

(72) 발명자

이정대

서울특별시 영등포구 여의도동 20

이육진

서울특별시 영등포구 여의도동 20

김재민

서울특별시 영등포구 여의도동 20

정달호

서울특별시 영등포구 여의도동 20

특허청구의 범위

청구항 1

동기 전동기에 흐르는 삼상 출력 전류를 검출하는 출력 전류 검출부;
 상기 삼상 출력 전류를 정지 좌표계의 2상 전류로 변환하는 축변환부; 및
 상기 정지좌표계의 2상 전류에 기초하여, 상기 동기 전동기의 회전자 위치를 추정하는 위치 추정부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 전동기 구동장치.

청구항 2

제1항에 있어서,
 상기 위치 추정부는,
 상기 정지좌표계의 2상 전류에 기초하여, 상기 정지좌표계의 쇄교 자속을 추정하는 자속 관측부; 및
 상기 추정된 쇄교 자속에 기초하여, 상기 회전자 위치 추정을 수행하는 위치 연산부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 전동기 구동장치.

청구항 3

제2항에 있어서,
 상기 자속 관측부는,
 상기 정지좌표계의 2상 전압 및 상저항에 더 기초하여, 상기 쇄교 자속을 추정하는 것을 특징으로 하는 전동기 구동장치.

청구항 4

제2항에 있어서,
 상기 위치 연산부는,
 상기 정지좌표계의 2상 전류 및 q축 인덕턴스 성분에 더 기초하여, 상기 회전자 위치 추정을 수행하는 것을 특징으로 하는 전동기 구동장치.

청구항 5

제1항에 있어서,
 상기 축변환부는,
 상기 위치 추정부에서 추정된 상기 추정된 회전자 위치를 입력받아, 상기 삼상 출력 전류를 정지 좌표계의 2상 전류로 변환하는 동작을 수행하는 것을 특징으로 하는 전동기 구동장치.

청구항 6

제1항에 있어서,
 소정 직류 전원을 소정 주파수의 교류 전원으로 변환하여, 상기 교류 전원을 상기 동기 전동기에 출력하는 인버터;
 상기 인버터에 스위칭 제어 신호를 출력하는 스위칭 제어 신호 출력부; 및
 상기 스위칭 제어 신호 생성을 위해, 입력되는 회전 좌표계 2상 전압 지령치를 삼상 전압 지령치로 변환하는 제 2 축변환부;를 더 구비하는 것을 특징으로 하는 전동기 구동장치.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 제2 축변환부는,

상기 위치 추정부에서 추정된 상기 추정된 회전자 위치를 입력받아, 상기 회전 좌표계 2상 전압 지령치를 삼상 전압 지령치로 변환하는 동작을 수행하는 것을 특징으로 하는 전동기 구동장치.

청구항 8

동기 전동기에 흐르는 삼상 출력 전류를 검출하는 단계;

삼상 출력 전류를 정지 좌표계의 2상 전류로 변환하는 단계; 및

상기 정지좌표계의 2상 전류에 기초하여, 상기 동기 전동기의 회전자 위치를 추정하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 동기 전동기의 위치 추정 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 회전자 위치 추정 단계는,

정지좌표계의 2상 전류에 기초하여, 상기 정지좌표계의 쇄교 자속을 추정하는 단계; 및

상기 추정된 쇄교 자속에 기초하여, 상기 회전자 위치를 연산하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 동기 전동기의 위치 추정 방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 변환 단계는,

상기 추정된 회전자 위치를 이용하여, 상기 변환 단계를 수행하는 것을 특징으로 하는 동기 전동기의 위치 추정 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 동기 전동기의 위치 추정 방법 및 이를 이용한 전동기 구동장치에 관한 것이며, 더욱 상세하게는 위치 감지부 없이 동기 전동기의 위치 추정을 간단히 수행할 수 있는 동기 전동기의 위치 추정 방법 및 이를 이용한 전동기 구동장치에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 근래, 환경 문제를 고려하여, 가전기기에서 효율적인 전력 소모를 위한 다양한 방법이 강구되고 있다. 이에 따라, 동기 전동기(Synchronous Motor; SM), 특히 영구자석을 적용한 동기 전동기(Permanent Magnet Synchronous Motor; PMSM)의 사용이 증대되고 있는 추세이다.

