

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국



(10) 국제공개번호

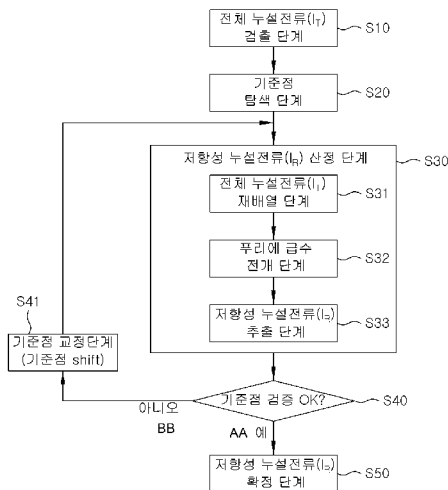
(43) 국제공개일
2020년 12월 24일 (24.12.2020) WIPO | PCT

WO 2020/256221 A1

- (51) 국제특허분류: **G01R 31/50** (2020.01) **G01R 31/12** (2006.01)
G01R 15/14 (2006.01) **G01R 35/00** (2006.01)
G01R 19/165 (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2019/012281
- (22) 국제출원일: 2019년 9월 20일 (20.09.2019)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보: 10-2019-0071516 2019년 6월 17일 (17.06.2019) KR
- (71) 출원인: 한국수자원공사 (**KOREA WATER RESOURCES CORPORATION**) [KR/KR]; 34350 대전시 대덕구 신탄진로 200, Daejeon (KR).
- (72) 발명자: 한송엽 (**HAN, Song Yop**); 05572 서울시 송파구 올림픽로4길 15 8동 1201호, Seoul (KR). 이정우 (**LEE, Jeong Woo**); 28611 충청북도 청주시 서원구 신솔로 13 405동 1803호, Chungcheongbuk-do (KR). 이광호 (**LEE, Kwang Ho**); 29001 충청북도 옥천군 군북면 비야대정로 1길 50-16, Chungcheongbuk-do (KR).
- (74) 대리인: 특허법인 신태양 (**STYP PATENT LAW FIRM**); 35209 대전시 서구 둔산중로 138 504호, Daejeon (KR).
- (81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(54) Title: SURGE ARRESTER-RESISTIVE LEAKAGE CURRENT DETECTION DEVICE AND DETECTION METHOD

(54) 발명의 명칭: 피뢰기 저항성 누설전류 검출 장치 및 검출 방법



S10 ... Total leakage current (I_T) detection step
 S20 ... Reference point search step
 S30 ... Resistive leakage current (I_R) calculation step
 S31 ... Total leakage current (I_T) rearrangement step
 S32 ... Fourier series expansion step
 S33 ... Resistive leakage current (I_R) extraction step
 S40 ... Reference point verification OK?
 S41 ... Reference point correction step (reference point shift)
 S50 ... Resistive leakage current (I_R) determination step
 AA ... Yes
 BB ... No

(57) Abstract: The present invention relates to a surge arrester-resistive leakage current detection device and detection method, which can measure only the leakage current of a surge arrester without measuring a voltage so as to calculate a resistive leakage current component included in the leakage current, in order to compensate for the shortcomings of a method having been used to measure the leakage current of a conventional metal-oxide surge arrester (MOSA). The method comprises: a reference point search step (S20) of selecting a reference point by performing pattern analysis on the basis of a characteristic pattern expressed in the total leakage current (I_T) when an applied voltage is 0 V; a resistive leakage current calculation step (S30) of calculating resistive leakage current (I_R) by expanding the total leakage current (I_T) starting at the reference point to a Fourier series; and reference point verification/correction steps (S40, S41) of re-calculating the resistive leakage current (I_R) by correcting the reference point until the characteristic pattern of the resistive leakage current (I_R) according to the nonlinear resistance characteristic of the surge arrester (1) is shown, wherein the resistive leakage current (I_R) calculated by the corrected reference point is determined as the resistive leakage current of the surge arrester (1).



WO 2020/256221 A1

공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

(57) 요약서: 본 발명은 종래 금속 산화물 피뢰기(MOSA : Metal-Oxide Surge Arrester)의 누설전류를 측정하는 데 사용되어 왔던 방법의 단점을 보완하기 위하여, 전압을 측정하지 않고, 피뢰기의 누설전류만을 측정하여, 누설전류 중에 포함된 저항성 누설전류 성분을 산정해내는 피뢰기 저항성 누설전류 검출 장치 및 검출 방법에 관한 것으로서, 인가 전압이 0V일 시에 전체 누설전류(I_T)에 발현되는 특징적 패턴에 근거한 패턴 분석을 수행하여 기준점을 선정하는 기준점 탐색 단계(S20)와, 기준점에서 시작하는 전체 누설전류(I_T)를 푸리에 급수로 전개하여 저항성 누설전류(I_R)를 산정하는 저항성 누설전류 산정 단계(S30)와, 피뢰기(I)의 비직선성 저항 특성에 따른 저항성 누설전류(I_R)의 특징적 패턴을 보일 때까지 기준점을 교정하여 저항성 누설전류(I_R)를 재산정하게 하는 기준점 검증/교정 단계(S40, S41)를 수행하고, 교정 완료한 기준점으로 산정된 저항성 누설전류(I_R)를 피뢰기(I)의 저항성 누설전류로 확정한다.

명세서

발명의 명칭: 피뢰기 저항성 누설전류 검출 장치 및 검출 방법 기술분야

- [1] 본 발명은 종래 금속 산화물 피뢰기(MOSA : Metal-Oxide Surge Arrester)의 누설전류를 측정하는 데 사용되어 왔던 방법의 단점을 보완하기 위하여, 전압을 측정하지 않고, 피뢰기의 누설전류만을 측정하여, 누설전류 중에 포함된 저항성 누설전류 성분을 산출하는 피뢰기 저항성 누설전류 검출 장치 및 검출 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 한국은 물론 세계 각국의 전력계통에 접속된 변압기, 차단기 등의 전기기기를 낙뢰, 개폐 서지 등에 의한 이상전압으로부터 보호하기 위하여 피뢰기를 설치하고 있으며, 최근에는 금속 산화물 피뢰기(MOSA : Metal-Oxide Surge Arrester)이 많이 사용하고 있다.
- [3] 금속 산화물 피뢰기는 비직선성 저항 특성을 갖고 있어서 갭리스 타입(gap less type)으로 제한전압이 낮고 방전특성이 우수하고, 열화가 진행되지 아니한 정상적인 상태이면 평상시 누설전류가 매우 적게 흐르지만, 낙뢰, 장기 운전전압 인가 등으로 경년열화시에는 누설전류가 크게 증가한다. 또한, 피뢰기는 누설전류가 어느 정도 이상이 되면 누설전류에 의한 발열로 인해 제 기능을 수행하지 못하게 되므로, 평상시 누설전류를 측정 및 감시하고, 누설전류가 기준치 이상이 되면 교체하여야 한다.
- [4] 도 1에 도시한 등가 회로도를 참조하여 살펴보면, 피뢰기(2)는 비직선성 저항(R)과 정전용량(C)를 병렬 접속한 회로로 모델링할 수 있다. 이에 따라, 계통 모선(2)과 대지 접지선(3) 사이에 설치한 피뢰기에 흐르는 전체 누설전류(I_T)는 저항성 누설전류(I_R)와 용량성 누설전류(I_C)의 합성 전류로 검출된다.

- [5] [수식1]

$$I_T = I_C + I_R$$

- [6] 피뢰기에 흐르는 저항성 누설전류(I_R)는 인가 전압의 순시치가 작을 때에 매우 적게 흐르고, 인가 전압이 어느 레벨 이상이 될 때에 기하급수적으로 증가하므로, 계통 모선(2)의 계통 전압(u)이 인가될 시에 비직선성 저항(R)을 통해 흐르는 저항성 누설전류(I_R)는 아래의 수학적 2로 모델링할 수 있다.

- [7] [수식2]

$$I_R = K u^\alpha$$

- [8] 상기 수학적 2에서, K와 α 는 피뢰기에 사용된 소자 재료의 특성에 따라 정해지는 상수이고, α 는 비직선성 전류 특성을 결정짓는 상수로서, 통상적으로 11, 13 또는 15의 값을 갖게 되어 있다.

[9] 피뢰기에 흐르는 용량성 누설전류(I_c)는 정전용량(C)을 통해 흐르는 전류이므로, 계통전압(u)을 검출하여 그 파형을 알고 있을 경우에 계통전압(u)을 미분하여 아래의 수학적 식 3으로 표현할 수 있다.

[10] [수식3]

$$I_c = C \frac{du}{dt}$$

[11] 그런데, 피뢰기가 열화되면, 정전용량(C)은 거의 일정하여 용량성 누설전류(I_c)도 거의 변동하지 않지만, 비직선성 저항(R)은 열화의 진전에 따라 점차 감소하여서 저항성 누설전류(I_R)는 증가한다.

[12] 따라서, 피뢰기의 열화 상태를 정확히 판단하려면, 피뢰기에 흐르는 누설전류 중에 저항성 누설전류(I_R)를 측정하여, 열화 상태를 판단하는 것이 가장 바람직하다.

[13] 하지만, 저항성 누설전류(I_R)를 직접 측정하기란 어려우므로, 종래에는 우회적인 방법을 사용하였다.

[14] 종래 방법으로서, 계통전압(u)을 이용하는 방법이 있다. 등록특허 제10-1086878호에 개시된 방법을 참조하며 살펴보면, 피뢰기에 인가된 계통전압(u)과 피뢰기에 흐르는 전체 누설전류(I_T)를 동시에 검출한 후, 계통전압(u)을 미분하여 얻는 미분전압(du/dt)과 검출한 전체 누설전류(I_T)를 이용하여 용량성 누설전류(I_c) 성분을 추출하고, 전체 누설전류(I_T)에서 용량성 누설전류(I_c) 성분을 차감하여서 저항성 누설전류(I_R)를 얻고, 저항성 누설전류(I_R)에 따라 열화 상태를 판단한다.

[15] 하지만, 계통전압(u)를 측정하려면 계통전압(u)을 강압하여 측정하는 계기용 변압기(PT : Potential Transformer)가 필요한데, 통상적으로 피뢰기는 계기용 변압기와 멀리 떨어져 있는 위치에 설치되고, 계기용 변압기까지 케이블을 배선하는 것도 어려움이 있다. 또한, 피뢰기 설치 위치에 계기용 변압기를 추가 설치하는 것도 어려움이 있다. 특히, 피뢰기 저항성 누설전류 검출 장치를 휴대용으로 구성하는 경우에는 계통전압(u) 측정 기능을 그 검출 장치에 부가하기란 매우 곤란하다.

