(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0133451
(43) 공개일자 2024년09월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01P 1/20 (2006.01) *H01Q 15/00* (2018.01)
(52) CPC특허분류
H01P 1/20 (2021.01)
H01Q 15/0006 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0027381
(22) 출원일자 2023년02월28일
심사청구일자 2023년02월28일

(71) 출원인
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
변강일
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
응우옌 티 하이 옌
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(74) 대리인
특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 발명의 명칭 **전자기적 투명화를 구현하기 위한 투과체**

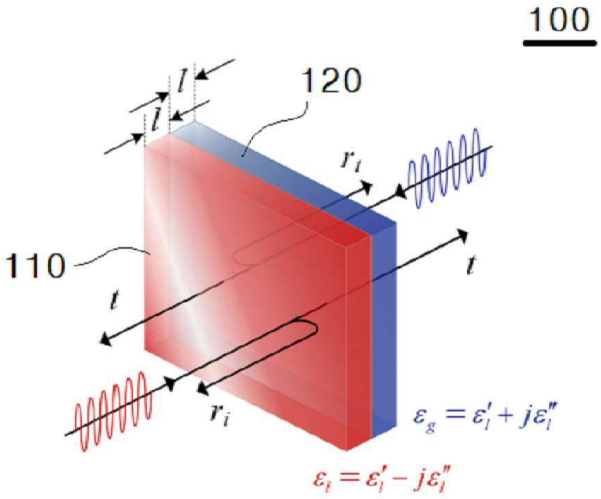
(57) 요 약

본 발명은 전자기적 투명화를 구현하기 위한 투과체에 관한 것이다.

본 발명에 따르면, 투과체는 l의 두께를 가지며, 복소 유전율의 특성을 가지는 손실 레이어, 그리고 상기 손실 레이어의 배면에 부착되는 하나 이상의이득 레이어를 포함한다.

이와 같이 본 발명에 따르면, 손실 레이어와 이득 레이어 사이에 어드미턴스 레이어를 추가할 경우 설계 파라미터 공간에서 특이점의 위치를 조절할 수 있고, 어드미턴스의 특성을 전기적으로 조절하여 서로 다른 입사 각에 의해 왜곡되는 시공간-반전 대칭성을 보상할 수 있어 모든 입사각에 대해 손실 매체를 전자기적으로 투명하게 할 수 있다.

대 표 도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711164719
과제번호	2021R1C1C1012955
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	신진연구사업
연구과제명	인-빌딩 네트워크 클러스터 구축을 위한 디스플레이 집적 투명 배열안테나 및 지능형메타표면 개발
기 여 율	50/100
과제수행기관명	울산과학기술원
연구기간	2021.03.01 ~ 2026.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711160482
과제번호	2022-0-00720-001
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	방송통신산업기술개발사업
연구과제명	차세대 초고속 저궤도 위성통신을 위한 W밴드 컴팩트 · 고효율 · 신개념 RF/전력 핵심부품 개발
기 여 율	50/100
과제수행기관명	울산과학기술원
연구기간	2022.04.01 ~ 2029.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

전자기적 투명화를 구현하기 위한 투과체에 있어서,

l의 두께를 가지며, 복소 유전율의 특성을 가지는 손실 레이어, 그리고

상기 손실 레이어의 배면에 부착되는 하나 이상의이득 레이어를 포함하며,

상기 손실 레이어와 이득레이어는,

시공간 - 반전 대칭성(Parity-Time Symmetry)에 따라 하기의 수학식을 만족하는 투과체:

$$Z_g = Z_l^*$$
$$\gamma_g = -\gamma_l^*$$

여기서, Z_g는 이득 레이어의 특성 임피던스를 나타내고, Z_l 는 손실 레이어의 특성 임피던스를 나타내고, γ_g는 이득 레이어의 복소 전송상수를 나타내고, γ_l 는 손실 레이어의 복소 전송상수를 나타낸다.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 손실 레이어, 제1 어드미턴스 레이어, 제1 이득 레이어, 제2 어드미턴스 레이어, 제2 이득 레이어 및 제3 어드미턴스 레이어가 순차적으로 적층되고,

상기 제1 어드미턴스 레이어의 어드미턴스 값(Y_{s1})과 제3 어드미턴스 레이어의 어드미턴스 값(Y_{s1})은 동일한 값으로 설계되는 투과체.

청구항 3

제2 항에 있어서,

상기 손실 레이어는 이격되어 위치한 한쌍의 제1 유전체를 포함하고,

상기 제1 어드미턴스 레이어는 상기 제1 유전체와 수직방향으로 위치한 제2 유전체를 포함하며,

상기 제1 이득 레이어는 상기 제1 유전체와 동일한 방향으로 배치된 한쌍의 제3 유전체를 포함하며,

상기 제2 어드미턴스 레이어는 상기 제1 유전체와 수직방향으로 위치한 제4 유전체를 포함하며,

상기 제2 이득 레이어는 상기 제1 유전체와 동일한 방향으로 배치된 한쌍의 제5 유전체를 포함하며,

상기 제3 어드미턴스 레이어는 상기 제1 유전체와 수직방향으로 위치한 제6 유전체를 포함하는 투과체.

청구항 4

제3 항에 있어서,

상기 손실 레이어, 이득 레이어 및 어드미턴스 레이어는,

하기와 같이, 각각 ABCD 행렬로 표현되며,

$$[M_g] = \begin{bmatrix} A_g & B_g \\ C_g & D_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma_g l) & Z_g \sinh(\gamma_g l) \\ Y_g \sinh(\gamma_g l) & \cosh(\gamma_g l) \end{bmatrix}$$

(여기서, Z_g 는 $Z_l^* = \sqrt{\mu/\varepsilon_l^*}$ 로 치환될 수 있고, γ_g 는 $\gamma_g = j\omega\sqrt{\mu/\varepsilon_l^*}$ 로 치환 가능하며, Ag와 Dg의 값은 동일하며, ABCD 행렬의 행렬식(Determinant)의 값은 반드시 1이 되어야 한다)

상기 제1 어드미턴스 레이어의 ABCD 행렬을 구성하는 ABCD 파라미터를 이용하여 제1 어드미턴스 값(Y_{s1})을 결정하고, 상기 제2 어드미턴스 레이어의 ABCD 행렬을 구성하는 ABCD 파라미터를 이용하여 제2 어드미턴스 값(Y_{s2})을 결정하는 투과체.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 제1 어드미턴스 값(Y_{s1})은,

하기의 수학식을 이용하여 결정되고,

$$Y_{s1} = \frac{D_g B_1 - B_g D_1 + A_1 B_1 D_1 - B_1 C_1 D_1}{B_g B_1}$$

상기 제2 어드미턴스 값(Y_{s2})은,

하기의 수학식을 이용하여 결정되는 투과체.

$$Y_{s2} = \frac{B_g - B_1 D_1 - A_1 B_1}{B_1^2}$$

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 손실 레이어, 제1 어드미턴스 레이어, 이득 레이어 및 제2 어드미턴스 레이어가 순차적으로 적층되고,

상기 제1 어드미턴스 레이어의 어드미턴스 값(Y_s)과 제2 어드미턴스 레이어의 어드미턴스 값(Y_s)은 동일한 값으로 설계되는 투과체.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 이득 레이어는,

손실 레이어의 특성에 따라 두께(l_1) 및 유전율(ε_1)이 결정되며,

상기 두께(l_1)는,

하기의 수학식을 통해 결정되는 레이어 설계 장치.

$$l_1 = \frac{1}{\gamma_1} \sinh^{-1}\left\{\frac{Z_l}{Z_1}\sinh(\gamma_l l)\right\}$$

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 손실 레이어는 이격되어 위치한 한쌍의 제1 유전체를 포함하고,