[0003] 이러한 동기 전동기는, 고정자(stator)와 회전자(rotor)를 구비하며, 이 중 회전자 또는 고정자가 영구자석(permanent)을 포함하게 된다. 한편, 이러한 동기 전동기의 회전자의 정확한 위치 감지(position sensing)를 위해, 로터리 인코더(rotary encoder) 또는 리졸버(resolver) 등의 위치 감지부(position sensor)가 사용되었다.

[0004] 그러나, 이러한 위치 감지부는, 고비용 또는 환경 또는 기계적인 이유로, 사용되기 곤란한 경우가 증대되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명의 목적은, 위치 감지부 없이 동기 전동기의 위치 추정을 간단히 수행할 수 있는 동기 전동기의 위치 추

정 방법 및 이를 이용한 전동기 구동장치를 제공함에 있다.

[0006] 본 발명의 다른 목적은, 다른 동기 전동기에서도 간편하게 위치 추정을 수행할 수 있는 동기 전동기의 위치 추정 방법 및 이를 이용한 전동기 구동장치를 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 실시예에 따른 전동기 구동장치는, 동기 전동기에 흐르는 삼상 출력 전류를 검출하는 출력 전류 검출부와, 삼상 출력 전류를 정지 좌표계의 2상 전류로 변환하는 축변환부와, 정지좌표계의 2상 전류에 기초하여, 동기 전동기의 회전자 위치를 추정하는 위치 추정부를 포함한다.

[0008] 또한, 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 실시예에 따른 동기 전동기의 위치 추정 방법은, 동기 전동기에 흐르는 삼상 출력 전류를 검출하는 단계와, 삼상 출력 전류를 정지 좌표계의 2상 전류로 변환하는 단계와, 정지좌표계의 2상 전류에 기초하여, 동기 전동기의 회전자 위치를 추정하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0009] 본 발명의 일실시예에 따르면, 위치 감지부 없이, 정지 좌표계에 있는 자속 관측부를 사용하여, 동기 전동기에서의 위치 추정을 간단히 수행할 수 있게 된다. 특히, 이 위치 추정 방법은, 단지 2개의 전동기 매개변수, 구체적으로 상저항(R_s)와 q축 인덕턴스(L_q)만이 요구되기 때문에, 간단하고 쉽게 구해질 수 있다.

[0010] 또한, 동기 전동기의 종류에 따라 그 비례 상수만이 변경될 뿐, 동일 연산이 수행될 수 있다. 이에 의해 공용으로 사용하는 것이 가능하다.

도면의 간단한 설명

[0011] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 전동기 구동장치의 일예를 도시한 회로도이다.

도 2는 도 1의 제어부의 내부 블록도이다.

도 3은 도 2의 위치 추정부의 내부 블록도이다.

도 4는 동기 좌표계와 정지 좌표계의 관계를 나타내는 도면이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 동기 전동기의 위치 추정 방법을 보여주는 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0012] 이하에서는 도면을 참조하여 본 발명을 보다 상세하게 설명한다.

[0013] 이하의 설명에서 사용되는 구성요소에 대한 접미사 "모듈" 및 "부"는 단순히 본 명세서 작성의 용이함만이 고려되어 부여되는 것으로서, 그 자체로 특별히 중요한 의미 또는 역할을 부여하는 것은 아니다. 따라서, 상기 "모듈" 및 "부"는 서로 혼용되어 사용될 수도 있다.

