



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 공개특허공보(A)**

(11) 공개번호 10-2014-0024331  
 (43) 공개일자 2014년02월28일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*H02P 21/04* (2006.01) *H02P 6/04* (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2013-7027609
- (22) 출원일자(국제) 2012년03월26일  
 심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2013년10월21일
- (86) 국제출원번호 PCT/GB2012/050658
- (87) 국제공개번호 WO 2012/131344  
 국제공개일자 2012년10월04일
- (30) 우선권주장  
 1105093.7 2011년03월25일 영국(GB)

- (71) 출원인  
**테크넬렉 엘티디**  
 영국 오크햄 엘이15 6큐더블유 스테이션 어프로치  
 에디슨 하우스
- (72) 발명자  
**폴락 찰스**  
 영국 오크햄 엘이15 6큐더블유 스테이션 어프로치  
 에디슨 하우스
- 폴락 헬렌**  
 영국 오크햄 엘이15 6큐더블유 스테이션 어프로치  
 에디슨 하우스
- (74) 대리인  
**리엔목특허법인**

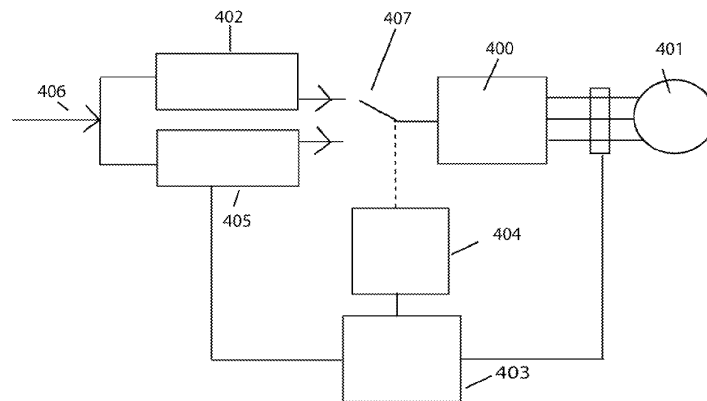
전체 청구항 수 : 총 21 항

(54) 발명의 명칭 **전기 기계를 제어하는 방법 및 장치**

**(57) 요약**

개방 루프 방법들은 EMF가 검출될 수 있고 센서리스 제어로의 신뢰성 있는 천이가 이루어질 수 있을 때까지 주파수를 증가시킴으로써 전동기를 시동하는데 일반적으로 사용된다. 본 발명의 목적은 개방 루프 제어가 동기 전동기를 구동시키는데 사용되는 시간 동안 동작하는 관측기를 개시하는 것이며, 상기 관측기의 출력은 전류 여자 벡터 및 회전 EMF 벡터 간의 각도에 관련된 신호  $E_{l\_angle}$ 이고, 상기 관측기는 합산 항(summation term)을 합체하는 반복 계산으로 상기 각도를 결정하며, 상기 합산 항은 추정된 EMF 위치 벡터에 대한 회전 EMF 벡터의 직각 성분의 변화를 합산하고, 상기 관측기는 상기 관측기의 각도 출력을 사용하여 상기 회전 EMF 위치 벡터의 추정치를 업데이트한다. 본 발명의 부가적인 실시태양에서는, 관측기 출력 신호  $E_{l\_angle}$ 이 인출 조건들에 근접한 조건들을 나타내는 값에 이르게 될 때 관측기 출력 신호  $E_{l\_angle}$ 이 폐루프 제어로의 천이를 결정하는데 사용될 수 있다.

**대표도** - 도9



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

전기 기계용 제어 시스템으로서,  
상기 전기 기계용 제어 시스템은,

개방 루프 제어가 전기 기계를 구동시키는데 사용되는 시간 동안 동작하도록 구성된 관측기로서, 전기 기계를 제어하도록 구성된 인버터에 의해 제공되는 전류 여자 벡터 및 회전 EMF 벡터 간의 각도에 관련된 신호  $E\_L\_angle$ 을 출력하도록 부가적으로 구성된 관측기를 포함하고,

상기 관측기는 합산 항(summation term)을 포함하는 반복 계산으로 상기 각도를 결정하도록 구성되며, 상기 합산 항은 추정된 EMF 위치 벡터에 대한 회전 EMF 벡터의 직각 성분의 변화를 합산하고,

상기 전기 기계용 제어 시스템은 상기 관측기에 의해 출력된 각도를 사용하여 상기 회전 EMF 위치 벡터의 추정된 각도 위치를 업데이트하도록 구성되는, 전기 기계용 제어 시스템.

### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 관측기는 관측기 출력 신호  $E\_L\_angle$ 을 사용하여, 관측기 출력 신호가 인출 조건들에 근접한 조건들을 나타내는 임계값 미만인 값에 이르게 될 경우에 페루프 제어로의 천이 시간을 결정하도록 구성되는, 전기 기계용 제어 시스템.

### 청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 회전 EMF 벡터 및 상기 전류 여자 벡터 간의 큰 각도로 나타낸 비교적 낮은 부하 토크 레벨들 동안, 상기 관측기가 상기 전류 여자 벡터의 크기를 감소시키라고 상기 인버터에 지시하도록 구성되기 위해 상기 관측기가 관측기 출력 신호  $E\_L\_angle$ 을, 개방 루프 구동 전기 기계용 토크 모니터링 시스템으로서 사용하도록 구성되는, 전기 기계용 제어 시스템.

### 청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 회전 EMF 벡터 및 상기 전류 여자 벡터 간의 작은 각도로 나타낸 비교적 높은 부하 토크 레벨들 동안, 상기 관측기가 상기 전류 여자 벡터의 크기를 증가시키라고 상기 인버터에 지시하도록 구성되기 위해 상기 관측기가 관측기 출력 신호  $E\_L\_angle$ 을, 개방 루프 구동 전기 기계용 토크 모니터링 시스템으로서 사용하도록 구성되는, 전기 기계용 제어 시스템.

### 청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 회전 EMF 벡터 및 상기 전류 여자 벡터 간의 큰 각도로 나타낸 비교적 낮은 부하 토크 레벨들 동안, 관측기 출력 신호  $E\_L\_angle$ 이 인출 조건들에 근접한 조건들을 나타내는 임계값 미만인 값에 이르게 되고 페루프 제어로의 유연한 천이가 개시될 수 있을 때까지 상기 관측기가 상기 전류 여자 벡터의 크기를 점진적으로 감소시키라고 상기 인버터에 지시하도록 구성되기 위해 상기 관측기가 관측기 출력 신호  $E\_L\_angle$ 을, 개방 루프 구동 전기 기계용 토크 모니터링 시스템으로서 사용하도록 구성되는, 전기 기계용 제어 시스템.

### 청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 전기 기계용 제어 시스템은 동기 전동기를 제어하도록 구성되는, 전기 기계용 제어 시스템.

### 청구항 7

전기 기계를 제어하는 제어 시스템에서 사용하기 위한 관측기로서,

상기 관측기는, 개방 루프 제어가 전기 기계를 구동하는데 사용되는 시간 동안 동작하도록 구성되고, 전기 기계를 제어하도록 구성된 인버터에 의해 제공되는 전류 여자 벡터 및 회전 EMF 벡터 간의 각도에 관련된 신호

$E\_l\_angle$ 을 출력하도록 부가적으로 구성되며,

상기 관측기는 합산 항을 포함하는 반복 계산으로 상기 각도를 결정하도록 구성되고, 상기 합산 항은 추정된 EMF 위치 벡터에 대한 회전 EMF 벡터의 직각 성분의 변화를 합산하는, 관측기.

**청구항 8**

전기 기계를 제어하는 방법에 있어서,

상기 전기 기계의 제어 방법은,

개방 루프 제어가 전기 기계를 구동하는데 사용되는 시간 동안 관측기를 동작시키는 단계로서, 상기 관측기의 출력이 전기 기계를 제어하도록 구성된 인버터에 의해 제공되는 전류 여자 벡터 및 회전 EMF 벡터 간의 각도에 관련된 신호  $E\_l\_angle$ 인 단계;

합산 항을 포함하는 반복 계산으로 상기 각도를 상기 관측기를 사용하여 결정하는 단계로서, 상기 합산 항은 추정된 EMF 위치 벡터에 대한 회전 EMF 벡터의 직각 성분의 변화를 합산하는 단계; 및

상기 관측기에 의해 출력된 각도를 사용하여 상기 회전 EMF 위치 벡터의 추정된 각도 위치를 업데이트하는 단계;

를 포함하는, 전기 기계의 제어 방법.

