(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0076849
(43) 공개일자 2022년06월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01Q 21/06 (2018.01) *H01Q 1/46* (2006.01)
H01Q 9/04 (2018.01)
(52) CPC특허분류
H01Q 21/065 (2013.01)
H01Q 1/46 (2018.05)
(21) 출원번호 10-2020-0165763
(22) 출원일자 2020년12월01일
심사청구일자 2020년12월01일

(71) 출원인
울산대학교 산학협력단
울산광역시 남구 대학로 93(무거동)
(72) 발명자
최상조
울산광역시 남구 대학로 93 (무거동, 울산대학교)
우딘 엠디 나짐
울산광역시 남구 신복로11번길 7 (무거동)
(74) 대리인
김종선, 이형석

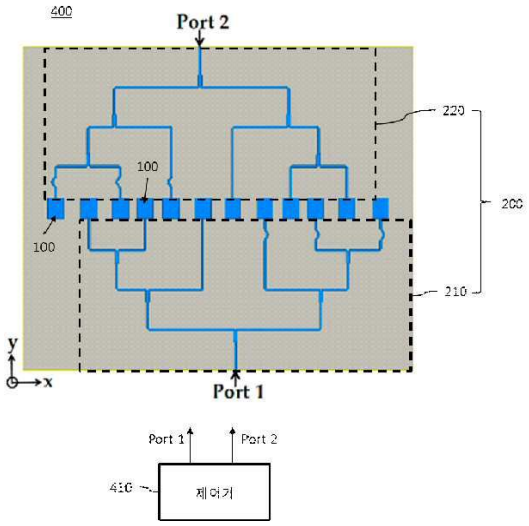
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 **안테나 배열**

(57) 요 약

본 발명은 SLL(Side Lobe Level)를 감소시킬 수 있는 안테나 배열에 관한 것으로, 균일하지 않은 간격으로 일직선 상에 선형 배열되는 다수의 안테나 소자, 상기 다수의 안테나 소자에 균일하지 않게 전력 분배하여 공급하는 전력 분배기, 및 상기 전력 분배기에 연결되어 급전을 제어하는 제어기를 포함한다.

대 표 도 - 도4a



(52) CPC특허분류
H01Q 9/0407 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711107706
과제번호	2020R1C1C1012099
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	우수신진연구
연구과제명	고효율 적외선 나노안테나 기반 Full Stokes 편광기 설계기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	울산대학교
연구기간	2020.03.01 ~ 2022.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

균일하지 않은 간격으로 일직선 상에 선형 배열되는 다수의 안테나 소자;

상기 다수의 안테나 소자에 균일하지 않게 전력 분배하여 공급하는 전력 분배기; 및

상기 전력 분배기에 연결되어 급전을 제어하는 제어기를 포함하는 것을 특징으로 하는 안테나 배열.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 다수의 안테나 소자 각각은,

구동 패치 기판;

상기 구동 패치 기판의 상부에 배치되는 기생 패치 기판; 및

상기 구동 패치 기판과 상기 기생 패치 기판을 기정해진 간격으로 이격시키는 에어 갭을 포함하는 것을 특징으로 하는 배열 안테나.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 전력 분배기는,

각각 하나의 입력 포트와 6개의 출력 포트를 포함하는 제1 전력 분배기 및 제2 전력 분배기를 포함하고,

상기 제2 전력 분배기는 상기 제1 전력 분배기에 대향되며 상하좌우 대칭되게 배치되는 것을 특징으로 하는 안테나 배열.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 제1 전력 분배기와 상기 제2 전력 분배기의 입력 포트들은 180° 위상 차이를 가지는 것을 특징으로 하는 안테나 배열.

청구항 5

청구항 3에 있어서,

상기 제1 전력 분배기와 상기 제2 전력 분배기의 출력 포트들은 서로 엇갈리게 배치되고, 출력 포트들이 균일하지 않은 간격으로 배치되는 것을 특징으로 하는 안테나 배열.

청구항 6

청구항 3에 있어서,

상기 제1 전력 분배기 및 상기 제2 전력 분배기 각각은 4개의 서로 다른 전송 경로를 가지는 것을 특징으로 하는 안테나 배열.

청구항 7

청구항 3에 있어서,

상기 입력 포트와 상기 출력 포트 사이를 연결하는 급전선의 길이를 조정하여 출력 포트들 간의 위상 지연을 조정하는 것을 특징으로 하는 안테나 배열.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

