



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0048065
(43) 공개일자 2025년04월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02H 7/045 (2006.01) G01R 31/62 (2020.01)
H02H 3/52 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H02H 7/045 (2013.01)
G01R 31/62 (2022.01)
(21) 출원번호 10-2025-7007354
(22) 출원일자(국제) 2022년09월14일
심사청구일자 2025년03월05일
(85) 번역문제출일자 2025년03월05일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2022/034406
(87) 국제공개번호 WO 2024/057442
국제공개일자 2024년03월21일

(71) 출원인
미쓰비시덴키 가부시카이가이사
일본국 도쿄도 지요다쿠 마루노우치 2초메 7반 3
고
(72) 발명자
다케무라 사토시
일본국 도쿄도 지요다쿠 마루노우치 2초메 7반 3
고 미쓰비시덴키 가부시카이가이사 내
오다 시게토오
일본국 도쿄도 지요다쿠 마루노우치 2초메 7반 3
고 미쓰비시덴키 가부시카이가이사 내
(74) 대리인
특허법인태평양

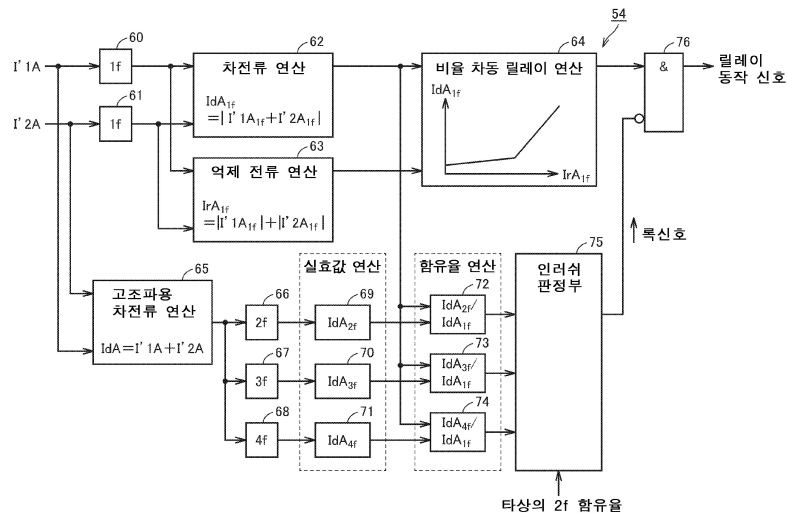
전체 청구항 수 : 총 18 항

(54) 발명의 명칭 변압기 보호 릴레이 및 변압기 보호 방법

(57) 요약

변압기 보호 릴레이(4)에 있어서, 각상의 관정부(75)는 어느 1상의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 제1 설정값(K1)보다 크다고 하는 제1 조건(조건 A)과, 대응하는 상의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 제2 설정값(K2)보다 크다고 하는 제2 조건(조건 B)이 모두 성립하고 있는지 아닌지에 기초하여, 대응하는 상의 릴레이 연산부(64)의 출력을 룩한다. 여기서, 제2 설정값(K2)은 제1 설정값(K1)보다도 작다.

대표도



(52) CPC특허분류
H02H 3/52 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

변압기의 제1상, 제2상, 및 제3상에 각각 대응해서 마련되고, 대응하는 상의 상기 변압기의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 기본파 성분은 기초하여 전류 차동 릴레이 연산을 행하는, 제1 릴레이 연산부, 제2 릴레이 연산부, 및 제3 릴레이 연산부와,

상기 변압기의 상기 제1상, 상기 제2상, 및 상기 제3상에 각각 대응해서 마련되고, 인러쉬 전류의 발생을 검출하기 위한 판정을 행하는 제1 판정부, 제2 판정부, 및 제3 판정부를 구비하고,

상기 제1 판정부, 상기 제2 판정부, 및 상기 제3 판정부 각각은,

상기 제1상, 상기 제2상, 및 상기 제3상 중 어느 1상의 상기 일차측과 상기 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 제1 설정값보다 크다고 하는 제1 조건과, 대응하는 상의 상기 일차측과 상기 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 제2 설정값보다 크다고 하는 제2 조건의 성립 유무를 판정하고, 상기 제2 설정값은 상기 제1 설정값보다도 작고,

상기 제1 판정부, 상기 제2 판정부, 및 상기 제3 판정부 각각은, 상기 제1 조건 및 상기 제2 조건이 모두 성립하고 있는지 아닌지에 기초하여, 대응하는 상의 상기 릴레이 연산부의 출력을 록하는, 변압기 보호 릴레이.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 제1 판정부, 상기 제2 판정부, 및 상기 제3 판정부 각각은, 상기 제1 조건 및 상기 제2 조건이 모두 성립했을 경우에 세트 상태로 되고, 상기 제2 조건이 성립하고 있지 않는 상태가 제1 설정 시간 계속됐을 경우에 리셋 상태로 되는 플립플롭을 포함하고,

상기 플립플롭은 상기 세트 상태일 때 대응하는 상의 상기 릴레이 연산부의 출력을 록하고, 상기 리셋 상태일 때 대응하는 상의 상기 릴레이 연산부의 출력의 록을 해제하는, 변압기 보호 릴레이.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 제1 판정부, 상기 제2 판정부, 및 상기 제3 판정부 각각은, 상기 제1 조건 및 상기 제2 조건에 더하여, 대응하는 상의 상기 일차측과 상기 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파, 제3 고조파, 및 제4 고조파 각각의 함유율의 합이 제3 설정값보다 크다고 하는 제3 조건의 성립 유무를 판정하고,

상기 제1 판정부, 상기 제2 판정부, 및 상기 제3 판정부 각각은, 상기 제1 조건 및 상기 제2 조건이 모두 성립했을 경우에 세트 상태로 되고, 상기 제3 조건이 성립하고 있지 않는 경우에 리셋 상태로 되는 플립플롭을 포함하고,

상기 플립플롭은 상기 세트 상태일 때 대응하는 상의 상기 릴레이 연산부의 출력을 록하고, 상기 리셋 상태일 때 대응하는 상의 상기 릴레이 연산부의 출력의 록을 해제하는, 변압기 보호 릴레이.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 플립플롭은 상기 제2 조건 및 상기 제3 조건이 어느 것도 성립하고 있지 않는 경우에 상기 리셋 상태로 되는, 변압기 보호 릴레이.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 제1 판정부, 상기 제2 판정부, 및 상기 제3 판정부 각각은, 상기 제1 조건 및 상기 제2 조건에 더하여, 대응하는 상의 상기 일차측과 상기 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파 및 제4 고조파 각각의 함유율의 합이 제3 설정값보다 크다고 하는 제3 조건의 성립 유무를 판정하고,

상기 제1 판정부, 상기 제2 판정부, 및 상기 제3 판정부 각각은, 상기 제1 조건 및 상기 제2 조건이 모두 성립했을 경우에 세트 상태로 되고, 상기 제2 조건 및 상기 제3 조건이 어느 것도 성립하고 있지 않는 경우에 리셋 상태로 되는 플립플롭을 포함하고,

상기 플립플롭은 상기 세트 상태일 때 대응하는 상의 상기 릴레이 연산부의 출력을 록하고, 상기 리셋 상태일 때 대응하는 상의 상기 릴레이 연산부의 출력의 록을 해제하는, 변압기 보호 릴레이.

청구항 6

청구항 2 내지 청구항 5 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 판정부, 상기 제2 판정부, 및 상기 제3 판정부 각각은, 추가로, 상기 제1상, 상기 제2상, 및 상기 제3상 중 어느 2상의 상기 일차측과 상기 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 모두 상기 제1 설정값보다 크다고 하는 부가적 조건의 성립 유무를 판정하고,

상기 플립플롭은 추가로 상기 부가적 조건이 성립하고 있지 않는 경우에, 리셋 상태로 되는, 변압기 보호 릴레이.

청구항 7

변압기의 제1상, 제2상, 및 제3상 각각에 대해서, 상기 변압기의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 기본파 성분과 기조하여 전류 차동 릴레이 연산을 행하는 릴레이 연산부와,

상기 변압기에 있어서 인러쉬 전류의 발생을 검출하기 위한 판정을 행하는 판정부를 구비하고, 상기 판정부는

상기 제1상, 상기 제2상, 및 상기 제3상 중 어느 1상의 상기 일차측과 상기 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 제1 설정값보다 크다고 하는 제1 조건과, 상기 제1상, 상기 제2상, 및 상기 제3상 중 어느 2상의 상기 일차측과 상기 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 모두 제2 설정값보다 크다고 하는 제2 조건의 성립 유무를 판정하고, 상기 제2 설정값은 상기 제1 설정값보다도 작고,

상기 판정부는

상기 제1 조건 및 상기 제2 조건이 모두 성립하고 있는 경우에 상기 릴레이 연산부의 출력을 록하고, 상기 제1 조건이 성립하지 않게 되었을 경우 또는 상기 제2 조건이 성립하지 않게 된 상태가 제1 설정 시간 계속됐을 경우에 상기 릴레이 연산부의 출력의 록을 해제하는, 변압기 보호 릴레이.

청구항 8

청구항 1 내지 청구항 7 중 어느 한 항에 있어서,

상기 변압기의 인러쉬 전류 파형에 있어서의 평탄 부분의 길이인 드웰 타임을 측정하는 드웰 타임 측정부를 더 구비하고,

상기 드웰 타임은 상기 변압기의 철심의 열화 정도에 따라 감소하고,

상기 드웰 타임 측정부는, 상기 드웰 타임의 감소량에 따라서, 고조파 함유율과 비교되는 각 설정값을 변경하는, 변압기 보호 릴레이.

청구항 9

청구항 1 내지 청구항 8 중 어느 한 항에 있어서,

상기 릴레이 연산부는 비율 차동 원리에 의해서 내부 고장의 유무를 판정하는, 변압기 보호 릴레이.

청구항 10

보호 릴레이를 이용한 변압기 보호 방법으로서,

변압기의 제1상, 제2상, 및 제3상의 상마다, 상기 변압기의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 기본파 성분

에 기초하여 전류 차동 릴레이 연산을 행하는 스텝과,

상기 제1상, 상기 제2상, 및 상기 제3상 중 어느 1상의 상기 일차측과 상기 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 제1 설정값보다 크다고 하는 제1 조건의 성립 유무를 판정하는 스텝과,

상기 변압기의 상기 상마다, 상기 일차측과 상기 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 제2 설정값보다 크다고 하는 제2 조건의 성립 유무를 판정하는 스텝을 구비하고, 상기 제2 설정값은 상기 제1 설정값보다도 작고, 추가로,

상기 제1 조건이 성립함과 아울러, 상기 제2 조건이 성립하고 있는 상이 있는 경우에, 해당 상의 보호 릴레이 출력을 록하는 스텝을 구비하는, 변압기 보호 방법.

청구항 11

청구항 10에 있어서,

상기 보호 릴레이 출력이 록된 상에 있어서 상기 제2 조건이 성립하고 있지 않는 상태가 제1 설정 시간 계속됐을 경우에, 해당 상의 상기 보호 릴레이 출력의 록을 해제하는 스텝을 추가로 구비하는, 변압기 보호 방법.

청구항 12

청구항 10에 있어서,

상기 변압기의 상기 상마다, 상기 일차측과 상기 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파, 제3 고조파, 및 제4 고조파 각각의 함유율의 합이 제3 설정값보다 크다고 하는 제3 조건의 성립 유무를 판정하는 스텝과,

상기 보호 릴레이 출력이 록된 상에 있어서 상기 제3 조건이 성립하고 있지 않는 경우에, 해당 상의 상기 보호 릴레이 출력의 록을 해제하는 스텝을 추가로 구비하는, 변압기 보호 방법.

청구항 13

청구항 12에 있어서,

상기 보호 릴레이 출력의 록을 해제하는 스텝에서는, 상기 보호 릴레이 출력이 록된 상에 있어서 상기 제2 조건 및 상기 제3 조건이 어느 것도 성립하고 있지 않는 경우에, 해당 상의 상기 보호 릴레이 출력의 록이 해제되는, 변압기 보호 방법.

청구항 14

청구항 10에 있어서,

상기 변압기의 상기 상마다, 상기 일차측과 상기 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파 및 제4 고조파 각각의 함유율의 합이 제3 설정값보다 크다고 하는 제3 조건의 성립 유무를 판정하는 스텝과,

상기 보호 릴레이 출력이 록된 상에 있어서 상기 제2 조건 및 상기 제3 조건이 어느 것도 성립하고 있지 않는 경우에, 해당 상의 상기 보호 릴레이 출력의 록을 해제하는 스텝을 추가로 구비하는, 변압기 보호 방법.

청구항 15

청구항 11 내지 청구항 14 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1상, 상기 제2상, 및 상기 제3상 중 어느 2상의 상기 일차측과 상기 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 모두 상기 제1 설정값보다 크다고 하는 부가적 조건의 성립 유무를 판정하는 스텝을 추가로 구비하고,

상기 보호 릴레이 출력의 록을 해제하는 스텝에서는, 추가로 상기 부가적 조건이 성립하고 있지 않는 경우에, 록이 해제되는, 변압기 보호 방법.

청구항 16

보호 릴레이를 이용한 변압기 보호 방법으로서,

변압기의 제1상, 제2상, 및 제3상의 상마다, 상기 변압기의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 기본파 성분

에 기초하여 전류 차동 릴레이 연산을 행하는 스텝과,

상기 제1상, 상기 제2상, 및 상기 제3상 중 어느 1상의 상기 일차측과 상기 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 제1 설정값보다 크다고 하는 제1 조건의 성립 유무를 판정하는 스텝과,

상기 제1상, 상기 제2상, 및 상기 제3상 중 어느 2상의 상기 일차측과 상기 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 모두 제2 설정값보다 크다고 하는 제2 조건의 성립 유무를 판정하는 스텝을 구비하고, 상기 제2 설정값은 상기 제1 설정값보다도 작고, 추가로,

상기 제1 조건 및 상기 제2 조건이 모두 성립하고 있는 경우에 각상의 보호 릴레이 출력을 록하는 스텝과,

상기 제1 조건이 성립하지 않게 되었을 경우 또는 상기 제2 조건이 성립하지 않게 된 상태가 제1 설정 시간 계속됐을 경우에 상기 보호 릴레이 출력의 록을 해제하는 스텝을 구비하는, 변압기 보호 방법.

청구항 17

청구항 10 내지 청구항 16 중 어느 한 항에 있어서,

상기 변압기의 인러쉬 전류 파형에 있어서의 평탄 부분의 길이인 드웰 타임을 계측하고, 상기 드웰 타임의 감소량에 따라서, 고조파 함유율과 비교되는 각 설정값을 변경하는 스텝을 추가로 구비하고,

상기 드웰 타임은 상기 변압기의 철심의 열화 정도에 따라 감소하는, 변압기 보호 방법.

청구항 18

청구항 10 내지 청구항 17 중 어느 한 항에 있어서,

상기 전류 차동 릴레이 연산을 행하는 스텝은, 비율 차동 원리에 의해 내부 고장의 유무를 판정하는 스텝을 포함하는, 변압기 보호 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시는 변압기 보호 릴레이 및 변압기 보호 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 이중 권선 변압기용의 변압기 보호 릴레이에서는, 1차 권선 및 2차 권선에 접속된 전류 변성기(CT: Current Transformer)에 의해서 1차 및 2차의 권선 전류가 검출된다. 변압기 보호 릴레이는 검출한 1차 및 2차의 권선 전류를 이용하여 비율 차동 원리에 의해 내부 고장의 유무를 판정한다.

[0003] 변압기로의 전압 투입시에는 여자 돌입 전류(인러쉬 전류라고도 칭함)가 생기는 경우가 있다. 인러쉬 전류가 생기면 1차 권선 전류와 2차 권선 전류에 차가 생기기 때문에, 변압기 보호 릴레이의 오동작의 원인이 된다.

[0004] 상기의 오동작의 대책으로서, 여자 돌입 전류에는, 고조파, 특히 제2 고조파가 발전기의 기본파(정격 주파수) 성분과 대해서 일정 이상의 비율로 포함되는 것이 이용된다. 구체적으로는, 1차 권선 전류와 2차 권선 전류의 차전류에 포함되는 제2 고조파 성분의 기본파 성분과 대비한 비율이 제2 고조파 함유율로서 계산되고, 제2 고조파 함유율이 일정 이상인 경우에 차동 릴레이 동작이 록(lock)되거나 또는 억제된다.

[0005] 그렇지만, 인러쉬 전류는, 변압기의 철심의 히스테리시스 특성, 잔류 자속, 전압 투입 위상 등에 의존하여 크게 변화하므로, 3상의 여자 전류 중에서, 제2 고조파 함유율이 커지는 상이나 작아지는 상이 생긴다. 이 때문에, 제2 고조파 함유율이 설정값보다 큰 상만, 그 상의 비율 차동 릴레이 동작을 록하는 방식(이하, 제2 고조파 각 상 판정 방식이라고 칭함)에서는, 제2 고조파 함유율이 타상에 비해 작은 상에서는, 변압기 보호 릴레이가 오동작하는 경우가 있다.

[0006] 이에, 제2 고조파 함유율이 설정값보다 큰 상이 1상이라도 있으면, 3상 모두 비율 차동 릴레이 동작을 록하는 방식(이하, 제2 고조파 3상 OR 판정 방식이라고 칭함)이 이용되는 경우가 있다. 이 방식에 의하면, 고신뢰도로 인러쉬 전류의 발생을 검출할 수 있다.

[0007] 또한, 일본 특개 평01-259720호 공보(특허 문헌 1)는, 3상 중 어느 2상에서 제2 고조파 함유율이 설정값보다

커졌을 경우에, 3상 모두 비율 차동 릴레이 동작을 록하는 방식(이하, 제2 고조파 2상 AND 판정 방식이라고 칭함)을 개시한다. 이 문헌에 있어서, 제2 고조파 2상 AND 판정 방식은, 종래의 제2 고조파 각상 판정 방식을 보완하는 것으로서 제안되고 있다.

- [0008] 또한, 일본 특허 6840306호 공보(특허 문헌 2)는, 인러쉬 전류의 발생을 판정하는 경우에 있어서 제2 고조파 함유율과 비교하기 위한 설정값을, 변압기 특성의 경시 변화에 따라 갱신하는 것을 개시한다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0009] (특허문헌 0001) 특허 문헌 1 : 일본 특개 평01-259720호 공보
(특허문헌 0002) 특허 문헌 2 : 일본 특허 6840306호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0010] 상기의 제2 고조파 3상 OR 판정 방식의 변압기 보호 릴레이에서는, 인러쉬 전류의 발생 중에 변압기 고장이 발생한 경우에 릴레이 동작을 할 수 없다고 하는 문제가 있다. 통상, 변압기가 Y 결선인 경우에는 삼상 CT의 검출값은 Δ 결선인 경우의 선전류로 변환된다. 따라서, 변압기의 1상 고장인 경우에는, 변환 후의 2상분의 선전류에 고장 전류가 포함된다. 고장 전류는 기본파 성분이 대부분이므로, 고장 전류가 검출되는 2상에 대해서는 제2 고조파 성분이 거의 검출되지 않게 되지만, 고장 전류가 검출되지 않은 1상에 대해서는 제2 고조파 성분의 검출이 계속된다. 이 결과, 제2 고조파 3상 OR 판정 방식의 변압기 보호 릴레이에서는, 여자 돌입 전류의 발생 중에 변압기의 1상 고장이 발생한 경우에도 릴레이 동작의 록이 계속되어 버린다.

- [0011] 한편, 상기의 제2 고조파 2상 AND 판정 방식의 변압기 보호 릴레이에 있어서, 인러쉬 전류의 발생 중에 변압기 고장이 발생한 경우에는, 어느 2상의 제2 고조파 함유율이 저하된다. 따라서, 확실하게 록이 풀려서 비율 차동 릴레이를 동작할 수 있다고 하는 메리트가 있다.

- [0012] 그렇지만, 제2 고조파 2상 AND 판정 방식의 변압기 보호 릴레이에서는, 인러쉬 전류의 발생을 검출할 수 없는 경우가 있다. 일반적으로, 인러쉬 전류의 제2 고조파 함유율은 1상에 대해서는 비교적 크지만, 다른 2상에 대해서는 비교적 작아진다. 통상의 경우에는, 일반적인 설정값인 15%를 어느 2상의 제2 고조파 함유율은 초과하고 있으므로, 인러쉬 전류의 검출은 가능하다. 그렇지만, 변압기의 포화 전압이나 잔류 자속의 영향에 의해서 경우에 따라서는, 어느 1상의 제2 고조파 함유율이 15%를 상회하지만, 다른 2상의 제2 고조파 함유율이 15%를 하회하는 경우가 있다. 그 경우에는, 제2 고조파 2상 AND 판정 방식의 변압기 보호 릴레이에서는, 여자 돌입 전류에 의한 오동작을 방지할 수 없다.

- [0013] 또한, 상기의 설정값을 10% 미만으로 설정하는 것은 곤란하다. 변압기가 설치되어 있는 전력 계통에 전력 케이블과 같이 정전 용량 성분이 큰 송전선이 이용되고 있는 경우에는, 고장시에 변압기의 권선의 리액터 성분과 송전선의 대지 정전 용량 성분이 공진하기 때문에 고조파가 생긴다. 이 경우에 있어서, 전력 케이블의 길이가 비교적 긴 경우에는, 공진 주파수가 제2 고조파에 가까워지기 때문에 제2 고조파 함유율이 10% 근처까지 상승하기 때문이다. 이 때문에, 상기의 설정값을 10% 미만으로 하는 것은 어렵고, 일반적으로는 10%부터 15%의 범위 내에서 설정되고, 그 중에서도 15%로 설정하는 경우가 많다.

- [0014] 본 개시는 상기의 문제점을 고려해서 이루어진 것이며, 그 목적의 하나는, 인러쉬 전류의 발생을 확실하게 검출하여 릴레이 출력을 록함과 아울러, 인러쉬 전류의 발생 중에 변압기 고장이 발생했을 경우에 록을 해제하여 릴레이 동작을 행하는 변압기 보호 릴레이를 제공하는 것이다. 본 개시의 그 외의 목적 및 특징은, 이하의 실시 형태에 있어서 설명한다.

과제의 해결 수단

- [0015] 일 실시 형태의 변압기 보호 릴레이는, 제1 릴레이 연산부, 제2 릴레이 연산부, 및 제3 릴레이 연산부와, 제1 판정부, 제2 판정부, 및 제3 판정부를 구비한다. 제1 릴레이 연산부, 제2 릴레이 연산부, 및 제3 릴레이 연산부는, 변압기의 제1상, 제2상, 및 제3상에 각각 대응해서 마련되고, 대응하는 상의 변압기의 일차측과 이차측의

차전류에 포함되는 기본과 성분에 기초하여 전류 차동 릴레이 연산을 행한다. 제1 판정부, 제2 판정부, 및 제3 판정부는, 변압기의 제1상, 제2상, 및 제3상에 각각 대응해서 마련되고, 인러쉬 전류의 발생을 검출하기 위한 판정을 행한다. 제1 판정부, 제2 판정부, 및 제3 판정부 각각은, 제1상, 제2상, 및 제3상 중 어느 1상의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 제1 설정값보다 크다고 하는 제1 조건과, 대응하는 상의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 제2 설정값보다 크다고 하는 제2 조건의 성립 유무를 판정한다. 제2 설정값은 제1 설정값보다도 작다. 제1 판정부, 제2 판정부, 및 제3 판정부 각각은, 제1 조건 및 제2 조건이 모두 성립하고 있는지 아닌지에 기초하여, 대응하는 상의 릴레이 연산부의 출력을 록한다.

