



(19)대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(51) 。 Int. Cl.
G01R 31/12 (2006.01)

(11) 공개번호 10-2007-0023331
(43) 공개일자 2007년02월28일

(21) 출원번호 10-2005-0077817
(22) 출원일자 2005년08월24일
심사청구일자 2005년08월24일

(71) 출원인 고려대학교 산학협력단
서울 성북구 안암동5가1 고려대학교 내

(72) 발명자 이상빈
서울특별시 강남구 논현동 229-15 동천 테라스 502호
양진규
대전광역시 동구 용운동 290-18번지

(74) 대리인 김정식

전체 청구항 수 : 총 22 항

(54) 삼상 교류 회전 기기 절연 상태 진단 장치, 방법, 및 상기방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을기록한 매체

(57) 요약

삼상 교류 회전 기기 절연 상태 진단 장치, 방법, 및 상기 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 매체가 개시된다. 진단 장치의 스위칭부는 서로 다른 전위를 가지는 두 단자 중 제 1 단자에 삼상 교류 회전 기기 고정자의 각 상의 세 단자를 연결하고, 제 2 단자에는 프레임 단자를 연결하는 제 1 연결 과정, 삼상 교류 회전 기기 고정자의 세 상에 대해 상기 제 1 단자에 상기 삼상 교류 회전 기기의 두 단자를 연결하고, 제 2 단자에 나머지 한 단자 및 프레임 단자를 연결하는 제 2 내지 4 연결 과정, 삼상 교류 회전 기기 고정자의 세 상에 대해 제 1 단자에 삼상 교류 회전 기기의 한 단자를 연결하고, 제 2 단자에 나머지 두 단자 및 프레임 단자를 연결하는 제 5 내지 7 연결 과정 중 적어도 여섯 개의 연결 과정을 수행한다. 연산부는 삼상 교류 회전 기기 고정자의 각 상 및 상간의 임피던스를 산출한다. 산출된 임피던스로부터 얻어진 절연 상태 인자로부터 기기의 절연 상태를 파악할 수 있게 된다.

대표도

도 4

특허청구의 범위

청구항 1.

서로 다른 전위를 가지는 두 단자 중 제 1 단자에 삼상 교류 회전 기기 고정자의 각 상의 세 단자를 연결하고, 제 2 단자에는 프레임 단자를 연결하는 제 1 연결 과정,

상기 삼상 교류 회전 기기 고정자의 세 상에 대해 상기 제 1 단자에 상기 삼상 교류 회전 기기의 두 단자를 연결하고, 상기 제 2 단자에 나머지 한 단자 및 프레임 단자를 연결하는 제 2 내지 4 연결 과정,

상기 삼상 교류 회전 기기 고정자의 세 상에 대해 상기 제 1 단자에 상기 삼상 교류 회전 기기의 한 단자를 연결하고, 상기 제 2 단자에 나머지 두 단자 및 프레임 단자를 연결하는 제 5 내지 7과정 중 적어도 여섯 개의 연결 과정을 수행하는 스위칭부;

상기 스위칭부에서 수행되는 각 연결 과정마다 상기 두 단자 사이의 전압과 전류 관계를 측정하는 측정부; 및

상기 측정부에서 측정된 전압과 전류 사이의 관계를 이용하여 상기 삼상 교류 회전 기기 고정자의 각 상 및 상간의 임피던스를 산출하는 연산부를 포함하는 것을 특징으로 하는 삼상 교류 회전 기기 절연 상태 진단 장치.

청구항 2.

제 1항에 있어서,

상기 스위칭부는 상기 일곱 개의 연결 과정 중 소정의 여섯 개의 연결 과정만을 수행하는 것을 특징으로 하는 삼상 교류 회전 기기 절연 상태 진단 장치.

청구항 3.

제 2항에 있어서,

상기 연산부는 상기 임피던스로부터 상기 삼상 교류 회전 기기의 절연 상태를 파악할 수 있는 절연 상태 인자를 산출하는 것을 특징으로 하는 삼상 교류 회전 기기 절연 상태 진단 장치.

청구항 4.

제 1항에 있어서,

상기 스위칭부는 상기 일곱 개의 연결 과정을 모두 수행하며,

상기 연산부는 상기 측정부에서 측정된 일곱 개의 전압과 전류 사이의 관계 중 여섯 개의 전압 전류 관계로 이루어진 복수의 조합을 구성하고,

상기 각 조합 내의 여섯 개의 전류 관계를 이용하여 상기 복수의 조합마다 상기 삼상 교류 회전 기기 고정자의 각 상 및 상간의 임피던스를 산출하는 것을 특징으로 하는 삼상 교류 회전 기기 절연 상태 진단 장치.

청구항 5.

제 4항에 있어서,

상기 연산부는 상기 복수의 조합마다 산출된 각 상 및 상간의 임피던스를 평균하여 상기 각 상 및 상간의 임피던스 평균값을 산출 것을 특징으로 하는 삼상 교류 회전 기기 절연 상태 진단 장치.

청구항 6.

제 5항에 있어서,

상기 연산부는 상기 임피던스 평균값으로부터 상기 삼상 교류 회전 기기의 절연 상태를 파악할 수 있는 절연 상태 인자를 산출하는 것을 특징으로 하는 삼상 교류 회전 기기 절연 상태 진단 장치.

청구항 7.

제 4항에 있어서,

상기 연산부는 상기 복수의 조합마다 산출된 각 상 및 상간의 임피던스로부터 상기 복수의 조합에 대응하고 상기 삼상 교류 회전 기기의 절연 상태를 파악할 수 있는 절연 상태 인자들을 산출하는 것을 특징으로 하는 삼상 교류 회전 기기 절연 상태 진단 장치.

