



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0053670  
(43) 공개일자 2017년05월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H01G 7/06 (2006.01) H01J 37/32 (2006.01)  
H03H 7/40 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
H01G 7/06 (2013.01)  
H01J 37/32082 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2017-7009153  
(22) 출원일자(국제) 2014년09월04일  
심사청구일자 2017년04월06일  
(85) 번역문제출일자 2017년04월04일  
(86) 국제출원번호 PCT/EP2014/068887  
(87) 국제공개번호 WO 2016/034241  
국제공개일자 2016년03월10일

(71) 출원인  
코멧 아게  
스위스, 씨에이치-3175 플라마트, 헤렌가세 10  
(72) 발명자  
아브레히트, 미케  
스위스, 씨에이치-3174 퇴리스하우스 탈슈트라쎄 100  
펑크, 토마스  
스위스 씨에이치-5603 슈타우펜, 비젠슈트라쎄 1  
비글러, 발터  
스위스 씨에이치-1714 하이튼리드 보데마타 17  
(74) 대리인  
성낙훈

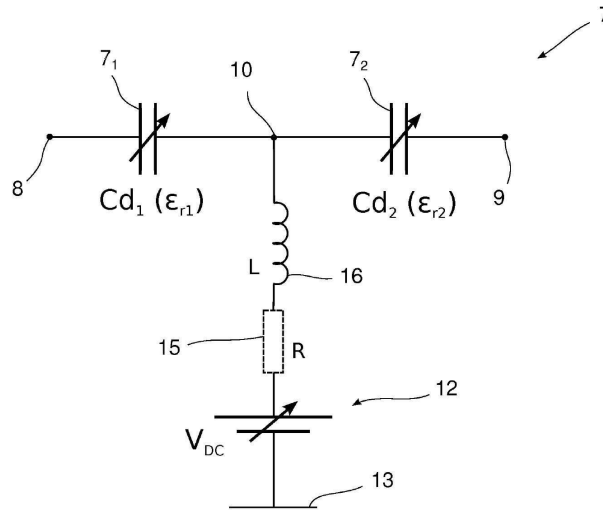
전체 청구항 수 : 총 21 항

(54) 발명의 명칭 RF 전력 공급을 위한 가변 전력 커패시터

### (57) 요약

RF 전력 전달 시스템에서 사용하기 위한 전력 커패시터(7)가 설명된다. 전력 커패시터는, DC 바이어스 전극(10, 26, 28)에서 유전체(17)에 걸쳐 인가된 DC 바이어스 전압을 변화시킴으로써 상대 유전율을 제어할 수 있는 고체 상유전성 유전체 물질을 포함하는 커패시터 유전체(17)에 의해 분리되는 적어도 2개의 RF 전극(18, 19)을 포함한다. 또한 합성 커패시터 구성, RF 전력 시스템 및 전력 커패시터 제어 방법이 설명된다.

대표도 - 도5



(52) CPC특허분류

*H01J 37/32174* (2013.01)

*H03H 7/40* (2013.01)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

적어도 50 와트에서 작동할 수 있는 RF 전력 공급에서 사용하기 위한 전력 커패시터(7)로서, 상기 전력 커패시터는 고체 유전체 물질을 포함하는 커패시터 유전체(17)에 의해 분리된 적어도 2개의 RF 전극(18, 19)을 포함하고,

상기 고체 유전체 물질은 제어 가능한 상대 유전율(1)을 가지는 것을 특징으로 하는, 전력 커패시터(7).

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 커패시터 유전체(17)의 상기 상대 유전율(1)은, 상기 커패시터 유전체(17)의 적어도 일부에 걸쳐서 인가되는 DC 바이어스 전압(12)을 변화시킴으로써 제어 가능한, 전력 커패시터(7).

#### 청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 커패시터 유전체(17)는 적어도 2개의 DC 바이어스 전극(26, 27, 28)을 포함하고, 상기 상대 유전율(1)은 상기 DC 바이어스 전극(26, 27, 28)에 걸쳐서 인가되는 DC 바이어스 전압(4, 12)을 변화시킴으로써 제어 가능한, 전력 커패시터(7).

#### 청구항 4

제3항에 있어서, 상기 DC 바이어스 전극(26, 27, 28) 중 적어도 하나는 상기 커패시터(7)의 RF 전극(18, 19) 중 하나로서 형성되는, 전력 커패시터(7).

#### 청구항 5

앞선 청구항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 커패시터 유전체(17)는 적어도 0.1 mm, 또는 바람직하게는 적어도 0.3 mm, 또는 보다 바람직하게는 적어도 0.5 mm의 두께를 가지는 상기 고체 유전체 물질의 블록, 태블릿 또는 디스크를 포함하는, 전력 커패시터(7).

#### 청구항 6

앞선 청구항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 고체 유전체 물질은 상유전성 세라믹 물질을 포함하는, 전력 커패시터(7).

#### 청구항 7

제6항에 있어서, 상기 상유전성 세라믹 물질은, 바륨 스트론튬 티탄산염(barium strontium titanate)을 포함하는, 전력 커패시터(7).

#### 청구항 8

제7항에 있어서, 상기 상유전성 세라믹 물질은 실질적으로 일체식 소결 블록으로서 형성되는, 전력 커패시터(7).

#### 청구항 9

제3항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 RF 전극(18, 19) 중 적어도 하나 및/또는 상기 DC 바이어스 전극 중 적어도 하나는 상기 커패시터 유전체(17) 내에 실질적으로 둘러싸여 형성되는, 전력 커패시터(7).

#### 청구항 10

앞선 청구항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 커패시터 유전체(17)는, 상기 RF 전극(18, 19) 중 적어도 하나에 및

/또는 기판이나 회로 보드의 도전성 패드나 트랙에, 용접(weld), 납땜(solder) 또는 경납땜(braze) 되는, 전력 커패시터.

#### 청구항 11

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 따른 제1 전력 커패시터( $7_1$ ,  $7_{A1}$ ,  $7_{B1}$ ) 및 제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 따른 제2 전력 커패시터( $7_2$ ,  $7_{A2}$ ,  $7_{B2}$ )를 포함하며, 상기 제1 전력 커패시터 및 상기 제2 전력 커패시터는, 상기 제1 전력 커패시터( $7_1$ ,  $7_{A1}$ ,  $7_{B1}$ ) 및 상기 제2 전력 커패시터( $7_2$ ,  $7_{A2}$ ,  $7_{B2}$ ) 각각의 커패시터 유전체(17)의 동조 가능한 상대 유전율( $\epsilon_{r1}$ ,  $\epsilon_{r2}$ )을 변화시키는 가변 DC 바이어스 전압원( $V_{DC}$ )에 접속하기 위하여, 공통 유전율 제어 전압 노드(10)를 공유하도록 배열된, 제1 합성 커패시터( $7$ ,  $7_A$ ,  $7_B$ ).

#### 청구항 12

제11항에 있어서, 상기 공통 유전율 제어 전압 노드(10)에서 RF 전압으로부터 그리고/또는 적어도 하나의 RF 전극(18, 19)에서 RF 전압으로부터, 상기 DC 바이어스 전압원( $V_{DC}$ )을 디커플링 하도록 배열된 적어도 하나의 디커플링 소자(15, 16)를 포함하는, 제1 합성 커패시터.

#### 청구항 13

제12항에 있어서, 상기 적어도 하나의 디커플링 소자(23)는 상기 커패시터 유전체(17)의 저항성 부분을 포함하는, 제1 합성 커패시터.

#### 청구항 14

직렬로 접속된, 제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 따른 3개 이상의 전력 커패시터(7)를 포함하는 제2 합성 커패시터로서:

상기 직렬 접속된 전력 커패시터(7)의 각각의 연속된 커패시터( $7_1$ ,  $7_2$ ,  $7_3$ ,  $7_4 \dots 7_n$ )는 DC 바이어스 노드( $10_1$ ,  $10_2$ ,  $10_3$ ,  $10_4 \dots 10_n$ )에서 그 다음 커패시터와 접속되고,

각각의 상기 DC 바이어스 노드( $10_1$ ,  $10_2$ ,  $10_3$ ,  $10_4 \dots 10_n$ )는, 상기 각각의 전력 커패시터 및 그 다음 전력 커패시터의 상기 커패시터 유전체(17)를 바이어스 하기 위한 DC 바이어스 전압( $V_{DC1}$ ,  $V_{DC2}$ ,  $V_{DC3}$ ,  $V_{DC4} \dots V_{DCn}$ )에 접속하도록 배열된, 제2 합성 커패시터.

#### 청구항 15

제14항에 있어서, 교번하는 DC 바이어스 노드( $10_1$ ,  $10_3$ ;  $10_2$ ,  $10_4 \dots 10_n$ )는, 교번하여 반대 극성을 가지는 DC 바이어스 전압( $V_{DC1}$ ,  $V_{DC3}$ ;  $V_{DC2}$ ,  $V_{DC4} \dots V_{DCn}$ )에 접속하도록 배열된, 제2 합성 커패시터.