발명의 효과

[0016]

상기의 실시 형태에 의하면, 변압기 보호 릴레이의 각상의 판정부는, 어느 1상의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 제1 설정값보다 크다고 하는 제1 조건과, 대응하는 상의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 제2 설정값보다 크다고 하는 제2 조건이 모두 성립하고 있는지 아닌지에 기초하여, 대응하는 릴레이 연산부의 출력을 록한다. 이것에 의해, 인러쉬 전류의 발생을 확실하게 검출하여 릴레이 출력을 록함과 아울러, 인러쉬 전류의 발생 중에 변압기 고장이 발생했을 경우에 록을 해제하여 릴레이 동작을 행하는 변압기 보호 릴레이를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0017]

도 1은 변압기와 그 보호 릴레이의 접속을 설명하기 위한 도면이다.
 도 2는 도 1의 변압기 보호 릴레이의 하드웨어 구성예를 나타내는 블록도이다.
 도 3은 연산 처리부에 있어서의 신호 처리를 설명하기 위한 블록도이다.
 도 4는 도 3의 A상 연산부의 기능적 구성예를 나타내는 블록도이다.
 도 5는 인러쉬 전류 발생의 개개의 판정 조건의 특징을 표 형식으로 정리한 도면이다.
 도 6은 도 3의 A상 연산부에 포함되는 인러쉬 판정부의 구체적 구성예를 나타내는 블록도이다.
 도 7은 도 6의 인러쉬 판정부의 동작을 설명하는 타이밍도이다.
 도 8은 실시 형태 2의 변압기 보호 릴레이에 있어서, 도 3의 A상 연산부에 포함되는 인러쉬 판정부의 구체적 구성예를 나타내는 블록도이다.
 도 9는 도 8의 인러쉬 판정부의 동작을 설명하는 타이밍도이다.
 도 10은 도 8의 인러쉬 판정부의 변형예를 나타내는 블록도이다.
 도 11은 실시 형태 3의 변압기 보호 릴레이에 있어서, 도 3의 A상 연산부에 포함되는 인러쉬 판정부의 구체적 구성예를 나타내는 블록도이다.
 도 12는 도 11의 인러쉬 판정부의 동작을 설명하는 타이밍도이다.
 도 13은 도 11의 인러쉬 판정부의 변형예를 나타내는 블록도이다.
 도 14는 실시 형태 4의 변압기 보호 릴레이에 있어서, 도 3의 A상 연산부에 포함되는 인러쉬 판정부의 구체적 구성예를 나타내는 블록도이다.
 도 15는 도 14의 인러쉬 판정부의 동작을 설명하는 타이밍도이다.
 도 16은 도 14의 인러쉬 판정부의 변형예를 나타내는 블록도이다.
 도 17은 실시 형태 5의 변압기 보호 릴레이에 있어서, 도 3의 A상 연산부에 포함되는 인러쉬 판정부의 구체적 구성예를 나타내는 블록도이다.
 도 18은 도 17의 인러쉬 판정부의 동작을 설명하는 타이밍도이다.
 도 19는 실시 형태 6의 변압기 보호 릴레이에 있어서, 연산 처리부에 있어서의 A상 연산부의 기능적 구성예를 나타내는 블록도이다.
 도 20a는 전압 투입 위상이 0° 인 경우의 A상의 인러쉬 전류 파형의 계산 결과를 나타내는 도면이다.

도 20b는 도 20a의 0.089초부터 0.091초 부분의 확대도이다.

도 21a는 전압 투입 위상이 30° 인 경우의 A상의 인러쉬 전류 파형의 계산 결과를 나타내는 도면이다.

도 21b는 도 21a의 0.0875초부터 0.0895초 부분의 확대도이다.

도 22a는 전압 투입 위상이 60° 인 경우의 A상의 인러쉬 전류 파형의 계산 결과를 나타내는 도면이다.

도 22b는 도 22a의 0.082초부터 0.084초 부분의 확대도이다.

도 23a는 전압 투입 위상이 120° 인 경우의 A상의 인러쉬 전류 파형의 계산 결과를 나타내는 도면이다.

도 23b는 도 23a의 0.084초부터 0.086초 부분의 확대도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 이하, 각 실시 형태에 대해서 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 또한, 동일 또는 상당하는 부분에는 동일한 참조 부호를 부여하고, 그 설명을 반복하지 않는다.

[0019] 실시 형태 1.

[0020] [변압기와 보호 릴레이의 접속]

[0021] 도 1은 변압기와 그 보호 릴레이의 접속을 설명하기 위한 도면이다. 도 1에 나타내는 삼상 변압기(1)는, Y 결선의 일차 권선(2)과 Δ 결선의 2차 권선(3)을 포함하는 Y Δ 변압기이다. 또한, 삼상 변압기(1)는 Y Δ 변압기로 한정하지 않고, YY 변압기, $\Delta\Delta$ 변압기 등 다른 종류의 변압기여도 된다.

[0022] 삼상 변압기(1)의 일차 권선(2)에 접속된 일차측의 삼상 선로(5A, 5B, 5C)에는, 각각 전류 변성기(CT1A, CT1B, CT1C)(총칭하는 경우에 전류 변성기(CT1)라고 기재함)가 마련되어 있다. 전류 변성기(CT1A)는 A상의 선로(5A)를 흐르는 전류(I1A)를 검출하고, 전류 변성기(CT1B)는 B상의 선로(5B)를 흐르는 전류(I1B)를 검출하고, 전류 변성기(CT1C)는 C상의 선로(5C)를 흐르는 전류(I1C)를 검출한다. 각 전류 변성기(CT1)의 제1단은, 공통의 접지극(GND)에 접속되고, 각 전류 변성기(CT1)의 제2단은, 변압기 보호 릴레이(4)의 대응하는 채널의 입력 변성기(도 2의 11)의 일차측에 접속된다. 즉, 전류 변성기(CT1A, CT1B, CT1C)는 Y 결선되어 있다.

[0023] 마찬가지로, 삼상 변압기(1)의 2차 권선(3)에 접속된 이차측의 삼상 선로(6A, 6B, 6C)에는, 각각 전류 변성기(CT2A, CT2B, CT2C)(총칭하는 경우에 전류 변성기(CT2)라고 기재함)가 마련되어 있다. 전류 변성기(CT2A)는 A상의 선로(6A)를 흐르는 전류(I2A)를 검출하고, 전류 변성기(CT2B)는 B상의 선로(6B)를 흐르는 전류(I2B)를 검출하고, 전류 변성기(CT2C)는 C상의 선로(6C)를 흐르는 전류(I2C)를 검출한다. 각 전류 변성기(CT2)의 제1단은, 공통의 접지극(GND)에 접속되고, 각 전류 변성기(CT2)의 제2단은, 변압기 보호 릴레이(4)의 대응하는 채널의 입력 변성기(도 2의 11)의 일차측에 접속된다. 즉, 전류 변성기(CT2A, CT2B, CT2C)는 Y 결선되어 있다.

[0024] [변압기 보호 릴레이의 하드웨어 구성예]

[0025] 도 2는 도 1의 변압기 보호 릴레이(4)의 하드웨어 구성예를 나타내는 블록도이다. 도 2를 참조하여, 변압기 보호 릴레이(4)는, 이른바 디지털 릴레이와 마찬가지로의 구성을 가지고 있다. 구체적으로, 변압기 보호 릴레이(4)는 입력 변환부(10)와, A/D 변환부(20)와, 연산 처리부(30)와, I/O(Input and Output)부(40)를 구비한다.

[0026] 입력 변환부(10)는 각 입력 채널마다 보조 변성기(11_1, 11_2, ...)를 구비한다. 입력 변환부(10)는 도 1의 전류 변성기(CT1A, CT1B, CT1C)로부터 각각 출력된 일차측 전류(I1A, I1B, I1C)를 나타내는 신호 및 전류 변성기(CT2A, CT2B, CT2C)로부터 각각 출력된 이차측 전류(I2A, I2B, I2C)를 나타내는 신호를, 6개의 보조 변성기(11)를 통해서 개별로 받아들인다. 각 보조 변성기(11)는 이들 입력 신호를 A/D 변환부(20) 및 연산 처리부(30)에서의 신호 처리에 적절한 전압 레벨의 신호로 변환한다.

[0027] A/D 변환부(20)는 아날로그 필터(AF: Analog Filter)(21_1, 21_2, ...)와, 샘플 홀드 회로(S/H: Sample Hold Circuit)(22_1, 22_2, ...)와, 멀티플렉서(MPX: Multiplexer)(23)와, A/D 변환기(24)를 포함한다. 아날로그 필터(21) 및 샘플 홀드 회로(22)는, 입력 변환부(10)의 채널마다 마련된다.

[0028] 각 아날로그 필터(21)는 A/D 변환시의 에일리어싱(aliasing) 오차를 제거하기 위해서 마련된 로우패스 필터 또는 밴드 패스 필터이다. 각 샘플 홀드 회로(22)는 대응 아날로그 필터(21)를 통과한 신호를 규정된 샘플링 주파수로 샘플링하여 유지한다. 멀티플렉서(23)는 샘플 홀드 회로(22_1, 22_2, ...)에 유지된 전압 신호를 차례로

선택한다. A/D 변환기(24)는 멀티플렉서(23)에 의해서 선택된 신호를 디지털값으로 변환한다.

- [0029] 연산 처리부(30)는 CPU(Central Processing Unit)(31)와, RAM(Random Access Memory)(32)과, ROM(Read Only Memory)(33)과, 이들을 접속하는 버스(34)를 포함한다. CPU(31)는 프로그램에 따라서 동작함으로써, 변압기 보호 릴레이(4)의 전체의 동작을 제어한다. RAM(32) 및 ROM(33)은 CPU(31)의 주기억으로서 이용된다. ROM(33)의 기억 매체로서, EEPROM(Electrically Erasable Programmable ROM) 및 플래시 메모리 등의 전기적으로 개서 가능한 불휘발성 메모리를 이용함으로써, 프로그램 및 신호 처리용의 설정값 등을 수납할 수 있다.
- [0030] I/O부(40)는 디지털 입력(D/I : Digital Input) 회로(41)와, 디지털 출력(D/O : Digital Output) 회로(42)를 포함한다. 디지털 입력 회로(41) 및 디지털 출력 회로(42)는, CPU(31)와 외부 장치의 사이에서 디지털 신호의 입출력을 행할 때의 인터페이스 회로이다. 예를 들어, 디지털 출력 회로(42)는, CPU(31)의 지령에 따라서 트립 신호를, 관계되는 차단기에 출력한다.
- [0031] 또한, 연산 처리부(30)의 기능 중 적어도 일부는, ASIC(Application Specific Integrated Circuit) 또는 FPGA(Field Programmable Gate Array) 등의 전자 회로로서 실현되어 있어도 되고, CPU, ASIC, 및 FPGA 중 2개 이상을 조합하여 실현되어도 된다.
- [0032] [연산 처리부에 있어서의 신호 처리]
- [0033] 도 3은 연산 처리부에 있어서의 신호 처리를 설명하기 위한 블록도이다. 도 3을 참조하여, 연산 처리부(30)는, 기능적으로, Y/Δ 변환부(50, 51)와, 계인 조정부(52, 53)와, A상 연산부(54)와, B상 연산부(55)와, C상 연산부(56)를 포함한다.
- [0034] Y/Δ 변환부(50, 51)는 Y 결선의 선전류를 Δ 결선의 선전류로 변환한다. 이하, 도 1과 같은 YΔ 변압기의 결선 방법이 Yd1인 경우에 대해 설명한다. 이 경우, 일차 권선(2)은 Y 권선이고, 2차 권선(3)은 Δ 권선이고, 일차측의 전류 변성기(CT1)에서 검출된 선전류(I1A, I1B, I1C)의 위상에 대해서, 이차측의 전류 변성기(CT2)에서 검출된 선전류(I2A, I2B, I2C)의 위상은, 30° 지연되어 있다(시계의 1시 방향에 대응함). 따라서, 일차측의 Y 결선의 선전류(I1A, I1B, I1C)를 Δ 결선인 경우의 선전류(I' 1A, I' 1B, I' 1C)로 변환함으로써, 양자의 위상을 맞춘다. 구체적으로, 변환 후의 일차측의 선전류(I' 1A, I' 1B, I' 1C)는,
- [0035]
$$I' 1A = I1A - I1C \dots (1A)$$
- [0036]
$$I' 1B = I1B - I1A \dots (1B)$$
- [0037]
$$I' 1C = I1C - I1B \dots (1C)$$
- [0038] 로 나타내진다.
- [0039] 도 1의 경우의 변압기(1)의 2차 권선(3)은 Δ 권선이므로, Y/Δ 변환부(51)는 실장되어 있지만, Y/Δ 변환 처리는 행해지지 않는다. 따라서, I' 2A=I2A, I' 2B=I2B, I' 2C=I2C이다. 도 3에서는, Y/Δ 변환 처리가 행해지지 않는 것을 나타내기 위해서, Y/Δ 변환부(51)가 파선으로 도시되어 있다.
- [0040] 또한, YY 변압기인 경우에는, 외부 지락 고장인 경우의 영상 전류를 캔슬하기 위해서, 일차측 및 이차측 양쪽 모두에 있어서 Y/Δ 변환이 행해진다. ΔΔ 변압기인 경우에는, 일차측 및 이차측 중 어느 것에 있어도 Y/Δ 변환은 행해지지 않는다.
- [0041] 또한, 상기의 계산에 의한 Y/Δ 변환을 대신하여, 일차측의 전류 변성기(CT1A, CT1B, CT1C)를, 변압기(1)의 일차측과 이차측에서 위상이 맞도록 Δ 결선 해도 된다. 이것에 의해, 일차측의 전류 변성기(CT1)에 의한 검출 전류의 위상과 이차측의 전류 변성기(CT2)에 의한 검출 전류의 위상을 같게 할 수 있다.
- [0042] 계인 조정부(52)는 Y/Δ 변환 후의 일차측 전류를 상수 M1배함으로써 최종적인 일차측 전류(I' 1A, I' 1B, I' 1C)를 계산한다. 마찬가지로, 계인 조정부(53)는 이차측 전류를 상수 M2배로 함으로써, 최종적인 이차측 전류(I' 2A, I' 2B, I' 2C)를 계산한다. 상수 M1, M2는 외부 고장인 경우의 일차측 전류의 기본과 성분과 이차측 전류의 기본과 성분이 캔슬되도록, 삼상 변압기(1)의 변압비 및 일차측과 이차측의 전류 변성기(CT1, CT2)의 CT비에 따라 미리 결정된다.
- [0043] A상 연산부(54)는 A상의 일차측 전류(I' 1A)와 A상의 이차측 전류(I' 2A)를 이용하여, A상에 대해서 비율 차동 방식에 의한 전류 차동 릴레이 연산과 인러쉬 전류의 유무의 판정을 행한다. 마찬가지로, B상 연산부(55)는 B상의 일차측 전류(I' 1B)와 B상의 이차측 전류(I' 2B)를 이용하여, B상에 대해서 비율 차동 방식에 의한 전류 차

동 릴레이 연산과 인러쉬 전류의 유무의 판정을 행한다. C상 연산부(56)는 C상의 일차측 전류(I' 1C)와 C상의 이차측 전류(I' 2C)를 이용하여, C상에 대해서 비율 차동 방식에 의한 전류 차동 릴레이 연산과 인러쉬 전류의 유무의 판정을 행한다. A상 연산부(54), B상 연산부(55), 및 C상 연산부(56)는, 마찬가지로의 구성을 가지고 있으므로, 이하에서는, A상 연산부(54)의 구성을 대표로 하여 설명한다.

[0044] 도 4는 도 3의 A상 연산부(54)의 기능적 구성예를 나타내는 블록도이다. 도 4를 참조하여, A상 연산부(54)는 필터(60, 61, 66, 67, 68)와, 차전류 연산부(62)와, 억제 전류 연산부(63)와, 비율 차동 릴레이 연산부(64)와, 고조파용 차전류 연산부(65)와, 실효값 연산부(69, 70, 71)와, 함유율 연산부(72, 73, 74)와, 인러쉬 판정부(75)와, AND 연산기(76)를 포함한다.

[0045] 필터(60)는 A상의 일차측 전류(I' 1A)의 시계열 데이터의 입력을 받고, 전력 계통의 기본파 성분(1f)을 통과시키고, 직류 성분, 제2 고조파 성분(2f), 제3 고조파 성분(3f), 제4 고조파 성분(4f) 등의 그 외의 성분을 억제하는 밴드 패스 필터로서 구성된다. 마찬가지로 필터(61)는 A상의 이차측 전류(I' 2A)의 입력을 받고, 전력 계통의 기본파 성분(1f)을 통과시키고, 그 외의 성분을 억제하는 밴드 패스 필터로서 구성된다.

[0046] 차전류 연산부(62)는 필터(60)를 통과한 A상 일차측 전류의 기본파 성분 I' 1A_{1f}의 시계열 데이터와, 필터(61)를 통과한 A상 이차측 전류의 기본파 성분 I' 2A_{1f}의 시계열 데이터의 합(즉, 벡터합)의 실효값을 연산한다. 여기서, 일차측의 전류 변성기(CT1)와 이차측의 전류 변성기(CT2)의 극성을 역방향으로 함으로써, 차전류 연산부(62)는 일차측 전류의 기본파 성분과 이차측 전류의 기본파 성분의 차분의 실효값을, 차전류 IdA_{1f}로서 계산하고 있게 된다. 즉, |E|로 전기량 E의 실효값을 나타내는 것으로 하면, 차전류 IdA_{1f}는

$$IdA_{1f} = |I' 1A_{1f} + I' 2A_{1f}| \cdots (2)$$

[0048] 로 나타내진다. 또한, 본 개시에서는, 실효값을 이용하여 설명하지만, 실효값을 모두 진폭값으로 변경해도 된다. 이 경우에는, |E|는 전기량 E의 진폭값을 나타내게 된다.

[0049] 억제 전류 연산부(63)는 필터(60)를 통과한 A상 일차측 전류의 기본파 성분 I' 1A_{1f}의 실효값과, 필터(61)를 통과한 A상 이차측 전류의 기본파 성분 I' 2A_{1f}의 실효값의 스칼라합을, 억제 전류 IrA_{1f}로서 계산한다. 즉, 억제 전류 IrA_{1f}는

$$IrA_{1f} = |I' 1A_{1f}| + |I' 2A_{1f}| \cdots (3)$$

[0051] 로 나타내진다.

[0052] 비율 차동 릴레이 연산부(64)는 차전류 IdA_{1f}와 억제 전류 IrA_{1f}를 이용하여, 삼상 변압기(1)의 A상 권선에 있어서 내부 고장이 발생해 있는지 아닌지를 판정한다. 구체적으로, 비율 차동 릴레이 연산부(64)는 비율 설정값을 C1 및 C1'로 하고, 최소 설정값을 C2 및 C2'로 하고,

$$IdA_{1f} \geq C1 \times IrA_{1f} + C2 \cdots (4A)$$

$$IdA_{1f} \geq C1' \times IrA_{1f} + C2' \cdots (4B)$$

[0055] 가 양쪽 모두 충족되고 있는 경우에 내부 고장이라고 판정한다. 비율 차동 릴레이 연산부(64)는 내부 고장이라고 판정된 경우에, 외부의 차단기 등을 개방하기 위한 릴레이 동작 신호를 출력한다.

[0056] 고조파용 차전류 연산부(65)는 A상 일차측 전류(I' 1A)의 시계열 데이터와 A상 이차측 전류의 시계열 데이터의 합(즉, 벡터합)을, 고조파 성분의 추출용의 차전류 IdA로서 계산한다. 즉, 차전류 IdA는

$$IdA = I' 1A + I' 2A \cdots (5)$$

[0058] 로 나타내진다.

[0059] 필터(66)는 차전류 IdA의 시계열 데이터의 입력을 받고, 제2 고조파 성분(2f)을 통과시키고, 직류 성분, 기본파 성분(1f), 제3 고조파 성분(3f), 제4 고조파 성분(4f) 등의 그 외의 성분을 억제하는 밴드 패스 필터로서 구성된다.

[0060] 마찬가지로, 필터(67)는 차전류 IdA의 시계열 데이터의 입력을 받고, 제3 고조파 성분(3f)을 통과시키고, 직류

성분, 기본과 성분(1f), 제2 고조파 성분(2f), 제4 고조파 성분(4f) 등의 그 외의 성분을 억제하는 밴드 패스 필터로서 구성된다.

[0061] 또한, 필터(68)는 차전류 I_{dA} 의 시계열 데이터의 입력을 받고, 제4 고조파 성분(4f)을 통과시키고, 직류 성분, 기본과 성분(1f), 제2 고조파 성분(2f), 제3 고조파 성분(3f) 등의 그 외의 성분을 억제하는 밴드 패스 필터로서 구성된다.

[0062] 또한, A상 일차측 전류(I'_{1A})의 시계열 데이터 및 A상 이차측 전류(I'_{2A})의 시계열 데이터에 대해서, 필터(66~68)에 의한 필터 연산을 먼저 실행하고, 그 후에 고조파 성분마다 차전류 연산부(65)에 의해서 A상 일차측 전류와 A상 이차측 전류의 벡터합을 계산하도록 해도 된다.

[0063] 실효값 연산부(69)는 필터(66)를 통과한 차전류의 제2 고조파 성분의 실효값 $Id_{A_{2f}}$ 를 연산한다. 마찬가지로, 실효값 연산부(70)는 필터(67)를 통과한 차전류의 제3 고조파 성분의 실효값 $Id_{A_{3f}}$ 를 연산한다. 실효값 연산부(71)는 필터(68)를 통과한 차전류의 제4 고조파 성분의 실효값 $Id_{A_{4f}}$ 를 연산한다.

[0064] 함유율 연산부(72)는 차전류 연산부(62)에 의해서 연산된 A상 차전류의 기본과 성분의 실효값 $Id_{A_{1f}}$ 와, 실효값 연산부(69)에 의해서 연산된 A상 차전류의 제2 고조파 성분의 실효값 $Id_{A_{2f}}$ 의 입력을 받는다. 그리고, 함유율 연산부(72)는 A상 차전류의 기본과 성분의 실효값 $Id_{A_{1f}}$ 에 대한 A상 차전류의 제2 고조파 성분의 실효값 $Id_{A_{2f}}$ 의 비율 $Id_{A_{2f}}/Id_{A_{1f}}$ 를, 제2 고조파 함유율로서 계산한다.

[0065] 마찬가지로, 함유율 연산부(73)는 차전류 연산부(62)에 의해서 연산된 A상 차전류의 기본과 성분의 실효값 $Id_{A_{1f}}$ 와, 실효값 연산부(70)에 의해서 연산된 A상 차전류의 제3 고조파 성분의 실효값 $Id_{A_{3f}}$ 의 입력을 받는다. 그리고, 함유율 연산부(73)는 A상 차전류의 기본과 성분의 실효값 $Id_{A_{1f}}$ 에 대한 A상 차전류의 제3 고조파 성분의 실효값 $Id_{A_{3f}}$ 의 비율 $Id_{A_{3f}}/Id_{A_{1f}}$ 를, 제3 고조파 함유율로서 계산한다.

[0066] 함유율 연산부(74)는 차전류 연산부(62)에 의해서 연산된 A상 차전류의 기본과 성분의 실효값 $Id_{A_{1f}}$ 와, 실효값 연산부(71)에 의해서 연산된 A상 차전류의 제4 고조파 성분의 실효값 $Id_{A_{4f}}$ 의 입력을 받는다. 그리고, 함유율 연산부(74)는 A상 차전류의 기본과 성분의 실효값 $Id_{A_{1f}}$ 에 대한 A상 차전류의 제4 고조파 성분의 실효값 $Id_{A_{4f}}$ 의 비율 $Id_{A_{4f}}/Id_{A_{1f}}$ 를, 제4 고조파 함유율로서 계산한다.

[0067] 인러쉬 판정부(75)는 함유율 연산부(72~74)에 의해서 계산된 자상(自相)인 A상의 고조파 함유율 중 적어도 제2 고조파 함유율과, 다른 2상의 제2 고조파 함유율을 이용하여, 자상인 A상에 인러쉬 전류가 발생하고 있는지 아닌지를 판정한다. 인러쉬 판정부(75)는 인러쉬 전류가 발생하고 있다고 판정된 경우에, 릴레이 출력을 록하기 위한 록 신호를 액티브 상태로 한다. 인러쉬 전류의 발생의 유무를 판정하는 구체적 방법에 대해서는, 도 5~도 18을 참조하여 후술한다.