[16] 이에 따라, 피뢰기 설치 위치에서 용이하게 측정할 수 있는 전체 누설전류의 제3고조파 성분을 측정하여 피뢰기 열화 상태를 판정하는 방법이 주로 사용되고 있으며, 예시적으로 등록특허 제10-0988027호에서는 전체 누설전류, 진폭 스펙트럼, 오차율, 위상, 유효전류 등을 기준값과 비교하는 방식을 추가하였지만, 제3고조파의 진폭을 기준값과 비교하는 방식을 기본으로 하고 있다.

[17] 제3고조파 성분을 이용하는 방법의 이론적 근거는 다음과 같다.

[18] 1주기의 전체 누설전류(I_T)를 검출하여 기본파 성분과 홀수차 고조파 성분을 포함하는 푸리에 급수(Fourier series)로 전개하면 아래의 수학적 식 4와 같이 된다.

[19] [수식4]

$$I_T(t) = \sum_{m=1}^9 a_m \cos(m\omega t) + \sum_{m=1}^9 b_m \sin(m\omega t), \quad m=1,3,5,7,9$$

[20] 상기 수학적 식 4에서, m은 고조파 차수로서 통상적으로 전력 계통에서는 제9차 고조파 성분까지만 고려하면 충분하므로, 제9차 고조파 성분까지만 포함되게 하였고, a_m 및 b_m은 푸리에 계수(Fourier coefficient)로서 m차 고조파 성분의 피크값이 되고, ω는 계통 주파수(f)를 적용한 2πf이다.

[21] 상기 수학적 식 2,3에서 알 수 있듯이, 저항성 누설전류(I_R)는 계통 전압(u)과 위상이 동일한 동상(in phase) 전류이고, 용량성 누설전류(I_C)는 저항성 누설전류(I_R)에 비해 위상이 90°앞서는 진상(lead phase) 전류이다. 그렇지만, 전체 누설전류(I_T)만을 측정할 때에는 계통 전압(u)의 위상을 알 수 없는 상황이고, 1주기의 시작점이 달라지면 푸리에 계수의 값도 달라지므로, 저항성 누설전류(I_R) 및 용량성 누설전류(I_C)를 상기 수학적 식 4로부터 직접 얻을 수는 없다.

[22] 반면에, 상기 수학적 식 4를 sine 함수만을 갖는 아래 수학적 식 5로 변형하면, 1주기의 시작점이 달라지더라도 변동하지 않는 전체 누설전류 고조파의 피크값(c_n)을 얻을 수 있다.

[23] [수식5]

$$I_T(t) = \sum_{m=1}^9 c_m \sin(m\omega t + \theta_m), \quad m=1,3,5,7,9$$

[24]

$$c_m = \sqrt{a_m^2 + b_m^2}, \quad \theta_m = \arctan\left(\frac{a_m}{b_m}\right)$$

[25] 즉, 상기 수학적 식 5에서 고조파의 피크값(c_n)은 저항성 누설전류(I_R)의 고조파와 용량성 누설전류(I_C)의 고조파가 벡터적으로 합해진 계수이므로, 계통 주파수(f)의 주기를 갖는 전체 누설전류(I_T) 중에 푸리에 급수로 전개할 1주기를 어느 구간으로 정하더라도 동일한 값으로 얻을 수 있다.

[26] 그런데, 계통 전압(u)에 제3고조파 성분이 없으면, 용량성 누설전류(I_C)에도 제3고조파 성분이 나타나지 않고, 결국, 전체 누설전류(I_T)에서 얻은 제3고조파 성분의 피크값 c₃는 저항성 누설전류(I_R)의 제3고조파 피크값과 동일하다.

[27] 종래에는 계통 전압(u)의 제3고조파 성분이 매우 적다고 가정하여, 전체 누설전류(I_T)의 제3고조파 성분의 푸리에 계수를 산정하여, 저항성 누설전류(I_R)의 제3고조파 피크값으로 간주하였다. 그리고, 제3고조파 성분의 푸리에 계수의 크기에 따라 열화를 진단하였다.

[28] 하지만, 실제의 전력 계통에서는 제3고조파 성분의 전압이 계통 전압(u)에 존재하므로, 전체 누설전류(I_T)의 제3고조파 성분 에 따라 열화상태를 진단하면 정확도가 크게 저하될 수 있고, 진단 결과의 신뢰성도 문제가 될 수 있다.

[29] 이외의 종래 방법으로서, 등록특허 제10-0498927호 및 일본 공개특허

제2017-122666호에 개시된 바와 같이, 기준 파형을 선정한 후 전체 누설전류(I_T) 파형과의 비교 분석하거나, 또는 및 전체 누설전류(I_T) 파형을 지연시킨 파형과 합성하여 비교 분석하고, 저항성 누설전류(I_R) 파형을 얻는 방법도 있다. 하지만, 이런 종래 방법은 순시적 변화에 따른 오차 및 잡음에 의한 오차가 발생하여서, 진단의 정확도가 낮아질 수 있다.

- [30] 다시 말해서, 전력 계통에 연결된 피뢰기에서 발생하는 저항성 누설전류의 성분 중에 계통 주파수의 기본파 성분과 주요 관심 차수의 고조파 성분을 추출한 후 합성하여, 저항성 누설전류를 직접 검출하는 방법이 바람직하다고 판단된다.
- [31] [선행기술문헌]
- [32] [특허문헌]
- [33] (특허문헌 1) KR 10-1086878 B1 2011.11.18.
- [34] (특허문헌 2) KR 10-0988027 B1 2010.10.08.
- [35] (특허문헌 3) KR 10-0498927 B1 2005.06.23.
- [36] (특허문헌 4) JP 2017-122666 A 2017.07.13.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [37] 따라서, 본 발명의 목적은 피뢰기에 흐르는 전체 누설전류를 측정 한 후, 푸리에 급수로 전개하여, 저항성 누설전류의 기본파 성분 및 관심대상의 고조파 성분을 검출할 수 있고, 검출한 성분을 합성하여 저항성 누설전류를 얻을 수 있는 피뢰기 저항성 누설전류 검출 장치 및 검출 방법을 제공하는 것이다.

과제 해결 수단

- [38] 상기 목적을 달성하기 위해 본 발명은 피뢰기 저항성 누설전류 검출 방법에 있어서, 전압이 인가된 피뢰기(1)를 통해 흐르는 전체 누설전류(I_T)를 디지털 데이터 값으로 검출하는 전체 누설전류 검출 단계(S10); 인가 전압이 0V일 시에 전체 누설전류(I_T)에 발현되는 특징적 패턴에 근거하여, 전압이 0V인 시점을 탐색하고 기준점으로 선정하는 기준점 탐색 단계(S20); 기준점에서 시작하는 1주기 전체 누설전류(I_T)의 푸리에 급수 중에 기준점에서 0V를 갖는 전압과 동상(in phase)인 항을 합하여 저항성 누설전류(I_R)를 산정하는 저항성 누설전류 산정 단계(S30); 산정한 저항성 누설전류(I_R)가 피뢰기(1)의 비직선성 저항 특성에 따른 저항성 누설전류(I_R)의 특징적 패턴을 보일 때까지 기준점을 교정하여 상기 저항성 누설전류 산정 단계(S30)를 재수행하게 하는 기준점 검증/교정 단계(S40, S41); 교정 완료한 기준점으로 산정된 저항성 누설전류(I_R)를 피뢰기(1)의 저항성 누설전류로 확정하는 저항성 누설전류 확정 단계(S50);를 포함한다.
- [39] 상기 목적을 달성하기 위해 본 발명은 피뢰기 저항성 누설전류 검출 장치에 있어서, 전압이 인가된 피뢰기(1)를 통해 흐르는 전체 누설전류(I_T)를 디지털 데이터 값으로 검출하는 누설전류 검출부(10); 인가 전압이 0V일 시에 전체

누설전류(I_T)에 발현되는 특징적 패턴에 근거하여, 전압이 0V인 시점을 탐색하고 기준점으로 선정하는 기준점 탐색부(20); 기준점에서 시작하는 1주기 전체 누설전류(I_T)의 푸리에 급수 중에 기준점에서 0V를 갖는 전압과 동상(in phase)인 항을 합하여 저항성 누설전류(I_R)를 산정하는 저항성 누설전류 산정부(31); 및 산정한 저항성 누설전류(I_R)가 피뢰기(1)의 비직선성 저항 특성에 따른 저항성 누설전류(I_R)의 특징적 패턴을 보일 때까지 기준점을 교정하고, 상기 저항성 누설전류 산정부(30)에서 교정된 기준점에 따라 저항성 누설전류(I_R)를 재수행하게 하며, 교정 완료한 기준점으로 산정된 저항성 누설전류(I_R)를 피뢰기(1)의 저항성 누설전류로 확정하는 기준점 검증/교정부(32);를 포함한다.

발명의 효과

- [40] 상기와 같이 이루어지는 본 발명은 현실적으로 측정할 수 있는 전체 누설전류만 검출하여 피뢰기에 인가된 전압이 '0' V인 시점을 탐색함으로써, 전체 누설전류의 푸리에 급수로부터 저항성 누설전류를 추출할 수 있게 하며, 더욱이, 탐색된 전압이 '0' V인 시점을 피뢰기(1)의 비직선성 저항 특성에 따라 교정할 수 있게 함으로써, 푸리에 급수를 이용하여 저항성 누설전류를 더욱 정확하게 얻을 수 있다.
- [41] 일 실시예에 따르면, 본 발명은 인가 전압이 0V인 시점을 중심으로 피뢰기의 전체 누설전류에 발현되는 대칭성에 근거하여 인가 전압이 0V인 시점을 선정하므로, 인가 전압이 0V인 시점을 피뢰기의 특성을 반영하여 정확하게 탐색할 수 있다.
- [42] 일 실시예에 따르면, 본 발명은 전체 누설전류의 푸리에 급수에서 sine 항을 추출하는 간단한 방식으로 저항성 누설전류를 정확하게 얻을 수 있으며, 아울러, 고조파 성분의 누설전류에 대한 분석도 병행할 수 있는 자료를 제공할 수 있다.
- [43] 일 실시예에 따르면, 본 발명은 인가 전압이 0V인 시점을 중심으로 소정 구간 동안 확연하게 발현되는 저항성 누설전류의 특징적 패턴을 이용하여, 인가 전압이 0V인 시점을 보다 정확하게 교정하고, 저항성 누설전류도 보다 정확하게 얻을 수 있다.
- [44] 일 실시예에 따르면, 본 발명은 인가 전압이 0V인 시점을 탐색함에 있어서, 저항성 누설전류의 특징적 패턴으로 간주할 수 있는 범주의 양측 경계 조건을 고려하여, 인가 전압이 0V인 시점을 단계적으로 교정하며 탐색함으로써, 잡음 또는 검출 오차 등에 따른 영향이 있더라도 저항성 누설전류를 정확하게 얻을 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [45] 도 1은 피뢰기의 등가 회로도.
- [46] 도 2는 피뢰기에 인가한 계통 전압(u)이 0V인 시점을 시작점으로 계통 주파수(f)에 따른 1주기의 전체 누설전류(I_T)를 검출하여 도시한 파형도.
- [47] 도 3은 도 2에 도시한 전체 누설전류(I_T)를 푸리에 급수(Fourier series)로 전개하여 추출한 저항성 누설전류(I_R)와 용량성 누설전류(I_C)의 파형도.

