



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0108439
(43) 공개일자 2015년09월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01B 11/18 (2006.01) H01B 7/30 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-0030776
(22) 출원일자 2014년03월17일
심사청구일자 2014년03월17일

(71) 출원인
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 신선로 365 (용당동,
부경대학교)
(72) 발명자
전성준
부산 해운대구 좌동순환로99번길 22, 103동 502호
(좌동, 경남아너스빌)
윤우열
대전 유성구 어은로 57, 137동 207호 (어은동, 한
빛아파트)
(74) 대리인
이철희

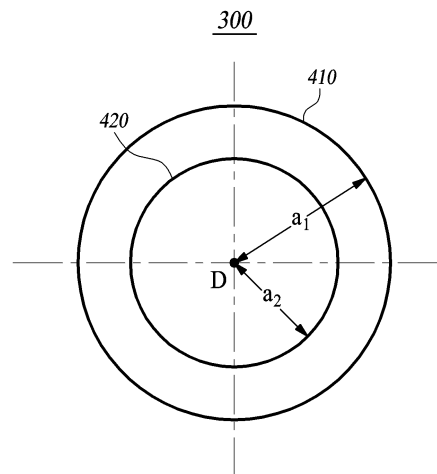
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 동축형 교류케이블

(57) 요약

본 발명의 일 실시예는, 케이블의 도체의 단면에 흐르는 전류밀도가 균일한 동축형 교류케이블 제조방법에 관한 것이다.

대표도 - 도4



명세서

청구범위

청구항 1

N(N은 2 이상의 자연수) 개의 층케이블을 포함하는 동축형 교류케이블에 있어서,

제K(K는 자연수, $1 < K \leq N$)층케이블은,

반지름(a_K)을 갖는 통형의 제K층 내부도체, 상기 제K층 내부도체의 외면을 둘러싸고 두께(d_K)와 유전율(ϵ_K)을 갖는 제K층 도체간유전체 및 상기 제K층 도체간유전체의 외면을 둘러싸는 제K층 외부도체를 구비하고,

제1층케이블은,

반지름(a_1)을 갖는 통형의 제1층 내부도체, 상기 제1층 내부도체의 외면을 둘러싸고 두께(d_1)와 유전율(ϵ_1)을 갖는 제1층 도체간유전체 및 상기 제1층 도체간유전체의 외면을 둘러싸는 제1층 외부도체를 구비하는 것을 특징으로 하는 동축형 교류케이블.

청구항 2

제1항에 있어서,

N은 2이고,

제1반지름(a_1)을 갖는 통형의 제1층 내부도체, 상기 제1층 내부도체의 외면을 둘러싸고 두께(d_1)와 유전율(ϵ_1)을 갖는 제1층 도체간유전체 및 상기 제1층 도체간유전체의 외면을 둘러싸는 제1층 외부도체를 구비하는 제1층 케이블; 및

제2반지름(a_2)을 갖는 통형의 제2층 내부도체, 상기 제2층 내부도체의 외면을 둘러싸고 두께(d_2)와 유전율(ϵ_2)을 갖는 제2층 도체간유전체 및 상기 제2층 도체간유전체의 외면을 둘러싸는 제2층 외부도체를 구비하는 제2층 케이블을 포함하는 것을 특징으로 하는 동축형 교류케이블.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 제1층 도체간유전체의 두께(d_1)가 수학식

$$d_1 = 2\pi\epsilon_1\omega^2 L_1(a_1 + a_2)$$

(ω 는 상기 제1층케이블 및 상기 제2층케이블에 인가되는 신호의 각주파수, L_1 은 상기 제1층케이블의 등가 인덕턴스를 의미)

에 의하여 정해지고,

상기 제2층 도체간유전체의 두께(d_2)가 수학식

$$d_2 = 2\pi\epsilon_2\omega^2(a_1L_1 + a_2L_2)$$

(ω 는 상기 제1층케이블 및 상기 제2층케이블에 인가되는 신호의 각주파수, L_1 은 상기 제1층케이블의 등가 인덕턴스, L_2 는 상기 제2층케이블의 등가 인덕턴스를 의미)

에 의하여 정해지는 것을 특징으로 하는 동축형 교류케이블.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 제1층 도체간유전체의 유전율(ϵ_1)이 수학식

$$\epsilon_1 = \frac{d_1}{2\pi\omega^2 L_1(a_1 + a_2)}$$

(ω 는 상기 동축형 교류케이블의 동작 각주파수, L_1 은 상기 제1층케이블의 등가 인덕턴스를 의미)

에 의하여 정해지고,

상기 제2층 도체간유전체의 유전율(ϵ_2)이 수학식

$$\epsilon_2 = \frac{d_2}{2\pi\omega^2(a_1 L_1 + a_2 L_2)}$$

(ω 는 상기 동축형 교류케이블의 동작 각주파수, L_1 은 상기 제1층케이블의 등가 인덕턴스, L_2 는 상기 제2층케이블의 등가 인덕턴스를 의미)

에 의하여 정해지는 것을 특징으로 하는 동축형 교류케이블.

청구항 5

제2항에 있어서,

상기 제1층 내부도체의 두께(t_1)와 상기 제2층 내부도체의 두께(t_2)의 비율(t_1/t_2)이 수학식

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{\epsilon_1 L_1(a_1 + a_2)}{\epsilon_2(a_1 L_1 + a_2 L_2)}$$

(L_1 은 상기 제1층케이블의 등가 인덕턴스, L_2 는 상기 제2층케이블의 등가 인덕턴스를 의미)

에 의하여 정해지는 것을 특징으로 하는 동축형 교류케이블.

청구항 6

제2항에 있어서,

상기 제1층 외부도체의 두께(t_1)와 상기 제2층 외부도체의 두께(t_2)의 비율(t_1/t_2)이 수학식

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{\epsilon_1 L_1(a_1 + a_2)}{\epsilon_2(a_1 L_1 + a_2 L_2)}$$

(L_1 은 상기 제1층케이블의 등가 인덕턴스, L_2 는 상기 제2층케이블의 등가 인덕턴스를 의미)

에 의하여 정해지는 것을 특징으로 하는 동축형 교류케이블.

청구항 7

제2항에 있어서,

상기 제1층 내부도체 및 상기 제1층 외부도체의 두께의 합(t_1)과 상기 제2층 내부도체 및 상기 제2층 외부도체의 두께의 합(t_2)의 비율(t_1/t_2)이 수학식

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{\varepsilon_1 L_1 (a_1 + a_2)}{\varepsilon_2 (a_1 L_1 + a_2 L_2)}$$

(L_1 은 상기 제1층케이블의 등가 인덕턴스, L_2 는 상기 제2층케이블의 등가 인덕턴스를 의미)

에 의하여 정해지는 것을 특징으로 하는 동축형 교류케이블.