청구항 8.

제 7항에 있어서,

상기 연산부는 상기 절연 상태 인자들을 평균하여 절연 상태 인자 평균값을 산출 것을 특징으로 하는 삼상 교류 회전 기기 절연 상태 진단 장치.

청구항 9.

제 1항 내지 8항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제 2 단자는 접지 단자인 것을 특징으로 하는 삼상 교류 회전 기기 절연 상태 진단 장치.

청구항 10.

제 9항에 있어서,

상기 스위칭부로 단상 교류를 공급하는 전원부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 삼상 교류 회전 기기 절연 상태 진단 장치.

청구항 11.

제 10항에 있어서,

상기 전원부는 상기 단상 교류를 직류로 변환하는 정류부를 포함하는 것을 특징으로 하는 삼상 교류 회전 기기 절연 상태 진단 장치.

청구항 12.

제 11항에 있어서,

상기 전원부는 상기 단상 교류의 전압을 변화할 수 있는 변압부를 포함하는 것을 특징으로 하는 삼상 교류 회전 기기 절연 상태 진단 장치.

청구항 13.

삼상 교류 회전 기기 고정자의 세 단자를 동일한 전위로 유지하고, 상기 세 단자와 다른 전위를 가지는 프레임 단자와 상기 세 단자 사이의 전류를 측정하는 제 1 측정 과정,

상기 삼상 기기 고정자의 세 단자에 각각에 대해, 상기 세 단자 중 두 단자를 동일한 전위로 유지하고, 나머지 한 단자와 프레임 단자를 상기 두 단자와는 다른 동일한 전위로 유지하며, 상기 두 전위 사이의 전류를 측정하는 제 2 내지 4 측정 과정,

상기 삼상 교류 회전 기기 고정자의 세 단자에 대해, 상기 세 단자 중 두 단자를 프레임 단자와 동일한 단자로 유지하고, 상기 프레임 단자와 다른 전위를 가지는 나머지 한 단자와 상기 동일한 전위의 세 단자 사이의 전류를 측정하는 제 5 내지 7 측정 과정 중 적어도 여섯 개 이상의 측정 과정을 수행하는 측정 단계; 및

상기 측정 과정에서 얻어진 전압과 전류 관계를 이용하여 상기 삼상 교류 회전 기기 고정자의 각 상 및 상간의 임피던스를 산출하는 연산 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 삼상 교류 회전 기기 고정자의 절연 상태 진단 방법.

청구항 14.

제 13항에 있어서,

상기 측정 단계는 상기 일곱 개의 측정 과정 중 소정의 여섯 개의 측정 과정만을 수행하는 것을 특징으로 하는 삼상 교류 회전 기기 고정자의 절연 상태 진단 방법.

청구항 15.

제 14항에 있어서,

상기 연산부는 상기 임피던스로부터 상기 삼상 교류 회전 기기의 절연 상태를 파악할 수 있는 절연 상태 인자를 산출하는 것을 특징으로 하는 삼상 교류 회전 기기 절연 상태 진단 방법.

청구항 16.

제 13항에 있어서,

상기 측정 단계는 상기 일곱 개의 측정 과정 모두를 수행하고,

상기 연산 단계는 상기 측정에서 얻어진 일곱 개의 전압과 전류 관계 중 서로 다른 여섯 개의 전압과 전류 관계를 포함하는 복수의 조합을 선택하고, 각 조합마다 조합 내의 여섯 개의 전압과 전류 관계를 이용하여 상기 삼상 교류 회전 기기 고정자의 각 상 및 상간의 임피던스를 산출하는 것을 특징으로 하는 삼상 교류 회전 기기 고정자의 절연 상태 진단 방법.

청구항 17.

제 16항에 있어서,

상기 연산 단계는 상기 복수의 조합마다 산출된 각 상 및 상간의 임피던스를 평균하여 상기 각 상 및 상간의 임피던스 평균 값을 산출하는 것을 특징으로 하는 삼상 교류 회전 기기 절연 상태 진단 방법.

청구항 18.

제 17항에 있어서,

상기 연산 단계는 상기 임피던스 평균값으로부터 상기 삼상 교류 회전 기기의 절연 상태를 파악할 수 있는 절연 상태 인자를 산출하는 것을 특징으로 하는 삼상 교류 회전 기기 절연 상태 진단 방법.

청구항 19.

제 16항에 있어서,

상기 연산 단계는 상기 복수의 조합마다 산출된 각 상 및 상간의 임피던스로부터 상기 복수의 조합에 대응하고 절연 상태를 파악할 수 있는 상기 삼상 교류 회전 기기의 절연 상태 인자들을 산출하는 것을 특징으로 하는 삼상 교류 회전 기기 절연 상태 진단 방법.

청구항 20.

제 19항에 있어서,

상기 연산 단계는 상기 절연 상태 인자들을 평균하여 절연 상태 인자 평균값을 산출 것을 특징으로 하는 삼상 교류 회전 기기 절연 상태 진단 방법.

청구항 21.

제 13 내지 20항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 프레임 단자는 접지 전위로 유지되는 것을 특징으로 하는 삼상 교류 회전 기기 고정자의 절연 상태 진단 방법.

청구항 22.

제 13 내지 20항 중 어느 한 항의 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 매체.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 전기 기기에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 전동기나 발전기와 같은 삼상 교류 회전 기기 고정자의 각 상 및 상간의 절연 상태를 개별적으로 진단하는 장치 및 방법에 관한 것이다.

