



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년09월22일

(11) 등록번호 10-2582568

(24) 등록일자 2023년09월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01K 7/16 (2006.01) G01K 7/34 (2006.01)

(52) CPC특허분류
G01K 7/16 (2013.01)
G01K 7/34 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-0018162

(22) 출원일자 2021년02월09일

심사청구일자 2021년02월09일

(65) 공개번호 10-2022-0114766

(43) 공개일자 2022년08월17일

(56) 선행기술조사문헌
KR1020050054364 A*
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

한전케이디엔주식회사

전라남도 나주시 빛가람로 661 (빛가람동)

(72) 발명자

신용준

서울특별시 서대문구 연세로 50, 제3공학관 C521호 (신촌동)

한예진

서울특별시 서대문구 연세로 50, 제2공학관 B729호 (신촌동)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인(유한)아이시스

전체 청구항 수 : 총 14 항

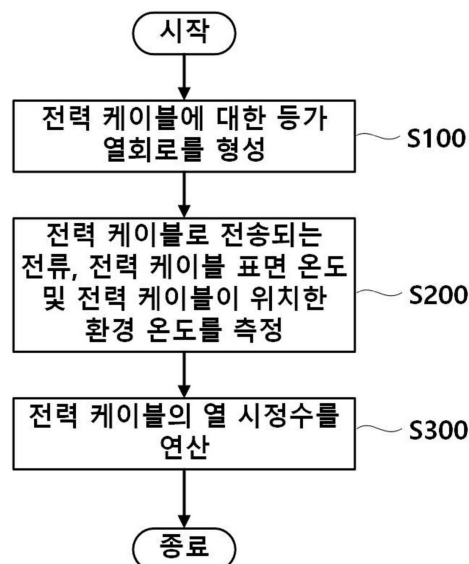
심사관 : 고원규

(54) 발명의 명칭 전력 케이블의 열 시정수 연산 방법 및 연산 장치

(57) 요약

본 실시예에 의한 전력 케이블의 열 시정수 연산 방법은: (a) 전력 케이블에 대한 등가 열회로를 형성하는 단계와, (b) 전력 케이블로 전송되는 전류, 전력 케이블 표면 온도 및 전력 케이블이 위치한 환경 온도를 측정하는 단계 및 (c) 전력 케이블의 열 시정수를 연산하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01K 2217/00 (2013.01)

(72) 발명자

권구영

서울특별시 서대문구 연세로 50, 제2공학관 B729호
(신촌동)

김봉진

전라남도 나주시 한빛로 61, 102동 1701호 (빛가람
동, 빛가람우미린아파트)

손천명

전라남도 나주시 빛가람로 661 (빛가람동)

전미정

광주광역시 서구 금화로 25, 102동 1401호 (금호동, 금호동 쌍용예가 만호마을)

(56) 선행기술조사문헌

H. Lee et al. Temperature Estimation of Underground Power Cable Considering Load Current and Environmental Factors. 대한전자공학회 학술대회, 2017, 255-258 (2017.01.12.)*

한예진 등. 열 저항 보정을 통한 지중 전력 케이블의 내부 온도 추정 연구. 대한전기학회 하계학술대회논문집, 2020, 685-686

우태건 등. 지중케이블에서의 동적송전용량 산정 및 분석. 대한전기학회 하계학술대회논문집, 2017, 1324-1325

이향범 등. 지중관로에서의 실제 허용전류 산출을 위한 도체온도 계산 알고리즘 개선에 관한 연구. 전기학회논문지, 2018, 67(3), 352-357

강연욱 등. 케이블 열회로의 전기적 등가회로 변환을 이용한 케이블 허용전류 검토 방법. 전기학회논문지, 2016, 65(5), 738-744

KR1020160136863 A

JP60233521 A

JP2004264090 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

전력 케이블의 열 시정수 연산 방법으로, 상기 방법은:

- (a) 상기 전력 케이블에 대한 등가 열회로를 형성하는 단계와,
- (b) 상기 전력 케이블로 전송되는 전류, 상기 전력 케이블 표면 온도 및 상기 전력 케이블이 위치한 환경 온도를 측정하는 단계 및
- (c) 상기 전력 케이블의 열 시정수를 연산하는 단계를 포함하고,

상기 (c) 단계는,

시간에 따른 상기 전류의 변화, 시간에 따른 상기 전력 케이블 표면 온도 및 시간에 따른 상기 전력 케이블이 위치하는 환경 온도를 측정하여 수행하며,

상기 (c) 단계는,

상기 시간에 따른 상기 전류의 변화, 시간에 따른 상기 전력 케이블 표면 온도 및 시간에 따른 상기 전력 케이블이 위치하는 환경 온도로부터

수학식 $\theta_{surf}(t) = I^2(t)R_{th}(T_4 - \sum P_i e^{-\alpha_i t})u(t) + \theta_{amb}(1 - \sum Q_i e^{-\alpha_i t})u(t)$ 을 연산하여 수행하는 열 시정수 연산 방법.

$$P_i = \frac{1}{T_1 T_3 T_4 Q_1 Q_2 Q_3 \alpha_i \prod_{j \neq i} (\alpha_j - \alpha_i)},$$

$$Q_i = \frac{T_1 T_3 Q_1 Q_2 \alpha_i^2 - (T_1 Q_1 + T_3 Q_1 + T_3 Q_1) \alpha_i + 1}{T_1 T_3 T_4 Q_1 Q_2 Q_3 \alpha_i \prod_{j \neq i} (\alpha_j - \alpha_i)}.$$

(I: 도체를 통해 흐르는 전류, Rth: 도체의 등가 전기 저항,

i, j: 인덱스, α_i : 열 시정수, α_j : j 번째 인덱스의 열 시정수, u(t): 단위 스텝 함수, T₁: 절연층의 열저항, T₃: 방식층의 열저항, T₄: 외부의 열저항,

Q₁: 도체 열용량 Qc와 도체와 인접한 절연층의 열용량 p_iQ_i의 병렬 등가 열용량,

Q₂: 시스층의 열용량 Qs과 시스층과 인접한 절연층 열용량 (1-p_i)Q_i 과 시스층과 인접한 방식층의 열용량 p_jQ_j의 병렬 등가 열용량,

Q₃: 외부와 인접한 방식층의 열용량 (1-p_j)Q_j,

θ_{surf} : 케이블 표면 온도, θ_{amb} : 환경 온도)

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 전력 케이블은,

상기 전류를 전송하는 도체와

상기 도체 외부의 절연층과,

상기 절연층 외부의 금속 시스(metallic sheath)층 및

상기 전력 케이블의 표면을 덮는 방식층을 포함하는 열 시정수 연산 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 전력 케이블은,

상기 도체와 상기 절연층 사이에 위치하는 내부 반도체층과,

상기 절연층과 상기 금속 시스층 사이에 위치하는 외부 반도체층을 더 포함하는 열 시정수 연산 방법.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 등가 열회로에서,

상기 도체와 상기 금속 시스층은 열 용량으로 모델되고,

상기 절연층과 상기 방식층은 열 저항 및 열 용량으로 모델되는 열 시정수 연산 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 등가 열회로에서,

상기 전력 케이블이 위치한 환경은 열 저항으로 모델되는 열 시정수 연산 방법.