청구항 8

통형의 내부도체, 상기 내부도체의 외면을 둘러싸는 도체간유전체 및 상기 도체간유전체의 외면을 둘러싸는 외부도체를 구비하는 층케이블을 복수 개 포함하되, 상기 층케이블의 두께가 모두 동일한 동축형 교류케이블의 제조방법에 있어서,

상기 동축형 교류케이블을 경유하여 전송되는 전류의 전류용량을 입력받는 과정;

상기 전류용량을 근거로 상기 동축형 교류케이블의 반경을 계산하는 과정;

상기 동축형 교류케이블의 포설형상을 입력받는 과정;

상기 동축형 교류케이블을 경유하여 전송되는 전류의 동작주파수를 입력받는 과정;

상기 동작주파수를 근거로 상기 층케이블의 두께를 계산하는 과정;

상기 반경 및 상기 두께를 근거로 층케이블의 개수를 계산하는 과정;

상기 층케이블 각각을 경유하여 전송되는 전류의 크기를 계산하는 과정;

상기 층케이블 각각의 등가 인덕턴스를 계산하는 과정;

상기 층케이블 각각의 정전용량을 계산하는 과정; 및

상기 층케이블 각각의 정전용량을 근거로 상기 층케이블 각각에 구비되는 도체간유전체의 두께를 계산하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 동축형 교류케이블의 제조방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 전류의 크기를 계산하는 과정, 상기 등가 인덕턴스를 계산하는 과정, 상기 정전용량을 계산하는 과정 및 상기 도체간유전체의 두께를 계산하는 과정은, 상기 층케이블 하나마다 순차적으로 수행되는 것을 특징으로 하는 동축형 교류케이블의 제조방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 전류의 크기를 계산하는 과정, 상기 등가 인덕턴스를 계산하는 과정, 상기 정전용량을 계산하는 과정 및 상기 도체간유전체의 두께를 계산하는 과정은, 상기 층케이블 중 최외곽에 위치하는 층케이블로부터 상기 층케이블 중 최중심에 위치하는 층케이블에 이르는 순서로 수행되는 것을 특징으로 하는 동축형 교류케이블의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명의 실시예는 동축형 교류케이블에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 이 부분에 기술된 내용은 단순히 본 발명의 실시예에 대한 배경 정보를 제공할 뿐 종래기술을 구성하는 것은 아니다.

[0003] 도 1에 도시된 바와 같이 전원(110)에서 부하(120)로 전력을 전달하는 데 사용할 수 있는 케이블은 내부에서 1회 이상 굽어진 도체로 구성되며, 이와 같이 내부에서 1회 이상 굽어진 도체로 구성되는 교류케이블(100)은 직류에서보다는 교류에서 더 작은 임피던스를 보이므로 교류전력의 전송에 더욱 적합하다. 이는 교류케이블(100)에서는 도체가 갖는 인덕턴스와 상호 단절된 도체 사이에 존재하는 정전용량(Capacitance)이 서로 상쇄되어 임피던스가 최소가 되기 때문이다.

[0004] 교류케이블은 연선형 교류케이블과 동축형 교류케이블로 대별된다. 이 가운데 도 2에 도시된 동축형 교류케이블을 동일한 두께를 갖는 도체(220, 240)와 동일한 유전율 및 동일한 두께를 갖는 유전체(230)를 사용하여 다층 구조로 제조하게 되면 표피효과(Skin Effect)로 인해 각 층을 이루는 도체에 흐르는 전류밀도가 균일하지 않게 될 수 있는 단점이 상존한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명의 실시예는, 케이블의 도체의 단면에 흐르는 전류밀도가 균일한 동축형 교류케이블 제조방법을 제공하는 데 주된 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명의 일 실시예는, N (N 은 2 이상의 자연수) 개의 층케이블을 포함하는 동축형 교류케이블에 있어서, 제 K (K 는 자연수, $1 < K \leq N$)층케이블은, 반지름(a_K)을 갖는 통형의 제 K 층 내부도체, 상기 제 K 층 내부도체의 외면을 둘러싸고 두께(d_K)와 유전율(ϵ_K)을 갖는 제 K 층 도체간유전체 및 상기 제 K 층 도체간유전체의 외면을 둘러싸는 제 K 층 외부도체를 구비하고, 제1층케이블은, 반지름(a_1)을 갖는 통형의 제1층 내부도체, 상기 제1층 내부도체의 외면을 둘러싸고 두께(d_1)와 유전율(ϵ_1)을 갖는 제1층 도체간유전체 및 상기 제1층 도체간유전체의 외면을 둘러싸는 제1층 외부도체를 구비하는 것을 특징으로 하는 동축형 교류케이블을 제공한다.

[0007] N 은 2이고, 제1반지름(a_1)을 갖는 통형의 제1층 내부도체, 상기 제1층 내부도체의 외면을 둘러싸고 두께(d_1)와 유전율(ϵ_1)을 갖는 제1층 도체간유전체 및 상기 제1층 도체간유전체의 외면을 둘러싸는 제1층 외부도체를 구비하는 제1층케이블; 및 제2반지름(a_2)을 갖는 통형의 제2층 내부도체, 상기 제2층 내부도체의 외면을 둘러싸고 두께(d_2)와 유전율(ϵ_2)을 갖는 제2층 도체간유전체 및 상기 제2층 도체간유전체의 외면을 둘러싸는 제2층 외부도체를 구비하는 제2층케이블을 포함할 수 있다.

[0008] 상기 제1층 도체간유전체의 두께(d_1)가 수학식

$$d_1 = 2\pi\epsilon_1\omega^2 L_1(a_1 + a_2)$$

[0009]

[0010] (ω 는 상기 제1층케이블 및 상기 제2층케이블에 인가되는 신호의 각주파수, L_1 은 상기 제1층케이블의 등가 인덕턴스를 의미)에 의하여 정해지고,

[0011] 상기 제2층 도체간유전체의 두께(d_2)가 수학식

$$d_2 = 2\pi\epsilon_2\omega^2(a_1 L_1 + a_2 L_2)$$

[0012]

[0013] (ω 는 상기 제1층케이블 및 상기 제2층케이블에 인가되는 신호의 각주파수, L_1 은 상기 제1층케이블의 등가 인덕

턴스, L_2 는 상기 제2층케이블의 등가 인덕턴스를 의미)에 의하여 정해질 수 있다.

상기 제1층 도체간유전체의 유전율(ϵ_1)이 수학식

$$\epsilon_1 = \frac{d_1}{2\pi\omega^2 L_1(a_1 + a_2)}$$

(ω 는 상기 동축형 교류케이블의 동작 각주파수, L_1 은 상기 제1층케이블의 등가 인덕턴스를 의미)에 의하여 정해지고,

상기 제2층 도체간유전체의 유전율(ϵ_2)이 수학식

$$\epsilon_2 = \frac{d_2}{2\pi\omega^2(a_1 L_1 + a_2 L_2)}$$

(ω 는 상기 동축형 교류케이블의 동작 각주파수, L_1 은 상기 제1층케이블의 등가 인덕턴스, L_2 는 상기 제2층케이블의 등가 인덕턴스를 의미)에 의하여 정해질 수 있다.

상기 제1층 내부도체의 두께(t_1)와 상기 제2층 내부도체의 두께(t_2)의 비율(t_1/t_2)이 수학식

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{\epsilon_1 L_1(a_1 + a_2)}{\epsilon_2(a_1 L_1 + a_2 L_2)}$$

(L_1 은 상기 제1층케이블의 등가 인덕턴스, L_2 는 상기 제2층케이블의 등가 인덕턴스를 의미)에 의하여 정해질 수 있다.

상기 제1층 외부도체의 두께(t_1)와 상기 제2층 외부도체의 두께(t_2)의 비율(t_1/t_2)이 수학식

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{\epsilon_1 L_1(a_1 + a_2)}{\epsilon_2(a_1 L_1 + a_2 L_2)}$$

(L_1 은 상기 제1층케이블의 등가 인덕턴스, L_2 는 상기 제2층케이블의 등가 인덕턴스를 의미)에 의하여 정해질 수 있다.