**청구항 9**

개방 루프 제어 구성에서 동작하는 전기 기계를 제어하는 방법에 있어서,

상기 전기 기계의 제어 방법은,

상기 전기 기계를 제어하기 위해 제공되는 전류 여자 벡터 및 회전 EMF 벡터 간의 각도  $E\_l\_angle$ 을 결정하는 단계; 및

상기 전기 기계에 하나 이상의 제어 신호들을 인가하는 단계로서, 상기 제어 신호들은  $E\_l\_angle$ 에 의존하여 결정되는 단계;

를 포함하는, 전기 기계의 제어 방법.

**청구항 10**

제9항에 있어서, 상기  $E\_l\_angle$ 은 합산 항을 포함하는 반복 계산으로 결정되며, 상기 합산 항은 추정된 EMF 위치 벡터에 대한 회전 EMF 벡터의 직각 성분의 변화를 합산하고,

상기 전기 기계의 제어 방법은,

상기  $E\_l\_angle$ 을 기반으로 하여 상기 EMF 위치 벡터를 업데이트하는 단계;

를 부가적으로 포함하는, 전기 기계의 제어 방법.

**청구항 11**

제10항에 있어서, 상기  $E\_l\_angle$ 은 이하의 수학적식

$$E\_l\_angle = \sum k_i (0 - E_{s\_imag}) - k_p E_{s\_imag}$$

에 의해 결정되고, 상기 수학적식 중,  $E_{s\_imag}$  는 상기 회전 EMF 벡터의 직각 성분이며,  $k_i$  는  $E_{s\_real}$ 에 반비례하게 되는 이득이고  $k_p$  는 이득값인, 전기 기계의 제어 방법.

**청구항 12**

제11항에 있어서,  $k_p$  는  $E_{s\_real}$ 에 반비례하게 되는, 전기 기계의 제어 방법.

**청구항 13**

제9항 내지 제12항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 전기 기계에 하나 이상의 제어 신호들을 인가하는 단계는 개방 루프 제어 구성으로부터 폐루프 센서리스 제어 구성으로의 천이 단계를 포함하는, 전기 기계의 제어 방법.

**청구항 14**

제13항에 있어서, 개방 루프 제어 구성으로부터 폐루프 센서리스 제어 구성으로의 천이 단계는 인출값으로 나타낸 임계값보다 작거나 같은  $E_L\ angle$ 의 크기에 그리고 상기 전기 기계에 이미 인가된 최대 전류 여자에 의존하여 수행되는, 전기 기계의 제어 방법.

**청구항 15**

제9항 내지 제14항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 전기 기계에 하나 이상의 제어 신호들을 인가하는 단계는  $E_L\ angle$ 이 음(-)이고 인출 각도로 나타낸 임계값보다 큰 크기를 지니는 경우에 상기 전기 기계에 상기 전류 여자를 감소시키는 단계를 포함하는, 전기 기계의 제어 방법.

**청구항 16**

제9항 내지 제15항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 전기 기계에 하나 이상의 제어 신호들을 인가하는 단계는  $E_L\ angle$ 의 크기가 인출 각도로 나타낸 임계값보다 작고 상기 최대 여자 전류가 상기 전기 기계에 아직 인가되지 않은 경우에 상기 전기 기계에 상기 전류 여자를 증가시키는 단계를 포함하는, 전기 기계의 제어 방법.

**청구항 17**

제15항 또는 제16항에 있어서, 상기 여자 전류의 증가 또는 감소는 미리 결정된 증분값 만큼으로 이루어지는, 전기 기계의 제어 방법.

**청구항 18**

컴퓨터 프로그램 코드가 수록된 컴퓨터 판독가능 매체로서, 상기 컴퓨터 프로그램 코드는 컴퓨터에 의해 판독될 경우에 제8항 내지 제17항 중 어느 한 항의 방법을 수행하도록 구성되는, 컴퓨터 판독가능 매체.

**청구항 19**

전기 기계를 제어하는 제어 시스템에서 사용하기 위한 관측기로서, 상기 관측기는 제9항 내지 제17항 중 어느 한 항에 따른 방법을 수행하도록 구성되는, 관측기.

**청구항 20**

제19항에 따른 관측기를 포함하는 전기 기계를 제어하기 위한 제어 시스템.

**청구항 21**

제20항에 따른 제어 시스템을 포함하는 전기 기계.

**명세서**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 전기 기계들의 제어에 관한 것이다. 좀더 구체적으로 기술하면, 본 발명은 브러시리스 동기 전기 기계들의 속도 범위 하부에서 동작할 때 브러시리스 동기 전기 기계들의 제어에 관한 것이지만 그에 국한되지 않는다.

**배경 기술**

[0002] 전기 기계의 속도 범위는 극수(pole number), 위상당 권선(turns per phase) 및 공급 전압을 포함하지만 그에 국한되지 않는 여러 인자에 의해 결정된다. 전자 정류식 브러시리스 동기 전동기들에는 영구자석 브러시리스 dc 및 브러시리스 ac, 동기 킬러턴스, 플러스 스위칭 및 스위치드 킬러턴스 전동기들이 있다.

[0003] 전자 정류식 전동기는 상기 전동기에서 특정 위상 권선들을 정확하게 여자(勵磁)시켜 필요한 크기 및 방향의 토크를 전달하기 위한 회전자(회전자)의 위치에 대한 지식에 의존한다. 이러한 회전자 위치 정보는 전동기 권선들에서 회전 EMF를 검출하는 방법들을 사용하여 획득될 수 있다. 그러한 방법들은 상기 전동기의 샤프트(shaft)에 대한 각도 위치(angular position)를 검출하도록 하는 센서들에 의존하지 않기 때문에 센서리스(sensorless) 정류 방법들로서 알려져 있다. 이러한 방법들은 일반적으로 고속에서 유효하게 작용하게 되지만 저속에서 약화된다. 이는 회전 EMF 값이 감소하여 신호 대 잡음비가 페루프 위치 제어 또는 전자 정류를 위한 데이터를 사용하는 것이 어려워지게 하는 레벨로 감소하게 되기 때문이다. 그러한 전동기들에서는 구동 주파수에서 최대 전류로 고정자 위상 권선들을 여자시킴으로써 속도 범위 하부에서 상기 전동기를 구동시키는 것이 일반적이다. 이러한 방법은 개방 루프 방식으로 상기 전동기를 구동시키는 것으로 선행기술에 알려져 있다. 개방 루프 방법들은 상기 EMF가 검출될 수 있고 센서리스 제어로의 신뢰성 있는 천이가 이루어질 수 있을 때까지 주파수를 증가시킴으로써 전동기를 시동시키는데 일반적으로 사용된다. 하지만 그러한 시스템들은 센서리스 방법에서의 천이가 고정 속도로 이루어지게 되는 것이 전형적이라는 점에서 "지능적이지 않다"는 것이다. 이는 그 결정이 부하의 영향을 고려하지 못한 것이므로 불안정하게 하는 효과로 이끌 수 있다. 개방 루프에서 구동되는 기계는 페루프로 전자 정류식 제어를 실행하는데 필요한 전류에 대하여 과잉 전류를 지니게 되는 전형적이다. 일단 전자 정류가 상기 기계 위치의 지식에 의존하게 되면, 높은 개방 루프 전류 레벨들이 전동기 EMF와의 정확한 정렬로 만들어지게 됨에 따라 토크가 급속하게 증가할 수 있다. 급속한 토크의 증가는 속도 진동을 일으킬 수 있다.