- [48] 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 피뢰기 저항성 누설전류 검출 장치의 블록 구성도.
- [49] 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 피뢰기 저항성 누설전류 검출 방법의 순서도.
- [50] 도 6은 피뢰기(1)에서 검출한 1주기 전체 누설전류(I_T)에서 탐색되는 기준점(n_0)을 표시한 전체 누설전류(I_T)의 파형도.
- [51] 도 7은 도 6에 표시한 기준점(n_0)에서 시작하는 1주기 전체 누설전류(I_T)의 파형도.
- [52] 도 8은 기준점(n_0)에서 시작하는 1주기 전체 누설전류(I_T)의 푸리에 계수로 획득한 저항성 누설전류(I_R)가 기준점(n_0) 선정 오류의 유형별로 달라질 수 있음을 보여주는 도면.

발명의 실시를 위한 최선의 형태

- [53] 본 발명에 따른 피뢰기 저항성 누설전류 검출 장치 및 검출 방법은 피뢰기(1)에 흐르는 전체 누설전류(I_T)의 파형도에서 피뢰기(1)에 인가된 전압이 OV인 위치를 탐색하여 기준점으로 선정한 후, 기준점에서 시작하는 1주기 전체 누설전류(I_T)를 푸리에 급수(Fourier series)로 전개하고, 인가 전압과 저항성 누설전류(I_R)가 동상(in-phase)인 점을 이용하여, 전체 누설전류(I_T)의 푸리에 급수에서 저항성 누설전류(I_R)의 성분만 추출한다.
- [54] 이에 따라, 본 발명은 전체 누설전류(I_T)의 푸리에 급수에서 추출한 저항성 누설전류(I_R)의 기본파 성분 및 각 고조파 성분을 합성하여 저항성 누설전류(I_R)의 파형을 얻을 수 있으므로, 인가 전압을 측정하지 않고, 전체 누설전류(I_T)만 측정하더라도 저항성 누설전류(I_R)를 검출할 수 있다.
- [55] 본 발명은 상기 기준점을 정확하게 얻어야만 저항성 누설전류(I_R)의 성분을 추출할 수 있으므로, 파형의 특징적 패턴을 심분 활용한다.
- [56] 이에, 피뢰기(1)에 인가 전압이 OV인 기준점을 정확하게 얻은 상황에 대해 살펴봄으로써, 본 발명의 이론적 근거를 명확히 한 후, 본 발명의 실시 예를 상세히 설명한다.
- [57] 도 1에 도시한 바와 같이 금속 산화물 피뢰기(MOSA : Metal-Oxide Surge Arrester, 1)는 정전용량(C)과 비직선성 저항(R)을 병렬 연결한 회로로 등가화할 수 있고, 이러한 피뢰기(1)를 전력계통의 계통 모선(2)과 대지 접지선(3) 사이에 연결하면, 계통 전압(u)이 인가되어 용량성 누설전류(I_c)와 저항성 누설전류(I_R)의 합으로 이루어진 전체 누설전류(I_T)가 대지로 흐른다.
- [58] 그리고, 계통 전압(u)이 OV인 시점을 시작점으로 검출되는 1주기의 전체 누설전류(I_T)를 푸리에 급수(Fourier series)로 전개하여, 아래와 같이 용량성 누설전류(I_c)와 저항성 누설전류(I_R)를 검출할 수 있다.
- [59] 도 2는 피뢰기에 인가되는 계통 전압(u)이 OV인 시점을 시작점으로 계통 주파수(f)에 따른 1주기의 전체 누설전류(I_T)를 검출하여 도시한 파형도이다. 도 2에서 실선으로 도시한 파형은 전체 누설전류(I_T)이고, 파선으로 도시한 파형은

계통 전압(u)이다.

- [60] 도 3은 도 2에 도시한 전체 누설전류(I_T)를 푸리에 급수(Fourier series)로 전개하여 추출한 저항성 누설전류(I_R)와 용량성 누설전류(I_C)의 파형도이다. 도 3에서, 실선으로 도시한 파형은 저항성 누설전류(I_R)이고, 1점 쇄선으로 도시한 파형은 용량성 누설전류(I_C)이고, 파선으로 도시한 파형은 계통 전압(u)이다.
- [61] 계통 전압(u)에는 고조파가 포함되어 있는데, 피뢰기(1)의 누설전류를 분석할 때에는 보통 제9차 고조파까지만 고려하고 있다. 즉, 제1차인 기본파와 제3, 5, 7, 9차 고조파만 고려한다.
- [62] 따라서, 도 2에 도시한 바와 같이 상승하는 구간 중에 0V인 위치를 시작점으로 하는 계통 전압(u)은 아래 수학적 식 6으로 표시할 수 있다.

[63] [수식6]

$$u(t) = \sum_{m=1}^9 u_m(t) = \sum_{m=1}^9 u_{MAX,m} \sin(m\omega t), \quad m=1,3,5,7,9$$

- [64] 여기서, u_m(t)은 제m차 성분이고, u_{MAX,m}은 제m차 성분의 피크치이고, ω는 계통 주파수(f)를 적용한 2πf이다.
- [65] 도 2에 도시한 바와 같이 ωt=0인 위치, 즉, 계통 전압(u)의 상승 구간 중에 0V인 위치를 기준으로 하는 1주기 전체 누설전류(I_T)를 푸리에 급수로 전개하면, 아래 수학적 식 7과 같이 된다. 여기서도, 제1, 3, 5, 7, 9차 항만을 고려한다.

[66] [수식7]

$$I_T(t) = \sum_{m=1}^9 a_m \cos(m\omega t) + \sum_{m=1}^9 b_m \sin(m\omega t), \quad m=1,3,5,7,9$$

- [67] 여기서, 용량성 누설전류(I_C)는 계통 전압(u)보다 90°앞선 위상을 갖는 진상(lead phase) 전류이고, 저항성 누설전류(I_R)는 계통 전압(u)와 동일한 위상을 갖는 동상(in phase) 전류이다. 따라서, 수학적 식 7에서 cosine 항은 용량성 누설전류(I_C)의 성분에 해당되고, sine 항은 저항성 누설전류(I_R)의 성분에 해당되므로, 용량성 누설전류(I_C)와 저항성 누설전류(I_R)는 아래 수학적 식 8로 얻을 수 있다.

[68] [수식8]

$$I_C(t) = \sum_{m=1}^9 a_m \cos(m\omega t), \quad m=1,3,5,7,9$$

- [69]
$$I_R(t) = \sum_{m=1}^9 b_m \sin(m\omega t), \quad m=1,3,5,7,9$$

- [70] 이와 같은 얻은 용량성 누설전류(I_C)와 저항성 누설전류(I_R)의 파형을 그려보면 도 3과 같이 된다. 도 3은 열화가 진행되어서 저항성 누설전류(I_R)가 좀 많이 흐르는 피뢰기(1)의 전체 누설전류를 검출하여 얻은 것이며, 열화가 진행되지 아니한 피뢰기(1)에서는 저항성 누설전류가 용량성 누설전류에 비해 상대적으로

적게 흐른다.

[71] 용량성 누설전류(I_c)는 정전용량(C)에 의해 흐르는 누설전류이므로,

$$I_C = C \frac{du}{dt}$$

으로 표현되고, 저항성 누설전류(I_R)는 피뢰기에 사용된 소자 재료의 특성에 따라 정해지는 상수 K와 α를 갖는 비직선성 저항(R)에 의해 흐르는 누설전류이므로

$$I_R = K u^\alpha$$

으로 표현되며, 상기 도 3에 도시한 파형도를 살펴보면 표현식에 따른 전류 패턴이 그대로 반영됨을 알 수 있다.

[72] 여기서, 출원인인 주목한 특징적 패턴은 다음과 같다.

[73] 첫 번째 특징적 패턴으로서, 저항성 누설전류(I_R)는 계통 전압(u)과 동상(in phase)이므로, 계통 전압(u)와 동일하게 ωt=π/2의 위상에서 피크치가 발현되며, 그 피크치에서 좌우 대칭을 이룬다.

[74] 또한, 저항성 누설전류(I_R)는 비직선성 저항(R)의 특성에 의해서 ωt=0인 시점부터 소정 구간까지는 무시할 수 있을 정도로 매우 작은 크기로 발현된다. 예를 들어, 상수 α=13이 경우에, ωt=π/6에서 발현되는 저항성 누설전류(I_R)의 순시치는 피크치의 0.01% 정도이다.

[75] 이를 일반화하면, 도 3에 표시한 바와 같이 ωt=0인 시점을 기준으로 소정 구간까지는 미소 전류 ΔI_{th} 보다 작아서 실질적으로 0A가 흐르는 것으로 간주할 수 있다. 상기한 예에 대해 대입하면, ωt가 0 ~ π/6인 구간은 ΔI_{th}=(피크치의 0.01%)보다 적은 저항성 누설전류가 흐르므로, 0A가 흐르는 것으로 간주할 수 있다.

[76] 두 번째 특징적 패턴으로서, 저항성 누설전류(I_R)는 ωt = -π/6 ~ π/6의 범위에서 무시할 수 있을 정도로 매우 작으므로, 이 범위에서의 전체 누설전류(I_T)는 용량성 누설전류(I_c)로 간주하여도 된다.

[77] 세 번째 특징적 패턴으로서, 용량성 누설전류(I_c)는 cosine 함수이므로, ωt = -π/6 ~ π/6의 범위에서 대칭점은 ωt = 0인 점이 된다.

[78] 본 발명의 실시 예는 상기한 3가지 특징적 패턴을 활용하여, 전체 누설전류(I_T)로부터 저항성 누설전류(I_R)를 얻는다.

[79] 이하, 본 발명의 바람직한 실시 예를 첨부한 도면을 참조하여 당해 분야에 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 설명한다.

[80] 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 피뢰기 저항성 누설전류 검출 장치의 블록 구성도이다.

[81] 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 피뢰기 저항성 누설전류 검출 방법의 순서도이다.