상기 제1 어드미턴스 레이어는 상기 제1 유전체와 수직방향으로 위치한 제2 유전체를 포함하며,

상기 이득 레이어는 상기 제1 유전체와 동일한 방향으로 배치된 한쌍의 제3 유전체를 포함하며,

상기 제2 어드미턴스 레이어는 상기 제1 유전체와 수직방향으로 위치한 제4 유전체를 포함하는 투과체.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 손실 레이어, 이득 레이어 및 어드미턴스 레이어는,

각각 ABCD 행렬로 표현되며,

상기 제1 어드미턴스 레이어 또는 상기 제2 어드미턴스 레이어의 ABCD 행렬을 구성하는 ABCD 파라미터를 이용하여 어드미턴스 값(Y_s)을 결정하는 투과체.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 어드미턴스 값(Y_s)은,

하기의 수학식을 이용하여 결정되는 투과체.

$$Y_s = Y_1 \frac{\cosh(\gamma_l l) - \cosh(\gamma_1 l_1)}{\sinh(\gamma_1 l_1)}$$

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 손실 레이어와 이득 레이어는 등가 회로로 설계되며,

상기 이득 레이어는

π 형태 또는 T 형태로 구현되는 투과체.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 손실 레이어는,

이격되어 위치한 한쌍의 제1 유전체를 포함하고,

상기 이득 레이어는,

상기 제1 유전체와 수직방향으로 위치한 제2 유전체,

상기 제1 유전체와 동일한 방향으로 위치한 제3 유전체, 그리고

상기 제2 유전체와 동일한 방향으로 위치한 제4 유전체를 포함하는 투과체.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 손실 레이어 및 이득 레이어는,

각각 ABCD 행렬로 표현되며, 상기 ABCD 행렬을 구성하는 ABCD 파라미터를 이용하여 각각의 어드미턴스 값을 결정하며,

상기 제2 유전체의 어드미턴스 값(Y_{sh})과 상기 제4 유전체의 어드미턴스 값(Y_{sh})은 동일한 값으로 설계되는 투과체.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 제2 유전체 또는 제4 유전체의 어드미턴스 값(Y_{sh})은,

하기의 수학식을 이용하여 결정되고.

$$Y_{sh} = (A_g - 1)/B_g$$

상기 제3 유전체의 어드미턴스 값(Y_{se})은,

하기의 수학식을 이용하여 결정되는 투과체.

$$Y_{se} = 1/B_g$$

청구항 15

제11항에 있어서,

상기 손실 레이어는,

이격되어 위치한 한쌍의 제1 유전체를 포함하고,

상기 이득 레이어는,

상기 제1 유전체와 동일한 방향으로 위치한 제2 유전체,

상기 제1 유전체와 수직인 방향으로 위치한 제3 유전체, 그리고

상기 제1 유전체와 동일한 방향으로 위치한 제4 유전체를 포함하는 투과체.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 손실 레이어 및 이득 레이어는,

각각 ABCD 행렬로 표현되며, 상기 ABCD 행렬을 구성하는 ABCD 파라미터를 이용하여 각각의 어드미턴스 값을 결정하며,

상기 제2 유전체의 어드미턴스 값(Y_{se})과 상기 제4 유전체의 어드미턴스 값(Y_{se})은 동일한 값으로 설계되는 투과체.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 제2 유전체 또는 제4 유전체의 어드미턴스 값(Y_{se})은,

하기의 수학식을 이용하여 결정되고.

$$Y_{se} = C_g/(A_g - 1)$$

상기 제3 유전체의 어드미턴스 값(Y_{sh})은,

하기의 수학식을 이용하여 결정되는 투과체.

$$Y_{sh} = C_g$$

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 전자기적 투명화를 구현하기 위한 투과체에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 매질의 비유전율과 손실에 의해 필연적으로 발생하는 에너지의 반사를 상쇄하고 전투과(Total Transmission) 특성을 구현하기 위해 필수적인 '이득' 레이어의 물리적 구현을 위한 4가지 등가 전송선로 모델로 구현되는 투과체에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 고전 전자기학에서, 손실은 시스템의 불완전성으로 취급되어 왔고, 소멸된 에너지는 증폭에 의해 보상되었다.

[0003] 그러나 최근 등장한 비-허미션(non-Hermitian) 물리학 분야는 불완전한 시스템을 수정하는 대신 손실과 증폭을 새로운 역할로 줌으로써 기본 작동 원리를 확장하였다. 흥미롭게도, 에너지는 비-허미션(non-Hermitian) 시스템이 시공간-반전 대칭성(Parity-Time Symmetry)을 만족할 때 보존되며, 이는 특이점(exceptional point, EP)라고 하는 스펙트럼 특이성을 가져옵니다.

[0004] 따라서 시공간-반전 대칭성에 기초한 분산 전력과 증폭 전력 사이의 균형을 유지함으로써 비-허미션(non-Hermitian) 시스템을 무손실로 만드는 데 많은 연구가 이루어지고 있다.

[0005] 그러나 이전 연구의 대부분은 물질 손실을 무시하기 때문에 실제로 대칭이 깨지고 불균형한 매체를 통해 빠른 에너지 붕괴를 초래하는 문제점이 있었다.

[0006] 본 발명의 배경이 되는 기술은 대한민국 공개특허공보 제10-2018-0121123호 (2018.11.07. 공개)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 매질의 비유전율과 손실에 의해 필연적으로 발생하는 에너지의 반사를 상쇄하고 전투과(Total Transmission) 특성을 구현하기 위해 필수적인 '이득' 레이어의 물리적 구현을 위한 4가지 등가 전송선로 모델로 구현되는 투과체를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 이러한 기술적 과제를 이루기 위한 본 발명의 실시예에 따르면, 전자기적 투명화를 구현하기 위한 투과체는 1의 두께를 가지며, 복소 유전율의 특성을 가지는 손실 레이어, 그리고 상기 손실 레이어의 배면에 부착되는 하나 이상의 이득 레이어를 포함하며,

[0009] 상기 손실 레이어와 이득 레이어는, 시공간 - 반전 대칭성(Parity-Time Symmetry)에 따라 하기의 수학식을 만족한다.

[0010] $$Z_g = Z_l^*$$
$$\gamma_g = -\gamma_l^*$$

[0011] 여기서, Z_g 는 이득 레이어의 특성 임피던스를 나타내고, Z_l 는 손실 레이어의 특성 임피던스를 나타내고, γ_g 는 이득 레이어의 복소 전송상수를 나타내고, γ_l 는 손실 레이어의 복소 전송상수를 나타낸다.

[0012] 상기 손실 레이어, 제1 어드미턴스 레이어, 제1 이득 레이어, 제2 어드미턴스 레이어, 제2 이득 레이어 및 제3 어드미턴스 레이어가 순차적으로 적층되고, 상기 제1 어드미턴스 레이어의 어드미턴스 값(Y_{s1})과 제3 어드미턴스 레이어의 어드미턴스 값(Y_{s1})은 동일한 값으로 설계될 수 있다.

[0013] 상기 손실 레이어는 이격되어 위치한 한쌍의 제1 유전체를 포함하고, 상기 제1 어드미턴스 레이어는 상기 제1 유전체와 수직방향으로 위치한 제2 유전체를 포함하며, 상기 제1 이득 레이어는 상기 제1 유전체와 동일한 방향으로 배치된 한쌍의 제3 유전체를 포함하며, 상기 제2 어드미턴스 레이어는 상기 제1 유전체와 수직방향으로 위치한 제4 유전체를 포함하며, 상기 제2 이득 레이어는 상기 제1 유전체와 동일한 방향으로 배치된 한쌍의 제5 유전체를 포함하며, 상기 제3 어드미턴스 레이어는 상기 제1 유전체와 수직방향으로 위치한 제6 유전체를 포함할 수 있다.