사행선(meander line)을 추가하여 상기 급전선의 길이를 조정하는 것을 특징으로 하는 안테나 배열.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 SLL(Side Lobe Level)를 감소시킬 수 있는 안테나 배열에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 기생 패치를 가지는 공동 급전 안테나 어레이(corporate feeding antenna array)는 높은 이득과 넓은 대역폭으로 인해 밀리미터파(millimeter-wave) 어플리케이션을 위해 연구되었다. 그러나, 균일한 급전 및 균일한 간격으로 배열되는 패치 안테나 어레이 내 기생 패치 통합(integration)은 높은 부엽레벨(Side Lobe Level, SLL)을 발생시킨다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003] 본 발명은 비균일 급전 및 비균일 간격으로 안테나 소자들을 배열하여 SLL(Side Lobe Level)을 감소시키는 안테나 배열을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0004] 본 발명의 실시 예에 따른 안테나 배열은 균일하지 않은 간격으로 일직선 상에 선형 배열되는 다수의 안테나 소자, 상기 다수의 안테나 소자에 균일하지 않게 전력 분배하여 공급하는 전력 분배기, 및 상기 전력 분배기에 연결되어 급전을 제어하는 제어기를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0005] 상기 다수의 안테나 소자 각각은, 구동 패치 기판, 상기 구동 패치 기판의 상부에 배치되는 기생 패치 기판 및 상기 구동 패치 기판과 상기 기생 패치 기판을 기정해진 간격으로 이격시키는 에어 갭을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0006] 상기 전력 분배기는, 각각 하나의 입력 포트와 6개의 출력 포트를 포함하는 제1 전력 분배기 및 제2 전력 분배기를 포함하고, 상기 제2 전력 분배기는 상기 제1 전력 분배기에 대향되며 상하좌우 대칭되게 배치되는 것을 특징으로 한다.

[0007] 상기 제1 전력 분배기와 상기 제2 전력 분배기의 입력 포트들은 180° 위상 차이를 가지는 것을 특징으로 한다.

[0008] 상기 제1 전력 분배기와 상기 제2 전력 분배기의 출력 포트들은 서로 엇갈리게 배치되고, 출력 포트들이 균일하지 않은 간격으로 배치되는 것을 특징으로 한다.

[0009] 상기 제1 전력 분배기 및 상기 제2 전력 분배기 각각은 4개의 서로 다른 전송 경로를 가지는 것을 특징으로 한다.

[0010] 상기 입력 포트와 상기 출력 포트 사이를 연결하는 급전선의 길이를 조정하여 출력 포트들 간의 위상 지연을 조정하는 것을 특징으로 한다.

[0011] 상기 급전선의 길이는 사행선(meander line)을 추가하여 조정하는 것을 특징으로 하는 안테나 배열.

발명의 효과

[0012] 본 발명에 따르면, 비균일 급전 및 비균일 간격으로 안테나 소자들을 배열하므로, SLL(Side Lobe Level)을 감소시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0013] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 안테나 소자의 구조를 도시한 도면이다.

도 2는 본 발명과 관련된 안테나 소자의 여기 진폭 및 소자 간 거리를 설명하기 위한 도면이다.

도 3a은 본 발명의 실시 예에 따른 전력 분배기의 구조를 도시한 도면이다.

도 3b는 도 3a에 도시된 제1 전력 분배기의 구조를 설명하기 위한 도면이다.

도 3c는 본 발명의 실시 예에 따른 전력 분배기의 출력에 따른 안테나 소자 이득을 도시한 그래프이다.

도 4a는 본 발명의 실시 예에 따른 안테나 배열을 도시한 도면이다.

도 4b는 본 발명과 관련된 x-z 평면에서 안테나 배열의 방사 패턴을 도시한 그래프이다.

도 4c는 본 발명의 실시 예에 관련된 비균일 간격 안테나 배열의 SLL을 도시한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] 본 발명에서 사용되는 기술적 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아님을 유의해야 한다. 또한, 본 발명에서 사용되는 기술적 용어는 본 발명에서 특별히 다른 의미로 정의되지 않는 한, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 의미로 해석되어야 하며, 과도하게 포괄적인 의미로 해석되거나, 과도하게 축소된 의미로 해석되지 않아야 한다. 또한, 본 발명에서 사용되는 기술적인 용어가 본 발명의 사상을 정확하게 표현하지 못하는 잘못된 기술적 용어일 때에는, 당업자가 올바르게 이해할 수 있는 기술적 용어로 대체되어 이해되어야 할 것이다. 또한, 본 발명에서 사용되는 일반적인 용어는 사전에 정의되어 있는 바에 따라, 또는 전후 문맥상에 따라 해석되어야 하며, 과도하게 축소된 의미로 해석되지 않아야 한다.

[0015] 또한, 본 발명에서 사용되는 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함한다. 본 발명에서, "구성된다" 또는 "포함한다" 등의 용어는 발명에 기재된 여러 구성 요소들, 또는 여러 단계를 반드시 모두 포함하는 것으로 해석되지 않아야 하며, 그 중 일부 구성 요소들 또는 일부 단계들은 포함되지 않을 수도 있고, 또는 추가적인 구성 요소 또는 단계들을 더 포함할 수 있는 것으로 해석되어야 한다.

[0016] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시 예를 상세히 설명하되, 도면 부호에 관계없이 동일하거나 유사한 구성 요소는 동일한 참조 번호를 부여하고 이에 대한 중복된 설명은 생략하기로 한다.