- [82] 본 발명의 실시 예에 따른 피뢰기 저항성 누설전류 검출 장치는 누설전류 검출부(10), 기준점 탐색부(20) 및 저항성 누설전류 획득부(30)를 포함한다.
- [83] 그리고, 본 발명의 실시 예에 따른 피뢰기 저항성 누설전류 검출 방법은 상기 누설전류 검출부(10)에 의해 수행되는 전체 누설전류 검출 단계(S10)와, 상기 기준점 탐색부(20)에 의해 수행되는 기준점 탐색 단계(S20)와, 상기 저항성 누설전류 획득부(30)에 의해 수행되는 저항성 누설전류 산정 단계(S30), 기준점 검증/교정 단계(S40, S41) 및 저항성 누설전류 확정 단계(S50)를 포함한다.
- [84] 도 6은 피뢰기(1)에서 검출한 1주기의 전체 누설전류(I_T)에서 탐색되는 기준점(n_0)을 표시한 전체 누설전류(I_T)의 파형도이다.
- [85] 도 7은 전체 누설전류(I_T)를 이용하여 탐색한 기준점(n_0)을 시작점으로 다시 배열한 전체 누설전류(I_T)의 파형도이다.
- [86] 도 8은 기준점(n_0)을 시작점으로 하는 전체 누설전류(I_T)의 푸리에 계수로 획득한 저항성 누설전류(I_R)의 파형도가 기준점(n_0) 선정 오류의 유형별로 달라질 수 있음을 보여주는 도면이다.
- [87] 상기 도 4에 도시한 장치와 도 5에 도시한 방법 순서도를 상기 도 6 내지 도 8을 참조하며 설명한다.
- [88] 상기 누설전류 검출부(10)는 계통 모선(2)과 대지 접지선(3) 사이에 연결되어 계통 모선(2)을 통해 계통 전압(u)이 인가된 피뢰기(1)에 흐르는 전체 누설전류(I_T)를 디지털 데이터 값으로 검출하는 구성요소로서, 전체 누설전류 검출 단계(S10)를 수행한다.
- [89] 이를 위한 상기 누설전류 검출부(10)는 피뢰기(1)과 대지 접지선(3)에 설치되는 변류기(11)와, 변류기(11)에 의해 검출되는 아날로그 전체 누설전류(I_T)를 증폭한 소정의 샘플 주기로 샘플링하여 디지털 데이터로 검출하는 A/D변환기(12)를 포함한다.
- [90] 전체 누설전류(I_T)는 이상전압이 발생하지 아니한 정상시에 계통 주파수(f)에 따른 주기성을 갖게 되므로, 본 발명의 실시 예에서는 1주기만 검출하는 것으로 하였다. 예를 들어, 한국에서 계통 주파수(f)는 60Hz이므로, 1/60sec 기간의 전체 누설전류(I_T)만 검출하면 된다. 하지만, 후술하는 바와 같이 변동하는 기준점(n_0)에서 시작하는 1주기 전체 누설전류(I_T)를 재배열하지 아니하고, 시간 연속적인 데이터로부터 얻으려 한다면 1주기 전체 누설전류(I_T)의 전후 값도 추가로 검출하여 사용하여 한다.
- [91] 또한, 본 발명의 실시 예에서는 디지털 데이터 값으로 검출되는 전체 누설전류(I_T) 중에 상승하는 구간 중의 0A에서 시작하는 1주기 데이터를 추출하여서, 저항성 누설전류(I_R)를 획득하는 데 사용한다. 이와 같이 0A를 시작점으로 함으로써, 1주기 데이터 구간을 명확히 할 수 있다.
- [92] 도 6은 0A에서 시작하는 1주기 전체 누설전류(I_T)를 그래프로 도시한 파형도이며, 상기 누설전류 검출부(10)는 예시적으로 1주기 동안 $N=400$ 회 샘플링하여 디지털 데이터를 얻는 것으로 하였다.

- [93] 상기 기준점 탐색부(20)는 인가된 전압이 0V인 시점을 탐색하고 기준점(n_0)으로 선정하는 구성요소로서, 상기 기준점 탐색 단계부(S20)를 수행한다.
- [94] 본 발명에 따르면 인가된 계통 전압(u)을 검출하지 아니하므로, 상기 기준점 탐색부(20)는 피뢰기(1)에 인가되는 전압이 0V일 시에 전체 누설전류(I_T)에 발현되는 특징적 패턴에 근거하여, 인가 전압이 0V인 시점을 추정하도록 구성된다.
- [95] 여기서, 전체 누설전류(I_T)의 특징적 패턴은 인가 전압이 0V일 시에 전체 누설전류(I_T)에 발현되는 특징적 패턴은 좌우 대칭성이 가장 높게 발현되는 패턴으로 하였다. 그런데, 도 2를 참조하며 살펴본 바와 같이 인가 전압이 0V인 시점을 중심으로 한 전후의 소정 구간에도 저항성 누설전류(I_R)가 무시할 정도이지만 흐르긴 한다. 또한, 인가 전압이 0V인 시점을 중심으로 좌우 대칭성이 발현되는 구간은 짧은 범위로 제한된다.
- [96] 이에, 상기 기준점 탐색부(20)는 아래 수학적 식 9에 예시한 바와 같이 각 샘플별도 전후 소정 구간을 취하여 좌우 대칭도 $S(n)$ 을 산정하고, 좌우 대칭도 $S(n)$ 이 가장 작은 샘플의 위치를 선정하도록 구성하였다. 이에, 전체 누설전류(I_T)에서 좌우 대칭성이 가장 높은 시점을 상기 기준점(n_0)으로 선정할 수 있다.

[97] [수식9]

$$S(n) = \sum_{i=1}^{\Delta n} (I_T(n-i) - I_T(n+i))^2$$

- [98] 상기 수학적 식 9에서 n는 디지털 전체 누설전류(I_T)의 샘플 순서이고, Δn 는 전후 구간의 크기를 나타내며, 예를 들어 1주 동안 $N=400$ 개의 샘플을 얻은 점을 고려하여 $\Delta n=5$ 의 값을 갖게 할 수 있다. 즉, 각 샘플에 대해서 전후 5개 샘플을 취하여 좌우 대칭도를 산정하게 할 수 있다.
- [99] 이에 따라 도 6에 도시한 바와 같이 좌우 대칭성이 가장 높은 시점을 인가 전압이 0V인 기준점(n_0)으로 선정할 수 있다.
- [100] 또한, 본 발명의 실시 예에 따르면, 전압이 상승하는 구간 중에 0V인 시점을 기준점(n_0)으로 선정하게 하였다. 상승 구간 중의 0A인 시점부터 1주기 전체 누설전류(I_T)를 취하였으므로, 용량성 누설전류가 주류를 이루는 침투 부분이 발현되는 시점은 적어도 0~1/4 주기 내에 있으므로, 예를 들어 0~1/4 주기의 좌우 대칭도를 샘플별로 산정한 후 최소인 시점을 기준점으로 선정하게 하면 된다.
- [101] 상기 수학적 식 9에 따라 기준점을 탐색하면, 1주기 동안 2개가 탐색되므로, 어느 하나를 선택하여야 한다. 그런데, 후술하는 바와 같이 기준점(n_0)을 검증하여 교정하기 위해서는 전압이 상승하는 구간 중에 0V인 시점을 기준점(n_0)으로 선정하여야 한다. 만약, 전압이 하강하는 구간 중에 0V인 시점을 기준점(n_0)으로 선정하게 한다면, 기준점(n_0) 이후 소정 구간 동안 미소한 부(-)의 저항성 누설전류(I_R)가 흐른다는 점을 반영하도록 검증 과정을 변형하여야 한다.

- [102] 상기 저항성 누설전류 획득부(30)는 기준점(n_0)에서 시작하는 1주기 전체 누설전류(I_T)의 푸리에 급수에서 항을 추출하여 저항성 누설전류(I_R)를 산정하되, 산정한 저항성 누설전류(I_R)의 패턴에 근거하여 기준점(n_0)의 정확도를 검증하고, 기준점(n_0)이 부정확하다고 판단될 시에 기준점(n_0)을 교정하여 교정된 기준점(n_0)에 따라 저항성 누설전류(I_R)를 재산정하게 함으로써, 저항성 누설전류(I_R)를 정확하게 획득하는 구성요소이다.
- [103] 이를 위해서, 상기 저항성 누설전류 획득부(30)는 저항성 누설전류 산정부(31)와, 기준점 검증/교정부(32)를 구비한다.
- [104] 상기 저항성 누설전류 산정부(31)는 기준점(n_0)에서 시작하는 1주기 전체 누설전류(I_T)의 푸리에 급수 중에 기준점(n_0)에서 0V를 갖는 가상의 인가 전압과 동상(in phase)인 항을 합하여 저항성 누설전류(I_R)를 산정하는 구성요소로서, 상기 저항성 누설전류 산정 단계(S30)를 수행한다.
- [105] 구체적으로 설명하면, 1주기 전체 누설전류(I_T)를 기준점(n_0)에서 시작하도록 재배열하는 재배열 단계(S31)와, 재배열한 1주기 전체 누설전류(I_T)를 푸리에 변환하여 푸리에 급수를 얻는 푸리에 급수 전개 단계(S32)와, 푸리에 급수에 포함된 항 중에 기준점(n_0)에서 0V를 갖는 전압과 동상(in phase)인 항을 합하여 저항성 누설전류(I_R)를 산정하는 저항성 누설전류(I_R) 추출 단계(S33)를 순차적으로 수행한다.
- [106] 도 7은 상기 재배열 단계(S31)를 수행하여 얻는 파형도로서, 상기 기준점 탐색부(20)에서 선정한 기준점(n_0)에서 시작하도록 재배열한 전체 누설전류(I_T)의 파형도이다. 도 7을 참조하면, 도 6에 표시된 기준점(n_0) 이전의 샘플 값을 후단에 이어 붙이는 방식으로 전체 누설전류(I_T)를 재배열하였음을 알 수 있으며, 아래의 수학적 식 10으로 표현할 수 있다.

