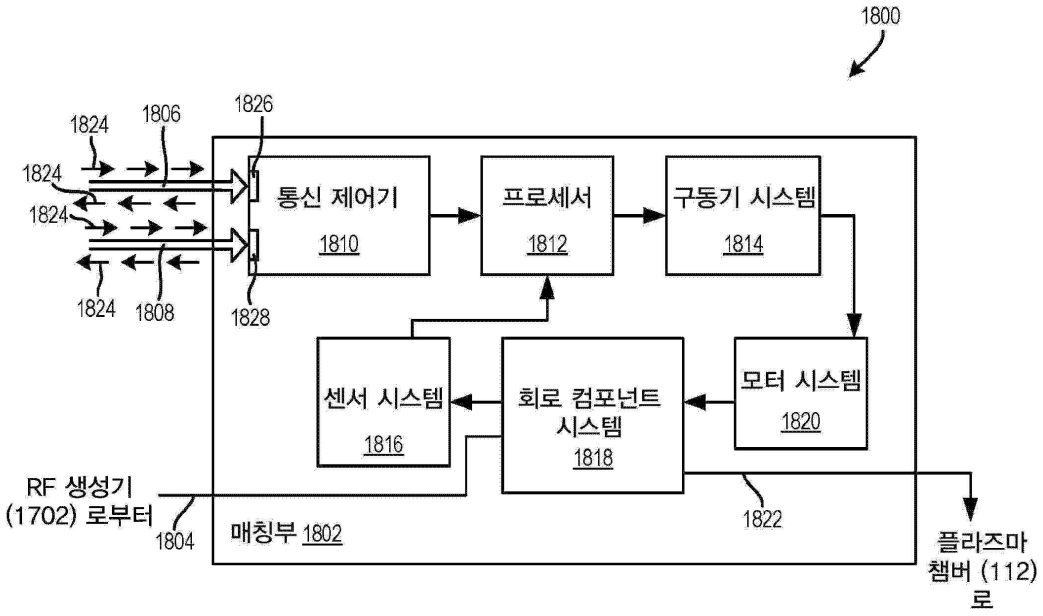
도면16


1600
프레임의 시작 구분 기호 1401
순서 1403
소스 어드레스 1402
목적지 어드레스 1404
S A 1406
소스 RF 생성기 변수 정보 1408
소스 RF 생성기 측정된 정보 1410
소스 상태 정보 1602
S M A 1604
소스 매칭 데이터 1606
소스 매칭부 측정된 정보 1608
B A 1412
바이어스 RF 생성기 변수 정보 1414
바이어스 RF 생성기 측정된 정보 1416
바이어스 상태 정보 1610
B M A 1612
바이어스 매칭 데이터 1614
바이어스 매칭부 측정된 정보 1616
C R C 1418
(EtherCAT 프레임)

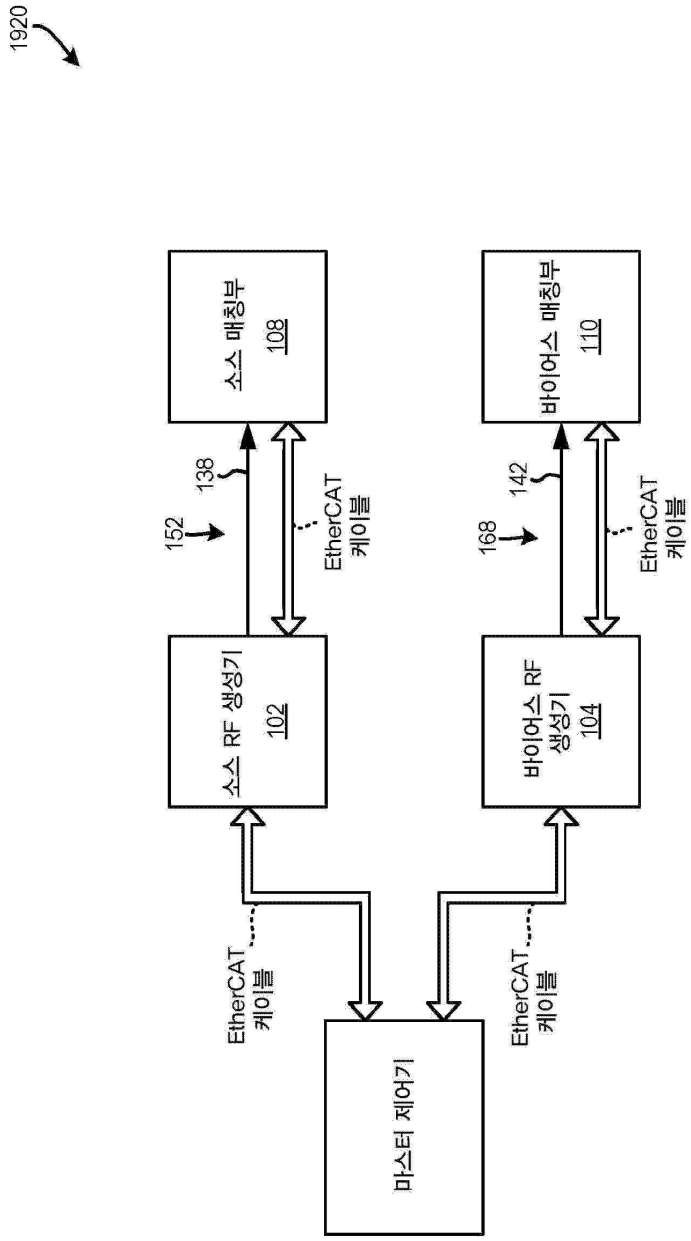
도면17


1700
1712
1706
1714
1712
1712
1712
1708
통신 제어기 1704
RF 생성기 1702
DSP 204
222
1712
매칭부 (1802) 로
센서
1716
1710

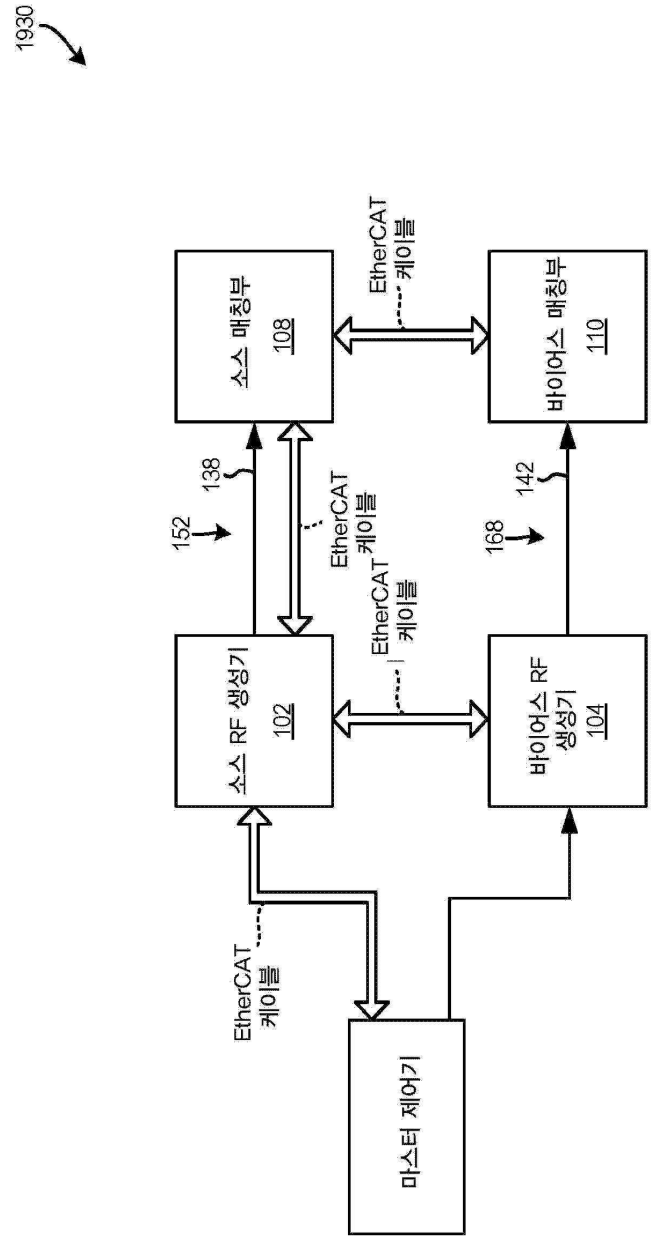
도면18


1800
1824
1806
1826
1824
1824
1824
1808
1828
통신 제어기
1810
프로세서
1812
구동기 시스템
1814
센서 시스템
1816
회로 컴포넌트
시스템
1818
모터 시스템
1820
RF 생성기
(1702) 로부터
1804
매칭부 1802
1822
플라즈마
챔버 (112)
로