[0068] AND 연산기(76)는 비율 차동 릴레이 연산부(64)로부터 출력된 릴레이 동작 신호와, 인러쉬 판정부(75)로부터 출력된 록 신호를 반전시킨 신호의 논리곱을 연산한다. 따라서, 록 신호가 액티브 상태인 경우에는, AND 연산기(76)의 출력은 인액티브 상태로 되고, 릴레이 출력이 록된다.

[0069] 또한, B상 연산부(55)의 경우에는, 상기의 설명에 있어서 A상을 B상으로 변경하면 되고, C상 연산부(56)의 경우에는, 상기의 설명에 있어서 A상을 C상으로 변경하면 된다. 따라서, 자세한 설명을 반복하지 않는다.

[0070] [인러쉬 전류 발생의 판정 조건]

[0071] 다음으로 인러쉬 전류의 발생의 판정 조건에 대해 설명한다. 본 개시에서는, 복수의 판정 조건을 조합함으로써, 인러쉬 전류의 발생의 판정의 신뢰도를 향상시킴과 아울러, 변압기 내부 고장이 발생한 경우에는 인러쉬 전류 발생을 검출하지 않도록 한다.

[0072] 도 5는 본 개시에서 이용하는 인러쉬 전류 발생의 개개의 판정 조건의 특징을 표 형식으로 정리한 도면이다. 이하, 도 5를 참조하여 판정 조건 A~F의 특징에 대해 설명한다.

[0073] 판정 조건 A는 3상 중 1상이라도 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파 함유율이 설정값 K1보다 크다고 하는 조건(즉, 제2 고조파 3상 OR 판정 방식)이다. 설정값 K1은 변압기의 내부 고장으로 생기는 제2 고조

과 함유율의 최대값보다도 큰 값으로 설정된다. 예를 들어, $K1=15\%$ 이다.

- [0074] 인러쉬 전류의 발생시에는 3상 중의 어느 1상의 제2 고조파 함유율은 상당히 커지므로, 판정 조건 A에 의하면, 인러쉬 전류의 발생을 확실하게 검출할 수 있다. 또한, 인러쉬 전류의 발생 중에 변압기 내부에서 1상 고장이 발생한 경우에는, 고장 전류에는 제2 고조파가 적으므로 고장상에서는 비검출이 된다. 그러나, 고장상이 아닌 상에는 인러쉬 전류가 포함되므로, 인러쉬 전류의 검출이 계속될 가능성이 있다.
- [0075] 판정 조건 B는 변압기의 상마다의 개별의 판정 조건이며, 자상의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파 함유율이 설정값 $K2$ 보다 크다고 하는 조건(즉, 제2 고조파 각상 판정 방식)이다. 설정값 $K2$ 는 인러쉬 전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 최소인 경우에도 검출할 수 있는 값으로 설정된다. 예를 들어, $K2=5\%$ 이다.
- [0076] 판정 조건 B에 의하면, 설정값 $K2$ 는 인러쉬 전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 최소인 경우보다도 작은 값으로 설정되므로, 인러쉬 전류의 발생을 확실하게 검출할 수 있다. 다만, 3상 중 2상에 대해서는, 일시적으로 제2 고조파 함유율이 설정값 $K2$ 미만인 될 가능성이 있다. 이 경우, 제2 고조파 함유율이 일시적으로 저하되는 상에 대해서는, 인러쉬 전류가 일시적으로 비검출이 된다. 또한, 인러쉬 전류의 발생 중에 변압기 내부에서 1상 고장이 발생한 경우에 있어서, 비교적 긴 전력 케이블과 같이 대지 정전 용량이 큰 송전선에 변압기가 접속되어 있는 경우에는, 송전선의 대지 용량 성분과 변압기의 권선의 유도 성분에 의해서, 제2 고조파에 가까운 공진 주파수를 가지는 공진 현상이 생길 가능성이 있다. 이 때문에, 사고 전류에, 이 공진 현상에 의한 제2 고조파가 검출될 가능성이 있다. 그러나, 이 공진은 수 사이클 이내로 감쇠하므로, 잠시 후에 제2 고조파는 비검출이 된다. 변압기가 대지 정전 용량이 작은 송전선에 접속되어 있는 경우에는, 사고 전류에 고조파가 거의 포함되지 않으므로, 고장 발생 후에 즉시 제2 고조파는 비검출이 된다.
- [0077] 판정 조건 C는 변압기의 상마다의 개별의 판정 조건이며, 자상의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파, 제3 고조파, 및 제4 고조파 각각의 함유율의 합이 설정값 $K3$ 보다 크다고 하는 조건이다. 설정값 $K3$ 은 인러쉬 전류에 포함되는 제2 고조파, 제3 고조파, 및 제4 고조파 각각의 함유율의 합보다도 작은 값으로 설정된다. 예를 들어, $K3=15\%$ 이다.
- [0078] 판정 조건 C에 의하면, 설정값 $K3$ 은 인러쉬 전류에 포함되는 제2 고조파, 제3 고조파, 및 제4 고조파 각각의 함유율의 합보다도 작은 값으로 설정되므로, 인러쉬 전류의 발생을 확실하게 검출할 수 있다. 제2 고조파의 일시적인 저하를, 제3 고조파 및 제4 고조파에서 보충할 수 있는 메리트가 있다. 또한, 인러쉬 전류의 발생 중에 변압기 내부에서 1상 고장이 발생한 경우에 있어서, 변압기가 전력 케이블에 접속되어 있는 경우에는, 전력 케이블의 용량 성분과 변압기의 유도 성분에 의해서 공진이 생기기 때문에 사고 전류가 고조파를 함유하여, 이 고조파를 검출할 가능성이 있다. 그러나, 이 공진은 수 사이클 이내로 감쇠하므로 고조파는 비검출이 된다. 변압기가 가공선에 접속되어 있기 때문에 사고 전류에 고조파가 거의 포함되지 않는 경우에는, 고장 발생 후에 즉시 고조파는 비검출이 된다.
- [0079] 판정 조건 D는 3상 중의 어느 2상에 있어서 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파 함유율이 모두 설정값 $K1$ 보다 크다고 하는 조건(즉, 제2 고조파 2상 AND 판정 방식)이다. 설정값 $K1$ 은 판정 조건 A의 경우와 동일한 값, 예를 들면 15% 로 설정된다.
- [0080] 판정 조건 D의 경우, 제2 고조파 함유율이 상기의 설정값 $K1$ 보다 커지는 것이, 3상 중 1상뿐인 경우가 있을 수 있다. 이 때문에, 대부분의 경우에 있어서 인러쉬 전류의 발생을 검출 가능하지만, 확실하게 검출할 수 있다고까지는 말할 수 없다. 또한, 통상, 변압기가 Y 결선인 경우에는 삼상 CT의 검출값은 Δ 결선인 경우의 선전류로 변환되므로, 변압기의 1상 고장인 경우더라도, 고장 전류는 변압기의 2상에서 검출된다. 이 때문에, 인러쉬 전류의 발생 중에 변압기 내부에서 1상 고장이 발생한 경우에는, 인러쉬 전류는 확실하게 비검출이 된다.
- [0081] 판정 조건 E는 변압기의 상마다의 개별의 판정 조건이며, 자상의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파 및 제4 고조파 각각의 함유율의 합이 설정값 $K4$ 보다 크다고 하는 조건이다. 설정값 $K4$ 는 인러쉬 전류에 포함되는 제2 고조파 및 제4 고조파 각각의 함유율이 최소인 경우에도 검출할 수 있는 값으로 설정된다. 예를 들어, $K4=6\%$ 이다.
- [0082] 판정 조건 E에 의하면, 설정값 $K4$ 는 인러쉬 전류에 포함되는 제2 고조파 및 제4 고조파 각각의 함유율의 합보다도 작은 값으로 설정되므로, 인러쉬 전류의 발생을 확실하게 검출할 수 있다. 제2 고조파의 일시적인 저하를 제4 고조파에서 보충할 수 있는 메리트가 있다. 또한, 인러쉬 전류의 발생 중에 변압기 내부에서 1상 고장이 발생한 경우에 있어서, 비교적 긴 전력 케이블과 같이 대지 정전 용량이 큰 송전선에 변압기가 접속되어 있는 경우에는, 송전선의 대지 용량 성분과 변압기의 권선의 유도 성분에 의해서, 제2 고조파에 가까운 공진 주파수를 가

지는 공진 현상이 생길 가능성이 있다. 이 때문에, 사고 전류에, 이 공진 현상에 의한 제2 고조파가 검출될 가능성이 있다. 그러나, 이 공진은 수 사이클 이내로 감쇠하므로 고조파는 비검출이 된다. 변압기가 대지 정전 용량이 작은 송전선에 접속되어 있는 경우에는, 사고 전류에 고조파가 거의 포함되지 않으므로, 고장 발생 후에 즉시 고조파는 비검출이 된다.

[0083] 판정 조건 F는 판정 조건 D의 설정값 K1을 K2로 변경한 것이다. 즉, 판정 조건 F는 3상 중의 어느 2상에 있어서 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파 함유율이 모두 설정값 K2보다 크다고 하는 조건이다. 설정값 K2는 인러쉬 전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 최소인 경우에도 검출할 수 있는 값으로 설정된다. 예를 들어, K2=5%이다.

[0084] 판정 조건 F에 의하면, 설정값 K2는 인러쉬 전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 최소인 경우보다도 작으므로 설정되므로, 인러쉬 전류의 발생을 확실하게 검출할 수 있다. 다만, 3상 중 2상에 대해서는, 일시적으로 제2 고조파 함유율이 설정값 K2 미만일 가능성도 있다. 또한, 통상, 변압기가 Y 결선인 경우에는 삼상 CT의 검출값은 Δ 결선인 경우의 선전류로 변환되므로, 변압기가 1상 고장인 경우더라도, 고장 전류는 변압기의 2상에서 검출된다. 이 때문에, 인러쉬 전류의 발생 중에 변압기 내부에서 1상 고장이 발생한 경우에는, 판정 조건 F에서는 인러쉬 전류가 확실하게 비검출이 된다.

[0085] [인러쉬 판정부의 구체적 구성]

[0086] 도 6은 도 3의 A상 연산부(54)에 포함되는 인러쉬 판정부(75)의 구체적 구성예를 나타내는 블록도이다. 도 6의 인러쉬 판정부(75)의 판정 조건은, 전술한 판정 조건 A와 판정 조건 B를 조합한 것이다.

[0087] 또한, 이하의 설명에서는, A상의 제2 고조파 함유율 $I_{dA_{2f}}/I_{dA_{1f}}$ 를 $(2f/1f)A$ 와 같이도 표기한다. A상의 제3 고조파 함유율 $I_{dA_{3f}}/I_{dA_{1f}}$ 를 $(3f/1f)A$ 와 같이도 표기한다. A상의 제4 고조파 함유율 $I_{dA_{4f}}/I_{dA_{1f}}$ 를 $(4f/1f)A$ 와 같이도 표기한다. B상 및 C상에 대해서도 마찬가지이다.

[0088] 도 6에 나타내는 바와 같이, 인러쉬 판정부(75)는 판정부(80, 81, 82, 83)와, OR 연산기(84)와, AND 연산기(85)를 구비한다.

[0089] 판정부(80)는 A상의 제2 고조파 함유율 $(2f/1f)A$ 가 설정값 K1보다도 큰지 아닌지를 판정한다. 판정부(81)는 B상의 제2 고조파 함유율 $(2f/1f)B$ 가 설정값 K1보다도 큰지 아닌지를 판정한다. 판정부(82)는 C상의 제2 고조파 함유율 $(2f/1f)C$ 가 설정값 K1보다도 큰지 아닌지를 판정한다. 전술과 같이, 설정값 K1은, 예를 들어 15%이며, 비교적 큰 값이다.

[0090] OR 연산기(84)는 판정부(80, 81, 82)의 판정 결과의 OR 연산을 행한다. 따라서, OR 연산기(84)의 출력은, A상, B상, C상 중 어느 1상의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 설정값 K1보다 크다고 하는 판정 조건 A가 성립하는지 아닌지를 나타내고 있다.

[0091] 판정부(83)는 A상 연산부(54)의 경우에 있어서, 자상인 A상의 제2 고조파 함유율 $(2f/1f)A$ 가 설정값 K2보다도 큰지 아닌지를 판정한다. 전술과 같이, 설정값 K2는, 예를 들어 5%이며, 설정값 K1보다도 상당히 작다.

[0092] 또한, 도 3의 B상 연산부(55)에 포함되는 인러쉬 판정부(75)의 경우에는, 판정부(83)는 자상인 B상의 제2 고조파 함유율 $(2f/1f)B$ 가 설정값 K2보다도 큰지 아닌지를 판정한다. 또한, 도 3의 C상 연산부(56)에 포함되는 인러쉬 판정부(75)의 경우에는, 자상인 C상의 제2 고조파 함유율 $(2f/1f)C$ 가 설정값 K2보다도 큰지 아닌지를 판정한다. 따라서, 삼상 변압기(1)의 상마다, 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 설정값 K2보다도 크다고 하는 판정 조건 B의 성립 유무가 판정되게 된다.

[0093] AND 연산기(85)는 OR 연산기(84)의 출력과 판정부(83)의 출력의 AND 연산을 실행한다. AND 연산기(85)로부터 출력되는 록 신호가 액티브 상태인 경우에, 대응하는 상(도 6의 경우, A상)의 릴레이 출력이 록되고, 록 신호가 인액티브 상태인 경우에, 대응하는 상(A상)의 릴레이 출력은 록되지 않는다. B상 및 C상의 경우도 마찬가지이므로, 판정 조건 A가 성립함과 아울러, 판정 조건 B가 성립하는 상이 있는 경우에, 해당 상의 보호 릴레이 출력이 록되게 된다.

[0094] 상기의 인러쉬 판정부(75)의 구성에 의하면, 인러쉬 전류가 발생했을 경우에는, 3상 중 1상의 제2 고조파 함유율은 반드시 설정값 K1보다 커지고, 남은 상의 제2 고조파 함유율은 설정값 K2보다 커지는 것이 통상이므로, 인러쉬 전류의 발생을 검출할 수 있다. 또한, 삼상 변압기(1)의 내부 고장이 발생했을 때에는, 전류 검출값에 고장 전류가 포함되는 상에서는, 고장 전류는 기본파 성분이 주체이므로, 제2 고조파 함유율은 저하된다. 따라서,

설정값 K2를 설정값 K1보다도 상당히 낮은 값으로 설정해도, 전류 검출값에 고장 전류가 포함되는 상에서는, 인러쉬 전류의 발생은 검출되지 않게 된다.

- [0095] 도 7은 도 6의 인러쉬 판정부(75)의 동작을 설명하는 타이밍도이다. 도 7의 굵은 선으로 도시되어 있는 부분에 있어서, 판정 조건이 충족되고 있고, 출력 신호가 액티브 상태로 되어 있는 것을 나타낸다.
- [0096] 도 7을 참조하여, 시각 t1에 있어서 삼상 변압기(1)에 전압이 인가된다. 인러쉬 전류의 발생에 의해, 시각 t2에 있어서 A상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)A 및 C상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)C가 모두 설정값 K2를 초과하므로, A상 및 C상에 대해서 판정 조건 B가 충족된다. 또한, 시각 t3에 있어서 B상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)B가 설정값 K1을 초과하므로 판정 조건 A가 충족된다. 또한, 도 7에는 도시하고 있지 않지만, 시각 t3보다도 전의 시점에서, B상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)B는 당연히 설정값 K2를 초과하고 있다. 따라서, 시각 t3에 있어서, A상, B상 및 C상의 각상에 있어서 릴레이 출력을 록하기 위한 록 신호가 액티브 상태로 된다.
- [0097] 도 7의 예에서는, 인러쉬 전류가 흐르는 A상, B상, 및 C상의 각상의 차전류 중, 제2 고조파 함유율이 가장 작은 상이 C상이다. C상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)C는, 시각 t2에 있어서 설정값 K2를 초과하지만, 설정값 K1을 초과하지는 않는다. 다음으로 제2 고조파 함유율이 작은 상은 A상이다. A상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)A는, 시각 t4에 있어서 설정값 K1을 초과하지만, 연속하여 설정값 K1을 초과하지는 않고, 도중에 일시 복귀한다. 도 7에서는, 이와 같이 연속하여 설정값 K1을 초과하고 있지 않은 것을 파선으로 나타내고 있다.
- [0098] 시각 t8에 있어서, 변압기 내부의 A상에서 고장이 발생한다. 이것에 의해, A상에 고장 전류가 흐르므로, A상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)A가 저하되어, 시각 t9에 있어서 설정값 K2 이하로 된다. 이것에 의해, A상의 록 신호가 인액티브가 되어, A상의 릴레이 출력의 록이 해제된다.
- [0099] [실시 형태 1의 효과]
- [0100] 상기와 같이, 실시 형태 1의 변압기 보호 릴레이(4)는 제1 릴레이 연산부(A상 연산부(54)의 64), 제2 릴레이 연산부(B상 연산부(55)의 64), 및 제3 릴레이 연산부(C상 연산부(56)의 64)와, 제1 판정부(A상 연산부(54)의 75), 제2 판정부(B상 연산부(55)의 75), 및 제3 판정부(C상 연산부(56)의 75)를 구비한다.
- [0101] 제1 릴레이 연산부, 제2 릴레이 연산부, 및 제3 릴레이 연산부(64)는, 변압기(1)의 제1상(A상), 제2상(B상), 및 제3상(C상)에 각각 대응해서 마련되고, 대응하는 상의 변압기의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 기본파 성분과 기조하여 전류 차동 릴레이 연산을 행한다. 제1 판정부, 제2 판정부, 및 제3 판정부(75)는, 변압기(1)의 제1상(A상), 제2상(B상), 및 제3상(C상)에 각각 대응해서 마련되고, 인러쉬 전류의 발생을 검출하기 위한 판정을 행한다.
- [0102] 구체적으로, 제1 판정부, 제2 판정부, 및 제3 판정부 각각(75)은, 제1상, 제2상, 및 제3상 중 어느 1상의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 제1 설정값(K1)보다 크다고 하는 제1 조건(조건 A)과, 대응하는 상의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 제2 설정값(K2)보다 크다고 하는 제2 조건(조건 B)의 성립 유무를 판정한다. 제2 설정값(K2)은 제1 설정값(K1)보다도 작다. 그리고, 제1 판정부, 제2 판정부, 및 제3 판정부 각각(75)은, 제1 조건(조건 A) 및 제2 조건(조건 B)이 모두 성립하고 있는지 아닌지에 기초하여, 대응하는 상의 릴레이 연산부(64)의 출력을 록한다.
- [0103] 이상의 구성에 의하면, 인러쉬 전류가 발생했을 경우에는, 3상 중 1상의 제2 고조파 함유율은 반드시 제1 설정값(K1)보다 커지고, 다른 상의 제2 고조파 함유율은 제2 설정값(K2)보다 커지므로, 인러쉬 전류의 발생을 검출할 수 있다. 또한, 인러쉬 전류의 발생 중에 변압기(1)의 내부 고장이 발생했을 때에는, 전류 검출값에 고장 전류가 포함되는 상에서는 제2 고조파 함유율은 저하하므로, 제2 설정값(K2)을 낮은 값으로 설정해도 인러쉬 전류의 발생은 검출되지 않게 된다.
- [0104] 따라서, 인러쉬 전류의 발생을 검출하여 릴레이 출력을 확실하게 록함과 아울러, 인러쉬 전류의 발생 중에 변압기 고장이 발생했을 경우에 록을 해제하여 릴레이 동작을 행하는 변압기 보호 릴레이를 제공할 수 있다. 또한, 후속하는 실시 형태 2~4에서는, 판정 조건 A 및 판정 조건 B에 또 다른 판정 조건을 조합함으로써, 오동작을 보다 확실하게 방지한 변압기 보호 릴레이에 대해 설명한다.
- [0105] 실시 형태 2.
- [0106] 실시 형태 2의 변압기 보호 릴레이(4)에서는, 인러쉬 판정부(75)의 판정 조건은, 실시 형태 1의 경우의 판정 조건 A 및 판정 조건 B의 조합을 동작 조건(세트 조건)으로 하고, 판정 조건 B가 일정 시간 이상 충족되지 않는 경우를 복귀 조건(리셋 조건)으로 하도록 변경된다. 또한, 전술한 판정 조건 D가 충족되지 않게 되었을 경우를

복귀 조건에 조합해도 된다. 이하, 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0107] [인러쉬 판정부(75)의 상세한 구성]

[0108] 도 8은 실시 형태 2의 변압기 보호 릴레이(4)에 있어서, 도 3의 A상 연산부(54)에 포함되는 인러쉬 판정부(75)의 구체적 구성예를 나타내는 블록도이다. 도 8의 인러쉬 판정부(75)는, 도 6의 구성에 더하여 복귀 타이머(91)와, 플립플롭(90)을 더 구비한다. 또한, 도 8에 있어서 도 6의 경우와 동일 또는 상당하는 부분에는, 동일한 참조 부호를 부여하여 설명을 반복하지 않는다. 또한, 도 1~도 4를 참조하여 설명한 구성은, 실시 형태 2의 경우에도 공통된다.

[0109] 도 8에 나타내는 바와 같이, 복귀 타이머(91)는, 판정부(83)의 출력이 인엑티브 상태에서부터 액티브 상태로 변화했을 경우에는, 자신의 출력을 즉시 액티브 상태로 한다. 한편, 복귀 타이머(91)는, 판정부(83)의 출력이 액티브 상태에서부터 인엑티브 상태로 변화하고, 인엑티브 상태가 설정 시간 T1 이상 계속됐을 경우에, 자신의 출력을 인엑티브 상태로 한다.

[0110] 판정부(83)에 의해서 판정되는 A상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)A가 설정값 K2보다 크다고 하는 판정 조건 B는, 대략 1 사이클 정도, 일시적으로 충족되지 않는 경우가 있을 수 있다. 이러한 일시적인 제2 고조파 함유율의 저하를 커버하기 위해서 복귀 타이머(91)가 마련되어 있다. 복귀 타이머(91)의 설정 시간 T1은, 대략 2 사이클 정도로 설정된다.

[0111] 플립플롭(90)은 AND 연산기(85)의 출력 신호 SG1을 세트 단자에 받고, 복귀 타이머(91)의 출력 신호 SG2를 반전 시킨 신호를 리셋 단자에 받는다. 플립플롭(90)은 세트 상태인 경우에 자상의 릴레이 출력을 록하기 위한 록 신호를 액티브 상태로 하고, 리셋 상태인 경우에 상기의 록 신호를 인엑티브 상태로 한다.

[0112] 따라서, 플립플롭(90)은 판정 조건 A 및 판정 조건 B가 모두 충족되고 있는 경우에 세트 상태로 됨으로써 자상의 릴레이 출력을 록한다. 또한, 플립플롭(90)은 판정 조건 B가 성립하고 있지 않는 상태가 설정 시간 T1 계속됐을 경우에 리셋 상태로 됨으로써, 자상의 릴레이 출력의 록 상태를 해제한다. 바꿔 말하면, 판정 조건 A가 성립함과 아울러, 판정 조건 B가 성립하는 상이 있는 경우에, 해당 상의 릴레이 출력이 록된다. 또한, 릴레이 출력이 록된 상에 있어서 판정 조건 B가 성립하고 있지 않는 상태가 설정 시간 T1 계속됐을 경우에, 해당 상의 릴레이 출력의 록이 해제된다.