[0014] 상기 손실 레이어, 이득 레이어 및 어드미턴스 레이어는, 하기와 같이, 각각 ABCD 행렬로 표현되며,

[0015] $$[M_g] = \begin{bmatrix} A_g & B_g \\ C_g & D_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma_g l) & Z_g \sinh(\gamma_g l) \\ Y_g \sinh(\gamma_g l) & \cosh(\gamma_g l) \end{bmatrix}$$

[0016] 여기서, Z_g 는 $Z_l^* = \sqrt{\mu/\varepsilon_l^*}$ 로 치환될 수 있고, γ_g 는 $\gamma_g = j\omega\sqrt{\mu/\varepsilon_l^*}$ 로 치환 가능하며, Ag와 Dg의 값은 동일하며, ABCD 행렬의 행렬식(Determinant)의 값은 반드시 1이 되어야 한다.

[0017] 상기 제1 어드미턴스 레이어의 ABCD 행렬을 구성하는 ABCD 파라미터를 이용하여 제1 어드미턴스 값(Y_{s1})을 결정하고, 상기 제2 어드미턴스 레이어의 ABCD 행렬을 구성하는 ABCD 파라미터를 이용하여 제2 어드미턴스 값(Y_{s2})을 결정할 수 있다.

[0018] 상기 제1 어드미턴스 값(Y_{s1})은, 하기의 수학식을 이용하여 결정되고,

[0019] $$Y_{s1} = \frac{D_g B_1 - B_g D_1 + A_1 B_1 D_1 - B_1 C_1 D_1}{B_g B_1}$$

[0020] 상기 제2 어드미턴스 값(Y_{s2})은, 하기의 수학식을 이용하여 결정될 수 있다.

[0021] $$Y_{s2} = \frac{B_g - B_1 D_1 - A_1 B_1}{B_1^2}$$

[0022] 상기 손실 레이어, 제1 어드미턴스 레이어, 이득 레이어 및 제2 어드미턴스 레이어가 순차적으로 적층되고, 상기 제1 어드미턴스 레이어의 어드미턴스 값(Y_s)과 제2 어드미턴스 레이어의 어드미턴스 값(Y_s)은 동일한 값으로 설계될 수 있다.

[0023] 상기 이득 레이어는, 손실 레이어의 특성에 따라 두께(l_1) 및 유전율(ε_1)이 결정되며, 상기 두께(l_1)는, 하기의 수학식을 통해 결정될 수 있다.

$$l_1 = \frac{1}{\gamma_1}\sinh^{-1}\left\{\frac{Z_l}{Z_1}\sinh(\gamma_l l)\right\}$$

[0024]

[0025] 상기 손실 레이어는 이격되어 위치한 한쌍의 제1 유전체를 포함하고, 상기 제1 어드미턴스 레이어는 상기 제1 유전체와 수직방향으로 위치한 제2 유전체를 포함하며, 상기 이득 레이어는 상기 제1 유전체와 동일한 방향으로 배치된 한쌍의 제3 유전체를 포함하며, 상기 제2 어드미턴스 레이어는 상기 제1 유전체와 수직방향으로 위치한 제4 유전체를 포함할 수 있다.

[0026] 상기 손실 레이어, 이득 레이어 및 어드미턴스 레이어는, 각각 ABCD 행렬로 표현되며, 상기 제1 어드미턴스 레이어 또는 상기 제2 어드미턴스 레이어의 ABCD 행렬을 구성하는 ABCD 파라미터를 이용하여 어드미턴스 값(Y_s)을 결정될 수 있다.

[0027] 상기 어드미턴스 값(Y_s)은, 하기의 수학식을 이용하여 결정될 수 있다.

$$Y_s = Y_1\frac{\cosh(\gamma_l l) - \cosh(\gamma_1 l_1)}{\sinh(\gamma_1 l_1)}$$

[0028]

[0029] 상기 손실 레이어와 이득 레이어는 등가 회로로 설계되며, 상기 이득 레이어는 π형태 또는 T 형태로 구현될 수 있다.

[0030] 상기 손실 레이어는, 이격되어 위치한 한쌍의 제1 유전체를 포함하고,

[0031] 상기 이득 레이어는, 상기 제1 유전체와 수직방향으로 위치한 제2 유전체, 상기 제1 유전체와 동일한 방향으로 위치한 제3 유전체, 그리고 상기 제2 유전체와 동일한 방향으로 위치한 제4 유전체를 포함할 수 있다.

[0032] 상기 손실 레이어 및 이득 레이어는, 각각 ABCD 행렬로 표현되며, 상기 ABCD 행렬을 구성하는 ABCD 파라미터를 이용하여 각각의 어드미턴스 값을 결정하며, 상기 제2 유전체의 어드미턴스 값(Y_{sh})과 상기 제4 유전체의 어드미턴스 값(Y_{sh})은 동일한 값으로 설계될 수 있다.

[0033] 상기 제2 유전체 또는 제4 유전체의 어드미턴스 값(Y_{sh})은, 하기의 수학식을 이용하여 결정되고.

$$Y_{sh} = (A_g - 1)/B_g$$

[0034]

[0035] 상기 제3 유전체의 어드미턴스 값(Y_{se})은, 하기의 수학식을 이용하여 결정될 수 있다.

$$Y_{se} = 1/B_g$$

[0036]

[0037] 상기 손실 레이어는, 이격되어 위치한 한쌍의 제1 유전체를 포함하고,

[0038] 상기 이득 레이어는, 상기 제1 유전체와 동일한 방향으로 위치한 제2 유전체, 상기 제1 유전체와 수직인 방향으로 위치한 제3 유전체, 그리고 상기 제1 유전체와 동일한 방향으로 위치한 제4 유전체를 포함할 수 있다.

[0039] 상기 손실 레이어 및 이득 레이어는, 각각 ABCD 행렬로 표현되며, 상기 ABCD 행렬을 구성하는 ABCD 파라미터를 이용하여 각각의 어드미턴스 값을 결정하며, 상기 제2 유전체의 어드미턴스 값(Y_{se})과 상기 제4 유전체의 어드미턴스 값(Y_{se})은 동일한 값으로 설계될 수 있다.

[0040] 상기 제2 유전체 또는 제4 유전체의 어드미턴스 값(Y_{se})은, 하기의 수학식을 이용하여 결정되고.

[0041] $$Y_{se} = C_g/(A_g - 1)$$

[0042] 상기 제3 유전체의 어드미턴스 값(Y_{sh})은, 하기의 수학식을 이용하여 결정될 수 있다.

[0043] $$Y_{sh} = C_g$$

발명의 효과

[0044] 이와 같이 본 발명에 따르면, 손실 레이어와 이득 레이어 사이에 어드미턴스 레이어를 추가할 경우 설계 파라미터 공간에서 특이점의 위치를 조절할 수 있고, 어드미턴스의 특성을 전기적으로 조절하여 서로 다른 입사 각에 의해 왜곡되는 시공간-반전 대칭성을 보상할 수 있어 모든 입사각에 대해 손실 매체를 전자기적으로 투명하게 할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0045] 도 1은 본 발명의 제1 실시예에 따른 투과체를 개략적으로 설명한 도면이다.

도 2는 1에 도시된 투과체의 등가 전송선로 모델을 나타내는 도면이다.

도 3은 본 발명의 제2 실시예에 따른 투과체의 제1 등가 전송선로 모델을 나타내는 도면이다.

도 4은 본 발명의 제3 실시예에 따른 투과체의 제2 등가 전송선로 모델을 나타내는 도면이다.

