



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0045718  
(43) 공개일자 2010년05월04일

(51) Int. Cl.

G01R 31/34 (2006.01) G01R 33/02 (2006.01)  
G01R 19/15 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-0104793

(22) 출원일자 2008년10월24일

심사청구일자 2008년10월24일

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울 성북구 안암동5가1 고려대학교 내

(72) 발명자

이상빈

서울특별시 강남구 논현동 229-15 동천 테라스 502호

홍종만

서울특별시 성북구 안암동5가 12-47번지 2층

(74) 대리인

김정식

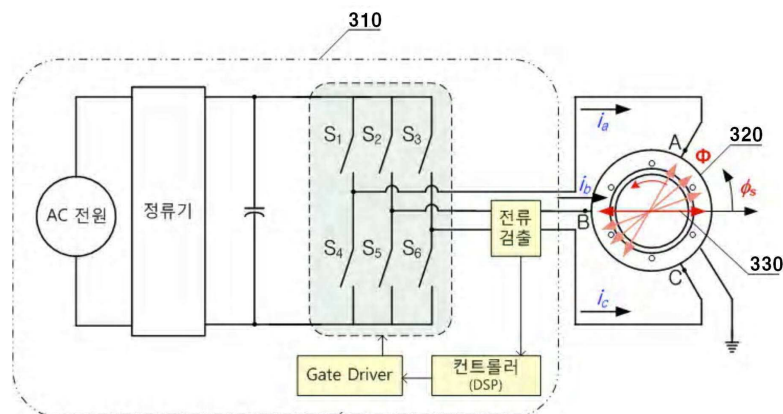
전체 청구항 수 : 총 25 항

(54) 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 장치, 방법, 및 상기 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 매체

### (57) 요약

영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 장치, 및 방법이 개시된다. 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 장치는 자계 발생부, 고정자 전류 측정부, 및 감자 상태 진단부를 포함한다. 자계 발생부는 영구 자석 동기 전동기의 회전자가 정지하는 경우 전동기의 회전자 회전축과 수직인 평면상에서 회전축을 관통하는 복수의 방향으로 각각 자계를 발생하고, 고정자 전류 측정부는 복수의 방향 각각에 대해 자계 발생시 고정자 권선에 흐르는 전류를 측정하며, 감자 상태 진단부는 복수의 자계 발생 방향과 복수의 자계 발생 방향에 대응하여 측정된 고정자 권선 전류의 값의 미리 설정된 대응 관계를 이용하여 전동기의 영구 자석의 감자 상태를 진단한다. 이와 같은 구성으로, 전동기를 분해하지 않으면서도 고가의 별도 장비 없이 용이하게 영구 자석 동기 전동기 내의 영구 자석의 감자 상태를 진단할 수 있게 된다.

대표도 - 도3



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 KRF-2008-331-D00200

부처명 한국학술진흥재단

연구사업명 신진교수연구지원사업

연구과제명 인버터를 이용한 영구자석 동기 전동기의 감자진단

주관기관 한국학술진흥재단

연구기간 2008년 07월 01일 ~ 2009년 06월 30일

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

영구 자석 동기 전동기의 회전자가 정지하는 경우 상기 전동기의 회전자 회전축과 수직인 평면상에서 상기 회전축을 관통하는 복수의 방향으로 각각 자계를 발생하는 자계 발생부;

상기 복수의 방향 각각에 대해 자계 발생시 고정자 권선에 흐르는 전류를 측정하는 고정자 전류 측정부; 및

상기 복수의 자계 발생 방향과 상기 복수의 자계 발생 방향에 대응하여 측정된 고정자 권선 전류의 값의 미리 설정된 대응 관계를 이용하여 상기 전동기의 영구 자석의 감자 상태를 진단하는 감자 상태 진단부를 포함하는 것을 특징으로 하는 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 장치.

### 청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 발생된 자계는 교번 자계인 것을 특징으로 하는 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 장치.

### 청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 감자 상태 진단부는 상기 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 고정자 권선 전류의 최대값과 최소값의 합의 절대값의 크기를 산출하고, 상기 산출된 값이 미리 설정된 값보다 작은 경우 상기 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단하는 것을 특징으로 하는 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 장치.

### 청구항 4

제 2항에 있어서,

상기 감자 상태 진단부는 상기 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 고정자 권선 전류의 평균값을 산출하고, 상기 산출된 값이 미리 설정된 값보다 작은 경우 상기 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단하는 것을 특징으로 하는 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 장치.

### 청구항 5

제 2항에 있어서,

상기 감자 상태 진단부는 상기 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 고정자 권선 전류의 미리 설정된 고조파 성분이 미리 설정된 값보다 작은 경우 상기 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단하는 것을 특징으로 하는 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 장치.

### 청구항 6

제 2항에 있어서,

상기 감자 상태 진단부는 상기 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 상기 고정자 전류값을 이용하여 산출한 전력값이 미리 설정된 값과 일치하지 않는 경우 상기 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단하는 것을 특징으로 하는 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 장치.

### 청구항 7

제 2항에 있어서,

상기 감자 상태 진단부는 상기 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 상기 고정자 전류값을 이용하여 산출한 임피던스값이 미리 설정된 값과 일치하지 않는 경우 상기 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단하는 것을 특징으로 하는 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 장치.