[0113] 상기의 인러쉬 판정부(75)의 구성에 의하면, 실시 형태 1의 경우와 마찬가지로, 인러쉬 전류가 발생했을 경우에는, 3상 중 1상의 제2 고조파 함유율은 반드시 설정값 K1보다 커지고, 남은 상의 제2 고조파 함유율은 설정값 K2보다 커지므로, 인러쉬 전류의 발생을 확실하게 검출할 수 있다. 또한, 삼상 변압기(1)에서 내부 고장이 발생했을 때에는, 전류 검출값에 고장 전류가 포함되는 상에서는, 고장 전류는 기본파 성분이 주체이므로, 제2 고조파 함유율은 저하된다. 따라서, 설정값 K2를 설정값 K1보다도 상당히 낮은 값으로 설정해도, 전류 검출값에 고장 전류가 포함되는 상에서는 인러쉬 전류의 발생은 검출되지 않게 된다.

[0114] 판정 조건 B에서 이용되는 설정값 K2는, 인러쉬 전류의 제2 고조파 함유율이 최소가 되는 상의 통상의 함유율보다도 작은 값으로 설정되지만, 과도적으로 이 상의 제2 고조파 함유율이 설정값 K2 이하가 될 수 있다. 이 과도적인 제2 고조파 함유율의 저하 기간을 커버하기 위해서 복귀 타이머(91)가 마련되어 있다.

[0115] 또한, 도 5를 참조하여 설명한 것처럼, 비교적 긴 전력 케이블과 같이 대지 정전 용량이 큰 송전선에 삼상 변압기(1)가 접속되어 있는 경우에는, 송전선의 대지 용량 성분과 변압기의 권선의 유도 성분에 의해서 제2 고조파에 가까운 공진 주파수를 가지는 공진 현상이 생길 가능성이 있다. 이 공진 현상에 의해서 사고 전류에 제2 고조파가 검출되는 경우에는, 릴레이 출력의 록이 계속되게 된다. 그렇지만, 이 공진은 수 사이클 이내로 감쇠하므로 고조파가 비검출이 되어 릴레이 출력의 록이 해제되므로, 큰 문제가 되지 않는다.

[0116] 도 9는 도 8의 인러쉬 판정부(75)의 동작을 설명하는 타이밍도이다. 도 9의 굵은 선으로 도시되어 있는 부분에 있어서, 판정 조건이 충족되고 있고, 출력 신호가 액티브 상태로 되어 있는 것을 나타낸다.

[0117] 도 9를 참조하여, 시각 t1에 있어서 삼상 변압기(1)에 전압이 인가된다. 인러쉬 전류의 발생에 의해, 시각 t2에 있어서 A상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)A가 설정값 K2를 초과하므로 판정 조건 B가 충족된다. 이것에 의해, 복귀 타이머(91)의 출력 신호 SG2가 액티브 상태로 되고, 플립플롭(90)의 리셋 단자의 입력이 인엑티브 상태로 된다.

[0118] 시각 t3에 있어서 B상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)B가 설정값 K1을 초과하므로 판정 조건 A가 충족된다. 이것에 의해, 플립플롭(90)의 세트 단자에 입력되는 신호 SG1이 액티브 상태로 되므로, 플립플롭(90)이 세트 상태로

되고, 릴레이 출력을 록하기 위한 록 신호가 액티브 상태로 된다.

- [0119] 또한, 도 9의 예에서는, A상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)A는, 시각 t4에 있어서 설정값 K1을 초과하지만, 연속하여 설정값 K1을 초과하지는 않는다. 또한, C상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)C는, 설정값 K1을 초과하지는 않는다.
- [0120] 시각 t6부터 시각 t7 사이인 T2 시간 동안, 일시적으로, A상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)A가 설정값 K2 이하로 된다. 이것에 의해, 플립플롭(90)의 세트 단자에 입력되는 신호 SG1은, 인액티브 상태로 된다. 그렇지만, T2 시간은 복귀 타이머(91)의 설정 시간 T1보다 짧으므로, 복귀 타이머(91)의 출력 신호 SG2는 액티브 상태로 유지되고, 플립플롭(90)의 리셋 단자의 입력은 인액티브 상태로 유지된다.
- [0121] 시각 t8에 있어서, 변압기 내부의 A상에서 고장이 발생한다. 이것에 의해, A상에 고장 전류가 흐르므로, A상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)A가 저하되고, 시각 t9에 있어서 설정값 K2 이하로 된다. 이것에 의해, 플립플롭(90)의 세트 단자에 입력되는 신호 SG1이 인액티브 상태로 된다.
- [0122] 시각 t9부터 복귀 타이머(91)의 설정 시간 T1이 경과한 시각 t10에 있어서, 복귀 타이머(91)의 출력 신호 SG2는 인액티브 상태로 된다. 이것에 의해, 플립플롭(90)의 리셋 단자의 입력이 액티브 상태로 되므로, 플립플롭(90)이 리셋 상태가 되어, 플립플롭(90)으로부터 출력되는 록 신호가 인액티브 상태로 된다. 이 결과, A상의 릴레이 출력의 록이 해제된다.
- [0123] [실시 형태 2에 있어서의 인러쉬 판정부(75)의 변형예]
- [0124] 도 10은 도 8의 인러쉬 판정부(75)의 변형예를 나타내는 블록도이다. 도 10의 인러쉬 판정부(75)는, AND 연산기(86, 87, 88)와, OR 연산기(89, 92)를 더 구비하는 점에서, 도 8의 인러쉬 판정부(75)와 상이하다.
- [0125] 도 10에 나타내는 바와 같이, AND 연산기(86)는 판정부(80, 82)의 판정 결과에 대해서 AND 연산을 실행한다. AND 연산기(87)는 판정부(81, 82)의 판정 결과에 대해서 AND 연산을 실행한다. AND 연산기(88)는 판정부(80, 81)의 판정 결과에 대한 AND 연산 결과를 실행한다. OR 연산기(89)는 AND 연산기(86, 87, 88) 각각의 AND 연산 결과에 대해서 OR 연산을 실행한다. 따라서, OR 연산기(89)의 출력은, 3상 중 어느 2상의 일차측과 이차측의 차 전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 모두 설정값 K1보다 크다고 하는 판정 조건 D가 성립하는지 아닌지를 나타내고 있다.
- [0126] OR 연산기(92)는 조건 D의 판정 결과를 나타내는 OR 연산기(89)의 출력과, 복귀 타이머(91)의 출력의 OR 연산을 실행한다. 플립플롭(90)은 OR 연산기(92)의 출력 신호 SG2를 반전시킨 신호를 리셋 단자에 받는다. 도 10의 그 외의 점은 도 8의 경우와 마찬가지로, 동일 또는 상당하는 부분에는 동일한 참조 부호를 부여하여 설명을 반복하지 않는다.
- [0127] 상기의 구성에 의하면, 플립플롭(90)이 판정 조건 A 및 판정 조건 B가 모두 충족되고 있는 경우에 세트 상태로 됨으로써 자상의 릴레이 출력을 록하는 점은, 도 8의 경우와 마찬가지로, 즉, 판정 조건 A가 성립함과 아울러, 판정 조건 B가 성립하는 상이 있는 경우에, 해당 상의 릴레이 출력이 록된다.
- [0128] 한편, 플립플롭(90)은 판정 조건 D가 성립하고 있지 않고, 또한 판정 조건 B가 성립하고 있지 않는 상태가 설정 시간 T1 계속됐을 경우에 리셋 상태로 됨으로써, 자상의 릴레이 출력의 록 상태를 해제한다. 바꿔 말하면, 판정 조건 D가 성립하고 있지 않고, 또한, 릴레이 출력이 록된 상에 있어서 판정 조건 B가 성립하고 있지 않는 상태가 설정 시간 T1 계속됐을 경우에, 해당 상의 릴레이 출력의 록이 해제된다.
- [0129] 상기와 같이, 도 10에 나타내는 변형예에서는, 플립플롭(90)의 리셋 조건에, 판정 조건 D가 조합된다. 판정 조건 D는 인러쉬 전류가 발생했을 경우에 보다 확실하게 릴레이 출력을 록하기 위해 마련되어 있다. 3상 중 1상밖에 제2 고조파 함유율이 설정값 K1을 초과하지 않는 경우가 드물게 있지만, 대부분의 경우에 3상 중 2상에서 제2 고조파 함유율이 설정값 K1을 초과한다. 따라서, 판정 조건 D를 이용함으로써, 상술한 판정 조건 B에 있어서의 제2 고조파 함유율의 과도적인 저하 기간이 복귀 타이머(91)의 설정 시간 T1을 초과했다고 해도, 릴레이 출력의 록이 풀리지 않도록 보완할 수 있다. 또한, 인러쉬 전류의 발생 중에 삼상 변압기(1)의 내부 고장이 발생했을 경우에는, 고장 전류는 변압기의 2상에서 검출되므로 판정 조건 D는 확실하게 성립하지 않게 된다. 이상에 의해, 변압기 보호 릴레이(4)의 신뢰성을 향상할 수 있다.
- [0130] [실시 형태 2의 효과]
- [0131] 이상과 같이, 변압기 보호 릴레이(4)에 있어서, 제1 릴레이 연산부(A상 연산부(54)의 64), 제2 릴레이 연산부(B

상 연산부(55)의 64), 및 제3 릴레이 연산부(C상 연산부(56)의 64)는, 변압기(1)의 제1상(A상), 제2상(B상), 및 제3상(C상)에 각각 대응해서 마련되고, 대응하는 상의 변압기(1)의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 기본파 성분은 기초하여 전류 차동 릴레이 연산을 행한다. 제1 판정부(A상 연산부(54)의 75), 제2 판정부(B상 연산부(55)의 75), 및 제3 판정부(C상 연산부(56)의 75)는, 변압기(1)의 제1상(A상), 제2상(B상), 및 제3상(C상)에 각각 대응해서 마련되고, 인러쉬 전류의 발생을 검출하기 위한 판정을 행한다.

[0132] 여기서, 실시 형태 2의 경우에는, 제1 판정부, 제2 판정부, 및 제3 판정부 각각(75)은, 제1상, 제2상, 및 제3상 중 어느 1상의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 제1 설정값(K1)보다 크다고 하는 제1 조건(조건 A)과, 대응하는 상의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 제2 설정값(K2)보다 크다고 하는 제2 조건(조건 B)의 성립 유무를 판정한다.

[0133] 그리고, 제1 판정부, 제2 판정부, 및 제3 판정부 각각(75)은, 제1 조건(조건 A) 및 제2 조건(조건 B)이 모두 성립했을 경우에 세트 상태로 되고, 제2 조건(조건 B)이 성립하고 있지 않는 상태가 제1 설정 시간(T1) 계속됐을 경우에 리셋 상태로 되는 플립플롭(90)을 포함한다. 플립플롭(90)은 세트 상태일 때 대응하는 상의 릴레이 연산부의 출력을 록하고, 리셋 상태일 때 대응하는 상의 릴레이 연산부의 출력의 록을 해제한다.

[0134] 이상의 구성에 의하면, 인러쉬 전류가 발생했을 경우에는, 3상 중 1상의 제2 고조파 함유율은 반드시 제1 설정값(K1)보다 커지고, 남은 상의 제2 고조파 함유율은 제2 설정값(K2)보다 커지므로, 인러쉬 전류의 발생을 확실하게 검출할 수 있다. 또한, 인러쉬 전류의 발생 중에 변압기(1)의 내부 고장이 발생했을 때에는, 고장 전류가 포함되는 상에서는 제2 고조파 함유율은 저하하므로, 제2 설정값(K2)을 낮은 값으로 설정해도 인러쉬 전류는 검출되지 않게 된다.

[0135] 또한, 제2 조건(조건 B)이 성립하고 있지 않는 상태가 제1 설정 시간(T1) 계속됐을 경우에, 플립플롭(90)을 리셋 상태로 하는 것에 의해서, 대응하는 상의 제2 고조파 함유율이 일시적으로 제2 설정값(K2) 이하가 되었다고 해도, 오동작을 방지할 수 있다. 이와 같이, 인러쉬 전류의 발생을 검출하여 릴레이 출력을 확실하게 록함과 아울러, 인러쉬 전류의 발생 중에 변압기 고장이 발생했을 경우에 록을 해제하여 릴레이 동작을 행하는 변압기 보호 릴레이를 제공할 수 있다.

[0136] 상기의 변형예로서, 제1 판정부, 제2 판정부, 및 제3 판정부 각각(75)은, 제1 조건(조건 A) 및 제2 조건(조건 B)에 더하여, 제1상, 제2상, 및 제3상 중 어느 2상의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 모두 제1 설정값(K1)보다 크다고 하는 부가적 조건(조건 D)의 성립 유무를 추가로 판정해도 된다.

[0137] 부가적 조건(조건 D)은 플립플롭(90)의 리셋 조건에 조합된다. 즉, 플립플롭(90)은 추가로 부가적 조건(조건 D)이 성립하고 있지 않는 경우에 리셋 상태가 된다. 이것에 의해, 인러쉬 전류의 발생 중에는, 보다 확실하게 릴레이 출력을 록할 수 있어, 인러쉬 전류의 발생 중에 삼상 변압기(1)의 내부 고장이 발생했을 경우에는, 릴레이 출력의 록을 확실하게 해제할 수 있다.

[0138] 실시 형태 3.

[0139] 실시 형태 3의 변압기 보호 릴레이(4)에서는, 인러쉬 판정부(75)의 판정 조건 중, 판정 조건 A 및 판정 조건 B를 동작 조건(세트 조건)으로 하는 점은 실시 형태 2의 경우와 마찬가지로이다. 한편, 복귀 조건(리셋 조건)에는, 판정 조건 B에 전술한 판정 조건 C를 조합한 것이 이용된다. 또한, 실시 형태 2의 경우와 마찬가지로, 전술한 판정 조건 D가 충족되지 않게 되었을 경우를 추가로 복귀 조건에 조합해도 된다. 이하, 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0140] [인러쉬 판정부(75)의 상세한 구성]

[0141] 도 11은 실시 형태 3의 변압기 보호 릴레이(4)에 있어서, 도 3의 A상 연산부(54)에 포함되는 인러쉬 판정부(75)의 구체적 구성예를 나타내는 블록도이다. 도 11의 인러쉬 판정부(75)는, 판정부(93) 및 OR 연산기(92)를 더 구비함과 아울러, 복귀 타이머(91)가 마련되어 있지 않은 점에서, 도 8의 인러쉬 판정부(75)와 상이하다. 또한, 도 11에 있어서, 도 6 및 도 8의 경우와 동일 또는 상당하는 부분에는, 동일한 참조 부호를 부여하여 설명을 반복하지 않는다. 또한, 도 1~도 4를 참조하여 설명한 구성은, 실시 형태 3의 경우에도 공통된다.

[0142] 도 11을 참조하여, A상 연산부(54)에 포함되는 인러쉬 판정부(75)의 경우, 판정부(93)는 자상인 A상의 제2 고조파 함유율 (2f/1f)A와, A상의 제3 고조파 함유율(3f/1f)A와, A상의 제4 고조파 함유율(4f/1f)A의 합이 설정값 K3보다도 큰지 아닌지를 판정한다.

[0143] 여기서, 도 3의 B상 연산부(55)에 포함되는 인러쉬 판정부(75)의 경우에는, 판정부(93)는 자상인 B상의 제2 고

조파 함유율 ($2f/1f$)B와, B상의 제3 고조파 함유율($3f/1f$)B와, B상의 제4 고조파 함유율($4f/1f$)B의 합이 설정값 K3보다도 큰지 아닌지를 판정한다. 또한, 도 3의 C상 연산부(56)에 포함되는 인러쉬 판정부(75)의 경우에는, 판정부(93)는 자상인 C상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)C와, C상의 제3 고조파 함유율($3f/1f$)C와, C상의 제4 고조파 함유율($4f/1f$)C의 합이 설정값 K3 보다도 큰지 아닌지를 판정한다. 따라서, 삼상 변압기(1)의 상마다, 일차 측과 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파, 제3 고조파, 및 제4 고조파 각각의 함유율의 합이 설정값 K3보다도 크다고 하는 판정 조건 C의 성립 유무가 판정되게 된다.

[0144] OR 연산기(92)는 조건 C의 판정 결과를 나타내는 판정부(93)의 출력과, 조건 B의 판정 결과를 나타내는 판정부(83)의 출력의 OR 연산을 실행한다.

[0145] 플립플롭(90)은 AND 연산기(85)의 출력 신호 SG1을 세트 단자에 받고, OR 연산기(92)의 출력 신호 SG3을 반전시킨 신호를 리셋 단자에 받는다. 플립플롭(90)은 세트 상태인 경우에 자상의 릴레이 출력을 록하기 위한 록 신호를 액티브 상태로 하고, 리셋 상태인 경우에 상기의 록 신호를 인액티브 상태로 한다.

[0146] 따라서, 플립플롭(90)은 판정 조건 A 및 판정 조건 B가 모두 충족되고 있는 경우에 세트 상태로 됨으로써 자상의 릴레이 출력을 록한다. 또한, 플립플롭(90)은 판정 조건 B 및 판정 조건 C가 어느 것도 성립하고 있지 않는 경우에 리셋 상태로 됨으로써, 자상의 릴레이 출력의 록을 해제한다. 바꾸어 말하면, 릴레이 출력이 록된 상에 있어서 판정 조건 B 및 판정 조건 C가 어느 것도 성립하고 있지 않는 경우에, 해당 상의 릴레이 출력의 록이 해제된다.

[0147] 판정부(93)는 조건 C를 대신하여 전술한 조건 E의 성립 유무를 판정하도록 해도 된다. 즉, A상 연산부(54)의 경우의 판정부(93)는, 자상인 A상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)A와 A상의 제4 고조파 함유율($4f/1f$)A의 합이 설정값 K4보다도 큰지 아닌지를 판정한다. B상 연산부(55) 및 C상 연산부(56)의 경우도 마찬가지이다. 큰 고장 전류가 흘러 전류 변성기(CT)가 포화됐을 경우에는, 전류 신호가 왜곡되는 것에 의해 제3 고조파가 발생한다. 조건 C를 대신하여 제3 고조파를 이용하지 않는 조건 E를 이용함으로써, 제3 고조파의 영향을 받지 않게 할 수 있다. 따라서, 전류 변성기(CT)가 포화됐을 때의 불필요한 릴레이 출력의 록의 계속을 방지할 수 있다.

[0148] 상술한 인러쉬 판정부(75)의 구성에 의하면, 과도적으로 A상의 제2 고조파 함유율이 설정값 K2 이하가 되어 조건 B가 성립하지 않게 되었다고 해도, 이 기간에 있어서 조건 C(또는 조건 E)가 성립함으로써, 릴레이 출력의 록이 풀어지는 것을 방지할 수 있다. 따라서, 실시 형태 2의 경우에 필요했던 복귀 타이머(91)는 불필요해지므로, 실시 형태 2의 경우보다도 고속 동작을 기대할 수 있다.

[0149] 또한, 인러쉬 전류의 발생 중에 변압기(1)에 있어서 내부 고장이 발생했을 경우에는, 고장상의 제2 고조파 함유율은 저하되기 때문에, 조건 B 및 조건 C(또는 조건 E)는 어느 것도 성립하지 않게 된다. 따라서, 릴레이 출력의 록이 확실하게 해제된다.

[0150] 또한, 도 5를 참조하여 설명한 것처럼, 비교적 긴 전력 케이블과 같은 대지 정전 용량이 큰 송전선에 삼상 변압기(1)가 접속되어 있는 경우에는, 송전선의 대지 정전 용량 성분과 변압기의 권선 유도 성분에 의해서, 제2 고조파에 가까운 공진 주파수를 가지는 공진 현상이 생길 가능성이 있다. 이 때문에, 이 공진 현상에 의해서 사고 전류에 제2 고조파가 검출되는 경우에는, 릴레이 출력의 록이 계속되어 버린다. 그렇지만, 이 공진은 수 사이클 이내로 감쇠하므로 고조파가 비검출이 되어 릴레이 출력의 록이 해제되므로, 큰 문제가 되지 않는다.

[0151] 도 12는 도 11의 인러쉬 판정부(75)의 동작을 설명하는 타이밍도이다. 도 12의 굵은 선으로 도시되어 있는 부분에 있어서, 판정 조건이 충족되고 있고, 출력 신호가 액티브 상태로 되어 있는 것을 나타낸다.

[0152] 도 12를 참조하여, 시각 t1에 있어서 삼상 변압기(1)에 전압이 인가된다. 인러쉬 전류의 발생에 의해, 시각 t2에 있어서 A상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)A가 설정값 K2를 초과하므로 판정 조건 B가 충족된다. 이것에 의해, OR 연산기(92)의 출력 신호 SG3이 액티브 상태로 되고, 플립플롭(90)의 리셋 단자의 입력이 인액티브 상태로 된다.

[0153] 시각 t3에 있어서 B상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)B가 설정값 K1을 초과하므로 판정 조건 A가 충족된다. 이것에 의해, 플립플롭(90)의 세트 단자에 입력되는 신호 SG1이 액티브 상태로 되므로, 플립플롭(90)이 세트 상태로 되고, A상의 릴레이 출력을 록하기 위한 록 신호가 액티브 상태로 된다.

[0154] 또한, 도 12의 예에서는, 인러쉬 전류의 차전류에 있어서의 제2 고조파의 함유율에 대해서, B상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)B가 가장 크고, A상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)A와 C상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)C가 서로 가까운 값으로 비교적 작은 경우가 도시되어 있다. A상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)A는, 시각 t4에 있어서 설

정값 K1을 초과하지만, 연속하여 설정값 K1을 초과하지는 않는다. 또한, C상의 제2 고조파 함유율 (2f/1f)C도, 그 후에 설정값 K1을 초과하지만, 연속하여 설정값 K1을 초과하지는 않는다. 또한, A상의 제2 고조파 함유율 (2f/1f)A는 과도적으로 설정값 K2보다도 저하되는 경우가 있다.

[0155] 구체적으로, 시각 t6부터 시각 t7 사이인 T2 시간 동안, 일시적으로, A상의 제2 고조파 함유율 (2f/1f)A가 설정값 K1 이하로 된다. 이것에 의해, 플립플롭(90)의 세트 단자에 입력되는 신호 SG1은, 인액티브 상태로 된다. 그렇지만, 이 기간 동안, A상의 제2 고조파 함유율 (2f/1f)A, 제3 고조파 함유율(3f/1f)A, 및 제4 고조파 함유율 (4f/1f)A의 합이 설정값 K3보다 큰 상태(조건 C의 성립)가 유지되므로, OR 연산기(92)의 출력 신호 SG3은 액티브 상태로 유지된다. 이 결과, 플립플롭(90)의 리셋 단자의 입력은 인액티브 상태로 유지된다.

[0156] 시각 t8에 있어서, 변압기 내부의 A상에서 고장이 발생한다. 이것에 의해, A상에 고장 전류가 흐르므로, A상의 제2 고조파 함유율 (2f/1f)A가 저하되고, 시각 t9에 있어서 설정값 K2 이하로 된다. 이것에 의해, 플립플롭(90)의 세트 단자에 입력되는 신호 SG1이 인액티브 상태로 된다.

[0157] 다음의 시각 t10에 있어서, A상의 제2 고조파 함유율 (2f/1f)A, 제3 고조파 함유율(3f/1f)A, 및 제4 고조파 함유율(4f/1f)A의 합이 설정값 K3 이하로 된다. 이것에 의해, OR 연산기(92)의 출력 신호 SG3은 인액티브 상태로 되므로, 플립플롭(90)의 리셋 단자의 입력이 액티브 상태로 된다. 이 결과, 플립플롭(90)이 리셋 상태로 되고, 플립플롭(90)으로부터 출력되는 록 신호가 인액티브 상태로 되어 릴레이 출력의 록이 해제된다.

[0158] [실시 형태 3에 있어서의 인러쉬 판정부(75)의 변형예]

[0159] 도 13은 도 11의 인러쉬 판정부(75)의 변형예를 나타내는 블록도이다. 도 13의 인러쉬 판정부(75)는, AND 연산기(86, 87, 88)와, OR 연산기(89)를 더 구비하는 점에서, 도 11의 인러쉬 판정부(75)와 상이하다. AND 연산기(86, 87, 88) 및 OR 연산기(89)는, 도 10의 경우와 마찬가지로 접속된다. 따라서, OR 연산기(89)의 출력은, 3상 중 어느 2상의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 모두 설정값 K1보다 크다고 하는 판정 조건 D가 성립하는지 아닌지를 나타내고 있다.