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 열 시정수 연산 방법은,

(d) 상기 전력 케이블로 전송되는 전류, 상기 전력 케이블 표면 온도 및 상기 전력 케이블이 위치한 환경 온도로부터 상기 도체의 온도를 연산하는 단계를 더 포함하는 열 시정수 연산 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 (d) 단계는,

수학식 $\theta_{cond}(t) = I^2(t)R_{th}(T_1 + T_3 + T_4 - \sum R_i e^{-\alpha_i t})u(t) + \theta_{amb}(1 - \sum S_i e^{-\alpha_i t})u(t)$ 을 연산하여 수행하는 열 시정수 연산 방법.

(I: 도체를 통해 흐르는 전류, Rth: 도체의 등가 전기 저항,

$$R_i = \frac{T_1 T_3 T_4 Q_2 Q_3 \alpha_i^2 - (T_1 T_3 Q_2 + T_1 T_4 Q_2 + T_1 T_4 Q_3 + T_3 T_4 Q_3) \alpha_i + T_1 + T_3 + T_4}{T_1 T_3 T_4 Q_1 Q_2 Q_3 \alpha_i \prod_{j \neq i} (\alpha_j - \alpha_i)},$$

$$S_i = \frac{1}{T_1 T_3 T_4 Q_1 Q_2 Q_3 \alpha_i \prod_{j \neq i} (\alpha_j - \alpha_i)},$$

i, j: 인덱스, α_i : 열 시정수, α_j : j 번째 인덱스의 열 시정수, u(t): 단위 스텝 함수, T_1 : 절연층의 열저항,

T_3 : 방식층의 열저항, T_4 : 외부의 열저항,

Q_1 : 도체 열용량 Q_c 와 도체와 인접한 절연층의 열용량 $p_i Q_i$ 의 병렬 증가 열용량,

Q_2 : 시스템의 열용량 Q_s 과 시스템과 인접한 절연층 열용량 $(1-p_i)Q_i$ 과 시스템과 인접한 방식층의 열용량 $p_j Q_j$ 의 병렬 증가 열용량,

Q_3 : 외부와 인접한 방식층의 열용량 $(1-p_j)Q_j$,

θ_{cond} : 도체의 온도, θ_{amb} : 환경 온도)

청구항 10

전력 케이블 온도 측정 장치와 연결되어 상기 전력 케이블의 열 시정수를 연산하는 장치로, 상기 장치는:

적어도 하나 이상의 프로세서; 및

상기 프로세서에 의해 실행되는 하나 이상의 프로그램을 저장하는 메모리를 포함하며, 상기 프로그램들은 하나 이상의 프로세서에 의해 실행될 때, 상기 하나 이상의 프로세서들에서,

(a) 상기 전력 케이블에 대한 증가 열회로를 형성하는 단계와,

(b) 상기 전력 케이블로 전송되는 전류, 상기 전력 케이블 표면 온도 및 상기 전력 케이블이 위치한 환경 온도를 측정하는 단계 및

(c) 상기 전력 케이블의 열 시정수를 연산하는 단계를 포함하는 열 시정수 연산 방법이 수행되고, ,

상기 (c) 단계는,

시간에 따른 상기 전류의 변화, 시간에 따른 상기 전력 케이블 표면 온도 및 시간에 따른 상기 전력 케이블이 위치하는 환경 온도를 측정하여 수행하며,

상기 (c) 단계는,

상기 시간에 따른 상기 전류의 변화, 시간에 따른 상기 전력 케이블 표면 온도 및 시간에 따른 상기 전력 케이블이 위치하는 환경 온도로부터

수학식 $\theta_{surf}(t) = I^2(t) R_{th} (T_4 - \sum P_i e^{-a_i t}) u(t) + \theta_{amb} (1 - \sum Q_i e^{-a_i t}) u(t)$ 을 연산하여 수행하는 열 시정수 연산 장치.

$$P_i = \frac{1}{T_1 T_3 T_4 Q_1 Q_2 Q_3 \alpha_i \prod_{j \neq i} (\alpha_j - \alpha_i)}$$

(I : 도체를 통해 흐르는 전류, R_{th} : 도체의 증가 전기 저항,

$$Q_i = \frac{T_1 T_3 Q_1 Q_2 \alpha_i^2 - (T_1 Q_1 + T_3 Q_1 + T_3 Q_1) \alpha_i + 1}{T_1 T_3 T_4 Q_1 Q_2 Q_3 \alpha_i \prod_{j \neq i} (\alpha_j - \alpha_i)}$$

i, j : 인덱스, α_i : 열 시정수, α_j : j 번째 인덱스의 열 시정수, $u(t)$: 단위 스텝 함수, T_1 : 절연층의 열저항,

T_3 : 방식층의 열저항, T_4 : 외부의 열저항,

Q_1 : 도체 열용량 Q_c 와 도체와 인접한 절연층의 열용량 $p_i Q_i$ 의 병렬 증가 열용량,

Q_2 : 시스템의 열용량 Q_s 과 시스템과 인접한 절연층 열용량 $(1-p_i)Q_i$ 과 시스템과 인접한 방식층의 열용량 $p_j Q_j$ 의 병렬 증가 열용량,

Q_3 : 외부와 인접한 방식층의 열용량 $(1-p_j)Q_j$,

θ_{surf} : 케이블 표면 온도, θ_{amb} : 환경 온도)

청구항 11

제10항에 있어서,
 상기 전력 케이블은,
 상기 전류를 전송하는 도체와
 상기 도체 외부의 절연층과,
 상기 절연층 외부의 금속 시스(metallic sheath)층 및
 상기 전력 케이블의 표면을 덮는 방식층을 포함하는 열 시정수 연산 장치.

청구항 12

제11항에 있어서,
 상기 전력 케이블은,
 상기 도체와 상기 절연층 사이에 위치하는 내부 반도체층과,
 상기 절연층과 상기 금속 시스층 사이에 위치하는 외부 반도체층을 더 포함하는 열 시정수 연산 장치.

청구항 13

제11항에 있어서,
 상기 등가 열회로에서,
 상기 도체와 상기 금속 시스층은 열 용량으로 모델되고,
 상기 절연층과 상기 방식층은 열 저항 및 열 용량으로 모델되는 열 시정수 연산 장치.