### 청구항 8

제 1항에 있어서,

상기 발생된 자계는 직류 펄스 자계인 것을 특징으로 하는 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 장치.

#### 청구항 9

제 8항에 있어서,

상기 감자 상태 진단부는 상기 복수의 자계 발생 방향에 대응하는 고정자 권선 전류값과 상기 복수의 자계 발생 방향과 상기 회전축에 대해 반대 방향인 자계 발생 방향에 대응하는 고정자 권선 전류값의 합의 절대값의 크기를 산출하고, 상기 산출된 값이 미리 설정된 값보다 작은 경우 상기 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단하는 것을 특징으로 하는 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 장치.

#### 청구항 10

제 9항에 있어서,

상기 감자 상태 진단부는 상기 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 고정자 권선 전류의 평균값을 산출하고, 상기 산출된 값이 미리 설정된 값보다 작은 경우 상기 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단하는 것을 특징으로 하는 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 장치.

#### 청구항 11

제 9항에 있어서,

상기 감자 상태 진단부는 상기 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 상기 고정자 전류값을 이용하여 산출한 전력값이 미리 설정된 값과 일치하지 않는 경우 상기 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단하는 것을 특징으로 하는 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 장치.

#### 청구항 12

제 9항에 있어서,

상기 감자 상태 진단부는 상기 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 상기 고정자 전류값을 이용하여 산출한 임피던스값이 미리 설정된 값과 일치하지 않는 경우 상기 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단하는 것을 특징으로 하는 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 장치.

#### 청구항 13

영구 자석 동기 전동기의 회전자가 정지하는 경우 상기 전동기의 회전자 회전축과 수직인 평면상에서 상기 회전축을 관통하는 복수의 방향으로 각각 자계를 발생하는 자계 발생 단계;

상기 복수의 방향 각각에 대해 자계 발생시 고정자 권선에 흐르는 전류를 측정하는 고정자 전류 측정 단계; 및  
상기 복수의 자계 발생 방향과 상기 복수의 자계 발생 방향에 대응하여 측정된 고정자 권선 전류의 값의 미리 설정된 대응 관계를 이용하여 상기 전동기의 영구 자석의 감자 상태를 진단하는 감자 상태 진단 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 방법.

#### 청구항 14

제 13항에 있어서,

상기 발생된 자계는 교번 자계인 것을 특징으로 하는 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 방법.

#### 청구항 15

제 14항에 있어서,

상기 감자 상태 진단 단계는 상기 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 고정자 권선 전류의 최대값과 최소값의 합의 절대값의 크기를 산출하고, 상기 산출된 값이 미리 설정된 값보다 작은 경우 상기 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단하는 것을 특징으로 하는 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 방법.

#### 청구항 16

제 14항에 있어서,

상기 감자 상태 진단 단계는 상기 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 고정자 권선 전류의 평균값을 산출하고, 상기 산출된 값이 미리 설정된 값보다 작은 경우 상기 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단하는 것을 특징으로 하는 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 방법.

#### 청구항 17

제 14항에 있어서,

상기 감자 상태 진단 단계는 상기 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 고정자 권선 전류의 미리 설정된 고조파 성분이 미리 설정된 값보다 작은 경우 상기 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단하는 것을 특징으로 하는 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 방법.

#### 청구항 18

제 14항에 있어서,

상기 감자 상태 진단 단계는 상기 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 상기 고정자 전류값을 이용하여 산출한 전력값이 미리 설정된 값과 일치하지 않는 경우 상기 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단하는 것을 특징으로 하는 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 방법.

#### 청구항 19

제 14항에 있어서,

상기 감자 상태 진단 단계는 상기 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 상기 고정자 전류값을 이용하여 산출한 임피던스값이 미리 설정된 값과 일치하지 않는 경우 상기 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단하는 것을 특징으로 하는 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 방법.

#### 청구항 20

제 13항에 있어서,

상기 발생된 자계는 직류 펄스 자계인 것을 특징으로 하는 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 방법.

#### 청구항 21

제 20항에 있어서,

상기 감자 상태 진단부는 상기 복수의 자계 발생 방향에 대응하는 고정자 권선 전류값과 상기 복수의 자계 발생 방향과 상기 회전축에 대해 반대 방향에 대응하는 고정자 권선 전류값의 합의 절대값의 크기를 산출하고, 상기 산출된 값이 미리 설정된 값보다 작은 경우 상기 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단하는 것을 특징으로 하는 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 방법.

#### 청구항 22

제 20항에 있어서,

상기 감자 상태 진단 단계는 상기 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 고정자 권선 전류의 평균값을 산출하고, 상기 산출된 값이 미리 설정된 값보다 작은 경우 상기 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단하는 것을 특징으로 하는 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 방법.

#### 청구항 23

제 20항에 있어서,

상기 감자 상태 진단 단계는 상기 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 상기 고정자 전류값을 이용하여 산출한 전력값이 미리 설정된 값과 일치하지 않는 경우 상기 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단하는 것을 특

징으로 하는 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 방법.

## 청구항 24

제 20항에 있어서,

상기 감자 상태 진단 단계는 상기 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 상기 고정자 전류값을 이용하여 산출한 임피던스값이 미리 설정된 값과 일치하지 않는 경우 상기 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단하는 것을 특징으로 하는 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 방법.