전기 절연은 발전기나 전동기와 같은 회전 기기가 동작하는 데에 있어서 필수적인 요소의 하나로, 회전 기기의 신뢰도를 결정짓는 데에 중요한 역할을 한다. 미국의 IEEE 와 EPRI (Electric Power Research Institute)에서 발표한 전기 기기 신뢰도 조사에 따르면, 전동기 고장 원인의 30~40%가 고정자 권선 절연의 열화로 인한 절연 파괴에 의한 것이다.

또한, Allinz 통계에 의하면 고압 전동기의 고장 중 60% 이상이 고정자 권선 절연 파괴에 의해 발생한다. 이처럼 전기 절연은 전기 기기에 있어서 중요하면서도 가장 취약한 요소 중의 하나이다.

전동기의 고장은 기기의 보수나 수리에 필요한 비용 손실뿐만 아니라, 전동기가 포함된 공정 자체를 멈추기 때문에 공정 정지에 따른 생산성 저하에 의한 막대한 경제적 손실을 초래한다.

또한, 절연 파괴에 의한 고장은 아크 사고의 원인이 되기 때문에 화재와 인명 피해의 원인이 되기도 한다. 따라서 전동기 고장에 의한 피해를 방지하기 위하여 전동기의 절연 상태를 정기적으로 정확하게 진단하는 것은 신뢰성 있는 운전을 위해 필수적이라 할 수 있다.

정기 점검은 통상 3 내지 6년에 한 번 수행하게 되는데, 다음 점검까지 전기 기기의 신뢰성 있는 운전을 보장하기 위해서는 정기 점검 수행 시 오프라인 진단에서, 고장자 절연 시스템에 대해 가능한 한 많은 정보를 얻어내야 한다.

도 1은 삼상 교류 회전 전기 기기 세 상의 권선을 분리하였을 때의 절연을 모델링한 등가 회로이다.

도 1은 IEEE 표준 286-2000 절연 등가 회로(IEEE Standard 286-2000 Insulation Equivalent Circuit)로서, 도 1의 도면 상측 삼각형의 꼭지점을 구성하는 세 노드(A, B, C)는 각 상을 나타내며, 세 노드(A, B, C) 사이의 각 박스는 각 상간 절연의 등가 임피던스(Z_{AB} , Z_{BC} , Z_{AC})를 나타낸다. 도면 하측의 노드(F)는 프레임(프레임(F)과 각 상을 이루는 노드(A, B, C) 사이에는 각 상과 프레임 사이 절연의 등가 임피던스를 나타내는 박스(Z_{AF} , Z_{BF} , Z_{CF})가 도시되어 있다. 일반적으로 프레임(F)은 접지된다.

도 2는 도 1의 각 상의 권선이 분리된 상태를 더욱 상세히 도시한 도면이다.

도 2에서 확인할 수 있는 바와 같이, 도 1의 노드 A, B, C는 서로 분리된 상태로서 각각 도 2에서의 A'-A'', B'-B'', C'-C''에 대응된다.

도 3은 IEEE 표준에서 제시하는 삼상 교류 회전 기기의 절연 상태 진단 방법에서 수행되는 측정 위치와 측정된 측정값이 기재된 표이다.

도 3의 진단 방법에서는 모두 여섯 번의 측정이 수행되는 것을 알 수 있다. 측정은 도 1의 여러 노드 사이의 연결을 변화시킨 후, 일부 노드에서 측정된 전압 전류 관계를 이용하여 등가 임피던스를 측정하는 방식으로 진행된다. 측정의 순서는 진단에 영향을 미치지 않으며, 프레임은 일반적으로 접지한다. 따라서, 단자(A, B, 또는 C)를 접지하는 것은 프레임에 연결하는 것을 의미한다.

도 3의 표에서, 처음 두 번의 측정에서는 A 노드에 전원을 인가한다. 첫 번째 측정에서는 B, C노드를 접지한 후 A노드로 흐르는 전류를 측정하고, 두 번째 측정에서는 C 노드만 접지하고, A노드로 흐르는 전류를 측정한다.

다음 두 번의 측정에서는 B노드에 전원을 인가한다. 세 번째 측정에서는 A, C 노드를 접지하고 B노드로 흐르는 전류를 측정하고, 네 번째 측정에서는 A노드만 접지하고, B노드로 흐르는 전류를 측정한다.

마지막 두 번의 측정 측정에서는 C노드에 전원을 인가한다. 다섯 번째에서는 A, B 노드를 접지하고 C노드로 흐르는 전류를 측정하고, 여섯 번째 측정에서는 B노드를 접지하고, C 노드에 흐르는 전류를 측정한다.

이와 같이, 삼상 교류 회전 기기의 고장자 권선과 접지 사이의 누설 전류를 측정하면 표에서와 같이 여러 가지 절연 인자들을 알 수 있다. 그러나 표에서 볼 수 있듯이 이 방법에서 얻을 수 있는 측정 결과로는 각 상 및 상간의 절연 상태를 분리해서 알 수 없고, 도 2에 도시된 바와 같이 각 임피던스가 복합적으로 관련되어 측정되기 때문에 혼합된 절연 상태만을 진단할 수 있다.