**발명의 내용**

**과제의 해결 수단**

[0004] 본원 명세서에는 개방 루프 제어가 동기 전동기를 구동시키는데 사용되는 시간 동안 동작하는 관측기가 개시되어 있으며, 상기 관측기의 출력은 회전 EMF 벡터 및 전류 여자 벡터 간의 각도(angle)에 관련된 신호,  $E_L\ angle$ 이고, 상기 관측기는 합산 항(summation term)을 합체하는 반복 계산으로 상기 각도를 결정하며, 상기 합산 항은 추정된 EMF 위치 벡터에 대한 회전 EMF 벡터의 직각 성분의 변화를 합산하고, 상기 관측기는 상기 관측기의 각도 출력을 사용하여 상기 회전 EMF 위치 벡터의 추정치를 업데이트한다.

[0005] 옵션으로, 관측기 출력 신호,  $E_L\ angle$ 은, 관측기 출력 신호가 인출(pull out) 조건들에 근접한 조건들을 나타내는 값에 이르게 될 경우에 페루프 제어로의 천이를 결정하는데 사용될 수 있다.

[0006] 옵션으로, 관측기 출력 신호,  $E_L\ angle$ 은, 상기 회전 EMF 벡터 및 상기 전류 여자 벡터 간의 큰 각도로 나타낸 비교적 낮은 부하 토크 레벨들 동안, 상기 전류 여자 벡터의 크기가 감소하게 되거나, 상기 회전 EMF 벡터 및 상기 전류 여자 벡터 간의 작은 각도로 나타낸 비교적 높은 부하 토크 레벨들 동안, 상기 전류 여자 벡터의 크기가 증가하게 되도록 개방 루프 구동 동기 전동기를 위한 토크 모니터링 시스템으로서 사용된다.

[0007] 옵션으로, 관측기 출력 신호,  $E_L\ angle$ 은, 상기 회전 EMF 벡터 및 상기 전류 여자 벡터 간의 큰 각도로 나타낸 비교적 낮은 부하 토크 레벨들 동안, 관측기 출력 신호,  $E_L\ angle$ 이 인출 조건들에 근접한 조건들을 나타내는 값에 이르게 되고 페루프 제어로의 유연한 천이가 개시될 수 있을 때까지 상기 전류 여자 벡터의 크기가 점진적으로 감소하게 되도록 개방 루프 구동 동기 전동기를 위한 토크 모니터링 시스템으로서 사용된다.

[0008] 본 발명의 제1 실시태양에 의하면, 전기 기계용 제어 시스템이 제공되며, 상기 전기 기계용 제어 시스템은 개방 루프 제어가 전기 기계를 구동시키는데 사용되는 시간 동안 동작하도록 구성된 관측기로서, 전기 기계를 제어하도록 구성된 인버터에 의해 제공되는 전류 여자 벡터 및 회전 EMF 벡터 간의 각도에 관련된 신호,  $E_L\ angle$ 를 출력하도록 더 구성된 관측기를 포함하고, 상기 관측기는 합산 항을 포함하는 반복 계산으로 상기 각도를 결정하도록 구성되며, 상기 합산 항은 추정된 EMF 위치 벡터에 대한 회전 EMF 벡터의 직각 성분의 변화를 합산하고, 상기 전기 기계용 제어 시스템은 상기 관측기에 의해 출력된 각도를 사용하여 상기 회전 EMF 위치 벡터의 추정된 각도 위치를 업데이트하도록 구성된다.

[0009] 여기서 유념할 점은 상기 반복 계산의 최초 반복 다음에, 상기 추정된 EMF 위치 벡터가 이전의 반복 동안 업데이트된 EMF 위치일 수 있다는 점이다. 시동시, 다시 말하면 반복 계산 방법의 최초 반복 동안, 상기 EMF 위치 벡터의 초기 추정이 사용될 수 있으며 다른 소스로부터 결정될 수 있다.

[0010] 옵션으로, 상기 관측기는, 관측기 출력 신호,  $E_L\ angle$ 이 인출 조건들에 근접한 조건들을 나타내는 임계값 미만인 값에 이를 경우에 관측기 출력 신호,  $E_L\ angle$ 을 사용하여 페루프 제어로의 천이 시간을 결정하도록 구성된다.

- [0011] 옵션으로, 상기 관측기는 개방 루프 구동 전기 기계를 위한 토크 모니터링 시스템으로서 관측기 출력 신호,  $E_{l\_angle}$ 을 사용하도록 구성됨으로써, 상기 회전 EMF 벡터 및 상기 전류 여자 벡터 간의 큰 각도로 나타낸 비교적 낮은 부하 토크 레벨들 동안, 상기 관측기는 상기 전류 여자 벡터의 크기를 감소시키라고 상기 인버터에 지시하도록 구성된다.
- [0012] 옵션으로, 상기 관측기는 개방 루프 구동 전기 기계를 위한 토크 모니터링 시스템으로서 관측기 출력 신호,  $E_{l\_angle}$ 을 사용하도록 구성됨으로써, 상기 회전 EMF 벡터 및 상기 전류 여자 벡터 간의 작은 각도로 나타낸 비교적 높은 부하 토크 레벨들 동안, 상기 관측기는 상기 전류 여자 벡터의 크기를 증가시키라고 상기 인버터에 지시하도록 구성된다.
- [0013] 옵션으로, 상기 관측기는 개방 루프 구동 전기 기계를 위한 토크 모니터링 시스템으로서 관측기 출력 신호,  $E_{l\_angle}$ 을 사용하도록 구성됨으로써, 상기 회전 EMF 벡터 및 상기 전류 여자 벡터 간의 큰 각도로 나타낸 비교적 작은 부하 토크 레벨들 동안, 상기 관측기는, 관측기 출력 신호,  $E_{l\_angle}$ 이 인출 조건들에 근접한 조건들을 나타내는 임계값 미만인 값에 이르게 되고, 폐쇄 루프 제어로의 유연한 천이가 개시될 수 있을 때까지 상기 전류 여자 벡터의 크기를 점진적으로 감소시키라고 상기 인버터에 지시하도록 구성된다.
- [0014] 옵션으로, 상기 전기 기계용 제어 시스템은 동기 전동기를 제어하도록 구성될 수 있다.
- [0015] 본 발명의 제2 실시태양에 의하면, 전기 기계를 제어하는 제어 시스템에서 사용하기 위한 관측기가 제공되며, 상기 관측기는 개방 루프 제어가 전기 기계를 구동시키는데 사용되는 시간 동안 동작하도록 구성되고, 전기 기계를 제어하도록 구성된 인버터에 의해 제공되는 전류 여자 벡터 및 회전 EMF 벡터 간의 각도에 관련된 신호,  $E_{l\_angle}$ 을 출력하도록 더 구성되며, 상기 관측기는 합산 항을 포함하는 반복 계산으로 상기 각도를 결정하도록 구성되고, 상기 합산 항은 추정된 EMF 위치 벡터에 대한 회전 EMF의 직각 성분의 변화를 합산한다.
- [0016] 본 발명의 제3 실시태양에 의하면, 전기 기계를 제어하는 방법이 제공되며, 상기 방법은, 개방 루프 제어가 전기 기계를 구동하는데 사용되는 시간 동안 관측기를 동작시키는 단계로서, 상기 관측기의 출력이 전기 기계를 제어하도록 구성된 인버터에 의해 제공되는 전류 여자 벡터 및 회전 EMF 벡터 간의 각도에 관련된 신호,  $E_{l\_angle}$ 인 단계; 합산 항을 포함하는 반복 계산으로 상기 각도를 상기 관측기를 사용하여 결정하는 단계로서, 상기 합산 항은 추정된 EMF 위치 벡터에 대한 회전 EMF 벡터의 직각 성분의 변화를 합산하는 단계; 및 상기 관측기에 의해 출력된 각도를 사용하여 상기 회전 EMF 위치 벡터의 추정된 각도 위치를 업데이트하는 단계;를 포함한다.
- [0017] 본 발명의 제4 실시태양에 의하면, 개방 루프 제어 구성에서 동작하는 전기 기계를 제어하는 방법이 제공되며, 상기 방법은 상기 전기 기계를 제어하기 위해 제공되는 전류 여자 벡터 및 회전 EMF 벡터 간의 각도,  $E_{l\_angle}$ 을 결정하는 단계; 및 상기 전기 기계에 하나 이상의 제어 신호들을 인가하는 단계로서, 상기 제어 신호들은  $E_{l\_angle}$ 에 의존하여 결정되는 단계;를 포함한다.
- [0018] 옵션으로, 상기  $E_{l\_angle}$ 은 합산 항을 포함하는 반복 계산으로 결정되며, 상기 합산 항은 추정된 EMF 위치 벡터에 대한 회전 EMF 벡터의 직각 성분의 변화를 합산하고, 상기 방법은 상기  $E_{l\_angle}$ 을 기반으로 하여 상기 EMF 위치 벡터를 업데이트하는 단계를 부가적으로 포함한다.
- [0019] 옵션으로, 상기  $E_{l\_angle}$ 은 수학적
- [0020] 
$$E_{l\_angle} = \sum k_i (0 - E_{s\_imag}) - k_p E_{s\_imag}$$
- [0021] 에 의해 결정되고, 상기 수학적 중,  $E_{s\_imag}$  는 상기 회전 EMF 벡터의 직각 성분이며,  $k_i$  는  $E_{s\_real}$ 에 반비례하게 되는 이득이고  $k_p$  는 이득값이다.
- [0022] 옵션으로,  $k_p$  는  $E_{s\_real}$  에 반비례하게 된다.
- [0023] 옵션으로, 상기 전기 기계에 하나 이상의 제어 신호들을 인가하는 단계는 개방 루프 제어 구성으로부터 폐루프 센서리스 제어 구성으로의 천이 단계를 포함한다.
- [0024] 옵션으로, 개방 루프 제어 구성으로부터 폐루프 센서리스 제어 구성으로의 천이 단계는 인출값으로 나타낸 임계값보다 작거나 같은  $E_{l\_angle}$ 의 크기에 그리고 상기 전기 기계에 이미 인가된 최대 전류 여자에 의존하여 수행