## 청구항 25

제 13 내지 24항 중 어느 한 항의 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 매체.

## 명세서

### 발명의 상세한 설명

#### 기술 분야

[0001] 본 발명은 전기 설비 진단 장치, 및 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 영구 자석 동기 전동기 내의 영구 자석의 상태를 진단하는 장치, 및 방법에 관한 것이다.

#### 배경 기술

[0002] 영구자석 동기 전동기에 사용되는 자석은 열적, 기계적, 전기적, 환경적 스트레스 등의 내·외적 요인으로 일시적으로나 영구적으로 감자(減磁)가 되거나 손상이 된다. 자석이 감자되거나 손상될 수 있는 메커니즘을 정리하면 다음과 같다.

[0003] 1. 고온에 의한 감자: 영구자석의 온도가 높아짐에 따라 자성을 완전히 잃는 온도가 존재하는데, 이를 큐리 온도 (Curie temperature)라고 한다. 자석은 높은 온도에서 구조적인 변화 (metallurgical (structural) change)가 발생하여 다시는 자화될 수 없거나 비자성체가 되는 등의 손상을 입을 수도 있다.

[0004] 2. 강한 역자계에 의한 감자: 전동기 운전 시 인버터의 스위치 단락 또는 전동기 권선의 턴간 절연 파괴에 의한 단락에 의해 큰 고장 전류가 권선에 흐른다. 이 고장전류에 의해 발생한 역방향 자계가 영구 자석의 보자력 ( $H_c$ , coercivity)을 초과할 경우, 영구자석이 감자될 수 있다.

[0005] 3. 자성체의 부식 및 산화에 의한 감자/손상: 자성체의 구조적인 변화는 앞서 설명한 고온에서만 아니라, 영구자석 표면의 부식 및 산화에 의해서도 일어날 수 있다. NdFeB 자석의 경우 특히 산화와 부식에 약한 재료적 특성을 가진다.

[0006] 산화는 영구자석이 제조된 시점으로부터 천천히 표면에서 일어나는데, 산화된 부분은 보자력이 작아지며, 자속이 약해지기 때문에 영구자석의 자력을 약화시킨다. 산화가 된 영역은 시간 또는 온도의 상승과 함께 확대되는 성질을 가지며, 자석의 기계적 강도를 약화시켜 강한 물리적 스트레스로 인해 파괴에 이르게 할 수도 있다.

[0007] 4. 동작점 변화(operating point effect)에 의한 감자: 영구자석에 걸리는 부하의 크기 변동이나, 온도의 변화에 의해 영구자석의 동작점이 변하는 경우, 일정 범위 이상 변화폭이 커지면 자기에너지 손실이 발생한다. 이 손실은 부하나 온도가 초기상태로 복귀하더라도 그대로 유지되어 영구적으로 유지된다.

[0008] 이와 같이 영구자석은 여러 가지 요인의 복합적인 효과에 의해 감자되거나 손상될 수 있으며, 실제 전동기 운전 중에 이러한 사례들이 실제로 많이 관찰된다. 영구자석이 감자되면, 전동기의 토크와 효율이 감소하고, 진동이 발생하는 등 성능이 크게 저하된다.

[0009] 이는 전동기 고장으로 이어져 전체 전동기 구동 시스템에 악영향을 미칠 수 있기 때문에 시스템의 신뢰성, 효율성, 및 안전성을 위해 영구자석의 상태를 진단하는 것이 매우 중요하다.

[0010] 영구자석의 상태를 가장 직접적으로 진단하는 방법은 전동기를 분해하여 자석의 외관, 자속 분포 등을 전반적

으로 관찰하는 것이다. 이 방법은 장시간 운전을 멈춰야 하므로 시간의 기회비용이 발생하고, 고가의 측정 장비와 분해조립에 따른 추가적인 운용 부담이 생긴다. 그러므로 영구자석의 진단법은 직접 전동기를 분해하는 방법보다는, 고정자의 권선을 통해 자속을 간접적으로 측정하는 방법이 지향된다.

[0011] 일정한 속도로 전동기를 회전시킬 때 권선에 유도되는 전압을 측정하면 자속에 비례하여 전압이 유기되기 때문에 자석의 자속을 측정할 수 있다. 그러나 이 방법은 부하를 전동기에서 분리시켜야 하고, 다른 전동기를 진단하고자 하는 전동기에 연결하여 일정한 속도로 회전시켜야 하기 때문에 번거롭다는 단점이 있다.

[0012] 전동기의 등가 모델을 기반으로 운전 중에 전동기의 자속을 추정하여 영구자석의 상태를 온라인으로 진단하는 방법도 있으나 이 방법은 전동기의 저항과 인덕턴스를 정확히 알고 있어야 한다. 이와 같은 파라미터들은 측정하기 위해 고가의 장비가 필요할 뿐만 아니라 온도나 포화 등에 따라 변하기 때문에 정확하고 일관성 있는 결과를 얻기 힘들다.