따라서, 절연의 열화가 진행되더라도 어떤 권선에서 열화가 진행되는 것인지 판단할 수 없기 때문에 유지 보수에 많은 시간과 비용이 소요된다. 예를 들어, 고장자 권선 절연의 혼합된 상태만을 알 수 있기 때문에 어느 한 권선이 열화가 진행됨에도 불구하고 권선 전체를 검사하거나 대체해야 하는 경우도 발생한다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

본 발명은 상술한 종래의 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로서, 본 발명은 삼상 교류 회전 기기 고정자의 각 상 및 상간의 절연 상태를 개별적으로 파악하여 정확한 기기의 절연 상태를 진단할 수 있는 방법 및 장치를 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

발명의 구성

상기 목적을 달성하기 위해 본 발명에 따른 삼상 교류 회전 기기 절연 진단 장치는 스위칭부, 측정부, 및 연산부를 포함한다.

스위칭부는 서로 다른 전위를 가지는 두 단자 중 제 1 단자에 삼상 교류 회전 기기 고정자의 각 상의 세 단자를 연결하고, 제 2 단자에는 프레임 단자를 연결하는 제 1 연결 과정, 삼상 교류 회전 기기 고정자의 세 상에 대해 상기 제 1 단자에 삼상 교류 회전 기기의 두 단자를 연결하고, 제 2 단자에 나머지 한 단자 및 프레임 단자를 연결하는 제 2 내지 4 연결 과정, 삼상 교류 회전 기기 고정자의 세 상에 대해 제 1 단자에 삼상 교류 회전 기기의 한 단자를 연결하고, 제 2 단자에 나머지 두 단자 및 프레임 단자를 연결하는 제 5 내지 7 연결 과정 중 적어도 여섯 개의 연결 과정을 수행한다.

측정부는 스위칭부에서 수행되는 각 연결 과정마다 두 단자 사이의 전압과 전류 관계를 측정하고 연산부는 측정부에서 측정된 전압과 전류 사이의 관계를 이용하여 삼상 교류 회전 기기 고정자의 각 상 및 상간의 임피던스를 산출한다.

상기와 같은 구성으로 삼상 교류 회전 기기 고정자의 각 상 및 상간의 절연 상태를 개별적으로 파악함으로써 정확한 기기의 절연 상태를 진단할 수 있게 된다.

스위칭부는 일곱 개의 연결 과정 중 소정의 여섯 개의 연결 과정만을 수행할 수도 있고, 일곱 개의 연결 과정을 모두 수행할 수도 있다. 일곱 개의 연결 과정을 모두 수행하는 경우, 연산부는 측정부에서 측정된 일곱 개의 전압과 전류 사이의 관계 중 여섯 개의 전압 전류 관계로 이루어진 복수의 조합을 구성하고, 각 조합 내의 여섯 개의 전류 관계를 이용하여 복수의 조합마다 상기 삼상 교류 회전 기기 고정자의 각 상 및 상간의 임피던스를 산출한다.

삼상 교류 회전 기기 고정자의 각 상 및 상간의 절연 상태를 진단하기 위해서는 여섯 개의 전류와 전압 관계가 필요하므로, 여섯 개의 연결 과정만으로도 간단히 절연 상태를 진단할 수 있다. 하지만, 일곱 개의 연결 과정 모두를 수행하여 얻어진 일곱 개의 전류 전압 관계 중 선택된 여섯 개의 전류 전압 관계를 포함하는 복수의 조합을 구성하고, 각 조합에서 얻어진 각 상 및 상간의 임피던스를 평균하여 더욱 정확한 기기의 절연 상태를 알 수 있게 된다.

연산부는 측정된 전압과 전류의 관계로부터 임피던스값을 계산하고, 이 임피던스값으로부터 삼상 교류 회전 기기의 절연 상태 인자를 산출할 수 있고, 이로써 사용자는 기기의 절연 상태를 파악할 수 있는 다양한 절연 상태 인자를 얻을 수 있게 된다.

제 2 단자는 접지 단자로 구성할 수 있고, 삼상 교류 회전 기기 절연 상태 진단 장치는 스위칭부로 단상 교류를 공급하는 전원부를 더 포함할 수 있다. 전원부는 단상 교류를 직류로 변환하는 정류부를 포함할 수 있고, 또한, 단상 교류의 전압을 변화할 수 있는 변압부를 포함할 수도 있다. 정류부를 포함함으로써 각 상과 상간 절연의 절연 저항(IR)과 Polarization Index(PI)를 측정할 수 있게 되고, 변압부를 포함함으로써 PF Tip-Up을 측정할 수 있게 된다. 또한, 측정에 필요한 모든 전원을 개별적으로 포함하는 것이 아니라 단상 교류 전원을 변압 또는 정류하여 사용하므로 장치를 더욱 간단하게 구성할 수 있게 된다.

아울러, 상기 장치 발명과 함께 상기 장치를 방법의 형태로 청구한 발명, 및 상기 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 매체 발명이 청구된다.

이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명한다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 삼상 교류 회전 기기 절연 상태 진단 장치의 개략적인 블록도이다.

도 4에서 삼상 교류 회전 기기 절연 상태 진단 장치는 스위칭부(410), 측정부(420), 연산부(430), 전원부(440), 및 표시부(450)를 포함하고 있다.

스위칭부(410)는 서로 다른 전위를 가지는 두 단자에 삼상 교류 회전 기기(400)의 세 상 및 프레임 단자를 연결한다. 본 실시예에서 스위칭부(410)의 단자 중 한 단자는 접지 단자(414)로 구성한다.

측정부(420)는 스위칭부(410)에서 수행되는 각 연결 과정마다 두 단자(412, 414) 사이의 전압과 전류 관계를 측정하고, 연산부(430)는 측정부(420)에서 측정된 전압과 전류 사이의 관계를 이용하여 삼상 교류 회전 기기 고정자의 각 상 및 상간의 임피던스를 산출하여 절연 상태 인자를 계산한다. 이때 두 단자 사이에 흐르는 전류는 회전 기기 각 상 및 상간에 흐르는 누설 전류이다. 측정부(420)의 두 단자(422, 424)는 각각 스위칭부(410)의 두 단자(412, 414) 사이의 전압 및 전류를 측정하기 위한 단자일 수 있다.