[107] [수식10]

$$I_T(n) = I_T(n + n_0), \quad n = 0, 1, 2, \dots, (N-1 - n_0)$$

[108]
$$I_T(n + N - n_0) = I_T(n), \quad n = 0, 1, 2, \dots, (n_0 - 1)$$

- [109] 여기서, N은 앞서 언급한 바와 같이 1주기 전체 누설전류(I_T)의 샘플 개수로서 예시적으로 400으로 하였고, n는 1주기 전체 누설전류(I_T)의 샘플 순번이다.
- [110] 반면에, 상기 누설전류 검출부(10)는 상기에서 설명한 변형 실시 예로서 1주기를 초과하는 전체 누설전류(I_T)를 검출하게 구성될 수도 있으며, 이 경우에는 선정한 기준점(n_0)에서 시작되는 연속적인 1주기 전체 누설전류(I_T)를 샘플의 재배열 없이 얻을 수 있다.
- [111] 이와 같이 선정한 기준점(n_0)에서 시작되는 1주기 전체 누설전류(I_T)를 상기 푸리에 급수 전개 단계(S32)를 수행하여 이산시간 푸리에 변환하면, cosine 항의 푸리에 계수 a_m 과 sine 항의 푸리에 계수 b_m 을 갖는 아래의 수학적 식 11의 푸리에 급수를 얻는다.

[112] [수식11]

$$I_T(n) = \sum_{m=1}^9 a_m \cos(m \frac{2\pi}{N} n) + \sum_{m=1}^9 b_m \sin(m \frac{2\pi}{N} n), \quad n=0,1,2,3,\dots,N-1$$

[113] 물론, 상기 수학적 식 11에서 m은 1, 3, 5, 7, 9이다.

[114] 그리고, 상기 수학적 식 11의 푸리에 급수에서 푸리에 계수 a_m 과 b_m 는 아래 수학적 식 12로 표현된다.

[115] [수식12]

$$a_m = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} I_T(n) \cos(m \frac{2\pi}{N} n), \quad m=1,3,5,7,9$$

[116]

$$b_m = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} I_T(n) \sin(m \frac{2\pi}{N} n), \quad m=1,3,5,7,9$$

[117] 상기 수학적 식 8,9를 참조하며 설명한 바와 같이, 선정된 기준점(n₀)이 인가 전압(u)이 0V인 시점과 일치한다면, 인가 전압(u)과 동상(in phase)인 저항성 누설전류(I_R)는 상기 수학적 식 11의 푸리에 급수 중에 sine 항만으로 표현된 전류 성분으로 이루어지고, 위상이 인가 전압(u)보다 90°앞선 진상(lead phase) 전류인 용량성 누설전류(I_C)는 cosine 항만으로 표현된 전류 성분으로 이루어진다.

[118] 따라서, 상기 저항성 누설전류(I_R) 추출 단계(S33)를 수행함으로써, 저항성 누설전류(I_R) 및 용량성 누설전류(I_C)를 아래 수학적 식 13으로 얻을 수 있다.

[119] [수식13]

$$I_R(n) = \sum_{m=1}^9 b_m \sin(m \frac{2\pi}{N} n), \quad n=0,1,2,3,\dots,N-1, \quad m=1,3,5,7,9$$

[120]

$$I_C(n) = \sum_{m=1}^9 a_m \cos(m \frac{2\pi}{N} n), \quad n=0,1,2,3,\dots,N-1, \quad m=1,3,5,7,9$$

[121]

[122] 그런데, 검출한 전체 누설전류(I_T)에 유입된 잡음(noise) 또는 검출 오차 등의 영향으로 기준점이 정확하지 않을 수 있다.

[123] 상기 기준점 검증/교정부(32)는 기준점의 정확성을 검증하고, 검증 결과에 기준점이 부정확하다고 판단되면 기준점을 수정하여서, 상기 저항성 누설전류 산정부(31)에서 수정한 기준점에 따라 저항성 누설전류를 재산정하게 하고, 기준점이 정확하다고 판단되면, 정확하다고 판단된 기준점에 따라 산정한 저항성 누설전류를 피뢰기(1)의 저항성 누설전류로 확정한다.

[124] 이를 위해서, 상기 기준점 검증/교정부(32)는 산정한 저항성 누설전류(I_R)가 피뢰기(1)의 비직선성 저항 특성에 따른 저항성 누설전류(I_R)의 특징적 패턴을

보일 때까지 기준점을 교정하여, 상기 저항성 누설전류 산정부(30)에서 교정된 기준점에 따라 저항성 누설전류(I_R)를 재수행하게 하는 기준점 검증/교정 단계(S40, S41)와, 기준점을 교정하여 얻는 저항성 누설전류(I_R)가 저항성 누설전류(I_R)의 특징적 패턴을 보일 시에 교정 완료하고, 교정 완료한 기준점에 따라 산정된 저항성 누설전류(I_R)를 피뢰기(1)의 저항성 누설전류로 확정하는 저항성 누설전류 확정 단계(S50)를 순차적으로 수행하도록 구성된다.

- [125] 본 발명의 구체적인 실시 예에서는 전압이 0V인 시점부터 소정 시간 경과할 때까지 미소한 기설정 전류(ΔI_{th}) 이하의 값으로 나타나는 특징적 패턴을 활용하여서, 기준점의 정확도를 검증하고, 기준점을 교정한다.
- [126] 도 8은 기준점(n_0)을 시작점으로 하는 전체 누설전류(I_T)의 푸리에 계수로 획득한 저항성 누설전류(I_R)의 파형도가 기준점(n_0) 선정 오류의 유형별로 달라질 수 있음을 보여주는 도면이다.
- [127] 상기 도 8을 살펴보면, 3가지 유형의 파형도 $I_{R,a}$, $I_{R,b}$, $I_{R,c}$ 가 도시되어 있다.
- [128] 파형도 $I_{R,a}$ 는 인가 전압(u)이 정확하게 0V인 시점으로 기준점(n_0)을 선정하였을 시에 얻는 저항성 누설전류(I_R)이다. 이에, 상기 도 3을 참조하며 살펴본 바와 같이 0에서 시작하는 소정 길이의 초기 구간($0 \sim n_{th}$)에서는 무시할 정도의 미소 전류값 ΔI_{th} 이하의 전류가 흐르므로 실질적으로 0A가 흐른다. 즉, 초기 구간($0 \sim n_{th}$)에 흐르는 저항성 누설전류(I_R)는 0A 이상이지만 무시할 수 있는 ΔI_{th} 이하이다.
- [129] 반면에, 인가 전압(u)이 0V인 시점에서 벗어난 시점을 기준점(n_0)으로 선정하면, $I_{R,b}$ 아니면 $I_{R,c}$ 의 파형을 보인다.
- [130] 파형도 $I_{R,b}$ 는 인가 전압(u)이 0V인 시점보다 뒤쳐진 시점을 기준점으로 선정되었을 시의 파형도로서, 저항성 누설전류(I_R)가 0A 미만인 부분이 초기 구간($0 \sim n_{th}$)에서 발생한다.
- [131] 파형도 $I_{R,c}$ 는 인가 전압(u)이 0V인 시점보다 앞선 시점을 기준점으로 선정되었을 시의 파형도로서, 저항성 누설전류(I_R)가 무시할 정도의 ΔI_{th} 를 초과하는 부분이 초기 구간($0 \sim n_{th}$)에서 발생한다.
- [132] 이에, 상기 기준점 검증/교정부(32)는 상기 기준점 검증/교정 단계(S40, S41)를 수행할 시에, 저항성 누설전류(I_R)가 기설정 길이의 초기 구간($0 \sim n_{th}$) 동안 ΔI_{th} 이하가 되도록 상기 기준점을 교정한다. 물론, 초기 구간($0 \sim n_{th}$) 동안 ΔI_{th} 이하이면 기준점을 교정하지 아니하고 그대로 적용한다.
- [133] 그리고, 기준점을 교정하는 방식은 저항성 누설전류(I_R)가 0A 미만인 부분이 초기 구간($0 \sim n_{th}$)에서 발생하는 경우에, 기준점을 이전 기준점보다 앞당기고, 저항성 누설전류(I_R)가 ΔI_{th} 를 초과하는 부분이 초기 구간($0 \sim n_{th}$)에 발생하는 경우에, 기준점을 이전 기준점보다 늦추는 방식으로 한다.
- [134] 그런데, 초기 구간($0 \sim n_{th}$) 전체에 대해 검증하지 아니하고, 적어도 2포인트 이상의 시점에서만 검증하여도 충분하다.
- [135] 또한, 앞서 언급하였듯이 잡음 또는 전류 검출 오차에 의하여, 기준점을 정확하게 교정하기란 매우 어렵다.

- [136] 이에, 본 발명의 실시 예에서는 초기 구간($0 \sim n_{th}$)에서 2개 포인트 시점을 정하고, 파형 $I_{R,b}$ 또는 파형 $I_{R,c}$ 로 나타남에 따라 기준점을 교정할 시에는 초기 구간($0 \sim n_{th}$)의 미소 전류값 ΔI_{th} 부호와 크기를 고려한 경계 조건을 이용하여 교정한다.
- [137] 구체적인 실시 예를 들어 설명하면, 초기 구간($0 \sim n_{th}$)에서 2개 포인트 시점을 각각 $\pi/18=10^\circ$ 및 $\pi/9=20^\circ$ 의 위상에 대응되는 시점으로 선정하고, 저항성 누설전류가 적어도 어느 하나의 시점에서 0A 미만일 시에 2개 시점 모두에서 0A 이상이 될 때까지 기준점을 샘플 단위로 단계적으로 앞당긴다.
- [138] 또한, 2개 시점 모두에서 기설정 미소 전류값 ΔI_{th} 를 초과할 시에는 적어도 어느 하나의 시점에서 0A 이하가 될 때까지 기준점을 샘플 단위로 단계적으로 늦춘다.
- [139] 수식적으로 표현하면, $I_R(\pi/18) < 0$ 또는 $I_R(\pi/9) < 0$ 이면, 도 8의 파형 $I_{R,b}$ 에 해당되므로, 기준점을 샘플 단위로 1스텝 앞당겨 $I_R(\pi/18) \geq 0$ 및 $I_R(\pi/9) \geq 0$ 이 되어야 하는 조건을 충족하는지 확인하고, 조건을 충족하지 못하면 1스텝 더 앞당겨보는 과정을 반복한다. 그리고, 조건을 충족하면 기준점 교정 과정을 완료한다.
- [140] $I_R(\pi/18) > \Delta I_{th}$ 및 $I_R(\pi/9) > \Delta I_{th}$ 이면, 도 8의 파형 $I_{R,c}$ 에 해당되므로, 기준점을 샘플 단위로 1스텝 늦추어 $I_R(\pi/18) \leq 0$ 또는 $I_R(\pi/9) \leq 0$ 이 되어야 하는 조건을 충족하는지 확인하고, 조건을 충족하지 못하면 1스텝 더 늦추어보는 과정을 반복한다. 그리고, 조건을 충족하면 기준점 교정 과정을 완료한다.
- [141] 물론, 이외 조건, 즉, $I_R(\pi/18) < 0$ 또는 $I_R(\pi/9) < 0$ 인 조건도 아니하고, $I_R(\pi/18) > \Delta I_{th}$ 및 $I_R(\pi/9) > \Delta I_{th}$ 의 조건도 아니하면, 기준점 교정 없이 상기 기준점 탐색부(20)에서 탐색되는 기준점을 그대로 사용한다.
- [142] 이와 같이, 기준점 검증/교정부(32)에 의한 기준점 검증/교정 단계(S40, S41) 및 저항성 누설전류 확정 단계(S50)를 수행함으로써, 인가 전압을 검출하지 아니한 상황에서도 인가 전압이 0V인 시점, 즉 제로 크로싱(Zero Crossing) 시점을 정확하게 탐색할 수 있으므로, 푸리에 급수의 sine 항을 선택하여 저항성 누설전류(I_R)를 얻더라도 정확하게 얻을 수 있다.
- [143] 아울러, 상기 저항성 누설전류 확정 단계(S50)는 상기 수학식 12로 표현한 cosine 항의 푸리에 계수 a_m 및 sine 항의 푸리에 계수 b_m 을 기록 저장 또는 출력하고, 상기 수학식 13으로 얻는 저항성 누설전류(I_R) 및 용량성 누설전류(I_c)를 확정하여 전류 데이터를 각각 기록 저장 또는 출력하여서, 절연 열화를 판정할 시에 저항성 누설전류(I_R) 및 용량성 누설전류(I_c)를 모두 분석하는 방식을 사용할 수 있게 하고, 저항성 누설전류(I_R) 및 용량성 누설전류(I_c)를 고조파 성분별로 분석할 수 있게 하는 것이 좋다.
- [144] 한편, 기준점의 정확도를 검증하기 위한, 상기 초기 구간($0 \sim n_{th}$)과, 상기 초기 구간($0 \sim n_{th}$)에서 선정하는 적어도 2 이상의 시점과, 상기 초기 구간($0 \sim n_{th}$)에서의 상기 미소 전류값 ΔI_{th} 는 피뢰기(1)의 비직선성 저항 특성 중에 전압이 0V인 시점의 전후에 나타나는 특성을 고려하여 적절한 값으로 미리 설정하여 두고