된다.

- [0025] 옵션으로, 상기 전기 기계에 하나 이상의 제어 신호들을 인가하는 단계는  $E_L$  angle이 음(-)이고 인출 각도로 나타낸 임계값보다 큰 크기를 지니는 경우에 상기 전기 기계에 상기 전류 여자를 감소시키는 단계를 포함한다.
- [0026] 옵션으로, 상기 전기 기계에 하나 이상의 제어 신호들을 인가하는 단계는  $E_L$  angle의 크기가 인출 각도로 나타낸 임계값보다 작고 상기 최대 여자 전류가 상기 전기 기계에 아직 인가되지 않은 경우에 상기 전기 기계에 상기 전류 여자를 증가시키는 단계를 포함한다.
- [0027] 옵션으로, 상기 여자 전류의 증가 또는 감소는 미리 결정된 증분값 만큼 이루어진다.
- [0028] 본 발명의 제5 실시태양에 의하면, 컴퓨터에 의해 관독될 경우에 위에서 언급한 방법들을 수행하도록 구성된 컴퓨터 프로그램 코드가 수록된 컴퓨터 판독가능 매체가 제공된다.
- [0029] 본 발명의 제6 실시태양에 의하면, 전기 기계를 제어하는 제어 시스템에서 사용하기 위한 관측기가 제공되며, 상기 관측기는 위에서 언급한 방법들을 수행하도록 구성된다.
- [0030] 본 발명의 제7 실시태양에 의하면, 위에서 언급한 관측기를 포함하는 전기 기계를 제어하기 위한 제어 시스템이 제공된다.
- [0031] 본 발명의 제8 실시태양에 의하면, 위에서 언급한 제어 시스템을 포함하는 전기 기계가 제공된다.
- [0032] 여기서 이해할 점은 위에서 언급한 "전류(current)"에 대한 참조가 전류(electrical current)에 관한 것이라는 점이다.
- [0033] 본 발명이 더 완전하게 이해될 수 있도록 하기 위해 예를 들어 지금부터 첨부도면들을 참조하게 될 것이다.

**도면의 간단한 설명**

- [0034] 도 1, 도 2, 도 3 및 도 4는 대표적인 기계들을 통해 절취된 단면들이다.  
 도 5는 회전 기준 프레임에서의 기계의 등가 회로를 보여준다.  
 도 6은 전동기가 시동중에 있고 아직 저속으로 동작하고 있으며 EMF 벡터의 크기가 비교적 작은 경우에 전동기의 회전 기준 프레임에서의 벡터 다이어그램을 보여준다.  
 도 7은 EMF 벡터의 크기를 크게 하고 부하를 증가시킨 상태에서 저속으로 동작하는 전동기의 추가적인 벡터 다이어그램을 보여준다.  
 도 8은 인출에 근접한 상태로 동작하는 전동기의 추가적인 벡터 다이어그램을 보여준다.  
 도 9는 전자식 제어 시스템의 구성 부품들의 블록 다이어그램을 보여준다.  
 도 10은 전자식 제어 시스템에서 이루어지는 결정 프로세스의 플로차트를 보여준다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0035] 도 1은 3상 플럭스 스위칭 기계를 보여준다. 고정자(200)는 12개의 치부(tooth)(201)를 지니며 치부들 사이에 12개의 슬롯(slot)(202)을 지닌다. 고정자 슬롯들은 고정자 권선들을 구비하고 있다. 상기 슬롯들 중 6개의 슬롯은 계자 권선들을 구비하며, 각각의 계자 슬롯은 다음 계자 슬롯과는 반대 방향으로 전류를 실어나름으로써 6 극 자계를 만들어낸다. 나머지 6개의 슬롯은 3상 위상 권선들 또는 아마츄어 권선들(A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>)을 구비한다. 상기 플럭스 스위칭 기계의 회전자(210)는 적층강(laminated steel)으로 이루어지며 어떠한 권선들 또는 영구자석들도 구비하지 않는다. 이러한 예에서 회전자는 5개의 치부(211)를 지닌다. 계자 전류가 계자 권선에 공급되는 경우에, 상기 고정자 내에서의 상기 회전자의 회전으로 3개의 교류 전압이 120° 간격으로 유도된다. 3개의 아마츄어 위상 권선이 3상 인버터에 접속되고 아마츄어 전류들이 유도된 EMF와 동기하여 상기 권선들에 전달되는 경우에 연속적인 전동 또는 발전이 이루어지게 된다. 상기 계자 권선이 영구자석들로 대체되어 있는 플럭스 스위칭 전동기들이 또한 예상가능하며 본원 명세서에 개시된 방법들 및 장치들에 따라 제어될 수 있다.
- [0036] 하이브리드 스테핑 전동기는 동기 전동기의 추가적인 예이다. 하이브리드 스테핑 전동기들은 대개 2개, 3개 또는 5개의 위상 권선을 지닌다. 도 2에는 전형적인 2-상 하이브리드 스테핑 전동기의 한 단부를 통해 절취된 횡단면도가 예시되어 있다.