상기 제1층 내부도체 및 상기 제1층 외부도체의 두께의 합(t_1)과 상기 제2층 내부도체 및 상기 제2층 외부도체의 두께의 합(t_2)의 비율(t_1/t_2)이 수학식

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{\epsilon_1 L_1(a_1 + a_2)}{\epsilon_2(a_1 L_1 + a_2 L_2)}$$

(L_1 은 상기 제1층케이블의 등가 인덕턴스, L_2 는 상기 제2층케이블의 등가 인덕턴스를 의미)에 의하여 정해질 수 있다.

또한, 본 발명의 실시예의 다른 측면에 의하면, 통형의 내부도체, 상기 내부도체의 외면을 둘러싸는 도체간유전체 및 상기 도체간유전체의 외면을 둘러싸는 외부도체를 구비하는 층케이블을 복수 개 포함하되, 상기 층케이블의 두께가 모두 동일한 동축형 교류케이블의 제조방법에 있어서, 상기 동축형 교류케이블을 경유하여 전송되는

전류의 전류용량을 입력받는 과정; 상기 전류용량을 근거로 상기 동축형 교류케이블의 반경을 계산하는 과정; 상기 동축형 교류케이블의 포설형상을 입력받는 과정; 상기 동축형 교류케이블을 경유하여 전송되는 전류의 동작주파수를 입력받는 과정; 상기 동작주파수를 근거로 상기 층케이블의 두께를 계산하는 과정; 상기 반경 및 상기 두께를 근거로 층케이블의 개수를 계산하는 과정; 상기 층케이블 각각을 경유하여 전송되는 전류의 크기를 계산하는 과정; 상기 층케이블 각각의 등가 인덕턴스를 계산하는 과정; 상기 층케이블 각각의 정전용량을 계산하는 과정; 및 상기 층케이블 각각의 정전용량을 근거로 상기 층케이블 각각에 구비되는 도체간유전체의 두께를 계산하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 동축형 교류케이블의 제조방법을 제공한다.

[0030] 상기 전류의 크기를 계산하는 과정, 상기 등가 인덕턴스를 계산하는 과정, 상기 정전용량을 계산하는 과정 및 상기 도체간유전체의 두께를 계산하는 과정은, 상기 층케이블 하나마다 순차적으로 수행될 수 있다.

[0031] 상기 전류의 크기를 계산하는 과정, 상기 등가 인덕턴스를 계산하는 과정, 상기 정전용량을 계산하는 과정 및 상기 도체간유전체의 두께를 계산하는 과정은, 상기 층케이블 중 최외곽에 위치하는 층케이블로부터 상기 층케이블 중 최중심에 위치하는 층케이블에 이르는 순서로 수행될 수 있다.

발명의 효과

[0032] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 동축형 교류케이블에 구비된 도체의 단면에서의 전류밀도가 균일하도록 하여 표피효과를 제거할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0033] 도 1은 종래기술의 교류케이블의 개념을 나타낸 도면이다.

도 2는 종래기술의 동축형 교류케이블의 구조를 나타낸 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 동축형 교류케이블이 원형으로 포설된 형상을 나타낸 도면이다.

도 4는 도 3에서 A-A' 방향의 단면도이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 동축형 교류케이블의 구조를 상세하게 나타낸 도면이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 동축형 교류케이블의 등가회로를 나타낸 도면이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 동축형 교류케이블의 제조방법을 설명하기 위한 순서도이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 동축형 교류케이블의 실험결과를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0034] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0035] 각 도면의 구성요소들에 참조부호를 부가함에 있어서, 동일한 구성요소들에 대해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 부호를 가지도록 하고 있음에 유의해야 한다. 또한, 본 발명을 설명함에 있어, 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략한다.

[0036] 또한, 본 발명의 구성 요소를 설명하는 데 있어서, 제 1, 제 2, A, B, (a), (b) 등의 용어를 사용할 수 있다. 이러한 용어는 그 구성 요소를 다른 구성 요소와 구별하기 위한 것일 뿐, 그 용어에 의해 해당 구성 요소의 본질이나 차례 또는 순서 등이 한정되지 않는다. 어떤 구성 요소가 다른 구성요소에 "연결", "결합" 또는 "접속"된다고 기재된 경우, 그 구성 요소는 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되거나 또는 접속될 수 있지만, 각 구성 요소 사이에 또 다른 구성 요소가 "연결", "결합" 또는 "접속"될 수도 있다고 이해되어야 할 것이다.

[0037] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 동축형 교류케이블(300)이 원형으로 포설된 형상을 나타낸 도면이고, 도 4는 도 3에서 A-A' 방향의 단면도이다. 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 동축형 교류케이블(300)의 구조를 상세하게 나타낸 도면이며, 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 동축형 교류케이블(300)의 등가회로를 나타낸 도면이다.

[0038] 이하, 도 3 내지 6을 함께 참조하면서 본 발명의 일 실시예에 따른 동축형 교류케이블(300)의 구조 및 동작에 대하여 설명하기로 한다.

[0039] 본 발명의 일 실시예에 따른 동축형 교류케이블(300)은 제1층케이블(410) 및 제2층케이블(420)을 포함하여 구성될 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 동축형 교류케이블(300)을 설명함에 있어서 동축형 교류케이블(300)이 두 개의 층으로 형성된 경우를 예로 들어 설명하지만 이에 한정되는 것은 아니다.

[0040] 도 3에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 동축형 교류케이블(300)은 중심(C)으로부터 반지름이 b 인 원의 형상으로 포설될 수 있다. 도 4에 도시된 바와 같이, 제1층케이블(410)은 도 3의 A-A' 방향의 단면의 중심(D)로부터 반경이 a_1 인 위치에 원통형으로 형성되고, 제2층케이블(420)은 중심(D)로부터 반경이 a_2 인 위치에 원통형으로 형성될 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 동축형 교류케이블(300)의 구성 및 동작을 설명함에 있어서, 동축형 교류케이블(300)이 원의 형상으로 포설되는 경우를 예로 들어 설명하지만 이에 한정되지는 않는다.

[0041] 도 5에 도시된 바와 같이, 제1층케이블(410)은 제1층 외부도체(411), 제1층 내부도체(412) 및 제1층 도체간유전체(413)를 포함하여 구성된다. 제2층케이블은 제2층 외부도체(421), 제2층 내부도체(422) 및 제2층 도체간유전체(423)를 포함하여 구성된다. 제1층케이블(410)은 제2층케이블(420)보다 중심(D)으로부터 더 멀리, 즉, 동축형 교류케이블(300)의 외곽 쪽에 위치한다. 제1층 외부도체(411), 제1층 내부도체(412), 제2층 외부도체(421) 및 제2층 내부도체(422)의 재료로는 구리, 알루미늄, 은 및 구리합금 등이 사용될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니며, 각 도체(411, 412, 421, 422)는 서로 동일한 재료가 사용되는 것이 바람직하나 이에 한정되지는 않는다.