전원부(440)는 스위칭부(410)로 단상 교류를 공급하며, 단상 교류를 직류로 변환하는 정류부(442) 및 단상 교류의 전압을 변환하는 변압부(444)를 포함한다.

두 단자(412, 414)는 전원부(440)의 전원 공급 단자와 직접 연결될 수도 있으며, 측정부(420)는 전원부(440)로부터 공급되는 전압과 전원부(440)로부터 유입 또는 유출되는 전류를 측정하여 임피던스를 산출할 수 있다.

표시부(450)는 사용자에게 측정 및 진단 결과를 표시한다. 표시부(450)는 액정 표시 장치(LCD; liquid crystal display)와 같은 시각적 표시 장치로 구현되는 것이 일반적이지만, 음성 표시 장치와 같은 청각적 표시 장치는 물론 다른 어떤 변형 가능한 표시 장치로 구현될 수 있다.

도 5는 도 4의 장치의 개략적인 사시도이다.

도 5에서 삼상 교류 회전 기기의 각 상 및 프레임 단자가 연결되는 연결 단자(A, B, C, F), 및 진단 결과를 확인할 수 있는 모니터(550)가 도시되어 있다. 단자에 전압을 공급하고 흐르는 누설 전류를 측정하여 절연 상태 인자를 계산하면 각 상 및 상간 절연 상태가 모니터(550)로 바로 디스플레이된다.

삼상 교류 회전 기기 절연의 열화 상태를 파악하기 위해 먼저, 스위칭부(410)는 삼상 교류 회전 기기 각 상의 단자(A, B, C)를 제 1 단자(412)에 연결한다. 도 1의 등가 회로에서 네 단자(A, B, C, F) 중 프레임 단자(F; frame)는 항상 제 2 단자인 접지 단자(414)에 연결한다. 도 6은 이 상태에서의 삼상 교류 회전 기기 절연 상태를 도시한 등가회로이다.

측정부(420)는 단상의 제 1 단자(412)에서 나가는 전류를 측정하여 세 상(A, B, C)과 접지(Ground; 414) 사이에 병렬로 걸리는 임피던스(Impedance) 또는 어드미턴스(Admittance)에 흐르는 전류를 측정한다.

$$I_1 = (Y_{AF} + Y_{BF} + Y_{CF}) * V_1$$

다음으로, 스위칭부(410)는 A 단자를 제 1 단자(412), B, C, F 단자를 제 2 단자(414)에 각각 연결시키고, 측정부(420)는 도 7에서 볼 수 있듯이, A상과 다른 상간, 접지간의 혼합된 형태의 임피던스에 흐르는 누설 전류를 측정한다.

$$I_2 = (Y_{AF} + Y_{AC} + Y_{AB}) * V_2$$

비슷한 방법으로 스위칭부(410)가 B 단자를 제 1 단자(412)에, A, C, F를 제 2 단자에 각각 연결하고, C 단자를 제 1 단자에 A, B, F를 제 2 단자에 연결한 후, 각각 측정부(420)가 제 1 단자(412), 및 제 2 단자(414) 사이의 누설 전류를 측정하여 두 개의 식을 더 얻을 수 있다.

$$I_3 = (Y_{BF} + Y_{AB} + Y_{BC}) * V_3$$

$$I_4 = (Y_{CF} + Y_{AC} + Y_{BC}) * V_4$$

또 다른 연결방법은, 스위칭부(410)는 A, B를 제 1 단자(412)에 연결하여 전압을 인가하고 C, F 단자를 제 2 단자(414)에 연결하여 접지하는 것이다. 도 8은 이 방법 중 한 가지의 등가회로이다.

위와 같은 방법으로 수식을 찾아내면,

$$I_5 = (Y_{AC} + Y_{AF} + Y_{BC} + Y_{BF}) * V_5$$

$$I_6 = (Y_{AB} + Y_{AF} + Y_{CB} + Y_{CF}) * V_6$$

$$I_7 = (Y_{BA} + Y_{BF} + Y_{CA} + Y_{CF}) * V_7$$

의 세 가지 식을 찾을 수 있다.

연산부(430)는 이러한 일곱 개의 식들을 이용하여 각 상 및 상간의 절연 임피던스들을 산출한다.

$$\begin{bmatrix} I_1/V_1 \\ I_2/V_2 \\ I_3/V_3 \\ I_4/V_4 \\ I_5/V_5 \\ I_6/V_6 \\ I_7/V_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} Y_{AB} \\ Y_{BC} \\ Y_{CA} \\ Y_{AF} \\ Y_{BF} \\ Y_{CF} \end{bmatrix}$$

이때, V_1 내지 V_7 은 선택 가능한 전압으로 동일한 전압을 사용하는 것이 일반적이다. 측정되는 값은 I_1 내지 I_7 이다.

이와 같이, 일곱 개의 식들 모두를 이용하는 것이 아니라, 그 중 여섯 개만을 이용하여 여섯 개의 어드미턴스 또는 임피던스를 구할 수도 있다. 이용되는 여섯 개의 식은 일곱 개의 식 중 어느 것이라도 관계없다.