- [0037] 도 2의 2-상 하이브리드 스테핑 전동기는 고정자(221) 및 회전자(222)로 이루어져 있으며 고정자(221) 및 회전자(222) 양자 모두는 전기 등급 강(electrical grade steel)의 적층 층판(stacked lamination)들로 구성되어 있다. 상기 고정자는 각각의 위상에 대하여 4개로 치부(224)의 그룹에 대한 선단부들에서 넓어지는 8개의 극(223)을 지닌다. 각각의 고정자 극(223)은 짧은 피치 위상 코일(225)의 형태를 이루고 있는 권선을 지닌다. 이러한 코일(225)들은 2개의 전기적으로 독립된 전동기 위상 권선(A,B)을 형성하도록 대개는 직렬로 접속되어 있다. 상기 회전자는 그의 단부들 각각에 다수의 반경 방향으로 일정하게 이격된 치부(전형적으로는 50개)를 지니고, 상기 기계의 축을 따라 정적 플럭스(static flux)를 만들어내는 영구자석을 탑재하고 있다. 이는 상기 기계의 한 단부에 있는 회전자 치부가 모두 북극을 향하게 하고 상기 회전자의 다른 한 단부에 있는 회전자 치부가 모두 남극을 향하게 한다. 상기 회전자(222)의 한 단부에 있는 치부(226)는 상기 회전자(222)의 다른 한 단부에 있는 치부(226)에 대하여 치부 피치 절반만큼 오프셋된다. 회전자 치부 피치는 고정자(221)의 치부 피치와 동일하다. 2개의 고정자 위상 권선에서 유도된 EMF는 상기 회전자의 회전으로부터 생긴다. 위상 A에서의 EMF는 위상 B에서의 EMF로부터 90° 위상 시프트된다.
- [0038] 도 3에는 고정자 (231) 및 회전자(233)를 지니는 동기 릴럭턴스 전동기가 도시되어 있다. 도시된 고정자는 24개의 슬롯(232)을 지니지만 12개 및 36개의 슬롯도 또한 일반적이다. 고정자 슬롯들은 하나의 분포된 3상 권선을 포함한다. 회전자(233)는 적층강(laminated steel)으로 이루어지며 플럭스 배리어(flux barrier)들로서의 기능을 수행하도록 하는 슬롯팅(slotting)을 포함한다. 이는 고정자 권선이 4극 자계를 만들어내는 경우에 상기 회전자가 플럭스 배리어들을 정렬시켜 낮은 릴럭턴스 경로를 따라 고정자 플럭스가 생기게 하는 높고 낮은 릴럭턴스 축들을 만들어낸다. 고정자 계자가 회전함에 따라 상기 회전자는 동기하여 상기 계자를 따라 가게 된다. 다른 여러 회전자 구성들이 사용될 수 있는데, 그 목적은 최대 릴럭턴스 변화 비율을 전달하는 것이다. 이러한 전동기에서는 고정자 권선들에서 EMF를 유도하도록 하는 회전 자석이 존재하지 않는데, 그 이유는 회전자가 회전함에 따라 고정자 권선들의 자기 인덕턴스(self inductance) 변화들에 의해 그리고 위상 권선들 간의 상호 인덕턴스(mutual inductance) 변화들에 의해 토크가 만들어지게 되기 때문이다.
- [0039] 상기 동기 릴럭턴스 전동기의 성능향상으로서, 자기적인 돌극성(magnetic saliency)을 부가적으로 증가시키고 토크 생성을 높여주기 위해 회전자 슬롯팅 내에 영구자석들이 삽입될 수 있다. 그러한 기계는 영구자석 매입형 동기 전동기로서 알려져 있다.
- [0040] 도 4에는 좀더 일반적인 영구자석 동기 전동기가 도시되어 있다. 또 고정자(241)는 적층강으로 이루어진다. 본 예에서는 고정자가 9개의 슬롯(242) 사이에 산재된 9개의 치부를 지닌다. 하나의 코일이 각각의 치부 주위에 감겨진 다음에 서로에 대하여 120° 이격된 3개의 코일들이 3상 권선들 각각을 만들어내도록 결합하게 되기 때문에 고정자 권선이 짧은 피치로 감기게 되는 것이 전형적이다. 회전자(243)는 영구자석 재료 층에 의해 에워싸인 강심(steel core)을 지닌다. 본 예에서는 상기 영구자석들이 6극 자계를 만들어내도록 반경 방향으로 자화되어 있다. 회전자의 회전으로 120° (전기각들)만큼 위상 변위된 고정자 권선들에서 3개의 EMF가 유도된다. 한 전동기로서의 동작은 각각의 권선에서 유도된 내부 EMF와 동기하여 3가지의 교류 아마추어 전류를 전달하도록 하는 인버터를 필요로 한다.
- [0041] 이들 모두의 기계 타입들은 상기 기계 타입들이 고정자 권선들에서 내부적으로 유도된 EMF를 지니는 것으로 모델화될 수 있는 일반적인 특징을 지닌다. 회전 EMF는 영구자석 모터들에서의 자석들의 회전으로부터나 가변 릴럭턴스 구조를 포함하는 회전자 설계들에서의 릴럭턴스 변화를 통한 성분들을 포함할 수 있다. 동기 릴럭턴스 전동기들에서는 회전자가 회전함에 따른 릴럭턴스의 변화는 각각의 위상 권선의 자기 인덕턴스 변화들 및 권선들 간의 상호 인덕턴스 변화들로 이끈다. 본원 명세서에서 사용된 "회전 EMF"라는 용어는 위상 권선 자체 전류(자기 인덕턴스), 다른 권선들에서의 전류들(상호 인덕턴스) 또는 회전 영구자석에 기인하는 시간 변화에 따라 변동하는 플럭스들의 임의 조합을 포함한다. 몇몇 영구자석 매입형 전동기에서는 회전자가 회전함에 따라 회전 EMF가 영구자석 플럭스 및 릴럭턴스 양자 모두의 변화들로부터의 성분들을 포함하게 된다. 플럭스 스위칭 전동기에서는 회전 EMF는 정지형 자계 권선 또는 정지형 계자들과의 상호 결합의 변화비율에 의해 유도된다.
- [0042] 이러한 타입들의 전기 기계들의 수리적 해석에서는 전기 사이클(electrical cycle)들 및 전기각(electrical degree)들에서 기계를 완전히 해석하는 것이 일반적이다. 이러한 해석이 수행되는 경우에 상기 해석은 임의의 타입 및 극 수들의 모든 동기 기계들에 대해 유사하다. 그러한 해석에서는 정적인 것이 지향되는, 시간 변화에 따른 각각의 고정자 위상 권선 분량을 회전자의 평균 속도와 동일한 속도로 회전하는 회전 벡터들의 단일 체제로 변환하는 것이 일반적이다.
- [0043] 상기 전동기의 모든 위상 권선들의 성분들을 포함하는 회전 기준 프레임 상에서 전기 분량들을 사용하여 이루어

진 등가 회로가 도 5에 도시되어 있다. 고정자 전압 수학적식은 회전 기준 프레임에서 이하의 수학적 식 1로 주어지는데,

**수학적 식 1**

$$\overline{V}_s = \overline{E}_s + j\overline{I}_s X_s + \overline{I}_s R_s$$

상기 수학적 식 1에서  $\overline{V}_s$ ,  $\overline{E}_s$ ,  $\overline{I}_s$  는 회전 기준 프레임에 대한 고정자 전압, 회전 EMF 및 고정자 전류의 벡터량들이며,  $X_s$  는 고정자 위상 권선의 리액턴스이고  $R_s$  는 고정자 위상들의 저항이다.  $X_s$  는 또한 서로 다른 동위상(in-phase) 및 역위상(out-of-phase) 성분들을 갖는 복소 벡터(complex vector)일 수 있다. 이는 서로 다른 회전자 배향들에서 상당한 톨럭턴스(결과적으로는 고정자 인덕턴스) 변화를 갖는 전동기들에서 일반적이다. 리액턴스  $X_s$  가 서로 다른 직각 성분들을 지닐 수 있는 그러한 전동기의 일례는 영구자석 매입형 동기 전동기 또는 동기 톨럭턴스 전동기일 것이다. 그러나, 회전 기준 프레임이 회전자와 함께 회전하므로,  $X_s$  의 성분들은 시간에 따라 그다지 변화하지 않으며 항  $j\overline{I}_s X_s$  는 톨크 생성에 기여하지 않는다.

상기 전동기에 의해 생성된 톨크가 이하의 수학적 식 2로 주어지는데,

**수학적 식 2**

$$T = \frac{\overline{I}_s * \overline{E}_s \cos(\gamma)}{\omega}$$

상기 수학적 식 2에서  $\gamma$  는 회전 EMF 벡터 및 고정자 전류 간의 각도이며  $\omega$  는 초당 기계적인 라디안 단위의 회전자의 회전 속도이다.

아마추어당 최대 톨크를 지니는 전동기의 동작은  $\gamma = 0$  이고  $\overline{E}_s$  및  $\overline{I}_s$  벡터들이 일치하는 경우에 이루어지게 된다.  $\gamma = 0$  일 경우에, 회전 EMF 벡터  $\overline{E}_s$  는 고정자 전류 벡터와 동상이며 상기 톨크는 또 현재 최대치이며 이하의 수학적 식 3과 동일한 상기 수학적 식 2로 주어진다.