[0017] 또한, 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다. 또한, 첨부된 도면은 본 발명의 사상을 쉽게 이해할 수 있도록 하기 위한 것일 뿐, 첨부된 도면에 의해 본 발명의 사상이 제한되는 것으로 해석되어서는 아니 됨을 유의해야 한다.

[0018] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 안테나 소자의 구조를 도시한 도면이다. 도 2는 본 발명과 관련된 안테나 소자의 여기 진폭 및 소자 간 거리를 설명하기 위한 도면이다.

[0019] 도 1을 참조하면, 안테나 소자(100)는 마이크로스트립 패치 안테나(microstrip patch antenna)로, 구동 패치 기판(110), 기생 패치 기판(120) 및 에어 갭(air gap)(130)을 포함할 수 있다.

[0020] 구동 패치 기판(110)은 구동 패치(111)를 포함할 수 있다. 구동 패치(111)의 일측단부에는 삽입 피드(112)이 형성된다. 삽입 피드(112)의 길이 및 너비는 기정해진 특성 임피던스에 기반하여 정해질 수 있다. 예를 들어, 기정해진 특성 임피던스 50Ω을 구현하기 위하여, 삽입 피드(112)의 길이 및 너비는 0.45㎜ 및 1.1㎜로 각각 정해질 수 있다.

[0021] 기생 패치 기판(120)은 구동 패치 기판(110) 상에 장착되어 공진 커플링을 구현할 수 있다. 기생 패치 기판(120)은 기생 패치(121)를 포함할 수 있다. 기생 패치(121)는 구동 패치(111)와 동일한 크기(예: $3.6\times2.9mm^2$)의 금속 패치판으로 형성될 수 있다. 여기서, 금속 패치판은 구리 등으로 제작될 수 있다.

[0022] 에어 갭(130)은 구동 패치 기판(110)과 기생 패치 기판(120) 사이에 배치될 수 있다. 에어 갭(130)은 구동 패치 기판(110)과 기생 패치 기판(120)를 기정해진 간격(예: 1mm)으로 이격시킨다.

[0023] 구동 패치 기판(110)과 기생 패치 기판(120)은 동일한 크기(예: $7\times7mm^2$)로 제작될 수 있다. 구동 패치 기판(110)과 기생 패치 기판(120)으로는 두께 0.127mm, 유전 상수 2.2 및 손실 탄젠트 0.0009인 Rogers 5880 기판이 사용될 수 있다.

[0024] 상기한 안테나 소자(100)를 이용하여 낮은 SLL(Side Lobe Level)을 갖는 안테나 배열을 구현하기 위하여, 12개의 안테나 소자(100)를 일직선 상에 균일하지 않는 간격으로 선형 배열하는 구조를 사용한다.

[0025] 12개의 안테나 소자(100)의 선형 배열(linear array)을 위한 배열 계수 AF(Θ)는 다음 [수학식 1]과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 1

[0026]
$$AF(\theta) = \sum_{n=-6}^{6} a_n e^{jkx_n \sin(\theta)}$$

[0027] 여기서, n은 안테나 소자에 대한 인덱스로, -6에서 6까지의 범위를 가지며, 1씩 증가하고 n=0은 제외된다. a_n은 n번째 안테나 소자의 여기 진폭이고, x_n은 x축 상 n번째 안테나 소자의 위치이며, k는 파수이고, Θ는 z축으로부터의 고도각이다. x_n은 d_n에 의해 결정되고, d_n은 n-1번째 소자와 n번째 소자 사이의 거리이며 d_1은 배열 내 중심에 위치하는 두 패치 사이의 거리를 의미한다. 예를 들어, 도 2와 같이 다수의 안테나 소자가 선형 배열된 경우, d_1은 a_1과 a_{-1} 사이의 거리(간격)를 의미한다.

[0028] 낮은 SLL의 비균일 여기 배열을 구현하기 위해서 2-3번째 안테나 소자의 전력 레벨이 테이퍼된다. 예를 들어, 균일하지 않는 안테나 소자의 진폭 [a1, a2, … , a6]이 [1, 1, 0.707, 0.707, 0.707, 0.707]로 설정되는 경우, 가장 낮은 SLL을 제공하는 안테나 소자 간 거리 d_n은 +/- 0.1λ 갭을 갖는 1/2λ에 근접한다. 균일하지 않은 안테나 소자 간 간격 [d1, d2,…, d6]이 [0.459λ, 0.528λ, 0.454λ, 0.421λ, 0.548λ, 0.598λ]일 때, -20.90dB의 최저 SLL을 제공할 수 있다.

[0029] 도 3a은 본 발명의 실시 예에 따른 전력 분배기의 구조를 도시한 도면이고, 도 3b는 도 3a에 도시된 제1 전력 분배기의 구조를 설명하기 위한 도면이며, 도 3c는 본 발명의 실시 예에 따른 전력 분배기의 출력에 따른 안테나 소자 이득을 도시한 그래프이다.