또한, 일곱 개의 식 중 여섯 개의 식을 선택하여 복수의 조합을 구성하고, 각 구성에서 구해진 값들의 평균값을 취하는 방법을 사용하면 더욱 정확한 여섯 개의 어드미턴스 또는 임피던스를 구할 수 있다.

또한, 연산부(430)는 산출된 임피던스 값으로부터 기기의 절연 상태를 명확히 알 수 있는 절연 상태 인자를 산출한다. 절연 상태 인자의 평균값은 임피던스 평균값을 먼저 산출한 후 산출된 임피던스 평균값으로부터 산출될 수도 있고, 각 조합마다의 절연 상태 인자들을 먼저 산출한 후 다시 산출된 절연 상태 인자들의 평균값을 산출할 수도 있다.

도 9는 일반적인 절연체의 등가 회로와 절연 누설 전류의 크기와 위상을(phasor diagram) 도시한 도면이다.

도 9에 도시된 바와 같이, 절연 시스템은 고정자 권선과 접지 사이에 저항(R_{eq})과 커패시터(C_{eq})로 모델링을 할 수가 있고, 누설 전류는 저항에 흐르는 성분(I_R)과 커패시터(I_C)에 흐르는 성분으로 나눌 수 있다.

예를 들어, 연산부(430)는 아래의 세 식을 이용하여, 각 상 및 상간의 절연 저항값과 커패시터 값을 구한다. 또한, 각 요소의 저항과 커패시터를 구하여 $\tan\delta$ 를 구한다.

$$\begin{aligned} Y &= \frac{1}{R} + j\omega C & |I_R| &= \frac{V}{R} \\ R &= \frac{1}{\text{Re}[Y]} & |I_C| &= \omega C V \\ \omega C &= |\text{Im}[Y]| & I &= \frac{V}{R} + j\omega C V \end{aligned}$$

$$DF = \tan \delta = |I_R| / |I_C| = \frac{1}{\omega RC}$$

$$PF = \cos(90^\circ - \delta) = |I_R| / |I|$$

Dissipation Factor(DF)와 Power Factor(PF) 또한, 절연의 상태를 알 수 있는 절연 상태 인자들이다. δ 가 작은 경우 DF와 PF는 거의 비슷한 값을 가진다.

R, C, DF, PF와 같은 절연 상태 인자들을 이용하면 열에 의한 delamination, 절연의 이물질 오염, 절연의 수분 함유와 같은 절연 문제와 절연의 상태, 및 열화의 정도를 판정할 수 있다.

부분 방전(Partial Discharge, PD)은 고전압 기기 절연 열화의 주요 원인이며, 고전압 설비의 노화가 진행되어 조기 파손이 되는 데에 가장 강력한 영향을 주고 있다. 권선과 접지간의 절연에서 열, 진동 또는 환경적 영향에 의해 절연에 틈(void)이 생길 수 있다. 이런 경우에 절연의 틈에 스파크가 나면서 PD가 생기게 되며 열화가 심해지는 주요 요인이다.

PD는 일반적으로 절연에 인가되는 전압이 높을 경우에 커지게 되므로, 저전압과 고전압일 때의 PF의 차이를 알면 PD의 정도를 알 수 있고 그 차이를 Power Factor Tip-Up(PF Tip-Up)이라 한다.

$$PF_{Tip-Up} = PF_{HV} - PF_{LV}$$

연산부(430)는 저전압과 고전압에서 각각의 경우에 대해 PF를 구하여 부분 방전의 정도도 산출한다. 즉 각 상과 상간 절연에 대해서 PF Tip-Up을 산출한다.

이를 위해, 전원부(440)의 변압부(444)는 측정부(420)에 저전압과 고전압을 공급한다. 일반적으로 고전압으로는 정격 전압을 저전압으로는 정격의 1/4의 전압을 공급한다.

오프라인 절연 상태 측정 방법 중 현재까지 사용되는 방법은 절연 저항(IR), Polarization Index(PI), High Potential (직류와 교류), 커패시턴스, DF, PF, PF Tip-Up 등의 절연 상태 인자들을 측정하여 절연의 상태를 알아내는 것이다.

절연 저항(IR)과 Polarization Index(PI)의 측정을 위해서 측정부(420)는 직류 전원의 공급을 필요로 하며, 이를 위해, 정류부(442)는 측정부(420)에 직류 전원을 공급한다.

이와 같이, 본 발명은 종래에는 알 수 없었던 각 상 및 상간 절연 상태를 저가의 단상 전원이 포함된 간단한 장비로 구현할 수 있다. 전동기 사용자는 전동기가 동작을 하지 않는 경우 A, B, C, F 단자에 단상 전원을 공급하고 전류를 측정함으로써 전동기 절연의 상태를 분리하여 알 수 있게 된다.

즉, 어떤 권선에 열화가 진행되는 지를 정확하게 판별할 수 있기 때문에 부분적인 권선의 대체 또는 수리만으로 전동기가 열화 되는 것을 방지할 수 있고, 이 방법을 이용한 장비도 저가로 구현할 수 있기 때문에 기존의 방법보다는 시간과 비용이 훨씬 적게 소요된다.

이 장비의 구현으로 전동기가 사용되는 모든 산업 시설의 신뢰도를 높여 생산 효율의 증대에 기여할 수 있을 뿐 아니라, 화재나 아크 등으로 인한 안전사고를 줄일 수 있게 된다.

도 10은 본 발명에 따른 삼상 교류 회전 기기 절연 상태 진단 방법의 일 실시예를 수행하기 위한 개략적인 흐름도이다.

먼저, 삼상 교류 회전 기기 고정자의 세 단자를 동일한 전위로 유지하고, 상기 세 단자와 다른 전위를 가지는 프레임 단자와 상기 세 단자 사이의 누설 전류를 측정한다(1010).