사용하게 하면 된다.

[145] 이상에서 본 발명의 기술적 사상을 예시하기 위해 구체적인 실시 예로 도시하고 설명하였으나, 본 발명은 상기와 같이 구체적인 실시 예와 동일한 구성 및 작용에만 국한되지 않고, 여러가지 변형이 본 발명의 범위를 벗어나지 않는 한도 내에서 실시될 수 있다. 따라서, 그와 같은 변형도 본 발명의 범위에 속하는 것으로 간주해야 하며, 본 발명의 범위는 후술하는 특허청구범위에 의해 결정되어야 한다.

[146] [부호의 설명]

[147] 1: 피뢰기 2: 계통 모선 3: 대지 접지선

[148] 10: 누설전류 검출부

[149] 11: 변류기 12: A/D 변환기

[150] 20: 기준점 탐색부

[151] 30: 저항성 누설전류 획득부

[152] 31: 저항성 누설전류 산정부

[153] 32: 기준점 검증/교정부

청구범위

- [청구항 1] 전압이 인가된 피뢰기(1)를 통해 흐르는 전체 누설전류(I_T)를 디지털 데이터 값으로 검출하는 전체 누설전류 검출 단계(S10);
인가 전압이 0V일 시에 전체 누설전류(I_T)에 발현되는 특징적 패턴에 근거하여, 전압이 0V인 시점을 탐색하고 기준점으로 선정하는 기준점 탐색 단계(S20);
기준점에서 시작하는 1주기 전체 누설전류(I_T)의 푸리에 급수 중에 기준점에서 0V를 갖는 전압과 동상(in phase)인 항을 합하여 저항성 누설전류(I_R)를 산정하는 저항성 누설전류 산정 단계(S30);
산정한 저항성 누설전류(I_R)가 피뢰기(1)의 비직선성 저항 특성에 따른 저항성 누설전류(I_R)의 특징적 패턴을 보일 때까지 기준점을 교정하여 상기 저항성 누설전류 산정 단계(S30)를 재수행하게 하는 기준점 검증/교정 단계(S40, S41);
교정 완료한 기준점으로 산정된 저항성 누설전류(I_R)를 피뢰기(1)의 저항성 누설전류로 확정하는 저항성 누설전류 확정 단계(S50);
를 포함하는
피뢰기 저항성 누설전류 검출 방법.
- [청구항 2] 제 1항에 있어서,
인가 전압이 0V일 시에 전체 누설전류(I_T)에 발현되는 특징적 패턴은 좌우 대칭성이 가장 높게 발현되는 패턴으로서,
상기 기준점 탐색 단계(S20)는
전체 누설전류(I_T)에서 소정 범위의 좌우 대칭성이 가장 높은 시점을 상기 기준점으로 선정하는
피뢰기 저항성 누설전류 검출 방법.
- [청구항 3] 제 1항에 있어서,
상기 기준점 탐색 단계(S20)는
전압이 상승하는 구간 중에 0V인 시점을 탐색하여 기준점으로 선정하는
피뢰기 저항성 누설전류 검출 방법.
- [청구항 4] 제 1항 내지 제 3항 중에 어느 하나의 항에 있어서,
상기 저항성 누설전류 산정 단계(S30)에서 1주기 전체 누설전류(I_T)의 푸리에 급수 중에 합하여 저항성 누설전류(I_R)를 산정할 항은 sine 항으로 하는
피뢰기 저항성 누설전류 검출 방법.
- [청구항 5] 제 1항에 있어서,
상기 기준점 검증/교정 단계(S40, S41)에서 저항성 누설전류(I_R)의 특징적 패턴은
전압이 0V인 시점부터 시작하는 소정 길이의 초기 구간 동안 미소한

기설정 전류값(ΔI_{th}) 이하의 값으로 나타나는 패턴으로서,
 상기 기준점 검증/교정 단계(S40, S41)는
 저항성 누설전류(I_R)가 기설정 길이의 초기 구간 동안 상기 기설정
 전류값(ΔI_{th}) 이하가 될때까지 상기 기준점을 교정하는
 피뢰기 저항성 누설전류 검출 방법.

[청구항 6]

제 5항에 있어서,
 상기 기준점 검증/교정 단계(S40, S41)는
 상기 기설정 초기 구간 내에서 복수의 시점을 선정하여, 저항성
 누설전류(I_R)가 적어도 어느 하나의 시점에서 0A 미만일 시에 모든
 시점에서 0A 이상이 될 때까지 기준점을 단계적으로 앞당기고, 모든
 시점에서 상기 기설정 전류값(ΔI_{th})을 초과할 시에 적어도 어느 하나의
 시점에서 0A 이하가 될 때까지 기준점을 단계적으로 늦추는
 피뢰기 저항성 누설전류 검출 방법.

[청구항 7]

전압이 인가된 피뢰기(1)를 통해 흐르는 전체 누설전류(I_T)를 디지털
 데이터 값으로 검출하는 누설전류 검출부(10);
 인가 전압이 0V일 시에 전체 누설전류(I_T)에 발현되는 특징적 패턴에
 근거하여, 전압이 0V인 시점을 탐색하고 기준점으로 선정하는 기준점
 탐색부(20);
 기준점에서 시작하는 1주기 전체 누설전류(I_T)의 푸리에 급수 중에
 기준점에서 0V를 갖는 전압과 동상(in phase)인 항을 합하여 저항성
 누설전류(I_R)를 산정하는 저항성 누설전류 산정부(31); 및
 산정한 저항성 누설전류(I_R)가 피뢰기(1)의 비직선성 저항 특성에 따른
 저항성 누설전류(I_R)의 특징적 패턴을 보일 때까지 기준점을 교정하고,
 상기 저항성 누설전류 산정부(30)에서 교정된 기준점에 따라 저항성
 누설전류(I_R)를 재수행하게 하며, 교정 완료한 기준점으로 산정된 저항성
 누설전류(I_R)를 피뢰기(1)의 저항성 누설전류로 확정하는 기준점
 검증/교정부(32);
 를 포함하는
 피뢰기 저항성 누설전류 검출 장치.

[청구항 8]

제 7항에 있어서,
 인가 전압이 0V일 시에 전체 누설전류(I_T)에 발현되는 특징적 패턴은 좌우
 대칭성이 가장 높게 발현되는 패턴으로서,
 상기 기준점 탐색부(20)는
 전체 누설전류(I_T)에서 소정 범위의 좌우 대칭성이 가장 높은 시점을 상기
 기준점으로 선정하는
 피뢰기 저항성 누설전류 검출 장치.

[청구항 9]

제 7항에 있어서,
 상기 기준점 탐색부(20)는

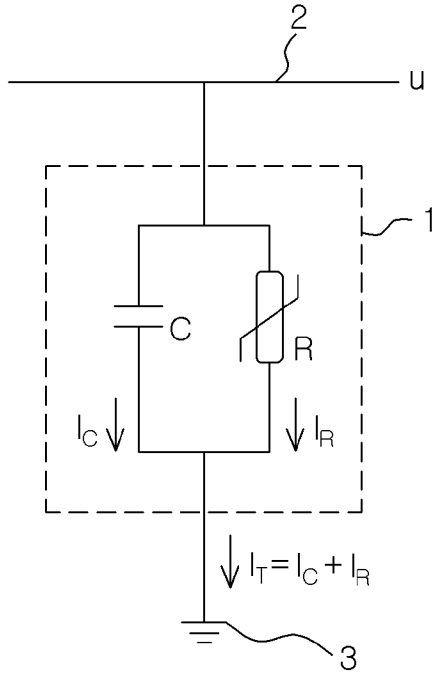
전압이 상승하는 구간 중에 0V인 시점을 탐색하여 기준점으로 선정하는
 피뢰기 저항성 누설전류 검출 장치.

[청구항 10] 제 7항 내지 제 9항 중에 어느 하나의 항에 있어서,
 상기 저항성 누설전류 산정부(31)에서 1주기 전체 누설전류(I_T)의 푸리에
 급수 중에 합하여 저항성 누설전류(I_R)를 산정할 항은 sine 항으로 하는
 피뢰기 저항성 누설전류 검출 장치.