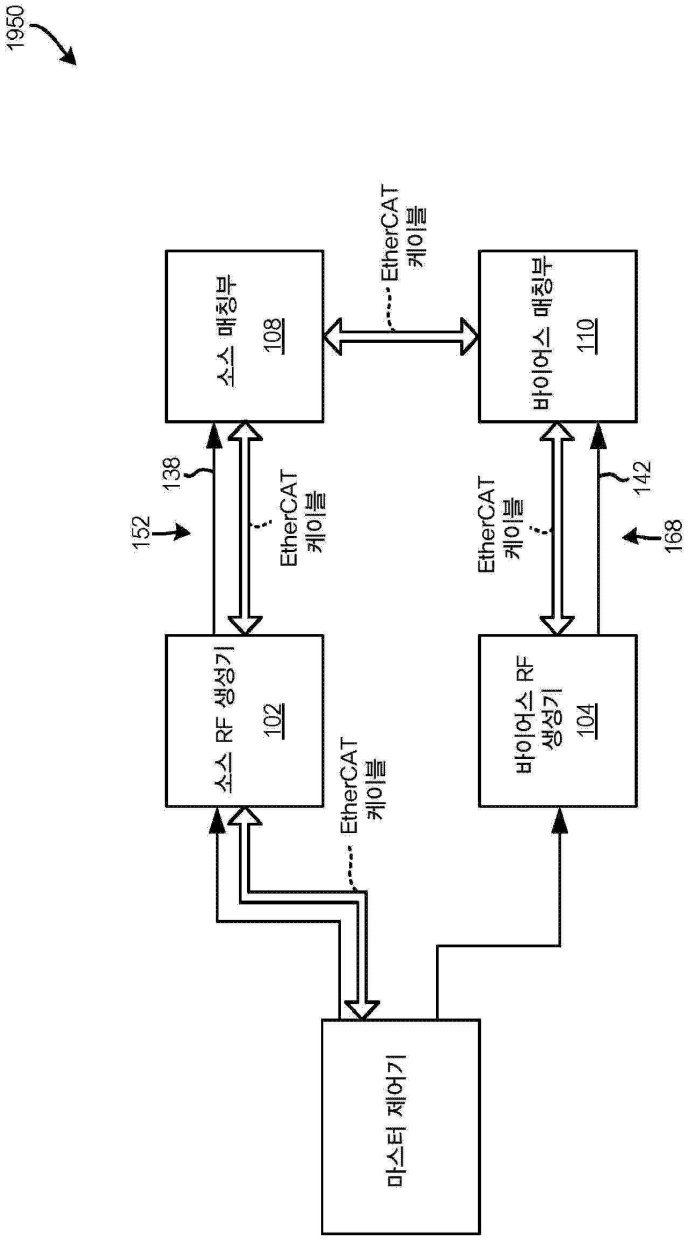
도면19a


1920
소스 매칭부
108
바이어스 매칭부
110
138
142
152
168
EtherCAT
케이블
EtherCAT
케이블
소스 RF 생성기
102
바이어스 RF
생성기
104
EtherCAT
케이블
EtherCAT
케이블
마스터 제어기

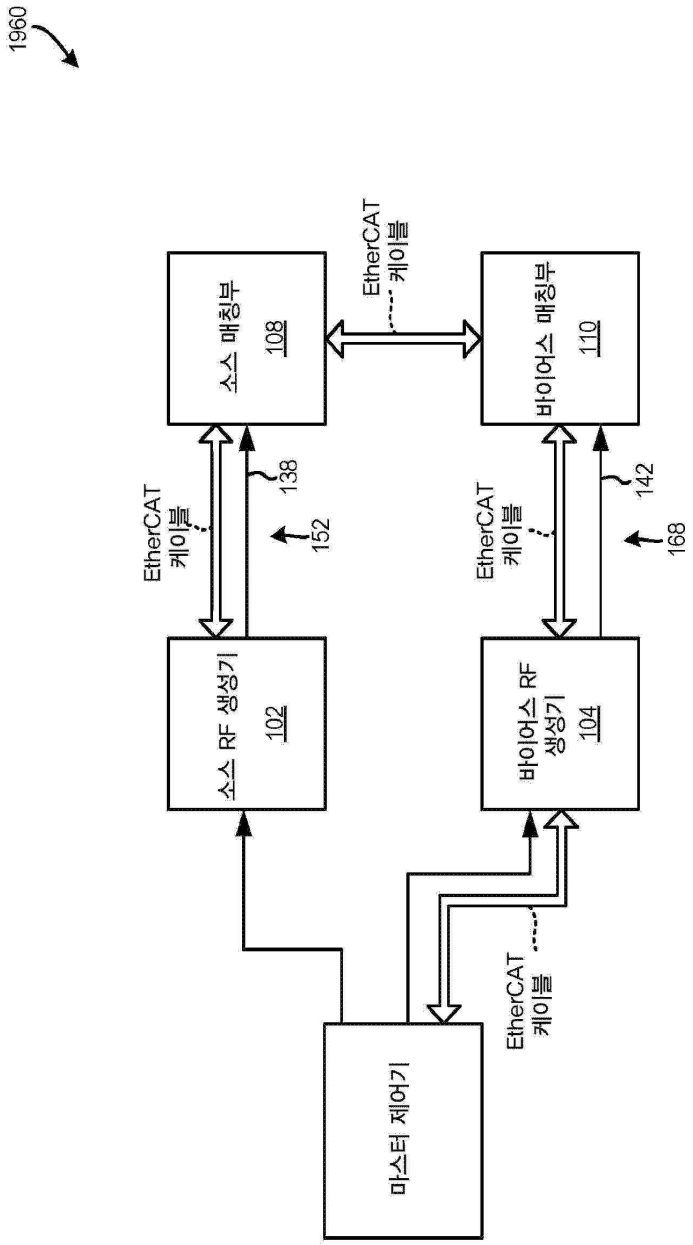
도면19b


1930
소스 매칭부
108
EtherCAT
케이블
바이어스 매칭부
110
138
142
152
168
EtherCAT
케이블
EtherCAT
케이블
소스 RF 생성기
102
바이어스 RF
생성기
104
EtherCAT
케이블
마스터 제어기

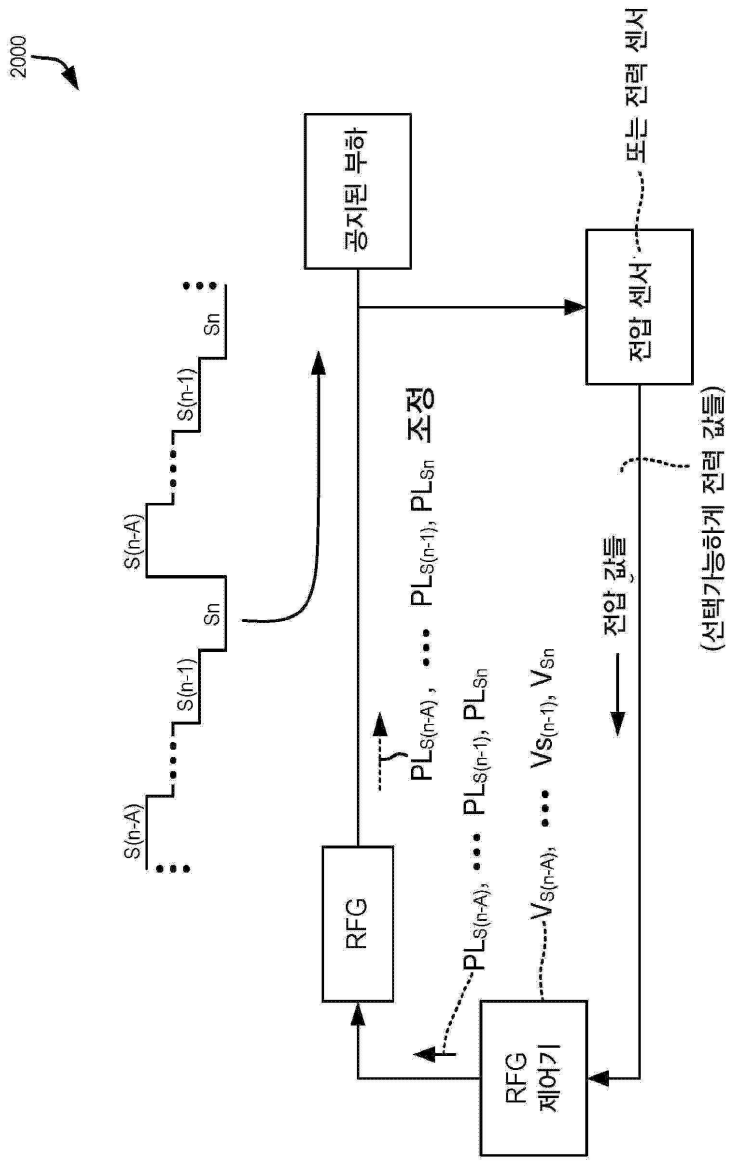
도면19c


1950
소스 매칭부 108
EtherCAT 케이블
바이어스 매칭부 110
138
152
EtherCAT 케이블
EtherCAT 케이블
142
168
소스 RF 생성기 102
바이어스 RF 생성기 104
EtherCAT 케이블
마스터 제어기