도 5는 본 발명의 제4 실시예에 따른 투과체를 구성하는 이득 레이어를 π 형태의 회로 모델로 구현한 상태를 나타내는 도면이다.

도 6은 본 발명의 제4 실시예에 따른 투과체를 구성하는 이득 레이어를 T 형태의 회로 모델로 구현한 상태를 나타내는 도면이다.

도 7은 본 발명의 실시예에 따른 투과체에 포함된 손실 레이어의 유전 손실에 따른 4가지 모델의 전파 반사도 및 투과도 및 특이점 분포를 설명하기 위한 도면이다.

도 8은 두 번째 특이점(EP2)에서 분석한 투과체 별 전기장 및 전력밀도의 분포를 나타내는 도면이다.

도 9는 어드미턴스 레이어를 추가한 투과체 및 재구성 가능한 특이점 변화를 나타내는 도면이다.

도 10은 Oblique 입사파에 대한 전기장 및 전력밀도 분포를 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0046] 아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시 예를 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

[0047] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0048] 그러면 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시 예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다.

[0049] 이하에서는 도 1 및 도 2를 이용하여 본 발명의 제1 실시예에 따른 투과체에 대해 더욱 상세하게 설명한다.

[0050] 도 1은 본 발명의 제1 실시예에 따른 투과체를 개략적으로 설명한 도면이고, 도 2는 1에 도시된 투과체의 등가 전송선로 모델을 나타내는 도면이다.

[0051] 도 1 및 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 제1 실시예에 따른 투과체(100)는 손실 레이어(110)와 이득 레이

어(120)로 구성된다.

[0052] 손실 레이어(10)는 1의 두께를 가지며, 하기의 수학식 1과 같은 복소 유전율(ε_l)의 특성을 가진다.

수학식 1

[0053] $$\varepsilon_l = \varepsilon_l' - j\varepsilon_l'' = \varepsilon_l'(1 - j\tan\delta)$$

[0054] 그리고, 시공간 - 반전 대칭성(Parity-Time Symmetry)을 만족하는 이득 레이어(120)의 복소 유전율(ε_g)은 하기의 수학식 2를 만족한다.

수학식 2

[0055] $$\varepsilon_g = \varepsilon_l^{*}.$$

[0056] 도 2에 도시된 바와 같이, 손실 레이어(110) 및 이득 레이어(120)로 구성되는 투과체(100)를 1차원 전송선로로 등가화할 경우, 손실 레이어(110)의 특성 임피던스 및 복소 전송상수는 각각 Z_l 및 γ_l 로 나타낼 수 있고, 이득 레이어(120)의 특성 임피던스 및 복소 전송상수는 하기의 수학식 3을 만족한다.

수학식 3

[0057] $$Z_g = Z_l^*$$
$$\gamma_g = -\gamma_l^*$$

[0058] 그리고, 도 2에 도시된 등가 전송선로 모델로 표현된 이득 레이어는 하기의 수학식 4와 같이 ABCD 행렬로 표현될 수 있다.

수학식 4

[0059] $$[M_g] = \begin{bmatrix} A_g & B_g \\ C_g & D_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma_g l) & Z_g \sinh(\gamma_g l) \\ Y_g \sinh(\gamma_g l) & \cosh(\gamma_g l) \end{bmatrix}$$

[0060] 여기서, Z_g 는 $Z_l^* = \sqrt{\mu/\varepsilon_l^*}$ 로 치환될 수 있고, γ_g 는 $\gamma_g = j\omega\sqrt{\mu/\varepsilon_l^*}$ 로 치환 가능하며, Ag와 Dg의 값은 동일하며, ABCD 행렬의 행렬식(Determinant)의 값은 반드시 1이 되어야 한다.

[0062] 한편, 자연계에는 음의 유전율이 존재하지 않으므로 앞서 언급한 이득 레이어의 설계 조건을 만족하는 물질은 없다. 따라서, 본 발명에서는 상기의 수학식 3을 만족하며, 매질의 비유전율과 손실에 의해 필연적으로 발생하

는 에너지의 반사를 상쇄하고 전투과 (Total Transmission) 특성을 구현하기 위해 이득 레이어를 4가지의 물리적인 방법으로 구현하였다.

[0064] 이하에서는 도 3을 이용하여 본 발명의 제2 실시예에 따른 투과체에 대해 더욱 상세하게 설명한다.

[0065] 먼저, 본 발명의 제2 실시예에 따른 투과체(300)는 손실 레이어(310), 제1 어드미턴스 레이어(320), 제1 이득 레이어(330), 제2 어드미턴스 레이어(340), 제2 이득 레이어(350) 및 제3 어드미턴스 레이어(360)가 순차적으로 적층되어 구현된다.

[0066] 다만, 시공간 - 반전 대칭성(Parity-Time Symmetry)을 만족하기 위하여 제1 어드미턴스 레이어(320)의 어드미턴스 값(Y_{s1})과 제3 어드미턴스 레이어(360)의 어드미턴스 값(Y_{s1})은 동일한 값으로 설계된다.

[0067] 도 3은 본 발명의 제2 실시예에 따른 투과체의 제1 등가 전송선로 모델을 나타내는 도면이다.

[0068] 도 3에 도시된 바와 같이, 본 발명의 제2 실시예에 따른 투과체(300)로 표현된 제1 등가 전송선로 모델을 살펴보면, 손실 레이어(310)는 이격되어 위치한 한쌍의 제1 유전체를 포함하고, 제1 어드미턴스 레이어(320)는 제1 유전체와 수직방향으로 위치한 제2 유전체를 포함한다.

[0069] 또한, 제1 이득 레이어(330)는 상기 제1 유전체와 동일한 방향으로 배치된 한쌍의 제3 유전체를 포함하고, 제2 어드미턴스 레이어(340)는 상기 제1 유전체와 수직방향으로 위치한 제4 유전체를 포함한다.

[0070] 또한, 제2 이득 레이어(350)는 상기 제1 유전체와 동일한 방향으로 배치된 한쌍의 제5 유전체를 포함하며, 제3 어드미턴스 레이어(360)는 상기 제1 유전체와 수직방향으로 위치한 제6 유전체를 포함한다.

[0071] 한편, 제1 등가 전송선로 모델로 구현된 손실 레이어(310), 제1 어드미턴스 레이어(320), 제1 이득 레이어(330), 제2 어드미턴스 레이어(340), 제2 이득 레이어(350) 및 제3 어드미턴스 레이어(360)는 각각 ABCD 행렬로 표현할 수 있다.

[0072] 먼저, 제1 어드미턴스 레이어(320) 또는 제2 어드미턴스 레이어(340)의 ABCD 행렬은 하기의 수학식 5와 같이 표현된다.

수학식 5

[0073]
$$[M_1] = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma_1 l) & Z_1 \sinh(\gamma_1 l) \\ Y_1 \sinh(\gamma_1 l) & \cosh(\gamma_1 l) \end{bmatrix}$$

[0074] 여기서, 특성 임피던스(Z_1), 복소 전송상수(γ_1)는 하기의 수학식 6을 만족한다.

수학식 6

[0075]
$$Z_1 = \sqrt{\mu / \varepsilon_1},$$
$$\gamma_1 = j\omega\sqrt{\mu\varepsilon_1},$$
$$\varepsilon_1 = \varepsilon_1' - j\varepsilon_1'' = \varepsilon_1'\left(1 - j\tan\delta_1\right)$$

[0076] 그리고, 제1 어드미턴스 레이어(320)에 대응하는 ABCD 행렬은 하기의 수학식 7과 같이 표현되고, 제2 어드미턴스 레이어(340)에 대응하는 ABCD 행렬은 하기의 수학식 8과 같이 표현된다.