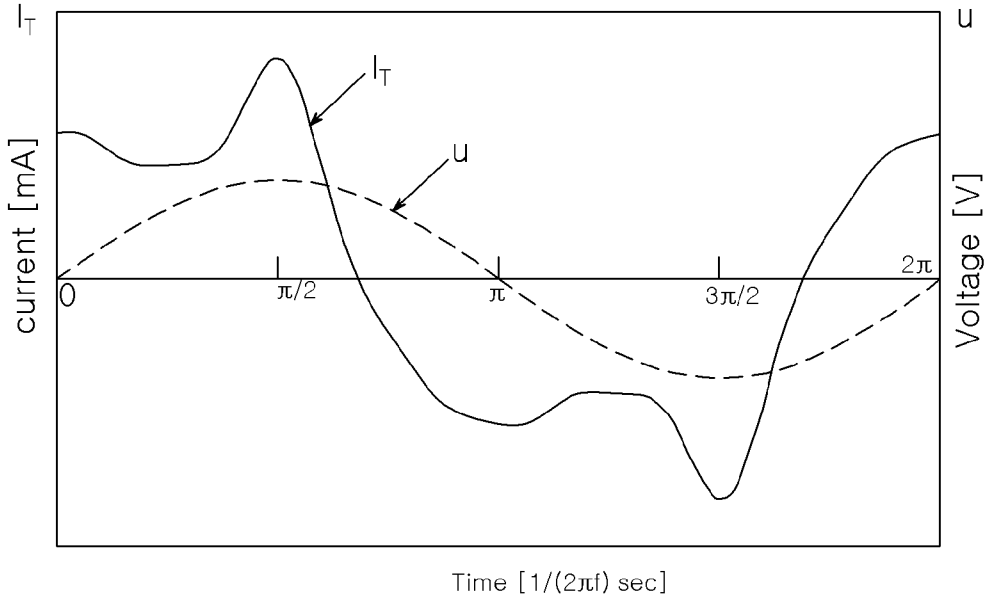
[청구항 11] 제 7항에 있어서,
 상기 기준점 검증/교정부(32)에서 저항성 누설전류(I_R)의 특징적 패턴은
 전압이 0V인 시점부터 시작하는 소정 길이의 초기 구간 동안 미소한
 기설정 전류(ΔI_{th}) 이하의 값으로 나타나는 패턴으로서,
 상기 기준점 검증/교정부(32)는
 저항성 누설전류(I_R)가 상기 초기 구간 동안 상기 기설정 전류(ΔI_{th})
 이하가 될 때까지 상기 기준점을 교정하는
 피뢰기 저항성 누설전류 검출 장치.

[청구항 12] 제 11항에 있어서,
 상기 기준점 검증/교정부(32)는
 상기 초기 구간 내에서 복수의 시점을 선정하여, 저항성 누설전류(I_R)가
 적어도 어느 하나의 시점에서 0A 미만일 시에 모든 시점에서 0A 이상이
 될 때까지 기준점을 단계적으로 앞당기고, 모든 시점에서 상기 기설정
 전류값(ΔI_{th})을 초과할 시에 적어도 어느 하나의 시점에서 0A 이하가 될
 때까지 기준점을 단계적으로 늦추는
 피뢰기 저항성 누설전류 검출 장치.

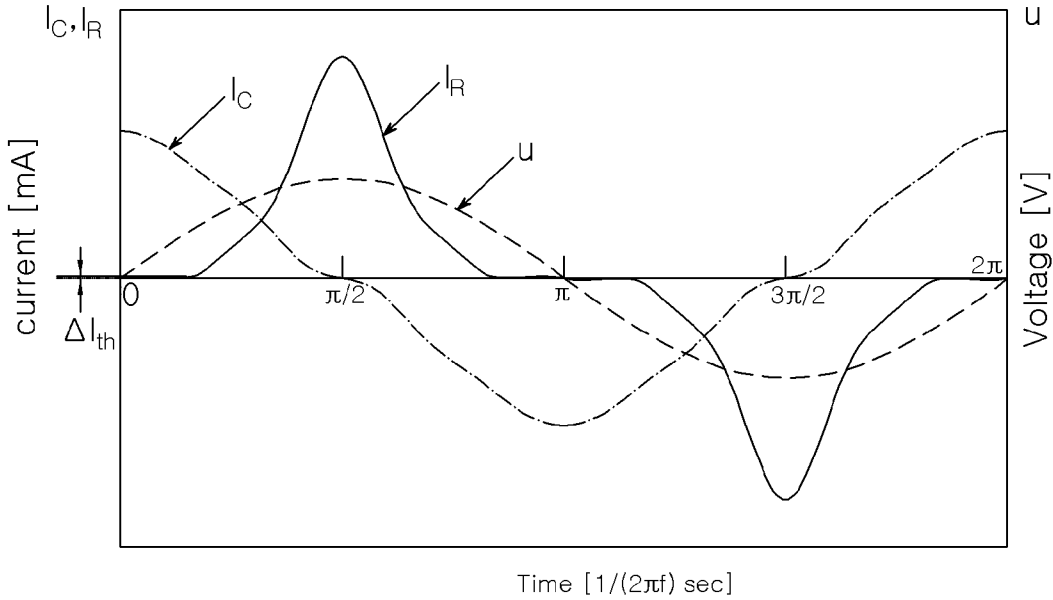
[도1]



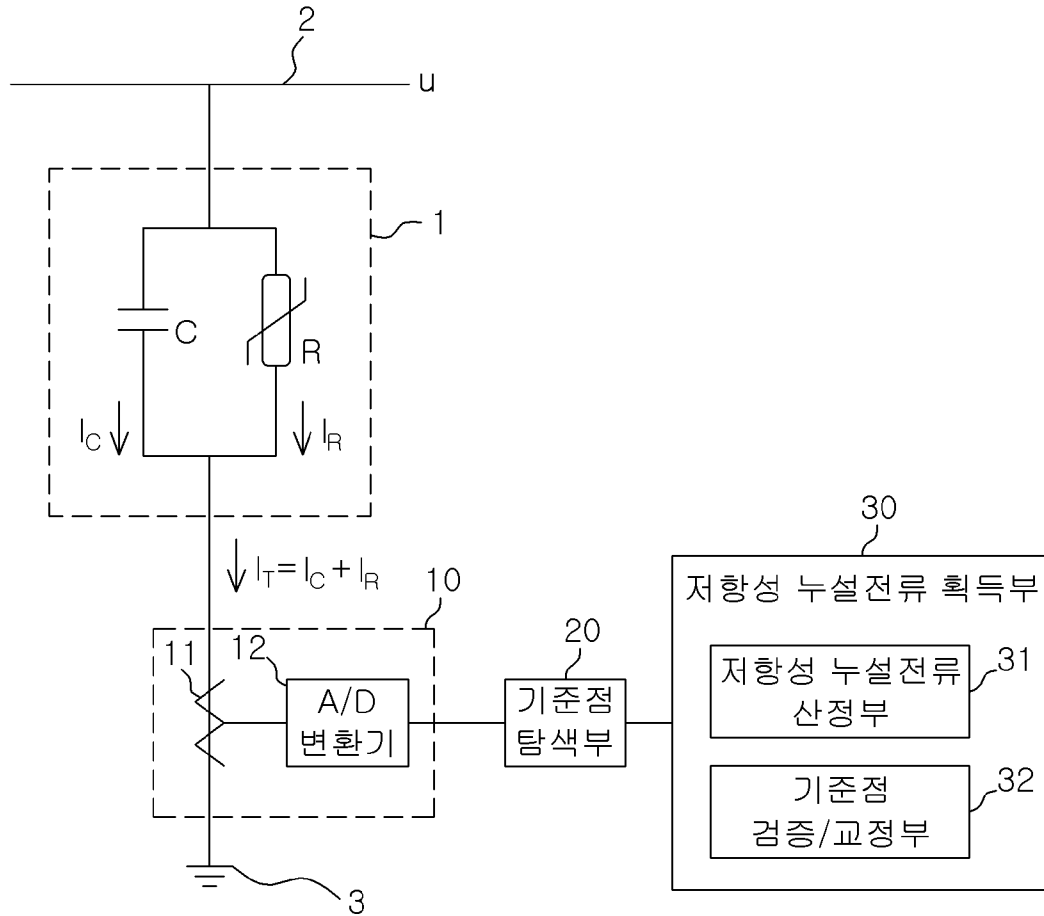
[도2]



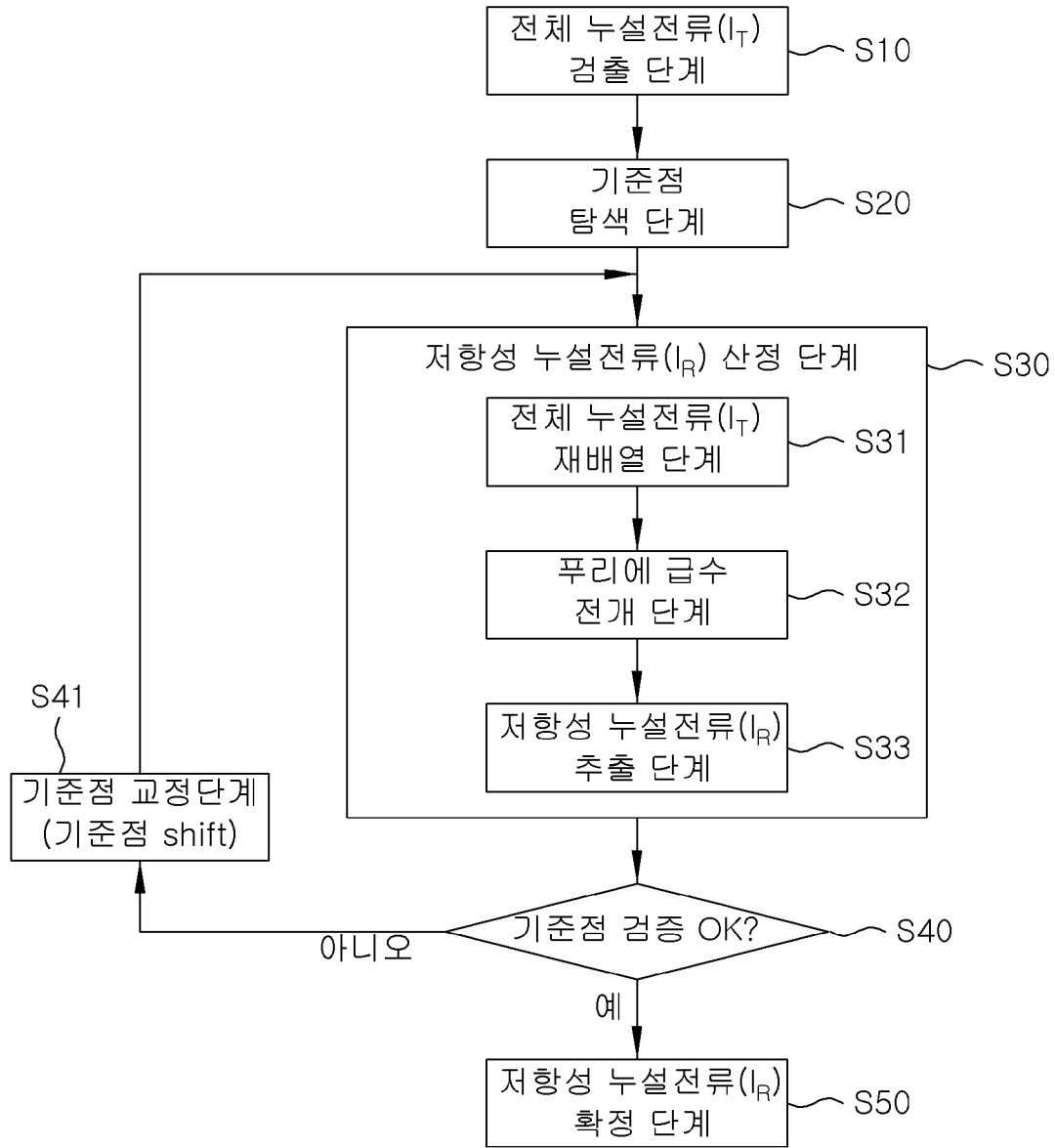
[도3]