청구항 14

제13항에 있어서,
 상기 등가 열회로에서,
 상기 전력 케이블이 위치한 환경은 열 저항으로 모델되는 열 시정수 연산 장치.

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

제10항에 있어서,
 상기 열 시정수 연산 방법은,
 (d) 상기 전력 케이블로 전송되는 전류, 상기 전력 케이블 표면 온도 및 상기 전력 케이블이 위치한 환경 온도로부터 상기 도체의 온도를 연산하는 단계를 더 포함하는 열 시정수 연산 장치.

청구항 18

제17항에 있어서,
 상기 (d) 단계는,

수학식 $\theta_{cond}(t) = I^2(t)R_{th}(T_1 + T_3 + T_4 - \sum R_i e^{-\alpha_i t})u(t) + \theta_{amb}(1 - \sum S_i e^{-\alpha_i t})u(t)$ 을 연산하여 수행하는 열 시정수 연산 장치.

(I: 도체를 통해 흐르는 전류, Rth: 도체의 등가 전기 저항,

$$R_i = \frac{T_1 T_3 T_4 Q_2 Q_3 \alpha_i^2 - (T_1 T_3 Q_2 + T_1 T_4 Q_2 + T_1 T_4 Q_3 + T_3 T_4 Q_3) \alpha_i + T_1 + T_3 + T_4}{T_1 T_3 T_4 Q_1 Q_2 Q_3 \alpha_i \prod_{j \neq i} (\alpha_j - \alpha_i)},$$

$$S_i = \frac{1}{T_1 T_3 T_4 Q_1 Q_2 Q_3 \alpha_i \prod_{j \neq i} (\alpha_j - \alpha_i)},$$

i, j: 인덱스, α_i : 열 시정수, α_j : j 번째 인덱스의 열 시정수, $u(t)$: 단위 스텝 함수, T_1 : 절연층의 열저항, T_3 : 방식층의 열저항, T_4 : 외부의 열저항,

Q_1 : 도체 열용량 Q_c 와 도체와 인접한 절연층의 열용량 $p_i Q_i$ 의 병렬 등가 열용량,

Q_2 : 시스템의 열용량 Q_s 과 시스템과 인접한 절연층 열용량 $(1-p_i)Q_i$ 과 시스템과 인접한 방식층의 열용량 $p_j Q_j$ 의 병렬 등가 열용량,

Q_3 : 외부와 인접한 방식층의 열용량 $(1-p_j)Q_j$,

Θ_{cond} : 도체의 온도, Θ_{amb} : 환경 온도)

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 기술은 전력 케이블의 열 시정수 연산 방법 및 연산 장치와 관련된다.

배경 기술

[0002] 전력 케이블은 지중, 공중에 위치하여 내부의 도체를 통하여 전력을 전달한다. 도체는 비이상적인 특성인 전기 저항이 있어 열 손실이 발생하며, 이는 케이블 내외부의 온도 상승을 일으킨다. 케이블의 최대 허용 전류는 케이블이 견딜 수 있는 최고 허용 온도에 도달하게 하는 부하 전류 값으로 규정된다. 따라서 운전시 케이블의 열 손실에 의한 내부 도체의 상승 온도를 정확히 산정하는 것이 중요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003] 전력 케이블의 도체 온도를 직접 실측하는 것은 곤란하며, 일반적으로 케이블의 등가 열 회로를 기반으로 하여 내부 온도를 산정한다. 따라서 케이블 도체의 온도를 정확히 추정하기 위해서는, 케이블 내외부 각 매질의 열 특성 및 구조를 모두 고려해야 한다.

[0004] 그러나, 이미 포설된 지중 전력 케이블 중 일부는 각 매질의 열 특성 관련 파라미터를 취득하는 것이 불가능한 경우가 있으며, 이는 열 회로 모델링 및 온도 추정 과정에 제약이 된다.

[0005] 본 기술로 해결하고자 하는 과제 중 하나는 등가 열회로에 포함된 열 저항, 열 용량등의 요소(element) 파라미터가 주어지지 않은 케이블에 대해 등가 열 회로의 열 시정수를 추정하고 이를 통해 도체 온도를 산정할 수 있는 기술을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 실시예에 의한 전력 케이블의 열 시정수 연산 방법은: (a) 전력 케이블에 대한 등가 열회로를 형성하는 단계와, (b) 전력 케이블로 전송되는 전류, 전력 케이블 표면 온도 및 전력 케이블이 위치한 환경 온도를 측정하는 단계 및 (c) 전력 케이블의 열 시정수를 연산하는 단계를 포함한다.

[0007] 본 실시예의 한 모습에 의하면, 전력 케이블은, 전류를 전송하는 도체와 도체 외부의 절연층과, 절연층 외부의 금속 시스(metallic sheath)층 및 전력 케이블의 표면을 덮는 방식층을 포함한다.

[0008] 본 실시예의 한 모습에 의하면, 전력 케이블은, 도체와 절연층 사이에 위치하는 내부 반도전층과, 절연층과 금

속 시스템 사이에 위치하는 외부 반도체층을 더 포함한다.

[0009] 본 실시예의 한 모습에 의하면, 등가 열회로에서, 도체와 금속 시스템은 열 용량으로 모델되고, 절연층과 방식 층은 열 저항 및 열 용량으로 모델된다.

[0010] 본 실시예의 한 모습에 의하면, 등가 열회로에서, 전력 케이블이 위치한 환경은 열 저항으로 모델된다.

[0011] 본 실시예의 한 모습에 의하면, (c) 단계는, 시간에 따른 전류의 변화, 시간에 따른 전력 케이블 표면 온도 및 시간에 따른 전력 케이블이 위치하는 환경 온도를 측정하여 수행한다.

[0012] 본 실시예의 한 모습에 의하면, (c) 단계는, 시간에 따른 전류의 변화, 시간에 따른 전력 케이블 표면 온도 및 시간에 따른 전력 케이블이 위치하는 환경 온도로부터 수학적 $\theta_{surf}(t) = I^2(t)R_{th}(T_B - \sum P_i e^{-\alpha_i t})u(t) + \theta_{amb}(1 - \sum Q_i e^{-\alpha_i t})u(t)$ 을 연산하여 수행한다.

[0013] 본 실시예의 한 모습에 의하면, 열 시정수 연산 방법은, (d) 전력 케이블로 전송되는 전류, 전력 케이블 표면 온도 및 전력 케이블이 위치한 환경 온도로부터 도체의 온도를 연산하는 단계를 더 포함한다.