[0160] OR 연산기(92)는 조건 D의 판정 결과를 나타내는 OR 연산기(89)의 출력과, 조건 C의 판정 결과를 나타내는 판정부(93)의 출력과, 조건 B의 판정 결과를 나타내는 판정부(83)의 출력의 OR 연산을 실행한다. 플립플롭(90)은 OR 연산기(92)의 출력 신호 SG2를 반전시킨 신호를 리셋 단자에 받는다. 도 13의 그 외의 점은 도 11의 경우와 마찬가지로, 동일 또는 상당하는 부분에는 동일한 참조 부호를 부여하여 설명을 반복하지 않는다.

[0161] 상기의 구성에 의하면, 플립플롭(90)이 판정 조건 A 및 판정 조건 B가 모두 충족되고 있는 경우에 세트 상태로 됨으로써 자상의 릴레이 출력을 록하는 점은, 도 11의 경우와 마찬가지로, 즉, 판정 조건 A가 성립함과 아울러, 판정 조건 B가 성립하는 상이 있는 경우에, 해당 상의 릴레이 출력이 록된다.

[0162] 한편, 플립플롭(90)은 판정 조건 D, 판정 조건 B, 판정 조건 C가 어느 것도 성립하고 있지 않는 경우에, 리셋 상태로 됨으로써, 자상의 릴레이 출력의 록 상태를 해제한다. 바꿔 말하면, 판정 조건 D가 성립하고 있지 않고, 또한, 릴레이 출력이 록된 상에 있어서 판정 조건 B 및 판정 조건 C가 어느 것도 성립하고 있지 않는 경우에, 해당 상의 릴레이 출력의 록이 해제된다. 또한, 판정 조건 C를 대신하여, 판정 조건 E를 이용해도 된다.

[0163] 도 10을 참조하여 설명한 것처럼, 판정 조건 D는, 인러쉬 전류가 발생했을 경우에 보다 확실하게 릴레이 출력을 록하기 위해 마련되어 있다. 3상 중 1상밖에 제2 고조파 함유율이 설정값 K1을 초과하지 않는 경우가 드물게 있지만, 대부분의 경우에 3상 중 2상에서 제2 고조파 함유율이 설정값 K1을 초과한다. 따라서, 판정 조건 D를 이용함으로써, 인러쉬 전류의 발생시에 상술한 판정 조건 B 및 판정 조건 C 양쪽 모두 과도적으로 성립하지 않는 경우가 있어도, 릴레이 출력의 록이 풀리지 않도록 보완할 수 있다.

[0164] [실시 형태 3의 효과]

[0165] 이상과 같이, 변압기 보호 릴레이(4)에 있어서, 제1 릴레이 연산부(A상 연산부(54)의 64), 제2 릴레이 연산부(B상 연산부(55)의 64), 및 제3 릴레이 연산부(C상 연산부(56)의 64)는, 변압기(1)의 제1상(A상), 제2상(B상), 및 제3상(C상)에 각각 대응해서 마련되고, 대응하는 상의 변압기의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 기본파 성분과 기조하여 전류 차동 릴레이 연산을 행한다. 제1 판정부(A상 연산부(54)의 75), 제2 판정부(B상 연산부(55)의 75), 및 제3 판정부(C상 연산부(56)의 75)는, 변압기(1)의 제1상(A상), 제2상(B상), 및 제3상(C상)에 각각 대응해서 마련되고, 인러쉬 전류의 발생을 검출하기 위한 판정을 행한다.

[0166] 여기서, 실시 형태 3의 경우에는, 제1 판정부, 제2 판정부, 및 제3 판정부 각각(75)은, 실시 형태 2의 경우의 제1 조건(조건 A) 및 제2 조건(조건 B)에 더하여, 대응하는 상의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고

조파, 제3 고조파, 및 제4 고조파 각각의 함유율의 합이 제3 설정값(K3)보다 크다고 하는 제3 조건(조건 C)의 성립 유무를 판정한다.

[0167] 그리고, 제1 판정부, 제2 판정부, 및 제3 판정부 각각(75)은, 제1 조건(조건 A) 및 제2 조건(조건 B)이 모두 성립했을 경우에 세트 상태로 되고, 제2 조건(조건 B) 및 제3 조건(조건 C)이 어느 것도 성립하고 있지 않는 경우에 리셋 상태로 되는 플립플롭(90)을 포함한다. 플립플롭(90)은 세트 상태일 때 대응하는 상의 릴레이 연산부(64)의 출력을 록하고, 리셋 상태일 때 대응하는 상의 릴레이 연산부(64)의 출력의 록을 해제한다.

[0168] 이상의 구성에 의하면, 실시 형태 1, 2의 경우와 마찬가지로, 인러쉬 전류가 발생했을 경우에는, 3상 중 1상의 제2 고조파 함유율은 반드시 제1 설정값(K1)보다 커지고, 다른 상의 제2 고조파 함유율은 제2 설정값(K2)보다 커지므로, 인러쉬 전류의 발생을 검출할 수 있다. 또한, 인러쉬 전류의 발생 중에 변압기(1)의 내부 고장이 발생했을 때에는, 전류 검출값에 고장 전류가 포함되는 상에서는 제2 고조파 함유율은 저하하므로, 제2 설정값(K2)을 낮은 값으로 설정해도 인러쉬 전류의 발생은 검출되지 않게 된다.

[0169] 또한, 제2 조건(조건 B) 및 제3 조건(조건 C)이 어느 것도 성립하고 있지 않는 경우에, 플립플롭(90)을 리셋 상태로 하는 것에 의해서, 대응하는 상의 제2 고조파 함유율이 일시적으로 제2 설정값(K2) 이하가 되었다고 해도, 오동작을 방지할 수 있다. 이와 같이, 인러쉬 전류의 발생을 검출하여 릴레이 출력을 확실하게 록함과 아울러, 인러쉬 전류의 발생 중에 변압기 고장이 발생했을 경우에 록을 해제하여 릴레이 동작을 행하는 변압기 보호 릴레이를 제공할 수 있다.

[0170] 또한, 제3 조건으로서, 상기를 대신하여, 대응하는 상의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파 및 제4 고조파 각각의 함유율의 합이 제3 설정값(K4)보다 크다고 하는 조건(조건 E)을 이용해도 된다. 제3 고조파를 이용하지 않음으로써, 전류 변성기(CT)의 포화 시에 발생하는 제3 고조파에 기인한 오동작을 방지할 수 있다.

[0171] 또한, 상기의 변형예로서, 제1 판정부, 제2 판정부, 및 제3 판정부 각각(75)은, 제1 조건(조건 A), 제2 조건(조건 B), 및 제3 조건(조건 C 또는 조건 E)에 더하여, 제1상, 제2상, 및 제3상 중 어느 2상의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 모두 제1 설정값(K1)보다 크다고 하는 부가적 조건(조건 D)의 성립 유무를 추가로 판정해도 된다.

[0172] 부가적 조건(조건 D)은 플립플롭(90)의 리셋 조건에 조합된다. 즉, 플립플롭(90)은 추가로 부가적 조건(조건 D)이 성립하고 있지 않는 경우에 리셋 상태가 된다. 이것에 의해, 인러쉬 전류의 발생 중에는, 보다 확실하게 릴레이 출력을 록할 수 있고, 인러쉬 전류의 발생 중에 삼상 변압기(1)의 내부 고장이 발생했을 경우에는, 릴레이 출력의 록을 확실하게 해제할 수 있다.

[0173] 실시 형태 4.

[0174] 실시 형태 4의 변압기 보호 릴레이(4)에서는, 실시 형태 3의 경우에 있어서, 플립플롭(90)을 리셋 상태로 하는 조건이, 판정 조건 C만이 성립하고 있지 않는 것으로 변경된다. 이하, 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0175] [인러쉬 판정부(75)의 상세한 구성]

[0176] 도 14는 실시 형태 4의 변압기 보호 릴레이(4)에 있어서, 도 3의 A상 연산부(54)에 포함되는 인러쉬 판정부(75)의 구체적 구성예를 나타내는 블록도이다.

[0177] 도 14의 인러쉬 판정부(75)는, OR 연산기(92)가 마련되어 있지 않고, 조건 C의 판정 결과를 나타내는 판정부(93)의 출력 신호(SG3)의 논리를 반전시킨 신호가 플립플롭(90)의 리셋 단자에 직접 입력되지만, 조건 B의 판정 결과를 나타내는 판정부(83)의 출력은 플립플롭(90)의 리셋 조건으로서 이용되지 않는 점에서, 도 11의 인러쉬 판정부(75)와 상이하다. 따라서, 플립플롭(90)은 판정 조건 C가 성립하고 있지 않는 경우에 리셋 상태로 됨으로써, 자상의 릴레이 출력의 록을 해제한다. 바꾸어 말하면, 릴레이 출력이 록된 상에 있어서 판정 조건 C가 성립하고 있지 않는 경우에, 해당 상의 릴레이 출력의 록이 해제된다.

[0178] 도 14의 그 외의 점은, 도 6, 도 8, 및 도 11의 경우와 마찬가지로, 동일 또는 상당하는 부분에는 동일한 참조 부호를 부여하여 설명을 반복하지 않는다. 또한, 도 1~도 4를 참조하여 설명한 구성은, 실시 형태 4의 경우에도 공통된다.

[0179] 도 15는 도 14의 인러쉬 판정부(75)의 동작을 설명하는 타이밍도이다. 도 15의 굵은 선으로 도시되어 있는 부분에 있어서, 판정 조건이 충족되고 있고, 출력 신호가 액티브 상태로 되어 있는 것을 나타낸다.

- [0180] 도 15를 참조하여, 시각 t1에 있어서 삼상 변압기(1)에 전압이 인가된다. 인러쉬 전류의 발생에 의해, 시각 t2에 있어서 A상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)A가 설정값 K2를 초과하므로 판정 조건 B가 충족된다.
- [0181] 시각 t3에 있어서, A상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)A, 제3 고조파 함유율($3f/1f$)A, 및 제4 고조파 함유율 ($4f/1f$)A의 합이 설정값 K3을 초과한다. 이것에 의해, OR 연산기(92)의 출력 신호 SG4가 액티브 상태로 되고, 플립플롭(90)의 리셋 단자의 입력이 인액티브 상태로 된다.
- [0182] 시각 t4에 있어서 B상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)B가 설정값 K1을 초과하므로 판정 조건 A가 충족된다. 이것에 의해, 플립플롭(90)의 세트 단자에 입력되는 신호 SG1이 액티브 상태로 되므로, 플립플롭(90)이 세트 상태로 되고, A상의 릴레이 출력을 록하기 위한 록 신호가 액티브 상태로 된다.
- [0183] 또한, 도 15의 예에서는, A상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)A는, 시각 t5에 있어서 설정값 K1을 초과하지만, 연속하여 설정값 K1을 초과하지는 않는다. 또한, C상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)C는, 설정값 K1을 초과하지는 않는다.
- [0184] 시각 t6부터 시각 t7의 사이인 T2 시간 동안, 일시적으로, A상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)A가 설정값 K1 이하로 된다. 이것에 의해, 플립플롭(90)의 세트 단자에 입력되는 신호 SG1은, 인액티브 상태로 된다. 그렇지만, 실시 형태 3의 경우와 달리 실시 형태 4의 경우에는, 판정 조건 B의 불성립은 플립플롭(90)의 리셋에 관계하지 않는다.
- [0185] 시각 t8에 있어서, 변압기 내부의 A상에서 고장이 발생한다. 이것에 의해, A상에 고장 전류가 흐르므로, A상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)A가 저하되고, 시각 t9에 있어서 설정값 K2 이하로 된다. 이것에 의해, 플립플롭(90)의 세트 단자에 입력되는 신호 SG1이 인액티브 상태로 된다.
- [0186] 다음의 시각 t10에 있어서, A상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)A, 제3 고조파 함유율($3f/1f$)A, 및 제4 고조파 함유율($4f/1f$)A의 합이 설정값 K3 이하로 된다. 이것에 의해, OR 연산기(92)의 출력 신호 SG4는 인액티브 상태로 되므로, 플립플롭(90)의 리셋 단자의 입력이 액티브 상태로 된다. 이 결과, 플립플롭(90)이 리셋 상태가 되고, 플립플롭(90)으로부터 출력되는 록 신호가 인액티브 상태로 되어 릴레이 출력의 록이 해제된다.
- [0187] [실시 형태 4에 있어서의 인러쉬 판정부(75)의 변형예]
- [0188] 도 16은 도 14의 인러쉬 판정부(75)의 변형예를 나타내는 블록도이다. 도 16의 인러쉬 판정부(75)는, 도 13의 인러쉬 판정부(75)의 변형예라고 볼 수 있다. 즉, 도 16의 인러쉬 판정부(75)는, 조건 D의 판정 결과를 나타내는 OR 연산기(89)의 출력과, 조건 C의 판정 결과를 나타내는 판정부(93)의 출력이 OR 연산기(92)에 입력되지만, 조건 B의 판정 결과를 나타내는 판정부(83)의 출력이 OR 연산기(92)에 입력되지 않는 점에서 도 13의 인러쉬 판정부(75)와 상이하다.
- [0189] 따라서, 플립플롭(90)은, 판정 조건 C 및 판정 조건 D가 어느 것도 성립하고 있지 않는 경우에 리셋 상태로 되므로써, 자상의 릴레이 출력의 록을 해제한다. 바꾸어 말하면, 판정 조건 D가 성립하고 있지 않고, 또한 릴레이 출력이 록된 상에 있어서 판정 조건 C가 성립하고 있지 않는 경우에, 해당 상의 릴레이 출력의 록이 해제된다.
- [0190] 도 10 및 도 13을 참조하여 설명한 것처럼, 판정 조건 D는, 인러쉬 전류가 발생했을 경우에 보다 확실하게 릴레이 출력을 록하기 위해 마련되어 있다. 3상 중 1상밖에 제2 고조파 함유율이 설정값 K1을 초과하지 않는 경우가 드물게 있지만, 대부분의 경우에 3상 중 2상에서 제2 고조파 함유율이 설정값 K1을 초과한다. 따라서, 판정 조건 D를 이용함으로써, 인러쉬 전류의 발생시에 상술한 판정 조건 C가 과도적으로 성립하지 않는 경우가 있어도, 릴레이 출력의 록이 풀리지 않도록 보완할 수 있다.
- [0191] [실시 형태 4의 효과]
- [0192] 상기와 같이 릴레이 출력의 록이 해제되는 조건을, 판정 조건 C가 성립하지 않는 것으로 하여, 판정 조건 B를 제거해도 실시 형태 3의 경우와 거의 마찬가지로의 효과가 얻어진다. 또한, 설정값 K3은 설정값 K2보다도 큰 값이므로, 판정 조건 C가 불성립이 되는 타이밍 편이, 판정 조건 B가 불성립이 되는 타이밍보다도 빨라질 것이 예상된다. 이 결과, 보다 빠른 타이밍에 릴레이 출력의 록을 해제할 수 있다.
- [0193] 또한, 판정 조건 D를 플립플롭(90)의 리셋 조건에 조합해도 된다. 즉, 플립플롭(90)은 판정 조건 C 및 판정 조건 D가 성립하고 있지 않는 경우에 리셋 상태로 된다. 이것에 의해, 인러쉬 전류의 발생 중에는, 보다 확실하게 릴레이 출력을 록 할 수 있고, 인러쉬 전류의 발생 중에 삼상 변압기(1)의 내부 고장이 발생했을 경우에는, 릴레이 출력의 록을 확실하게 해제할 수 있다.

- [0194] 또한, 조건 A의 판정 결과를 나타내는 OR 연산기(84)의 출력과, 조건 C의 판정 결과를 나타내는 판정부(93)의 출력을 AND 연산기(85)에 입력함으로써, 조건 A와 조건 C가 모두 충족되는 경우에, 플립플롭(90)을 세트 상태로 한다고 하는 변형예를 생각할 수 있다. 이 변형예를 채용해도, 많은 경우에 문제는 생기지 않는다. 그렇지만, 고장 전류가 큰 경우에는, 전류 변성기(CT)의 포화가 생기기 때문에, 변압기 보호 릴레이(4)의 입력에 제3 고조파가 중첩된다. 이 결과, 릴레이 출력의 록 상태가 계속되게 되므로 문제가 생긴다. 따라서, 릴레이 출력을 록하는 조건은, 실시 형태 1~3의 경우와 마찬가지로, 조건 A와 조건 B가 모두 성립하는 경우인 편이 바람직하다.
- [0195] 실시 형태 5.
- [0196] 실시 형태 5의 변압기 보호 릴레이(4)에서는, 전술한 판정 조건 A와 판정 조건 F의 조합에 의해서 인러쉬 전류의 발생을 검출하는 경우에 대해 설명한다. 각상의 제2 고조파만의 검출에 의해서, 고신뢰도로 릴레이 출력의 록과 그 해제를 제어할 수 있다고 하는 메리트가 있다.
- [0197] [인러쉬 판정부(75)의 상세한 구성]
- [0198] 도 17은 실시 형태 5의 변압기 보호 릴레이(4)에 있어서, 도 3의 A상 연산부(54)에 포함되는 인러쉬 판정부(75)의 구체적 구성예를 나타내는 블록도이다. 또한, 도 3의 B상 연산부(55) 및 C상 연산부(56)의 경우에도, 도 17의 경우와 마찬가지로의 구성의 인러쉬 판정부(75)가 이용된다.
- [0199] 도 17을 참조하여, 인러쉬 판정부(75)는 판정부(80, 81, 82)와, 판정부(83, 94, 95)와, OR 연산기(84, 89)와, AND 연산기(85, 86, 87, 88)와, 복귀 타이머(91)를 구비한다.
- [0200] 실시 형태 1~4의 경우와 마찬가지로, 판정부(80)는 A상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)A가 설정값 K1보다도 큰지 아닌지를 판정한다. 판정부(81)는 B상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)B가 설정값 K1보다도 큰지 아닌지를 판정한다. 판정부(82)는 C상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)C가 설정값 K1보다도 큰지 아닌지를 판정한다. 전술과 같이, 설정값 K1은 비교적 큰 값(예를 들어, 15%)으로 설정된다.
- [0201] OR 연산기(84)는 판정부(80, 81, 82)의 판정 결과의 OR 연산을 행한다. 따라서, OR 연산기(84)의 출력은, A상, B상, C상 중 어느 1상의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 설정값 K1보다 크다고 하는 판정 조건 A가 성립하는지 아닌지를 나타내고 있다.
- [0202] 한편, 판정부(83)는 A상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)A가 설정값 K2보다도 큰지 아닌지를 판정한다. 판정부(94)는 B상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)B가 설정값 K2보다도 큰지 아닌지를 판정한다. 판정부(95)는 C상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)C가 설정값 K2보다도 큰지 아닌지를 판정한다. 설정값 K2는 설정값 K1보다도 작은 값(예를 들어, 5%)으로 설정된다.
- [0203] AND 연산기(86)는 판정부(83, 94)의 판정 결과에 대해서 AND 연산을 실행한다. AND 연산기(87)는 판정부(94, 95)의 판정 결과에 대해서 AND 연산을 실행한다. AND 연산기(88)는 판정부(83, 95)의 판정 결과에 대한 AND 연산 결과를 실행한다. OR 연산기(89)는 AND 연산기(86, 87, 88) 각각의 AND 연산 결과에 대해서 OR 연산을 실행한다. 따라서, OR 연산기(89)의 출력은, 3상 중 어느 2상의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 모두 설정값 K2보다 크다고 하는 판정 조건 F가 성립하는지 아닌지를 나타내고 있다.
- [0204] 복귀 타이머(91)는 OR 연산기(89)의 출력이 인엑티브 상태로부터 액티브 상태로 변화했을 경우에는, 자신의 출력을 즉시 액티브 상태로 한다. 한편, 복귀 타이머(91)는 OR 연산기(89)가 액티브 상태로부터 인엑티브 상태로 변화하고, 인엑티브의 상태가 설정 시간 T1 이상 계속됐을 경우에, 자신의 출력을 인엑티브 상태로 한다.
- [0205] AND 연산기(85)는 조건 A의 판정 결과를 나타내는 OR 연산기(84)의 출력 신호와, 조건 F의 판정 결과를 나타내는 OR 연산기(89)의 출력에 대해서 복귀 타이머(91)에 의한 지연 처리를 실시한 신호의 AND 연산을 실행한다. AND 연산기(85)로부터 출력되는 록 신호가 액티브 상태로 된 경우에 릴레이 출력이 록되고, AND 연산기(85)로부터 출력되는 록 신호가 인엑티브 상태로 된 경우에 릴레이 출력의 록이 해제된다.
- [0206] 따라서, 조건 A 및 조건 F가 모두 성립하고 있는 경우에, 각상의 릴레이 출력이 록된다. 한편, 조건 A가 성립하지 않게 되었을 경우 또는 조건 F가 성립하지 않게 된 상태가 설정 시간 T1 계속됐을 경우에, 각상의 릴레이 출력의 록이 해제된다.
- [0207] 상기의 구성에 의하면, 인러쉬 전류가 발생했을 경우에는, 3상 중 1상의 제2 고조파 함유율은 반드시 설정값 K1보다 커지므로, 판정 조건 A가 성립한다. 또한, 적어도 인러쉬 전류 발생 직후에 있어서, 3상 중 2상의 제2 고조파 함유율은 반드시 설정값 K2보다 커지므로, 판정 조건 F가 성립한다. 따라서, 상기의 구성에 의하면, 인러

쉬 전류의 발생을 확실하게 검출할 수 있다.