[0042] 제1층 외부도체(411)와 제1층 내부도체(412)가 상호 겹쳐지는 부분 및 제2층 외부도체(411)와 제2층 내부도체(412)가 상호 겹쳐진 부분과 같이 도체의 끊어짐 없이 연속되게 서로 겹쳐진 부분을 세그먼트(Segment)라고 정의한다. 본 발명의 일 실시예에 따른 동축형 교류케이블(300)의 구성 및 동작을 설명함에 있어서, 도 5에 도시된 바와 같이 제1층케이블(410) 및 제2층케이블(420) 모두가 각각 한 개의 세그먼트로 구성되는 경우를 예로 들어 설명하지만 이에 한정되는 것은 아니다.

[0043] 교류케이블을 동축 형태로 제작할 때에 동일한 유전율을 갖는 유전체의 두께를 동일하게 제작하면 전류는 균일하게 흐르지 못하고 케이블 외곽 쪽으로 많이 흐르게 된다. 도 3에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 동축형 교류케이블(300)을 원형으로 포설하여 중심(C)으로부터 반지름이 b 인 코일을 형성하면, 제1층케이블(410) 및 제2층케이블(420)은 도 6에 도시된 등가회로와 같이 상호 결합된 두 개의 인덕터모델(610, 620)로 해석할 수 있다. 두 층에서의 전류밀도가 균일하다고 가정하면, 내부 층에 위치하는 제2층케이블(420)에 유기되는 전압이 높아 정전용량(Capacitance)을 적절하게 설계하지 않으면 전류는 외부 층에 위치하는 제1층케이블(410)로 편중되어 흐른다.

[0044] 제1층케이블(410) 및 제2층케이블(420)을 각각의 층케이블(410, 420)의 단말에서 서로 연결하지 않은 채로 제1층케이블(410) 및 제2층케이블(420) 각각에 전류를 흘렸을 때, 제1층케이블(410)을 경유하여 흐르는 전류를 제1층케이블전류(I_1)라 하고 제2층케이블(420)을 경유하여 흐르는 전류를 제2층케이블전류(I_2)라 하면, 제1층케이블(410)의 단자전압(V_1)은 수학식 1과 같이 주어지고, 제2층케이블(420)의 단자전압(V_2)은 수학식 2와 같이 주어진다.

수학식 1

$$V_1 = j\omega L_1 I_1 + r_1 I_1 + j\omega M I_2 + \frac{1}{j\omega C_{r1}} I_1$$

[0045]

수학식 2

$$V_2 = j\omega M I_1 + r_2 I_2 + j\omega L_2 I_2 + \frac{1}{j\omega C_{r2}} I_2$$

[0046]

[0047]

제1층케이블(410)에 의해 생성되는 자속은 모두 제2층케이블(420)과 쇄교하므로, 제1층케이블(410)의 등가 인덕턴스(L_1)는 제1층케이블(410)과 제2층케이블(420)의 상호 인덕턴스(M)와 같다. 여기서, 제1층 케이블전류(I_1) 및 제2층 케이블전류(I_2)가 합쳐진 전류를 동축케이블전류(I)라고 하면, 수학식 1 및 수학식 2는 각각 수학식 3 및 수학식 4와 같아지게 된다.

수학식 3

[0048]

$$V_1 = j\omega L_1 I + r_1 I_1 + \frac{1}{j\omega C_{r1}} I_1$$

수학식 4

[0049]

$$V_2 = j\omega L_1 I + r_2 I_2 + j\omega (L_2 - L_1) I_2 + \frac{1}{j\omega C_{r2}} I_2$$

[0050]

만약, 제1층 케이블전류(I_1), 제2층 케이블전류(I_2) 및 동축케이블전류(I)가 모두 동상(In-Phase)이고, 제1층 외부도체(411), 제1층 내부도체(412), 제2층 외부도체(421) 및 제2층 내부도체(422)의 두께가 모두 동일하며, 각 도체(411, 412, 421, 422)에서의 전류밀도가 모두 동일하다고 가정하면, 제1층 케이블전류(I_1)는 수학식 5와 같이 주어지고, 제2층 케이블전류(I_2)는 수학식 6과 같이 주어진다.

수학식 5

[0051]

$$I_1 = I \frac{a_1}{a_1 + a_2}$$

수학식 6

[0052]

$$I_2 = I \frac{a_2}{a_1 + a_2}$$

[0053]

수학식 5 및 수학식 6을 수학식 3과 수학식 4에 대입하여 정리하면 수학식 7 및 수학식 8과 같아진다.

수학식 7

[0054]

$$V_1 = j\omega L_1 I + r_1 I_1 + \frac{1}{j\omega C_{r1}} I \frac{a_1}{a_1 + a_2}$$

수학식 8

$$V_2 = j\omega L_1 I + r_2 I_2 + j\omega(L_2 - L_1) \frac{a_2 I}{a_1 + a_2} + \frac{1}{j\omega C_{r2}} \frac{a_2 I}{a_1 + a_2}$$

제1층케이블 및 제2층케이블에서 완전한 공진이 이루어지는 즉, 수학식 7 및 수학식 8에서 허수부가 제거되기 위한 조건은 수학식 9 및 수학식 10과 같다.

수학식 9

$$\omega L_1 = \frac{1}{\omega C_{r1}} \frac{a_1}{a_1 + a_2}$$

수학식 10

$$\omega(a_1 L_1 + a_2 L_2) = \frac{a_2}{\omega C_{r2}}$$

제1층 도체간유전체(413) 및 제2층 도체간유전체(423)의 유전율이 각각 ϵ_1 및 ϵ_2 이며, 제1층 도체간유전체(413) 및 제2층 도체간유전체(423)의 두께가 각각 d_1 및 d_2 이고, d_1 및 d_2 가 반경 a_1 또는 a_2 에 비해 매우 작다고 가정하자. 제1층케이블(410) 및 제2층케이블(420) 각각의 정전용량(Capacitance) C_{r1} 및 C_{r2} 는 수학식 11 및 수학식 12에 의해 주어진다.

수학식 11

$$C_{r1} = \frac{2\pi a_1 \epsilon_1}{d_1}$$

수학식 12

$$C_{r2} = \frac{2\pi a_2 \epsilon_2}{d_2}$$

수학식 9 내지 12에 의해 제1층 도체간유전체(413)의 두께(d_1) 및 제2층 도체간유전체(423)의 두께(d_2)는 수학식 13 및 수학식 14와 같이 각각 정해진다.

수학식 13

$$d_1 = 2\pi\epsilon_1\omega^2 L_1(a_1 + a_2)$$

수학식 14

$$d_2 = 2\pi\epsilon_2\omega^2(a_1L_1 + a_2L_2)$$

도 3에 도시된 바와 같이, 중심(C)로부터 반경 b를 이루는 원의 형태로 포설된 동축형 교류케이블(300)에 있어서, 제1층케이블(410)의 등가 인덕턴스(L_1) 및 제1층케이블(410)의 등가 인덕턴스(L_2)는 각각 수학식 15 및 수학식 16과 같이 주어지고, 제1층케이블(410)의 등가 인덕턴스(L_1) 및 제1층케이블(410)의 등가 인덕턴스(L_2)의 차이(ΔL)는 수학식 17과 같다.