수학식 7

[0077]
$$[M_{s1}] = \begin{bmatrix} A_{s1} & B_{s1} \\ C_{s1} & D_{s1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y_{s1} & 1 \end{bmatrix}$$

수학식 8

[0078]
$$[M_{s2}] = \begin{bmatrix} A_{s2} & B_{s2} \\ C_{s2} & D_{s2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y_{s2} & 1 \end{bmatrix}$$

[0079] 한편, 본 발명의 제2 실시예에 따른 투과체(300)는 제1 어드미턴스 레이어의 어드미턴스 값(Y_{s1})과 제3 어드미턴스 레이어의 어드미턴스 값(Y_{s1})은 동일한 값으로 설계되므로 제3 어드미턴스 레이어(360)에 대한 ABCD 행렬은 제1 어드미턴스 레이어의 ABCD 행렬로 대체 가능하다.

[0080] 그리고, 이득 레이어는 하기의 수학식 9와 같이 ABCD 행렬들을 곱으로 나타낼 수 있다.

수학식 9

[0081]
$$[M_{ge}] = [M_{s1}]\,[M_1]\,[M_{s2}]\,[M_1]\,[M_{s1}]$$

[0082] 이때, 수학식 9의 이득 레이어의 ABCD 행렬은 본 발명의 제1 실시예에서의 수학식 4와 동일한 값을 가진다. 따라서, 수학식 4와 수학식 9를 이용하여 시공간 - 반전 대칭성(Parity-Time Symmetry)을 만족하는 제1 어드미턴스 값(Y_{s1})과 제2 어드미턴스 값(Y_{s2})을 결정할 수 있다.

[0083] 즉, 제1 어드미턴스 값(Y_{s1})은 하기의 수학식 10을 이용하여 결정되고, 제2 어드미턴스 값(Y_{s2})은 하기의 수학식 11을 이용하여 결정된다.

수학식 10

[0084]
$$Y_{s1} = \frac{D_g B_1 - B_g D_1 + A_1 B_1 D_1 - B_1 C_1 D_1}{B_g B_1}$$

수학식 11

[0085]
$$Y_{s2} = \frac{B_g - B_1 D_1 - A_1 B_1}{B_1^2}$$

[0086] 본 발명의 제2 실시예에 따른 투과체(300)의 이득 레이어는 높은 설계 자유도를 가지므로 어떠한 물질 또는 어떠한 두께를 적용하여 설계되어도 무방하다.

[0088] 이하에서는 도 4를 이용하여 본 발명의 제3 실시예에 따른 투과체에 대해 더욱 상세하게 설명한다.

[0089] 먼저, 본 발명의 제3 실시예에 따른 투과체(400)는 손실 레이어(410), 제1 어드미턴스 레이어(420), 이득 레이어(430) 및 제2 어드미턴스 레이어(440)가 순차적으로 적층되어 구현된다.

[0090] 다만, 시공간 - 반전 대칭성(Parity-Time Symmetry)을 만족하기 위하여 제1 어드미턴스 레이어(420)의 어드미턴스 값(Y_s)과 제2 어드미턴스 레이어(440)의 어드미턴스 값(Y_s)은 동일한 값으로 설계된다.

[0091] 도 4은 본 발명의 제3 실시예에 따른 투과체의 제2 등가 전송선로 모델을 나타내는 도면이다.

[0092] 도 4에 도시된 바와 같이, 본 발명의 제3 실시예에 따른 투과체(400)로 표현된 제2 등가 전송선로 모델을 살펴보면, 손실 레이어(410)는 이격되어 위치한 한쌍의 제1 유전체를 포함하고, 제1 어드미턴스 레이어(420)는 상기 제1 유전체와 수직방향으로 위치한 제2 유전체를 포함한다.

[0093] 또한, 이득 레이어(430)는 제1 유전체와 동일한 방향으로 배치된 한쌍의 제3 유전체를 포함하며, 제2 어드미턴스 레이어(440)는 제1 유전체와 수직방향으로 위치한 제4 유전체를 포함한다.

[0094] 한편, 제2 등가 전송선로 모델로 구현된 손실 레이어(410), 제1 어드미턴스 레이어(420), 이득 레이어(430) 및 제2 어드미턴스 레이어(440)는 각각 ABCD 행렬로 표현할 수 있다.

[0095] 한편, 이득 레이어의 ABCD 행렬은 제2 실시예에 기재된 수학식 5에 대응되고, 어드미턴스 레이어의 ABCD 행렬은 제2 실시예에 기재된 수학식 7에 대응된다.

[0096] 따라서, 본 발명의 제3 실시예에서는 상기의 제2 실시예에 기재된 동일한 계산법을 바탕으로 어드미턴스값을 결정한다.

[0097] 즉, 본 발명의 제2 실시예에 기재된 수학식 4와 수학식 9를 이용하여 시공간 - 반전 대칭성(Parity-Time Symmetry)을 만족하는 제1 어드미턴스 레이어(420) 또는 제2 어드미턴스 레이어(440)의 어드미턴스 값(Y_s)을 결정할 수 있다.

[0098] 그러므로, 어드미턴스 값(Y_s)은 하기의 수학식12를 이용하여 결정된다.

수학식 12

[0099]
$$Y_s = Y_1 \frac{\cosh(\gamma_l l) - \cosh(\gamma_1 l_1)}{\sinh(\gamma_1 l_1)}$$

[0100] 본 발명의 제3 실시예에 따른 투과체(300)의 이득 레이어는 제2 실시예에서의 이득 레이어보다 낮은 설계 자유도를 가진다. 따라서, 이득 레이어의 두께(l_1) 및 유전율(ε_1)은 손실 레이어의 특성에 따라 결정되며, 두께(l_1)는 하기의 수학식 13을 통해 결정된다.

수학식 13

[0101]
$$l_1 = \frac{1}{\gamma_1} \sinh^{-1}\left\{ \frac{Z_l}{Z_1} \sinh(\gamma_l l) \right\}$$

[0102] 이하에서는 도 5 및 도6를 이용하여 본 발명의 제4 실시예에 따른 투과체에 대해 더욱 상세하게 설명한다.

[0103] 본 발명의 제4 실시예에 따른 투과체(500)는 등가 회로를 이용하여 설계된 것으로, 이득 레이어는 π형태 또는

T 형태의 회로 모델로 구현된다.

[0104] 도 5는 본 발명의 제4 실시예에 따른 투과체를 구성하는 이득 레이어를 π형태의 회로 모델로 구현한 상태를 나타내는 도면이다.

[0105] 도 5에 도시된 바와 같이, 손실 레이어(510)는 이격되어 위치한 한쌍의 제1 유전체를 포함한다. 그리고, 이득 레이어(520)는 제1 유전체와 수직방향으로 위치한 제2 유전체, 제1 유전체와 동일한 방향으로 위치한 제3 유전체, 그리고 제2 유전체와 동일한 방향으로 위치한 제4 유전체를 포함한다.

[0106] 한편, 제2 유전체의 어드미턴스 값(Y_{sh})과 상기 제4 유전체의 어드미턴스 값(Y_{sh})은 동일한 값으로 설계된다.

[0107] 그리고, 손실 레이어(510) 및 이득 레이어(520)는 앞서 설명한 바와 같이 동일한 방법으로 ABCD 행렬을 구현한다. 다만, 본 발명의 제4 실시예에서의 이득 레이어는 유전체별로 각각 ABCD 행렬을 획득하고, 획득한 각각의 ABCD 행렬을 이용하여 제2 유전체 또는 제4 유전체의 어드미턴스 값(Y_{sh})과 제3 유전체의 어드미턴스 값(Y_{se})을 결정한다.

[0108] 이때, 제2 유전체 또는 제4 유전체의 어드미턴스 값(Y_{sh})은 하기의 수학식 14를 이용하여 결정된다.