[0014] 동기 전동기(Synchronous Motor; SM)에서, 위치 감지부(position sensor) 없이 전동기의 회전자(rotor) 위치를 파악하는 방법은, 예를 들어, 전동기의 전압 정보와 전류 정보를 이용하여, 회전자의 위치를 추정하는 것이다. 위치 감지부(position sensor)가 없으므로, 이를 센서리스(sensorless) 방법이라고도 한다.

[0015] 그러나, 센서리스(sensorless) 방법은, 그 연산 알고리즘이 복잡하며, 그 연산량도 많기 때문에, 저성능의 마이크로 컨트롤러에서는 이를 구현하기가 힘들다는 문제가 있다.

[0016] 특히, 이러한 센서리스 방법은, 상당량의 전동기 매개 변수(motor parameter)를 필요로 한다. 전동기 매개 변수의 예로, 상저항(stator resistance; R_s), 자속분 인덕턴스인 d축 인덕턴스(L_d), 토크분 인덕턴스인 q축 인덕턴스(L_q), 역기전력 계수(back-emf constant) 등이 있다. 상술한 전동기 매개 변수들은 동기 좌표계(rotating reference frame)에서 위치 추정을 수행할 경우, 사용되는 것들이다.

[0017] 본 발명의 실시예는, 정지 좌표계(stationary reference frame)에서, 자속 관측부(flux observer)를 사용하여, 동기 전동기(SM)를 위한 간단한 센서리스 방법을 제시한다. 즉, 본 발명의 실시예에서는, 쇠교 자속(flux linkage; λ)에서 회전자 위치를 간편하게 추정하는 방안을 제시한다. 이하에서는, 동기 전동기를 구동하는 전동기 구동장치를 기술한다.