[0030] 전력 분배기(200)는 제1 전력 분배기(210) 및 제2 전력 분배기(220)를 포함할 수 있다. 제1 전력 분배기(210) 및 제2 전력 분배기(220)는 각각 하나의 입력 포트와 6개의 출력 포트를 포함한다. 제1 전력 분배기(210)와 제2 전력 분배기(220)의 구조가 동일하므로, 제1 전력 분배기(210)의 구조만 구체적으로 설명하고 제2 전력 분배기(220)의 구조에 대한 설명은 생략한다.

[0031] 도 3b를 참조하면, 제1 전력 분배기(210)는 4개의 다른 신호 경로(급전 선로)가 형성될 수 있다. 다시 말해서, 제1 전력 분배기(210)는 하나의 입력 포트와 6개의 출력 포트를 각각 연결하는 6개의 급전선들을 포함한다. 여기서, 제1 포트(Port 1)와 제4 포트(Port 4)를 연결하는 급전선, 제1 포트(Port 1)와 제8 포트(Port 8)를 연결하는 급전선, 제1 포트(Port 1)와 제10 포트(Port 10)를 연결하는 급전선 및 제1 포트(Port 1)와 제12 포트(Port 12)를 연결하는 급전선은 그 길이와 폭이 상이하다. 제1 포트(Port 1)와 제4 포트(Port 4)를 연결하는 급전선과 제1 포트(Port 1)와 제6 포트(Port 6)을 연결하는 급전선의 길이와 폭이 동일하고, 제1 포트(Port 1)와 제12 포트(Port 12)를 연결하는 급전선과 제1 포트(Port 1)와 제14 포트(Port 14)를 연결하는 급전선의 길이와

폭이 동일하다.

[0032] 제1 전력 분배기(210)의 L1은 제10 포트(Port 10), 제12 포트(Port 12) 및 제14 포트(Port 14)에 대한 위상 지연을 조정할 수 있고, L2는 다른 신호 경로들 즉, 제4 포트(Port 4), 제6 포트(Port 6) 및 제8 포트(Port 8)를 조정할 수 있다. 여기서, L1은 제1 접합점(J1)과 제2 접합점(J2) 사이의 수평 거리이고, L2는 제1 접합점(J1)과 제3 접합점(J3) 사이의 수평 거리이다. 제2 접합점(J2) 및 제3 접합점(J3)의 위치를 유지하며 제1 접합점(J1)의 위치를 조정하여 위상 지연을 조정할 수 있다. L1을 15.7921㎜에서 15.575㎜까지의 범위에서 변경하고, L2를 16.5152㎜에서 16.005㎜까지의 범위에서 변경하는 경우, 포트들(Port 4, 6, 8, 10, 12 및 14) 간 위상 지연 차이를 15° 로 줄일 수 있다([표 1] 참조).

[0033] 본 발명에서는 제1 전력 분배기(210)의 모든 출력 포트가 동일한 위상 지연을 가지도록 하기 위해, 제10 포트(Port 10), 제12 포트(Port 12) 및 제14 포트(Port 14)에 대한 급전선(전송선)에 사행선(meander lines)을 적용하여 물리적 길이를 조정할 수 있다. 도 3b에서 a, b 및 c는 직선과 사행선의 길이 차이를 나타낸다. 제12 포트(Port 12)와 제14 포트(Port 14)에 대한 사행선은 제4 포트(Port 4) 및 제6 포트(Port 6)에 대비하여 경로를 0.38㎜(a=b) 증가시킨다. 제10 포트(Port 10)에 대한 급전선은 제8 포트(Port 8)에 대비하여 경로를 0.27㎜(c) 연장한다. 제10 포트(Port 10), 제12 포트(Port 12) 및 제14 포트(Port 14)에 대해 사행선을 추가하므로, [표 1]에서와 같이 제1 전력 분배기(210)의 출력 포트들 간 위상 지연 차이를 줄일 수 있다.

표 1

[0034]

Port	Phase (Degree) Tuning L1 and L2	Phase (Degree) Tuning L1, L2 and Meander Line
4	87.70	86.18
6	87.58	86.00
8	86.52	85.03
10	98.71	90.12
12	102.11	88.68
14	102.21	89.26

[0035] 제2 전력 분배기(220)는 제1 전력 분배기(210)의 반대편에 위치하며, 제1 전력 분배기(210)와 상하좌우 반전되게 배치된다. 제2 전력 분배기(220)은 입력 포트인 제2 포트(Port 2)와 출력 포트인 제3 포트(Port 3), 제5 포트(Port 5), 제7 포트(Port 7), 제9 포트(Port 9), 제11 포트(Port 11) 및 제13 포트(Port 13)를 포함한다. 제2 전력 분배기(220)의 출력 포트들은 제1 전력 분배기(210)의 출력 포트들과 서로 엇갈리게 배치되며, 출력 포트들 간의 간격은 균일하지 않다.