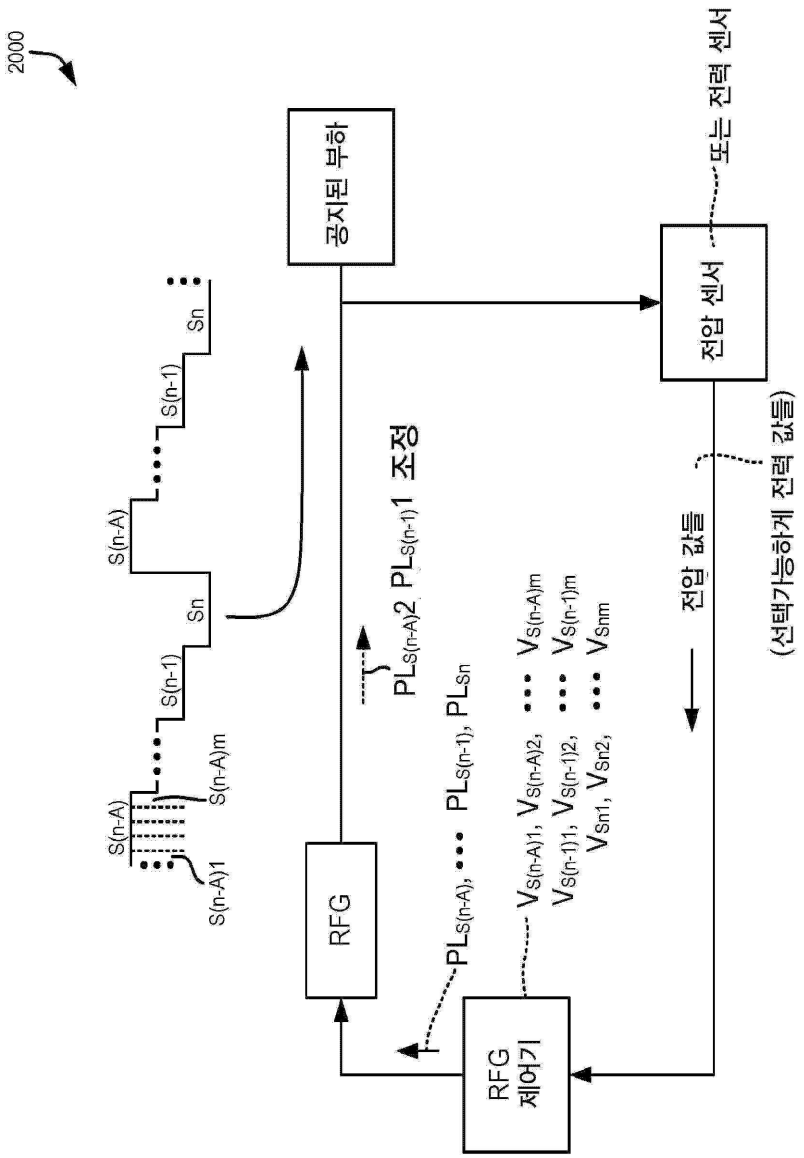
도면19d


1960
소스 매칭부
108
EtherCAT
케이블
바이어스 매칭부
110
EtherCAT
케이블
138
152
EtherCAT
케이블
142
168
EtherCAT
케이블
소스 RF 생성기
102
바이어스 RF
생성기
104
EtherCAT
케이블
마스터 제어기

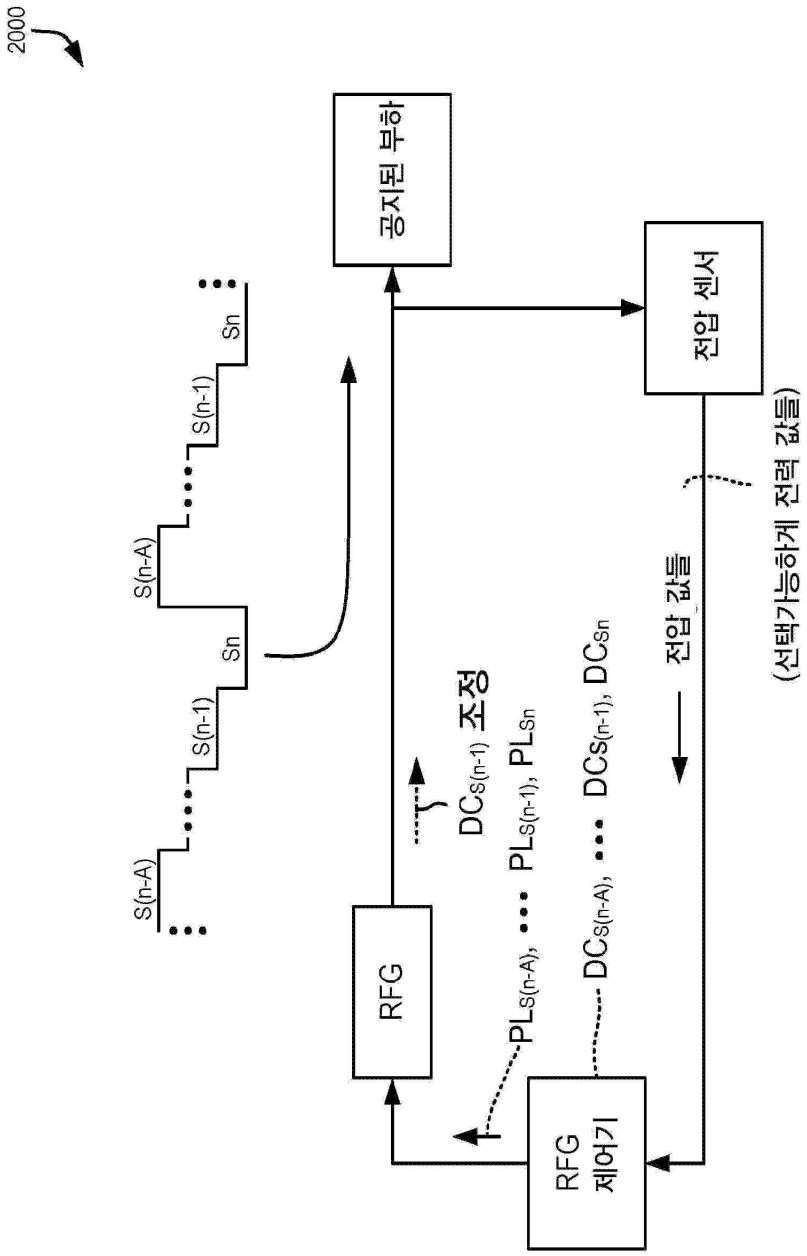
도면20


2000
S(n-A)
S(n-1)
Sn
RFG
공지된 부하
전압 센서
또는 전력 센서
RFG 제어기
PLS(n-A), PLS(n-1), PLSn 조정
PLS(n-A), PLS(n-1), PLSn
VS(n-A), VS(n-1), VSn
전압 값들
(선택가능하게 전력 값들)