수학식 15

$$L_1 = \mu_o b \left(\ln \frac{8b}{a_1} - 2 \right)$$

수학식 16

$$L_2 = \mu_o b \left(\ln \frac{8b}{a_2} - 2 \right)$$

수학식 17

$$\Delta L = L_2 - L_1 = \mu_o b \ln \frac{a_1}{a_2}$$

수학식 13 및 수학식 14에 보여진 바와 같이, 완전한 공진을 위해서는 제1층 도체간유전체(413)의 두께(d_1)와 제2층 도체간유전체(423)의 두께(d_2)가 서로 달라야 한다. 완전공진의 경우 제1층케이블(410)의 단자전압(V_1)은 수학식 18과 같이 주어지고, 제2층케이블(420)의 단자전압(V_2)은 수학식 19와 같이 주어진다.

수학식 18

$$V_1 = r_1 I_1 = I r_1 \frac{a_1}{a_1 + a_2}$$

[0070]

수학식 19

$$V_2 = r_2 I_2 = I r_2 \frac{a_2}{a_1 + a_2}$$

[0071]

[0072]

제1층케이블(410)의 내부저항(r_1) 및 제2층케이블(420)의 내부저항(r_2)은 도체(411, 412, 421, 422)의 두께가 모두 같으면 반경(a_1 , a_2)에 반비례하므로 제1층케이블(410)의 단자전압(V_1)과 제2층케이블(420)의 단자전압(V_2)은 같아진다.

[0073]

이와 같이, 제1층 도체간유전체(413)의 두께(d_1) 및 제2층 도체간유전체(423)의 두께(d_2)를 수학식 13 및 수학식 14에 의해 정하면 동축형 교류케이블(300)의 각 도체(411, 412, 421, 422)에서 전류밀도가 균일해진다.

[0074]

본 발명의 일 실시예에 따른 동축형 교류케이블(300)의 각 도체에서의 전류밀도를 균일하게 하기 위한 다른 방법으로는, 제1층 도체간유전체(413)의 유전율(ϵ_1)과 제2층 도체간유전체(423)의 두께(ϵ_2)가 수학식 20 및 수학식 21에 의해 정해지도록 함으로써, 동축형 교류케이블(300)의 각 도체(411, 412, 421, 422)에서 전류밀도가 균일하게 되도록 할 수 있다.

수학식 20

$$\epsilon_1 = \frac{d_1}{2\pi\omega^2 L_1 (a_1 + a_2)}$$

[0075]

수학식 21

$$\epsilon_2 = \frac{d_2}{2\pi\omega^2 (a_1 L_1 + a_2 L_2)}$$

[0076]

[0077]

제1층 외부도체(411) 및 제1층 내부도체(412)의 두께를 t_1 라 하고 제2층 외부도체(421) 및 제2층 내부도체(422)의 두께를 t_2 라 하면 수학식 5 및 수학식 6은 각각 수학식 22 및 수학식 23과 같이 변형된다.

수학식 22

$$\mathbf{I}_1 = \mathbf{I} \frac{a_1}{a_1 + a_2} \frac{t_1}{t_1 + t_2}$$

[0078]

수학식 23

$$\mathbf{I}_2 = \mathbf{I} \frac{a_2}{a_1 + a_2} \frac{t_2}{t_1 + t_2}$$

[0079]

[0080]

본 발명의 일 실시예에 따른 동축형 교류케이블(300)의 각 도체에서의 전류밀도를 균일하게 하기 위한 또 다른 방법으로는, 제1층 외부도체(411) 및 제1층 내부도체(412)의 두께(t_1)와 제2층 외부도체(421) 및 제2층 내부도체(422)의 두께(t_2)의 비율(t_1/t_2)이 수학식 24에 의해 정해지도록 함으로써 본 발명의 일 실시예에 따른 동축형 교류케이블(300)의 각 도체(411, 412, 421, 422)에서 전류밀도가 균일하게 되도록 할 수 있다.

수학식 24

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{\varepsilon_1 L_1 (a_1 + a_2)}{\varepsilon_2 (a_1 L_1 + a_2 L_2)}$$

[0081]

[0082]

본 발명의 일 실시예에 따른 동축형 교류케이블(300)이 n 개의 층케이블(미도시)을 포함하여 구성되는 경우를 생각해 보자. 앞에서 설명한 두 개의 층케이블로 이루어진 동축형 교류케이블(300)의 경우와 같이, 각 층케이블 양끝의 도체를 서로 연결하지 않고 전류를 각 층케이블에 별도로 흘려 각 층에서의 전압을 구하면 수학식 25와 같이 주어진다.

수학식 25

$$\begin{aligned} \mathbf{V}_1 &= j\omega L_1 \mathbf{I}_1 + r_1 \mathbf{I}_1 + \frac{1}{j\omega C_{r1}} \mathbf{I}_1 + j\omega M_{12} \mathbf{I}_2 + \cdots + j\omega M_{1n} \mathbf{I}_n \\ \mathbf{V}_2 &= j\omega M_{21} \mathbf{I}_1 + r_2 \mathbf{I}_2 + j\omega L_2 \mathbf{I}_2 + \frac{1}{j\omega C_{r2}} \mathbf{I}_2 + \cdots + j\omega M_{2n} \mathbf{I}_n \\ &\vdots \\ \mathbf{V}_k &= j\omega M_{k1} \mathbf{I}_1 + \cdots + r_k \mathbf{I}_k + j\omega L_k \mathbf{I}_k + \frac{1}{j\omega C_{rk}} \mathbf{I}_k + \cdots + j\omega M_{kn} \mathbf{I}_n \\ &\vdots \\ \mathbf{V}_n &= j\omega M_{n1} \mathbf{I}_1 + \cdots + j\omega M_{nk-1} \mathbf{I}_{k-1} + r_n \mathbf{I}_n + j\omega L_n \mathbf{I}_n + \frac{1}{j\omega C_{rn}} \mathbf{I}_n \end{aligned}$$

[0083]

[0084] 동축형 교류케이블(300)의 중심으로부터 멀리 떨어진 곳에 위치하는 층케이블(i층케이블)에 의해 만들어지는 자속은 모두 중심과 가까운 곳에 위치하는 층케이블(j층케이블)과 쇄교하므로, 각 층케이블 사이의 상호 인덕턴스는 수학식 26과 같이 주어진다. 즉, 동축형 교류케이블(300)의 중심으로부터 멀리 떨어진 곳에 위치하는 i층케이블의 등가 인덕턴스(L_i)는 i층케이블과 j층케이블 사이의 상호 인덕턴스(M_{ij}, M_{ji})와 값이 같다.

수학식 26

$$M_{ij} = M_{ji} = L_i \text{ for } i < j$$

[0085]

[0086] 수학식 26을 수학식 25에 대입하여 수학식 25를 정리하면 수학식 27과 같이 정리된다.

수학식 27

$$\begin{aligned} V_1 &= j\omega L_1 \sum_{i=1}^n I_i + r_1 I_1 + \frac{1}{j\omega C_{r1}} I_1 \\ V_2 &= j\omega L_1 I_1 + j\omega L_2 \sum_{i=2}^n I_i + r_2 I_2 + \frac{1}{j\omega C_{r2}} I_2 \\ &\vdots \\ V_k &= j\omega \sum_{i=1}^{k-1} L_i I_i + j\omega L_k \sum_{i=k}^n I_i + r_k I_k + \frac{1}{j\omega C_{rk}} I_k \\ &\vdots \\ V_n &= j\omega \sum_{i=1}^{n-1} L_i I_i + j\omega L_n I_n + r_n I_n + \frac{1}{j\omega C_{rn}} I_n \end{aligned}$$

[0087]

[0088] 각 층케이블에서 완전한 공진이 이루어지는 즉, 수학식 27에서 허수부가 제거되기 위한 조건은 수학식 28과 같다.

