



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0109528
(43) 공개일자 2019년09월25일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02P 29/50 (2016.01) H02P 21/00 (2016.01)
H02P 21/12 (2016.01)
- (52) CPC특허분류
H02P 29/50 (2016.02)
H02P 21/0003 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2019-7025429
- (22) 출원일자(국제) 2018년02월14일
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2019년08월29일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2018/018146
- (87) 국제공개번호 WO 2018/152177
국제공개일자 2018년08월23일
- (30) 우선권주장
62/458,751 2017년02월14일 미국(US)

- (71) 출원인
케이에스알 아이피 홀딩스 엘엘씨.
미국 19808 텔라웨어주 윌밍턴 스위트 400 센터빌
로드 2711
- (72) 발명자
휴스테트 에릭
캐나다 비3케이 1엠4 노바스코샤 핼리팩스 윌로우
스트리트 6171
마이샤 파시피크
캐나다 비3알 2주3 노바스코샤 핼리팩스 데본 크
레스 12
- (74) 대리인
유미특허법인

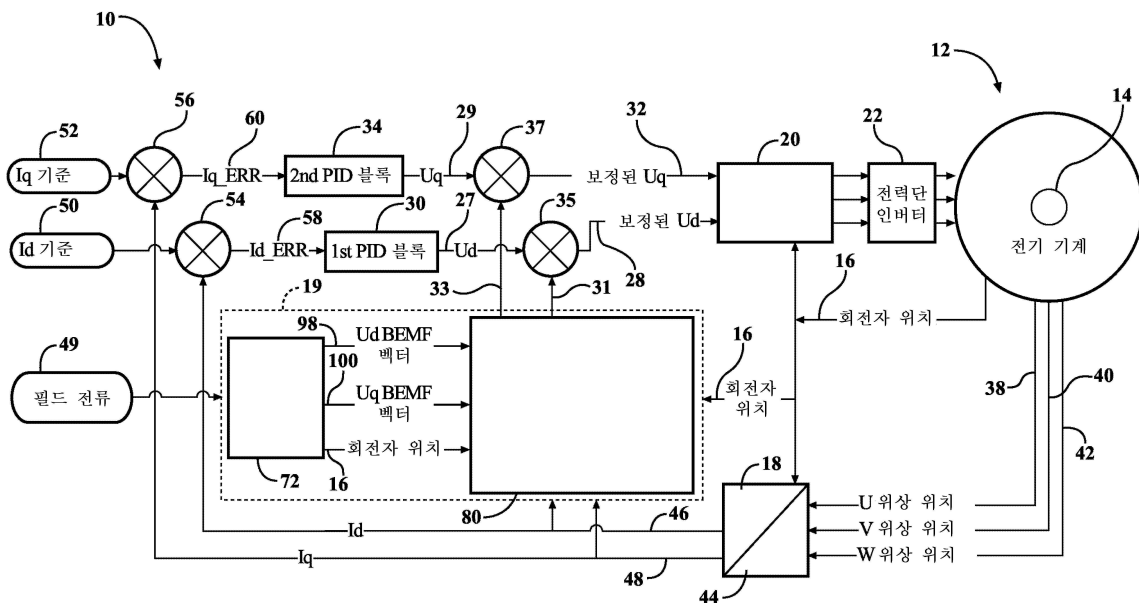
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 **고조파 보상을 위한 시스템 및 방법**

(57) 요약

비정현파 역 EMF 전압의 DQ 평면에서 고조파 효과를 검출 및 제거하기 위한 시스템이 제공된다. 이 시스템은 다중 위상 전기 기계, PID(proportional-integral-derivative) 제어기, 및 마이크로 제어기를 포함하는 필드 지향 제어기(field oriented controller)이다. 마이크로 제어기는 고정자 전류를 분석할 뿐만 아니라 BEMF(back electromotive force) 전압을 분석하여 EMF의 플러스 벡터를 추출한다. 이러한 벡터는 전기 기계 고유의 기하학적 구조 및 포화 효과로 인해 왜곡을 갖는다. 따라서, 마이크로 제어기는 BEMF 벡터와 현재 회전 속도 및 전류를 포함하는 기계 작동점을 알고리즘으로 전송함으로써 이러한 결함을 보정하고, 차례로 이러한 알고리즘은 특정 작동점에 대한 DQ 프레임에서 명령 전압을 생기게 한다. 이 명령 전압은 비정현파 역 EMF 전압이 비정현파 전류를 생성하지 않도록 전류 PI 제어기의 제어 출력에 삽입된다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류
H02P 21/12 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

제1 전기 출력을 생성하는 전기 기계로부터의 출력에서 고조파 왜곡을 보정하기 위한 시스템으로서,

한 쌍의 PID(proportional-integral-derivative) 제어기로서, 상기 한 쌍의 PID 제어기는 상기 제1 전기 출력을 수신하고, 제2 전기 출력을 가지는, 한 쌍의 PID 제어기; 및

모델 테이블 및 보정 알고리즘을 가지는 마이크로 제어기로서, 상기 마이크로 제어기는 상기 전기 기계로부터 기계 전류 벡터를 수신하고, 상기 제1 전기 출력을 수신하도록 구성된, 마이크로 제어기를 포함하고,

상기 마이크로 제어기는 상기 기계 전류 벡터에 기초하여 상기 모델 테이블을 상기 제1 전기 출력과 상관시키고, 각각 보정 전압을 가지는 제1 피드 포워드 항(a first feed forward term) 및 제2 피드 포워드 항(a second feed forward term)을 전송하고,

상기 제1 피드 포워드 항 및 상기 제2 피드 포워드 항은 상기 한 쌍의 PID 제어기의 제2 전기 출력에 삽입되어서, 상기 마이크로 제어기에 의해 상기 제2 전기 출력에 전송된 보정 전압은 상기 전기 기계의 고조파를 제거하는,

전기 기계로부터의 출력에서 고조파 왜곡을 보정하기 위한 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 전기 기계는 회전자를 포함하고, 상기 회전자는 위치 출력을 가지며, 상기 마이크로 제어기는 상기 위치 출력을 상기 모델 테이블의 값과 상관시키며, 상기 보정 알고리즘은 상기 제1 피드 포워드 항 및 상기 제2 피드 포워드 항을 전송하는,

전기 기계로부터의 출력에서 고조파 왜곡을 보정하기 위한 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 전기 기계는 필드 전류를 전송하고, 상기 마이크로 제어기는 상기 필드 전류와 상기 위치 출력을 상관시켜서, 대응하는 상기 모델 테이블의 값은 보정 알고리즘에 의해 상기 제1 피드 포워드 항 및 상기 제2 피드 포워드 항으로서 전송될 수 있는,

전기 기계로부터의 출력에서 고조파 왜곡을 보정하기 위한 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 모델 테이블은 룩업 테이블인,

전기 기계로부터의 출력에서 고조파 왜곡을 보정하기 위한 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 기계 전류 벡터는 회전하는 DQ 평면에서의 회전자 토크 신호 및 회전자 플럭스 신호의 합인,

전기 기계로부터의 출력에서 고조파 왜곡을 보정하기 위한 시스템.

청구항 6

제2항에 있어서,

상기 마이크로 제어기는 복수의 역기전력 전압을 분석해서 상기 복수의 역기전력 전압의 플럭스 벡터가 추출되는,

전기 기계로부터의 출력에서 고조파 왜곡을 보정하기 위한 시스템.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 마이크로 제어기는, 상기 복수의 역기전력 전압의 기계 전류 벡터, 위치 출력, 및 플럭스 벡터를 상관시키는 상기 모델 테이블의 값에 기초하여 상기 제1 피드 포워드 항 및 상기 제2 피드 포워드 항을 결정하는,

전기 기계로부터의 출력에서 고조파 왜곡을 보정하기 위한 시스템.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 한 쌍의 PID 제어기는 제1 PID 제어기 및 제2 PID 제어기를 포함하고, 상기 제1 PID 제어기는 제1 제어기 출력을 전송하고, 상기 제2 PID 제어기는 제2 제어기 출력을 전송하는,

전기 기계로부터의 출력에서 고조파 왜곡을 보정하기 위한 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 제1 피드 포워드 항은 상기 제1 제어기 출력에 삽입되고, 상기 제2 피드 포워드 항은 상기 제2 제어기 출력에 삽입되는,

전기 기계로부터의 출력에서 고조파 왜곡을 보정하기 위한 시스템.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 전기 기계는 다중 위상 전기 기계인,

전기 기계로부터의 출력에서 고조파 왜곡을 보정하기 위한 시스템.