[0013]

## 발명의 내용

### 해결 하고자하는 과제

[0014] 본 발명은 상술한 종래의 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로서, 전동기를 분해하지 않으면서도 고가의 별도 장비 없이 용이하게 영구자석 동기 전동기 내의 영구 자석의 상태를 진단할 수 있는 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

### 과제 해결수단

[0015] 상기 목적을 달성하기 위해 본 발명에 따른 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 장치는 자계 발생부, 고정자 전류 측정부, 및 감자 상태 진단부를 포함한다.

[0016] 자계 발생부는 영구 자석 동기 전동기의 회전자가 정지하는 경우 전동기의 회전자 회전축과 수직인 평면상에서 회전축을 관통하는 복수의 방향으로 각각 자계를 발생하고, 고정자 전류 측정부는 복수의 방향 각각에 대해 자계 발생시 고정자 권선에 흐르는 전류를 측정하며, 감자 상태 진단부는 복수의 자계 발생 방향과 복수의 자계 발생 방향에 대응하여 측정된 고정자 권선 전류의 값의 미리 설정된 대응 관계를 이용하여 전동기의 영구 자석의 감자 상태를 진단한다.

[0017] 이와 같은 구성으로, 전동기를 분해하지 않으면서도 고가의 별도 장비 없이 용이하게 영구 자석 동기 전동기 내의 영구 자석의 감자 상태를 진단할 수 있게 된다.

[0018] 이때, 발생된 자계는 교번 자계일 수 있고, 직류 펄스 자계일 수도 있다.

[0019] 발생된 자계가 교번 자계인 경우, 감자 상태 진단부는 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 고정자 권선 전류의 최대값과 최소값의 합의 절대값의 크기를 산출하고, 산출된 값이 미리 설정된 값보다 작은 경우 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단할 수 있다.

[0020] 또한, 감자 상태 진단부는 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 고정자 권선 전류의 미리 설정된 고조파 성분이 미리 설정된 값보다 작은 경우 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단할 수 있다.

[0021] 자계 발생부가 직류 펄스 자계인 경우, 감자 상태 진단부는 복수의 자계 발생 방향에 대응하는 고정자 권선 전류값과 상기 복수의 자계 발생 방향과 회전축에 대해 반대 방향에 대응하는 고정자 권선 전류값의 합의 절대값의 크기를 산출하고, 산출된 값이 미리 설정된 값보다 작은 경우 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단할 수 있다.

[0022] 이외에도, 감자 상태 진단부는 교번 자계나 직류 펄스 자계에 대해, 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 고정자 권선 전류의 평균값을 산출하고, 상기 산출된 값이 미리 설정된 값보다 작은 경우 상기 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단할 수 있다.

[0023] 또한, 감자 상태 진단부는 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 고정자 전류값을 이용하여 산출한 전력값이 미리 설정된 값과 일치하지 않는 경우 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단할 수 있다.

[0024] 또한, 감자 상태 진단부는 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 고정자 전류값을 이용하여 산출한 임피던스

값이 미리 설정된 값과 일치하지 않는 경우 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단할 수 있다.

[0025] 아울러, 상기 장치를 방법의 형태로 구현한 발명과 그 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 매체가 개시된다.

## 효 과

[0026] 본 발명에 의해, 전동기를 분해하지 않으면서도 고가의 별도 장비 없이 용이하게 영구자석 동기 전동기 내의 영구 자석의 상태를 진단할 수 있게 된다.

## 발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0027] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명한다.

[0028] 도 1은 영구 자석 동기 전동기의 구조를 개략적으로 도시한 도면이다.

[0029] 영구자석 동기 전동기는 고정자(120)에 감겨 있는 고정자 권선(130)에 의해 발생하는 자속  $\phi_s$ 와, 회전자(110)에 부착된 영구자석(140)에 의해 발생하는 자속  $\phi_r$ 에 의해 회전 토크  $\tau$ 가 발생하며 그 크기는 두 자속의 외적에 비례한다.  $\phi_r$ 의 방향은 영구자석의 N극의 방향으로 정하며,  $\phi_s$ 의 방향은 고정자권선의 전류에 의해 각각 발생하는 자속들의 합으로써, 입력 전압의 주파수에 비례하는 속도로 회전한다.

[0030] 영구자석 동기 전동기는 회전 속도가 입력 전압의 주파수에 비례하므로, 원하는 속도로 회전 시키기 위해서는 입력 주파수를 임의대로 조정할 수 있어야 하며, 이를 위하여 일반적으로 인버터를 이용하여 구동 시스템을 구성한다.

[0031] 도 2는 본 발명에 따른 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 장치의 일 실시예의 개략적인 블록도이다.

[0032] 도 2에서, 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 장치(200)는 자계 발생부(210), 고정자 전류 측정부(220), 및 감자 상태 진단부(230)를 포함한다.

[0033] 자계 발생부(210)는 영구 자석 동기 전동기의 회전자가 정지하는 경우 전동기의 회전자 회전축과 수직인 평면 상에서 회전축을 관통하는 복수의 방향으로 각각 자계를 발생한다. 이때, 발생된 자계는 교번 자계일 수 있고, 직류 펄스 자계일 수도 있다.

[0034] 고정자 전류 측정부(220)는 복수의 방향 각각에 대해 자계 발생시 고정자 권선에 흐르는 전류를 측정한다.