**수학적 식 3**

$$T = \frac{\overline{I}_s * \overline{E}_s}{\omega}$$

그러므로 고정자 전류 벡터에 대한 EMF 벡터의 각도 위치는 상기 전동기의 톨크 생성을 결정한다. 도 6에는 회전 기준 프레임 상에서 계산된 고정자 전압 벡터들 간에 한 가지 예상가능한 관계를 보여주는 벡터 다이어그램이 도시되어 있다.

도 6에 예시되어 있는 예에서는 상기 전동기가 바로 시동중에 있으며 전류 벡터가 미리 설정된 레벨에서 개방 루프 방식으로 구동된다. 여자됨에 따라 회전자가 회전하게 되며 회전자가 인출하거나 정지하지 않게 하는 것을 개방 루프 제어가 보장하기 위하여, 상기 전동기의 부하 각도가 고정자 및 회전자 플럭스들 간의 각도인 경우에 전류 레벨은 상기 전동기의 부하 각도가 90° 미만이게 하도록 충분히 높아야 한다. 회전자 플럭스 벡터에 앞서 상기 EMF 벡터가 90° 가 되는 것이 전형적이므로,  $\overline{E}_s$  벡터가  $\overline{I}_s$  를 이끌도록 전류 및 EMF 벡터 간의 각도는 0

보다 커야 한다. EMF 벡터 및 전류 벡터 간의 각도인  $E\_l\_angle$ 이라 불리는 각도를 정의하는 것이 편리하다. 도 6에서는  $E\_l\_angle$ 이 음(-)이며  $-Y$ 와 동일하다. 도 6은 상기 전동기가 시동중에 있으며 아직 저속으로 동작하고 있고 EMF 벡터의 크기가 비교적 작고 상기 토크가 상기 수학식 2로 주어지는 경우의 조건을 나타낸 것이다.

[0053] 상기 전동기가 가속화됨에 따라, 상기 EMF 벡터가 크기 면에서 증가하고 그 움직임을 유지하는데 필요한 토크가 대개 증가한다. 부하 각도는 증가하려는 경향을 갖게 되는데, 이는 구동 전류 벡터에 근접하게 EMF 벡터를 회전 시키도록 하는 기능을 수행한다. 그러므로  $E\_l\_angle$ 이 더 작은 음(-)의 값이 되며 그러한 경우가 도 7의 벡터 다이어그램으로 나타나 있다.

[0054] 회전자 속도의 부가적인 증가들 및/또는 부하 토크의 증가들은 부하 각도가  $90^\circ$  인 경우에 상기 전동기를 인출 토크에 근접한 상태로 동작하게 하고 임의의 부가적인 부하 증가는 고정자 및 회전자 간의 동기 손실로 이끌게 한다. 이러한 경우가 도 8에 나타나 있다.

[0055]  $\overline{E}_s$  및  $\overline{I}_s$  벡터들이 일치하고  $V = 0$ 인 도 8에 예시된 예에서는, 회전 EMF 벡터  $\overline{E}_s$ 는 고정자 전류 벡터와 동상이며 상기 토크는 소정의 여자 전류 레벨에 대하여 현재 최대치이며 상기 수학식 3으로 주어진다. 개방 루프를 사용하여 미리 설정된 크기 및 주파수(또는 가속 주파수 램프(accelerating frequency ramp)에서 전류 벡터를 시동, 구동시키는 전동기에서는, 인출 토크를 초과하는 조건이 생기기 전에 인출 토크를 초과하는 조건이 인지되어야 한다. 그러나, 도 8에 나타나 있는 경우는 또한 역 EMF 감지 또는 다른 센서리스 검출 수단을 기반으로 하여 개방 루프 구동 제어로부터 폐루프 자체 정류(self commutating) 제어기로 이동하는 이상적인 시간이다. 상기 전동기가 물론 암페어당 최대 토크 동작에 이르게 되고 폐루프 제어로의 이동이 제어기에서 그다지 방해받지 않거나 급가속 없이 이루어지게 될 수 있다.

[0056] 본원 명세서에 개시된 바와 같은 전자식 모니터링 시스템을 사용하는 전동기의 동작은  $E\_l\_angle$ 이 시동으로부터 모니터링될 수 있게 하고 인출 전의 조건은 폐루프 센서리스 제어로의 이동이 최소한의 방해로 이루어지게 될 수 있도록 검출될 수 있다. 이러한 방식으로 고정자 여자가 암페어당 최대 토크를 전달하는 레벨을 훨씬 초과하는 시간에 폐루프 위치 제어에 진입하는 것을 불안정하게 하는 효과가 회피된다.

[0057] 지금부터  $E\_l\_angle$ 의 계산이 좀더 상세하게 설명될 것이다. 회전 고정자 기준 프레임은 가장 최근의 EMF 벡터 추정값과 일치하게 하도록 선택된다. 시동시 EMF 벡터의 추정 위치는 전류 벡터와 일치하게 하거나 전류 벡터에 앞서 초기 위치에 있도록 가정될 수 있다. 상기 회전 고정자 기준 프레임에서의 고정자 전류 벡터  $\overline{I}_s$ 의 2개의 직각 성분은  $I_{s\_real}$  및  $I_{s\_imag}$ 이다. 상기 성분  $I_{s\_real}$ 은 회전 고정자 기준 프레임(추정된 EMF 벡터 위치)과 일치하는 고정자 전류의 유효 성분이며,  $I_{s\_imag}$ 는 상기 회전 고정자 기준 프레임에 90도인(직교하는) 고정자 전류의 유효 성분이다.

[0058] 직접축(direct axis) 및 횡축(quadrature axis)이라는 용어들은 직접 및 횡 회전자 축 상에 고정자 전류들이 배핑될 필요가 있는 회전자 배향 제어기들과의 혼동을 피하기 위해 본원 명세서에서 사용되지 않는다.

[0059]  $\overline{V}_s$ ,  $\overline{E}_s$ ,  $\overline{I}_s$  모두가 추정된 EMF 벡터 위치 다음에 회전 기준 프레임 상에서 계산되는 실수부 및 허수부를 지니므로, 상기 수학식 1은 이하의 수학식 4 및 5와 같이 실수부(추정된 EMF 벡터와 동상임) 및 허수부(추정된 EMF 벡터에 직교함)로 다시 표기될 수 있다.

**수학식 4**

[0060] 
$$V_{s\_real} = E_{s\_real} + I_{s\_real} * R_s - I_{s\_imag} * X_s$$

수학식 5

[0061] 
$$V_{s\_imag} = E_{s\_imag} + I_{s\_imag} * R_s + I_{s\_real} * X_s$$

[0062] 위에서 설명한 바와 같이 고정자 인덕턴스가 실수 및 허수 축들에서 서로 다를 수 있는 경우에 동기 킬터턴스 전동기 또는 영구자석 매입형 전동기와 같은 전동기가 사용되면 수학식 4 및 5에서의  $X_s$ 의 값들은 동일하지 않을 수 있다.

[0063] 이러한 수학식들은 이하의 수학식 6 및 7과 같은 EMF 벡터  $\overline{E_s}$ 의 실수 및 허수 성분들에 대한 수학식들을 부여하도록 재정리될 수 있다.

수학식 6

[0064] 
$$E_{s\_real} = V_{s\_real} - I_{s\_real} * R_s + I_{s\_imag} * X_s$$

수학식 7

[0065] 
$$E_{s\_imag} = V_{s\_imag} - I_{s\_imag} * R_s - I_{s\_real} * X_s$$

[0066]  $R_s$  및  $X_s$ 에 대해 적합한 값들이 주어지고 인버터를 통해 전달되는 전압 벡터의 크기를 알고 있는 경우에, 이러한 수학식들은 회전 기준 프레임에서 회전 EMF 벡터의 실수 및 허수 성분들의 추정치를 업데이트하도록 상기 전동기의 회전 동안 실시간으로 평가될 수 있다. 상기 전압 벡터의 크기는 인버터의 출력들에서 모니터링될 수도 있고 인버터에서 지시된 펄스 폭 변조 듀티 사이클들로부터 추정될 수도 있다.