#### 청구항 16

리액턴스 회로로서:

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 따른 하나 이상의 제3 전력 커패시터( $7_1$ ,  $7_2$ ), 제11항 내지 제13항 중 어느 한 항에 따른 하나 이상의 제1 합성 커패시터( $7_A$ ,  $7_B$ ), 및/또는 제14항 또는 제15항에 따른 하나 이상의 제2 합성 커패시터( $7_A$ ,  $7_B$ ),

제4 전력 커패시터( $7_V$ )를 포함하며,

상기 하나 이상의 제3 전력 커패시터( $7_1$ ,  $7_2$ ) 및/또는 상기 하나 이상의 합성 커패시터( $7_A$ ,  $7_B$ )는 제1 조절 속도로 조절 가능한 커패시턴스를 가지며, 상기 제4 커패시터( $7_V$ )는 제2 조절 속도로 조절 가능하며, 상기 제2 조절 속도는 상기 제1 조절 속도보다 느린, 리액턴스 회로.

#### 청구항 17

제16항에 있어서, 상기 제4 커패시터( $C_4$ )는 진공 가변 커패시터를 포함하는, 리액턴스 회로.

#### 청구항 18

적어도 50 와트의 RF 전력을 RF 부하(36)에 전달하기 위한 RF 전력 시스템(20, 30)으로서, 제11항 내지 제13항 중 어느 한 항에 따른 하나 이상의 제1 합성 커패시터( $C_A$ ,  $C_B$ ), 제14항 또는 제15항에 따른 하나 이상의 제2 합성 커패시터 및/또는 제16항 또는 제17항에 따른 리액턴스 회로를 포함하는, RF 전력 시스템(20, 30).

#### 청구항 19

RF 전력 시스템의 전력 커패시터(7)의 상기 커패시턴스를 제어하는 방법으로서, 상기 전력 커패시터(7)의 동조 가능한 유전체(17)에 걸쳐서 인가되는 유전율 제어 전압을 변화시킴에 의하는 것을 특징으로 하는, 방법.

#### 청구항 20

제18항에 따른 RF 전력 시스템, 또는 제19항에 따른 방법에 있어서, 상기 RF 전력 시스템(30)은 RF 발전기, 임피던스 매칭 회로 및/또는 플라즈마 챔버의 플라즈마 제어 회로를 포함하는, RF 전력 시스템 또는 방법.

#### 청구항 21

제5항 내지 제10항 중 어느 한 항에 따른 블록, 태블릿 또는 디스크로서 형성되는, 상기 커패시터 유전체(17).

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 본 발명은, 예를 들어 플라즈마 시스템에 공급되는 RF 전력의 동적 임피던스 매칭과 같은, 무선 주파수(RF; Radio-frequency) 전력 공급에 사용하기 적합한 전력 커패시터 분야에 관한 것이다. 본 발명은 또한 이와 같은 전력 커패시터에 사용하기 적합한 유전체, 및 RF 전력 공급에 이와 같은 커패시터를 사용하는 방법에 관한 것이다.

#### 배경 기술

[0002] RF 전력 공급은 예를 들어, 플라즈마 챔버와 같은 디바이스에 고전압 및/또는 고전류로 RF 전력을 공급하는 단계를 포함할 수 있다. 플라즈마 챔버는 반도체 제조 공정에서의 물질의 표면 처리나 플라즈마 에칭과 같은 산업 공정에 사용된다. 플라즈마는 전형적으로, 플라즈마 챔버에서 사용되는 정화된 소스 가스(rarified source gas)를 여기 및 이온화하고 RF 주파수로 교변하는, 전류에 의해 생성되고 유지된다. 대안적으로, 이와 같은 정화된 가스를 사용하는 대신에, 많은 산업 공급에서 흔히 그러하듯이, 대기압 이상에서 산업 공급을 위한 무선 주파수 플라즈마 여기(radio-frequency plasma excitation) 또한 가능하다.

[0003] RF 발전기 관점에서, 플라즈마 챔버는 크고 빠르게 변할 수 있는 부하 임피던스를 나타낸다. 임피던스가 미스매칭될 때 발생할 수 있는 경우로서, RF 발전기의 출력 회로 쪽으로 해로운 반사 전력이 되돌아오는 것을 방지하기 위하여 RF 발전기의 출력 임피던스를 플라즈마 챔버의 급속히 변화하는 부하 임피던스에 근접하게 매칭시키는 것이 중요하다. 플라즈마 챔버의 부하 임피던스를 RF 발전기의 출력 임피던스에 매칭시키는 별도의 임피던스 매칭 디바이스(소위, 매치박스(matchbox))가 흔히 사용된다. 급속하게 변하는 부하 임피던스의 경우에, 매치박스는 그 임피던스를 따라 동적으로 매칭시킬 수 있어야 한다. 부하 임피던스가 상대적으로 상수(constant)로 유지되는 다른 경우에, 매치박스는 유사하게 상수 임피던스 매칭 기능을 단순히 제공한다.

[0004] 매치박스는, 매치박스를 통해 부하(예컨대, 플라즈마 챔버)로 전달되는 고전력(고전압 및/또는 고전류)을 반드시 다룰 수 있는, 커패시터와 같은 무효분(reactive component)을 포함한다. 임피던스 매칭의 경우, 이와 같은 고전력 커패시터는 가변 리액턴스(커패시턴스)를 가지는 것이 요구될 수 있다. 이와 같은 커패시터의 커패시턴스 값은, 예를 들어 50 pF 내지 1 nF 이상일 수 있고, 이와 같은 가변 커패시터의 최대 변화 속도는 매치박스에 의해 제공되는 임피던스 매칭의 변화 속도에 대한 제한 요소(limiting factor)일 수 있다.

[0005] RF 발전기 및 다른 디바이스는 또한, 예를 들어 그 출력 스테이지에서 가변의 및/또는 고정된 이와 같은 고전력 무효분을 포함할 수 있다. 상용 RF 발전기의 출력 임피던스는 흔히 50 옴으로 표준화된다. 일시적인 임피던스

미스매칭 상태 동안에 매우 신속하게 출력 스테이지를 안정화시키기 위해, 발전기 회로 내에 집적된 조절 가능 커패시턴스(adjustable capacitance)가 사용될 수 있다.

[0006] 종래 기술

[0007] 고전력을 다룰 수 있고 수십만의 듀티 사이클 동안에 신뢰성 있게 작동할 수 있는 진공 가변 커패시터(즉, 유전체로서 진공을 이용함)가 개발되었다. 이와 같은 커패시터는 전형적으로, 통상 전기 모터 및 기계적 구동 기구에 의해 서로에 대해 전극을 이동시킴으로써 오버랩 영역이 변화되는 전극 쌍을 포함한다. 동조 시간(tuning time; 커패시턴스가 하나의 값에서 다른 값으로 변경되는 데 걸리는 시간)은 전형적으로 커패시터의 크기와 디자인, 및 커패시턴스 변화량에 따라 100 ms 에서 수 초 정도일 수 있다. 이와 같은 진공 가변 커패시터는, 예를 들어 독일 특허출원 DE2752025A1에 개시되어 있다. 진공 가변 커패시터는 예를 들어 수 센티미터 또는 수십 센티미터의 치수를 갖는 비교적 부피가 큰 부품이다. 또한 진공 가변 커패시터는 제조하기에 상대적으로 복잡하며, 내구성, 매우 높은 진공도 및 정밀 가공된 전극 그리고 구동 부품을 요구한다.

[0008] 더 빠른 동조 시간을 제공하기 위해, 다수의 고정된 커패시터 사이에서 스위칭하는 고속 스위칭 핀 다이오드를 사용함으로써 가변 커패시턴스를 구현하는 것이 제안되었다(예를 들어, US20100225411 참조). 또한, 예를 들어 미국 특허 US8416008B2에 개시된 바와 같이, 고속 스위칭 양극성 접합 트랜지스터(BJT) 또는 절연 게이트 양극성 트랜지스터(IGBT)를 사용하는 것이 제안되었다. 이와 같은 디바이스는 큰 역 바이어스 전압을 견디는 요구에 비해, 이들 스위치 기반 조절 장치는 커패시턴스의 계단식(즉, 비연속적인) 변화만을 허용하는 점에서 심각한 단점을 겪는다. 유사 연속 변화(quasi-continuous variation)를 얻기 위해 매우 많은 수의 스위치를 사용하는 것이 가능할 수 있다. 그러나 이는 부피가 크고 비용이 소비될 수 있으며, 많은 스위치 중 어느 하나가 고장 나면 전체 디바이스를 사용할 수 없으므로, 장기적인 신뢰성에 해가 될 수 있다.

[0009] GHz 범위에서 작동하는 이동 통신 시스템과 같은 비관련 기술 분야에서, 인가된 전기장(electric field)에 따라 상대 유전율(relative permittivity)이 변하는, 소위 상유전성 유전체 물질(paraelectric dielectric material)의 박막(예를 들어, 70 nm 두께) 또는 후막(예를 들어, 30  $\mu$ m 두께)으로서 형성된 가변 커패시터를 사용하는 것이 알려져 있다. 그러나, 이와 같은 커패시터는 최대 수십 볼트의 RMS 전압 및 수 mA 이하의 RMS 전류를 갖는 저전력 공급에 제한된다.