- [0208] 또한, 인러쉬 전류의 발생 중에 변압기의 내부 고장이 발생했을 경우에는, 전류 변성기(CT)의 검출 전류에 대해서 Y/Δ 변환이 실시됨으로써, 고장 전류는 반드시 2상에서 검출된다. 이 경우, 고장 전류는 거의 기본파 성분이므로, 판정 조건 F가 성립하지 않게 되어, 결과적으로 릴레이 출력의 록이 확실하게 해제된다.
- [0209] 또한, 어느 2상에 있어서 제2 고조파 함유율이 일시적으로 설정값 K2 이하로 저하됐다고 해도, 복귀 타이머(91)를 마련함으로써 릴레이 출력의 록이 풀어지는 것을 방지할 수 있다. 이것에 의해, 인러쉬 전류에 의한 변압기 보호 릴레이(4)의 오동작을 방지할 수 있다.
- [0210] 도 18은 도 17의 인러쉬 판정부(75)의 동작을 설명하는 타이밍도이다. 도 18의 굵은 선으로 도시되어 있는 부분에 있어서, 판정 조건이 충족되고 있고, 출력 신호가 액티브 상태로 되어 있는 것을 나타낸다.
- [0211] 도 18을 참조하여, 시각 t1에 있어서 삼상 변압기(1)에 전압이 인가된다. 인러쉬 전류의 발생에 의해, 시각 t2에 있어서 B상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)B가 설정값 K2를 초과한다.
- [0212] 다음의 시각 t3에 있어서, A상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)A가 설정값 K2를 초과하므로, 판정 조건 F가 충족된다. 또한, 시각 t3에 있어서, B상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)B가 설정값 K1을 초과하므로, 판정 조건 A가 충족된다. 이것에 의해, AND 연산기(85)로부터 출력되는 록 신호가 액티브 상태로 되고, 릴레이 출력이 록된다.
- [0213] 또한, 도 18의 예에서는, A상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)A는, 시각 t4에 있어서 설정값 K1을 초과하지만, 연속하여 설정값 K1을 초과하지는 않는다. 또한, C상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)C는, 시각 t4에 있어서 설정값 K2를 초과하지만, 설정값 K1을 초과하지는 않는다.
- [0214] 시각 t6부터 시각 t7의 사이인 T2 시간 동안, 일시적으로, A상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)A가 설정값 K2 이하로 됴과 아울러, C상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)C가 설정값 K2 이하로 된다. 이것에 의해, 조건 F가 성립하지 않게 되지만, T2 시간은 복귀 타이머(91)의 설정 시간 T1보다 짧으므로, AND 연산기(85)로부터 출력되는 록 신호는 액티브 상태로 유지된다.
- [0215] 시각 t8에 있어서, 변압기 내부의 A상에서 고장이 발생한다. 이것에 의해, A상 및 C상에 고장 전류가 흐르므로, A상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)A 및 C상의 제2 고조파 함유율 ($2f/1f$)C가 저하되고, 시각 t9 이후에 양쪽 모두 설정값 K2 이하로 된다. 이것에 의해, 판정 조건 F가 불성립이 된다.
- [0216] 시각 t9부터 복귀 타이머(91)의 설정 시간 T1이 경과한 시각 t10에 있어서, AND 연산기(85)로부터 출력되는 록 신호는 인액티브 상태로 변화한다. 이것에 의해, 릴레이 출력의 록이 해제된다.
- [0217] [실시 형태 5의 효과]
- [0218] 이상과 같이, 실시 형태 5의 변압기 보호 릴레이(4)는, 변압기(1)의 제1상(A상), 제2상(B상), 및 제3상(C상) 각각에 대해서, 변압기(1)의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 기본파 성분에 기초하여 전류 차동 릴레이 연산을 행하는 릴레이 연산부(64)와, 변압기(1)에 있어서 인러쉬 전류의 발생을 검출하기 위한 판정을 행하는 판정부(75)를 구비한다. 판정부(75)는 제1상, 제2상, 및 제3상 중 어느 1상의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 제1 설정값(K1)보다 크다고 하는 제1 조건(조건 A)과, 제1상, 제2상, 및 제3상 중 어느 2상의 일차측과 이차측의 차전류에 포함되는 제2 고조파의 함유율이 모두 제2 설정값(K2)보다 크다고 하는 제2 조건(조건 F)의 성립 유무를 판정한다. 제2 설정값(K2)은 제1 설정값(K1)보다도 작다. 판정부(75)는 제1 조건(조건 A) 및 제2 조건(조건 F)이 모두 성립하고 있는 경우에 릴레이 연산부(64)의 출력을 록하고, 제1 조건(조건 A)이 성립하지 않게 되었을 경우 또는 제2 조건(조건 F)이 성립하지 않게 된 상태가 제1 설정 시간(T1) 계속됐을 경우에 릴레이 연산부의 출력의 록을 해제한다.
- [0219] 이상의 구성에 의하면, 인러쉬 전류가 발생했을 경우에는, 3상 중 1상의 제2 고조파 함유율은 반드시 제1 설정값(K1) 이상이 되므로, 제1 조건(조건 A)이 성립한다. 또한, 적어도 인러쉬 전류 발생 직후에 있어서, 3상 중의 2상의 제2 고조파 함유율은 반드시 제2 설정값(K2) 이상으로 되므로, 제2 조건(조건 F)이 성립한다. 따라서, 상기의 구성에 의하면, 인러쉬 전류의 발생을 확실하게 검출할 수 있다.
- [0220] 또한, 인러쉬 전류의 발생 중에 변압기(1)의 내부 고장이 발생했을 경우에는, 전류 변성기(CT)의 검출 전류에 대해서 Y/Δ 변환이 실시되고 있는 것에 의해, 고장 전류는 반드시 2상에서 검출된다. 이 경우, 고장 전류는 거의 기본파 성분이므로, 제2 조건(조건 F)이 성립하지 않게 되어, 결과적으로 릴레이 출력의 록이 확실하게 해제된다.

- [0221] 또한, 어느 2상에 있어서 제2 고조파 함유율이 일시적으로 설정값 K2 이하로 저하됐다고 해도, 제2 조건(조건 F)이 성립하지 않게 된 상태가 제1 설정 시간(T1) 계속됐을 경우에 릴레이 출력의 록이 해제되므로, 불필요하게 릴레이 출력의 록이 풀어지는 것을 방지할 수 있다. 이것에 의해, 인러쉬 전류에 의한 변압기 보호 릴레이(4)의 오동작을 방지할 수 있다.
- [0222] 실시 형태 6.
- [0223] 변압기의 철심이 열화하면, 인러쉬 전류의 크기가 변화하는 것이 알려져 있다(예를 들어, 일본 특허 6840306호 공보(특허 문헌 2)를 참조). 따라서, 변압기의 철심의 열화도에 따라서, 실시 형태 1~5에서 설명한 설정값 K1~K4를 적절히 변경할 필요가 생긴다. 그렇지만, 인러쉬 전류의 크기는 전압 투입 위상 및 잔류 자속에 의해서도 변화하므로, 인러쉬 전류의 크기에 의해서 변압기의 열화도를 추정하는 것은 곤란하다.
- [0224] 본원의 발명자 등은 다양한 검토를 거듭한 결과, 인러쉬 전류 파형에 나타나는 저전류의 평탄 부분의 길이(이하, 드웰 타임(Dwell Time)이라고 칭함)의 변화량이, 변압기의 철심의 열화도에 관계하고 있는 것을 알아냈다. 드웰 타임의 변화량은 전압 투입 위상 및 잔류 자속에는 의존하지 않으므로, 재현성 좋게 변압기의 철심의 열화도를 추정할 수 있다. 이하, 도면을 참조하여 설명한다.
- [0225] [변압기의 연산 처리부의 기능 구성]
- [0226] 도 19는 실시 형태 6의 변압기 보호 릴레이(4)에 있어서, 연산 처리부(30)에 있어서의 A상 연산부(54)의 기능적 구성예를 나타내는 블록도이다.
- [0227] 도 19의 A상 연산부(54)는, 드웰 타임 계측부(96)를 더 구비하는 점에서 도 4의 A상 연산부(54)와 상이하다. 드웰 타임 계측부(96)는 삼상 변압기(1)의 일차측의 A상 전류(I' 1A) 및 이차측의 A상 전류(I' 2A)의 전류 파형에 기초하여 드웰 타임을 계측한다. 혹은, 드웰 타임 계측부(96)는 일차측의 A상 전류(I' 1A) 및 이차측의 A상 전류(I' 2A)의 차전류 파형(즉, 벡터합)에 기초하여 드웰 타임을 계측해도 된다. 이 경우, 드웰 타임 계측부(96)는 고조파용 차전류 연산부(65)로부터 출력된 차전류 IdA에 기초하여 드웰 타임을 계측한다. 드웰 타임 계측부(96)는 계측된 드웰 타임의 감소량에 따라서, 전술한 설정값 K1~K4를 변경한다.
- [0228] 여기서, 드웰 타임은 변압기의 철심의 열화 정도에 따라 감소한다. 또한, 드웰 타임의 감소량은, 변압기로의 전압 투입 위상에 의존하지 않고 일정하다. 따라서, 드웰 타임의 감소량에 따라서, 전술한 설정값 K1~K4를 증가시킴으로써, 인러쉬 전류 발생을 정밀도 좋게 판정할 수 있다. 실제의 설정값 K1~K4의 변경량은, 실험 혹은 시뮬레이션에 의해서 미리 결정할 수 있다.
- [0229] 또한, 드웰 타임 계측부(96)는, B상 연산부(55)에 마련되어도 되고, C상 연산부(56)에 마련해도 된다. 혹은, 드웰 타임 계측부(96)는 A상, B상 및 C상 각각의 일차측과 이차측의 차전류의 합성 전류에 기초하여 드웰 타임을 계측해도 된다. 혹은, 드웰 타임 계측부(96)는 각상의 드웰 타임의 변화량을 평균함으로써, 최종적인 드웰 타임의 변화량을 결정해도 된다.
- [0230] 상기 이외의 A상 연산부(54)의 구성, 예를 들어, 인러쉬 판정부(75)의 구성은, 실시 형태 1~5의 경우와 마찬가지로 지이므로 자세한 설명을 반복하지 않는다. 또한, 도 1~도 3의 구성은, 실시 형태 6의 경우에도 공통된다.
- [0231] [드웰 타임의 변화량의 계산 결과]
- [0232] 이하, 전압 투입 위상이 0°, 30°, 60°, 및 120° 인 경우의 A상의 인러쉬 전류 파형의 계산 결과에 대해 설명한다. 열화 전과 열화 후의 철심의 여자 특성은 실험적으로 얻어진 값을 이용했다. 인러쉬 전류 파형의 계산에는, 전력 계통 해석용의 EMTP(Electro-Magnetic Transient Program)를 이용했다.
- [0233] 도 20a는 전압 투입 위상이 0° 인 경우의 A상의 인러쉬 전류 파형의 계산 결과를 나타내는 도면이다. 도 20b는 도 20a의 0.089초부터 0.091초 부분의 확대도이다. 도 20a 및 도 20b에 있어서, 열화 전의 전류 파형을 실선으로 나타내고, 열화 후의 전류 파형을 파선으로 나타낸다.
- [0234] 도 20a 및 도 20b에 나타내는 바와 같이, 철심의 열화에 의해서, 드웰 타임은 11.6ms(밀리초)로부터 11.0ms로 감소했다. 따라서, 변화량은 약 0.6ms이다.
- [0235] 도 21a는 전압 투입 위상이 30° 인 경우의 A상의 인러쉬 전류 파형의 계산 결과를 나타내는 도면이다. 도 21b는 도 21a의 0.0875초부터 0.0895초 부분의 확대도이다. 도 21a 및 도 21b에 있어서, 열화 전의 전류 파형을 실선으로 나타내고, 열화 후의 전류 파형을 파선으로 나타낸다.

- [0236] 도 21a 및 도 21b에 나타내는 바와 같이, 철심의 열화에 의해서, 드웰 타임은 12.4ms로부터 11.9ms로 감소했다. 따라서, 변화량은 약 0.5ms이다.
- [0237] 도 22a는 전압 투입 위상이 60° 인 경우의 A상의 인러쉬 전류 파형의 계산 결과를 나타내는 도면이다. 도 22b는 도 22a의 0.082초부터 0.084초 부분의 확대도이다. 도 22a 및 도 22b에 있어서, 열화 전의 전류 파형을 실선으로 나타내고, 열화 후의 전류 파형을 파선으로 나타낸다.
- [0238] 도 22a 및 도 22b에 나타내는 바와 같이, 철심의 열화에 의해서, 드웰 타임은 15.0ms로부터 14.4ms로 감소했다. 따라서, 변화량은 약 0.6ms이다.
- [0239] 도 23a는 전압 투입 위상이 120° 인 경우의 A상의 인러쉬 전류 파형의 계산 결과를 나타내는 도면이다. 도 23b는 도 23a의 0.084초부터 0.086초 부분의 확대도이다. 도 23a 및 도 23b에 있어서, 열화 전의 전류 파형을 실선으로 나타내고, 열화 후의 전류 파형을 파선으로 나타낸다.
- [0240] 도 23a 및 도 23b에 나타내는 바와 같이, 철심의 열화에 의해서, 드웰 타임은 15.1ms로부터 14.5ms로 감소했다. 따라서, 변화량은 약 0.6ms이다.
- [0241] 이상의 결과로부터, 변압기의 철심의 열화에 따른 드웰 타임의 감소량은, 변압기로의 전압 투입 위상에 의존하지 않고 거의 일정(약 0.6ms)인 것을 알 수 있다.
- [0242] [실시 형태 6의 효과]
- [0243] 이상과 같이, 실시 형태 6의 변압기 보호 릴레이(4)에 의하면, 드웰 타임의 변화량에 기초하여 고조파 함유량과 비교되는 각 설정값 K1~K4가 변경된다. 이것에 의해, 변압기의 철심의 열화 정도에 따른 인러쉬 전류 파형의 변화에 대해서, 적절히 설정값 K1~K4를 변경할 수 있으므로 인러쉬 전류의 발생의 유무의 판정 정밀도를 높일 수 있다.
- [0244] 이번에 개시된 실시 형태는 모든 점에서 예시이며 제한적인 것은 아니라고 생각되어야 한다. 이 출원의 범위는 상기한 설명이 아닌 청구 범위에 의해 나타나며, 청구 범위와 균등의 의미 및 범위 내에서의 모든 변경이 포함되는 것이 의도된다.

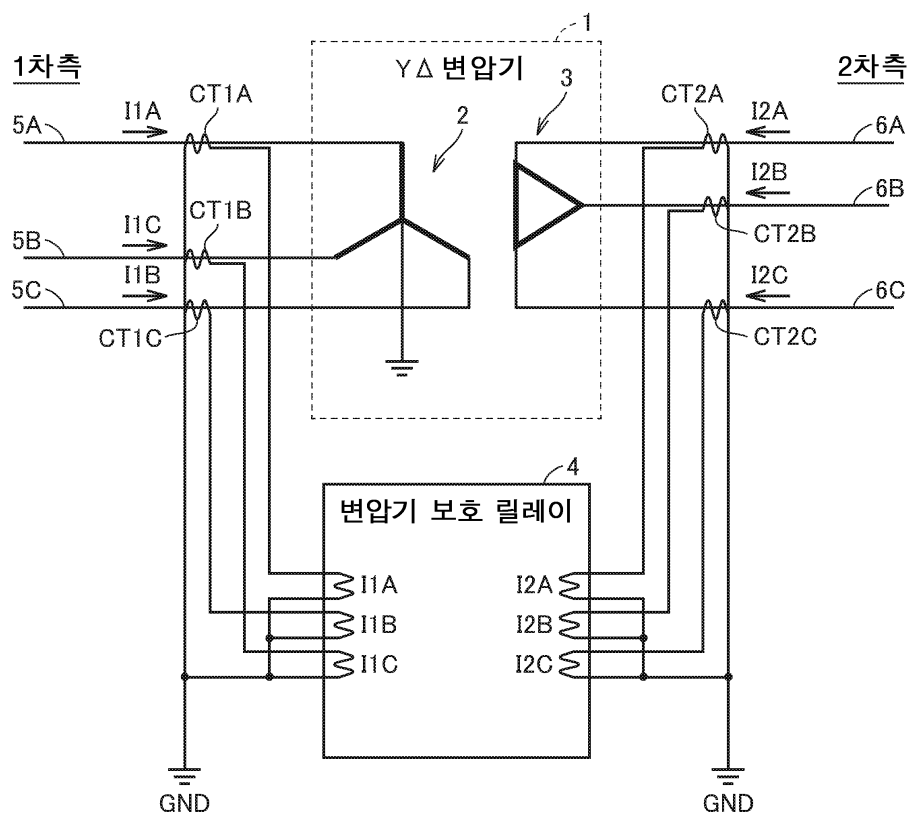
부호의 설명

- [0245] 1: 변압기 2: 일차 권선
3: 2차 권선 4: 변압기 보호 릴레이
5A, 5B, 5C, 6A, 6B, 6C: 삼상 선로 10: 입력 변환부
11: 보조 변성기 20: A/D 변환부
21: 아날로그 필터 22: 샘플 홀드 회로
23: 멀티플렉서 24: A/D 변환기
30: 연산 처리부 31: CPU
32: RAM 33: ROM
34: 버스 40: I/O부
41: 디지털 입력 회로 42: 디지털 출력 회로
50, 51: Y/Δ 변환부 52, 53: 계인 조정부
54: A상 연산부 55: B상 연산부
56: C상 연산부 60, 61, 66, 67, 68: 필터
62: 차전류 연산부 63: 억제 전류 연산부
64: 비율 차동 릴레이 연산부 65: 고조파용 차전류 연산부
69, 70, 71: 실효값 연산부 72, 73, 74: 함유율 연산부

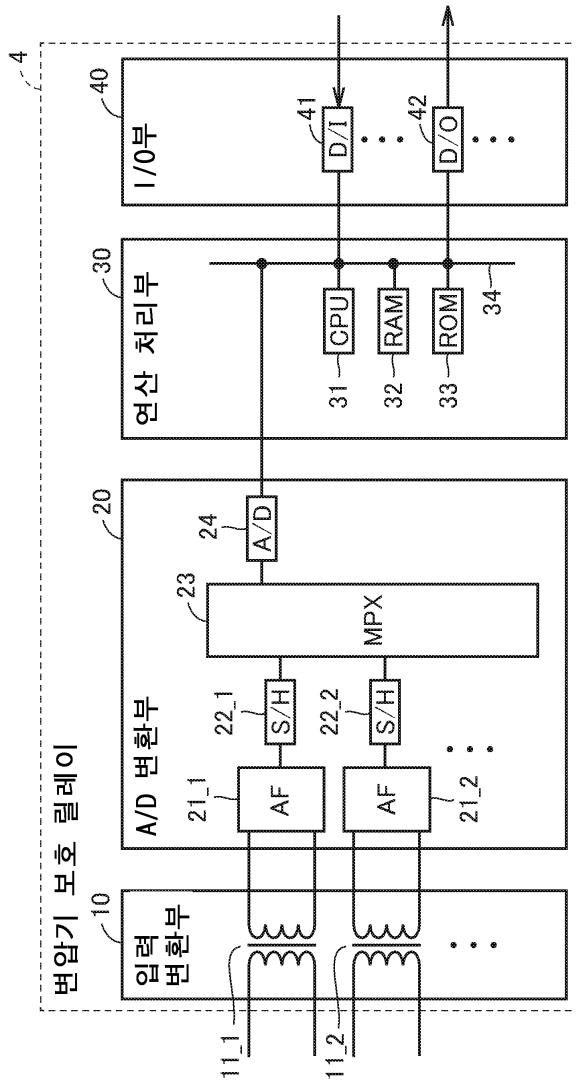
75: 인터쉬 판정부 76, 85, 86, 87, 88: AND 연산기
 80, 81, 82, 83, 93, 94, 95: 판정부 84, 89, 92: OR 연산기
 90: 플립플롭 91: 복귀 타이머
 96: 드웰 타임 계측부 A, B, C, D, E, F: 판정 조건
 CT: 전류 변성기 GND: 접지극
 K1, K2, K3, K4: 설정값 SG1, SG2, SG3, SG4: 출력 신호
 T1: 설정 시간