- [0018] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 전동기 구동장치의 일예를 도시한 회로도이다.
- [0019] 도면을 참조하여 설명하면, 본 발명의 실시예에 따른 도 1의 전동기 구동장치(100)는, 컨버터(110), 인버터(120), 제어부(130), dc 단 전압 검출부(B), 평활 커패시터(C), 및 출력전류 검출부(E)를 포함할 수 있다. 또한, 도 1의 전동기 구동장치(100)는, 입력 전류 검출부(A), 리액터(L1,L2) 등을 더 포함할 수도 있다.
- [0020] 리액터(L1,L2)는, 상용 교류 전원(105, v_s)과 컨버터(110) 사이에 배치되어, 역률 보정 또는 승압동작을 수행한다. 또한, 리액터(L1,L2)는 컨버터(110)의 고속 스위칭에 의한 고조파 전류를 제한하는 기능을 수행할 수도 있다.
- [0021] 입력 전류 검출부(A)는, 상용 교류 전원(105)으로부터 입력되는 입력 전류(i_s)를 검출할 수 있다. 이를 위하여, 입력 전류 검출부(A)로, CT(current transformer), 션트 저항 등이 사용될 수 있다. 검출되는 입력 전류(i_s)는, 펄스 형태의 이산 신호(discrete signal)로서, 컨버터 스위칭 제어신호(Sc)의 생성 또는 입력전압(v_s) 추정을 위해, 제어부(130)에 입력될 수 있다.
- [0022] 컨버터(110)는, 리액터(L1,L2)를 거친 상용 교류 전원(105)을 직류 전원으로 변환하여 출력한다. 도면에서는 상용 교류 전원(105)을 단상 교류 전원으로 도시하고 있으나, 삼상 교류 전원일 수도 있다. 상용 교류 전원(105)의 종류에 따라 컨버터(110)의 내부 구조도 달라진다.
- [0023] 예를 들어, 단상 교류 전원인 경우, 2개의 스위칭 소자 및 4개의 다이오드가 연결된 하프 브릿지형의 컨버터가 사용될 수 있으며, 삼상 교류 전원의 경우, 6개의 스위칭 소자 및 6개의 다이오드가 사용될 수도 있다.
- [0024] 컨버터(110)가, 스위칭 소자를 구비하는 경우, 해당 스위칭 소자의 스위칭 동작에 의해, 승압 동작, 역률 개선 및 직류전원 변환을 수행할 수 있다.
- [0025] 한편, 컨버터(110)는, 스위칭 소자 없이 다이오드 등으로 이루어져, 별도의 스위칭 동작 없이 정류 동작을 수행할 수도 있다.
- [0026] 평활 커패시터(C)는, 입력되는 전원을 평활하고 이를 저장한다. 도면에서는, 평활 커패시터(C)로 하나의 소자를 예시하나, 복수개가 구비되어, 소자 안정성을 확보할 수도 있다.
- [0027] 한편, 도면에서는, 컨버터(110)의 출력단에 접속되는 것으로 예시하나, 이에 한정되지 않고, 직류 전원이 바로 입력될 수도 있다. 예를 들어, 태양 전지로부터의 직류 전원이 평활 커패시터(C)에 바로 입력되거나 직류/직류 변환되어 입력될 수도 있다. 이하에서는, 도면에 예시된 부분을 위주로 기술한다.
- [0028] 한편, 평활 커패시터(C) 양단은, 직류 전원이 저장되므로, 이를 dc 단 또는 dc 링크단이라 명명할 수도 있다.
- [0029] dc 단 전압 검출부(B)는 평활 커패시터(C)의 양단인 dc 단 전압(V_{dc})을 검출할 수 있다. 이를 위하여, dc 단 전압 검출부(B)는 저항 소자, 증폭기 등을 포함할 수 있다. 검출되는 dc 단 전압(V_{dc})은, 펄스 형태의 이산 신호(discrete signal)로서, 컨버터 스위칭 제어신호(Sc)의 생성을 위해, 제어부(130)에 입력될 수 있다.
- [0030] 인버터(120)는, 복수개의 인버터 스위칭 소자를 구비하고, 스위칭 소자의 온/오프 동작에 의해 평활된 직류 전원(V_{dc})을 소정 주파수의 삼상 교류 전원(v_a, v_b, v_c)으로 변환하여, 삼상 동기 전동기(150)에 출력할 수 있다.
- [0031] 인버터(120)는, 각각 서로 직렬 연결되는 상암 스위칭 소자(S_a, S_b, S_c) 및 하암 스위칭 소자($S'a, S'b, S'c$)가 한 쌍이 되며, 총 세 쌍의 상,하암 스위칭 소자가 서로 병렬($S_a \& S'a, S_b \& S'b, S_c \& S'c$)로 연결된다. 각 스위칭 소자($S_a, S'a, S_b, S'b, S_c, S'c$)에는 다이오드가 역병렬로 연결된다.
- [0032] 인버터(120) 내의 스위칭 소자들은 제어부(130)로부터의 인버터 스위칭 제어신호(Sic)에 기초하여 각 스위칭 소자들의 온/오프 동작을 하게 된다. 이에 의해, 소정 주파수를 갖는 삼상 교류 전원(v_a, v_b, v_c)이 삼상 동기 전동기(150)에 출력되게 된다.
- [0033] 제어부(130)는, 인버터(120)의 스위칭 동작을 제어할 수 있다. 이를 위해, 제어부(130)는, 출력전류 검출부(E)에서 검출되는 출력전류(i_o)를 입력받을 수 있다.
- [0034] 제어부(130)는, 인버터(120)의 스위칭 동작을 제어하기 위해, 인버터 스위칭 제어신호(Sic)를 인버터(120)에 출력한다. 인버터 스위칭 제어신호(Sic)는 PWM용 스위칭 제어신호로서, 출력전류 검출부(E)로부터 검출되는 출력전류값(i_o)을 기초로 생성되어 출력된다. 제어부(130) 내의 인버터 스위칭 제어신호(Sic)의 출력에 대한 상세

동작은 도 2를 참조하여 후술한다.