[0035] 감자 상태 진단부(230)는 복수의 자계 발생 방향과 복수의 자계 발생 방향에 대응하여 측정된 고정자 권선 전류의 값의 미리 설정된 대응 관계를 이용하여 전동기의 영구 자석의 감자 상태를 진단한다.

[0036] 발생된 자계가 교번 자계인 경우, 감자 상태 진단부(230)는 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 고정자 권선 전류의 최대값과 최소값의 합의 절대값의 크기를 산출하고, 산출된 값이 미리 설정된 값보다 작은 경우 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단할 수 있다.

[0037] 또한, 감자 상태 진단부(230)는 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 고정자 권선 전류의 미리 설정된 고조파 성분이 미리 설정된 값보다 작은 경우 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단할 수 있다.

[0038] 발생된 자계가 직류 펄스 자계인 경우, 감자 상태 진단부(230)는 복수의 자계 발생 방향에 대응하는 고정자 권선 전류값과 상기 복수의 자계 발생 방향과 회전축에 대해 반대 방향에 대응하는 고정자 권선 전류값의 합의 절대값의 크기를 산출하고, 산출된 값이 미리 설정된 값보다 작은 경우 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단할 수 있다.

[0039] 이 외에도, 감자 상태 진단부(230)는 교번 자계나 직류 펄스 자계에 대해, 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 고정자 권선 전류의 평균값을 산출하고, 상기 산출된 값이 미리 설정된 값보다 작은 경우 상기 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단할 수 있다.

[0040] 또한, 감자 상태 진단부(230)는 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 고정자 전류값을 이용하여 산출한 전력 값이 미리 설정된 값과 일치하지 않는 경우 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단할 수 있다.

[0041] 또한, 감자 상태 진단부(230)는 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 고정자 전류값을 이용하여 산출한 임피

던스값이 미리 설정된 값과 일치하지 않는 경우 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단할 수 있다.

- [0042] 도 3은 인버터를 이용하여 도 2의 영구 자석 감자 상태 진단 장치의 일 실시예를 구현한 개념도이다.
- [0043] 도 3에서, 정류기(310)는 고정 주파수의 AC전원을 입력받아 DC전원으로 바꾸며, 이 DC전원은 스위칭 소자  $S_1 \sim S_6$ 을 통해 임의의 주파수를 가지는 AC전원으로 바뀐다.
- [0044] 전류 센서는 동기 전동기의 입력단에 흐르는 전류를 측정하며 이값은 컨트롤러에 입력된다. 컨트롤러는 여러 종류의 마이컴이 사용될 수 있으며, 입력받은 전류값과 지령 속도/토크 등을 이용하여 일련의 연산과정을 거친 뒤 스위칭 소자의 온/오프 신호를 발생시킨다.
- [0045] 본 실시예에서는 전동기가 멈추었을 때마다, 인버터 스위칭을 이용하여 전동기에 교번 자계를 인가한 후, 포화에 의한 전류의 변화 크기를 관찰하여 영구자석의 상태를 진단한다.
- [0046] 그러나, 다른 실시예에서는 인버터가 아닌 다른 별도의 장치를 이용하여 영구 자석 동기 전동기에 교번 자계를 발생시키고, 이 때의 동기 전동기에 흐르는 전류를 측정함으로써, 영구 자석의 감자 상태를 진단할 수도 있다.
- [0047] 동기 전동기의 속도 및 토크의 가변적이면서도 정밀한 제어를 위하여 AC전원을 직류로 변환하고 이를 다시 원하는 교류 신호로 바꾸는 인버터(310)가 필요하다. 이 인버터의 스위칭을 이용하여 영구자석 동기전동기(320)에 교번 자계(330)를 인가한다.
- [0048] 예를 들면, 도 3에서 자계가  $s = 0^\circ$ 와  $180^\circ$  위치에 교대로 발생하도록 스위칭해 주는 방식으로 교번 자계를 발생시키고, 자계의 위치를 일정한 각도로 회전시킨다.
- [0049] 고정자 권선에 전압을 인가하면 전류가 흐르는데, 이 전류는 인가되는 전압에 의한 자계와 영구자석에서 발생하는 자계와의 상호 작용과, 코어의 포화에 의해 크기가 결정된다. 대부분의 영구자석 동기 전동기에서 영구자석이 발생시키는 자계는 코어를 포화시킬 정도의 값에 가깝게 설계된다.
- [0050] 도 4는 자속과 영구 자석의 상대적인 방향에 따른 코어의 포화를 도시한 그래프이다.
- [0051] 도 4에서 확인할 수 있는 바와 같이, 권선에서 발생하는 자계가 영구자석의 자계와 동일한 방향으로 정렬되어 있는 경우, 두 자속이 중첩되어 코어가 포화되어, 전류가  $i_{1p}$ 에서  $i_{2p}$ 로 ‘크게 증가’ 한다.
- [0052] 반대로 영구자석의 자속과 권선에서 발생하는 자속이 반대 방향으로 정렬되어 있는 경우 두 자속이 상쇄되어 전류가  $i_{1n}$ 에서  $i_{2n}$ 으로 자속의 감소에 ‘비례하여 감소’ 한다.
- [0053] 그러므로 회전자의 영구자석 N극이  $s = 0^\circ$  위치에 있을 때, 교번자계를  $s = 0^\circ$ 와  $180^\circ$  위치에 교대로 발생시키면 양(+)의 전류가 음(-)의 전류보다 큰 형태로 도 5에서와 같이 흐르게 된다.
- [0054] 도 5는 자속과 영구 자석의 상대적인 방향에 따른 코어의 포화도에 따른 전류 파형을 도시한 그래프이다.
- [0055] 여기서 전류 최대치( $i_p > 0$ )와 최소치( $i_n < 0$ )의 합( $i_{pn} = i_p + i_n$ )은 코어가 포화된 정도에 비례하며, 영구자석의 자속을 나타내는 척도로 사용할 수 있다. 회전자의 영구자석 N극이  $s = 0^\circ$  위치에 있을 때, 교번자계를  $s = 90^\circ$ 와  $270^\circ$  위치에 교대로 발생시키면 전류의 최대치( $i_p$ )와 최소치( $i_n$ )의 크기가 같아 합이 0이 된다.
- [0056] 이와 같이 교번 자계의 각도를 증가시키며 전류의 최대치와 최소치의 합을 구하면, 정상적인 자석을 가진 동기 전동기에서는 도 5에 나타난 것과 같은 파형이 된다. 여기서  $i_p$ 와  $i_n$ 의 값을 구할 때, 각 상의 전류를 측정하는 다 음, 좌표축 변환을 통해 인가한 자속의 축방향 전류 성분을 계산한다.
- [0057] 여기서 자속의 축방향 전류 성분을 계산하는 것은 각각의 상전류보다 축방향 전류 성분이 영구 자석의 자속에 의해 가장 큰 폭으로 변하기 때문이며, 각각의 상전류만으로도 영구 자석의 자속의 크기를 파악할 수도 있다.
- [0058] 코어의 포화에 의한 전류 차이를 이용하는 것은 영구 자석 동기 전동기(PMSM)의 초기 위치 측정에 활용되는 방법으로 주로 직류 자계를 이용한다. 본 발명은 직류가 아닌 교류 교번자계를 인가하며 그 이유는 진단시 전동기의 축에 토크가 발생하지 않도록 하기 위해서이다.
- [0059] 만약에 영구자석이 전체적으로 균일하게 감자되면, 같은 크기의 교번자계를 인가해 주었을 때 정상인 자석일 때