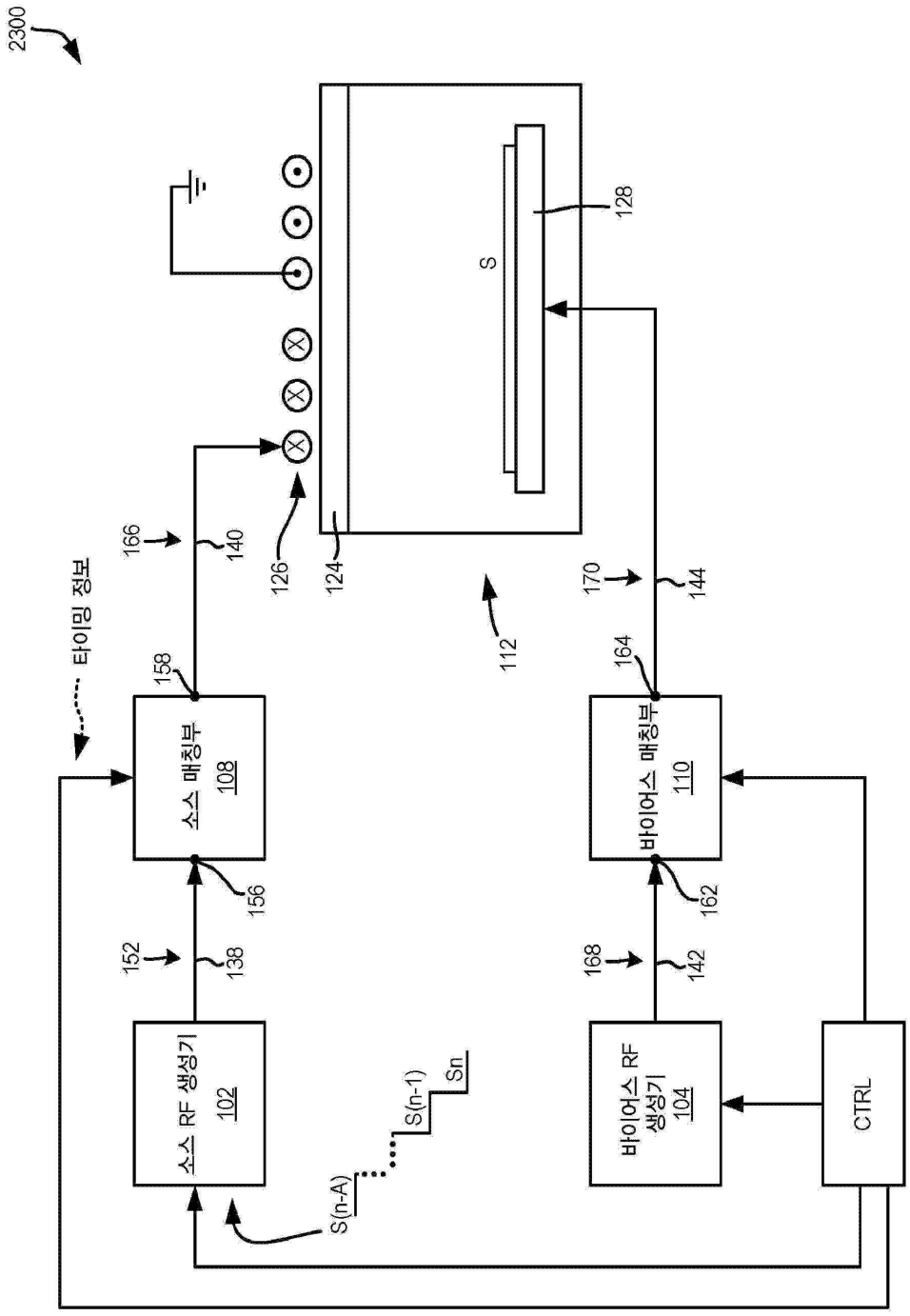
도면21


2000
공지된 부하
또는 전력 센서
전압 센서
RFG
RFG 제어기
S(n-A)
S(n-A)m
S(n-A)1
S(n-1)
Sn
PLS(n-A)2 PLS(n-1)1 조정
PLS(n-A), ... PLS(n-1), PLSn
VS(n-A)1, VS(n-A)2, ... VS(n-A)m
VS(n-1)1, VS(n-1)2, ... VS(n-1)m
Vsn1, Vsn2, ... Vsnm
전압 값들
(선택가능하게 전력 값들)

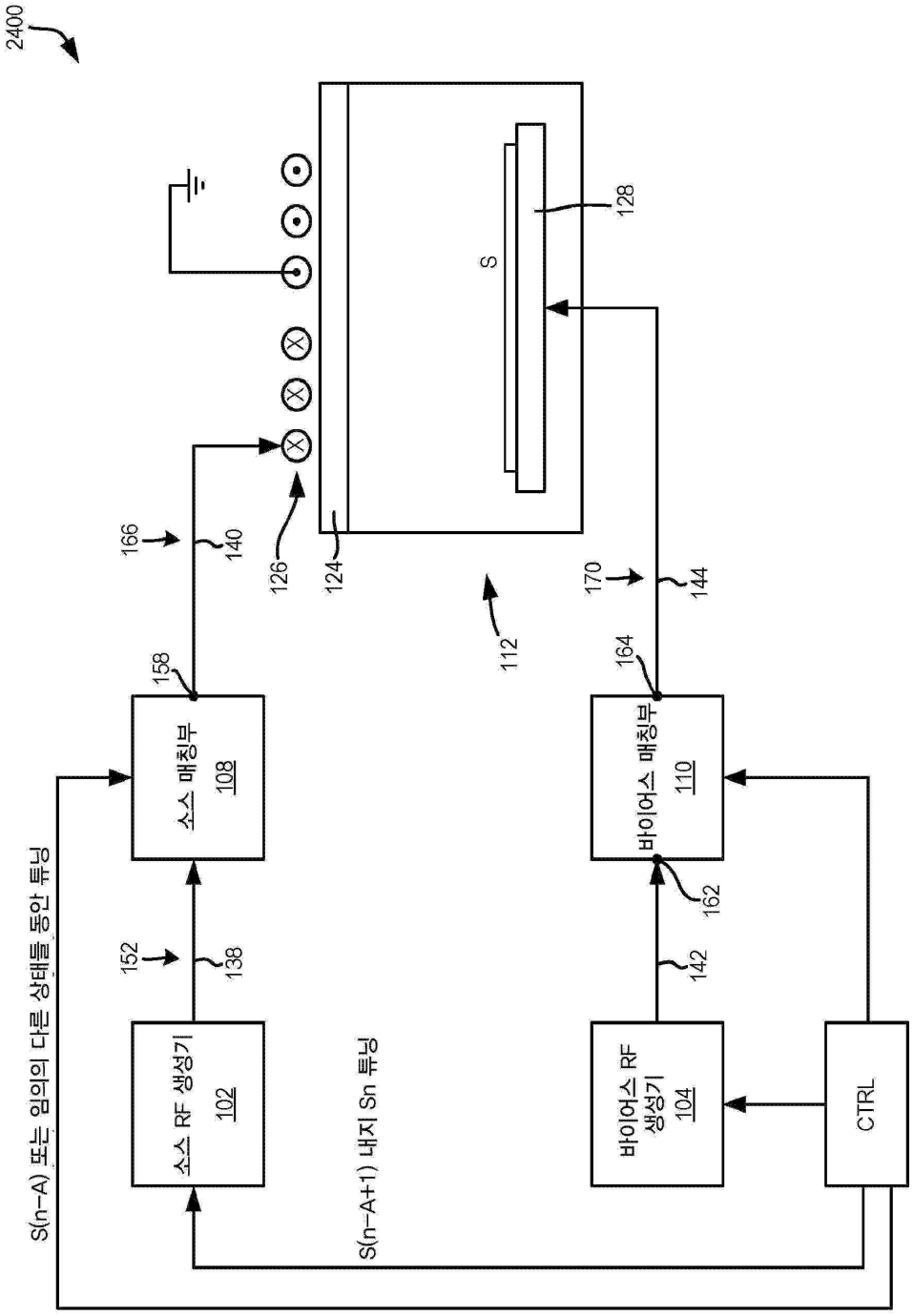
도면22


2000
공지된 부하
전압 센서
(선택가능하게 전력 값들)
전압 값들
RFG
RFG 제어기
조정
$DC_{S(n-1)}$
$PL_{S(n-A)}$, ... $PL_{S(n-1)}$, PL_{Sn}
$DC_{S(n-A)}$, ... $DC_{S(n-1)}$, DC_{Sn}
S(n-A)
S(n-1)
Sn