도면

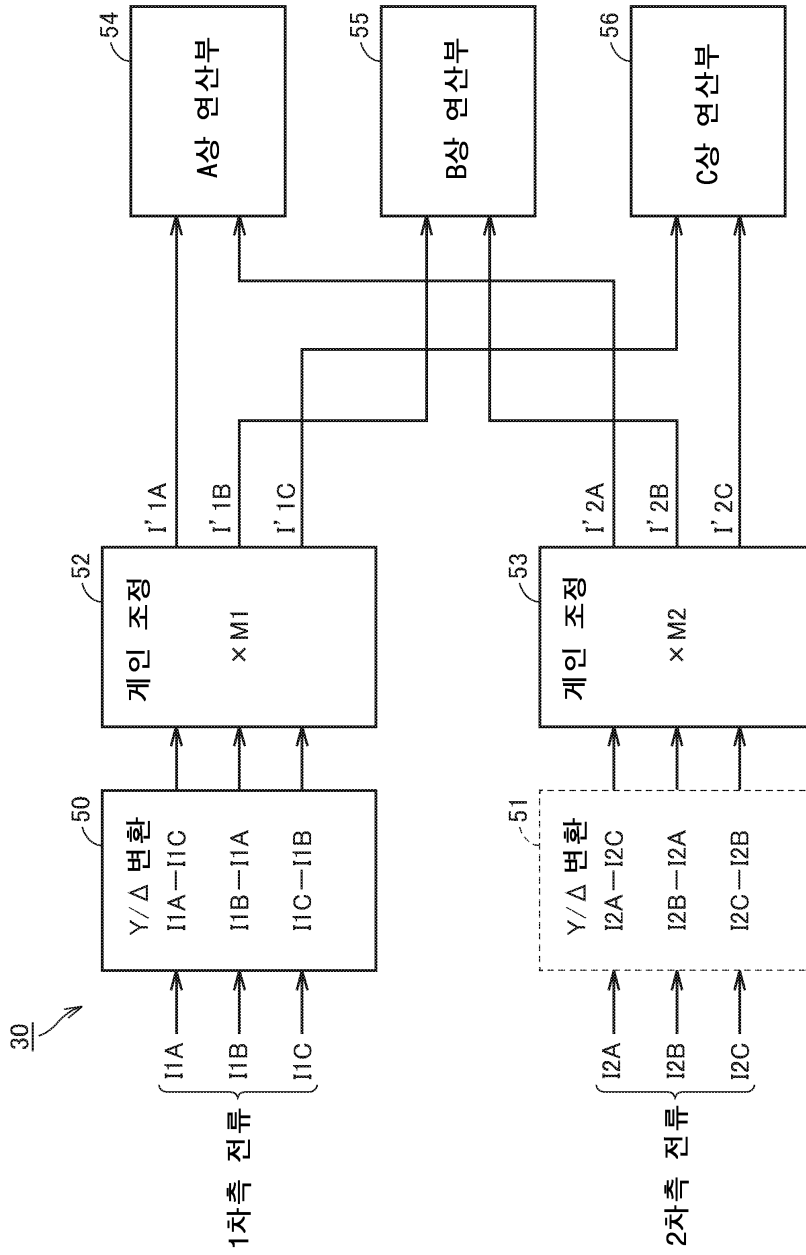
도면1



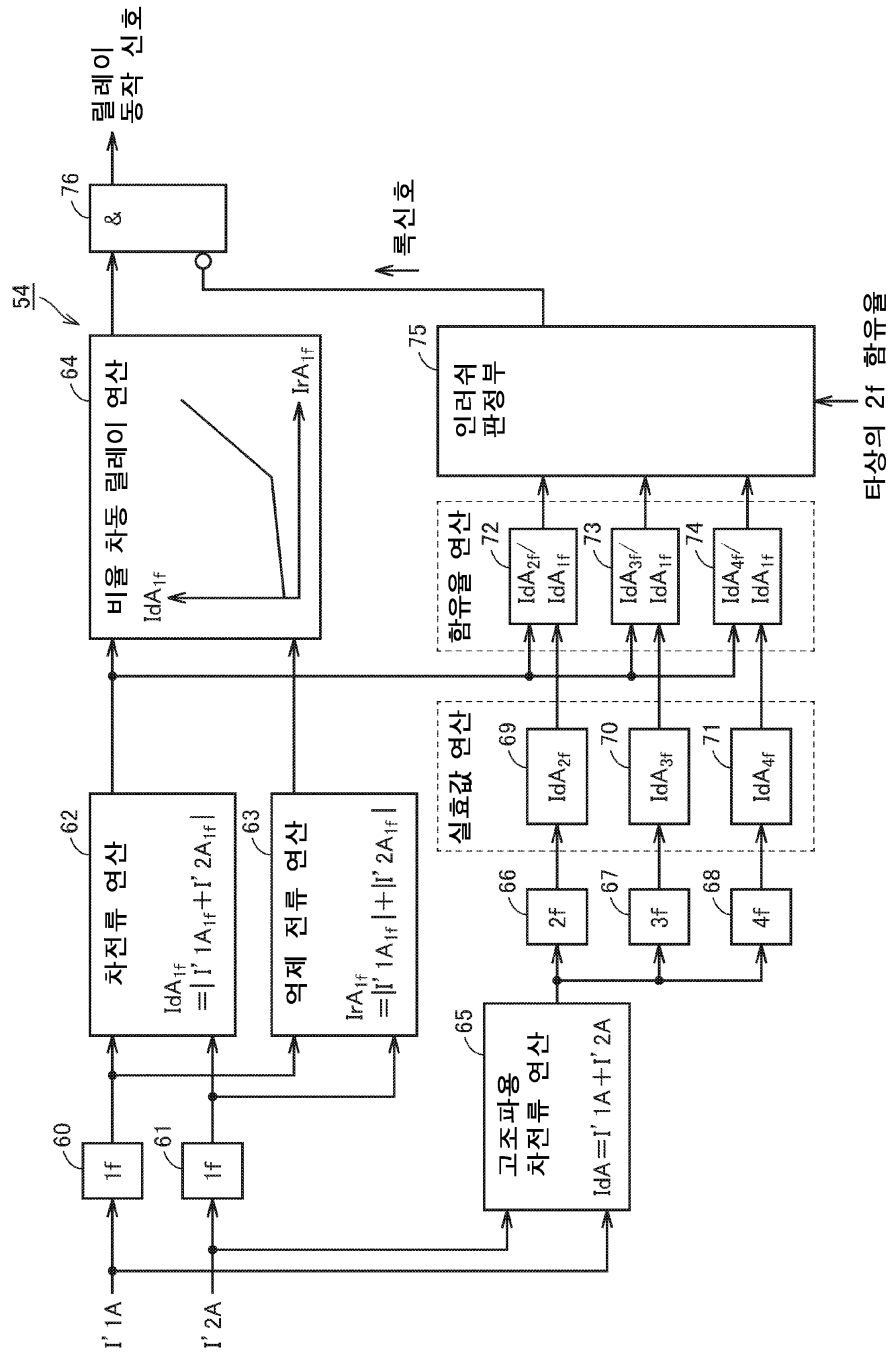
도면2



도면3



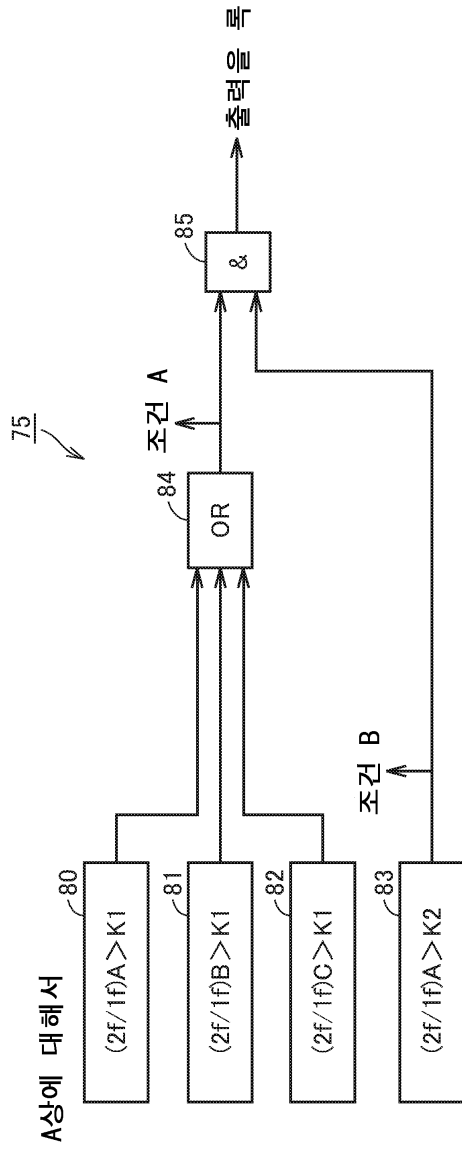
도면4



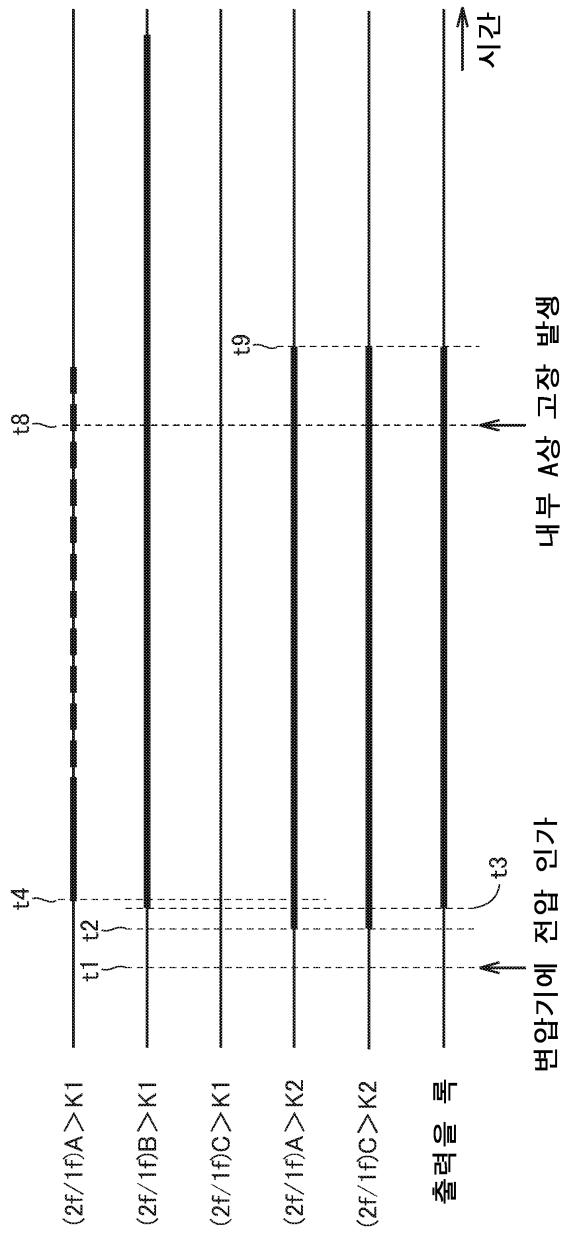
도면5

	판정 조건	인러쉬 전류	인러쉬 전류 발생 중의 변압기 내부 1상 고장
A	3상 중 1상이라도 제2 고조파 함유율이 설정값(K1) 이상 (예를 들면, K1=15%)	검출	검출 가능성 있음
B	자상의 제2 고조파 함유율이 설정값(K2) 이상 (예를 들면, K2=5%)	검출	검출 가능성 있음→비검출
C	자상의 제2, 제3, 제4 고조파 함유율의 합이 설정값(K3) 이상 (예를 들면, K3=15%)	검출	검출 가능성 있음→비검출
D	3상 중 2상에서 제2 고조파 함유율이 설정값(K1) 이상 (예를 들면, K1=15%)	검출 가능성 있음	비검출
E	자상의 제2, 제4 고조파 함유율의 합이 설정값(K4) 이상 (예를 들면, K4=6%)	검출	검출 가능성 있음→비검출
F	3상 중 2상에서 제2 고조파 함유율이 설정값(K2) 이상 (예를 들면, K2=5%)	검출	비검출