[0010] 이후의 설명은 상유전성 유전체 물질의 사용에 관한 것이므로 그 개념에 대한 다음의 간단한 소개가 참고로 포함된다. 도전성(금속성) 대응물과 반대로, 절연체 또는 유전체 물질은 그 물질을 통하는 전하의 자유 이동을 허용하지 않는다. 그러나, 양전하 및 음전하가 국소적으로 이동될 수 있어, 국소 전기 쌍극자(electric dipole)가 발생한다. 대부분의 물질에서, 임의의 외부로부터 인가되는 전기장 없이, 이들 국소 쌍극자는 무작위로 배향되며 거시적으로 자체 제거된다. 따라서 대부분의 물질은 거시적으로 분극되지 않는다. 그러나 외부 전기장 E를 인가함으로써, 쌍극자는, 국소 쌍극자의 총합이 거시적 레벨에서 유도 분극(induced polarization) P가 될 효과로써, 인가된 장의 방향으로 정렬될 것이다. 대부분의 유전체 물질에서 이와 같은 분극은 인가된 전기장에 비례하며 P(E)의 기울기는 상수이다. 이들 물질을 선형 유전체 물질이라고 한다. 비선형 유전체라고 불리는 다른 유전체의 경우, P(E)의 기울기는 상수가 아니고 인가되는 장의 크기에 따라 변화한다. 따라서 이들 유전체는, 유도된 분극의 효과가 인가된 장이 제거되는 경우, 초기 상태로 되돌아가는 상유전성 물질로 하위 카테고리화된다. 강유전성 물질(강자성 물질과 유사)이라고 불리는 유전체의 다른 하위 카테고리에서는 인가된 장이 제거되는 경우에도 유도된 분극의 효과가 지속된다.

[0011] 물질의 분극성(polarizability)은 그 상대 유전율로 표현된다. 용어 "상대 유전율(relative permittivity)"은 본 설명에서 선호되는데, 대안적인 용어 "유전 상수(dielectric constant)"는 예를 들어, 온도에 따라 변할 수 있거나 인가된 전기장의 결과로서 상대 유전율이 변할 수 있는 비선형 유전체의 설명시, 정확하지 않은 불변 파라미터를 제안하기 때문이다.

[0012] 본 명세서에서의 참조는 유전체는 특정한 형상 및 크기를 갖는 물리적 개체(physical entity)를 지칭하며, 이 용어는 일반적으로 물질을 지칭하는 유전체 물질(dielectric material)의 참조와 혼동되어서는 안 된다는 것을 주지한다.

[0013] 상대 유전율은 스칼라(또는 비등방성 물질의 텐서) 량이고, 진공의 유전율에 대해 정의된다(진공의 상대 유전율  $\epsilon_{rv}$ 는 1로 정의된다). 비선형 유전체가 전기장 종속 상대 유전율  $\epsilon_r = \epsilon_r(E)$ 을 갖는 것에 반해, 선형 유전체는 전기장 독립 상대 유전율을 가진다. 도 1에서 곡선(1)은 상유전성 물질의 상대 유전율이 인가된 전기장에 따라 어떻게 변할 수 있는지의 실시예를 나타낸다.

[0014] 종래 기술(예를 들어 US7910510B2 참조)에서, 세라믹 화합물  $\text{BaTiO}_3$ 은 강유전성 물질이며, 소위 퀴리 온도  $T_c=115^\circ\text{C}$ 를 초과하는 온도에서 상유전성이 되는 것으로 알려져 있다. Ba 원자의 일부를 Sr로 치환하고 그 결정 구조에 다른 미량 원소를 삽입함으로써, 물질의 특성이 조절될 수 있어, 퀴리 온도를 실온 이하로 감소된다. 이는 물질이 실온에서 상유전성 상태(paraelectric phase)로 사용될 수 있음을 의미한다. 이는 또한 물질의 상대 유전율  $\epsilon_r$ 을 2000 이상으로 상승시키게 하고 동조 가능성(tunability) 또한 증가시키게 한다(이는 인가된 전기장의 변화에 의해 상대 유전율  $\epsilon_r$ 이 넓은 범위의 값에 걸쳐 변할 수 있음을 의미한다). 또한 전재호 저자의 논문, "SrTiO<sub>3</sub> 농도와 소결 온도가 Ba<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>TiO<sub>3</sub>의 미세 구조 및 유전 상수에 미치는 영향", 유럽 세라믹 학회지, 24권 6호, 2004년, 페이지 1045-1048, ISSN 0955-2219를 참조하라.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0015] 본 발명은 종래 기술 전력 커패시터의 상기 단점 중 적어도 일부를 극복하는 것을 목적으로 한다.

### 과제의 해결 수단

[0016] 이를 위해, 본 발명에 따른 커패시터는 첨부된 청구항 1에 기재되어 있고, 본 발명에 따른 방법은 청구항 19에 기재되어 있고, 본 발명에 따른 커패시터 유전체는 청구항 21에 기재되어 있다. 본 발명의 추가적 변형예가 종속항에서 기재되어 있다. 가변 상대 유전율을 갖는 유전체의 사용은 전술한 바와 같이 플라즈마 챔버와 같은 RF 전력 공급에서 커패시터의 극히 빠른 조절을 가능하게 한다. 또한 커패시터의 조절이 연속적으로 이루어질 수 있으며, 이에 의해 이전에 RF 전력 전달 공급에 있어서 빠른 조절을 위해 사용된 스위칭 솔루션의 계단식 조절을 방지한다. 또한, 본 발명의 커패시터는 많지 않은 부품을 사용하며 이동 부분(moving part)을 사용하지 않기 때문에, 이는 RF 전력 공급에 대한 종래 기술 커패시터보다 더 단순하게 제조될 수 있다. 또한 주어진 커패시터 값에 대하여 더 작은 치수로 제조될 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0017] 본 발명은 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명될 것이다:

도 1은 본 발명에 따른 유전체의 실시예에 관한 상대 유전율  $\epsilon_r$  대 인가된 전기장  $|E|$ 의 그래프를 도시한다.

도 2는 본 발명의 변형예에 따라, 조절 가능 DC 바이어스 전압원에 의해, 필요한 전기장(E)이 제공되는 두 커패시터의 백투백(back-to-back) 접속 배열을 나타낸다.

도 3은 본 발명에 따른 다수의 커패시터의 스택 배열의 개략도를 나타낸다.

도 4는 도 2의 백투백 접속 배열의 DC 바이어스 전압원에 관한 저항성 디커플링 배열의 개략도를 나타낸다.

도 5는 도 2의 백투백 접속 배열의 DC 바이어스 전압원에 관한 유도성 디커플링 배열의 개략도를 나타낸다.

도 6은 본 발명의 변형예에 따른 두 커패시터의 집적된 블록 구현의 개략적인 단면도를 나타낸다.

도 7은 도 6의 집적된 블록 구현의 개략적인 등각투영도를 나타낸다.

도 8은 본 발명의 변형예에 따른 커패시터의 하이브리드 구성의 개략도를 나타낸다.

도 9는 본 발명에 따른 커패시터를 사용하는 예시적인 임피던스 매칭 네트워크의 개략도를 나타낸다.

도면은 단지 본 발명을 기초로 하는 원리의 이해에 도움을 주기 위해 제공되며, 보호 요청의 범위를 제한하는 것으로 해석되어서는 안됨을 주지해야 한다. 상이한 도면에서 동일한 참조 번호가 사용된 경우, 이들은 유사한 또는 동등한 특징을 나타내도록 의도된다. 그러나, 상이한 참조 번호의 사용이, 이들이 참조하는 특징들 간에 임의의 특정한 정도의 차이를 나타내기 위해 의도된 것이라고 추정되어서는 안된다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 상기한 바와 같이, 비선형(예컨대, 세라믹) 유전체 물질은 전기적 조절 가능 용량성 디바이스를 형성하기 위하여 그 상유전성 상태에서 사용될 수 있다. 이와 같은 조절기능은 예를 들어 가변 커패시터에 사용되거나, 또는

명목상의 고정값을 가지지만 예를 들어 온도 상의 변화를 보상하기 위해 그 커패시턴스가 조절 또는 트림(trim)될 수 있는 커패시터에서 사용될 수 있다. 본 발명의 설명 시에 "가변(variable)", "조절 가능(adjustable)" 및 "동조 가능한(tunable)"이라는 용어는 본 명세서에서 가변 커패시터의 커패시턴스의 변화, 또는 조절 가능/트림 가능한 고정값 커패시터(즉, 명목상의 고정된 커패시턴스 값을 가지지만, 그럼에도 불구하고 그 커패시턴스 값이 예를 들어 드리프트(drift) 또는 온도-종속 영향을 보상하기 위해 조절될 수 있는 커패시터)의 커패시턴스의 조절을 지칭한다. 본 발명은, 예를 들어 충전에 진공 가변 커패시터가 사용되었던 고전력 RF 공급 분야 에서 사용하기 위한 가변 커패시터(또는 조절 가능 고정값 커패시터)에 관한 것이며, 따라서 예를 들어 반도체 제조 산업에서 사용되는, RF 플라스마 에칭 또는 코팅 공정에 전력을 공급하는 고전력 전달 시스템에서 사용되 기에 적합하다. (속도가 제한되고 RF 플라스마 공정의 부하 임피던스 변화에 비해 본질적으로 느린) 진공 가변 커패시턴스의 기계적 조절 가능 메커니즘 대신에, 커패시터 유전체에서 전기장을 생성하기 위해 전기적 DC 바이 어스 전압이 사용된다.