[0014] 본 실시예의 한 모습에 의하면, (d) 단계는, 수학적 $\theta_{cond}(t) = I^2(t)R_{th}(T_A + T_B - \sum R_i e^{-\alpha_i t})u(t) + \theta_{amb}(1 - \sum S_i e^{-\alpha_i t})u(t)$ 을 연산하여 수행한다.

[0015] 본 실시예에 의한 전력 케이블 온도 측정 장치와 연결되어 전력 케이블의 열 시정수를 연산하는 장치는: 적어도 하나 이상의 프로세서; 및 프로세서에 의해 실행되는 하나 이상의 프로그램을 저장하는 메모리를 포함하며, 프로그램들은 하나 이상의 프로세서에 의해 실행될 때, 하나 이상의 프로세서들에서, (a) 전력 케이블에 대한 등가 열회로를 형성하는 단계와, (b) 전력 케이블로 전송되는 전류, 전력 케이블 표면 온도 및 전력 케이블이 위치한 환경 온도를 측정하는 단계 및 (c) 전력 케이블의 열 시정수를 연산하는 단계를 포함하는 열 시정수 연산 방법이 수행된다.

[0016] 본 실시예의 한 모습에 의하면, 전력 케이블은, 전류를 전송하는 도체와 도체 외부의 절연층과, 절연층 외부의 금속 시스템(metallic sheath)층 및 전력 케이블의 표면을 덮는 방식층을 포함한다.

[0017] 본 실시예의 한 모습에 의하면, 전력 케이블은, 도체와 절연층 사이에 위치하는 내부 반도체층과, 절연층과 금속 시스템 사이에 위치하는 외부 반도체층을 더 포함한다.

[0018] 본 실시예의 한 모습에 의하면, 등가 열회로에서, 도체와 금속 시스템은 열 용량으로 모델되고, 절연층과 방식 층은 열 저항 및 열 용량으로 모델된다.

[0019] 본 실시예의 한 모습에 의하면, 등가 열회로에서, 전력 케이블이 위치한 환경은 열 저항으로 모델된다.

[0020] 본 실시예의 한 모습에 의하면, (c) 단계는, 시간에 따른 전류의 변화, 시간에 따른 전력 케이블 표면 온도 및 시간에 따른 전력 케이블이 위치하는 환경 온도를 측정하여 수행한다.

[0021] 본 실시예의 한 모습에 의하면, (c) 단계는, 시간에 따른 전류의 변화, 시간에 따른 전력 케이블 표면 온도 및 시간에 따른 전력 케이블이 위치하는 환경 온도로부터 수학적 $\theta_{surf}(t) = I^2(t)R_{th}(T_4 - \sum P_i e^{-\alpha_i t})u(t) + \theta_{amb}(1 - \sum Q_i e^{-\alpha_i t})u(t)$ 을 연산하여 수행한다.

[0022] 본 실시예의 한 모습에 의하면, 열 시정수 연산 방법은, (d) 전력 케이블로 전송되는 전류, 전력 케이블 표면 온도 및 전력 케이블이 위치한 환경 온도로부터 도체의 온도를 연산하는 단계를 더 포함한다.

[0023] 본 실시예의 한 모습에 의하면, (d) 단계는, 수학적 $\theta_{cond}(t) = I^2(t)R_{th}(T_1 + T_3 + T_4 - \sum R_i e^{-\alpha_i t})u(t) + \theta_{amb}(1 - \sum S_i e^{-\alpha_i t})u(t)$ 을 연산하여 수행한다.

발명의 효과

[0024] 본 기술에 의하면 전력 케이블에 포함된 요소들의 물성을 정확하게 파악하지 않은 경우에도 전력을 전송하는 전력 케이블의 열 시정수를 추정 및 연산할 수 있다는 장점이 제공되며, 이로부터 전력 케이블에 포함된 도체의 온도를 추정 및 연산할 수 있다는 장점이 제공된다.