와 비교하여 포화가 덜 되기 때문에, 전류의 최대치와 최소치의 합( $i_{pn}$ )은 정상적인 경우에 비해 전체적인 크기가 줄어들게 된다. 또한, 영구자석이 국부적으로 감자되거나 손상되면,  $i_{pn}$ 은 해당 영역에서만  $i_{pn}$ 의 크기가 줄어들어 왜곡된다.

- [0060] 도 6은 영구 자석의 국부적인 감자를 도시한 개략적인 도면이고, 도 7은 영구 자석의 전체적, 및 국부적 감자에 의한 전류 파형의 변화를 도시한 그래프이다.
- [0061] 본 발명은 이와 같이 교번자계의 위상각에 따른 고정자 권선 전류의 최대-최소값의 합( $i_{pn}$ )의 크기변화와 왜곡 정도를 측정하여 영구자석의 전반적인 상태를 진단하는 방법을 제시한다.
- [0062] 교번 자계 대신 직류 펄스 자계를 이용할 수도 있는데, 교번 자계 대신 직류 펄스 자계를 이용하는 경우 직류 펄스 전압을 임의의 각도  $\theta^\circ$ 로 인가할 때 흐르는 전류와, 반대 방향의 각도  $(\theta-180)^\circ$ 로 인가할 때 흐르는 전류의 최대값을 각각 측정하여 이 값들의 차이를 구하는 방법으로 영구 자석의 상태를 진단할 수 있다.
- [0063] 이때 직류 펄스 자계의 각도  $\theta$ 를 바꾸는 방법이나 순서에 관계없이, 임의의 각도와 반대 방향의 각도에 대한 각각의 전류를 비교하면 진단이 가능하며, 비교 방법은 교번 자계를 인가하였을 때와 동일하다.
- [0064] 또한, 상기한 고정자 권선 전류의 최대-최소값의 합의 크기 변화를 이용하는 방법 외에 다른 방법으로도 영구 자석의 상태를 진단할 수 있다.
- [0065] 고정자 권선 전류 크기의 평균값 역시 최대-최소값의 합과 마찬가지로 영구 자석이 감자되면 그 크기가 줄어든다. 고정자 권선 전류의 특정 고조파 성분도 영구 자석이 감자됨에 따라 그 크기가 줄어든다.
- [0066] 동기 전동기에 인가되는 전압을 인버터의 스위칭 패턴을 통해 알 수 있으므로 이를 고정자 권선 전류와 함께 이용하면, 유효/무효 전력, 임피던스의 크기/위상, 임피던스의 실수/허수부 값의 변화를 계산할 수 있고, 이로부터 영구 자석의 상태를 진단할 수도 있다.
- [0067] 도 8은 본 발명에 따른 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 방법의 일 실시예를 수행하기 위한 개략적인 흐름도이다.
- [0068] 먼저, 영구 자석 동기 전동기의 회전자가 정지하는 경우 전동기의 회전자 회전축과 수직인 평면상에서 회전축을 관통하는 복수의 방향으로 각각 자계를 발생한다(S110). 이때, 발생된 자계는 교번 자계일 수 있고, 직류 펄스 자계일 수도 있다.
- [0069] 다음으로, 복수의 방향 각각에 대해 자계 발생시 고정자 권선에 흐르는 전류를 측정한다(S120).
- [0070] 마지막으로, 복수의 자계 발생 방향과 복수의 자계 발생 방향에 대응하여 측정된 고정자 권선 전류의 값의 미리 설정된 대응 관계를 이용하여 전동기의 영구 자석의 감자 상태를 진단한다(S130).
- [0071] 이때, 발생된 자계는 교번 자계일 수 있고, 직류 펄스 자계일 수도 있다.
- [0072] 발생된 자계가 교번 자계인 경우, 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 고정자 권선 전류의 최대값과 최소값의 합의 절대값의 크기를 산출하고, 산출된 값이 미리 설정된 값보다 작은 경우 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단할 수 있다.
- [0073] 영구자석 동기 전동기는 거의 모두 인버터를 포함하는 구동시스템을 통해 운용된다. 본 발명은 인버터의 전류센서와 컨트롤러 등 기존의 하드웨어 자원을 그대로 이용하여 추가적인 하드웨어 소요가 발생하지 않아 비용을 최소화 할 수 있다. 또한, 전동기가 정지상태일 때마다 빠른 시간 내에 진단할 수 있어 시간이 오래 걸리고 큰 비용을 치러야 하는 기존의 진단 방법에 비해 획기적이다.
- [0074] 교번 자계를 인가하여 영구자석 동기 전동기를 분석하는 방법은 영구자석의 감자 진단뿐만 아니라 전류, 전력의 분석을 통해 전동기 코어의 문제, 회전자 중심축의 문제, 편심에 의한 문제 등을 추가적으로 진단할 수 있다. 또한, 영구자석 동기 전동기의 정밀 제어에 필요한 회전자의 초기위치를 별도의 센서 없이 검출해 낼 수 있다.
- [0075] 또한, 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 고정자 권선 전류의 미리 설정된 고조파 성분이 미리 설정된 값보다 작은 경우 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단할 수도 있다.
- [0076] 발생된 자계가 직류 펄스 자계인 경우, 복수의 자계 발생 방향에 대응하는 고정자 권선 전류값과 상기 복수의 자계 발생 방향과 회전축에 대해 반대 방향에 대응하는 고정자 권선 전류값의 합의 절대값의 크기를 산출하고,