이를 위해, 세 단자(A, B, C)를 서로 연결한다. 도 1의 등가 회로에서 네 단자(A, B, C, F) 중 프레임 단자(F; frame)는 항상 접지에 연결한다. 도 6은 이 상태의 회로도이다.

도 6에 도시된 바와 같이, 단상의 전압원에서 나가는 전류를 측정하면 세 상(A, B, C)과 접지(Ground) 사이에 병렬로 걸리는 임피던스(Impedance) 또는 어드미턴스(Admittance)를 측정할 수 있다.

다음으로, 삼상 교류 회전 기기 고정자의 세 단자에 대해, 세 단자 중 두 단자를 프레임 단자와 동일한 단자로 유지하고, 프레임 단자와 다른 전위를 가지는 나머지 한 단자와 동일한 전위의 세 단자 사이의 누설 전류를 측정한다(1020).

이를 위해, B, C, F를 에 연결시킨 후 A에 전압을 공급하면 도 6에서 볼 수 있듯이 A상과 다른 상간, 접지간의 혼합된 형태의 임피던스를 측정할 수 있다. 비슷한 방법으로 B에 전압을 인가하고 A, C, F를 연결하거나 C에 전압을 인가하고 A, B, F를 연결하면 식 두 가지를 더 얻을 수 있다.

이어서, 삼상 교류 회전 기기 고정자의 세 단자에 각각에 대해, 상기 세 단자 중 두 단자를 동일한 전위로 유지하고, 나머지 한 단자와 프레임 단자를 상기 두 단자와는 다른 동일한 전위로 유지하여, 상기 두 전위 사이의 전류를 측정한다(1030).

이를 위해, 단자 A, B를 연결하여 전압을 인가하고 C, F를 연결하여 접지하는 것이다. 도 7은 이 방법 중 한가지의 회로도이다. 이와 같은 방법으로 또한 세 개의 식을 얻을 수 있다.

다음으로, 상기 측정에서 얻어진 일곱 개의 전압과 전류 관계 중 서로 다른 여섯 개의 전압과 전류 관계를 포함하는 복수의 조합을 선택하고, 각 조합마다 조합 내의 여섯 개의 전압과 전류 관계를 이용하여 상기 삼상 교류 회전 기기 고정자의 각 상 및 상간의 임피던스를 산출한다(1040).

이어서, 각 조합마다 산출된 각 상 및 상간의 임피던스들로부터 절연 상태 인자들을 산출하고(1050), 절연 상태 인자들을 평균하여 절연 상태 인자들의 평균값을 산출한다(1060).

본 실시예에서는 먼저 각 조합마다 산출된 임피던스들로부터 절연 상태 인자들을 산출한 후 절연 상태 인자들의 평균값을 구하였지만, 다른 실시예에서는 먼저 각 조합마다 산출된 임피던스들의 평균값을 산출한 후 산출된 임피던스 평균값에 대응하는 절연 상태 인자를 구할 수도 있다.

발명의 효과

본 발명에 의하면 개별적인 상과 상간 절연 상태를 분리하여 알 수 있기 때문에 어떤 권선에서 절연 열화가 진행되고 있는지에 대한 정보를 알 수 있다.

따라서, 고정자 권선 절연의 혼합된 상태만을 알아낼 수 있었던 종래의 방법에서는 어느 한 권선이 열화가 진행됨에도 불구하고 권선 전체를 대체해야 하는 문제를 해결할 수 있다.

또한, 종래 방법보다 절연의 약한 부분의 위치에 대한 보다 많은 정보를 알 수 있어 절연의 문제를 찾아 보수하거나 대체할 때 많은 시간과 비용 절감을 할 수 있다.

도면의 간단한 설명

도 1은 삼상 교류 회전 기기의 세 상의 권선을 분리하였을 때의 절연을 모델링한 등가회로.

도 2는 도 1의 각 상의 권선이 분리된 상태를 더욱 상세히 도시한 도면.

도 3은 IEEE 표준에서 제시하는 삼상 교류 회전 기기 절연 상태 진단 방법에서 수행되는 측정 위치와 측정된 측정값이 기재된 표.

도 4는 본 발명에 따른 삼상 교류 회전 기기 절연 상태 진단 장치의 일 실시예의 개략적인 블록도.

도 5는 도 4의 삼상 교류 회전 기기 절연 상태 진단 장치의 개략적인 사시도.

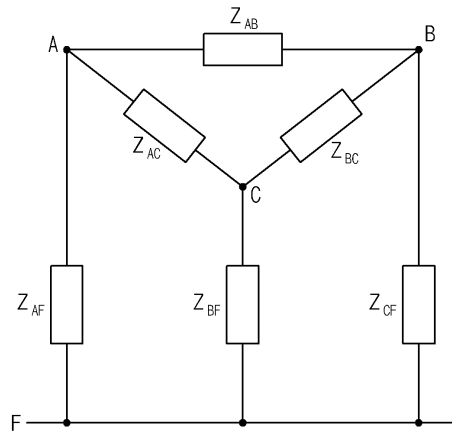
도 6 내지 8은 도 4의 스위칭부에서 수행된 연결에 따른 삼상 교류 회전 기기의 절연 상태를 도시한 등가회로.

도 9는 일반적인 절연체의 등가 회로와 절연 누설 전류의 크기와 위상을 도시한 도면.