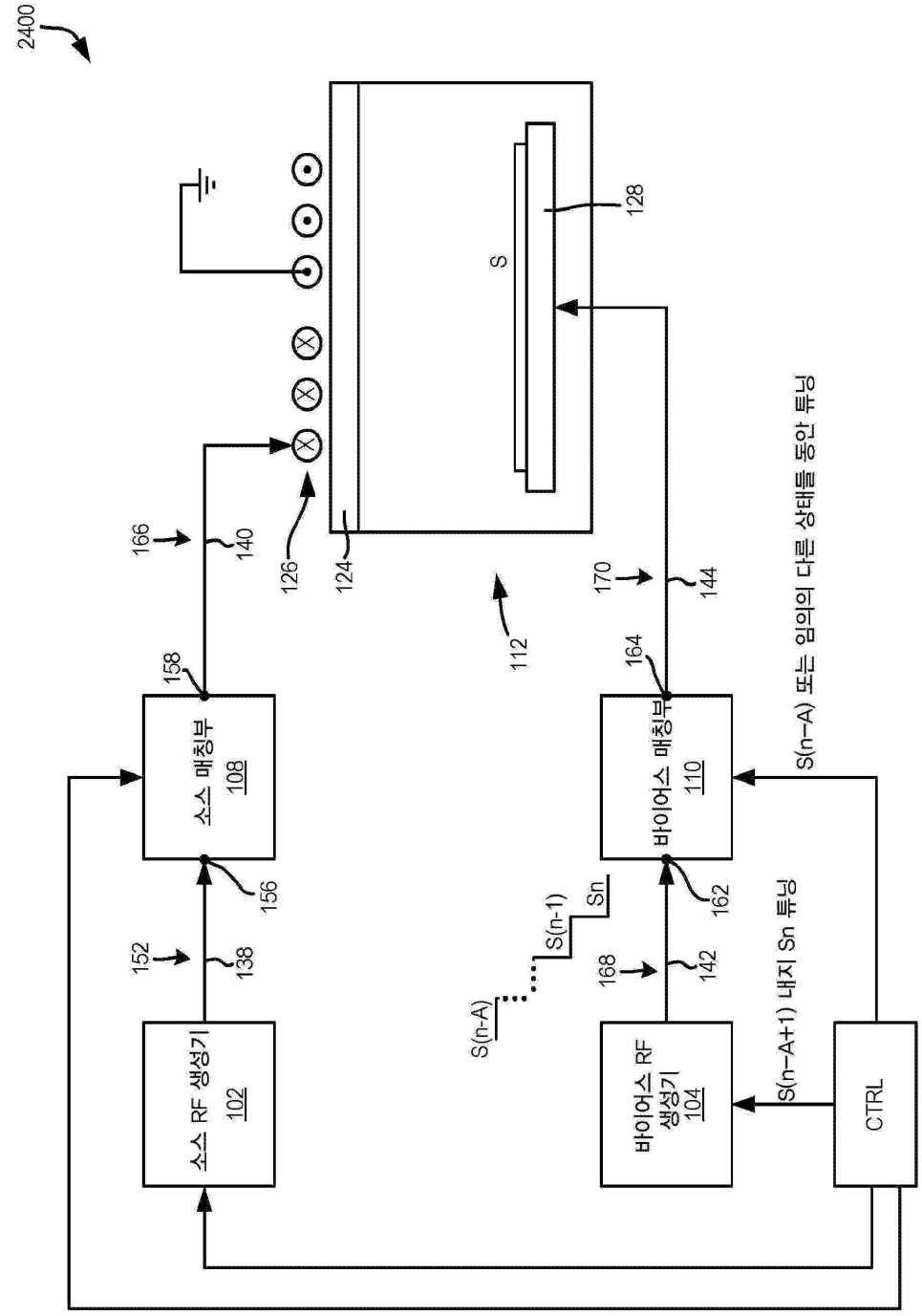
도면23


2300
타이밍 정보
소스 매칭부 108
바이어스 매칭부 110
소스 RF 생성기 102
바이어스 RF 생성기 104
CTRL
S
112
124
126
128
138
140
142
144
152
156
158
162
164
166
168
170
S(n-A)
S(n-1)
Sn

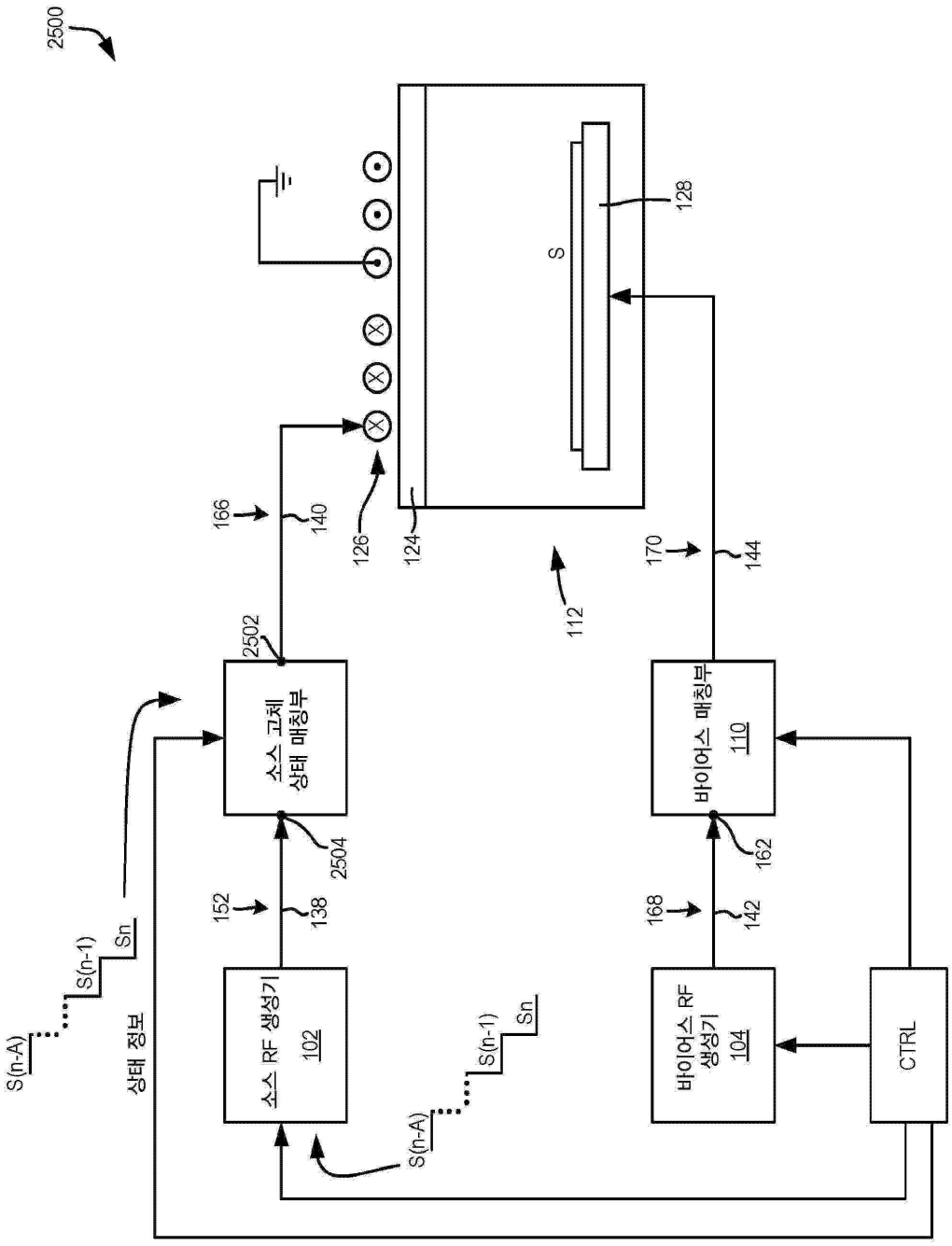
도면24a


2400
S
128
112
124
126
166
140
158
170
144
164
152
138
162
142
소스 매칭부
108
바이어스 매칭부
110
소스 RF 생성기
102
바이어스 RF
생성기
104
CTRL
S(n-A) 또는 임의의 다른 상태를 동안 튜닝
S(n-A+1) 내지 Sn 튜닝