도면의 간단한 설명

- [0025] 도 1은 본 실시예에 의한 전력 케이블의 열 시정수 연산 방법의 개요적 각 단계를 예시한 순서도이다.
- 도 2는 본 실시예에 의한 열 시정수 연산 장치(10)의 개요를 도시한 블록도이다.
- 도 3은 전력을 전송하는 전력 케이블(100)의 단면도를 개요적으로 도시한 도면이다.
- 도 4는 도 3으로 예시된 전력 케이블(100)의 등가 열회로이다.
- 도 5는 도 4로 표시된 열 등가 회로의 등가 회로이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0026] 이하에서는 첨부된 도면들을 참조하여 본 실시예를 설명한다. 도 1은 본 실시예에 의한 전력 케이블의 열 시정수 연산 방법의 개요적 각 단계를 예시한 순서도이다. 도 1을 참조하면, 본 실시예에 의한 전력 케이블의 열 시정수 연산 방법은: (a) 전력 케이블에 대한 등가 열회로를 형성하는 단계(S100)와, (b) 전력 케이블로 전송되는 전류, 전력 케이블 표면 온도 및 전력 케이블이 위치한 환경 온도를 측정하는 단계(S200) 및 (c) 전력 케이블의 열 시정수를 연산하는 단계(S300)를 포함한다.
- [0027] 도 2는 본 실시예에 의한 열 시정수 연산 장치(10)의 개요를 도시한 블록도이다. 도 2를 참조하면, 본 실시예에 따른 연산 장치(10)는 입력부(11), 출력부(12), 프로세서(13), 메모리(14) 및 데이터베이스(15)를 포함한다. 도 2의 고장 검출장치(10)는 일 실시예에 따른 것으로서, 도 2에 도시된 모든 블록이 필수 구성요소는 아니며, 다른 실시예에서 연산 장치(10)에 포함된 일부 블록이 추가, 변경 또는 삭제될 수 있다. 한편, 연산 장치(10)는 열 시정수를 연산하는 컴퓨팅 장치로 구현될 수 있으며, 연산 장치(10)에 포함된 각 구성요소들은 각각 별도의 소프트웨어 장치로 구현되거나, 소프트웨어가 결합된 별도의 하드웨어 장치로 구현될 수 있다.
- [0028] 연산 장치(10)는 등가 열회로를 형성하는 단계(S100), 전력 케이블로 전송되는 전류, 전력 케이블 표면 온도 및 전력 케이블이 위치한 환경 온도를 측정하는 단계(S200)에서 형성된 데이터를 이용하여 전력 케이블의 열 시정수를 연산하는 단계(S300)등을 수행한다.
- [0029] 입력부(11)는 신호 또는 데이터를 입력받거나 획득하는 수단을 의미한다. 입력부(11)는 프로세서(13)와 연동하여 다양한 형태의 신호 또는 데이터를 입력받거나, 외부 장치와 센서등과 연동되어 케이블 표면 온도 데이터를 획득하고, 프로세서(13)로 전달할 수도 있다. 입력부(11)는 로그정보(log), 다양한 조건정보 또는 제어신호 등을 입력하거나 입력 받기 위한 장치 또는 서버일 수 있으나 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0030] 출력부(12)는 프로세서(13)와 연동하여 입력된 데이터, 연산된 시정수, 연산된 도체 온도 등을 표시할 수 있다. 출력부(12)는 소정의 정보를 출력하기 위하여 연산 장치(10)에 구비된 디스플레이(미도시), 스피커(미도시) 등을 통해 다양한 정보를 표시하는 것이 바람직하나 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0031] 프로세서(13)는 메모리(14)에 포함된 적어도 하나의 명령어 또는 프로그램을 실행시키는 기능을 수행한다.
- [0032] 본 실시예에 따른 프로세서(13)는 입력부(11) 또는 데이터베이스(15)로부터 획득한 데이터를 기반으로 각 단계를 수행하기 위한 데이터를 연산한다.
- [0033] 메모리(14)는 프로세서(13)에 의해 실행 가능한 적어도 하나의 명령어 또는 프로그램을 포함한다. 메모리(14)는 등가 열회로를 형성하는 단계(S100), 전력 케이블로 전송되는 전류, 전력 케이블 표면 온도 및 전력 케이블이 위치한 환경 온도를 측정하는 단계(S200)에서 형성된 데이터를 저장하거나, 열 시정수를 연산하기 위한 명령어 또는 프로그램을 포함할 수 있다. 메모리(14)는 각 단계에서 수행된 결과, 중간값 등의 연관된 값들을 저장할 수 있다.
- [0034] 데이터베이스(15)는 데이터베이스 관리 프로그램(DBMS)을 이용하여 컴퓨터 시스템의 저장공간(하드디스크 또는 메모리)에 구현된 일반적인 데이터구조를 의미하는 것으로, 데이터의 검색(추출), 삭제, 편집, 추가 등을 자유롭게 행할 수 있는 데이터 저장 형태를 뜻한다. 오라클(Oracle), 인포믹스(Infomix), 사이베이스(Sybase), DB2와 같은 관계형 데이터베이스 관리 시스템(RDBMS)이나, 겜스톤(Gemston), 오리온(Orion), O2 등과 같은 객체 지향 데이터베이스 관리 시스템(OODBMS) 및 엑셀론(Excelon), 타미노(Tamino), 세카이주(Sekaiju) 등의 XML 전용 데이터베이스(XML Native Database)등이 본 발명의 일 실시예의 목적에 맞게 구현될 수 있고, 자신의 기능을 달성하기 위하여 적당한 필드(Field) 또는 엘리먼트들을 가지고 있다.
- [0035] 본 실시예에 따른 데이터베이스(15)는 로그정보, 조건 정보, 고장 진단 결과정보 등을 저장하고, 저장된 데이터를 제공할 수 있다. 한편, 데이터베이스(14)는 연산 장치(10) 내에 구현되는 것으로 기재하고 있으나 반드시 이

에 한정되는 것은 아니며, 별도의 데이터 저장장치로 구현될 수도 있다.

- [0036] 도 3은 전력을 전송하는 전력 케이블(100)의 단면도를 개요적으로 도시한 도면이다. 도 3을 참조하면, 전력 케이블(100)은 전류 및 전압의 형태로 전력이 전송되는 도체(110)와, 도체(110)를 절연하는 절연층(130)과, 케이블(100)의 강성을 유지하는 금속 시스층(metallic sheath, 150) 및 외부 환경으로부터 케이블(100)을 보호하는 방식층(160)을 포함한다.
- [0037] 일 실시예로 케이블(100)은 도체(110)와 절연층(130) 사이에 위치하는 내부 반도전 층(120)과 절연층(130)과 금속 시스층(150) 사이에 위치하는 외부 반도전층(140)을 더 포함할 수 있다. 다만, 내부 반도전층(120)의 두께 및 외부 반도전층(140)의 두께는 용이한 도시 및 용이한 이해를 위하여 모두 실제의 두께보다 두껍게 표시되었다.
- [0038] 일 실시예로, 도체(110)는 높은 전도도(conductivity)를 가지는 재료로 형성될 수 있다. 일 예로, 도체(110)는 구리, 알루미늄 등의 높은 전도도를 가지는 재료로 형성될 수 있다. 도체(110)를 통하여 전류가 흐름에 따라 도체(110)의 비이상적인 특징에 의하여 열이 발생하며, 이로부터 전송되는 전력 손실이 발생한다. 나아가, 케이블(100)은 견딜 수 있는 내열 온도가 있으며, 내열 온도를 초과하는 열이 발생하면 케이블(100)은 파괴될 수 있다. 따라서, 케이블(100)로 전송되는 전류의 최대치는 케이블(100) 내열 온도 이하의 열을 형성하는 최대 전류로 정해진다.
- [0039] 도 3은 단일한 도체를 예시하고 있으나, 이는 예시일 따름이며, 도체(110)는 서로 같거나 다른 직경을 가지는 복수의 전도체들을 포함할 수 있다.
- [0040] 절연층(130)은 도체(110)와 케이블(100) 외부가 서로 전기적으로 연결되지 않도록 절연한다. 일 실시예로, 절연층(130)은 도체(110)를 흐르는 전류가 금속 시스층(150), 외부 반도전층(140)등으로 누설되지 않도록 높은 비저항(resistivity)을 가지는 물질로 형성될 수 있다. 일 예로, 절연층(130)은 XLPE(Cross-Linked Polyethylene), EPR(Ethylene Propylene Rubber) 등의 높은 절연내력을 가지는 재료로 형성될 수 있다.
- [0041] 금속 시스층(150)은 케이블(100)의 강성을 유지하며, 지락 또는 단락사고 발생 시 고장 전류의 귀로 역할과 정전 차폐 역할을 수행한다. 일 예로, 금속 시스층(150)은 강성이 높은 금속으로 형성될 수 있다. 방식층(160)은 케이블(100)의 외피를 형성하며 케이블(100) 외부 환경으로부터 케이블을 보호한다. 일 예로, 방식층(160)은 방습성, 방수성 등을 가지는 합성 수지로 형성될 수 있다. 방식층(160)은 외부의 습기, 산소등이 케이블(100) 내부로 침투하는 것을 막는다.
- [0042] 도 4는 도 3으로 예시된 전력 케이블(100)의 등가 열회로이다. 도 3 및 도 4를 참조하면, 도체(110)를 통하여 전류가 제공됨에 따라 도체(110)에는 줄 열(Joule heat)이 발생한다. 줄 열은 도체(110)의 등가 전기 저항과 도체를 흐르는 전류 크기의 제곱에 비례한다. 따라서, 도체(110)에 형성된 저항값이 미소하다고 하더라도 도체(110)를 통하여 흐르는 전류의 크기의 제곱에 비례하는 열이 형성되므로 열의 크기는 무시할 수 없다. 이와 같이 형성되는 열의 열원은 전류 W_c 를 제공하는 전류원으로 모델될 수 있다. 도체의 열 손실인 W_c 는 아래의 수학적 식 1과 같이 표시될 수 있다. 도체(110)의 온도는 θ_c 로 표시하였다.
- [0043] [수학적 식 1]
- [0044]
$$W_c = I^2 R$$
- [0045] (W: 열(J), I; 도체를 흐르는 전류, R: 도체의 전기 저항)
- [0046] 도체(110)는 높은 전도성의 금속으로 형성되므로 열 저항을 무시할 수 있으나, 이에 반하여 도체(110)의 열 용량은 커패시턴스 Q_c 의 커패시터로 모델될 수 있다. 절연층(130)은 열 회로에서 T1의 저항값을 가지는 열 저항과, $p_i Q_i$ 및 $(1-p_i)Q_i$ 의 두 개의 커패시턴스를 가지는 열용량으로 모델될 수 있다.
- [0047] 시스층(150)은 상술한 바와 같이 금속으로 이루어지므로 열 저항은 무시할 수 있을 정도로 작다. 다만, 열 용량이 있으므로 Q_s 의 커패시턴스를 가지는 열 용량으로 모델될 수 있다.
- [0048] 방식층(160)은 열 회로에서 T3의 저항값을 가지는 열 저항과, $p_j Q_j$ 및 $(1-p_j)Q_j$ 의 두 개의 커패시턴스를 가지는 열용량으로 모델될 수 있다.
- [0049] 도 3으로 예시된 도면에서 케이블(100)이 위치하는 외부 환경은 도시되지 않았다. 그러나, 케이블이 포설된 지중(地中) 환경의 온도 또는 케이블이 위치하는 공기 중의 온도는 케이블 표면의 온도(θ_{surf})에 영향을 미치므로, 이를 고려할 필요가 있다. 따라서, 케이블(100)의 외부 환경의 온도를 θ_{amb} 라하고, 케이블 외부 환경을