청구항 11

모델 테이블을 결정하기 위한 방법으로서,

마이크로 제어기가, DQ 평면에서의 회전자 토크 신호, 회전자 플럭스 위치 신호, 및 회전자 위치 신호, 및 필드 전류를 분석하는 단계;

미리 결정된 샘플 레이트에 걸쳐 필드 전류와 관련하여 알려진 회전 속도에서 하나의 전기적 사이클 샘플의 역기전력을 캡처하는 단계;

마이크로 제어기가, 상기 샘플로부터 상기 역기전력의 고조파 콘텐츠를 결정하는 단계;

DQ 기준 프레임에 남아있는 복수의 고조파를 드러내기 위해 회전자 위치 신호를 이용하여 DQZ(direct-quadrature-zero) 변환을 수행하는 단계; 및

복수의 고조파 만이 상기 DQ 기준 프레임에 남아있도록 기계 기본 주파수를 제거하는 단계를 포함하고,

상기 DQ 기준 프레임에 남아있는 복수의 고조파는 상기 마이크로 제어기의 보정 알고리즘에 의해 변환되어서, 모델 테이블이 회전자 위치 신호 및 특정 회전자 위치에 대한 DQ 기준 프레임에 남아있는 복수의 고조파에 대응하는 2개의 전압 값으로 채워지는,

모델 테이블을 결정하기 위한 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

다중 위상 전기 기계가 외부 전기적으로 여기되고, 필드 전류가 포화 효과의 영향을 갖는 경우, 미리 결정된 샘플 레이트에 걸쳐 필드 전류 샘플과 관련하여 알려진 회전 속도에서 하나의 전기적 사이클 샘플의 역기전력을 캡처하는 단계를 더 포함하고,

캡처된 샘플은 필드 전류의 예상되는 범위를 초과하는,

모델 테이블을 결정하기 위한 방법.

청구항 13

제11항에 있어서,

다중 위상 전기 기계는 필드 전류를 전송하고,

상기 마이크로 제어기는, 상기 필드 전류를, 대응하는 회전자 위치 신호 및 대응하는 2개의 전압 값을 갖는 모델 테이블의 값과 상관시키는,

모델 테이블을 결정하기 위한 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 2개의 전압 값은 상기 보정 알고리즘에 의해 제1 피드 포워드 항 및 제2 피드 포워드 항으로서 전송되는,

모델 테이블을 결정하기 위한 방법.

청구항 15

제11항에 있어서,

상기 모델 테이블은 룩업 테이블인,

모델 테이블을 결정하기 위한 방법.

청구항 16

전기 기계에서 고조파를 보정하는 방법으로서,

마이크로 제어기가, 고정자 전류 및 역기전력 전압을 분석하는 단계;

전기 기계의 회전 및 기계 속도를 나타내는 역기전력의 한 쌍의 플럭스 벡터를 추출하는 단계;

기하학적 구조 및 포화 효과로부터의 왜곡을 결정하는 단계;

상기 마이크로 제어기가, 상기 역기전력의 한 쌍의 플럭스 벡터를 보정 알고리즘으로 전송하는 단계;

역기전력의 한 쌍의 플럭스 벡터와 상관시키는 DQ 프레임에서의 명령 전압을 생기게 하는 단계; 및

마이크로 제어기가, 상기 명령 전압을 보정 신호로서 전류 PID 제어기의 제어 출력에 삽입하는 단계를 포함하고,

상기 보정 신호는 역기전력 전압이 기계의 작동 범위에 걸쳐 비정상과 전류를 생성하는 것을 방지하여 DQ 평면에서 PID 제어기 루프에 대한 제어량을 DC 값으로 유지하는,

모델 테이블을 결정하기 위한 방법.

발명의 설명

기술 분야

본 실용 특허 출원은 2017년 2월 14일 자로 35 U.S.C. 119(e) 하에 가출원된 제62/458,751호의 미국 가출원의

[0001]

우선권을 주장한다.

[0002] 본 명세서는 일반적으로 고조파 보상을 갖는 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 다중 위상 전기 기계에서 고조파를 보정하기 위해 역기전력(back electromotive force)을 분석하는 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 자동차 교류 발전기는, 전통적으로 전압 조정기가 일정한 DC 출력 전압을 생성하기 위해 작은 필드 전류를 변조하는 순수한 발전기로 사용하도록 제한되어 왔다. 오늘 날, 이러한 기계는 규칙적인 발전 기능 이외에도 구동 보조 또는 엔진 시동과 같은 작업에 토크를 제공하는 모터로 사용될 수 있다. 기타 모터 기능 뿐만 아니라 전압 조정은 이제 ECU(Electronic Control Unit)라고 알려진 인버터 시스템의 기능이다. 이러한 추가 기능을 실현하기 위해 많은 교류 발전기는 이제 필드 지향 제어(field oriented control, FOC)를 이용하여 발전 모드에서의 일정한 출력 전압, 또는 모터 모드에서의 요구된 토크를 생성하기 위해 교류 발전기의 토크 생성을 조정한다. FOC는 벡터로 식별될 수 있는 2개의 직교 성분으로 3상 모터의 고정자 정현파 전류를 변환한다. 측정된 위상 전류는 DQ 프레임의 좌표계에서 벡터로 변환된다. 고정자 전류 벡터의 d-축 성분은 회전자 자속 쇄교수(flux linkage)를 제어하는데 사용되고, q-축 성분은 모터 토크를 제어하는데 사용된다. 제어 알고리즘 개발을 위해 분리된 토크 및 플럭스 전류가 도출될 수 있다. 이후, PI 제어기(proportional and integral controller)와 같은 제어기는 루프 피드백 메커니즘으로 위상 전류를 조정하는데 사용된다.

[0004] 그러나, 일부 다중 위상 전기 기계, 특히, 저가의 클로 폴(claw pole) 유형의 교류 발전기는 비정현파 역기전력(back electromotive, BEMF) 전압을 생기게 하는(develop) 경향이 있다. 이러한 교류 발전기는 발전 뿐 아니라 자동차 시동-정지 시스템, 마일드/마이크로 하이브리드 어플리케이션에 사용되도록 구성되었다. BEMF 전압은 비정현파이므로, 모터 기본 주파수보다 높은 차수의 고조파를 포함한다. FOC의 특성으로 인해, 이러한 고조파는 DQ 평면에 N-1 만큼 시프트된 AC 성분 주파수로 나타나며, 여기서 N은 고조파 차수를 나타낸다. 이러한 고조파는 루프 대역폭을 쉽게 초과할 수 있으므로 제어 알고리즘에 대한 제어 가능성 문제를 생성한다. PI 제어기에 내재된 대역폭 제한으로 인하여 간단한 PI 제어기 튜닝으로는 머신의 전체 작동 rpm 범위에 걸쳐 적절한 성능을 제공할 수 없다.

[0005] 이에 따라, 비정현파 BEMF 전압의 DQ 평면에서의 영향을 예측하고 제거할 수 있는 시스템을 갖는 것이 유리할 것이다.

발명의 내용

[0006] 일 실시예에서, 제1 전기 출력을 생성하는 전기 기계로부터 출력되는 고조파 왜곡을 보정하기 위한 시스템이 제공된다. 이 시스템은 한 쌍의 PID(proportional-integral-derivative) 제어기와 보정 모델 및 알고리즘을 가지는 마이크로 제어기를 포함한다. 한 쌍의 PID 제어기는 제1 전기 출력을 수신하고, 제2 전기 출력을 가진다. 마이크로 제어기는 전기 기계로부터 기계 전류 벡터를 수신하고, 제1 전기 출력을 수신하도록 구성된다. 마이크로 제어기는 기계 전류 및 제1 전기 출력에 기초하여 모델 테이블을 상관시킨다. 마이크로 제어기는 제1 피드 포워드 항(a first feed forward term) 및 제2 피드 포워드 항(a second feed forward term)을 전송한다. 제1 피드 포워드 항 및 제2 피드 포워드 항은 한 쌍의 PID 제어기의 제2 전기 출력에 삽입되어서, 상기 마이크로 제어기에 의해 상기 제2 전기 출력에 전송된 보정 전압은 상기 전기 기계의 고조파를 제거한다.

[0007] 또 다른 실시예에서, 모델 테이블을 결정하기 위한 방법이 제공된다. 이 방법은, 마이크로 제어기가, 회전자 위치 신호, 회전자 플럭스 위치 신호, 및 DQ 평면의 회전자 토크 신호, 및 필드 전류를 분석하는 단계를 포함한다. 다음으로, 미리 결정된 샘플 레이트에 걸쳐 필드 전류와 관련하여 알려진 회전 속도에서 하나의 전기적 사이클 샘플의 역기전력을 캡처한다. 마이크로 제어기가, 샘플로부터 역기전력의 고조파 콘텐츠를 결정한다. 이 방법은, DQ 기준 프레임에 남아있는 복수의 고조파를 드러내는 회전자 위치 신호를 이용하여 DQZ(direct-quadrature-zero) 변환을 수행하고, 복수의 고조파와 만이 DQ 기준 프레임에 남아있도록 기계 기본 주파수를 제거함으로써 계속된다. DQ 기준 프레임에 남아있는 복수의 고조파는 마이크로 제어기의 보정 알고리즘에 의해 변환되어서, 모델 테이블이 회전자 위치 신호 및 상기 특정 회전자 위치에 대한 DQ 기준 프레임에 남아있는 복수의 고조파에 대응하는 2개의 전압 값으로 채워진다.