산출된 값이 미리 설정된 값보다 작은 경우 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단할 수 있다.

- [0077] 이외에도, 교번 자계나 직류 펄스 단계에 대해, 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 고정자 권선 전류의 평균값을 산출하고, 상기 산출된 값이 미리 설정된 값보다 작은 경우 상기 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단할 수도 있다.
- [0078] 또한, 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 고정자 전류값을 이용하여 산출한 전력값이 미리 설정된 값과 일치하지 않는 경우 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단할 수도 있다.
- [0079] 또한, 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 고정자 전류값을 이용하여 산출한 임피던스값이 미리 설정된 값과 일치하지 않는 경우 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단할 수도 있다.
- [0080] 감자 상태의 진단을 위해, 복수의 자계 발생 방향 각각에 대응하여 고정자 권선 전류의 최대값과 최소값의 합의 절대값의 크기를 산출하고, 산출된 값이 미리 설정된 값보다 작은 경우 전동기의 영구 자석이 감자된 것으로 진단할 수 있으며, 특히, 산출된 값이 미리 설정된 값보다 작은 경우에 대응하는 자계 발생 방향에 위치하는 영구 자석의 영역이 감자된 것으로 진단할 수 있다.
- [0081] 본 발명에서는 영구자석 동기 전동기에 교번 자계를 인가하여 코어가 영구자석에 의해 포화되는 현상을 이용하여 영구자석의 상태를 진단하는 기술 등을 제시하고 있다.
- [0082] 본 발명이 비록 일부 바람직한 실시예에 의해 설명되었지만, 본 발명의 범위는 이에 의해 제한되어서는 아니 되고, 특허청구범위에 의해 뒷받침되는 상기 실시예의 변형이나 개량에도 미쳐야 할 것이다.

[0083]

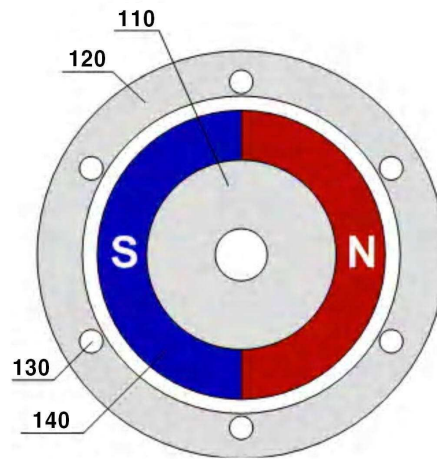
[0084]