- [0035] 출력전류 검출부(E)는, 인버터(120)와 삼상 동기 전동기(150) 사이에 흐르는 출력전류(i_o)를 검출한다. 즉, 동기 전동기(150)에 흐르는 전류를 검출한다. 출력전류 검출부(E)는 각 상의 출력 전류(i_a, i_b, i_c)를 모두 검출할 수 있으며, 또는 삼상 평형을 이용하여 두 상의 출력 전류를 검출할 수도 있다.
- [0036] 출력전류 검출부(E)는 인버터(120)와 동기 전동기(150) 사이에 위치할 수 있으며, 전류 검출을 위해, CT(current transformer), 션트 저항 등이 사용될 수 있다.
- [0037] 션트 저항이 사용되는 경우, 3개의 션트 저항이, 인버터(120)와 동기 전동기(150) 사이에 위치하거나, 인버터(120)의 3개의 하암 스위칭 소자(S'a,S'b,S'c)에 일단이 각각 접속되는 것이 가능하다. 한편, 삼상 평형을 이용하여, 2개의 션트 저항이 사용되는 것도 가능하다. 한편, 1개의 션트 저항이 사용되는 경우, 상술한 커패시터(C)와 인버터(120) 사이에서 해당 션트 저항이 배치되는 것도 가능하다.
- [0038] 검출된 출력전류(i_o)는, 펄스 형태의 이산 신호(discrete signal)로서, 제어부(130)에 인가될 수 있으며, 검출된 출력전류(i_o)에 기초하여 인버터 스위칭 제어신호(Sic)가 생성된다. 이하에서는 검출된 출력전류(i_o)가 삼상의 출력 전류(i_a, i_b, i_c)인 것으로하여 기술한다.
- [0039] 한편, 삼상 동기 전동기(150)는, 고정자(stator)와 회전자(rotor)를 구비하며, 각상(a,b,c 상)의 고정자의 코일에 소정 주파수의 각상 교류 전원이 인가되어, 회전자가 회전을 하게 된다.
- [0040] 이러한 동기 전동기(150)는, 예를 들어, 표면 부착형 영구자석 동기전동기(Surface-Mounted Permanent-Magnet Synchronous Motor; SMPMSM), 매입형 영구자석 동기전동기(Interior Permanent Magnet Synchronous Motor; IPMSM), 및 동기 릴럭턴스 전동기(Synchronous Reluctance Motor; Synrm) 등을 포함할 수 있다.
- [0041] 이 중 SMPMSM과 IPMSM은 영구자석을 적용한 동기 전동기(Permanent Magnet Synchronous Motor; PMSM)이며, Synrm은 영구자석이 없는 것이 특징이다. 이러한 각 전동기의 구조적인 특징 및 관련 내용은 후술한다.
- [0042] 한편, 제어부(130)는, 컨버터(110)가 스위치 소자를 구비하는 경우, 컨버터(110) 내의 스위칭 소자의 스위칭 동작을 제어할 수 있다. 이를 위해, 제어부(130)는, 입력 전류 검출부(A)에서 검출되는 입력 전류(i_s)를 입력받을 수 있다. 그리고, 제어부(130)는, 컨버터(110)의 스위칭 동작을 제어하기 위해, 컨버터 스위칭 제어신호(Scc)를 컨버터(110)에 출력할 수 있다. 이러한 컨버터 스위칭 제어신호(Scc)는 PWM용 스위칭 제어신호로서, 입력 전류 검출부(A)로부터 검출되는 입력 전류(i_s)를 기초로 생성되어 출력될 수 있다.
- [0043] 도 2는 도 1의 제어부의 내부 블록도이며, 도 3은 도 2의 위치 추정부의 내부 블록도이고, 도 4는 동기 좌표계와 정지 좌표계의 관계를 나타내는 도면이다.
- [0044] 먼저, 도 2를 참조하면, 제어부(130)는, 축변환부(210), 위치 추정부(220), 전류 지령 생성부(230), 전압 지령 생성부(240), 축변환부(250), 및 스위칭 제어신호 출력부(260)를 포함할 수 있다.
- [0045] 축변환부(210)는, 출력 전류 검출부(E)에서 검출된 삼상 출력 전류(i_a, i_b, i_c)를 입력받아, 정지좌표계의 2상 전류(i_α, i_β)로 변환한다.
- [0046] 도 4를 참조하면, 축변환부(210)는, 도 4(a)의 삼상 좌표계를, 도 4(b)의 2상($\alpha \beta$) 정지 좌표계로 변환시킬 수 있다. 이를 위해, 다음의 수학적 식 1이 사용될 수 있다.