[0008] 또 다른 실시예에서, 전기 기계에서 고조파를 보정하는 방법이 제공된다. 이 방법은 제어기가, 고정자 전류 및 역기전력 전압을 분석하는 단계를 포함한다. 다음으로, 전기 기계의 회전 및 기계 속도를 나타내는 역기전력의 한 쌍의 플럭스 벡터가 추출된다. 그런 다음, 기하학적 구조 및 포화 효과로부터의 왜곡이 결정된다. 그 후,

역기전력의 한 쌍의 플럭스 벡터는 마이크로 제어기에 의해 보정 알고리즘에 전송된다. 다음으로, 역기전력의 한 쌍의 플럭스 벡터와 상관되는 DQ 프레임에서 명령 전압이 생기게 된다. 그런 다음, 명령 전압은 보정 신호로서 마이크로 제어기에 의해 전류 PID 제어기의 제어 출력에 삽입된다. 보정 신호는 역기전력 전압이 기계의 작동 범위에 걸쳐 비정현과 전류를 생성하는 것을 방지하여 DQ 평면에서 PID 제어기 루프에 대한 제어량을 DC 값으로 유지한다.

[0009] 본원에 기술된 실시예들에 의해 제공되는 이들 및 추가적인 특징들은 도면과 관련하여 이하의 상세한 설명을 고려하여 더 완전하게 이해될 것이다.

도면의 간단한 설명

[0010] 도면에 기술된 실시예는 본질적으로 예시적이고 설명적이며, 청구범위에 의해 정의된 발명의 주제를 제한하려고 하는 것이 아니다. 예시적인 실시예들의 이하의 상세한 설명은 도면과 함께 읽는 경우에 이해될 수 있으며, 여기서 유사한 구조는 유사한 참조 번호로 표시된다.

도 1은 본원에 기술된 하나 이상의 실시예에 따른 예시적인 필드 지향 제어 시스템을 개략적으로 도시한다.

도 2는 본원에 기술되고 도시된 하나 이상의 실시예에 따른 도 1의 필드 지향 제어 시스템의 마이크로 제어기를 개략적으로 도시한다.

도 3은 본원에 기술되고 도시된 하나 이상의 실시예들에 따른 보정 알고리즘에 의해 모델 테이블을 결정하기 위한 방법의 흐름도를 개략적으로 도시한다.

도 4는 본원에 기술되고 도시된 하나 이상의 실시예에 따라 DC 양이 제거된 D-고조파 및 Q-고조파의 플롯 그래프를 개략적으로 도시한다.

도 5는 본원에 기술되고 도시된 하나 이상의 실시예에 따라 다중 위상 전기 기계에 의해 생성된 비정현과 역기전력 전압을 보정하기 위한 방법의 흐름도를 개략적으로 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0011] 도 1은 일반적으로 비정현과 역기전력(BEMF) 전압이 제공되는 DQ 평면에서 고조파 효과를 검출하고 제거하기 위한 시스템을 도시한다. 이 시스템은 필드 지향 제어기(field oriented controller, FOC)로서 다중 위상 전기 기계, PID 제어기, 및 마이크로 제어기를 포함한다. 마이크로 제어기는 회전자 플럭스 위치를 분석할 뿐만 아니라 BEMF 전압을 분석하여 EMF의 플럭스 벡터를 추출한다. 이러한 벡터는 동기식 다중 위상 전기 기계에 내재된 기하학적 구조 및 포화 효과로 인한 왜곡을 갖는다. BEMF 전압을 추출하고 회전자 플럭스 위치 결정을 아는 것의 결과로, 마이크로 제어기 내의 보정 알고리즘은, BEMF 벡터와 현재 회전 속도 및 전류를 포함하는 기계 작동점을 알고리즘으로 전송함으로써 이들 결합을 보정하고, 차례로 특정 작동점에 대해 DQ 프레임에서의 명령 전압을 생기게 한다. 이러한 명령 전압은 비정현과 BEMF 전압이 비정현과 전류를 생성하지 않도록 PI 제어기의 제어 출력에 삽입된다.

[0012] 도 1을 참조하면, 예시적인 필드 지향 제어 회로의 개략도가 개략적으로 도시되어 있다. FOC 제어 시스템(10)은 교류 발전기와 같은 동기식 다중 위상 전기 기계(12)를 포함한다. 농형 회전자(squirrel cage rotor)를 갖는 비동기식 모터는 동기식 다중 위상 전기 기계(12)로 대체할 수 있음을 이해해야 한다. 다중 위상 전기 기계(12)는 (도시되지 않은) 고정자 및 회전자(14)를 포함한다. 전력단 인버터(22)는 다중 위상 전기 기계(12)에 통신 가능하게 결합되어 전력단 인버터(2)는 다중 위상 전기 기계(12)를 구동시킨다.

[0013] 여전히 도 1을 참조하면, FOC 제어 시스템(10)은 다중 위상 전기 기계(12)에 통신 가능하게 결합된 클라크 변환 모듈(Clarke transformation module)(44)을 더 포함한다. 클라크 변환 모듈(44)은 파크 변환 모듈(Park transformation module)(18)에 통신 가능하게 결합된다. 제1 비교기(54) 및 제2 비교기(56)와 마이크로 제어기(19)는 파크 변환기 모듈(18)에 통신 가능하게 결합된다. 필드 전류 신호(49)는 마이크로 제어기(19)에 통신 가능하게 결합된다. 제1 기준 신호(50)는 제1 비교기(54)에 통신 가능하게 결합되는 반면, 제2 기준 신호(52)는 제2 비교기(56)에 통신 가능하게 결합된다. 제1 비교기(54)는 제1 PI 제어기(30)에 통신 가능하게 결합된다. 제2 비교기(56)는 제2 PI 제어기(34)에 통신 가능하게 결합된다.

[0014] 여전히 도 1을 참조하면, 제1 PI 제어기(30)의 출력(27)은 제1 신호 보정 접합(35)에 통신 가능하게 결합되고, 제2 PI 제어기(34)의 출력(29)은 제2 신호 보정 접합(37)에 통신 가능하게 결합된다. 제1 피드 포워드 항(31) 또는 제1 명령 전압은 마이크로 제어기(19)로부터 제1 신호 보정 접합(35)에 통신 가능하게 결합된다. 제2 피

드 포워드 향(33) 또는 제2 명령 전압은 마이크로 제어기(19)로부터 제2 신호 보정 접합(37)에 통신 가능하게 결합된다. 제1 신호 보정 접합(35)으로부터 제1 보정된 출력(28) 및 제2 신호 보정 접합(37)으로부터 제2 보정된 출력(32)은 역 파크 변환 모듈(inverse Park transformation module)(20)에 통신 가능하게 결합된다. 역 파크 변환 모듈(20)은 전력단 인버터(22)에 통신 가능하게 결합된다.

[0015] 이제 도 2를 참조하면, FOC 제어 시스템(10)의 마이크로 제어기(19)의 개략적인 회로도도 개략적으로 도시되어 있다. 도 2에 도시된 구성 요소는 메모리 모듈(72), 처리 디바이스(74), 입력 모듈(76), 통신 모듈(78) 및 데이터 저장 디바이스(80)를 포함한다. 구성 요소들은 통신 경로(82)에 의해 상호 연결된다.

[0016] 여전히 도 2를 참조하면, 통신 경로(82)는, 예를 들어, 전도성 와이어, 전도성 트레이스, 광 도파관 등과 같은 신호를 전송할 수 있는 임의의 매체로부터 형성될 수 있다. 또한, 통신 경로(82)는 신호를 전송할 수 있는 매체의 조합으로부터 형성될 수 있다. 일 실시예에서, 통신 경로(82)는 프로세서, 메모리, 센서, 입력 디바이스, 출력 디바이스, 및 통신 디바이스와 같은 구성 요소로 전기 데이터 신호의 전송을 허용하도록 협력하는 전도성 트레이스, 전도성 와이어, 커넥터, 및 버스의 조합을 포함한다. "신호"라는 용어는 매체를 통해 이동할 수 있는 DC, AC, 사인파, 삼각파, 구형파, 진동 등과 같은 파형(예를 들어, 전기, 광학, 자기, 기계, 또는 전자기)을 의미한다. 통신 경로(82)는 FOC 제어 시스템(10)의 다양한 구성 요소들을 통신적으로 결합한다. 본원에서 사용되는 용어 "통신적으로 결합된"은 결합된 구성 요소가 예를 들어 전도성 매체를 통한 전기적 신호, 공기를 통한 전자기 신호, 광 도파관을 통한 광학 신호 등과 같은 데이터 신호를 다른 구성 요소와 서로 교환할 수 있음을 의미한다.