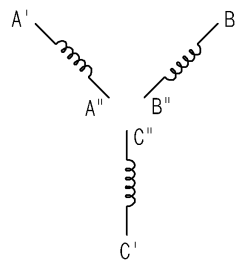
도 10은 본 발명에 따른 삼상 교류 회전 기기 절연 상태 진단 방법의 일 실시예를 수행하기 위한 개략적인 흐름도.

도면

도면1



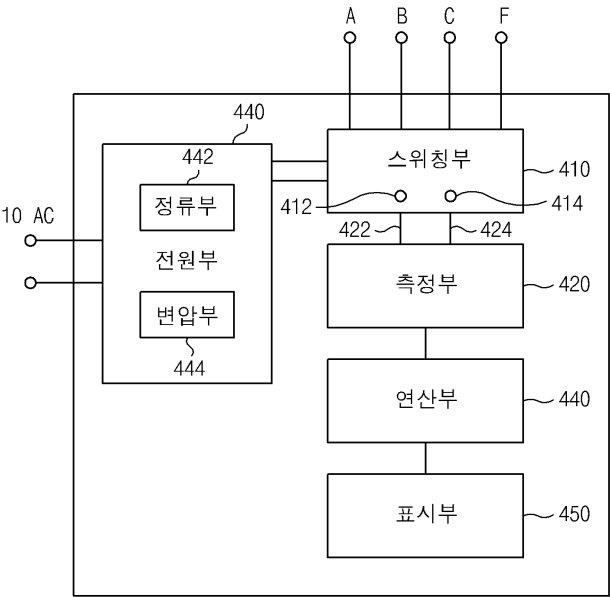
도면2



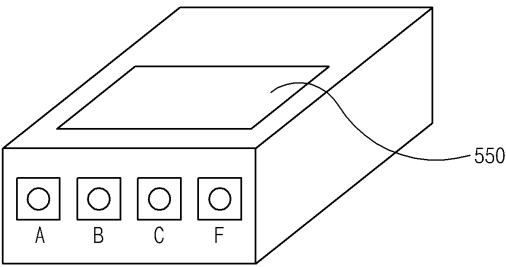
도면3

Test	Energize	Ground	Ungrounded Meter Circuit	Measure
1	A	B, C		$Z_{AF} // Z_{AB} // Z_{AC}$
2	A	C	B	$((Z_{BC} // Z_{BF}) + Z_{AB}) // Z_{AC} // Z_{AF}$
3	B	A, C		$Z_{BF} // Z_{AB} // Z_{BC}$
4	B	A	C	$((Z_{AC} // Z_{CF}) + Z_{BC}) // Z_{AB} // Z_{BF}$
5	C	A, B		$Z_{CF} // Z_{CA} // Z_{CB}$
6	C	B	A	$((Z_{AB} // Z_{AF}) + Z_{AC}) // Z_{BC} // Z_{CF}$

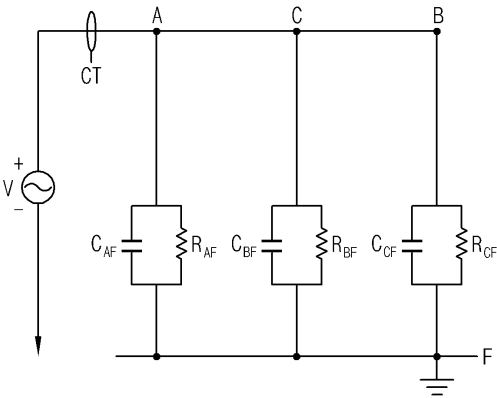
도면4



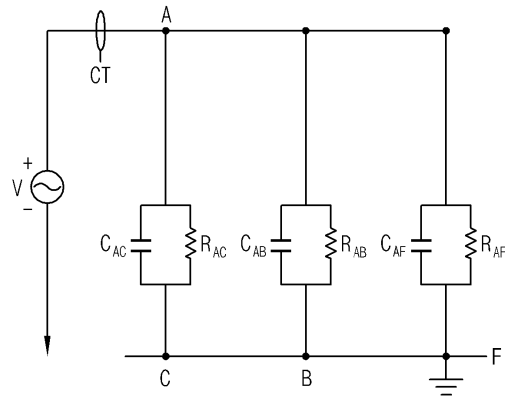
도면5



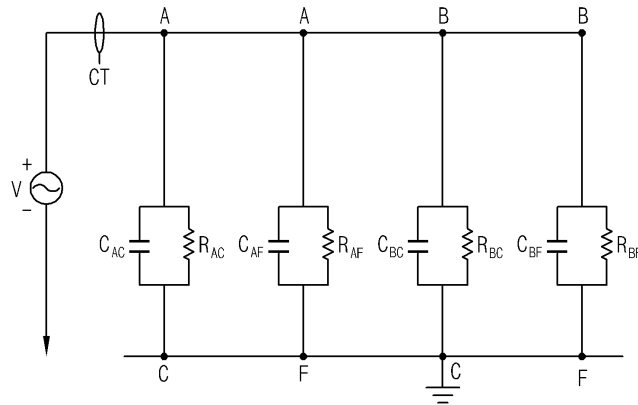
도면6



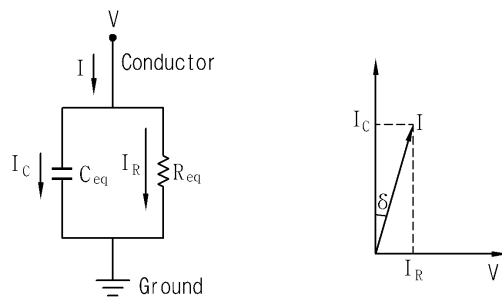
도면7



도면8



도면9



도면10