수학적 식 1

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sqrt{3} & -1/\sqrt{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sqrt{3} & -1/\sqrt{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$

- [0047]
- [0048] 여기서, i_a, i_b, i_c 삼상 출력 전류를, v_a, v_b, v_c 삼상 출력 전압을 나타내며, i_α, i_β 는 정지 좌표계에서의 2상

전류를, v_α, v_β 는 정지 좌표계에서의 2상 전압을 나타낸다.

[0049] 한편, 축변환부(210)는, 정지좌표계의 2상 전류(i_α, i_β)를 회전좌표계의 2상 전류(i_d, i_q)로 변환할 수 있다. 이를 위해, 다음의 수학적 2가 사용될 수 있다.

수학적 2

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix}$$

[0050]

[0051] 여기서, i_d, i_q 는 d축 전류, q축 전류를 나타내며, v_d, v_q 는 d축 전압, q축 전압을 나타낸다. 한편, $\sin\theta$ 와 $\cos\theta$ 의 θ 는 회전자 위치를 나타낸다. 이러한 회전자 위치는, 후술하는 위치 추정부(220)로부터 간단히 추정될 수 있다.

[0052] 다음, 위치 추정부(220)는, 정지 좌표계의 2상 전류(i_α, i_β)와 정지 좌표계의 2상 전압(v_α, v_β)을 입력받아, 회전자 위치(θ)를 추정한다.

[0053] 이때의 정지 좌표계의 2상 전류(i_α, i_β)는 축변환부(210)로부터 입력될 수 있으며, 정지 좌표계의 2상 전압(v_α, v_β)은, dc 단 전압 검출부(B)로부터의 dc 단 전압(V_{dc})과, 인버터(120)의 스위칭 동작 상태를 고려하여, 연산될 수 있다. 예를 들어, c 단 전압 검출부(B)로부터의 dc 단 전압(V_{dc})과, 인버터(120)의 스위칭 동작 상태에 따라, 소정 관계식에 의해, 3상 출력 전압(v_a, v_b, v_c)이 연산되며, 축변환부(210)에서 다시 정지 좌표계의 2상 전압(v_α, v_β)으로 변환될 수 있다.

[0054] 한편, 위치 추정부(220)는, 도 3에 예시된 바와 같이, 자속 관측부(310)와 위치 연산부(320)를 구비할 수 있다.

그리고, 정지 좌표계 하에서 추정된 위치($\hat{\theta}_r$)와 추정된 속도($\hat{\omega}_r$)를 출력할 수 있다.

[0055] 이러한 위치 추정부(220) 내의 자속 관측부(310)와 위치 연산부(320) 내의 동작은 후술하는 수학적 5 이하를 참조하여 상세히 기술한다.

[0056] 한편, 전류 지령 생성부(230)는, 추정 속도($\hat{\omega}_r$)와 속도 지령치(ω_r^*)에 기초하여, 전류 지령치(i_q^*)를 생성한다. 예를 들어, 전류 지령 생성부(230)는, 추정 속도($\hat{\omega}_r$)와 속도 지령치(ω_r^*)의 차이에 기초하여, PI 제어기(235)에서 PI 제어를 수행하며, 전류 지령치(i_q^*)를 생성할 수 있다. 도면에서는, 전류 지령치로, q축 전류 지령치(i_q^*)를 예시하나, 도면과 달리, d축 전류 지령치(i_d^*)를 함께 생성하는 것도 가능하다. 한편, d축 전류 지령치(i_d^*)의 값은 0으로 설정될 수도 있다.