[0017] 여전히 도 2를 참조하면, 처리 디바이스(74)는 기계 관독 가능한 명령을 실행할 수 있는 임의의 디바이스일 수 있다. 따라서, 처리 디바이스(74)는 제어기, 집적 회로, 마이크로칩, 컴퓨터, 또는 임의의 다른 컴퓨팅 디바이스일 수 있다. 처리 디바이스(74)는 통신 경로(82)에 의해 FOC 제어 시스템(10)의 다른 구성 요소와 통신 가능하게 결합된다. 도 2에 도시된 실시예는 단지 하나의 처리 디바이스(74)만을 포함하고, 다른 실시예는 통신 경로(82)에 의해 서로 통신적으로 결합된 다수의 프로세서를 포함할 수 있다.

[0018] 여전히 도 2를 참조하면, 입력 모듈(76)은 통신 경로(82)에 통신 가능하게 결합되고 처리 디바이스(74)에 통신 가능하게 결합된다. 입력 모듈(76)은 파크 변환 모듈(18), 필드 전류(49), 다중 위상 전기 기계(12) 및/또는 데이터 저장 디바이스(80)에 통신 가능하게 결합될 수 있다. 입력 모듈(76)은 회전자 위치 신호(16), 회전자 플럭스 성분 신호 $I_q(46)$, 회전자 토크 신호 $I_q(48)$, 및/또는 필드 전류(49)를 수신할 수 있다. 입력 모듈은 신호(16, 46, 48, 49)를 처리 디바이스(74)에 의해 관독되는 전기 신호로 변환하거나, 및/또는 신호(16, 46, 48, 49)를 데이터 저장 디바이스(80)가 데이터를 저장하는데 사용할 수 있는 매체로 변환할 수 있으며, 이는 이하에서 기술한다.

[0019] 여전히 도 2를 참조하면, FOC 제어 시스템(10)의 메모리 모듈(72)은 통신 경로(82)에 결합되고 처리 디바이스(74)에 통신 가능하게 결합된다. 메모리 모듈(72)은 휘발성 및/또는 비휘발성 컴퓨터 관독 가능한 매체로서 구성될 수 있으며, 그에 따라 (SRAM, DRAM, 및/또는 다른 유형의 랜덤 액세스 메모리를 포함하는) 랜덤 액세스 메모리, 읽기 전용 메모리(ROM), 플래시 메모리, 레지스터, 콤팩트 디스크(CD), 디지털 다기능 디스크(digital versatile discs, DVD), 및/또는 기계 관독 가능한 명령을 저장할 수 있는 다른 유형의 저장 구성 요소를 포함할 수 있어서, 기계 관독 가능한 명령이 처리 디바이스(74)에 의해 액세스되고 실행될 수 있다. 기계 관독 가능한 명령은, 예를 들어, 기계 관독 가능한 명령으로 컴파일 또는 어셈블링될 수 있고 메모리 모듈(72)에 저장될 수 있는, 프로세서에 의해 직접 실행될 수 있는 기계 언어, 또는 어셈블리 언어, 객체-지향 프로그래밍(object-oriented programming, OOP), 스크립팅 언어, 마이크로 코드 등과 같은 임의의 세대의 임의의 프로그래밍 언어로 작성된 로직 또는 알고리즘(들)을 포함할 수 있다. 대안으로, 기계 관독 가능한 명령은 필드 프로그램 가능한 게이트 어레이(field-programmable gate array, FPGA) 구성 또는 주문형 집적 회로(application-specific integrated circuit, ASIC) 또는 그들의 균등물을 통해 구현되는 로직과 같은 하드웨어 기술 언어(hardware description language, HDL)로 기록될 수 있다. 따라서, 본원에 기술된 기능은 미리 프로그래밍된 하드웨어 요소, 또는 하드웨어 및 소프트웨어 구성 요소의 조합으로서 임의의 종래의 컴퓨터 프로그래밍 언어로 구현될 수 있다. 메모리 모듈(72)은 처리 디바이스(74)에 의해 실행되는 경우 처리 디바이스(74)로 하여금 도 3과 관련하여 본원에 기술된 프로세스와 같은 다양한 프로세스를 완료하게 하는 메모리 모듈 상의 하나 이상의 프로그래밍 명령을 포함할 수 있다.

[0020] 여전히 도 2를 참조하면, 메모리 모듈(72)에 저장된 프로그래밍 명령은 복수의 소프트웨어 로직 모듈(72a)로서 구현될 수 있으며, 여기서 각 로직 모듈은 하나 이상의 작업을 완료하기 위한 프로그래밍 명령을 제공한다. 예

를 들어, 도 2는 본원에서 도시되고 기술된 하나 이상의 실시예들에 따른 예시적인 로직 구성 요소(72a)를 포함하는 메모리 모듈(72)을 개략적으로 도시한다. 도 2에 도시된 바와 같이, 메모리 모듈(72)은 예를 들어, 모델 테이블(72b) 및 보정 알고리즘(72c)과 같은 다양한 처리 로직을 저장하도록 구성될 수 있다. 모델 테이블(72b)은 측정 데이터를 포함하는 룩업 테이블을 포함할 수 있으며, 이는 이하에서 더 상세히 기술될 것이다. 모델 테이블(72b)은, 이하에서 후술하는 바와 같이, 회전자(14)의 위치와 적용 가능하다면 필드 전류(49)에 기초하여 2개의 전압 값을 제공하도록 구성될 수 있다. 또한, 보정 알고리즘(72c)은 측정된 데이터를 사용하기 보다는 이들 값을 계산하는 표현 또는 모델을 포함할 수 있거나, 또는 이러한 값을 판독하여 모델 테이블(72b)을 생성하고, 적절한 보정이 요구되는 경우에 모델 테이블(72b)을 참조하도록 구성될 수 있음을 이해해야 할 것이다. 이와 같이, 보정 알고리즘(72c)은 이하에서 더 상세히 논의되는 바와 같이, BEMF 벡터(98, 100)를 결정하고, 계산하며, 및/또는 보정하기 위한 운영 시스템 및/또는 다른 소프트웨어를 포함할 수 있다.

[0021] 여전히 도 2를 참조하면, 통신 모듈(78)은 통신 경로(82)에 결합되고 처리 디바이스(74)에 통신 가능하게 결합된다. 통신 모듈(78)은 네트워크를 통해 데이터를 전송 및/또는 수신할 수 있는 임의의 디바이스일 수 있다. 따라서, 통신 모듈(78)은 임의의 유선 또는 무선 통신을 보내거나 및/또는 수신하기 위한 통신 트랜시버를 포함할 수 있다. 예를 들어, 통신 모듈(78)은 다른 네트워크 및/또는 디바이스와 통신하기 위한 안테나, 모뎀, LAN 포트, Wi-Fi 카드, WiMax 카드, 모바일 통신 하드웨어, 근거리 통신 하드웨어, 위성 통신 하드웨어, 및/또는 임의의 유선 또는 무선 하드웨어를 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 통신 모듈(78)은 블루투스® 무선 통신 프로토콜에 따라 동작하도록 구성된 하드웨어를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 통신 모듈(78)은 블루투스® 4.0 통신 프로토콜에 따라 무선 신호를 전송 및/또는 수신하도록 구성된 무선 통신 모듈일 수 있다. 그러한 실시예에서, 통신 모듈(78)은 다른 에너지 효율이 낮은 무선 통신 프로토콜보다 적은 에너지를 사용하여 신호를 전송하고 수신할 수 있다. 그러나, 일부 실시예에서, 통신 모듈(78)은 블루투스® 4.0 통신 프로토콜 이외의 무선 통신 프로토콜에 따라 무선 신호를 전송 및/또는 수신하도록 구성된다. 일부 실시예는 유선 네트워크를 통해 데이터를 전송 및/또는 수신하기 위한 유선 통신 모듈을 포함하는 실시예와 같은 통신 모듈(78)을 포함하지 않을 수 있다.

[0022] 여전히 도 2를 참조하면, 일반적으로 저장 매체일 수 있는 데이터 저장 디바이스(80)는 수신되고 및/또는 생성된 데이터를 저장하기 위한 하나 이상의 데이터 저장소를 포함할 수 있다. 데이터 저장 디바이스(80)는 하드 디스크 드라이브(hard disk drive, HDD), 메모리, 제거 가능한 저장 장치 등을 포함하지만, 이에 한정되지는 않는 임의의 물리적 저장 매체일 수 있다. 데이터 저장 디바이스(80)는 로컬 디바이스로 도시되어 있지만, 데이터 저장 디바이스(80)는 예를 들어, 서버 컴퓨팅 디바이스 등과 같은 원격 저장 디바이스일 수 있음을 이해해야 한다.

[0023] 여전히 도 2를 참조하면, FOC 제어 시스템(10)의 저장 디바이스(예를 들어, 데이터 저장 디바이스(80)) 내에 포함된 다양한 데이터의 블록도가 본원에 도시되고 기술된다. 데이터 저장 디바이스(80)는, 예를 들어, 회전자 위치 데이터(84), 필드 전류 데이터(85), 회전자 플럭스 위치 데이터 I_d (86), 회전자 토크 데이터 I_q (88), 전류 벡터 데이터(90), 회전자 플럭스 BEMF U_d 데이터(92), 회전자 토크 BEMF U_q 데이터(84), 및/또는 데이터 베이스 데이터(96)를 포함할 수 있다.