T4의 저항값을 가지는 열 저항으로 모델할 수 있다(S100).

[0050] 또한, 케이블(100)의 내부 반도체층(120)의 두께 및 외부 반도체층(140)의 두께는 무시할 수 있을 정도로 작으므로 열 저항 및 열 용량은 열 등가 회로를 형성시 무시될 수 있다. 이와 같이 형성된 열 등가 회로는 도 4와 같이 표시될 수 있다.

[0051] 도 5는 도 4로 표시된 열 등가 회로의 등가 회로이다. 도 5를 참조하면, 열 용량 Q1은 서로 병렬로 연결된 Qc와 piQi의 등가 열용량으로, Q1 = Qc와 piQi으로 표시될 수 있다. 열 용량 Q2는 서로 병렬로 연결된 (1-pi)Qi, Qs 및 pjQj의 등가 열용량으로, Q2 = (1-pi)Qi + Qs + pjQj로 표시될 수 있다. 또한, Q3는 (1-pj)Qj로 나타낼 수 있다.

[0052] 이어서, 케이블(100)을 통하여 제공되는 전류와 케이블 표면의 온도(θ_{surf}) 및 케이블(100)이 위치한 환경의 온도(θ_{amb})를 측정한다. 일 실시예로, 케이블(100)은 광 섬유를 포함할 수 있으며, 케이블의 온도에 따라 광학적 특성을 달리한다. 따라서, 광 섬유의 광학적 특성을 검출하여 케이블 표면의 온도(θ_{surf})를 얻을 수 있다.

[0053] 케이블(100)이 지중에 포설된 경우에는 케이블이 포설된 위치에서 온도를 측정하여 환경의 온도(θ_{amb})를 얻을 수 있으며, 케이블(100)이 공중에 가설된 경우에는 공기중 온도를 측정하여 환경의 온도(θ_{amb})를 얻을 수 있다. 또한, 케이블(100)을 통하여 제공되는 전류는 케이블을 통하여 제공되는 전력과 전압으로부터 역산하여 얻을 수 있다.

[0054] 일 실시예로, 케이블(100)을 통하여 제공되는 전류 값과, 케이블 표면의 온도(θ_{surf}) 및 환경의 온도(θ_{amb})는 시계열적인 데이터이다. 즉, 시간의 경과에 따른 전류의 변화, 케이블 표면의 온도(θ_{surf})의 변화 및 환경의 온도(θ_{amb}) 변화를 검출할 수 있다. 시계열적인 전류 변화, 온도 변화 데이터로부터 열 회로의 시상수(time constant)를 연산할 수 있다.

[0055] 이어서, 케이블(100)의 열 시상수를 연산한다(S300). 열 시상수는 아래의 수학식 2을 이용하여 연산될 수 있다.

[0056] [수학식 2]

$$\theta_{surf}(t) = I^2(t)R_{th}(T_4 - \sum P_i e^{-\alpha_i t})u(t) + \theta_{amb}(1 - \sum Q_i e^{-\alpha_i t})u(t)$$

$$P_i = \frac{1}{T_1 T_3 T_4 Q_1 Q_2 Q_3 \alpha_i \prod_{j \neq i} (\alpha_j - \alpha_i)},$$

[0058] (I: 도체를 통해 흐르는 전류, Rth: 도체의 등가 전기 저항,

$$Q_i = \frac{T_1 T_3 Q_1 Q_2 \alpha_i^2 - (T_1 Q_1 + T_3 Q_1 + T_3 Q_1) \alpha_i + 1}{T_1 T_3 T_4 Q_1 Q_2 Q_3 \alpha_i \prod_{j \neq i} (\alpha_j - \alpha_i)})$$

[0059] 일 실시예에서, 시계열적으로 획득한 도체를 통해 흐르는 전류 변화, 표면온도 변화 데이터 및 환경 온도 변화 데이터들을 수학식 2에 대입하고, 최소 자승법을 이용하여 가장 오차가 적은 시상수 α_1 값을 얻을 수 있다.

[0060] 동일한 열 회로에서 열 시상수 α_1 값은 공통되므로, 이로부터 아래의 수학식 3을 연산하여 도체의 온도(θ_c)를 연산할 수 있다.