- [0019] 이와 같은 RF 전력 공급에서 상대 유전율을 제어하기 위해, 인가된 DC 바이어스 전압의 크기는 RF 공급 전압의 진폭보다 상당히 유리하게 커야 하므로(예를 들어, 10배 큰 값), 상유전성 유전체의 상대 유전율에 대한 RF 전 압의 영향은 DC 바이어스 전압의 영향과 비교하여 간과될 수 있다. 따라서, 상대 유전율은 DC 전압을 변화시킴 으로써 제어되고 조절될 수 있다. 물질 내 쌍극자 배향이 나노초 이하로 반응하기 때문에 인가된 전압에 대한 유전율의 반응 속도는 본질적으로 즉각적이다.
- [0020] 상대 유전율의 조절은 상유전성 유전체로 제조된 디바이스의 커패시턴스의 조절을 직접 초래한다. 유전체는, 예 를 들어 유전체의 양측에 영역 A의 평행 평면 도전성 전극(parallel planar conducting electrode)을 갖는 직 사각형의 블록이나 태블릿, 또는 디스크로서 형성될 수 있다. 이와 같이 단순한 형상에서 커패시턴스는  $C = \epsilon_0 \epsilon_r A/d$ 로 주어지는데, 여기서 d는 유전체 두께(전극 간 거리),  $\epsilon_0$ 는 진공의 유전율(물리적 상수),  $\epsilon_r$ 은 유전체 의 필드 종속(여기서는 DC 바이어스 전압 종속) 상대 유전율이다.
- [0021] 용어 무선 주파수(RF)는 통상적으로 3 kHz 내지 300 GHz의 주파수를 설명하는데 사용될 수 있다. 그러나, 본 발 명의 커패시터, 유전체 및 방법은 RF 전력 시스템에서 사용되는 주파수 범위인, 전형적으로 400 KHz와 200 MHz 사이에서 사용하도록 의도된다.
- [0022] 전력 RF에 대한 언급은, RF 전력 출력이 100 W 이상, 또는 심지어 1000 W 이상과 같이 정격 50 W 이상일 수 있 는 공급을 지칭하도록 의도된다.
- [0023] 용어 고전압은 IEC 60038과 같은 국제표준에 따라 1000 V<sub>RMS</sub>를 초과하는 전압을 지칭하는 데 사용된다. 용어 " 고전류"는 1 A<sub>RMS</sub>를 초과하는 전류를 지칭하는데 사용된다. 그에 비해, 50 mA<sub>RMS</sub>의 전류는 인간의 호흡 정지 및 사망을 유발하는 것으로 알려져 있다(예를 들어, 미국 산업안전 보건청(OSHA; Occupational Safety and Health Administration)에 의해 발행된 안전 지침 참조). 또한, 예를 들어 400 KHz, 2 MHz, 27.12 MHz, 40.68 MHz, 60 MHz, 80 MHz, 100 MHz 및 162 MHz와 같은 다른 RF 주파수가 사용되지만 산업에서 사용되는 표준화된 RF 주파수 는 13.56 MHz 이다.
- [0024] 도 1은 Ba<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>TiO<sub>3</sub> 타입 물질과 같은 상유전성 유전체 물질의 상대 유전율  $\epsilon_r$ 이 인가된 전기장에 따라 어떻게 변할 수 있는지의 실시예를 나타낸다. 상대 유전율  $\epsilon_r$ 은 수직축(5) 상에 있고, 인가된 자기장의 절대값 |E|는 수평축(4) 상에 있다. 축(4, 5) 및 곡선(1)은 반드시 크기를 조절할 필요가 없다. 인가된 전압에 의해 유발되는 상유전성 유전체 물질의 상대 유전율의 변화는, 도 1에서 바이어스 전압이 인가되지 않은(E=0) 상태(2)의 상대 유전율 값과 특정 전기장(6)이 인가된 상태(3)의 상대 유전율 값 간의 차이인,  $\Delta \epsilon_r(E)$ 로 표시된다.
- [0025] 상유전성 물질의 동조 가능성은  $\Gamma = (\epsilon_r(0) - \epsilon_r(E_{\max})) / \epsilon_r(0)$ 으로 나타내거나, 또는 대안적으로 DC 바이어스 전 압의 측면에서  $\Gamma = (\epsilon_r(0) - \epsilon_r(V_{\max})) / \epsilon_r(0)$ 로서 나타낼 수 있다. 동조 가능성은, 유전체가 항복현상(breakdown)의 발생 없이 견딜 수 있는 최대 장의 세기(또는 전압)를 나타내는 주어진 E<sub>max</sub>(또는 V<sub>max</sub>)에 대하여 유전체가 작동될 수 있는, 상대 유전율의 이론적인 사용 가능 범위를 나타낸다.
- [0026] 70% 이상의 동조 가능성 값은 앞서 언급된 Ba<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>TiO<sub>3</sub> 타입 물질과 같은 상유전성 물질에 의해서 달성될 수 있 다. 상기 평행 평면 전극 커패시턴스 공식과 도 1에 도시된 전기장 종속 곡선을 참조하면, 이 상유전성 유전체 를 갖는 단순 디바이스의 커패시턴스 값은 전기장이 존재하지 않을 때 (즉, DC 바이어스 전압이 없는 경우) 가

장 높고, 최대 전기장  $E_{\max}$  (또는 DC 바이어스 전압  $V_{\max}$ )가 인가될 때 가장 낮은 것이 발견될 수 있다.

[0027] 도 2는 둘 다 전압-동조 가능 유전체(voltage-tunable dielectric)를 갖는 두 개의 커패시터( $7_1$ ,  $7_2$ )가 어떻게 직렬로 백투백(back-to-back) 배열되어 가변 커패시터(7)를 제공할 수 있는지 나타내며, 그 커패시터는 디커플링 소자(11)를 통해 두 커패시터( $7_1$ ,  $7_2$ )에 접속한 공통 회로 노드(10)에 이르는 접지 또는 기준 전위(13)에 대한 DC 전압원(12)으로부터 인가된 전압  $V_{DC}$  를 변화시킴으로써 변화(동조)될 수 있다. 두 커패시터( $7_1$ ,  $7_2$ )는, (예컨대, 평면) DC 바이어스 전극(도 2의 개략도에서 참조 번호 10으로 나타냄)의 양측에 상유전성 세라믹 물질인 2개의 블록, 태블릿, 또는 디스크로부터 형성될 수 있고, 각 블록 또는 태블릿의 맞은편에 그 중 하나가 배열되어 도 2의 회로 노드(8, 9)에 각각 접속되는 2개의 추가적인 (예컨대, 평면) RF 전극을 가진다. 블록, 태블릿 또는 디스크는 적어도 0.1 mm 두께, 예를 들어, 또는 바람직하게는 적어도 0.3 mm 두께, 또는 더욱 바람직하게는 적어도 0.5 mm 두께 또는 심지어 1 mm 두께 이상일 수 있다. 이들은 요구되는 커패시턴스 및 필요한 작동 전압에 따라 적어도 3 mm, 예를 들어, 또는 적어도 5 mm 또는 적어도 10 mm 또는 적어도 20 mm의 직경 또는 횡단면 치수를 가질 수 있다. RF 전력 시스템에서 사용되는 매우 높은 전압 및 주파수의 관점에서, 전극 및 유전체는 적절한 절연 패키지(insulating package)로 둘러 싸여질 수 있다.

[0028] (직렬의 커패시터는 전체 커패시턴스를 더 낮추는 결과를 가지므로) 두 커패시터( $7_1$ ,  $7_2$ )의 백투백 직렬 배열은 결합된 커패시터를 감소시키는 효과를 가진다. 그러나, 이는 동일 커패시터를 가지는 이전에 이용 가능한 진공 가변 커패시터와 비교하여 달성될 수 있는 크기에서의 현저한 감소에 비교하면 작은 단점이다. 상유전성 세라믹 물질의 훨씬 더 큰 상대 유전율은, 훨씬 더 적은 부피를 가진 진공 가변 커패시터로 가능한 것보다 훨씬 더 적은 부피를 가진 주어진 커패시터를 달성하는 것을 가능하게 한다.

[0029] 예를 들어, 3kV 공급을 위한 1000 pF 진공 가변 커패시터는 적어도 10 cm x 10 cm x 10 cm 크기일 수 있으며, 이는 비슷하거나 심지어 더 큰 크기를 가지는 필수 모터 구동 장치를 제외한 크기이다. 대조적으로, 상유전성 유전체 물질을 사용하는 1000 pF의 가변 유전체 커패시터 및 전기 고속 동조기(가변 DC 바이어스 전압)의 패키지는, 예를 들어 2 cm x 2 cm x 4 cm 또는 그보다 작은 크기일 수 있다. 따라서 디바이스 부피는 100배 이상의 값으로 감소될 수 있다.