[0024] 도 2를 참조하면서 도 1을 다시 참조하면, 회전자 위치 데이터(84)는 다중 위상 전기 기계(12)에서 생성되고 마이크로 제어기(19)에 전송된 회전자 위치(16)일 수 있다. 필드 전류 데이터(85)는 회전자(14)의 필드 전류(49), 또는 각도일 수 있다. 회전자 플럭스 위치 데이터 I_d (86)와 회전자 토크 데이터 I_q (88)는 각각 46 및 48로 도시된 파크 변환 모듈(18)로부터 생성된 신호일 수 있다. 전류 벡터 데이터(90)는 실제 회전자 플럭스 위치 데이터 I_d (86)와 회전자 토크 데이터 I_q (88)의 합일 수 있다. 회전자 플럭스 BEMF U_d 데이터(92)는 98로 도시된 회전자 플럭스 BEMF 벡터로부터, 또는 그와 관련된 데이터를 저장할 수 있고, 회전자 플럭스 BEMF U_d 데이터(92)는 100으로 도시된 토크 BEMF 벡터로부터, 또는 그와 관련된 데이터를 저장할 수 있고, 도 3의 방법과 이하의 도 5에 더 논의된다.

[0025] 도 2를 참조하면, 데이터 베이스(96)는, 이에 한정되지는 않지만, 예를 들어, 보다 상세하게 기술될 D 고조파, Q 고조파, 관찰 그래프 및/또는 그와 유사한 것들과 같은 모델 테이블(72b) 내에 포함된 데이터를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 데이터 베이스 데이터(96)는 모델 테이블(72b)과 함께 작동할 수 있어서, 데이터 베이스 데이터(96)에 저장된 D, Q 고조파는 보정 알고리즘(72c)에 의해 분석될 수 있고, 모델 테이블(72b)을 채우도록 계산될 수 있어서, 회전자 위치(16) 및 적용 가능한 경우에는 필드 전류(49)에 기초하여, 마이크로 제어기(19)

의 보정 알고리즘(72c)은 이하에 더 상세히 기술되는 바와 같이 각각의 회전자 위치에서 D 및 Q 고조파 값의 정
규화된 값을 제공한다.

- [0026] 도 2에 기술된 구성 요소는 단지 예시적인 것이고, 본 개시의 범위를 한정하려는 의도는 아니라는 것이 이해되
어야 한다. 보다 구체적으로, 도 2의 구성 요소는 FOC 제어 시스템(10) 내에 상주하는 것으로 도시되어
있지만, 이는 제한적인 예시가 아니다. 일부 실시예에서, 하나 이상의 구성 요소는 FOC 제어 시스템(10)의 외
부에 상주할 수 있다.
- [0027] 다시 도 1을 참조하면, 시스템 작동이 기술될 것이다. 작동 시, FOC 제어 시스템(10)은 다중 위상 전기 기계
(12) 내의 회전자의 플럭스 위치와 같이 회전자(14)를 직접 모니터링하도록 구성된다. 이와 같이, 회전자 위치
(16)는 파크 변환 모듈(18) 및 역 파크 변환 모듈(20)로 직접 전송된다. 전력단 인버터(22)는 이하에 더 상세
히 기술되는 바와 같이 역 파크 모듈(20)로부터 수신된 보정된 입력에 기초하여 다중 위상 전기 기계(12)를 구
동한다. 역 파크 변환 모듈(20)은 제1 신호 보정 접합(35)으로부터 28로 도시된, 보정된 플럭스 신호 U_d 를 수
신한다. 역 파크 변환 모듈(20)은 제2 신호 보정 접합(37)으로부터 32로 도시된 보정된 토크 신호 U_q 를 수신한
다. 플럭스 보정된 신호 U_d (28), 토크 보정된 신호 U_q , 제1 신호 보정 접합(35) 및 제2 신호 보정 접합(37)은
이하에서 더 상세히 기술될 것이다.
- [0028] 여전히 도 1을 참조하면, 3상 AC 모터로 도시된 다중 위상 전기 기계(12)는 대체로 3개의 120도의 공간적으로
변위된 정현파 전압을 3개의 고정자에 인가할 수 있다. 따라서, 각 위상마다 별도의 사인파와 별도의 벡터가
있을 수 있다. FOC 제어 시스템(10)은 일반적으로 벡터 제어 방식으로 알려져 있다. 즉, FOC 제어 시스템(1
0)은 특정 벡터로 표현되는 고정자 전류를 제어하도록 구성된다. 도시된 바와 같이, 다중 위상 전기 기계(12)
는 각각 38, 40, 및 42에 도시된 바와 같이 3상 출력인, U상 전류(I_u), V상 전류(I_v), W상 전류(I_w)를 전송한다.
회전자 속도 및 3상 시간에 기인한 전류 I_u (38), I_v (40), 및 I_w (42)는 다중 위상 전기 기계(12)로부터 클라크 변
환 모듈(44)로 전송된다.
- [0029] 여전히 도 1을 참조하면, 클라크 변환 모듈(44)은 일반적으로 2개의 좌표 시간 변형 시스템(α , β)을 출력하는
것으로 알려져 있다. 구체적으로, 클라크 변환 모듈의 2개의 좌표 시간 변형 시스템(α , β)은 여전히 시간과
속도에 의존하는 2차원 직교 시스템이다. 이와 같이, 각각 38, 40, 42에 도시된 전류 I_u , I_v , 및 I_w 는 2개의 좌
표 시간 변환 시스템(α , β)으로 변환된다.
- [0030] 여전히 도 1을 참조하면, 변환된 2개의 좌표 시간 변환 시스템(α , β)은 파크 변환 모듈(18)에 대한 입력으로
서 파크 변환 모듈(18)에 전송된다. 파크 변환 모듈(18)은 d, q 회전 기준 프레임에서 2상 직교 시스템(α ,
 β)을 수정한다는 것을 이해해야 한다. 이와 같이, d 좌표는 전류 벡터에 대한 회전자 플럭스 성분과 정렬될
수 있고, q 좌표는 전류 벡터의 토크 성분과 정렬될 수 있다. 따라서, d, q 성분은 전류 벡터(α , β)에 의존
한다. 이와 같이, 파크 변환 모듈(18)은 d, q 회전 기준 프레임에서 전류를 제공한다. 따라서, 각각 46, 48로
도시된 회전자 플럭스 성분 I_d 및 회전자 토크 성분 I_q 은 파크 변환 모듈(18)로부터 전송된다.
- [0031] 여전히 도 1을 참조하면, DQ 평면에서, FOC 제어 시스템(10)은 제1 PI 제어기(30) 및 제2 PI 제어기(34)를 사용
하여 벡터를 제어하기 위해 벡터를 비교할 수 있다. FOC 제어 시스템(10)에 대해 벡터를 제어하기 위해, FOC
제어 시스템(10)은 입력 기준으로서 두 상수, 회전자 플럭스 성분 I_d (46) 및 회전자 토크 성분 I_q (48)을 요구할
수 있다. 당업계에 일반적으로 공지되고 이해되는 바와 같이, FOC 제어 시스템(10)은 일반적으로 정상 상태 및
과도 작업 모드 모두에서 정확하게 제어하기 위해 이러한 투영에 기초한다.
- [0032] 여전히 도 1을 참조하면, 회전자 플럭스 기준 I_d (50) 또는 플럭스 명령, 및 회전자 토크 기준 I_q (52) 또는 토크
명령은, 이에 제한되지는 않지만 예를 들어, (도시되지 않은) 속도 조정기, 영구 자석 동기식 모터와 같은 (도
시되지 않은) 동기식 모터 각각으로부터의 출력으로서 FOC 제어 시스템(10)에 입력될 수 있다. 회전자 플럭스
성분 I_d (46)은 제1 비교기(54)에서 회전자 플럭스 기준 I_d (50)과 비교된다. 회전자 토크 성분 I_q (48)은 제2 비
교기(56)에서 회전자 토크 기준 I_q (52)과 비교된다.
- [0033] 여전히 도 1을 참조하면, 일단 회전자 플럭스 성분 I_d (46)이 회전자 플럭스 기준 I_d (50)과 비교되면, I_d 에러(58)
가 결정되고, 제1 PI 제어기(30)로 전송된다. I_d 에러(58)는 회전자 플럭스 기준 I_d (50)과 회전자 플럭스 성분
 I_d (46) 간의 차이이다. 이와 유사하게, 일단 회전자 토크 성분 I_q (48)이 회전자 토크 기준 I_q (52)과 비교되면,

I_q 에러(60)가 결정되고, 제2 PI 제어기(34)로 전송된다. I_q 에러(60)는, 회전자 토크 기준 I_q (52)과 회전자 토크 성분 I_q (48) 간의 차이이다.