[0036] 도 3c를 참조하면, 전력 분배기(200)에서 구현된 진폭과 위상으로 각 안테나 소자(100)를 여기하고 고도각 Θ를 따라 정규화된 이득을 계산하고, 전력 분배기(200)에서 구현된 출력의 이득 패턴이 이상적인 동위상 여기 및 진폭 테이퍼링을 사용하여 배열에서 계산된 이득 패턴과 거의 동일하게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

[0037] 도 4a는 본 발명의 실시 예에 따른 안테나 배열을 도시한 도면이고, 도 4b는 본 발명과 관련된 x-z 평면에서 안테나 배열의 방사 패턴을 도시한 그래프이고, 도 4c는 본 발명의 실시 예에 관련된 비균일 간격 안테나 배열의 SLL을 도시한 그래프이다.

[0038] 도 4a를 참조하면, 안테나 배열(400)은 다수의 안테나 소자(100), 전력 분배기(200) 및 제어기(410)를 포함할 수 있다.

[0039] 다수의 안테나 소자(100)는 일직선 상에 균일하지 않은 간격으로 배치된다. 안테나 소자(100)들 간의 간격은 안테나 소자(100)의 배열 계수에 의해 결정될 수 있다. 본 실시 예에서는 12개의 안테나 소자(100)를 비균일한 간격으로 선형 배열하는 것을 예로 들어 설명하고 있으나, 이에 한정되지 않고 12개 미만 또는 12개 초과 안테나 소자(100)를 비균일한 간격으로 선형 배열할 수도 있다.

[0040] 전력 분배기(200)의 출력 포트들은 서로 다른 안테나 소자(100)와 연결된다. 전력 분배기(200)는 제어기(410)의 지시에 따라 다수의 안테나 소자(100)에 급전할 수 있다. 전력 분배기(200)는 다수의 안테나 소자(100)에 균일

하지 않게 전력을 분배하여 공급한다.

[0041] 제어기(410)는 전력 분배기(200)의 두 입력 포트(Port 1 및 Port 2)에 연결된다. 제어기(410)는 다수의 안테나 소자(100)를 통해 송신할 급전 신호를 전력 분배기(200)로 출력할 수 있다. 제어기(410)는 180° 의 위상 지연을 가지도록 안테나 배열(400)의 두 입력 포트(Port 1 및 Port 2)에 급전한다.

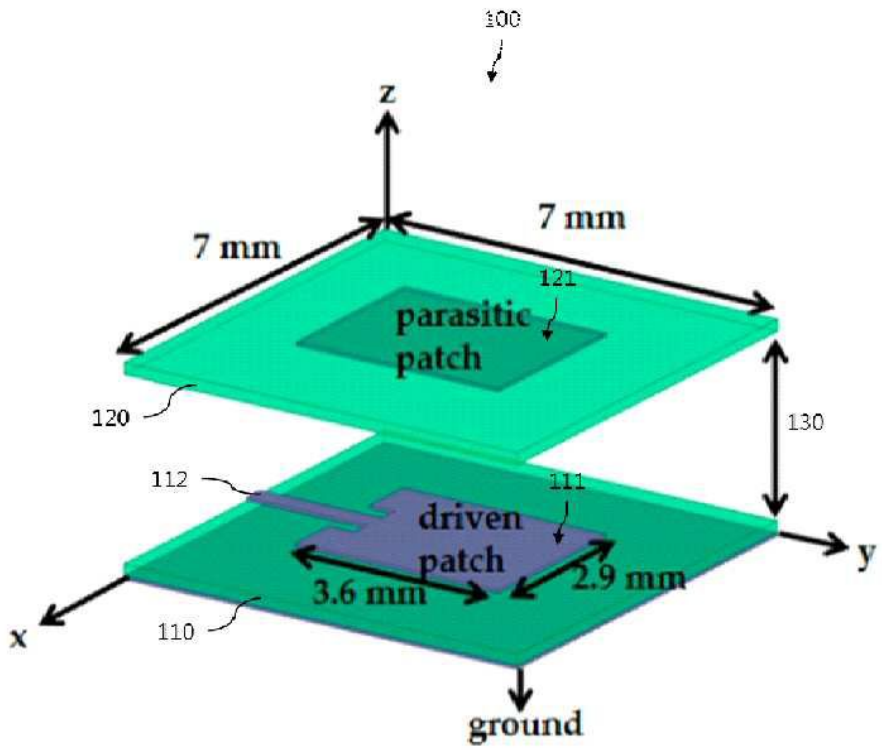
[0042] 다수의 안테나 소자(100)는 $70\times57.3mm^2$ 크기의 Rogers 5880 기판 상에 배치될 수 있다. 기생 패치들은 1mm의 이격 거리(간격)를 갖는 안테나 배열(400)의 상부에 탑재(mounted)된다. 이격 거리는 안테나 배열(400)의 모서리에 각각 형성되는 나일론 기둥에 의해 유지될 수 있다.