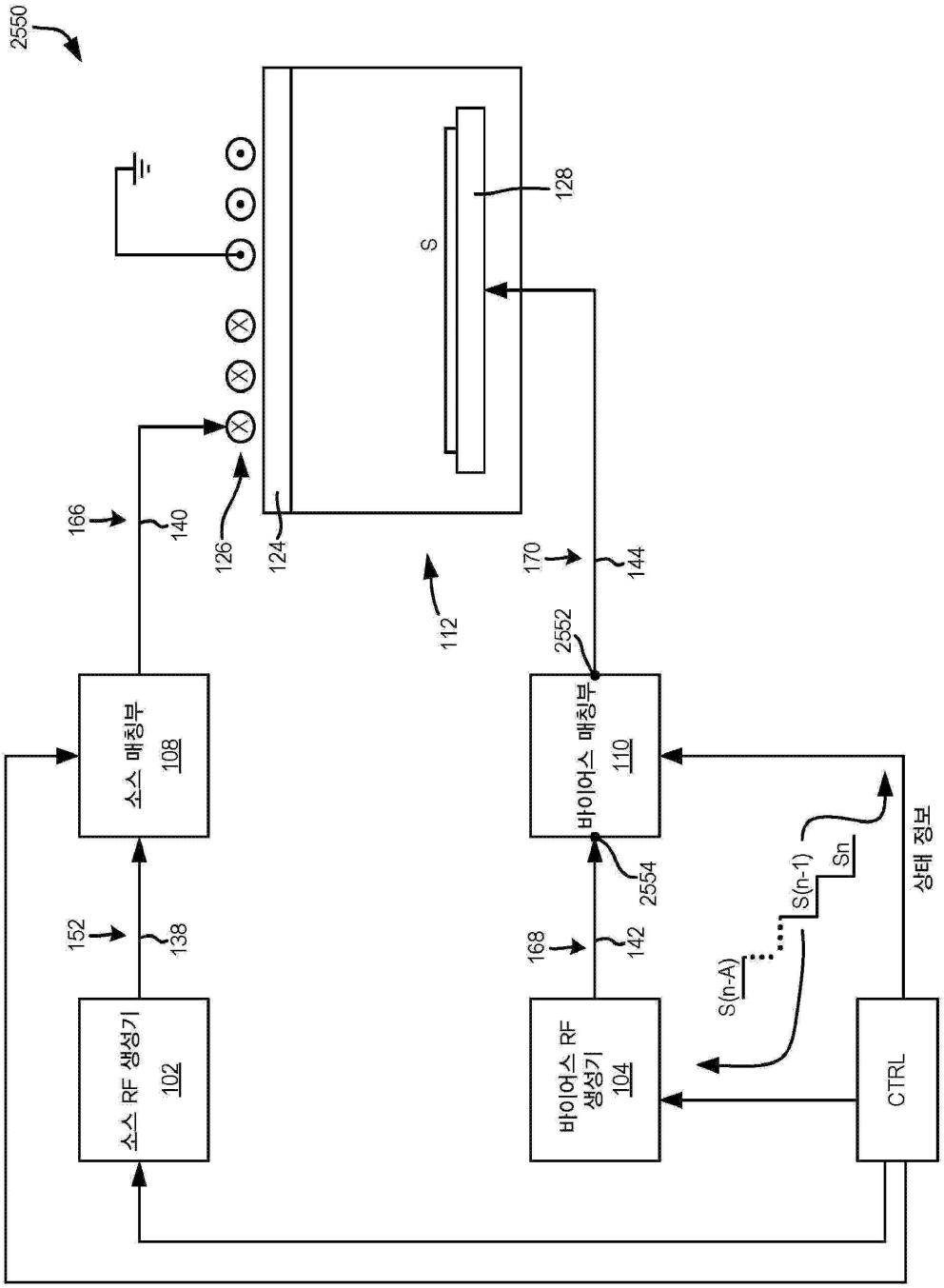
도면24b


2400
128
S
166
140
126
124
112
170
144
158
164
소스 매칭부
108
바이어스 매칭부
110
S(n-A) 또는 임의의 다른 상태들 동안 튜닝
156
162
152
138
S(n-1)
Sn
168
142
S(n-A)
소스 RF 생성기
102
바이어스 RF
생성기
104
S(n-A+1) 내지 Sn 튜닝
CTRL

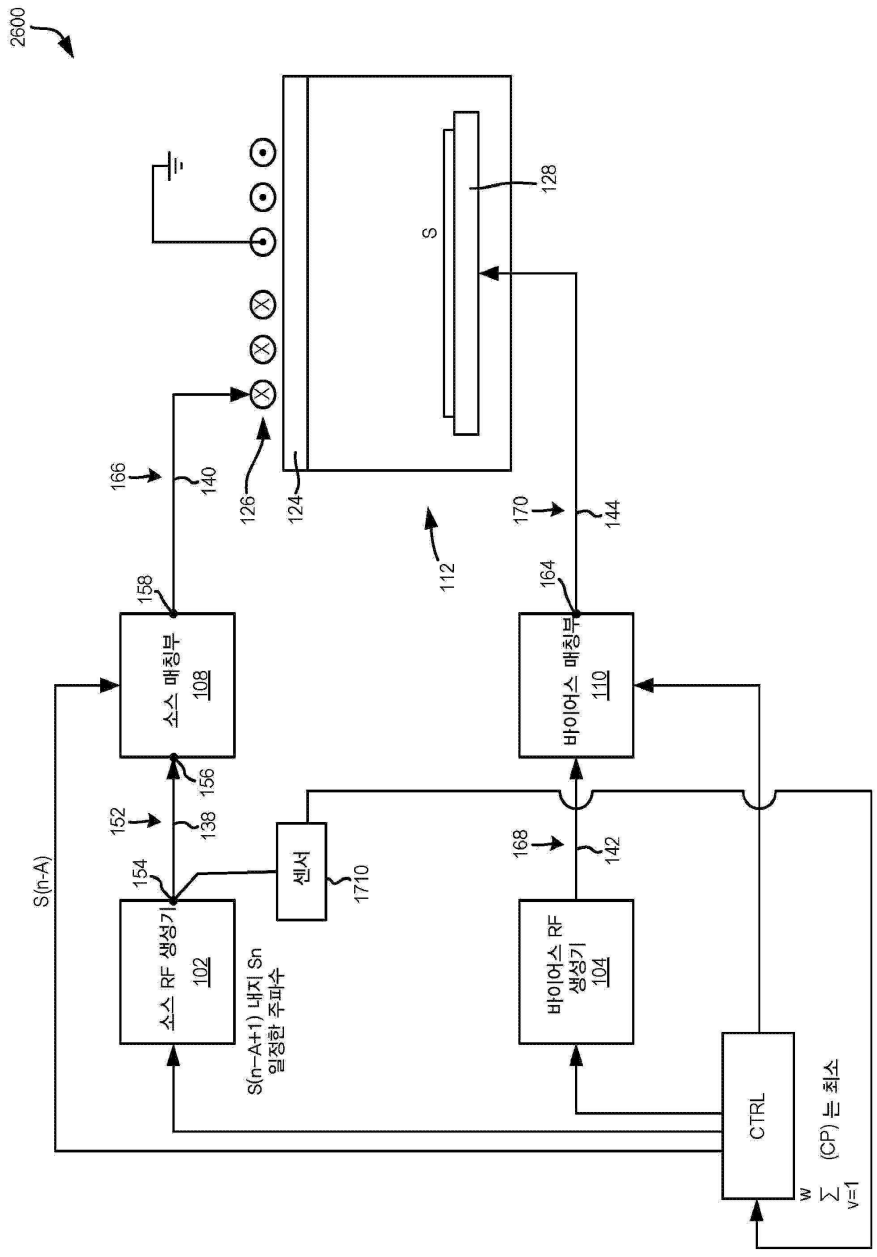
도면25a


2500
128
S
166
140
126
124
112
170
144
2502
소스 고체 상태 매칭부
바이어스 매칭부
110
2504
162
152
138
168
142
S(n-A)
S(n-1)
Sn
상태 정보
소스 RF 생성기
102
바이어스 RF 생성기
104
CTRL

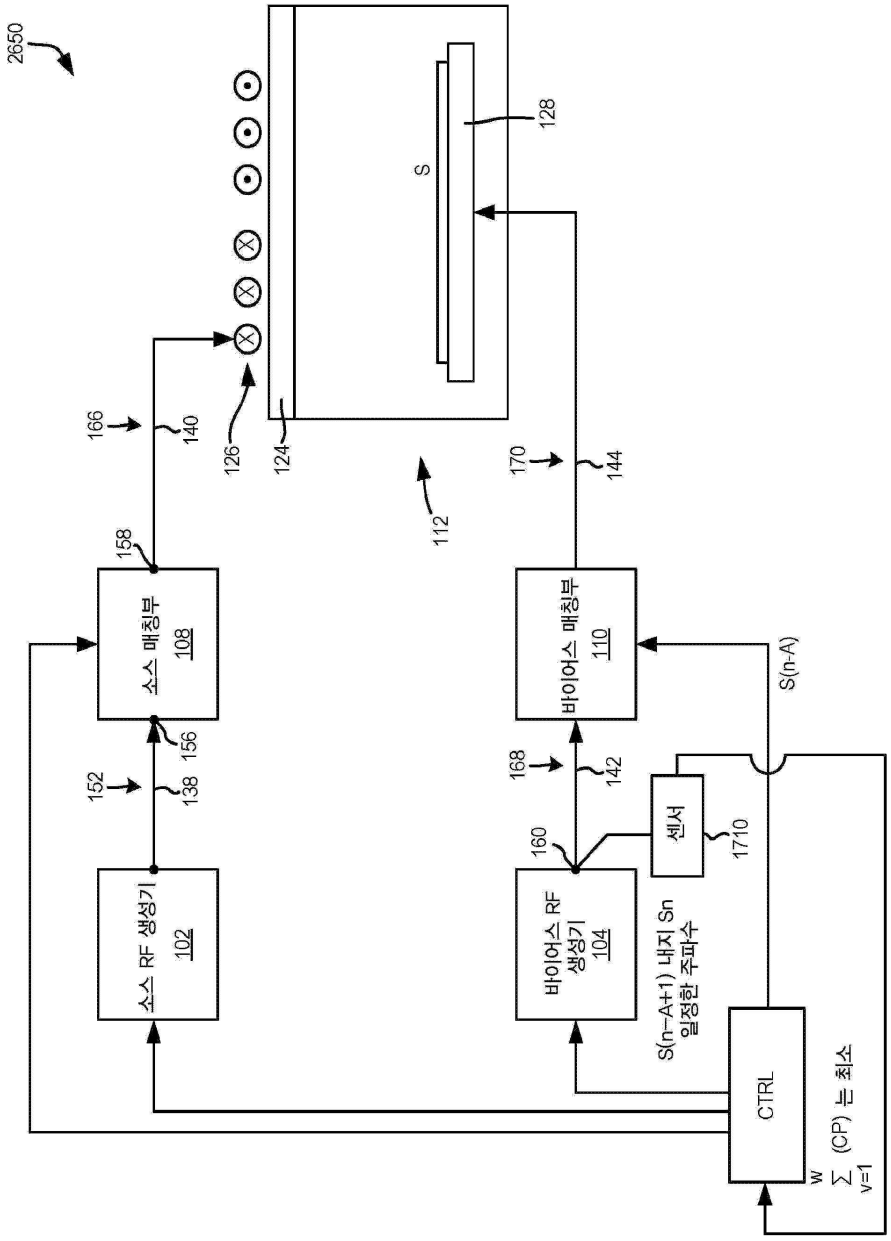
도면25b


2550
128
S
166
140
126
124
112
170
144
2552
소스 매칭부
108
바이어스 매칭부
110
2554
152
138
168
142
S(n-A)
S(n-1)
Sn
상태 정보
소스 RF 생성기
102
바이어스 RF
생성기
104
CTRL