수학식 14

[0109] $$Y_{sh} = (A_g - 1)/B_g$$

[0110] 또한, 제3 유전체의 어드미턴스 값(Y_{se})은 하기의 수학식 15를 이용하여 결정된다.

수학식 15

[0111] $$Y_{se} = 1/B_g$$

[0113] 도 6은 본 발명의 제4 실시예에 따른 투과체를 구성하는 이득 레이어를 T 형태의 회로 모델로 구현한 상태를 나타내는 도면이다.

[0114] 도 6에 도시된 바와 같이, 손실 레이어(610)는 이격되어 위치한 한쌍의 제1 유전체를 포함한다. 그리고, 이득 레이어(620)는 제1 유전체와 동일한 방향으로 위치한 제2 유전체, 제1 유전체와 수직인 방향으로 위치한 제3 유전체, 그리고 제1 유전체와 동일한 방향으로 위치한 제4 유전체를 포함한다.

[0115] 한편, 제2 유전체의 어드미턴스 값(Y_{se})과 제4 유전체의 어드미턴스 값(Y_{se})은 동일한 값으로 설계된다.

[0116] 그리고, 손실 레이어(610) 및 이득 레이어(620)는 앞서 설명한 바와 같이 동일한 방법으로 ABCD 행렬을 구현한다. 다만, 본 발명의 제4 실시예에서의 이득 레이어는 유전체별로 각각 ABCD 행렬을 획득하고, 획득한 각각의 ABCD 행렬을 이용하여 제2 유전체 또는 제4 유전체의 어드미턴스 값(Y_{se})과 제3 유전체의 어드미턴스 값(Y_{sh})을 결정한다.

[0117] 이때, 제2 유전체 또는 제4 유전체의 어드미턴스 값(Y_{se})은 하기의 수학식 16을 이용하여 결정된다.

수학식 16

[0118] $$Y_{se} = C_g/(A_g - 1)$$

[0119] 또한, 제3 유전체의 어드미턴스 값(Y_{sh})은 하기의 수학식 17을 이용하여 결정된다.

수학식 17

[0120] $$Y_{sh} = C_g$$

[0122] 이하에서는 도 7 내지 10을 이용하여 본 발명의 실시예에 따른 투과체의 전기적 투명도 특성에 대한 결과에 더욱 상세하게 설명한다.

[0123] 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 투과체에 포함된 손실 레이어의 유전 손실에 따른 4가지 모델의 전파 반사도 및 투과도 및 특이점 분포를 설명하기 위한 도면이다.

[0124] 투과체의 전자기적 투명도 특성을 판단하기 위하여 143 GHz에서 4.6의 비유전율과 9 ㎜의 두께를 가지는 손실 레이어를 이용하여 4가지 등가모델을 구현하였다. 그리고, 유전 손실(tanδ)을 0에서 0.2까지 변화시켜가며 투과도($|t|^2$)와 반사도($|r_I|^2$)를 계산하였다.

[0125] 그 결과를 도 7의 (a)에 도시된 바와 같이, 손실 유전체의 투과도(검은색 점 선으로 표현됨)는 유전 손실(tanδ)이 증가함에 따라 급격히 감소하며, tanδ≥0.0765의 조건에서 0.009 이하의 값을 가지고 이는 입사파 대비 0.9%의 전력만 투과함을 알 수 있다.

[0126] 반면, 본 발명의 실시예에 따른 4가지의 투과체는 0.0765보다 작은 유전 손실에 대해서도 81% 이상의 높은 투과도와 17% 이하의 반사도를 유지하였다.

[0127] 또한, 도 7의 (b)에 도시된 바와 같이, 유전 손실(tanδ)이 증가함에 따라 본 발명의 실시예에 따른 투과체는 두개의 특이점(EP1: 0.0465, EP2: 0.0745)을 가지며, 각 특이점에서의 전투과도($|t|^2$)가 1로 구현되었다.

[0128] 도 8은 두 번째 특이점(EP2)에서 분석한 투과체 별 전기장 및 전력밀도의 분포를 나타내는 도면으로서, 도 8의 (a)는 본 발명의 제1 실시예에서의 투과체로부터 획득한 결과이고, 도 8의 (b)는 본 발명의 제2 실시예에서의 투과체로부터 획득한 결과이고, 도 8의 (c)는 본 발명의 제3 실시예에서의 투과체로부터 획득한 결과이다.

[0129] 도 8은 전파가 수직으로 입사한다고 가정하였을 때, 상용 시뮬레이터인 HFSS의 Floquet 포트 조건을 이용하여 분석한 결과이다. 세 가지의 투과체 모두 높은 손실을 가지는 유전 물질을 투과함에도 불구하고 투과된 전파의 전력밀도는 입사파의 전력밀도와 유사함을 알 수 있다.

[0130] 도 9는 어드미턴스 레이어를 추가한 투과체 및 재구성 가능한 특이점 변화를 나타내는 도면이다.

[0131] 입사파의 입사각이 변할 경우 시공간-반전 대칭성 특성이 왜곡되므로 투과파의 전력밀도가 현저히 낮아진다. 이러한 특성을 보정하기 위하여 '손실'과 '이득' 레이어 사이에 어드미턴스 레이어를 삽입하고 전기적으로 특성을 조절하면 도 9에 도시된 바와 같이, 설계 파라미터 공간(여기서는 유전손실)에서 특이점의 위치를 변화시킬 수 있다.

[0132] 도 10은 Oblique 입사파에 대한 전기장 및 전력밀도 분포를 나타내는 도면이다.

[0133] 어드미턴스 레이어가 없는 경우 입사파의 각도에 의해 시공간-반전 대칭성은 왜곡되며, 투과파의 전력밀도 또한 낮아진다.

[0134] 반면에, 추가적인 어드미턴스 레이어를 바탕으로 왜곡된 특성을 보정할 경우에는 시공간-반전 대칭성을 만족할 수 있으며, 도10에 도시된 바와 같이, 오블릭(Oblique) 입사파에 대해서도 전투과 특성을 도출할 수 있다.

[0135] 이와 같이 본 발명에 따른 투과체는 ICS모듈을 이용하여 송신출력을 높일 때 비례적으로 세기가 증가하는 자가간섭신호를 제거하여 중계기의 발진을 방지하고 신호품질을 유지함으로써 먼 거리에 존재하는 무인기에 대한 재밍을 효과적으로 실시할 수 있다.

[0137] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0138] 100, 300, 400, 500, 600 : 투과체