[0067] 위의 수학식들이 국제출원 PCT/EP2009/065281과 같은 선행기술 문헌들에 개시된 수학식들과 유사하지만, 본원 명세서에 개시된 바와 같은 전동기의 제어에는 매우 다른 방식으로 상기 수학식 6 및 7의 결과가 사용된다. arcTan(inverse tangent) 함수들 또는 비율(ratio) 함수들을 사용하여 각도들을 계산하는 대신에, 관측기는  $E\_I\_angle$ 을 추정 및 모니터링하는데 사용된다. 구현되는 관측기 수학식은 이하의 수학식 8로 주어지는데,

수학식 8

[0068] 
$$E\_I\_angle = \sum k_i (0 - E_{s\_imag}) - k_p E_{s\_imag}$$

[0069] 상기 수학식 8에서는 첫 번째 항이 각각의 루프 반복(대개는 각각의 PWM 사이클)에서 계산된 제로(zero)와 비교하여 EMF 벡터의 허수 또는 직각 성분의 오차들의 합산을 나타낸다. 그러므로 본원 명세서에 개시된 방법들 및 장치들은 개방 루프 제어가 동기 전동기를 구동하는데 사용되는 시간 동안 동작하는 관측기를 탑재하는데, 상기 관측기의 출력은 회전 EMF 벡터 및 전류 여자 벡터 간의 각도에 관련된 신호  $E\_I\_angle$ 이며, 상기 관측기는 합산 항을 합체하는 반복 계산으로 상기 각도를 결정하고, 상기 합산 항은 추정된 EMF 위치 벡터에 대한 회전 EMF 벡터의 직각 성분의 변화를 합산한다.

[0070] 계수  $k_i$ 는 스케일링 또는 이득으로서 고려될 수 있으며  $E_{s\_real}$ 에 반비례하게 될 수 있다. 두 번째 항은 EMF 벡터의 추정된 허수 성분에서의 가장 최근의 오차 계산을 고려한 관측기의 보다 신속한 보정을 허용한다. 계수  $k_p$ 는 비례 이득으로서 고려될 수 있으며  $E_{s\_real}$ 에 반비례하게 될 수 있다.

[0071] 개방 루프 제어에서 여자 또는 전류 벡터 위치( $Current_{position}$ )가 특정 크기 및 주파수를 뒤따르도록 인버터에 의해 제어되기 때문에,  $E\_I\_angle$  관측기의 결과는 이하의 수학적 식 9에 따라 추정된 EMF 위치 벡터의 위치를 업데이트하는데 사용된다.

**수학적 식 9**

[0072] 
$$EMF_{position} = Current_{position} - E\_I\_angle$$

[0073] 이러한 추정된 회전 EMF 벡터 위치  $EMF_{position}$ 에 대한 업데이트된 각도 위치는 다음 관측기 반복에 대한 추정된 EMF 벡터 위치 및 회전 기준 프레임으로서 사용된다. 그러므로 관측기는 추정된 위치에 대한 EMF 벡터의 직각 성분들의 합산을 사용하여  $E\_I\_angle$ 에 대한 개선된 추정치 및 개선된 추정된 EMF 벡터 위치상에 반복적으로 수렴하는 것이다. 이러한 방식으로 선행기술에서의 제약들이 극복되며 개방 루프 여자 동안 EMF 벡터의 크기가 작은 동안 매우 작은 값의 신호들로부터 신뢰성 있는 정보를 추출하는 것이 가능하다.

[0074] 관측기 출력은  $E\_I\_angle$ 이다. EMF 벡터 위치에 대한 업데이트로서의 관측기의 구현은 EMF 벡터 위치에서의 오차가 비-선형 arcTan 함수를 사용하여 정확하게 스케일링된 단위들로의 정확한 계산에 대한 필요성 없이 각도 단위들로 변환되는 임의의 단위로 계산되는 결과를 초래한다. 관측기 출력이 전기각도의 단위들로 자동 스케일링되므로 현재 관측된  $E\_I\_angle$  값을 사용하여 전동기의 최대 토크에 대한 전동기상의 부하를 판단하는 것이 간단하다.  $E\_I\_angle$ 이 인출값에 접근하기 시작한 경우( $E\_I\_angle$ 이 작아져서 음(-) 또는 심지어는 제로(zero)가 되는 경우) 관측기는 페루프 센서리스 방법들이 사용될 수 있는 대체 제어 방법으로 변경할 필요성을 나타낼 수 있다.

[0075] 도 9의 블록 다이어그램에는 전자식 제어 시스템의 구성 부품들이 도시되어 있다. 인버터(400)는 전자방식으로 제어되는 전동기(401)에 접속된다. 모듈(402)은 개방 루프 제어기 매개변수들에 따라 여자 주파수 및 전류 크기를 설정한다. 개방 루프 제어기 모듈(402)은 또한 속도 요구, 토크 요구, 가속률 또는 다른 요구들에 대한 신호들(406)을 사용자로부터 수신할 수 있다. 전동기 전류들은 측정되고 그러한 측정들은 관측기 블록(404)으로부터의 가장 최근의  $E\_I\_angle$  및  $EMF_{position}$  추정치에 대하여 EMF 벡터의 실수 및 허수 성분들을 추정하도록 블록(403)에서 사용된다. 상기 관측기 블록(404)은 상기 수학적 식 8 및 9를 구현한다. 또한 상기 관측기 블록(404)은  $E\_I\_angle$ 의 크기를 모니터링하여 제어 스위치(407)를 사용하여 제어가 개방 루프로부터 페루프로 스위칭되어야 할지를 결정한다. 블록(405)은 블록(403)으로부터의 EMF 측정들을 기반으로 하여 페루프 제어를 구현하거나 이와는 달리 현재 당업계에서 일반적인 방법들 중 어느 한 방법에 따라 페루프 제어를 구현한다.

[0076] 상기 관측기 블록(404)의 동작은 도 10의 플로차트의 도움으로 설명될 수 있다. 상기 플로차트에는 개방 루프 구동 시스템의 한 가지 실행 또는 시간 스텝이 도시되어 있다. 상기 실행은 상기 수학적 식 6 및 7에 따른 EMF 추정을 사용한다. 특히, 상기 수학적 식 7은 마지막으로 관찰된  $E\_I\_angle$  값에서 오차의 부호를 결정한다. 상기 수학적 식 8은 이득 승수들( $k_i, k_p$ )을 수정하여 이득 승수들( $k_i, k_p$ )이 EMF의 실수 성분과는 역으로 변할 수 있게 하는데 유용하다. 그러나, 실험을 통해서 제어기가 매우 강건하고 상기 제어기가 매우 간단해질 수 있으며 상기 제어기가 저렴하게 구현될 수 있게 함으로써 이러한 승수들의 동적 변화가 항상 필요하지 않음을 알았다.  $E\_I\_angle$ 인 관측기 출력은 상기 관측기 출력이 제로(zero)에 근접한 인출 토크 조건에 접근하지 않게 하도록 모니터링된다.

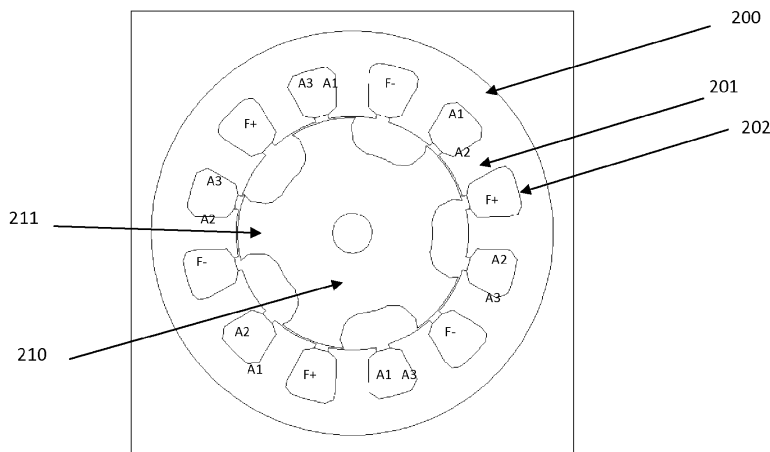
[0077]  $E\_I\_angle$ 이 인출 영역으로부터 떨어져서 음(-)인 경우에, 분명한 점은 개방 루프 전류가 현재 부하 및 속도로 토크 출력을 전달하기에 충분한 전류보다 크다는 점이다. 이러한 조건들 하에서는 상기 여자 각도를 다음 PWM 사이클 위치상으로 이동시키기 전에 전류가 감소하게 될 수 있다.