[0043] 도 4b를 참조하면, 비균일 간격의 전력 분배기를 사용하는 안테나 배열은 균일한 간격의 전력 분배기를 사용하는 안테나 배열과 비교하여 거의 동일한 수준의 이득을 제공하며 더 나은 SLL을 구현할 수 있다. 비균일 간격의 전력 분배기는 동일 편파 복사보다 낮은 교차 편파 복사를 유지할 수 있다. 도 4c를 참조하면, 비균일 간격 안테나 배열은 균일 간격 안테나 배열과 비교하여 유사한 대역폭을 구현할 수 있다.

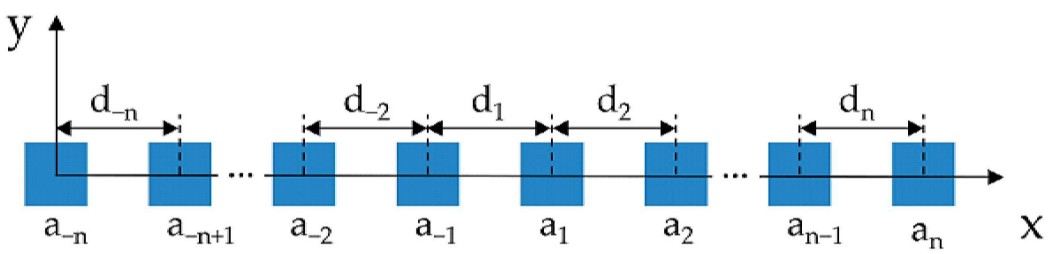
[0044] 이상에서는 실시 예들을 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