110, 310, 410, 510, 610 : 손실 레이어

120, 520, 610 : 이득 레이어

320, 420 : 제1 어드미턴스 레이어

330, 430 : 제1 이득 레이어

340, 440 : 제2 어드미턴스 레이어

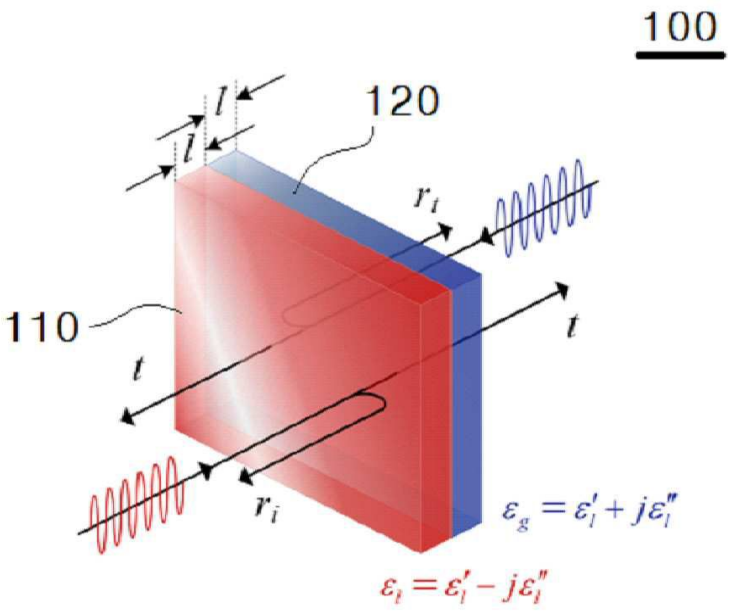
350 : 제2 이득 레이어

360 : 제3 어드미턴스

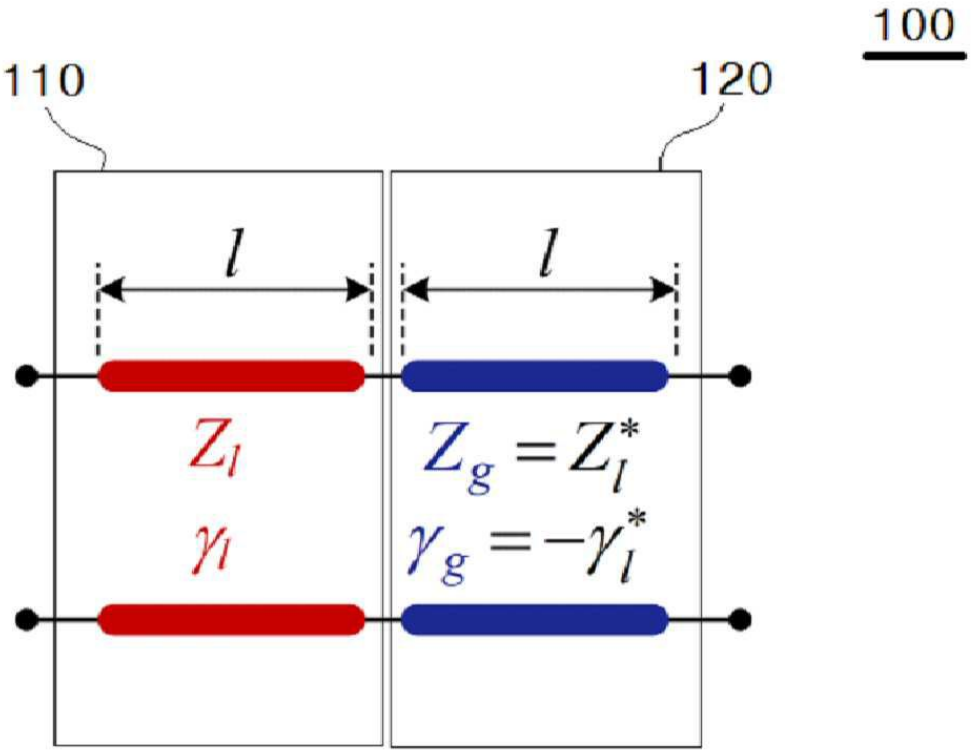
110, 310, 410, 510, 610 : 손실 레이어

도면

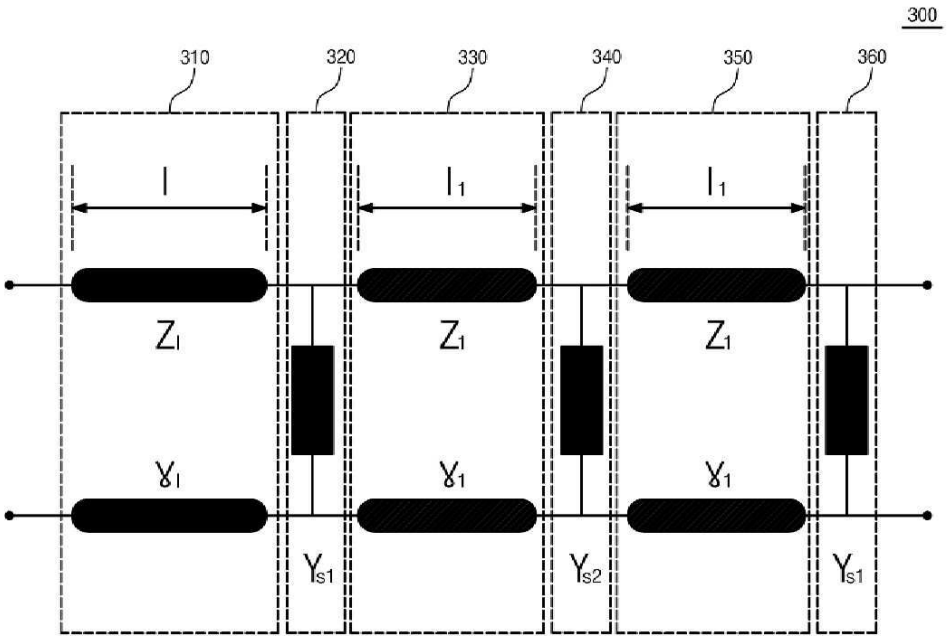
도면1



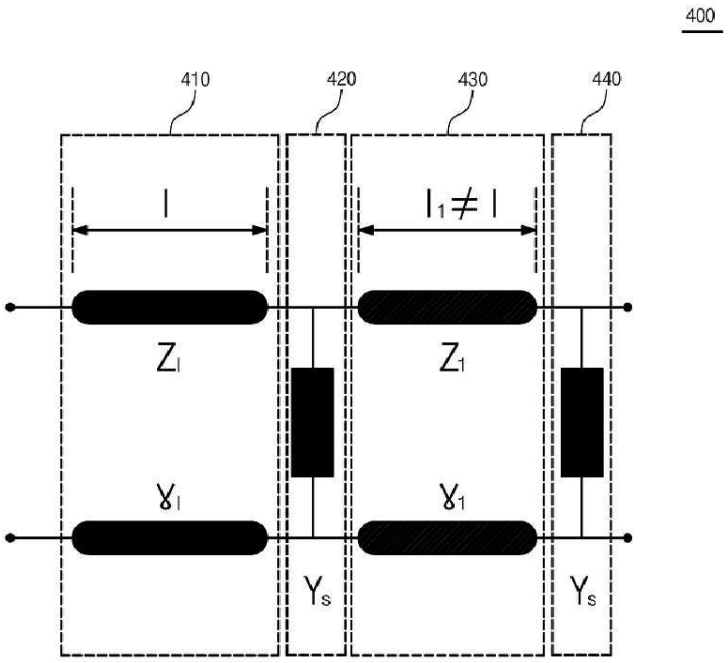
도면2


100
110
120
l
l
Z_l
γ_l
$Z_g = Z_l^*$
$\gamma_g = -\gamma_l^*$

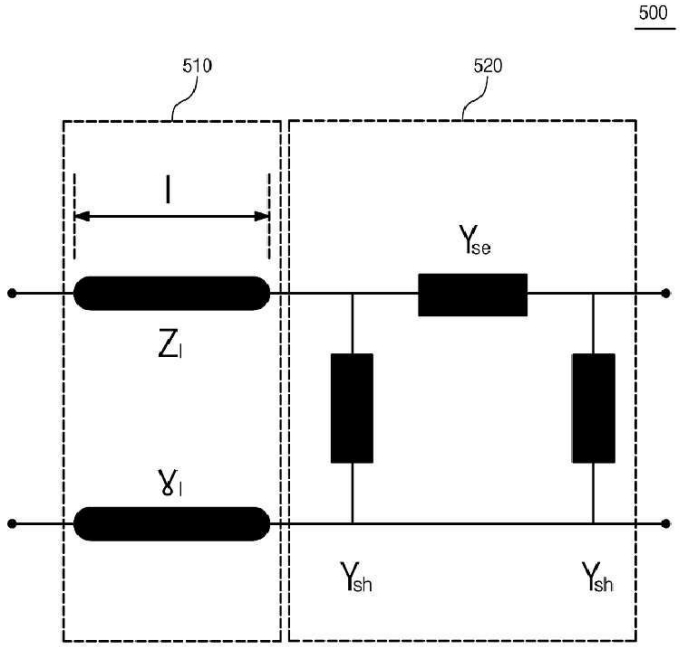
도면3


300
310
320
330
340
350
360
l
l_1
l_1
Z_l
Z_1
Z_1
Y_l
Y_1
Y_1
Y_{s1}
Y_{s2}
Y_{s1}