[0057] 한편, 전류 지령 생성부(230)는, 전류 지령치(i_q^*)가 허용 범위를 초과하지 않도록 그 레벨을 제한하는 리미터(미도시)를 더 구비할 수도 있다.

[0058] 다음, 전압 지령 생성부(240)는, 축변환부에서 2상 회전 좌표계로 축변환된 d축, q축 전류(i_d, i_q)와, 전류 지령 생성부(230) 등에서의 전류 지령치(i_d^*, i_q^*)에 기초하여, d축, q축 전압 지령치(v_d^*, v_q^*)를 생성한다. 예를 들어, 전압 지령 생성부(240)는, q축 전류(i_q)와, q축 전류 지령치(i_q^*)의 차이에 기초하여, PI 제어기(244)에서 PI 제어를 수행하며, q축 전압 지령치(v_q^*)를 생성할 수 있다. 또한, 전압 지령 생성부(240)는, d축 전류(i_d)와, d축 전류 지령치(i_d^*)의 차이에 기초하여, PI 제어기(248)에서 PI 제어를 수행하며, d축 전압 지령치(v_d^*)를 생성할

수 있다. 한편, 전압 지령 생성부(240)는, d 축, q축 전압 지령치(v_d^*, v_q^*)가 허용 범위를 초과하지 않도록 그 레벨을 제한하는 리미터(미도시)를 더 구비할 수도 있다.

[0059] 한편, 생성된 d축, q축 전압 지령치(v_d^*, v_q^*)는, 축변환부(250)에 입력된다.

[0060] 축변환부(250)는, 위치 추정부(220)에서 추정된 위치($\hat{\theta}_r$)와, d축, q축 전압 지령치(v_d^*, v_q^*)를 입력받아, 축변환을 수행한다.

[0061] 먼저, 2상 회전 좌표계에서 2상 정지 좌표계로 변환을 수행한다. 이를 위해, 다음의 수학적 식 3이 사용될 수 있다. 이때, 위치 추정부(220)에서 추정된 위치($\hat{\theta}_r$)가 사용될 수 있다.

수학적 식 3

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix}$$

[0062]

[0063] 그리고, 2상 정지 좌표계에서 3상 정지 좌표계로 변환을 수행한다. 이를 위해 다음의 수학적 식 4가 사용될 수 있다.

수학적 식 4

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ -1/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ -1/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix}$$

[0064]

[0065] 이러한 변환을 통해, 축변환부(150)는, 3상 출력 전압 지령치(v_a^*, v_b^*, v_c^*)를 출력하게 된다.

[0066] 스위칭 제어 신호 출력부(260)는, 3상 출력 전압 지령치(v_a^*, v_b^*, v_c^*)에 기초하여 PWM신호인 인버터용 스위칭 제어 신호(Sic)를 생성하여 출력한다. 출력되는 인버터 스위칭 제어 신호(Sic)는, 게이트 구동부(미도시)에서 게이트 구동 신호로 변환되어, 인버터(120) 내의 각 스위칭 소자의 게이트에 입력될 수 있다. 이에 의해, 인버터(120) 내의 각 스위칭 소자들(Sa, S'a, Sb, S'b, Sc, S'c)이 스위칭 동작을 하게 된다.

[0067] 한편, 상술한 위치 추정부(220)의 동작에 대해서는 이하에서 상술한다.

[0068] 동기 전동기(SM)의 회전 좌표계 d, q 축에서의 전기적 모델은 다음의 수학적 식 5 및 수학적 식 6과 같다.