[0061] [수학식 3]

$$\theta_{cond}(t) = I^2(t)R_{th}(T_1 + T_3 + T_4 - \sum R_i e^{-\alpha_i t})u(t) + \theta_{amb}(1 - \sum S_i e^{-\alpha_i t})u(t)$$

[0063] (I: 도체를 통해 흐르는 전류, Rth: 도체의 등가 전기 저항,

$$R_i = \frac{T_1 T_3 T_4 Q_2 Q_3 \alpha_i^2 - (T_1 T_3 Q_2 + T_1 T_4 Q_2 + T_1 T_4 Q_3 + T_3 T_4 Q_3) \alpha_i + T_1 + T_3 + T_4}{T_1 T_3 T_4 Q_1 Q_2 Q_3 \alpha_i \prod_{j \neq i} (\alpha_j - \alpha_i)},$$

$$S_i = \frac{1}{T_1 T_3 T_4 Q_1 Q_2 Q_3 \alpha_i \prod_{j \neq i} (\alpha_j - \alpha_i)})$$

[0064] 상기한 수학식 3을 통하여 도체에 케이블(110) 내의 도체(110)의 정상 상태 온도 뿐만 아니라 과도 상태의 온도

를 연산할 수 있다는 장점이 제공되며,

[0066] 본 발명에 대한 이해를 돕기 위하여 도면에 도시된 실시 예를 참고로 설명되었으나, 이는 실시를 위한 실시예로, 예시적인 것에 불과하며, 당해 분야에서 통상적 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 첨부된 특허청구범위에 의해 정해져야 할 것이다.

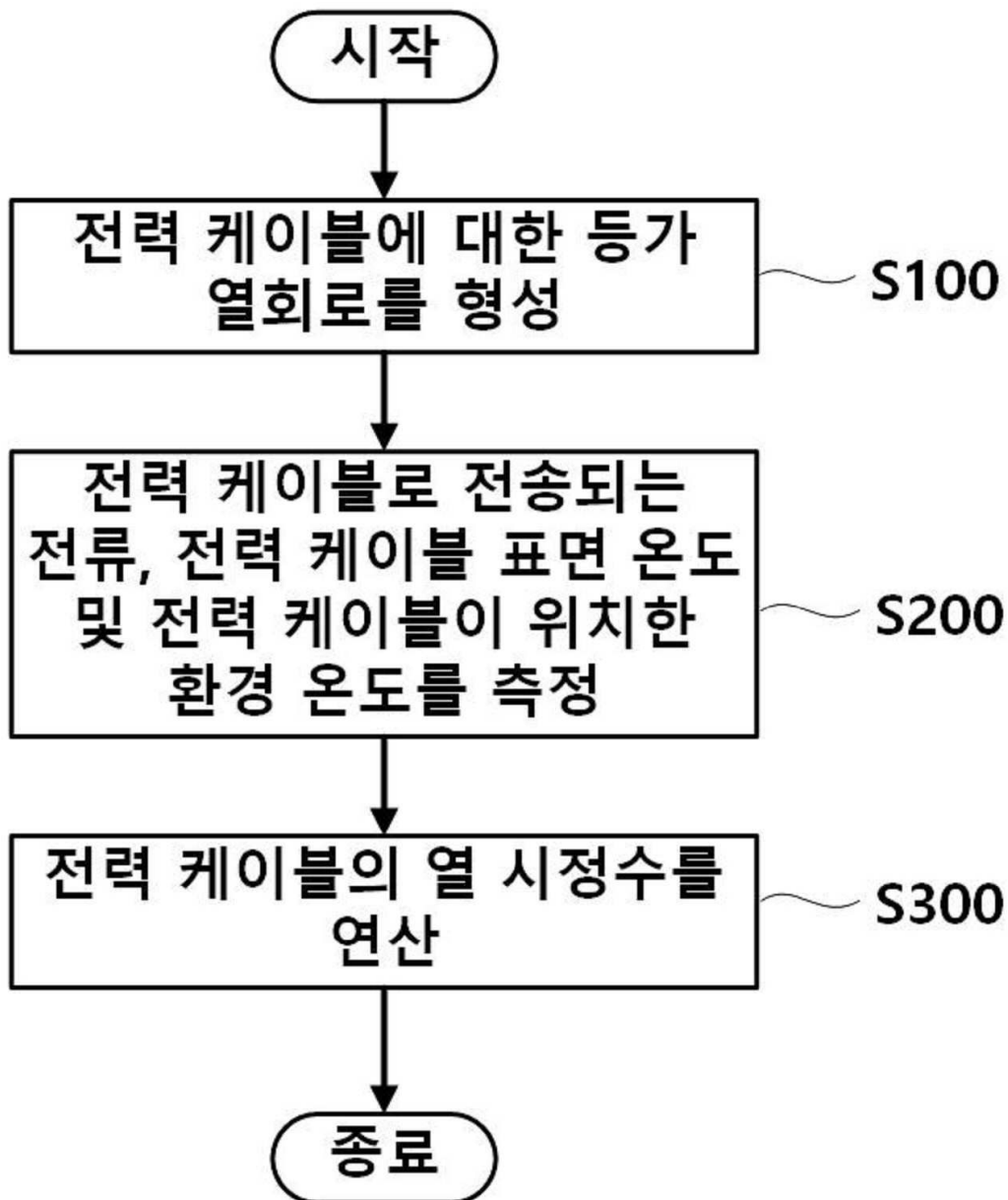
부호의 설명

[0067] S100~S300: 본 실시예에 의한 열 시정수 연산 방법의 예시적 단계

- | | |
|-----------------|-------------|
| 10: 열 시정수 연산 장치 | 11: 입력부 |
| 12: 출력부 | 13: 프로세서 |
| 14: 메모리 | 15: 데이터베이스 |
| 100: 케이블 | 110: 도체 |
| 120: 내부 반도체층 | 130: 절연층 |
| 140: 외부 반도체층 | 150: 금속 시스층 |
| 160: 망식층 | |