[0030] 도 3은 상기한 것과 유사한 가변 유전체 커패시터( $7_1$ ,  $7_2$ ,  $7_3$  ...  $7_n$ )의 스택 배열을 나타낸다. 이와 같은 어레이는 매우 높은 전압이 사용되는 반도체 제조 산업에서 고전력 공급에 유리하게 사용될 수 있다. 앞서 논의된 최대 장의 세기( $E_{\max}$ )를 초과하지 않고 고전압 공급이 가능하도록, 도 3에 도시된 바와 같이 스택 배열은 직렬로 접속된  $n$ 개(단,  $n$ 은 2 초과)의 동조 가능 유전체 커패시터를 포함한다. 따라서, 각 유전체 블록 또는 태블릿 또는 디스크에 걸치는 결과적인 전압은 합성 커패시터의 단자 접촉점(8, 9)에 걸치는 전체 전압의 단지 일부이다. 모든 유전체(예를 들어, 블록, 태블릿 또는 디스크)가 실질적으로 동일하면, 그 다음  $n$ 개를 직렬로 접속하는 것은 개별 RF 전압에서 단자(8, 9)에 걸치는 RF 공급 전압에 비해  $n$ 값만큼 줄어드는 것을 초래할 것이다. 결과적으로, 노드( $10_1$ ,  $10_2$ ,  $10_3$  ...  $10_n$ )에서 요구되는 연속적인 DC 바이어스 전압 ( $V_{DC1}$ ,  $V_{DC2}$ ,  $V_{DC3}$  ...  $V_{DCn}$ )은 동일한 값 만큼 감소된다.

[0031] 도 3에 도시된 스택 배열은 유리하게 유전체 손실로 인하여 또는 고전류에서의 작동되는 경우, 스택에서 발생하는 열을 배출시키기 위한 냉각 시스템을 포함할 수 있다. 이와 같은 시스템은 예를 들어, 열 발생 유전체 부분과의 양호한 열 접촉 상태를 가지는 방열판, 팬을 통한 공기 냉각 및/또는 하나 이상의 열 파이프를 포함할 수 있다. 유전체 블록, 태블릿 또는 디스크의 스택은 고전압을 견디도록 절연될 수 있다. 전압 항복현상(voltage breakdown)의 제한은 유전체 내부가 아니라 외부(공기 중) 또는 DC 바이어스 전압 공급 커넥터 사이에서 발생할 수 있다. 따라서, 도 3에서 도시된 스택된 합성 커패시터는 커패시터의 구조 외부에서의 전압 항복현상을 방지하기 위해 절연 또는 다른 예방 수단을 포함하도록 추가로 최적화 될 수 있다.

[0032] 도 3에 나타난 바와 같이, 교번하는 DC 바이어스 노드( $10_1$ ,  $10_2$ ,  $10_3$  등)는 교번하는 반대 극성( $12_1$ ,  $12_2$ ,  $12_3$  등)의 DC 전압에 의해 공급받을 수 있다. 이와 같은 방식으로, 각각의 개별 커패시터( $7_1$ ,  $7_2$  등)에 걸치는 DC 바이어스 전압의 범위는 각각의 개별 DC 바이어스 노드에 인가되는 것의 2배이다. 각 커패시터에 걸치는 DC 바이어스 전압의 범위를 2배로 늘림으로써 개별 커패시터의 동조 가능성 또한 높이는 데 도움이 된다.

[0033] 앞서 언급된 바와 같이, RF 전력 신호가 DC 바이어스 전압과 간섭하지 않도록, 유리하게는 디커플링 기구(decoupling mechanism)가 사용될 수 있다. 도 4는 저항성 디커플링 소자(15)를 나타낸다. 물질의 유전율을 조

절하는데 전압만이 필요하므로 높은 저항값(R)이 선택될 수 있으며, 전류는 필요하지 않다. 그러나, 너무 높은 저항은 커패시턴스 조절 과정을 느리게 할 수 있는 것이 발견되어, 저항성 디커플링의 저항값(R)은 원하는 조절 속도에 따라 선택되어야 한다.

[0034] 도 5는, 유도성 디커플링 소자(16)를 사용하고, 선택적으로 직렬의 저항성 디커플링 성분(15)을 가지는 다른 디커플링 배열을 나타낸다. 유도성 디커플링은 높은 저항을 가지는 저항성 디커플링 만을 사용할 때보다 디바이스의 더 빠른 동조를 가능하게 한다. (필터 회로와 같은) 다른 적절한 소자도 디커플링 기구로서 사용될 수 있다.

[0035] 도 6 및 도 7은 본 발명에 따른 동조 가능-유전체 커패시터(tunable-dielectric capacitor)의 집적된 블록 구현의 실시예를 나타낸다. 도시된 예에서, 5개의 개별 전극(18, 26, 27, 28, 19)이 사용되고, 그 중 3개(26, 27, 28)는 상유전성 유전체 물질의 고체 블록(17) 내에 집적된다. 이는, 예를 들어 유전체 물질 내 이미 위치한 도전성 커넥터 주입물(예컨대 동판)을 가지고 유전체 물질의 일 체적을 소결시킴으로써 달성될 수 있다. 소결 공정은 산소가 풍부한 대기에서 고온으로 물질(예컨대,  $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$  타입의 물질과 같은 세라믹 분말)을 가열하는 단계를 포함할 수 있기 때문에, 매립되는 전극(26, 27, 28)을 위해서는 쉽게 산화되지 않는 다른 전도성 물질, 예컨대 팔라듐, 금, 탄탈륨, 티타늄, 백금 또는 스테인리스 스틸이 사용될 수 있다. 대안적으로 또는 부가적으로, 전극은 금속과 같은 전도성 물질로부터 제조될 수 있고, 소결 공정 동안에 또는 후속 단계에서, 소결된 세라믹 물질에 접합하여, 매립된 전극(들)과 주변의 소결된 상유전성 세라믹 물질 간에 양호한 전기적 접촉을 형성하는 용제(flux) 및/또는 땀납(solder) 또는 납땜 타입의 물질로 준비(예컨대, 코팅)될 수 있다. 잘 정의된 커패시턴스(well-defined capacitance) 및 낮은 작동 손실(높은 Q 값)을 얻기 위해 양호한 금속-유전체 접합을 달성하는 것은 고전력 공급에서 특히 중요하다. RF 전극은 상유전성 세라믹 물질의 표면 상에 전극 물질을 스퍼터링, 진공 증착 또는 스크린 인쇄함으로써 형성될 수 있다. 적합한 전극 물질은 은, 은-팔라듐, 은-함유 페이스트, 몰리브덴, 몰리브덴-망간, 니켈, 티타늄을 포함한다. 금속-유전체 접합을 개선하기 위해, 유리하게는 세라믹 표면은, 예컨대 상이한 세라믹 물질이나 유리나 같은 유전체 물질 또는 앞서 열거된 것 중 하나와 같은 도전성 물질의 얇은 습윤층(wetting layer) 또는 중간 표면층(interstitial surface layer)의 기계적 및/또는 화학적 연마 공정, 플라즈마 또는 레이저 처리, 이온 주입 및/또는 증착과 같은 표면 준비 처리(surface preparation treatment)를 겪을 수 있다.

[0036] 도 6 및 도 7의 예시적인 실시예에서, 두 개의 커패시터가 5개의 전극(18, 26, 27, 28, 19)과 유전체(17)로 형성된다. 커패시터( $Cd_1$ )는 RF 전극(18)과 공통 DC 바이어스 전극(27) 사이에 형성되고 커패시터( $Cd_2$ )는 RF 전극(19)과 공통 DC 바이어스 전극(27) 사이에 형성된다. 또한 DC 바이어스 전극(26, 28)은, DC 바이어스 전압을 상유전성 유전체(17)에 인가하기 위하여, 또는 DC 바이어스 전극(26, 27) 사이에 그리고 DC 바이어스 전극(27, 28) 사이에 놓이는 상유전성 유전체(17)의 적어도 일부에 제공된다. DC 바이어스 전극(26)과 RF 전극(18) 사이에 놓이는 상유전성 유전체(17)의 일부 및 DC 바이어스 전극(28)과 RF 전극(19) 사이에 놓이는 상유전성 유전체의 일부는, 도 4를 참조하여 논의된 바와 같이 저항성 디커플링 소자로서 이용될 수 있다. 상유전성 유전체(17)의 고유한 고 저항성(예컨대,  $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$  타입 물질에 대한  $10^9 \Omega cm$ ) 때문에, 상유전성 유전체(17)의 이들 부분은 도 4의 저항성 디커플링 소자(15)로서 사용될 수 있다. RF 전극(18, 19)과 각각의 DC 바이어스 전압 전극(26, 28) 사이의 간격은 디커플링 요구에 따라 선택될 수 있다. 그러나, DC 바이어스 커넥터(26, 28) 사이의 유전체 물질의 체적만이 상대 유전을 조절에 사용될 수 있고 따라서 백투백 합성 커패시터(7)의 커패시턴스 값이 사용될 수 있기 때문에, 커패시터의 동조 가능성을 최대화하기 위해서는 디커플링 부분의 간격이 최소로 유지되어야 한다.

[0037] 도 6 및 도 7은 (예컨대 소결된) 상유전성 유전체 물질 내 매립된 3개의 전극을 나타낸다. 그러나, 도시된 5개의 전극(18, 26, 27, 28, 19) 모두는 대안적으로 유전체(17) 내에 매립될 수 있으며, 이로써 디바이스에 요구되는 절연의 양을 감소시킨다.