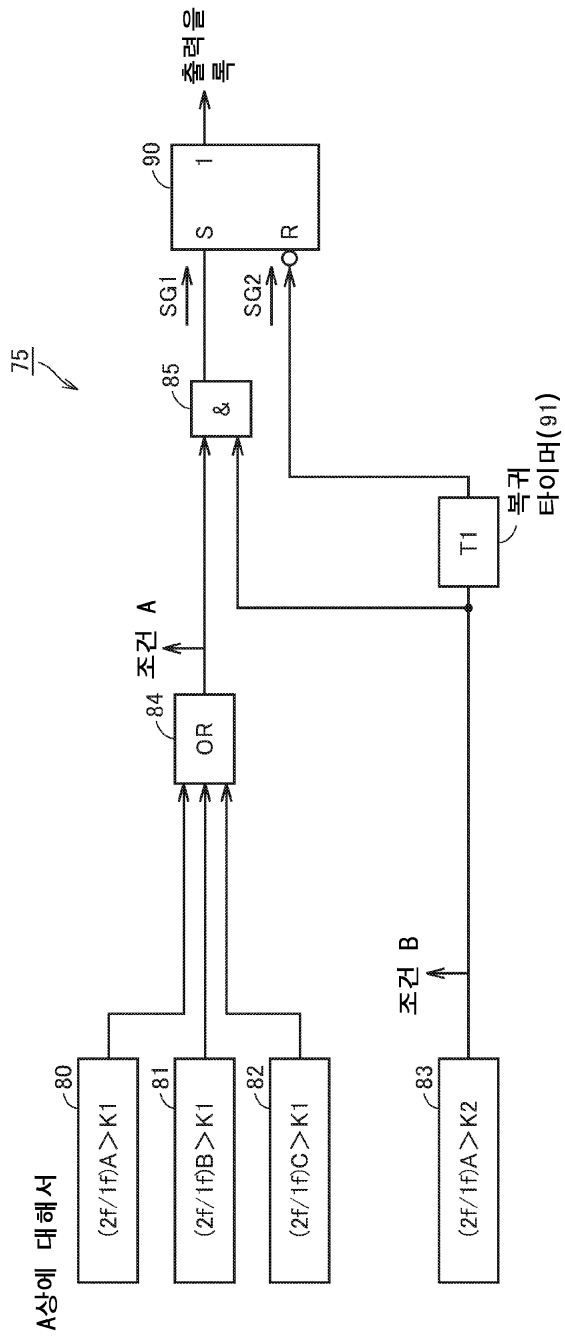
도면6



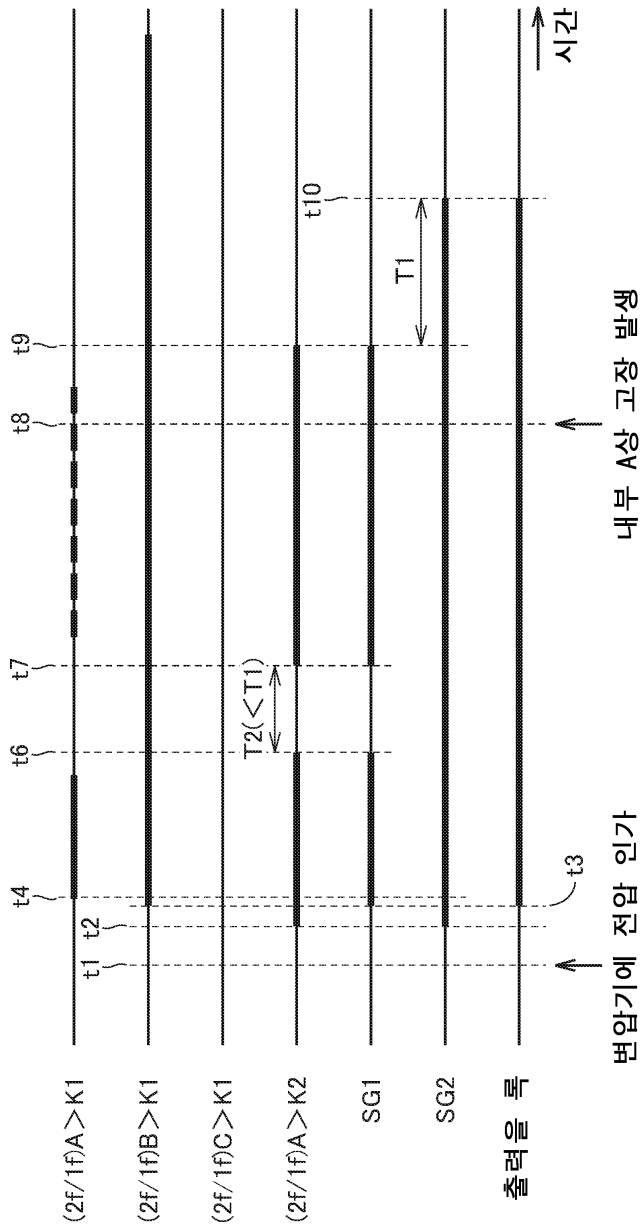
도면7



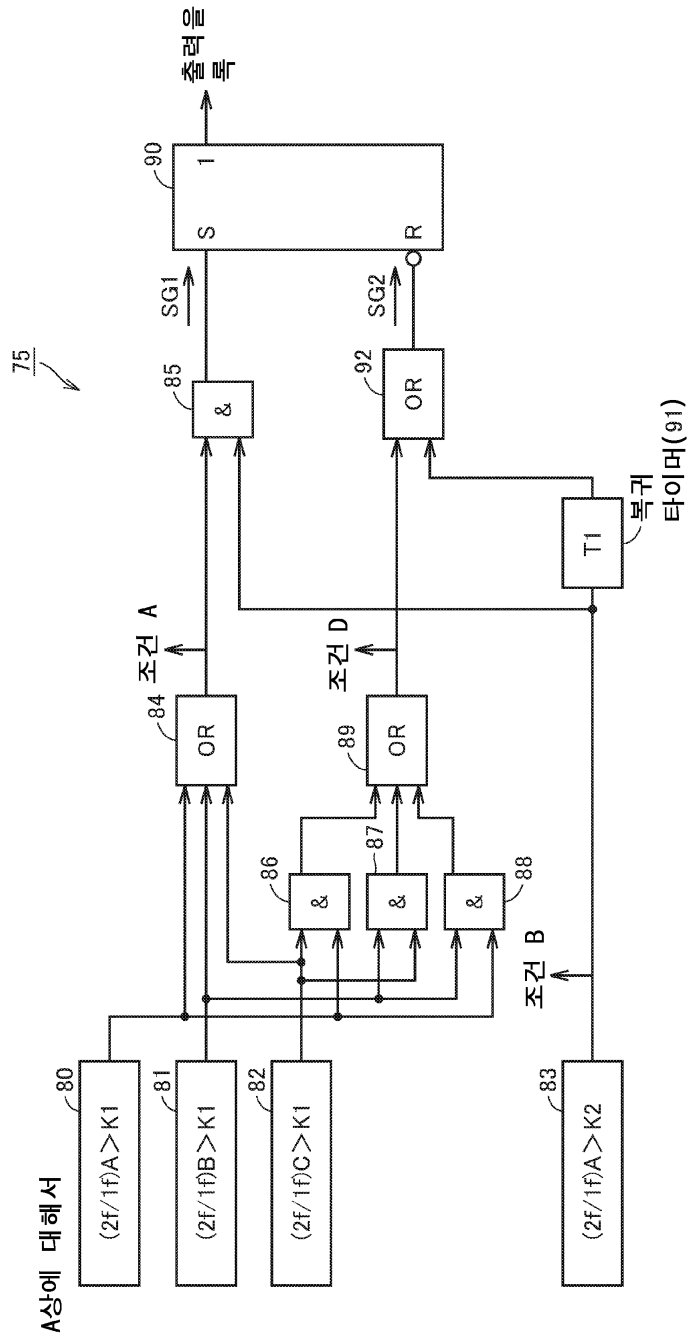
도면8



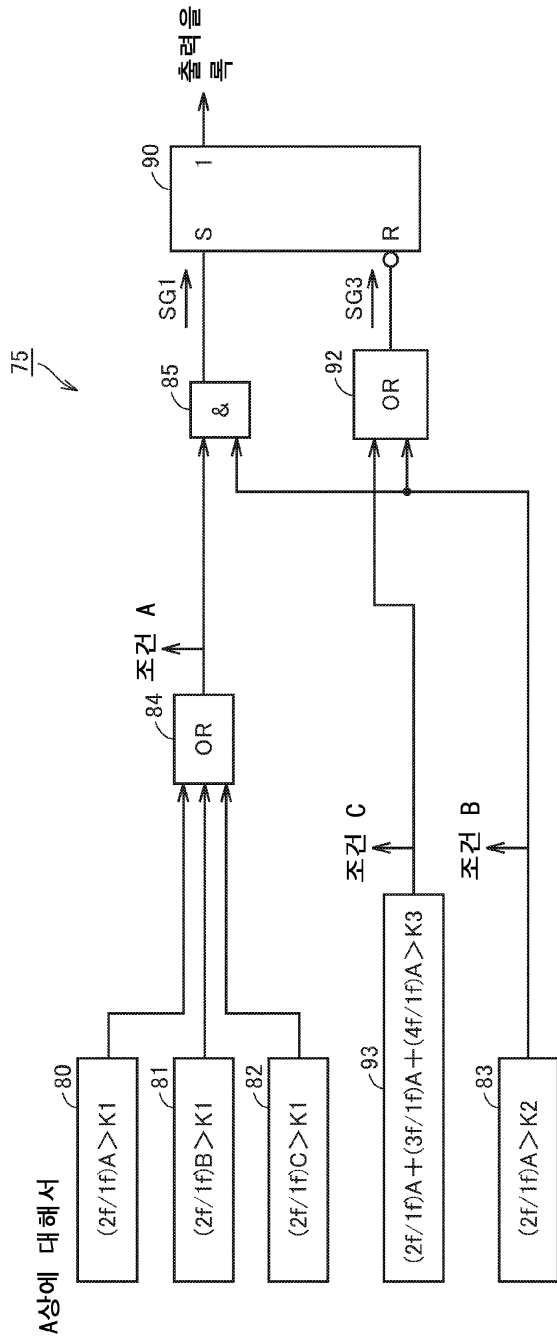
도면9



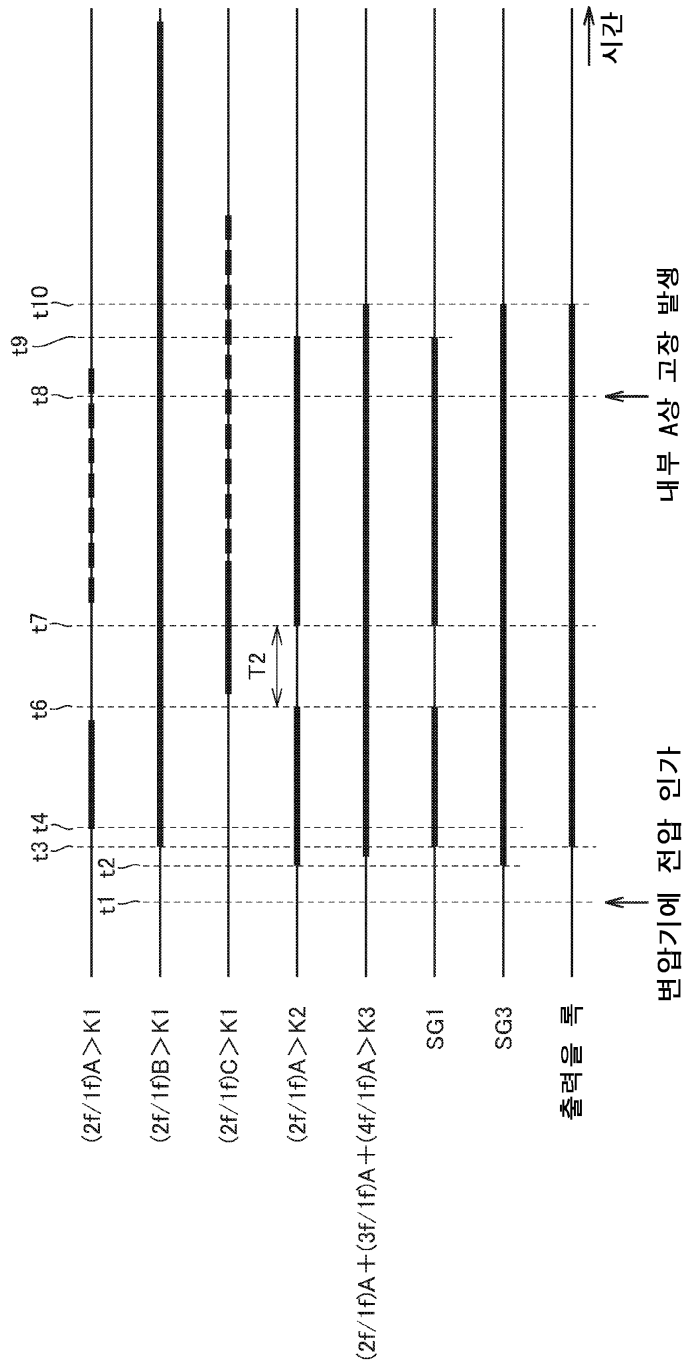
도면10



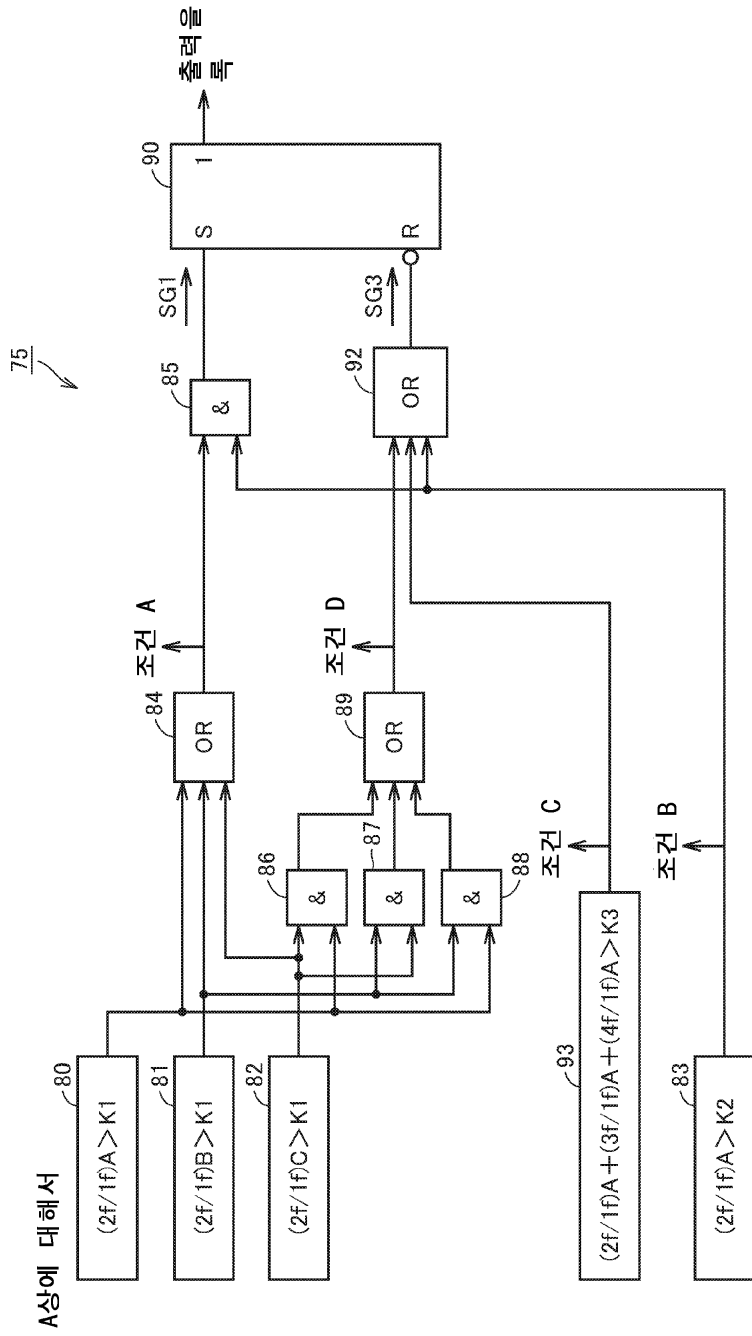
도면11



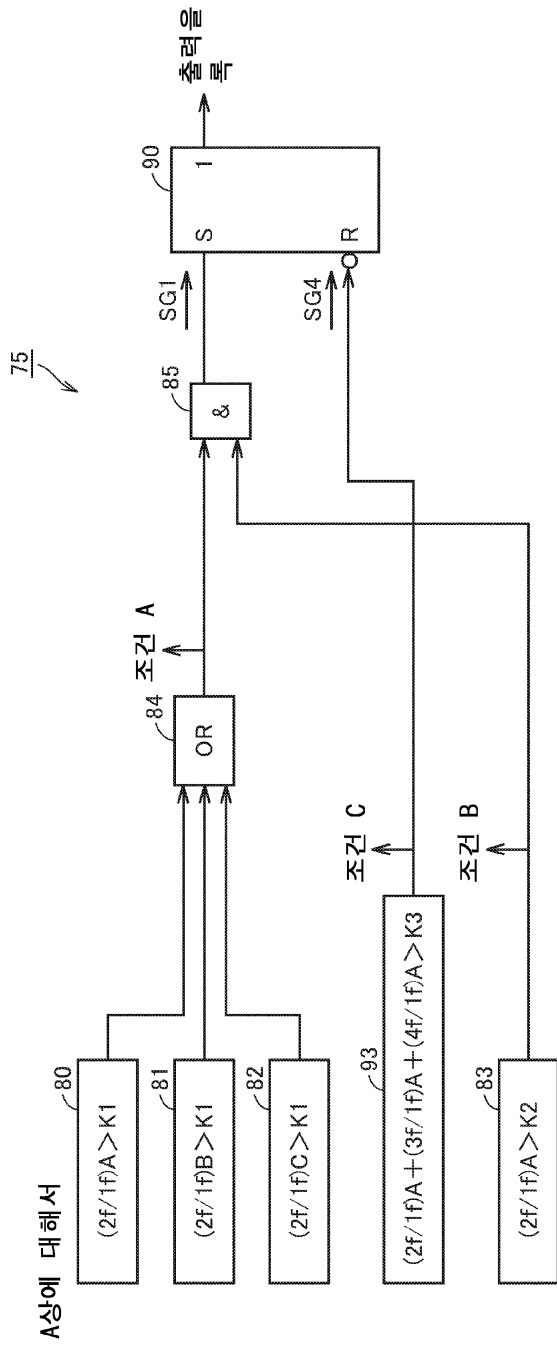
도면12



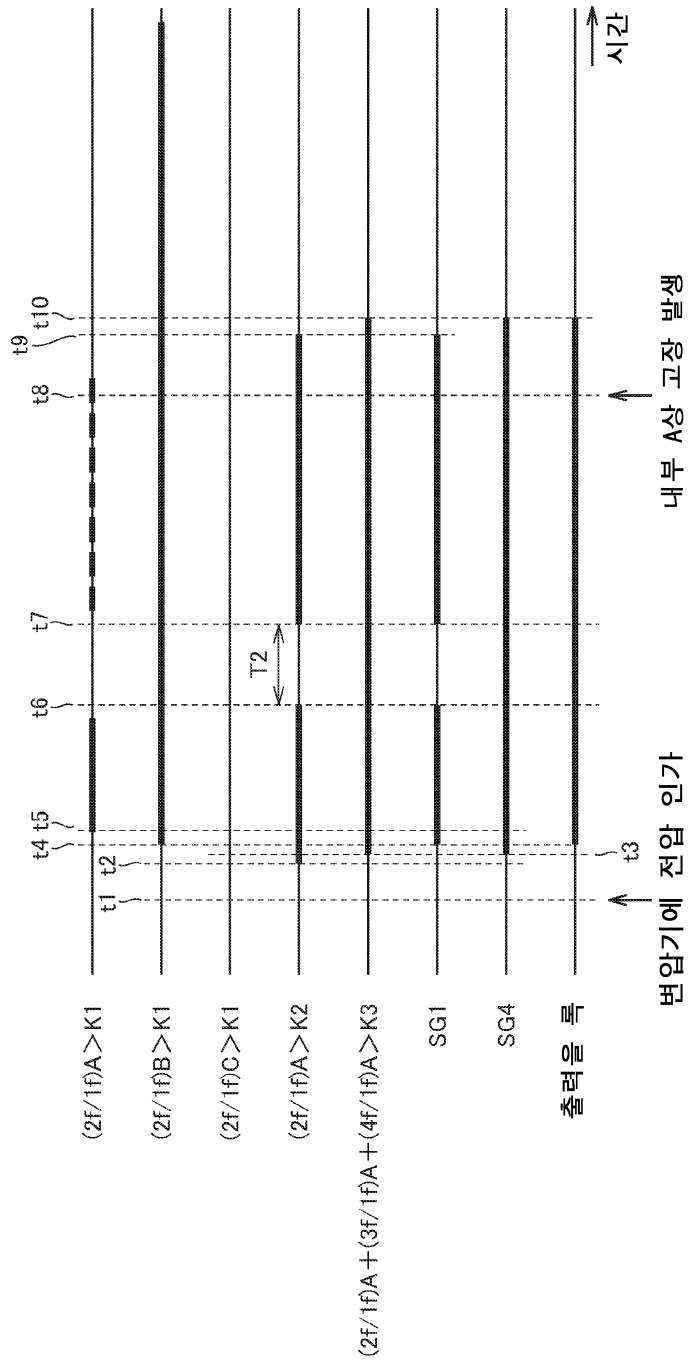
도면13



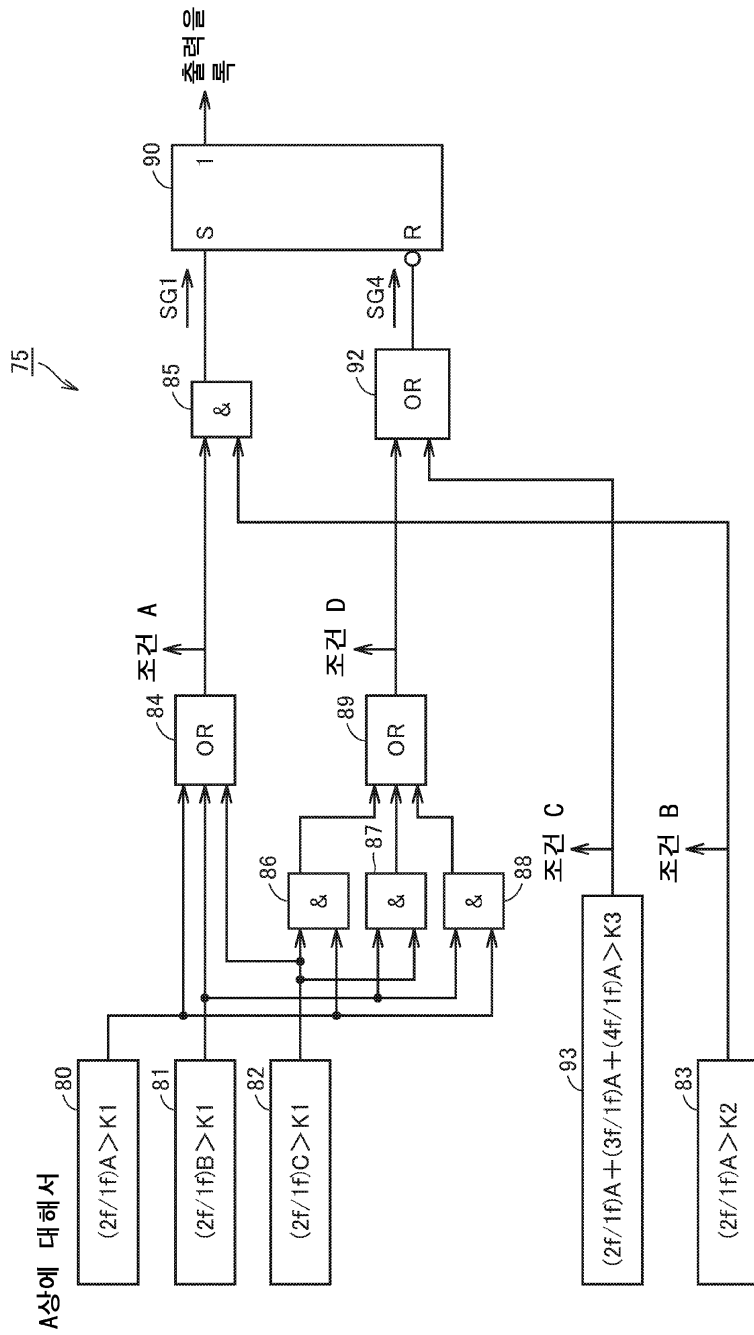
도면14



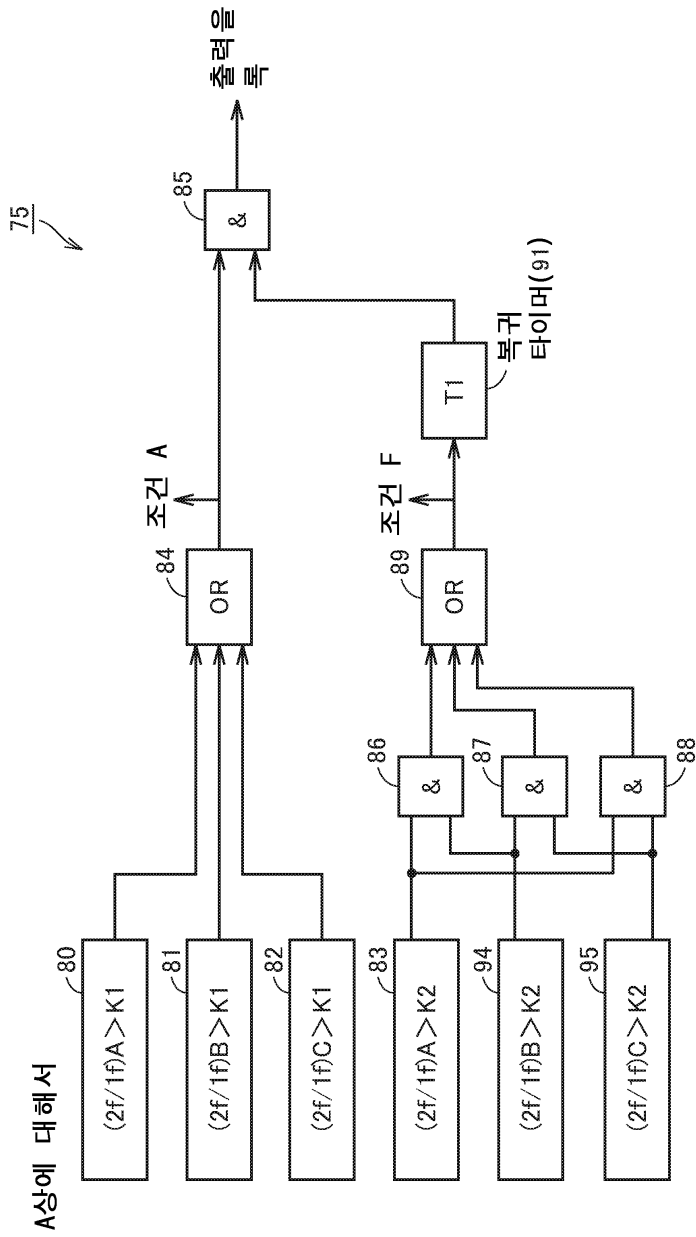
도면15



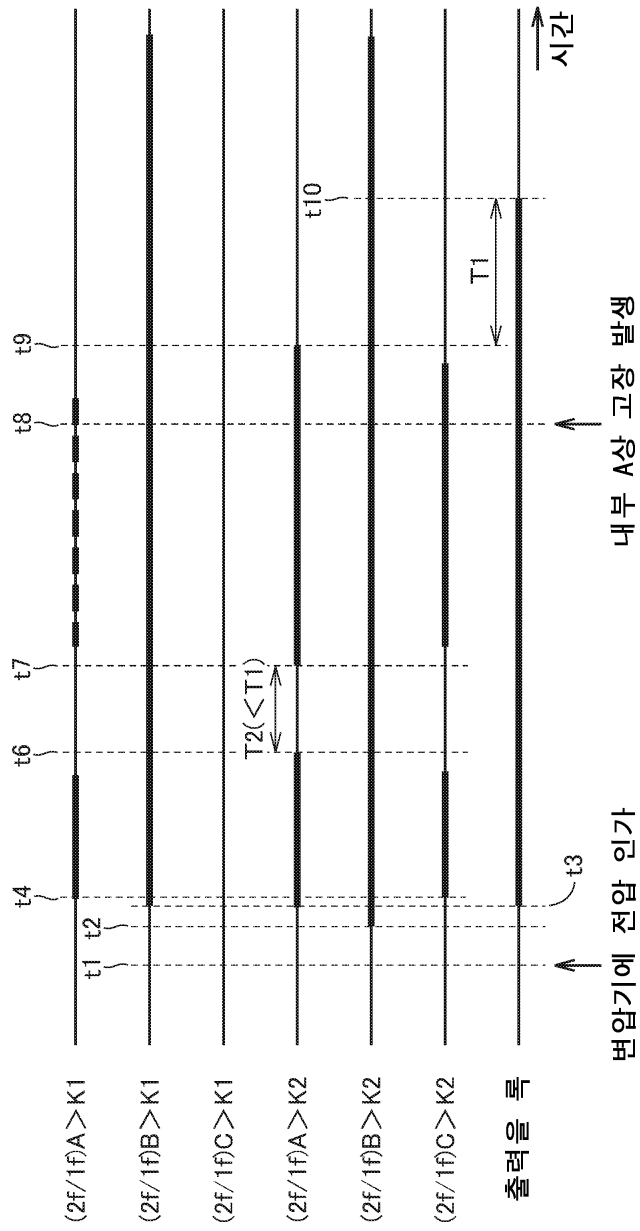
도면16



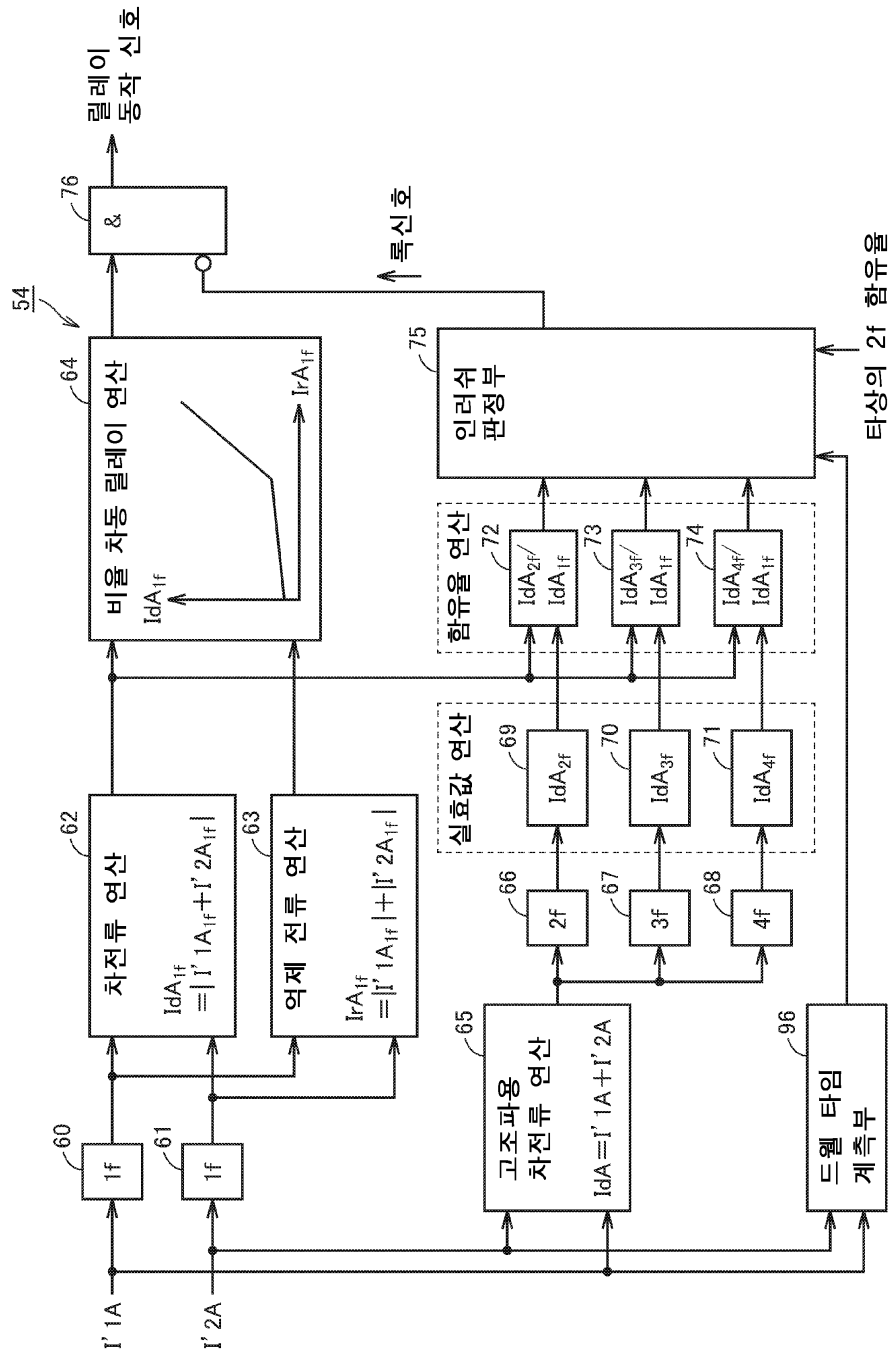
도면17



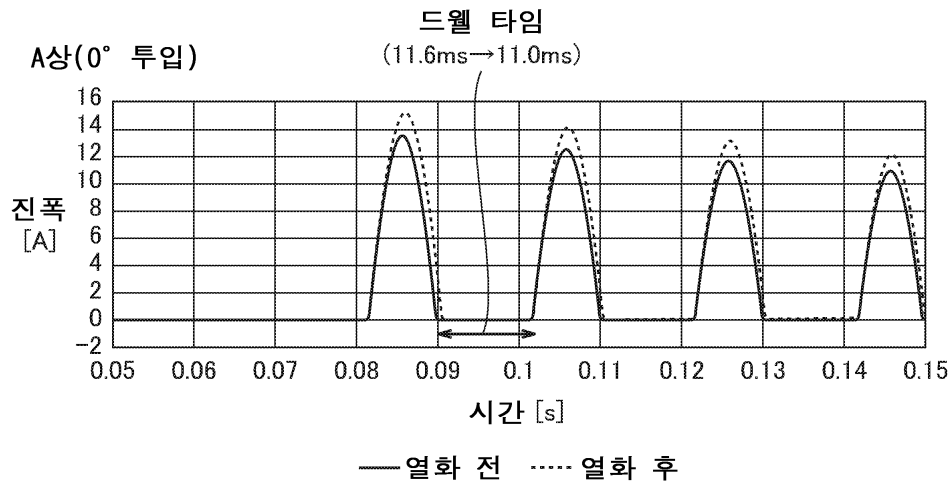
도면18



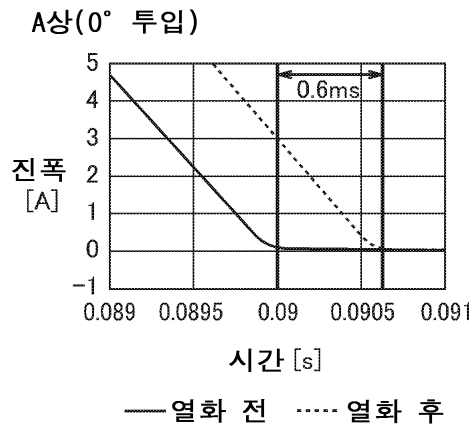
도면19



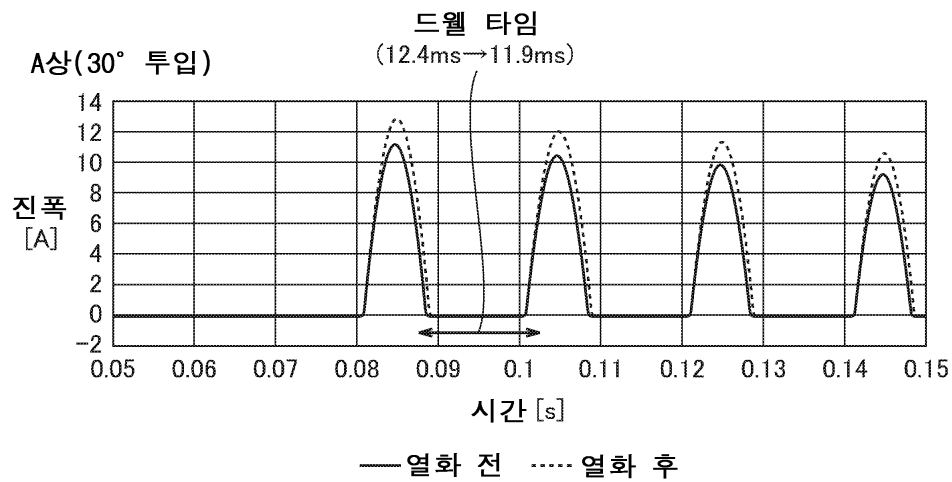
도면20a



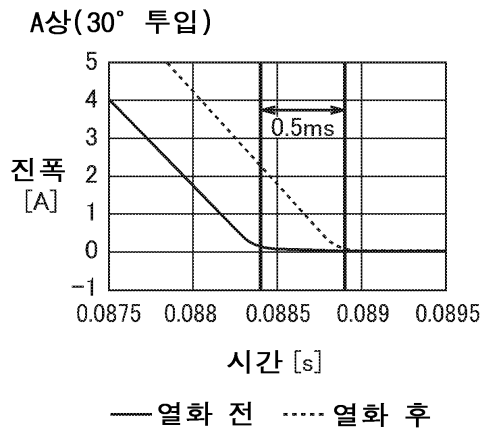
도면20b



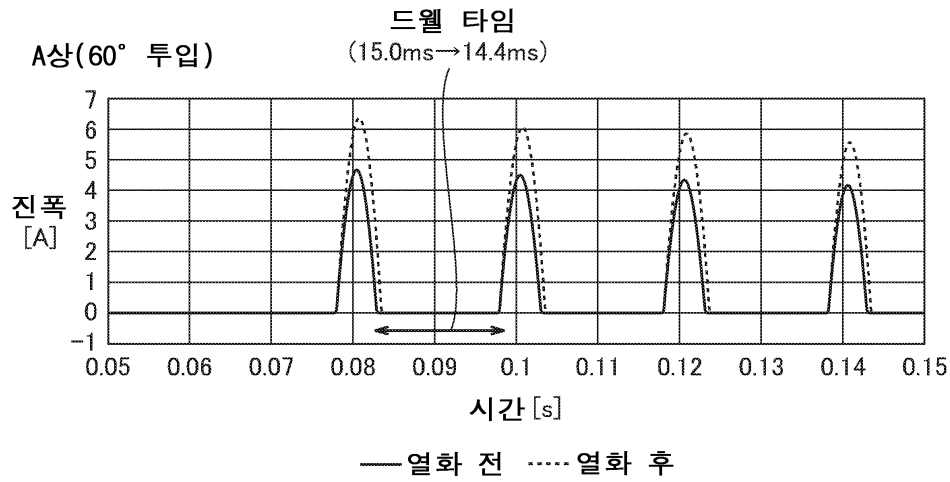
도면21a



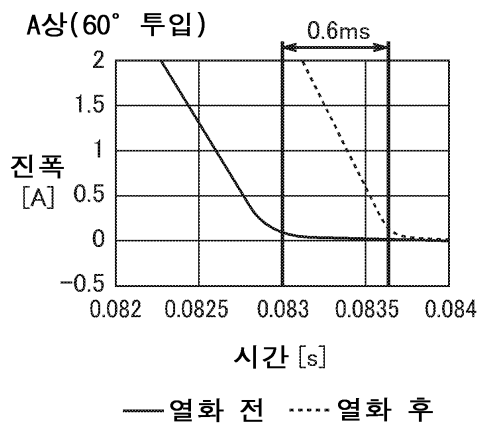
도면21b



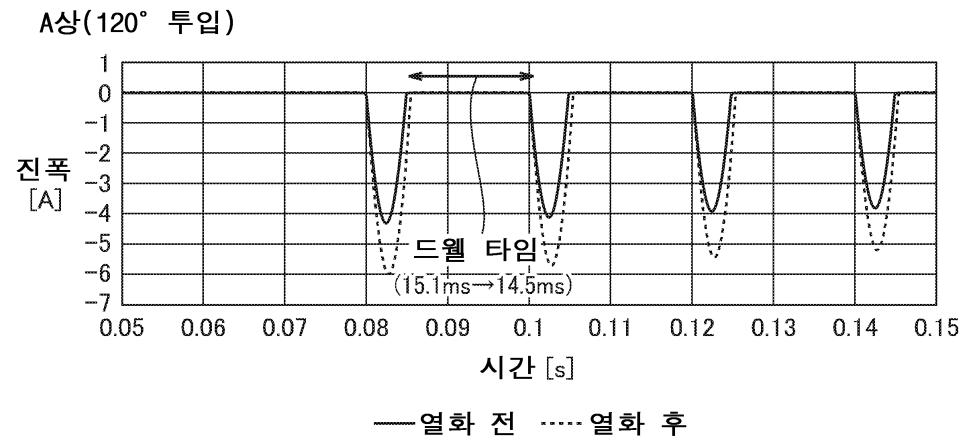
도면22a



도면22b



도면23a



도면23b