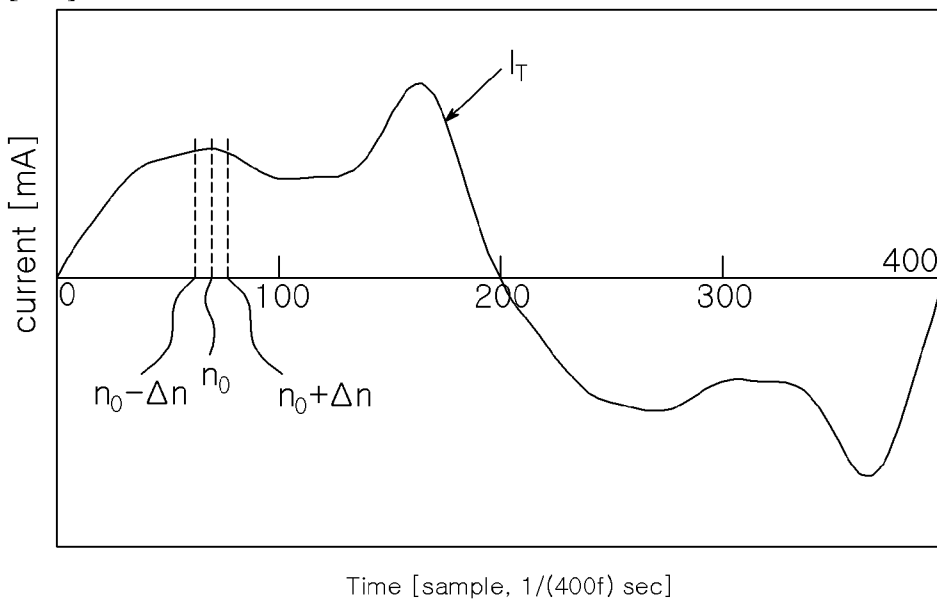
[도4]



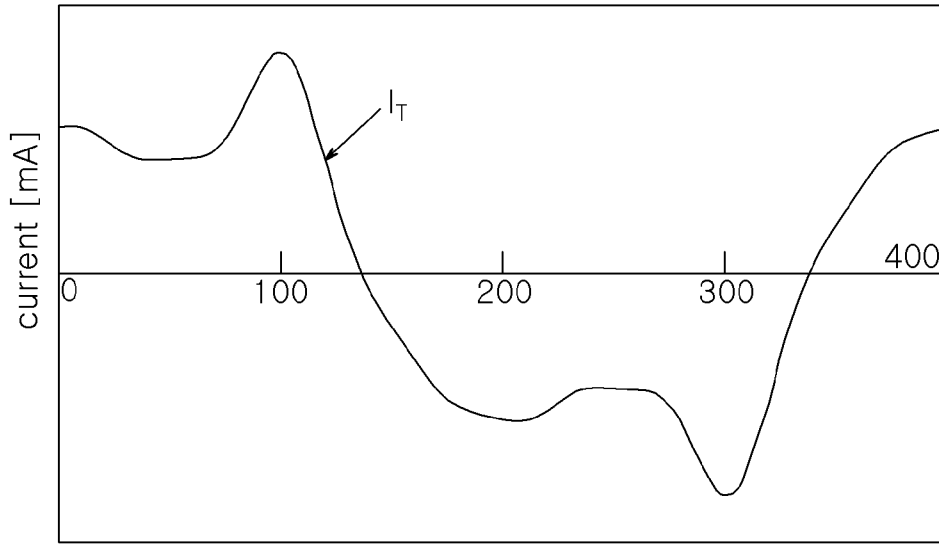
[도5]



[도6]

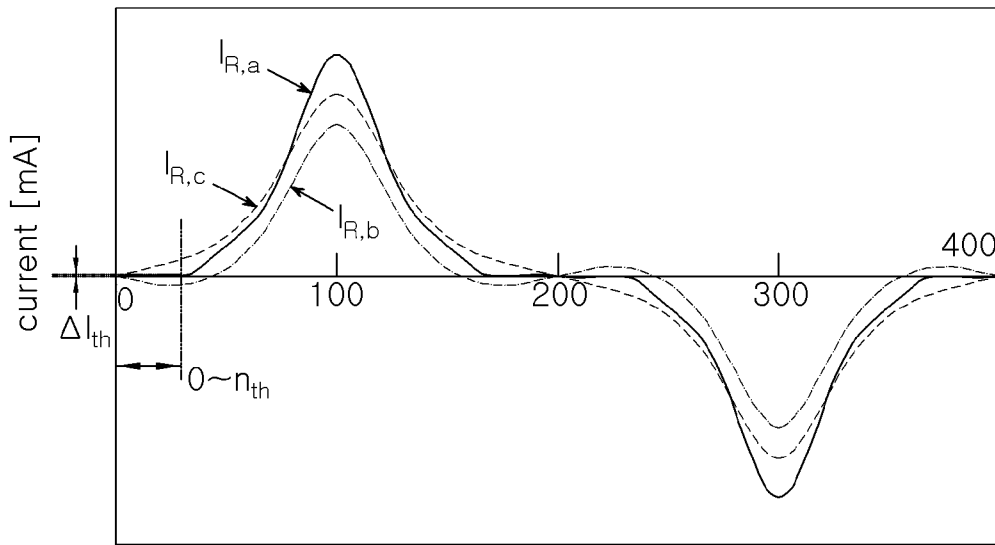


[도7]



Time [sample, 1/(400f) sec]

[도8]



Time [sample, 1/(400f) sec]

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2019/012281

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R 31/50(2020.01)i, G01R 15/14(2006.01)i, G01R 19/165(2006.01)i, G01R 31/12(2006.01)i, G01R 35/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01R 31/50; G01R 19/00; G01R 19/145; G01R 23/20; G01R 31/00; G01R 31/02; G01R 31/40; H01C 7/12; H02S 40/38; G01R 15/14; G01R 19/165; G01R 31/12; G01R 35/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean utility models and applications for utility models: IPC as above

Japanese utility models and applications for utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & Keywords: arrester, leakage, resistive, peak

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 10-002923 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 06 January 1998 See paragraphs [0011]-[0016].	1-12
A	KR 10-2017-0043287 A (HAHN, Song-yop et al.) 21 April 2017 See claims 1, 5.	1-12
A	KR 10-2001-0111903 A (JIN KWANG ELECTRIC MACHINERY & CONTROL SYSTEM CORPORATION) 20 December 2001 See claims 1-4.	1-12
A	JP 2000-275294 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 06 October 2000 See claim 1.	1-12
A	JP 2000-284013 A (MINAMIYAMA, Sho) 13 October 2000 See paragraphs [0006]-[0007].	1-12



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 MARCH 2020 (12.03.2020)

Date of mailing of the international search report

13 MARCH 2020 (13.03.2020)

Name and mailing address of the ISA/KR

Korean Intellectual Property Office
Government Complex Daejeon Building 4, 189, Cheongsa-ro, Seo-gu,
Daejeon, 35208, Republic of Korea

Facsimile No. +82-42-481-8578

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2019/012281

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member	Publication date
JP 10-002923 A	06/01/1998	None	
KR 10-2017-0043287 A	21/04/2017	KR 10-1800364 B1	22/11/2017
KR 10-2001-0111903 A	20/12/2001	KR 10-0356464 B1	18/10/2002
JP 2000-275294 A	06/10/2000	None	
JP 2000-284013 A	13/10/2000	None	

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))
G01R 31/50(2020.01)i, G01R 15/14(2006.01)i, G01R 19/165(2006.01)i, G01R 31/12(2006.01)i, G01R 35/00(2006.01)i

B. 조사된 분야
조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재)
G01R 31/50; G01R 19/00; G01R 19/145; G01R 23/20; G01R 31/00; G01R 31/02; G01R 31/40; H01C 7/12; H02S 40/38; G01R 15/14; G01R 19/165; G01R 31/12; G01R 35/00

조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌
한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC
일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우))
eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 피뢰기(arrester), 누설(leakage), 저항성(resistive), 피크(peak)

C. 관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
A	JP 10-002923 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 1998.01.06 단락 [0011]-[0016] 참조.	1-12
A	KR 10-2017-0043287 A (한송업 등) 2017.04.21 청구항 1,5 참조.	1-12
A	KR 10-2001-0111903 A (진광 이 앤 씨 주식회사) 2001.12.20 청구항 1-4 참조.	1-12
A	JP 2000-275294 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 2000.10.06 청구항 1 참조.	1-12
A	JP 2000-284013 A (MINAMIYAMA SHO) 2000.10.13 단락 [0006]-[0007] 참조.	1-12

추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다. 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.

* 인용된 문헌의 특별 카테고리:
 “A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌
 “D” 본 국제출원에서 출원인이 인용한 문헌
 “E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후 “X” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다.
 “L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌
 “Y” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다.
 “O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌
 “P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌
 “&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌

국제조사의 실제 완료일 2020년 03월 12일 (12.03.2020)	국제조사보고서 발송일 2020년 03월 13일 (13.03.2020)
--	---

ISA/KR의 명칭 및 우편주소 대한민국 특허청 (35208) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동, 정부대전청사) 팩스 번호 +82-42-481-8578	심사관 김연경 전화번호 +82-42-481-3325
---	------------------------------------



국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
JP 10-002923 A	1998/01/06	없음	
KR 10-2017-0043287 A	2017/04/21	KR 10-1800364 B1	2017/11/22
KR 10-2001-0111903 A	2001/12/20	KR 10-0356464 B1	2002/10/18
JP 2000-275294 A	2000/10/06	없음	
JP 2000-284013 A	2000/10/13	없음	