[0034] 여전히 도 1을 참조하면, 제1 PI 제어기(30) 및 제2 PI 제어기(34)는 일정한 기준을 사용하여 토크 및 플럭스 피드백을 원하는 값으로 조정한다. 즉, PI 제어기(30, 34)의 비례 부분은 설정점과 측정된 출력 사이의 오류를 보정하려고 시도할 것이다. 적분 부분은 시간에 따른 에러를 누적하여 에러에 보정을 적용한다. 미분 부분은 시스템의 속도에 비례하여 미분기의 출력이 다중 위상 전기 기계(12)를 느리게 하도록 적용된다. 이와 같이, 제1 PI 제어기(30) 및 제2 PI 제어기(34)는 피드백 시스템의 일부로서 모터 전류를 조정하는 프로세스를 제어하는 기능을 한다.

[0035] 종래의 시스템에서, 제1 PI 제어기(30)의 출력, 27로 도시된 제어된 플럭스 성분 신호 U_d 및 제2 PI 제어기(34)의 출력, 29로 도시된 제어된 토크 성분 신호 U_q 는 (도시되지는 않았지만) 직접적으로 역 파크 변환 모듈(20)로 전송된다. 그러나, 일반적으로 알려진 바와 같이, FOC 제어 시스템(10)은 전압 및 전류가 순수한 사인파인 것으로 가정하기 때문에 적절히 기능한다. 전압 및 전류가 순수한 사인파가 아닌 경우, FOC 제어 시스템(10)은 모터 전류를 조정하는데 어려움을 가진다. 다중 위상 전기 기계에서는 비정현파 BEMF 전압이 생기는 경향이 있다. 따라서, 비정현파 BEMF 전압은 제어 알고리즘에 대한 제어 가능성 문제를 만든다. 비정현파 BEMF 전압에 대항하기 위해, 비정현파 BEMF 전압의 DQ 평면에서의 영향을 예측하고 제거할 수 있는 보정 알고리즘(72c)(도 2)을 갖는 마이크로 제어기(19)가 이하에서 기술될 것이다.

[0036] BEMF에서의 고조파는 (도시되지 않은) 비정현파 자속쇄교수를 생성하는 회전자(14)의 톱니의 기하학적 구조에 기인할 수 있고, 회전하는 경우에 이러한 쇄교는 (도시되지 않은) 고정자 권선에서 전압을 유도한다는 것이 이해되어야 한다. 패러데이의 유도 법칙에 따르면, 유도된 전압은 플럭스의 변화율에 비례한다는 것이 더 이해되어야 한다.

[0037] 따라서, 속도에 선형으로 고조파 스케일을 포함한 모든 유도 전압은 플럭스의 변화율에 비례한다. 전류 고조파의 또 다른 알려진 원인으로 고정자 인덕턴스가 필드 전류(49)에 따라 변하는 경우가 있다. 이와 같이, 유도 전압은 기계 내의 자기 저항 경로에 내장된 플럭스 때문일 수 있으며, 이는 고정자 L_d 및 L_q 를 또한 결정하는 동일한 자기 저항 경로일 수 있다. 따라서, BEMF가 정현파가 아닌 경우, 인덕턴스는 일정하지 않을 것이다. 고조파를 적절히 처리하려면, BEMF와 변화하는 인덕턴스가 모두 피드 포워드(fed forward) 되어야 한다. 인덕턴스를 변경함으로써 생성된 고조파는 다음의 식에 기인한다: $V = \frac{L di}{dt}$

[0038] 따라서, 정현파로 의도된 전류일지라도, 인덕턴스가 변한다면, 전류 정현파를 유지하기 위해 인가된 전압은 정현파가 아닐 수 있다. 따라서, 인덕턴스가 변한다면, 전류 정현파를 유지하기 위해 실제 전압에 기초하여 직각으로 수직 전압 벡터가 인가될 수 있다. 인덕턴스의 전압과 전류는 전압이 전류를 리드하도록 90도 떨어져있다. 따라서, 벡터에서, I_q 전류는 90도 각도 차이로 인해 d의 전압 벡터를 필요로 한다. 결과적으로, BEMF 및 변화하는 인덕턴스가 FOC 제어 시스템(10)으로 피드 포워드될 필요가 있을 수 있다.

[0039] 이제 도 3을 참조하면, 보정 알고리즘(72c)에 의해 모델 테이블(72b)을 결정하는 방법(300)이 기술될 것이다. 모델 테이블(72b) 및 보정 알고리즘(72c)은 FOC 제어 시스템(10)에 제1 피드 포워드 항(31) 및 제2 피드 포워드 항(33)으로서 삽입되는 보정 명령 전압을 설정한다. 302에서, 모델 테이블(76b)을 설정하기 위해, 하나의 전기적 사이클의 BEMF(98, 100)은 알려진 회전 속도로 캡처된다. BEMF(98, 100)은 3가지 주요 소스: (1) Ansys Maxwell과 같은 도구로부터의 시뮬레이션 데이터; (2) 단일 기계로부터 직접 측정; (3) 라인 테스트의 시스템 끝/교정 프로세스(system end of line test/calibration process)의 일부로서 직접 측정;으로부터 측정될 수 있다는 것을 이해해야 하지만, 이에 제한되지는 않는다.

[0040] 도 3을 참조하면, 304에서, BEMF(98, 100)는 고조파 충실도를 캡처하기에 충분히 큰 샘플 속도로 필드 전류(49)와 함께 캡처될 수 있다. 더욱이, 만약 다중 위상 전기 기계(12)가 클로 폴(claw pole) 교류 발전기에서 보여지는 것과 같이 외부적으로 여기되고(excited), 필드 전류(49)가 포화 효과와 같이 고조파 성분에 상당한 영향을 미친다면, 여러 역 EMF 샘플이 예상된 필드 전류(49)의 범위에 걸쳐 캡처될 수 있다. 306에서, 일단 다중 위상 역 EMF가 캡처되고 저장되면, DQ0 변환을 수행하기 위해 관련된 위치 데이터를 사용하고, 이는 310에서 DQ 기준 프레임에서 고조파를 드러낸다. 그 후, “DQ 수량”은 312에서 기계 기본 주파수의 진폭을 나타내므로 제거될 수 있다. 결과 그래프(400)(도 4)는 보정 알고리즘(72c)에 삽입되는 D 고조파 및 Q 고조파의 예시적인 관찰 플롯이어서, 단계 314에서 모델 테이블(72b)은 제1 피드 포워드 항(31)과 제2 피드 포워드 항(33)을 플로팅

함으로써 생성될 수 있으며, 이는 이하에서 더 상세히 기술된다. 모델 테이블은 또한 회전자 위치에 기초하여 D 고조파 및/또는 Q 고조파에 대한 보정을 상관시킬 수 있다.

[0041] 여전히 도 3을 참조하면서 이제 도 4를 참조하면, “DC 수량”이 제거된 D 고조파(402)와 Q 고조파(404)의 그래프(400)가 개략적으로 도시되어 있다. 그래프의 가로 좌표는 볼트의 진폭(406)을 나타내고, -10 볼트 내지 +10 볼트의 범위로 도시되어 있지만, 이는 예시일 뿐이며 이로 한정하는 것은 아니다. 세로 좌표는 라디안으로 전기 각도(408)를 나타낸다. 그래프는 0 라디안에서 18 라디안으로 표시되지만, 이는 단지 예시일 뿐이며 이에 한정되어서는 안된다. 도시된 바와 같이, D-고조파(402)는 실선으로 표시되고 Q-고조파(404)는 점선으로 도시된다. D-고조파와 Q-고조파는 모두 양에서 음으로 가는 세로 진폭 라인을 중심으로 진동(oscillate)한다. 또한, Q-고조파는 D-고조파보다 큰 진폭을 가질 수 있다. 또한, Q-고조파와 D-고조파는 상술한 바와 같이, 서로 90도 오프셋될 수 있다.

[0042] 도 3 및 도 4를 참조하고, 전술한 바와 같이, 모델 테이블(72b)은 FOC 알고리즘에 입력된 D-고조파(402) 및 Q-고조파(404)로 채워져서, 그래프(400)는 고조파 왜곡에 대한 관찰 모델 그래프이다. 즉, 이러한 특정 다중 위상 전기 기계(12)와 미리 결정된 공차 내의 모든 다른 다중 위상 전기 기계(12)에 대해, 모델 테이블(72b)은 보정 알고리즘(72c)에 입력된 D-고조파(402) 및 Q-고조파(404)로 채워져서, (도 1의) 회전자 위치(16) 및/또는 필드 전류(49), 또는 (도 1의) 회전자 각도에 기초하여, 적절한 피드 포워드 항 또는 명령 전압이 FOC 제어 시스템(10)에 삽입된다.