도면

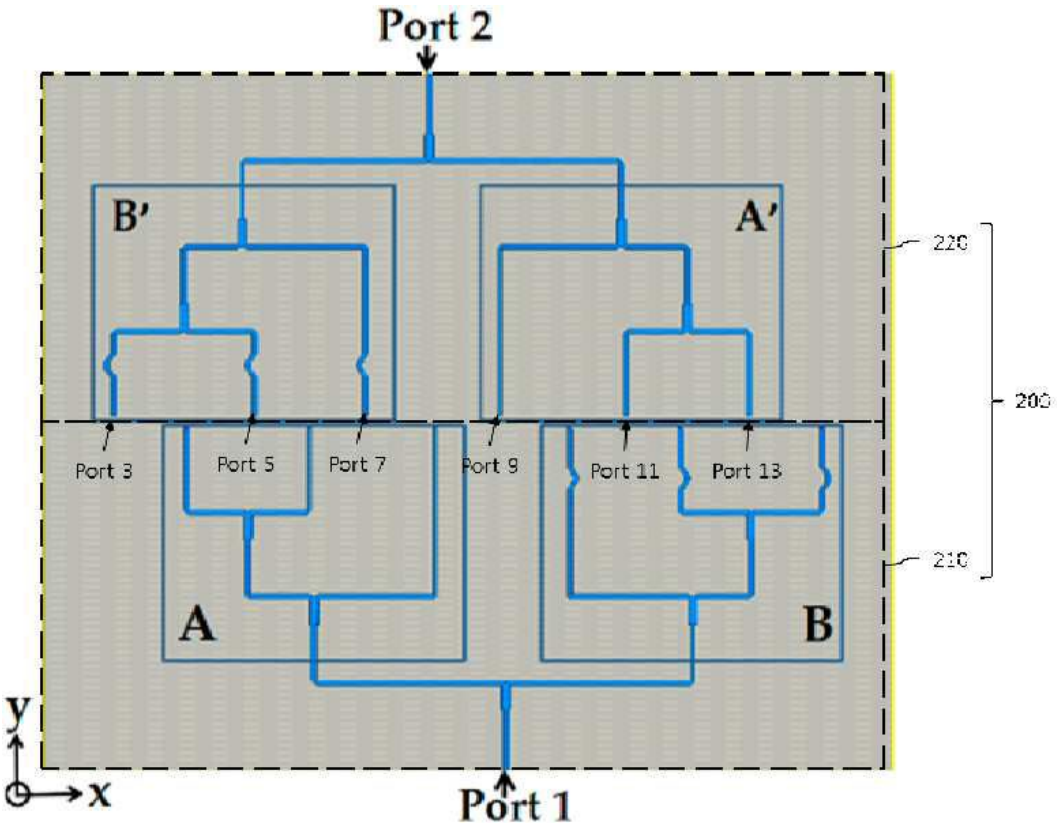
도면1



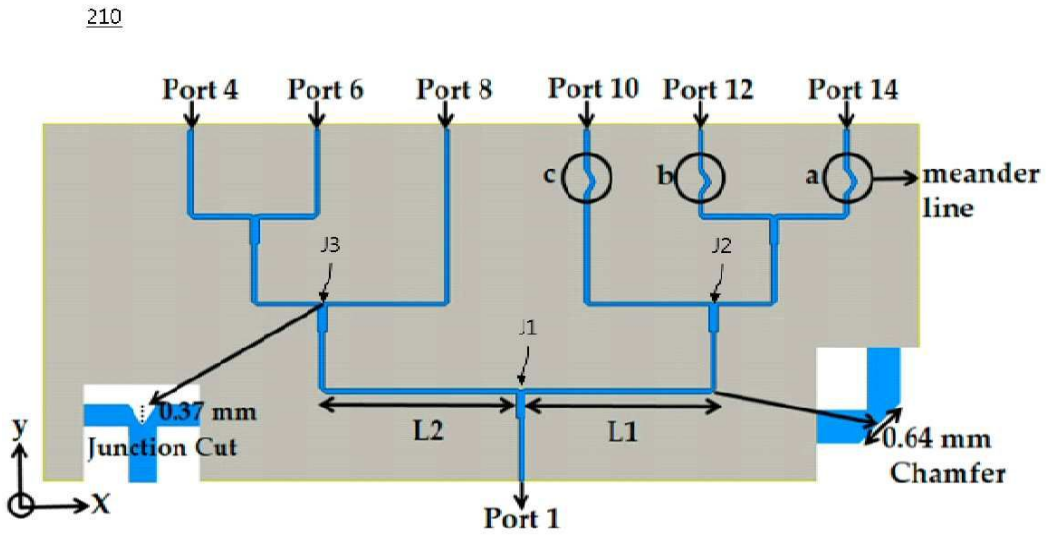
도면2



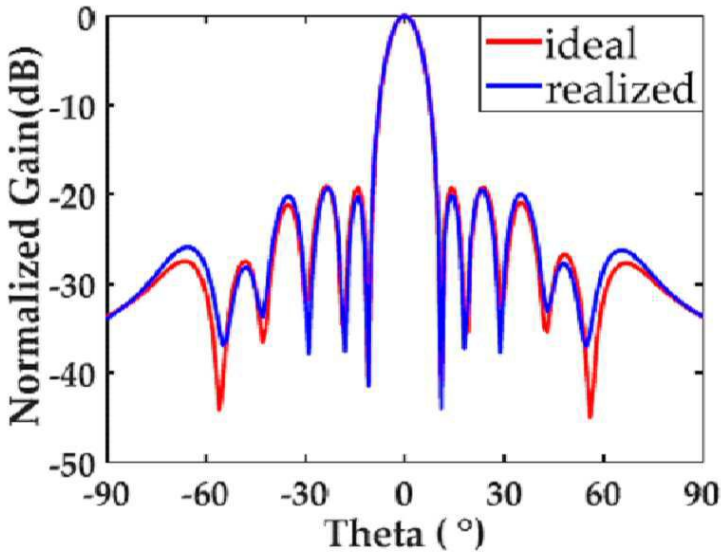
도면3a


Port 2
B'
A'
220
200
Port 3
Port 5
Port 7
Port 9
Port 11
Port 13
210
A
B
y
x
Port 1