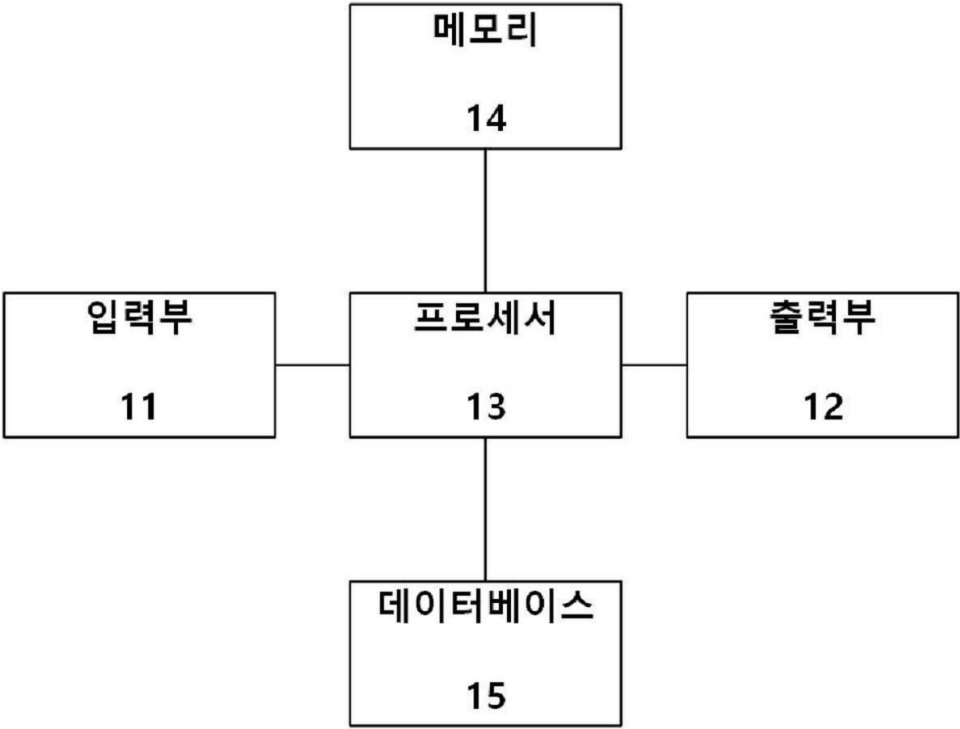
도면

도면1

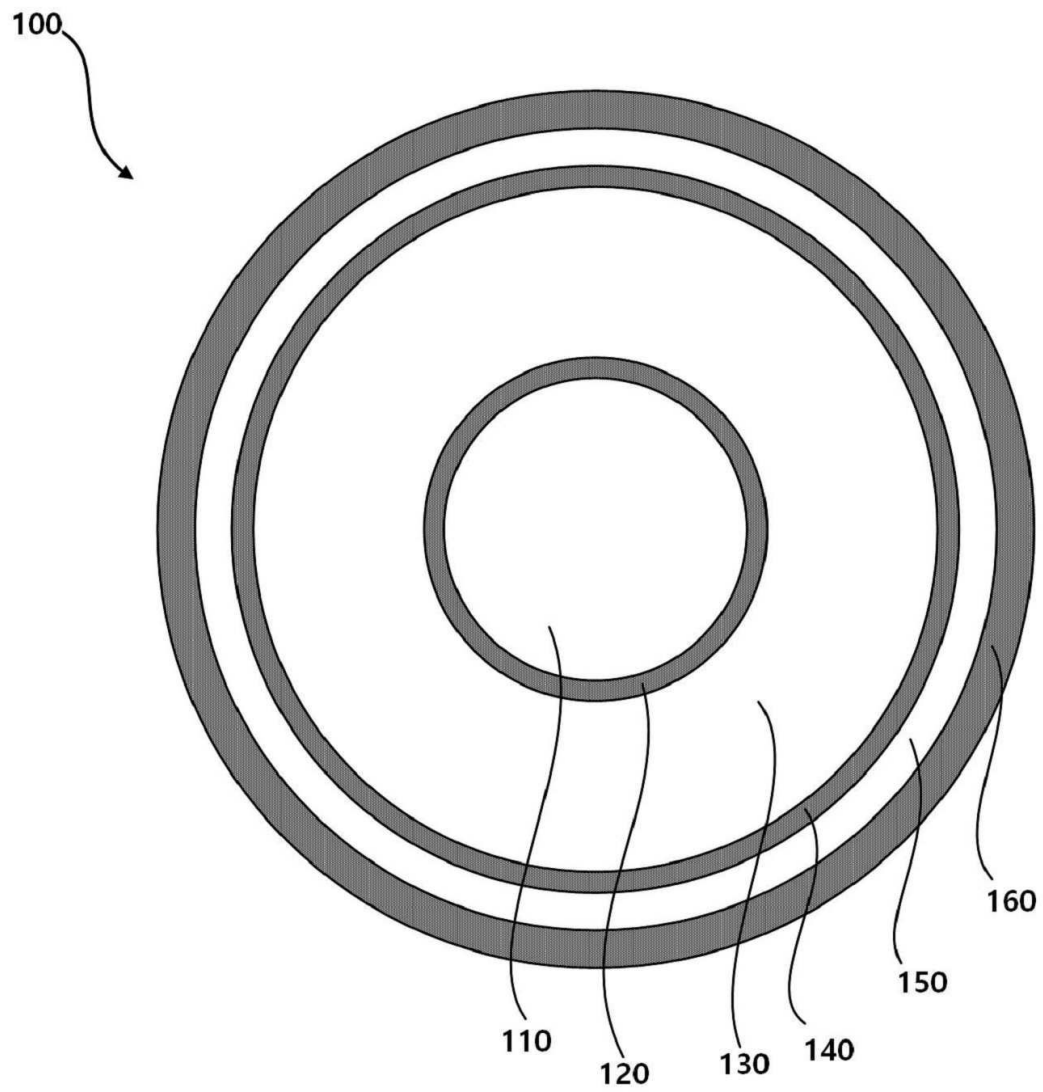


도면2

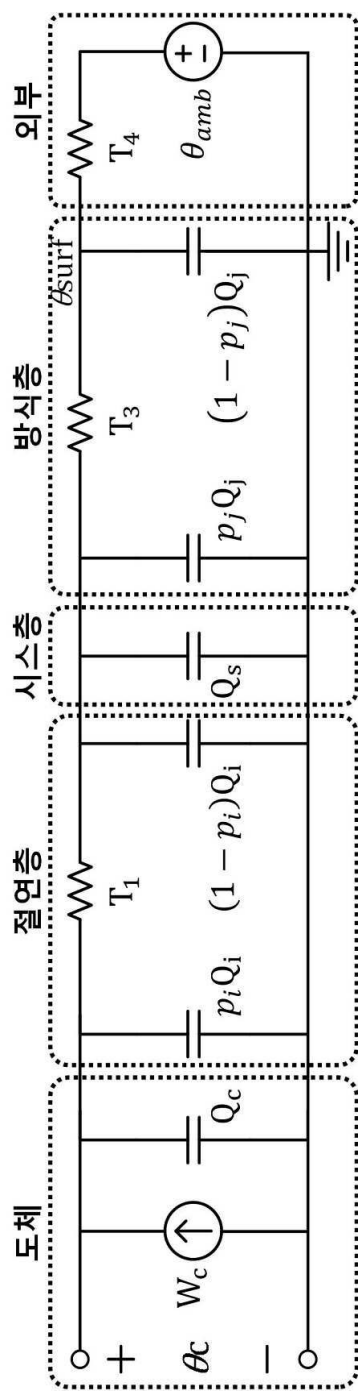
10



도면3



도면4



도면5