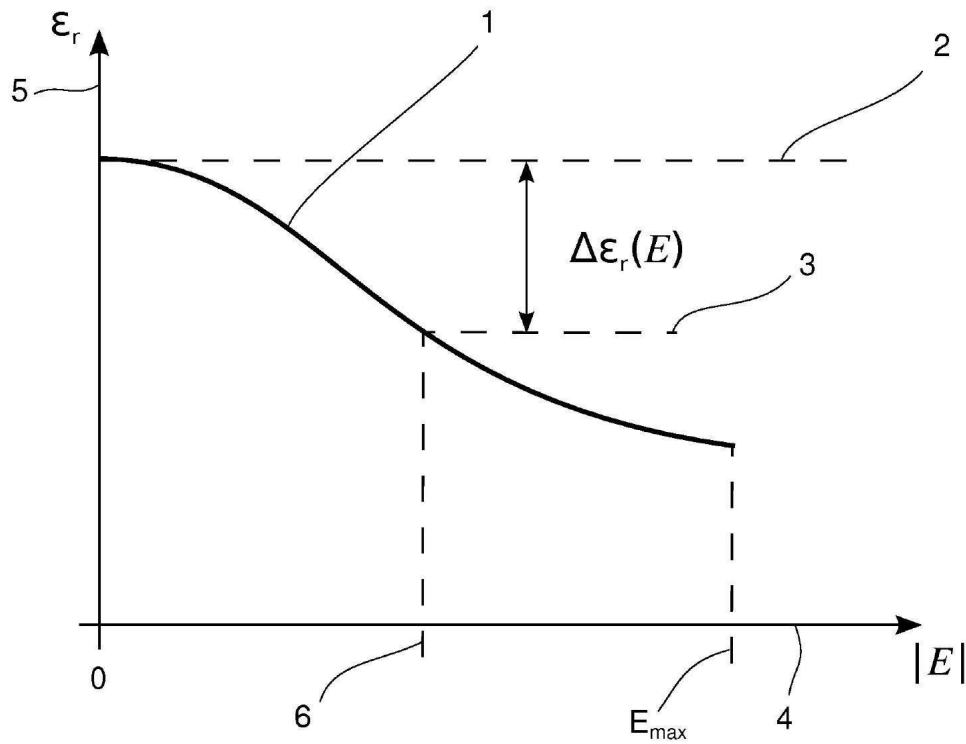
[0038] 도 6 및 도 7의 예시적인 커패시터에서, DC 바이어스 전극(26, 28)은 각각 RF 전극(18, 19)과 별도로 형성된다. 그러나, DC 바이어스 전극(26) 및 RF 전극(24)은 대안적으로 (유전체(17)에 매립되거나 매립되지 않는) 하나의 전극으로서 형성될 수 있고, DC 바이어스 전극(28)과 RF 전극(19)은 (유전체(17)에 매립되거나 매립되지 않는) 하나의 전극으로서 형성될 수 있으며, DC 바이어스 전극(28) 및 RF 전극(19)은 이 경우 도 2에 도시된 바와 같이, 2개의 RF 접속부(8, 9) 및 하나의 DC 바이어스 접속부(10)를 갖는 백투백(back-to-back) 커패시터 배열이 집적된 디커플링 소자 없이 형성될 수 있는 (유전체(17)에 매립되거나 매립되지 않는) 하나의 전극으로서 형성될 수 있다.

- [0039] 도 3을 참조하여 설명된 스택 배열은 또한, 다수의 직렬 접속된 커패시터( $7_1, 7_2, 7_3 \dots 7_n$ )의 일부 또는 전부의 전극을 단일 고체 유전체 블록(17)에 매립함으로써 포함되어 제작될 수 있다.
- [0040] 예를 들어,  $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$  타입의 물질과 같은 세라믹 유전체 물질을 소결시키는 동안에 상유전성 유전체(17)에 전극의 일부 또는 전부를 매립시키는 것은, 커패시터(7)가 본질적으로 한 단계로 제조될 수 있는 장점을 가지며 (커넥터의 후속 변경이 요구되지 않음), 도 6 및 도 7에 도시된 경우에는 유전체(17) 자체의 일부가 디커플링 소자(15)로 사용됨으로써 외부 디커플링 기구가 요구되지 않는다.
- [0041] 도 8은 빠른 조절 가능 유전체 커패시터가 (매우 높은 RF 전력을 처리할 수 있는) 진공 커패시터와 같은 더 느리게 조절 가능한 커패시터와 결합하여 사용되는 제2 합성 커패시터의 구성을 나타낸다. 도 8의 구성은, 도 2, 도 4 및 도 5와 관련하여 설명된 바와 같은 2개의 합성 조절 가능 유전체 가변 커패시터( $7_A, 7_B$ )와 결합된, 하나의 가변 진공 커패시터( $7_V$ )를 나타낸다. 이와 같은 실시예에서 진공 가변 커패시터( $7_V$ )는 합성 조절 가능 유전체 가변 커패시터( $7_A$ ) 중 하나와 직렬로 접속되고, 이와 같은 직렬 접속 회로는 그 자체가 제2 합성 조절 가능 유전체 가변 커패시터( $7_B$ )와 병렬로 접속된다. 이와 같은 구성은 조절 가능 유전체 커패시터가 (예컨대 약 70%로) 한정된 동조 가능성을 갖는 문제점을 극복하기 위해 사용될 수 있다. 진공 가변 커패시터( $7_V$ )는 훨씬 더 큰 동조 가능성(99%를 초과할 수 있음)을 가지며, 이에 따라 구성은 다음 제공하는 합성 커패시터를 제공하는데 사용된다: (2개의 합성 커패시터( $7_A, 7_V/7_B$ )의 병렬 결합에 의한) 큰 커패시턴스, (조절 가능 유전체 커패시터( $7_A, 7_B$ )의 존재에 의한) 빠른 동조 및 (진공 커패시터( $7_V$ )의 존재에 의한) 큰 동조 가능성. 진공 가변 커패시터, 고정 커패시터, 스위치 커패시터 및/또는 가변 또는 고정 유전체 커패시터의 다른 구성은 유사한 효과를 달성하기 위해 사용될 수 있다.
- [0042] 따라서, 도 8에 도시된 합성 가변 커패시터 디바이스는 유전체 분극 응답(dielectric polarization response)의 속도와 동조 가능하면서도, 본 발명에 따른 진공 및 유전체 커패시터의 조합에 의해 확장된 동조 가능성 및 개선된 전력 호환성으로부터 여전히 이익을 얻는다. 이 구성은 90%의 동조 가능성이 가능한 디바이스를 나타내며, 따라서 상유전성 디바이스 단독의 동조 가능성을 초과한다.
- [0043] 도 8의 합성 커패시터가 100 pF 내지 1000 pF의 커패시턴스 범위(따라서 90%의 동조 가능성)하면, 예를 들어 다음과 같은 값이 다양한 부품으로 사용될 수 있다:
- [0044] 진공 가변 커패시터  $7_V$  : 70 pF 내지 3600 pF;
- [0045] 조절 가능 유전체 커패시터  $7_{A1}$  및  $7_{A2}$  : 1250 pF 내지 2500 pF
- [0046] 조절 가능 유전체 커패시터  $7_{B1}$  및  $7_{B2}$  : 75 pF 내지 150 pF.
- [0047] 이와 같은 구성은 100 pF 에서 1000 pF까지 변할 수 있는 회로의 전체 커패시턴스 범위를 제공할 것이며, 이는 바이어스 전압  $V_{DC1}$  및/또는  $V_{DC2}$ 를 변화시킴으로써 조절 가능 유전체 커패시터( $7_{A1}, 7_{A2}, 7_{B1}, 7_{B2}$ )의 더 느린 속도 (진공 가변 커패시터( $7_V$ )의 속도)에서는 더 큰 변화를 달성할 수 있지만 훨씬 더 빠른 속도에서는 더 작은 변화를 달성할 수 있다.
- [0048] 도 9는 (플라즈마 에칭 또는 코팅 공정에서의 것과 같은) RF 부하(36)의 임피던스를 RF 발생기(20)의 임피던스에 매칭시키기 위해, 임피던스 매칭 회로(본 실시예에서는 소위 "L" 토폴로지)에서 사용될 수 있는 커패시터의 구성을 나타낸다. 산업 표준 RF 발생기 출력 임피던스는 50 옴이다. 이 구성은 조절 가능 유전체 가변 커패시터(32, 33)가 진공 가변 커패시터(31, 34) 대신에 또는 그에 더하여 어떻게 사용될 수 있는지를 나타낸다. 임피던스 매칭 회로의 예시적인 구성은 가변 커패시터의 사용을 나타내지만, 고정 커패시터, 예를 들어 전술한 바와 같은 고정 진공 커패시터 및 가변 유전체 커패시터 또는 합성 커패시터를 적절한 경우에 사용될 수 있다.  $\pi$  토폴로지 및 T 토폴로지와 같은 부품의 다른 조합도 가능하다. 가변 유전체 커패시터는, 참조번호 32로 표시된 바와 같은 분로 구성(shunt configuration) 내 이와 같은 매치박스 회로에서 사용될 수 있고/있거나 참조번호 33으로 표시된 바와 같은 직렬 접속 커패시터로서 사용될 수 있다. 가변 유전체 커패시터(32, 33)가 진공 가변 커패시터(31, 34) 대신에, 또는 그에 더하여 사용될 수 있다.
- [0049] 훨씬 작은 크기의 가변 유전체 커패시터 장치(32, 33)로 인하여, 이들 장치만으로 제조된 임피던스 매칭 네트워크는, 산업용 플라즈마 공정에 사용되는 현재 이용 가능한 RF 전력 전달 시스템의 경우에서처럼 개별 또는 외부