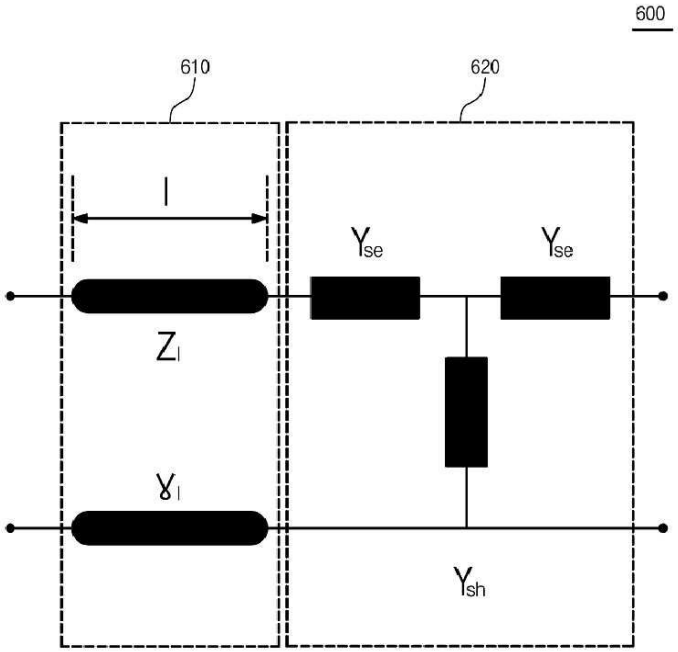
도면4


400
410
420
430
440
l
l1≠l
Zl
Z1
Yl
Y1
Ys
Ys

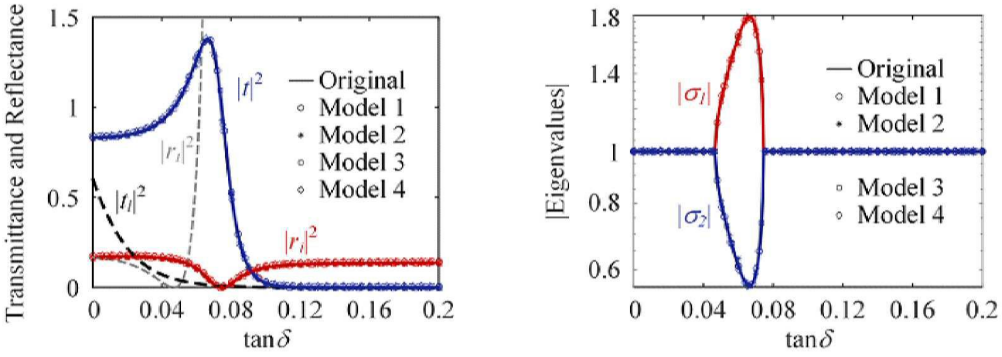
도면5


500
510
520
l
Yse
Zl
Yl
Ysh
Ysh

도면6

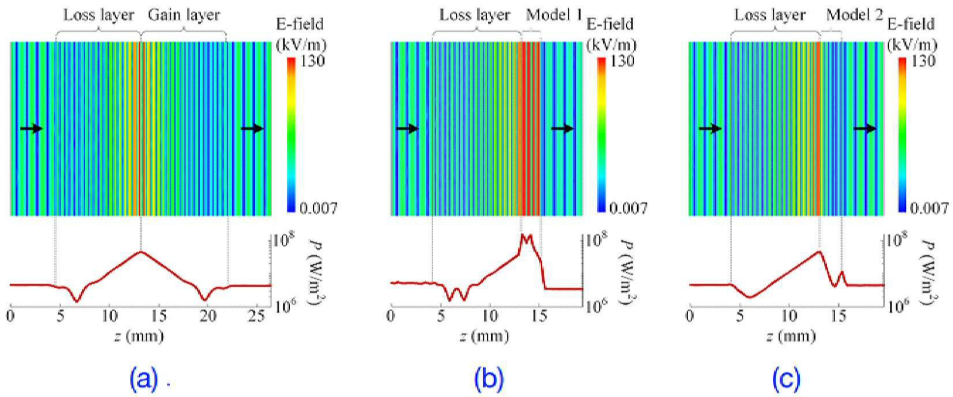


도면7



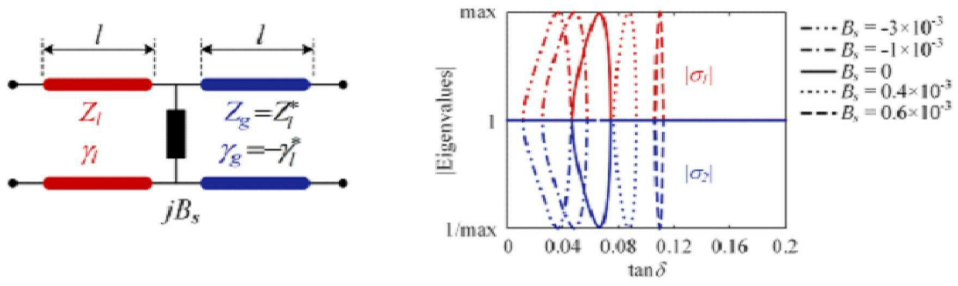
(a) 전파 반사도 및 투과도 (b) 산란 행렬의 고유값

도면8



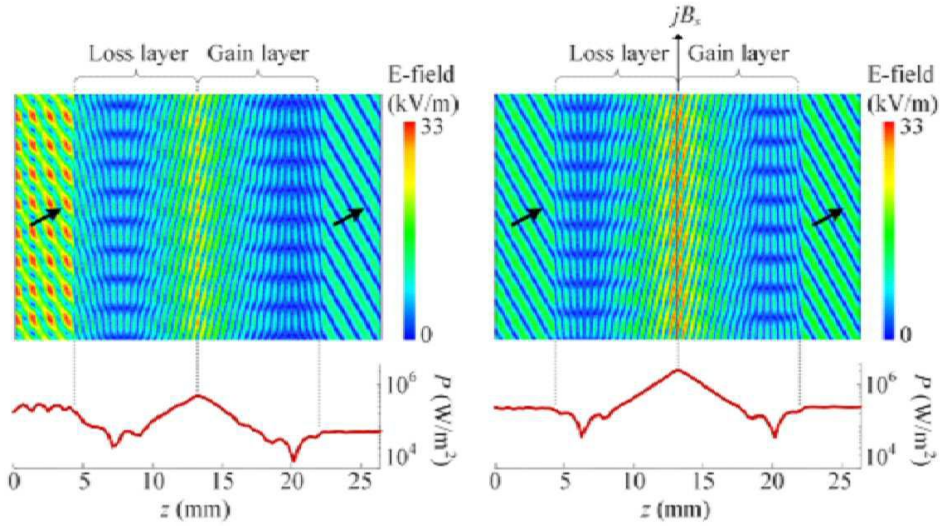
(a) (b) (c)

도면9



(a)어드미턴스 추가 모델　　(b) 어드미턴스 변화에 따른 특이점 변화

도면10



(a) Oblique 입사에 의한 왜곡　　(b) 서셉턴스 보상에 따른 분포