수학식 28

$$\begin{aligned} \omega L_1 \sum_{i=1}^n \mathbf{I}_i &= \frac{1}{\omega C_{r1}} \mathbf{I}_1 \\ \omega \left(L_1 \mathbf{I}_1 + L_2 \sum_{i=2}^n \mathbf{I}_i \right) &= \frac{1}{\omega C_{r2}} \mathbf{I}_2 \\ &\vdots \\ \omega \left(\sum_{i=1}^{k-1} L_i \mathbf{I}_i + L_k \sum_{i=k}^n \mathbf{I}_i \right) &= \frac{1}{\omega C_{rk}} \mathbf{I}_k \\ &\vdots \\ \omega \left(\sum_{i=1}^{n-1} L_i \mathbf{I}_i + L_n \mathbf{I}_n \right) &= \frac{1}{\omega C_{rn}} \mathbf{I}_n \end{aligned}$$

[0089]

[0090]

수학식 28과 같이 되면, 각 층케이블에서의 전압 및 전류는 수학식 29와 같은 관계를 갖는다.

수학식 29

$$\begin{aligned} \mathbf{V}_1 &= r_1 \mathbf{I}_1 \\ \mathbf{V}_2 &= r_2 \mathbf{I}_2 \\ &\vdots \\ \mathbf{V}_k &= r_k \mathbf{I}_k \\ &\vdots \\ \mathbf{V}_n &= r_n \mathbf{I}_n \end{aligned}$$

[0091]

[0092]

각 층케이블에 전류를 각각 흘린 후에, 각 층케이블의 양끝을 모두 서로 연결하면 각 층케이블에는 저항에만 반비례하는 전류가 흐르게 되어, 각 층케이블에 구비된 각 도체의 단면에서의 전류밀도가 균일한 동축형 교류케이블(300)의 제조가 가능해진다.

[0093]

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 동축형 교류케이블(300)의 제조방법을 설명하기 위한 순서도이다. 동축형 교류케이블(300)의 제조방법은, 동축형 교류케이블(300)을 경유하여 전송되는 전류의 전류용량을 입력받는 과정(S710), 전류용량을 근거로 동축형 교류케이블(300)의 반경을 계산하는 과정(S720), 동축형 교류케이블(300)이 포설되는 형상을 입력받는 과정(S730), 동축형 교류케이블(300)을 경유하여 전송되는 전류의 동작주파수(ω)를 입력받는 과정(S740), 동작주파수(ω)를 근거로 각 층케이블의 두께를 계산하는 과정(S750), 동축형 교류케이블(300)의 반경 및 두께를 근거로 총 층케이블의 개수를 계산하는 과정(S760), 전류의 크기, 등가 인덕턴스, 정전용량 및 도체간유전체의 두께를 계산하는 과정(S770) 및 최종심 층케이블인지 판단하는 과정(S780)을 포함한다. 또한, 전류의 크기, 등가 인덕턴스, 정전용량 및 도체간유전체의 두께를 계산하는 과정(S770)은, 층케이블 각각을 경유하여 전송되는 전류의 크기를 계산하는 과정(S772), 층케이블 각각의 등가 인덕턴스를 계산하는 과정(S774), 층케이블 각각의 정전용량을 계산하는 과정(S776) 및 층케이블 각각의 정전용량을 근거로 층케이블 각

각에 구비되는 도체간유전체의 두께를 계산하는 과정(S778)을 포함할 수 있다. 본 발명의 실시예에 따른 동축형 교류케이블(300)의 제조방법에 포함되는 각 과정들이 실행되는 순서는 본 명세서에서 설명된 순서에 한정되지 않으며, 각 과정들은 수행되는 순서가 서로 바뀌거나 동시에 수행될 수도 있다.

[0094] 동축형 교류케이블(300)의 제조방법은, 동축형 교류케이블(300)을 경유하여 전송되는 동축케이블전류(I)의 전류용량을 입력으로 받아(S710), 입력받은 동축케이블전류(I)의 전류용량을 근거로 동축형 교류케이블(300)의 반경을 계산한다(S720). 동축형 교류케이블(300)이 포설되는 형상을 입력받고(S730), 동축케이블전류(I)의 동작주파수를 입력받아(S740), 입력받은 동작주파수를 근거로 각 층케이블의 두께를 계산한다(S750). 계산으로 구해진 동축형 교류케이블(300)의 반경 및 두께를 근거로 총 층케이블의 개수를 계산한다(S760).

[0095] 총 층케이블의 개수가 정해지면, 각 층케이블을 경유하여 전송되는 전류의 크기, 등가 인덕턴스, 정전용량 및 도체간유전체의 두께를 계산하되(S770), 먼저, 최외곽 층케이블을 경유하여 전송되는 전류의 크기를 계산한다(S772). 이때, 동축형 교류케이블(300)을 경유하여 전송되는 동축케이블전류의 전류밀도가 균일하다는 가정하에, 각 층케이블이 차지하는 단면적을 근거로 각 층케이블을 경유하여 전송되는 전류의 크기를 계산한다. 수학적 식 15에 의해 최외곽 층케이블의 등가 인덕턴스(L_1)를 계산한다(S774). 계산된 전류의 크기 및 등가 인덕턴스를 근거로 수학적 식 28에 의해 정전용량(C_{r1})을 계산한다(S776). 계산된 정전용량(C_{r1})을 근거로 제1층 도체간유전체의 두께를 계산한다(S778).

[0096] 이후, 동축형 교류케이블(300)에 포함되는 모든 층케이블에 대하여 최외곽으로부터 최종심에 위치하는 층케이블에 이르는 순서로 전류의 크기, 등가 인덕턴스, 정전용량 및 도체간유전체의 두께를 계산하는 과정(S770)을 반복하여 수행한다.

[0097] 실험 결과를 예로 들면, 동축형 교류케이블(300)이 직경 1 m의 원형으로 포설되고, 동축형 교류케이블(300)의 직경이 2 cm인 경우, 각 층케이블은 각 층케이블에 구비되는 내부도체와 외부도체의 두께가 모두 42 μ m, 도체간유전체의 두께가 대략 10 μ m가 되도록 91 개의 층으로 만들고, 도체간유전체의 비유전율은 3으로 두었다.

[0098] 도 8에 도시된 바와 같이, 동축형 교류케이블(300)의 단면의 전류밀도를 균일하게 하면 각 층케이블의 총전류는 그림 8 (a)와 같이 반지름에 비례하여 흐른다. 이때 각 층케이블에 유기되는 전압은 그림 8 (b)와 같이 동축형 교류케이블(300)의 내부로 들어갈수록 커진다. 만약, 유전체의 두께가 일정하면 그림 8 (c)에 파란 색으로 표현한 바와 같이 각 층케이블의 정전용량이 반지름에 비례하나, 그림 8 (b)와 같이 동축형 교류케이블(300)의 내부로 들어갈수록 각 층케이블에 유기되는 전압이 커지면 보상이 적절하게 이루어지지 않는다. 적절한 보상이 이루어지기 위해서는 초록색으로 표시된 바와 같이 정전용량이 변하여야 한다. 그러기 위해서는 유전체의 두께를 그림 8 (d)와 같이 반경에 따라 변화를 줄 필요가 있다. 이렇게 하여 만들어진 케이블의 공진 주파수는 대략 2 [kHz]가 되는데 공진 주파수를 20 [kHz]로 만들려면 세그먼트를 10개로 만들면 된다.