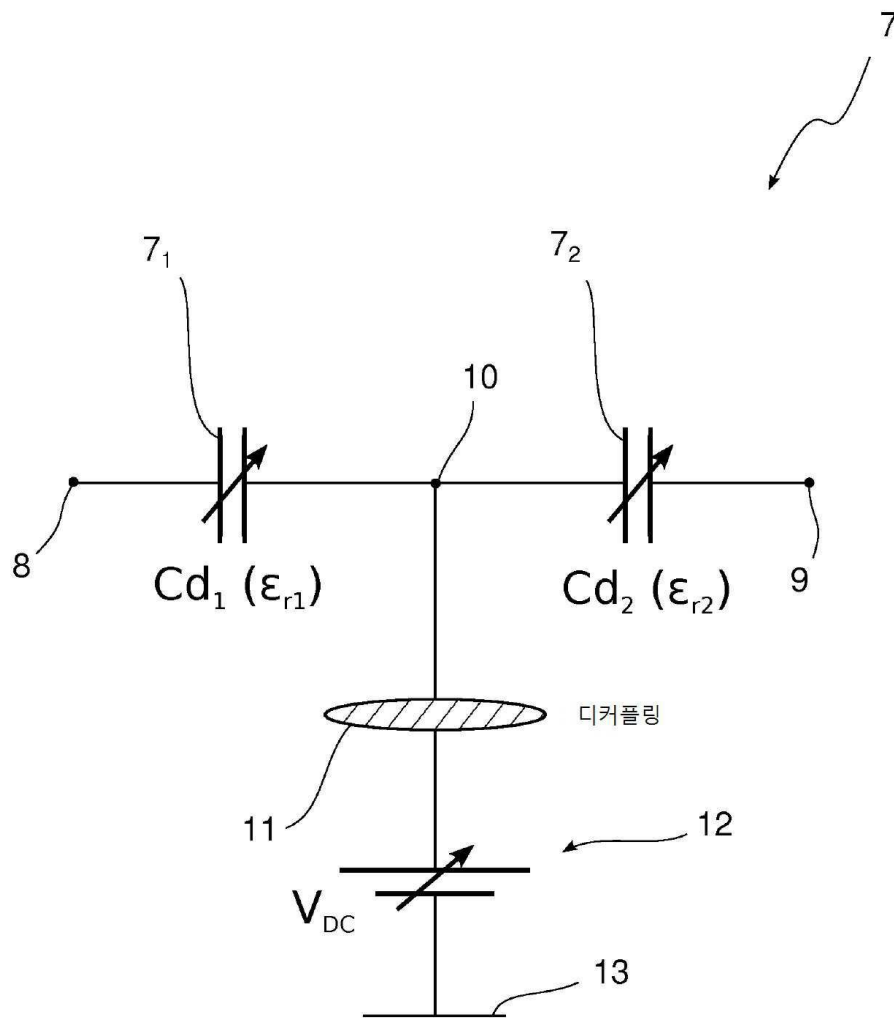
매치박스 유닛으로서 구현되는 대신에, RF 발전기(20)의 출력 회로에 직접 집적될 만큼 충분히 작다. 진공 가변 커패시터를 사용하는 매치박스 유닛이 30,000 cm<sup>3</sup>만큼의 체적을 차지하는 반면에, 전술한 가변 유전체 커패시터를 사용하는 유사한 유닛의 체적은 100cm<sup>3</sup> 만큼 차지할 수 있다. 따라서 300배의 부피 감소에 도달할 수 있다.