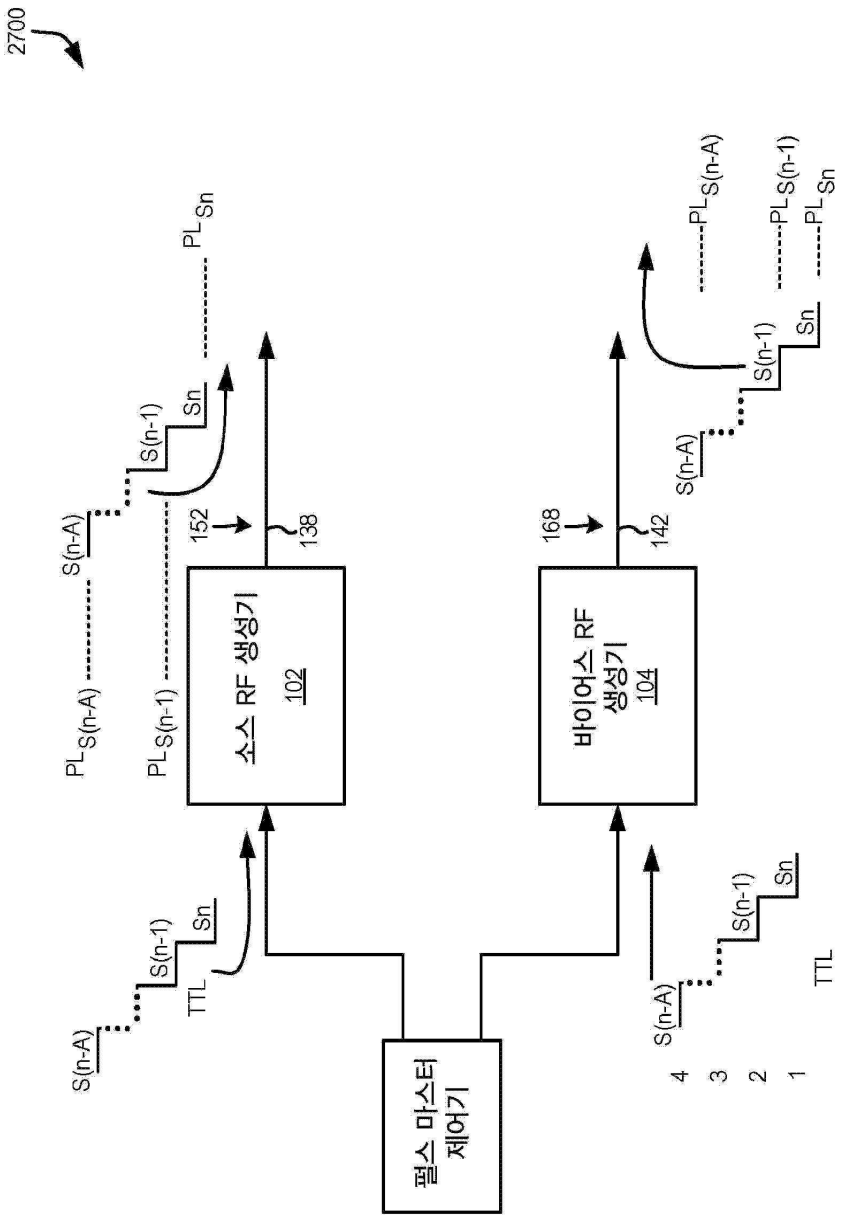
도면26a


2600
S
128
112
124
126
166
140
158
소스 매칭부
108
156
138
152
154
센서
1710
S(n-A)
소스 RF 생성기
102
S(n-A+1) 내지 Sn
일정한 주파수
170
144
164
바이어스 매칭부
110
168
142
바이어스 RF
생성기
104
CTRL
w
∑
v=1
(CP) 는 최소

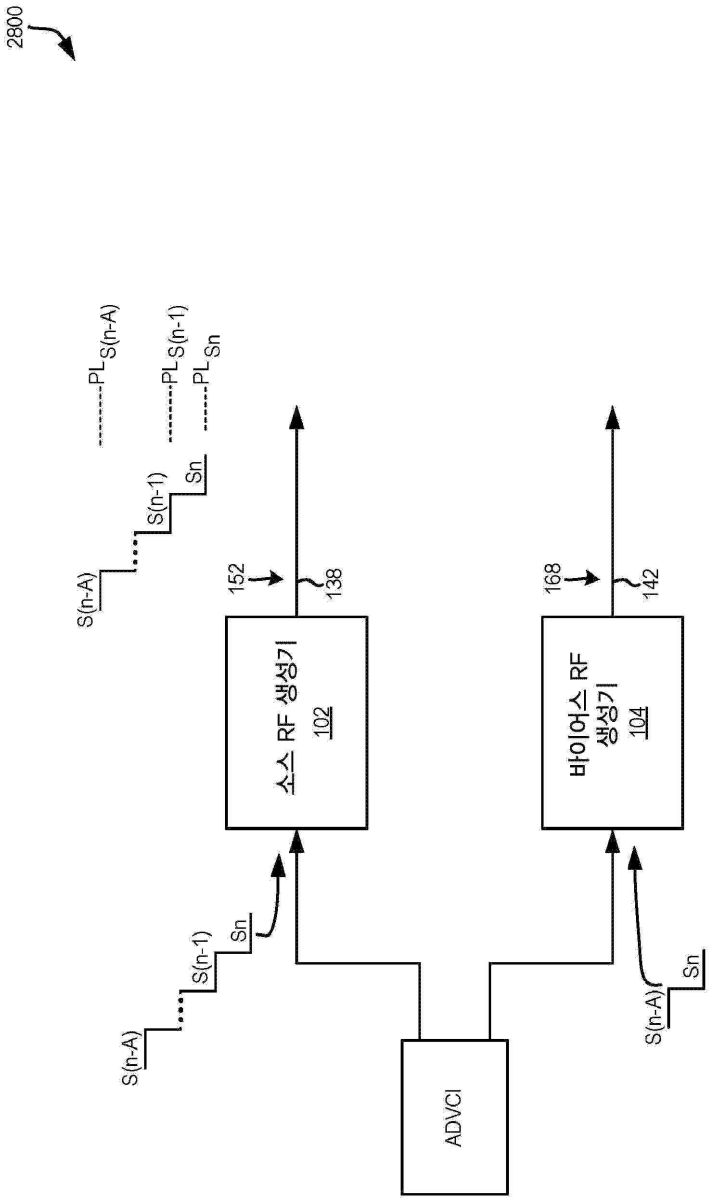
도면26b


2650
S
128
112
124
126
166
140
158
170
144
소스 매칭부
108
바이어스 매칭부
110
S(n-A)
152
138
156
168
142
160
센서
1710
소스 RF 생성기
102
바이어스 RF
생성기
104
S(n-A+1) 내지 Sn
일정한 주파수
CTRL
w
∑ (CP) 는 최소
v=1