[0099] 이상에서, 본 발명의 실시예를 구성하는 모든 구성 요소들이 하나로 결합되거나 결합되어 동작하는 것으로 설명되었다고 해서, 본 발명이 반드시 이러한 실시예에 한정되는 것은 아니다. 즉, 본 발명의 목적 범위 안에서라면, 그 모든 구성 요소들이 하나 이상으로 선택적으로 결합하여 동작할 수도 있다.

[0100] 이상의 설명은 본 발명의 기술적 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다. 따라서, 본 발명에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술적 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술적 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술적 사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

[0101] 300: 동축형 교류케이블

410: 제1층케이블 420: 제2층케이블

411: 제1층 외부도체 412: 제1층 내부도체

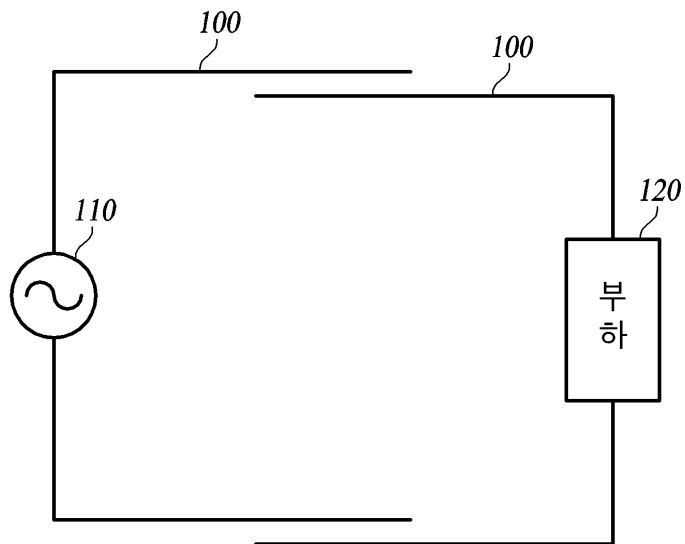
413: 제1층 도체간유전체

421: 제2층 외부도체 422: 제2층 내부도체

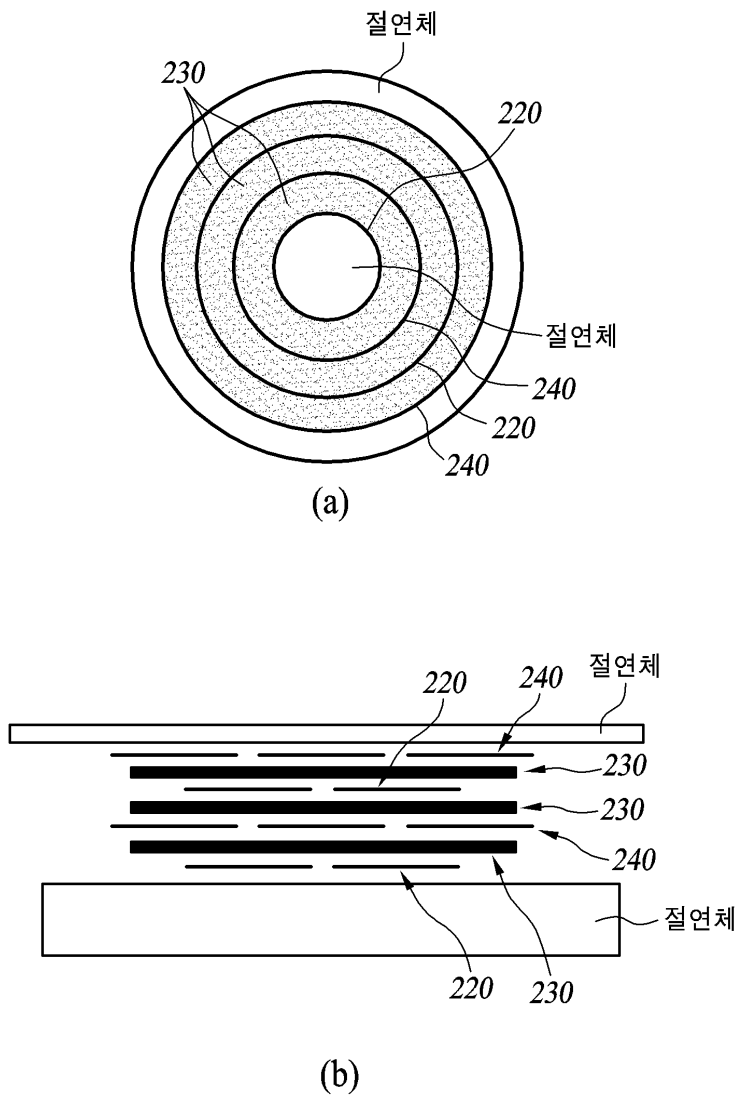
423: 제2층 도체간유전체

도면

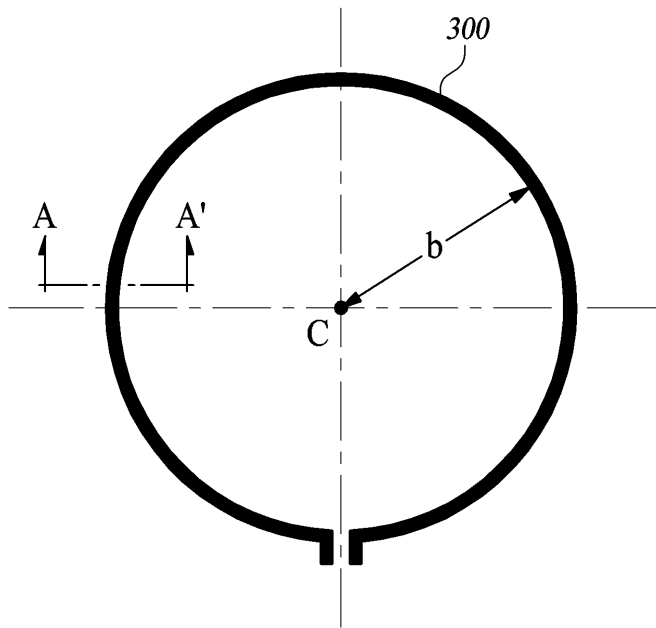
도면1



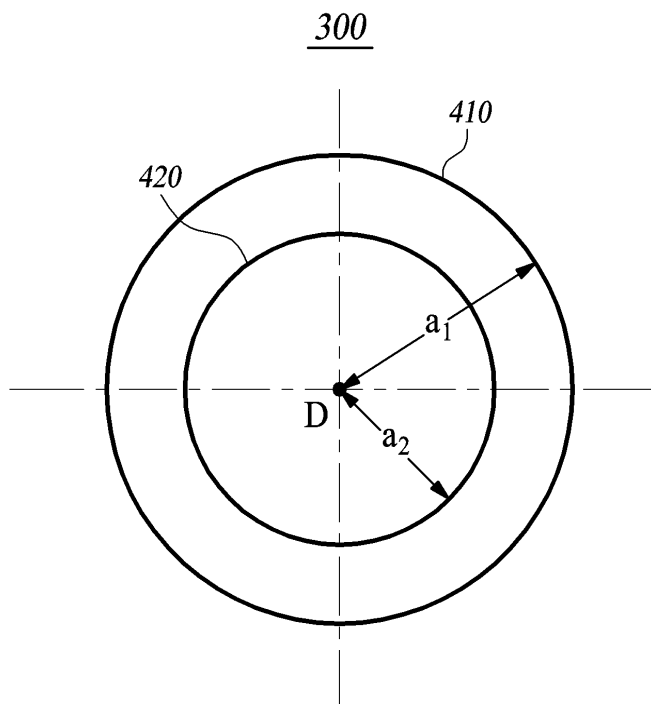
도면2



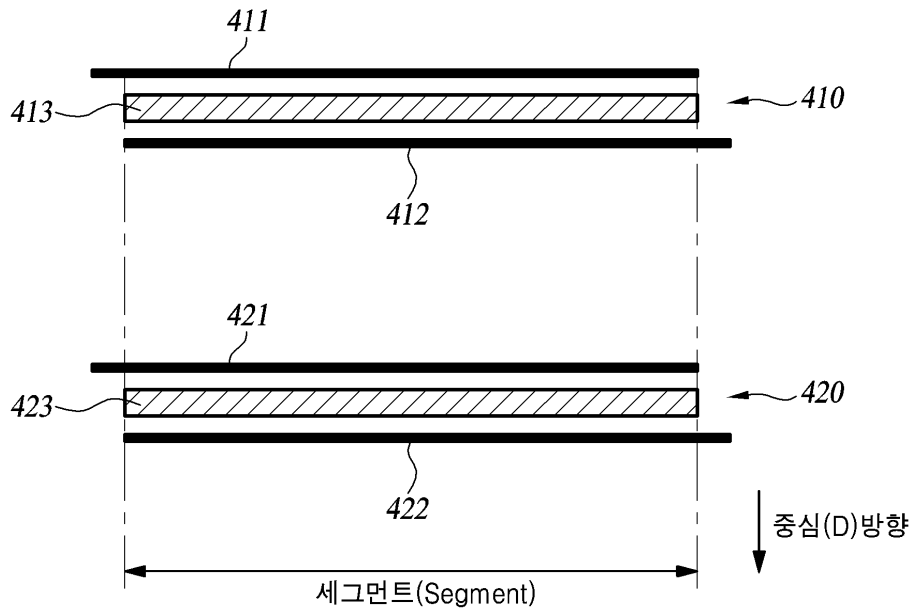
도면3



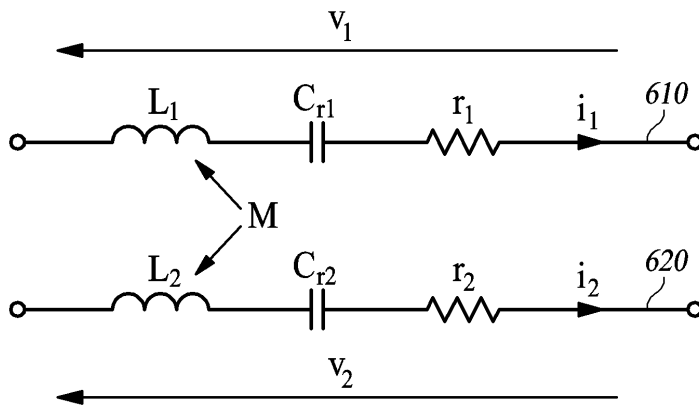
도면4



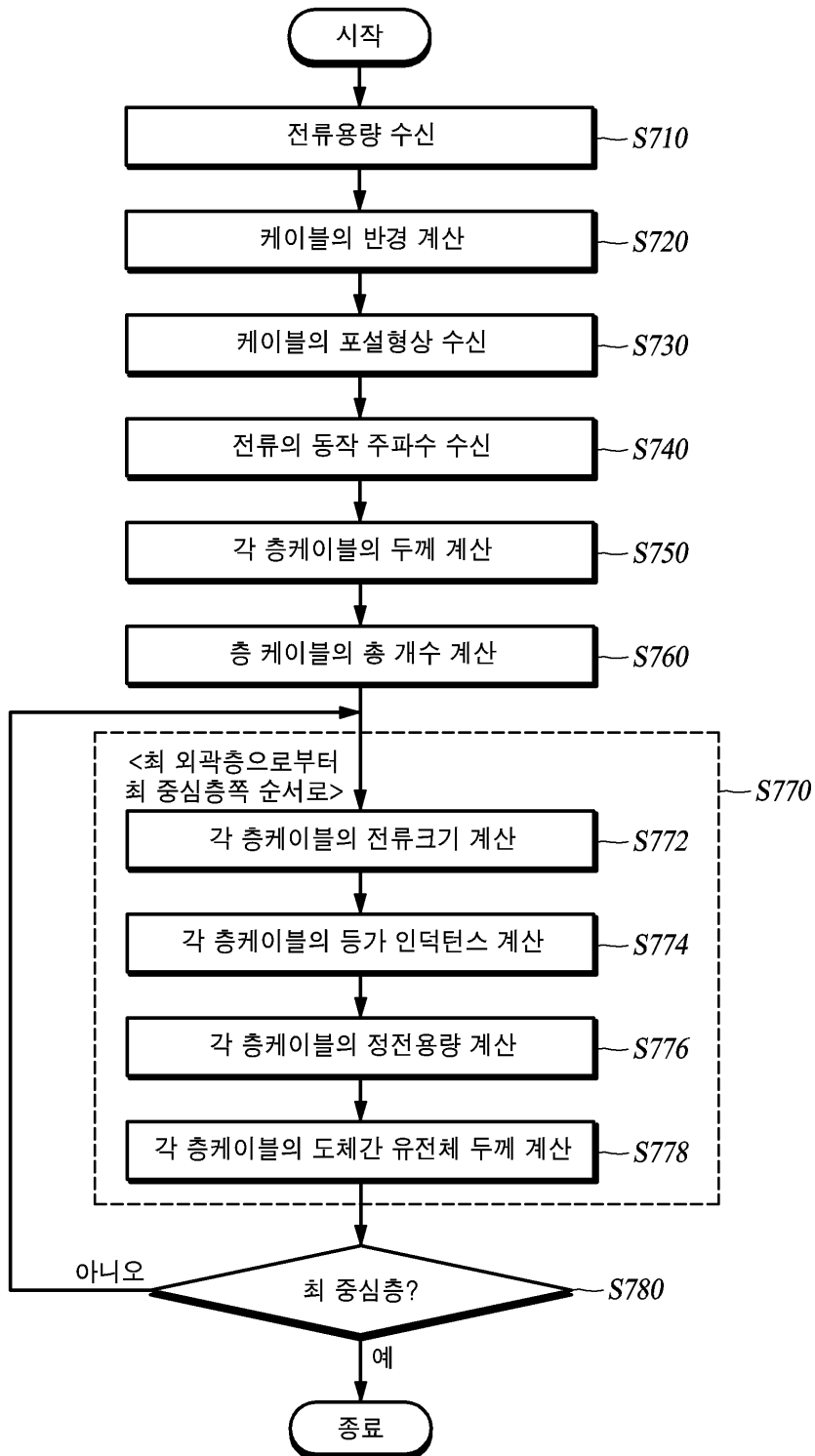
도면5



도면6



도면7



도면8