## 도면

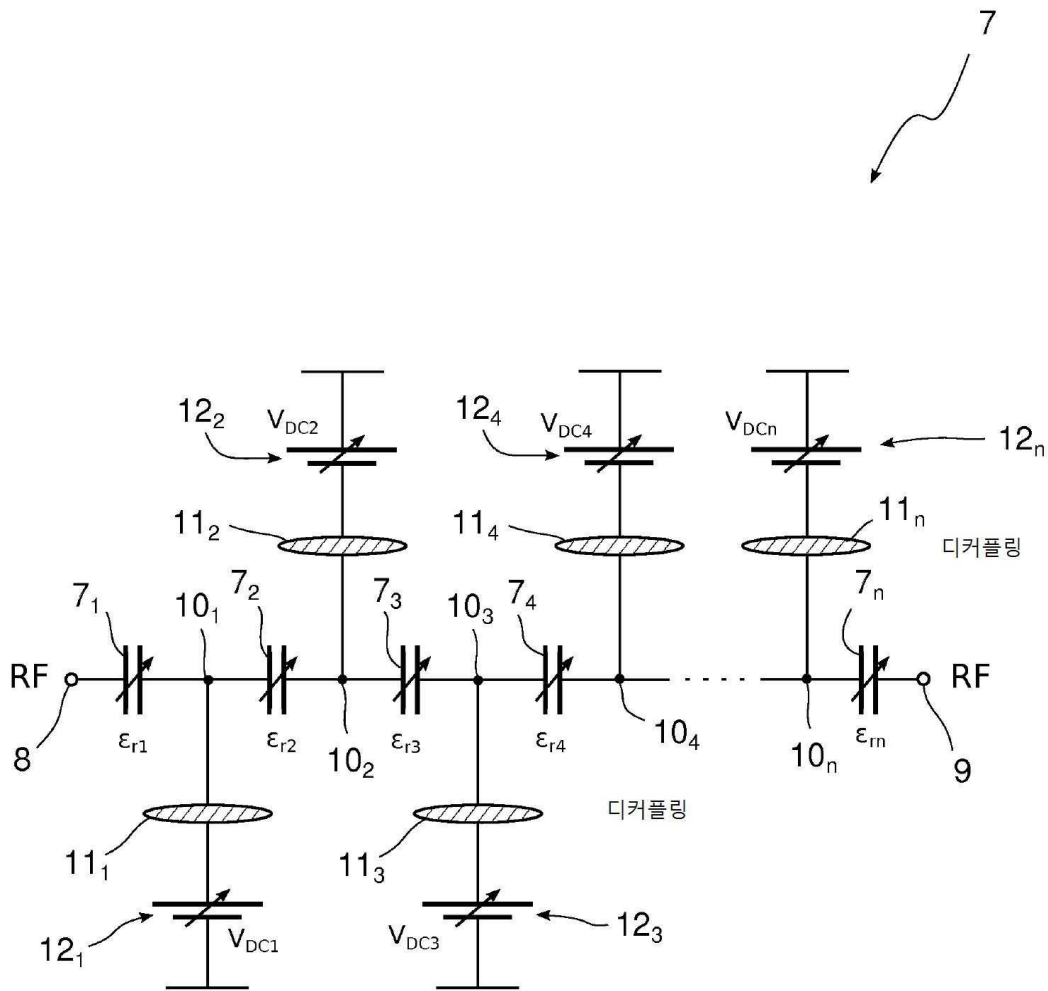
### 도면1



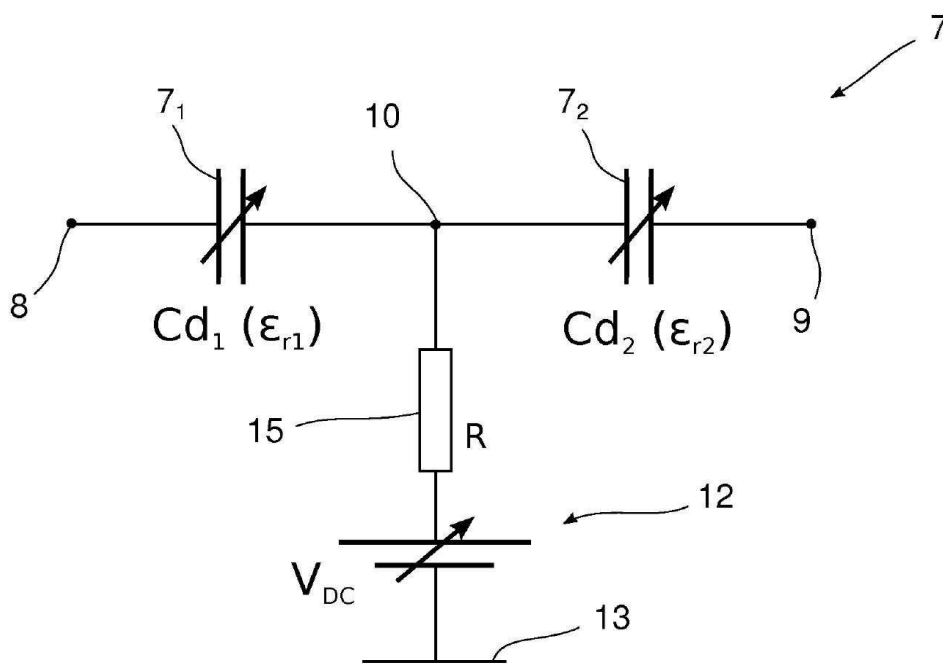
도면2



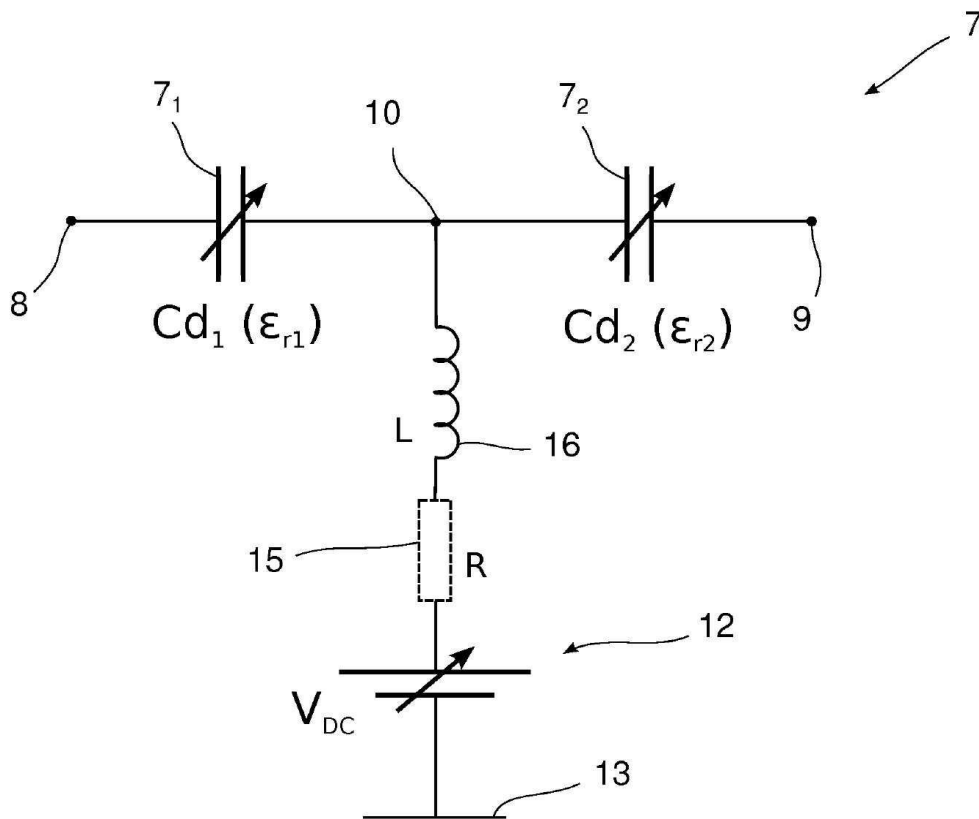
도면3



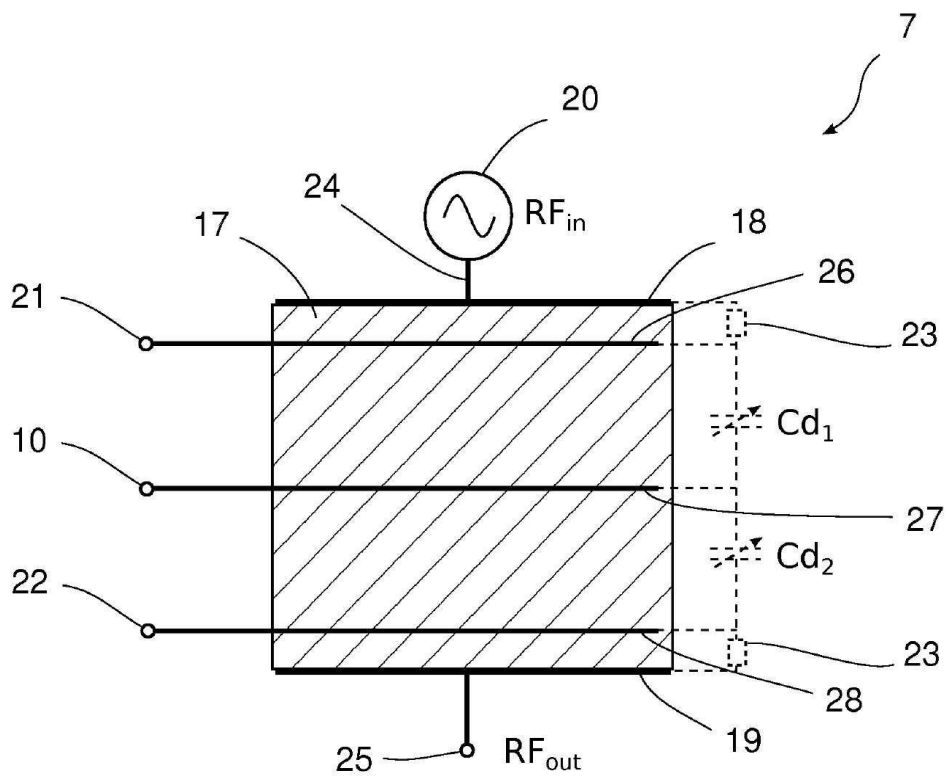
도면4



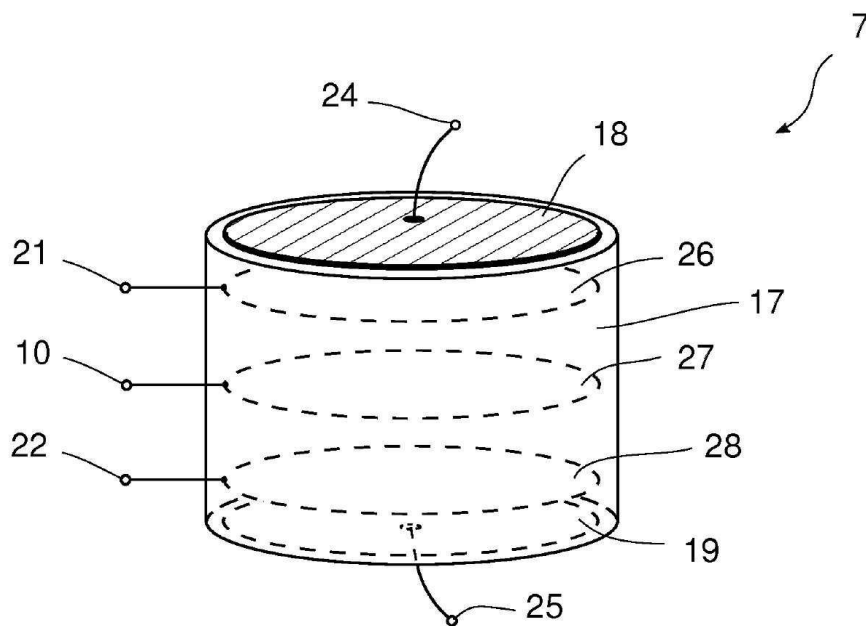
도면5



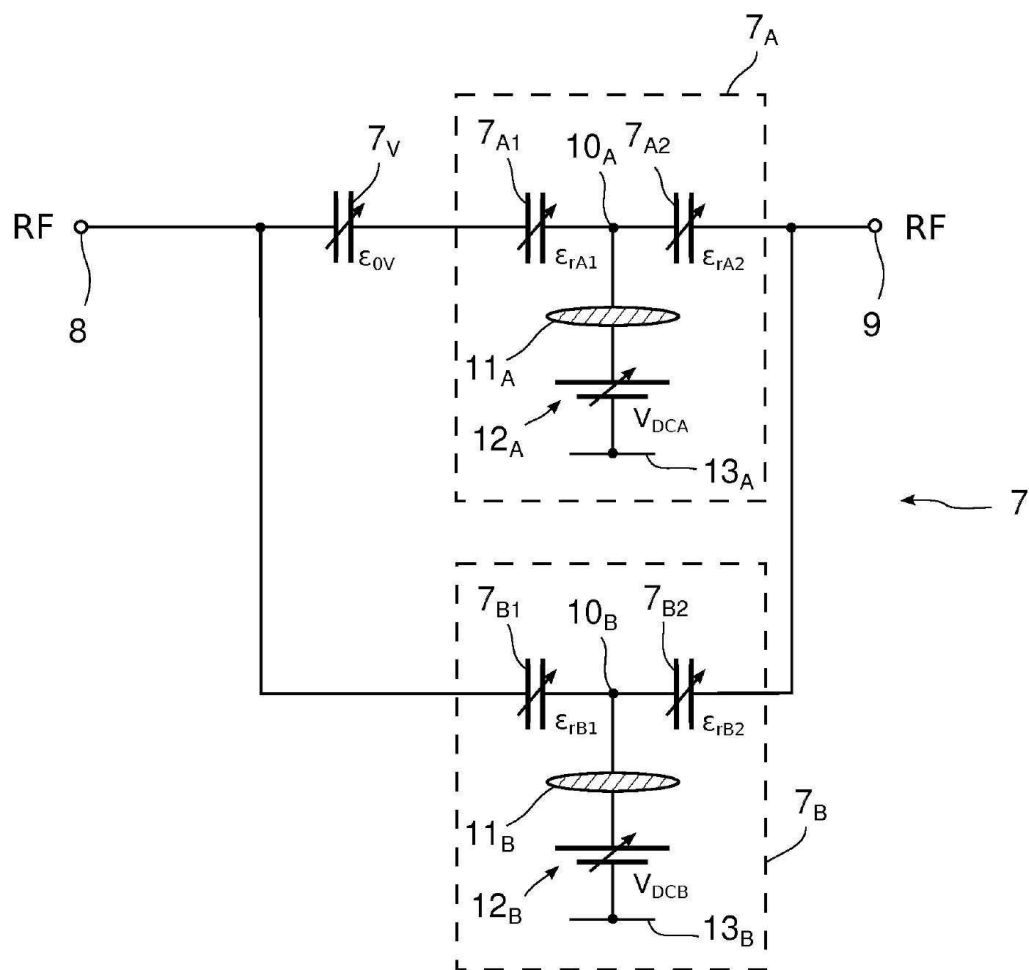
도면6



도면7



도면8



도면9