[0078]  $E\_I\_angle$ 이 작아서 인출 영역에 접근하는 경우에, 개방 루프 전류가 현재 부하 및 속도로 토크 출력을 전달하기에 이제 충분하다. 이러한 조건들 하에서는 여자 각도를 다음 PWM 사이클 위치상으로 이동시키기 전에 전류가 증가하게 될 수 있다. 그러나, 인가된 전압이 이미 최대 레벨에 있거나 전류 레벨이 상기 시스템에 적합할 경우에, 인출 조건들에 근접한 관측된  $E\_I\_angle$ 은 페루프 센서리스 제어 스킴으로 스위칭하도록 하는 이상적인 지점을 나타낸다.

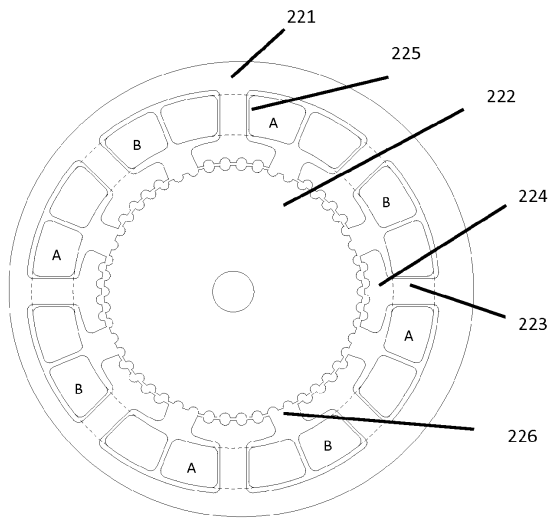
- [0079] 종래의 제어기들은 어떠한 회전자 위치 모니터링 시스템을 지니지 않고 저속으로 시스템을 구동한다. 본원 명세서에 개시된 제어 시스템은 시스템이 구동되는 동안 회전자 위치를 모니터링한다.
- [0080] 제어 시스템의 이점들은 이동이 끊김없도록(seamless) 페루프 위치 제어로 이동해야 할 때를 검출하는데 제어 시스템이 사용될 수 있다는 점이며, 그리고 제어 시스템이 정지(stall) 조건을 검출하는데 사용될 수 있고 제어 시스템이 구동 전류를 과잉 전류들의 사용 용도를 제한하도록 하는 레벨들 내로 조정하는데 사용될 수 있다는 점이다.
- [0081] 본원 명세서에 개시된 방법들 및 장치들의 구현은 회전자들이 하나의 고정자에 대하여 회전하는 전동기들을 참조하여 설명되었다. 상기 전동기들은 변동하는 부하들의 조건들 하에서 선형 주행 속도(linear travel velocity)들을 제어하기 위해 선형 전동기들에 직접 적용될 수 있다. 그러한 전동기들은 여전히 회전 벡터들의 시스템들로서 모델화될 수 있는 전기 사이클들을 지닌다.
- [0082] 본원 명세서에 개시된 관측기는 또한 개방 루프 방식으로 동작하는 발전기에서  $E_{L\_angle}$ 을 모니터링하는데 사용될 수 있다. 이러한 경우에 각도들 모두는 본원 명세서에서 논의된 값들에 대하여 부호 변경된다.
- [0083] 당업자라면 첨부된 청구항들의 범위로부터 벗어나지 않고 추가적인 실시예들을 구상할 수 있을 것이다.

**도면**

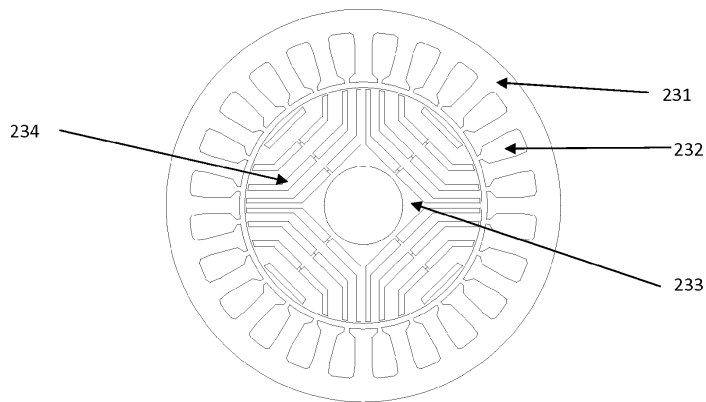
**도면1**



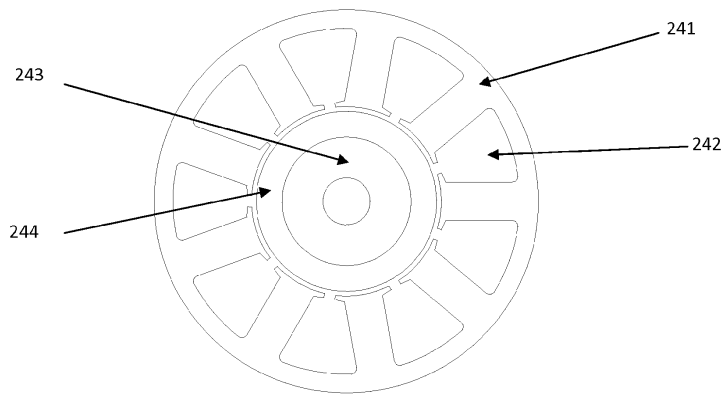
도면2



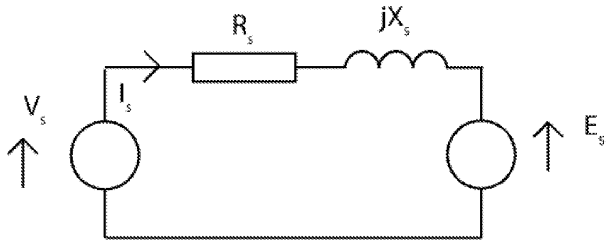
도면3



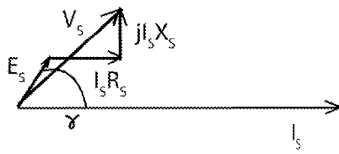
도면4



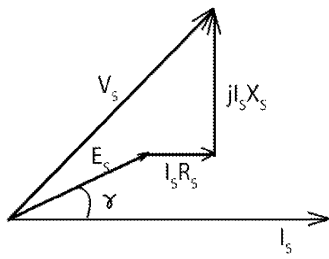
도면5



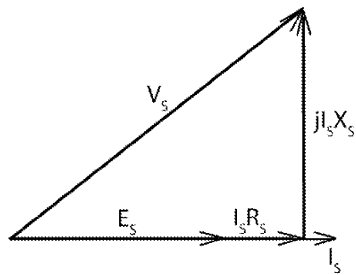
도면6



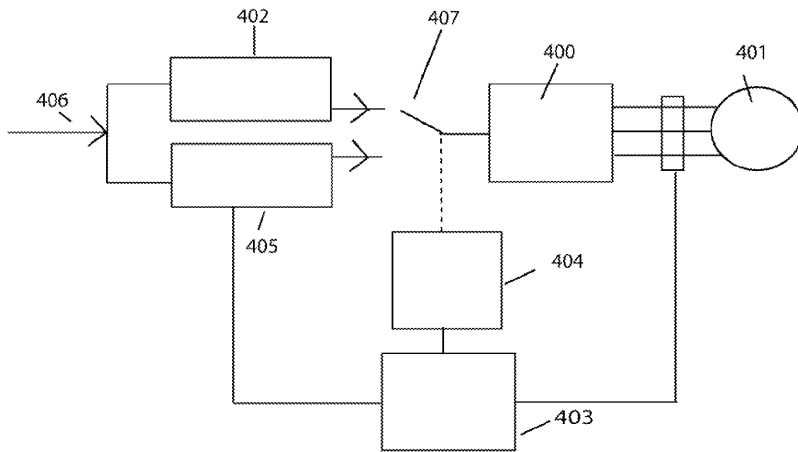
도면7



도면8



도면9



도면10