### 도면의 간단한 설명

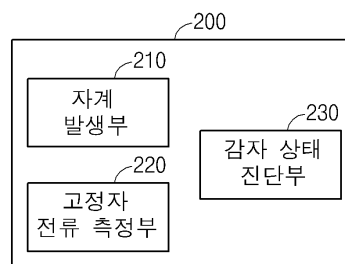
- [0085] 도 1은 영구 자석 동기 전동기의 구조를 개략적으로 도시한 도면.
- [0086] 도 2는 본 발명에 따른 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 장치의 일 실시예의 개략적인 블록도.
- [0087] 도 3은 인버터를 이용하여 도 2의 영구 자석 감자 상태 진단 장치를 구현한 개념도.
- [0088] 도 4는 자속과 영구 자석의 상대적인 방향에 따른 코어의 포화를 도시한 그래프.
- [0089] 도 5는 자속과 영구 자석의 상대적인 방향에 따른 코어의 포화도에 따른 전류 파형을 도시한 그래프.
- [0090] 도 6은 영구 자석의 국부적인 감자를 도시한 개략적인 도면.
- [0091] 도 7은 영구 자석의 전체적, 및 국부적 감자에 의한 전류 파형의 변화를 도시한 그래프.
- [0092] 도 8은 본 발명에 따른 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석 감자 상태 진단 방법의 일 실시예를 수행하기 위한 개략적인 흐름도.

도면

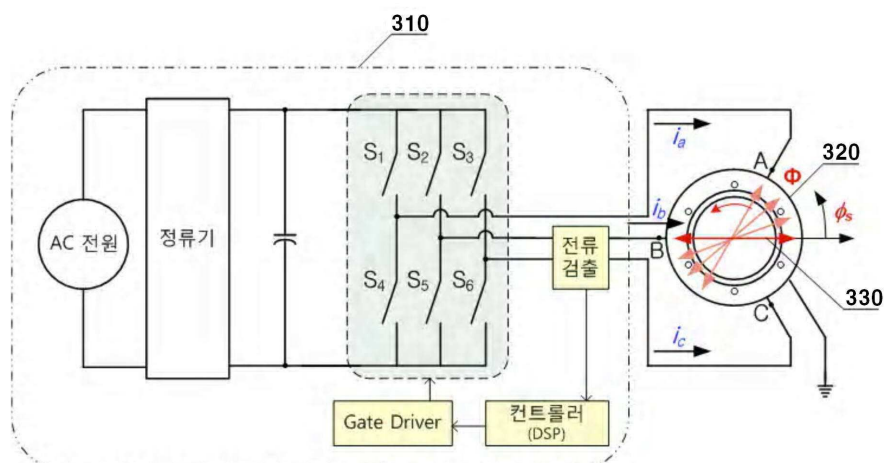
도면1



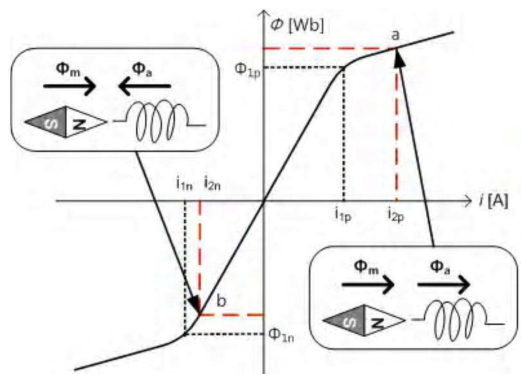
도면2



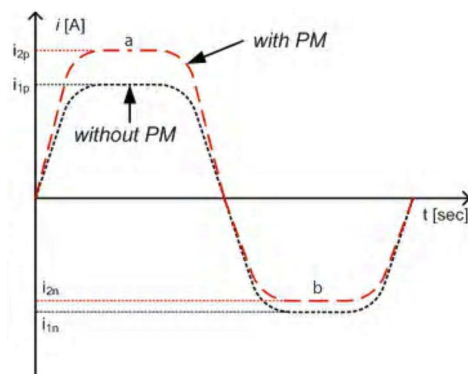
도면3



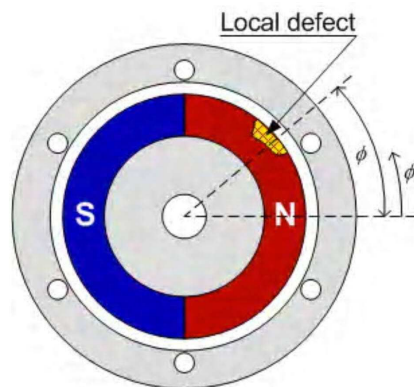
도면4



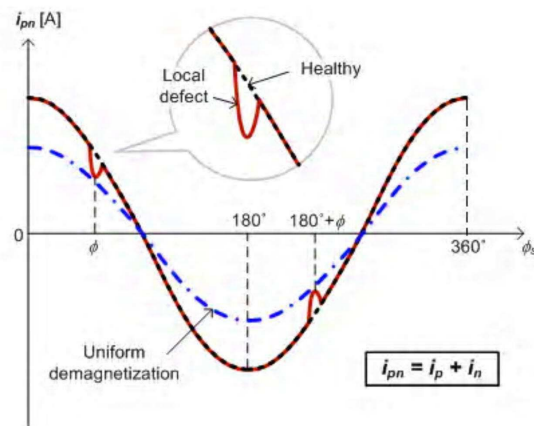
도면5



도면6



도면7



도면8