[0043] 보정 알고리즘(72c)은 제1 피드 포워드 항(31) 또는 제1 명령 전압(D-고조파 보정), 및 제2 피드 포워드 항(33) 또는 제2 명령 전압(Q-고조파 보정)으로 모델 테이블(72b)을 이하의 식을 사용하여 계산하고, 채운다:

$$U_{보정}(\text{전기적 각도}) = \text{스칼라}(V) \times rpm_{mult} \times BEMF(\text{전기적 각도}, i_{필드}) + \text{스칼라}(I) \times I(dq) \times \omega \times L(\text{전기적 각도}, i_{필드}).$$

[0044] 여기서, FOC 제어 시스템(10)이 디지털 공간에서 숫자 변환을 얻는 것을 고려하면서, 스칼라(V) 및 스칼라(I)는, 전류, 인덕턴스, 및/또는 이와 유사한 것과 같은 표현에서 계산된 물리량을 마이크로 제어기(19)에서 작동하는 값으로 스케일링하기 위한 값과 동일하다. 더욱이,

$$rpm_{mult} = \frac{rpm}{ref_{rpm}} \text{ 이고,}$$

[0045] 여기서, Rpm 은 회전 속도(차등 위치 벡터)와 동일하고, ref_{rpm} 은 BEMF 기준의 속도이다. 또한, $i_{필드}$ 은 여기 전류. 전기적 각도는 전류 순간 기계 위치(FOC 변수)와 동일하다. $BEMF(\text{전기적 각도}, i_{필드})$ 는 주어진 전기적 각도와 주어진 필드 전류(플럭스 고조파)에 대해 볼트 벡터로 반환하는 함수와 동일하다.

[0046] 다중 위상 전기 기계(12)의 전기적 주파수는 이하의 식으로 계산된다:

$$\omega = \frac{rpm \times pole_{pairs}}{60}$$

[0047] 마지막으로, $L(\text{전기적 각도}, i_{필드})$ 는 주어진 각도와 필드 전류에 대해 d 또는 q에 대한 고정자의 인덕턴스 값을 반환하는 함수와 동일하다. 하나의 방정식만이 제공되었지만, D와 Q 모두에 대한 방정식은 두 직교 벡터에 대해 수행된 것과 동일한 예상일 것이라는 것을 이해해야만 한다.

[0048] 모델 테이블(72b), 룩업 테이블, 모델, 방정식 등 및 보정 알고리즘(72c)은 회전자(14)의 위치에 기초하여 회전자 위치(16) 및 필드 전류(49)로 전송되는 BEMF U_d (98) 및 BEMF U_q (100)의 2개의 전압 값을 제공함으로써 기능할 수 있다. 모델 테이블(72b)은 각각의 회전자 위치에서 정규화된 D 및 Q 고조파의 값을 제공할 수 있다. 이와 같이, 모델 테이블(72b)은 그 각도에서의 D 및 Q 고조파의 진폭을 나타내는 2개의 숫자와 상관되는 회전자 위치(및 적용 가능한 경우에는 필드 전류)에 피드될 수 있으며, 이는 이하에서 상세히 기술될 것이다. 이와 같이, 마이크로 제어기(19)는 신호 보정 접점(35, 37)에서 PI 제어기 출력(27, 29)에 대해 적절한 피드 포워드 항

(31, 33)을 FOC 제어 시스템(10)에 제공한다. 결과적으로, 고조파를 제어하기 위한 시도로 PI 제어기 출력(27, 29)을 사용하는 종래의 방법이 필요하지 않아서, FOC 루프가 고조파에 대한 보상이 가능해야 할 필요가 없다.

[0052] 이제 도 5를 참조하면, 다중 위상 전기 기계(12)에 의해 생성된 비정현파 BEMF 전압을 보정하기 위한 방법(500)이 기술될 것이다. 상술한 바와 같이, 입력 모듈(76)은 마이크로 제어기(19)로 복수의 신호를 수신한다. 502에서, 다중 위상 전기 기계(12)가 활성화되는 경우, 504에서, 마이크로 제어기(19)는 회전자 위치(16), 회전자 플럭스 성분 I_d (46), 회전자 토크 신호 I_q (48), 및/또는 필드 전류(49), 또는 회전자의 각도(14)를 분석한다. 단계 506에서, BEMF U_d 의 플럭스 벡터(98) 및 BEMF U_q 의 토크 벡터(100)는 추출되어서, 다중 위상 전기 기계(12)의 회전자(14)의 회전 및 다중 위상 전기 기계(12)의 회전자 속도를 표시한다.

[0053] 도 5를 참조하면, 마이크로 제어기(19)는, 508에서, 기하학적 구조 및 포화 효과로부터의 왜곡을 결정한다. 510에서, BEMF U_d 의 플럭스 벡터(98) 및 BEMF U_q 의 토크 벡터(100)는, 보정 알고리즘(72c)에 의해 모델 테이블(72b)과 비교된다. 511에서, 보정 알고리즘(72c)은, 전류 D 및 Q 고조파, 회전자 위치(16), 및 적용 가능하다면 필드 전류(49)에 기초하여 전류 D 및 Q 고조파(402, 404)(도 4)에 대한 적절한 명령 전압을 결정한다. 이에 따라, 512에서 모델 테이블(72b)은 BEMF U_d 의 플럭스 벡터(98) 및 회전자 위치(16)를 상관시키는 DQ 프레임에서의 제1 명령 전압, 및 BEMF U_q 의 토크 벡터(100)를 상관시키는 DQ 프레임에서의 제2 명령 전압을 제공한다. 512에서, DQ 프레임의 제1 명령 전압 값이 생성된다. 514에서, DQ 프레임의 제2 명령 전압이 생성된다.

[0054] 516에서, BEMF U_d 의 플럭스 벡터(98)에 대한 제1 명령 전압 값은 제1 피드 포워드 항(31)으로서 제1 신호 보정 접점(35)으로 삽입된다. 제1 피드 포워드 항(31)은 제1 PI 제어기(30)의 제어된 플럭스 성분 출력 U_d (27)을 보정한다. 518에서, BEMF U_q 의 토크 벡터(100)에 대한 제2 명령 전압 값은 제2 피드 포워드 항(33)으로서 제2 신호 보정 접점(37)으로 삽입된다. 제2 피드 포워드 항(33)은 제2 PI 제어기(34)의 제어된 토크 성분 출력 U_q 을 보정한다. 520에서, 보정된 U_d (28) 및 보정된 U_q (32)는 역 파크 변환 모듈(20)로 전송된다. 502에서, 고조파를 결정하고, 고조파 및 회전자 위치에 기초하여 값을 결정하기 위해 모델 테이블(72b)을 사용하고, 적절한 피드 포워드 항(31, 33)을 전송하는 보정 알고리즘(72c)의 이러한 프로세스는 다중 위상 전기 기계(12)가 활성화되는 동안 반복된다.

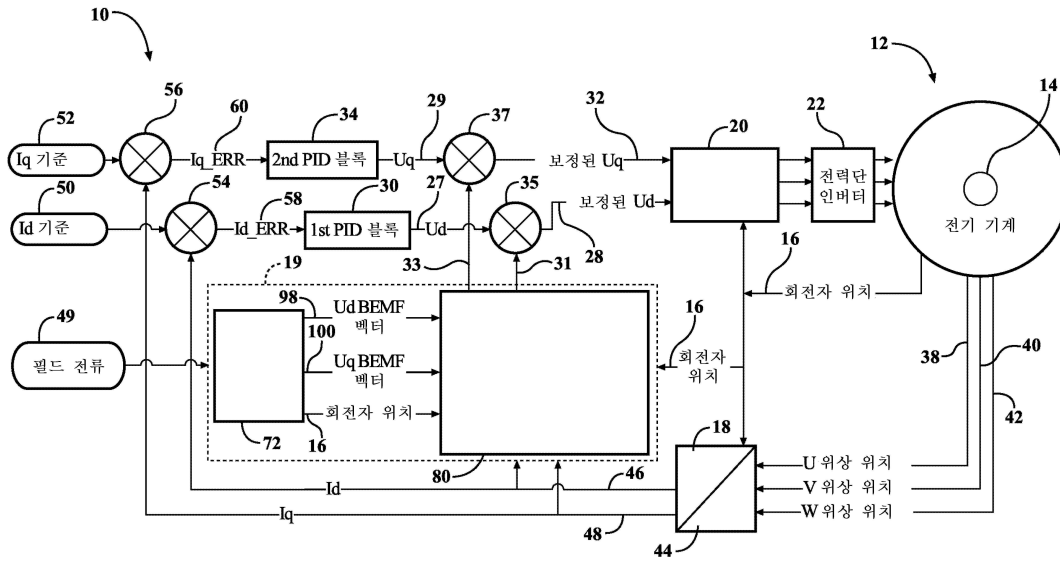
[0055] 여전히 도 5를 참조하면, 제1 피드 포워드 항(31) 및 제2 피드 포워드 항(33)은 BEMF 전압(U_d 및 U_q)이 다중 위상 전기 기계(12)의 작동 범위에 걸쳐 비정현파 전류를 생성하는 것을 방지하여 DQ 평면에서 PI 제어기(30, 34) 루프에 대한 제어량을 DC 값으로 유지한다.