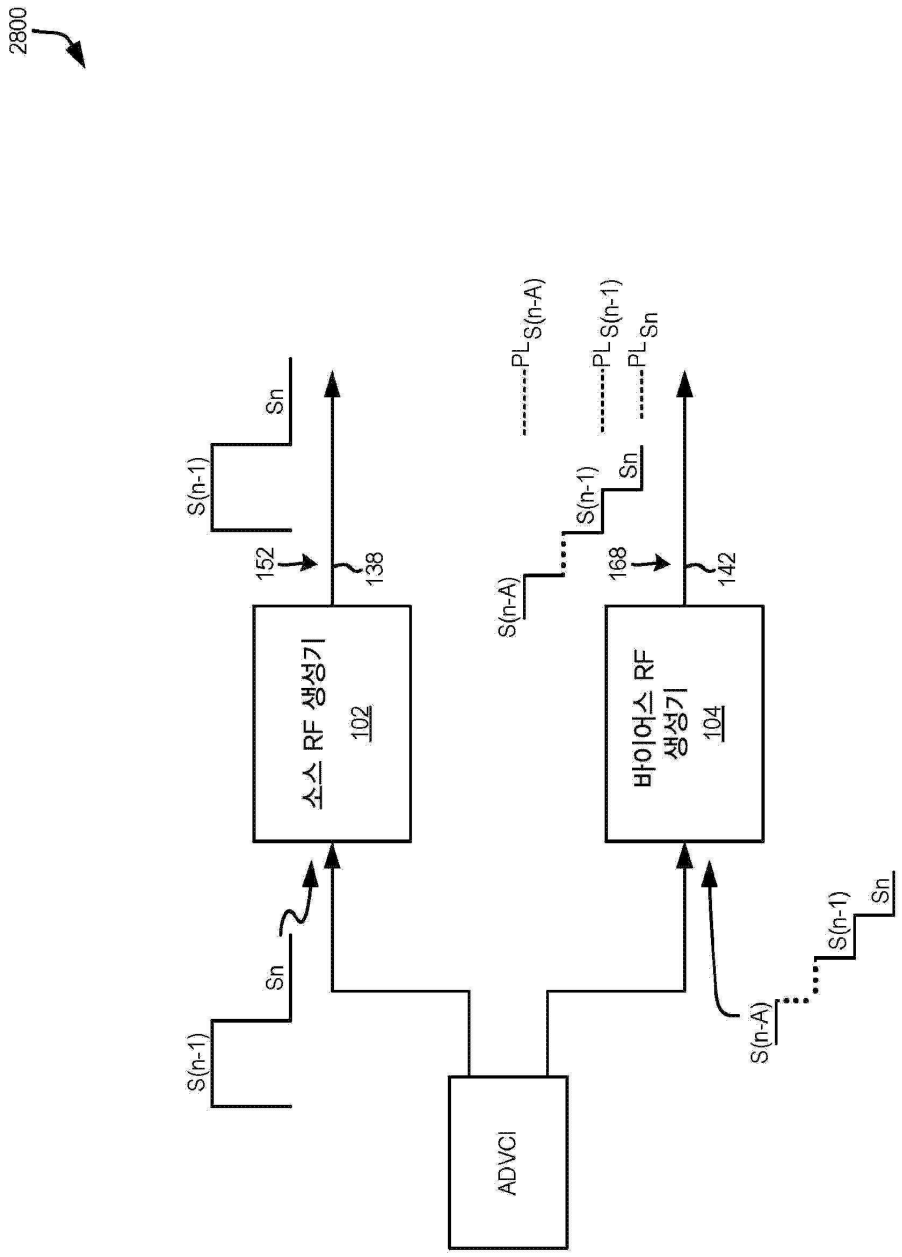
도면27


2700
펄스 마스터 제어기
소스 RF 생성기 102
바이어스 RF 생성기 104
152
138
168
142
S(n-A)
S(n-1)
Sn
TTL
PL S(n-A)
PL S(n-1)
PL Sn
1
2
3
4

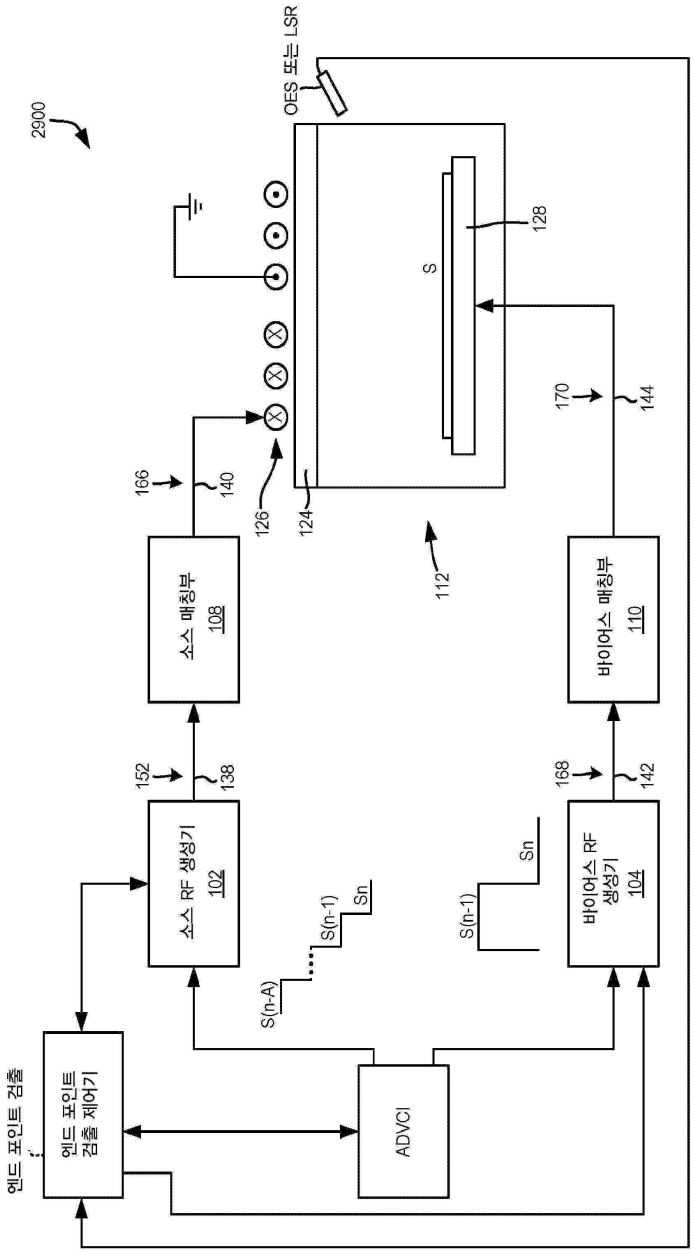
도면28a


2800
PL S(n-A)
PL S(n-1)
PL Sn
S(n-A)
S(n-1)
Sn
152
138
168
142
소스 RF 생성기
102
바이어스 RF
생성기
104
ADVCI
S(n-A)
S(n-1)
Sn
S(n-A)
Sn

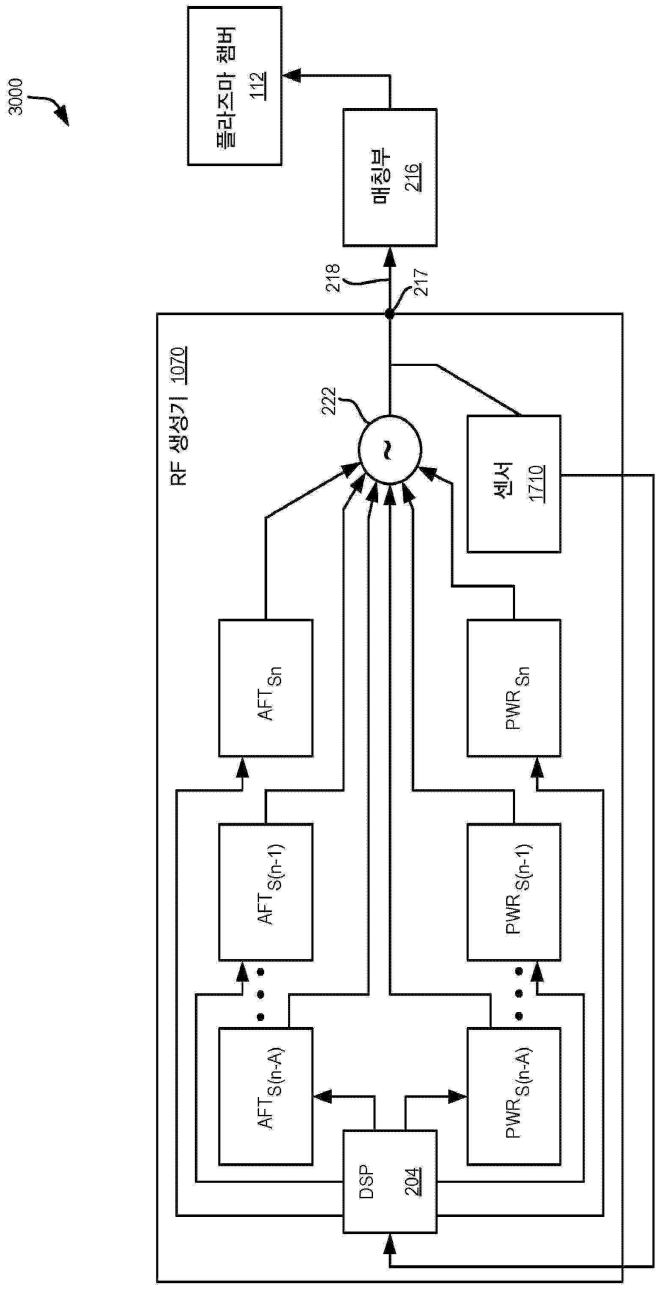
도면28b


2800
소스 RF 생성기
102
바이어스 RF
생성기
104
ADVCI
152
138
168
142
S(n-1)
Sn
S(n-A)
PL

도면29


2900
OES 또는 LSR
128
S
170
144
166
140
126
124
112
소스 매칭부
108
바이어스 매칭부
110
152
138
168
142
소스 RF 생성기
102
바이어스 RF
생성기
104
S(n-1)
Sn
S(n-A)
S(n-1)
Sn
엔드 포인트 검출
엔드 포인트
검출 제어기
ADVCI

도면30



(반사된 전력을 감소시키도록 상태
각각에 대한 주파수 튜닝)