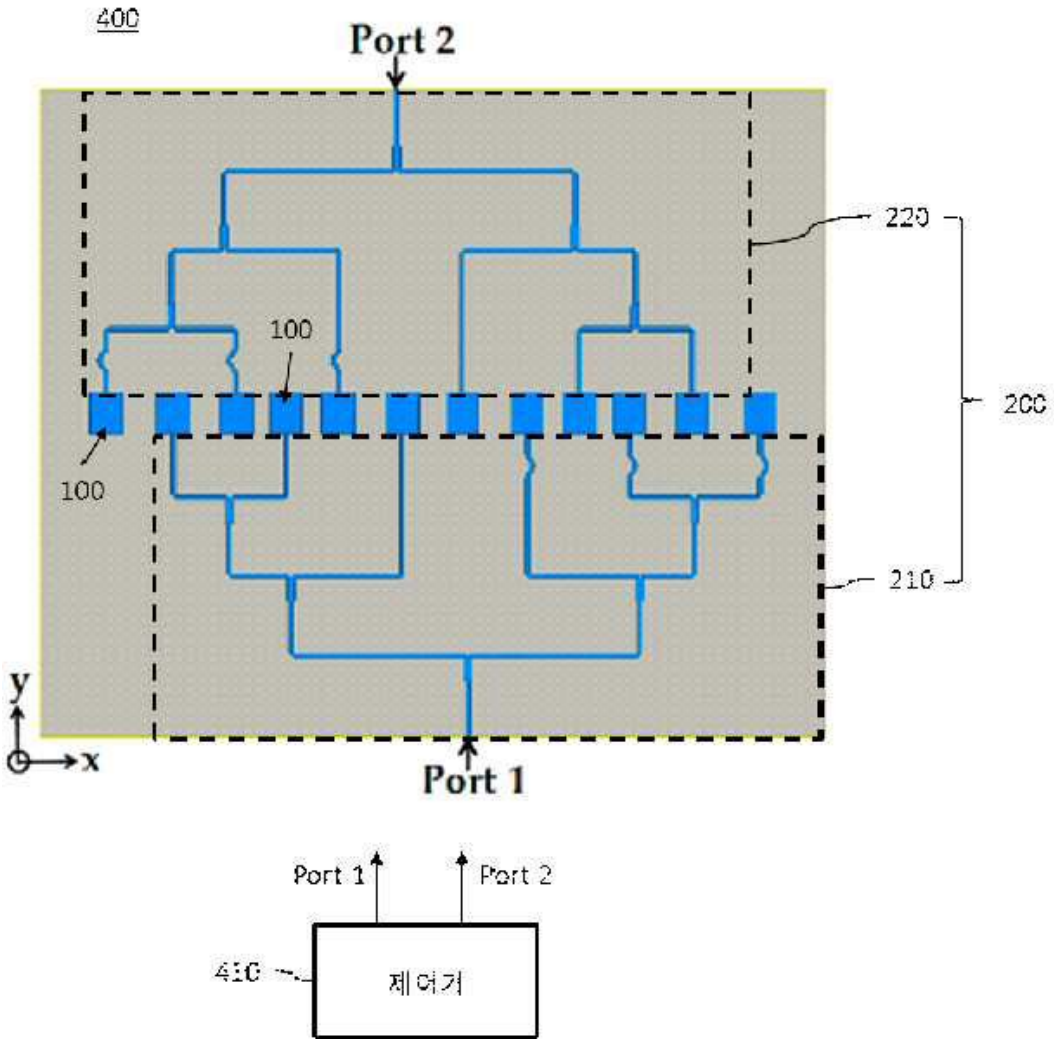
도면3b


210
Port 4
Port 6
Port 8
Port 10
Port 12
Port 14
c
b
a
meander line
J3
J2
J1
0.37 mm
Junction Cut
L2
L1
0.64 mm
Chamfer
y
x
Port 1

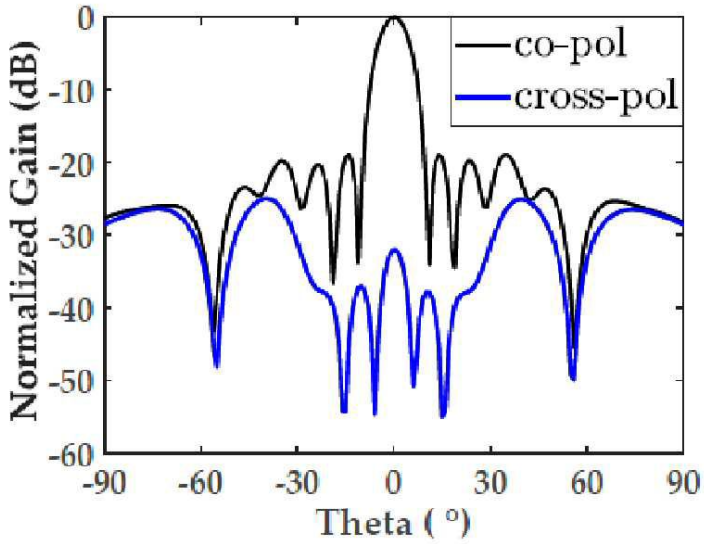
도면3c


ideal
realized
Normalized Gain(dB)
0
-10
-20
-30
-40
-50
-90
-60
-30
0
30
60
90
Theta (°)

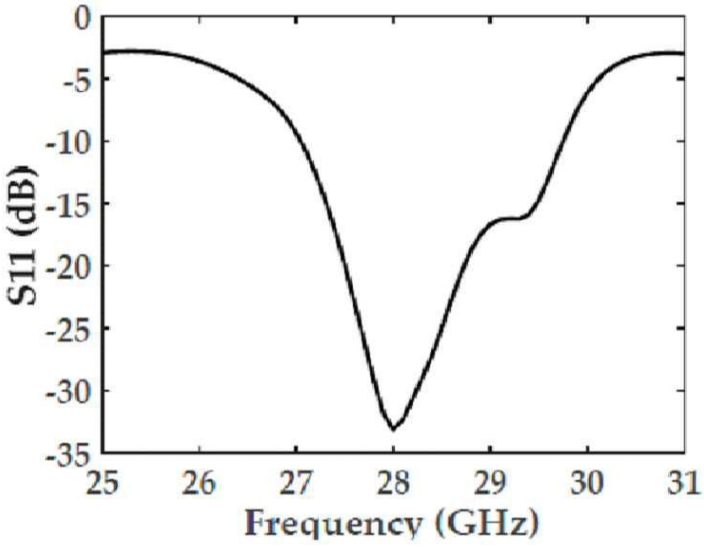
도면4a


400
Port 2
220
100
100
200
210
y
x
Port 1
Port 1
Port 2
410
제어기

도면4b


co-pol
cross-pol
Normalized Gain (dB)
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-90
-60
-30
0
30
60
90
Theta (°)

도면4c


S11 (dB)
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
25
26
27
28
29
30
31
Frequency (GHz)