[0056] 도 5에 도시된 프로세스는 단지 단일 방향인 것이 이해되어야만 한다. 그러나, 이는 단지 예시적으로 프로그램의 루프 또는 단일 반복을 설명하기 위한 목적이다. 프로세스의 연속적인 루프는 복수의 반복을 통한 것임을 이해해야만 한다. 이들은 단지 모델 테이블(72b)을 사용하는 예시일 뿐이며, 상술한 바와 같이, FOC 제어 시스템(10)에서 고조파를 보정하고 결정하는 다른 방법이 있다는 것을 이해해야만 한다.

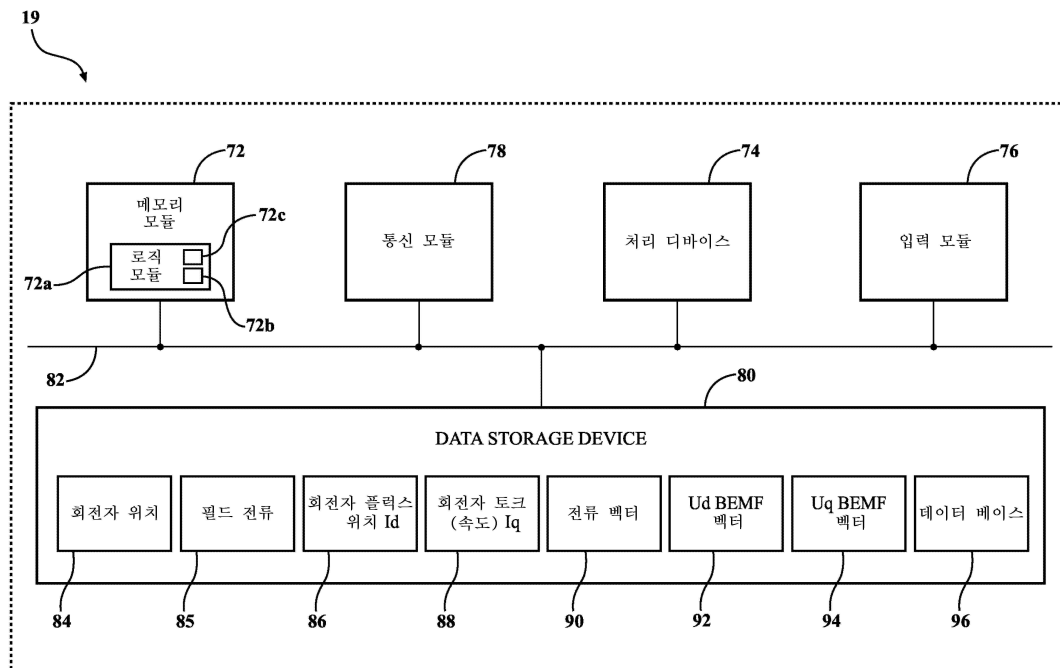
[0057] 특정 실시예들이 본원에 도시되고 기술되어 있지만, 청구된 발명의 주제의 사상 및 범위를 벗어나지 않으면서 다양한 다른 변경 및 수정이 이루어질 수 있음을 이해해야만 한다. 또한, 청구된 발명의 주제의 다양한 양태가 본원에서 기술되었지만, 이러한 양태는 조합하여 이용되어야만 할 필요는 없다. 따라서, 첨부된 청구 범위는 청구된 발명의 주제의 범위 내에 있는 모든 변경 및 수정을 포함하는 것으로 의도된다.

도면

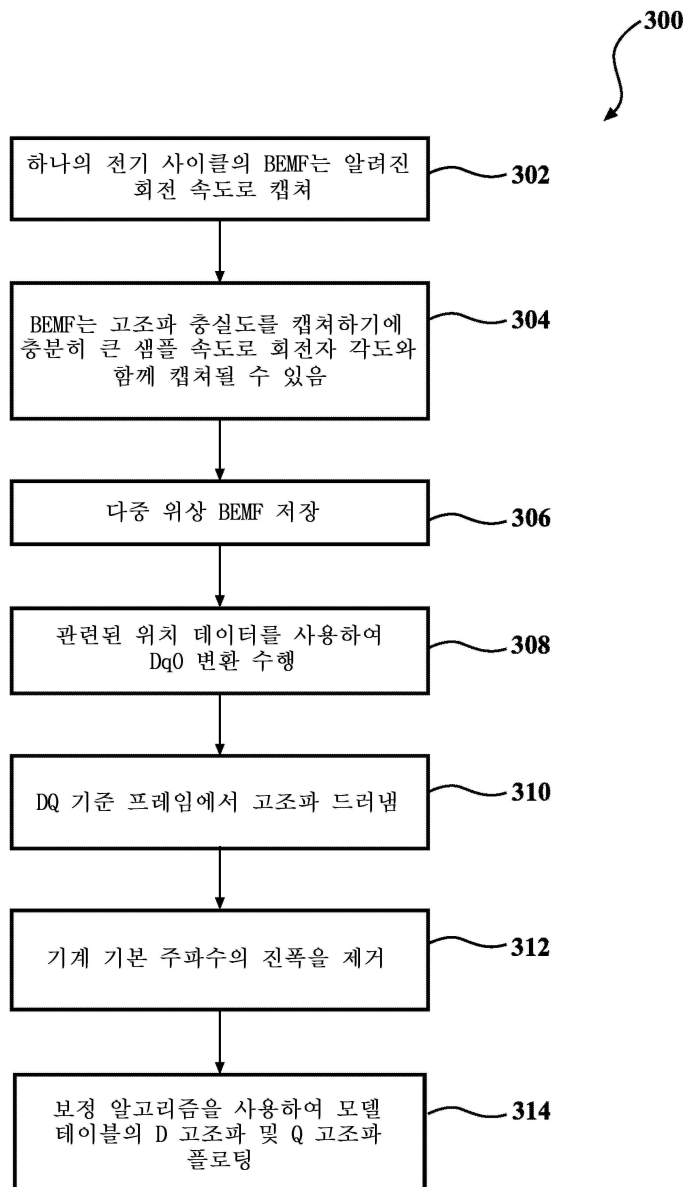
도면1



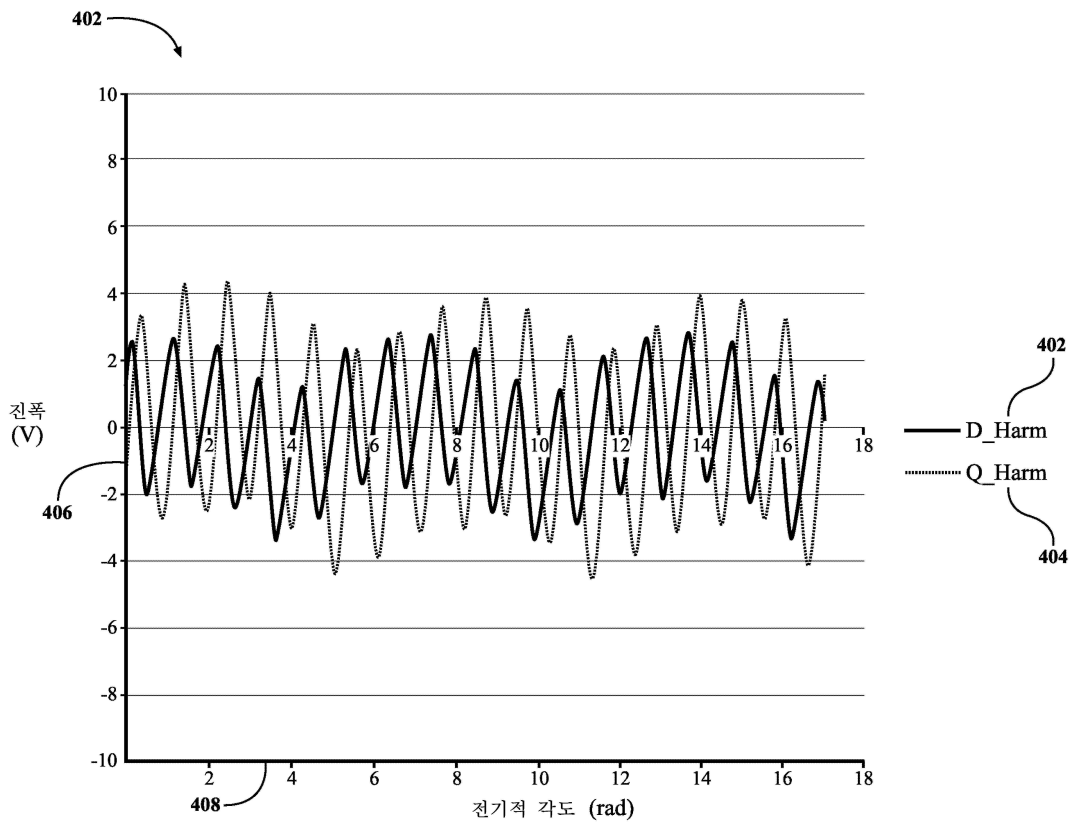
도면2



도면3



도면4



도면5