수학적 식 5

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \lambda_d \\ \lambda_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} - R_s \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & \omega_r \\ -\omega_r & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_d \\ \lambda_q \end{bmatrix}$$

[0069]

[0070] 여기서, λ_d 와 λ_q 는, 각각, d축과 q축 쇄교 자속, v_d 와 v_q 는, 각각, d축과 q축 전압, i_d 와 i_q 는, 각각, d축과

q축 전류, R_s 는 상저항(stator resistor)를 나타낸다.

수학식 6

[0071]

$$\begin{bmatrix} \lambda_d \\ \lambda_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_d & 0 \\ 0 & L_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \lambda_{PM} \\ 0 \end{bmatrix}$$

[0072]

여기서, L_d 와 L_q 는, 각각, d축과 q축 인덕턴스, λ_{pm} 은 자석에 의한 쇄교 자속(magnet flux linkage)을 나타낸다.

[0073]

즉, 수학식 5는, 회전 좌표계 d, q 축에서의 쇄교 자속 변화율과, d, q 축 전압 등과의 관계를 나타내며, 수학식 6은, 회전 좌표계 d, q 축에서의 쇄교 자속과 d축과 q축 전류 등과의 관계를 나타낸다.

[0074]

한편, 영구자석을 적용한 동기 전동기(IPMSM)의 정지 좌표계(α , β 축)과 회전 좌표계(d축, q축)의 관계는 다음의 수학식 7 및 수학식 8과 같다.

수학식 7

[0075]

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \lambda_d \\ \lambda_q \end{bmatrix} &= \frac{d}{dt} \left(\begin{bmatrix} \cos \theta_r & \sin \theta_r \\ -\sin \theta_r & \cos \theta_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_\alpha \\ \lambda_\beta \end{bmatrix} \right) \quad \left(\omega_r = \frac{d\theta_r}{dt} \right) \\ &= \begin{bmatrix} \cos \theta_r & \sin \theta_r \\ -\sin \theta_r & \cos \theta_r \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \lambda_\alpha \\ \lambda_\beta \end{bmatrix} + \omega_r \begin{bmatrix} -\sin \theta_r & \cos \theta_r \\ -\cos \theta_r & -\sin \theta_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_\alpha \\ \lambda_\beta \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \cos \theta_r & \sin \theta_r \\ -\sin \theta_r & \cos \theta_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} - R_s \begin{bmatrix} \cos \theta_r & \sin \theta_r \\ -\sin \theta_r & \cos \theta_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \\ &\quad + \omega_r \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta_r & \sin \theta_r \\ -\sin \theta_r & \cos \theta_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_\alpha \\ \lambda_\beta \end{bmatrix} \end{aligned}$$

수학식 8

[0076]

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \lambda_\alpha \\ \lambda_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} - R_s \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix}$$

[0077]

여기서, θ_r 은 회전자의 위치, λ_α 와 λ_β 는, 각각, α 축과 β 축 쇄교 자속, v_α 와 v_β 는, 각각, α 축과 β 축 전압, i_α 와 i_β 는, 각각, α 축과 β 축 전류를 나타낸다.

[0078]

한편, 수학식 7은, 정지 좌표계(α , β 축)과 회전 좌표계(d축, q축)의 관계를 기반으로, 회전 좌표계의 d축, q축 쇄교 자속 변화율이, 정지 좌표계의 α 축과 β 축 전압, α 축과 β 축 전류, 및 α 축과 β 축 쇄교 자속 등으로 표현되는 것을 예시한다.

[0079]

한편, 수학식 8은, 회전 좌표계와 달리, 정지 좌표계의 α 축, β 축 쇄교 자속 변화율이 자석에 의한 쇄교 자속

(λ_{pm})과 관계가 없음을 나타낸다.

[0080] 다음, 상술한 수학식 6의 내용 및 수학식 7의 내용을 조합하면, 다음의 수학식 9 및 수학식 10과 같이 정리된다.

수학식 9

[0081]

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \lambda_d \\ \lambda_q \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \cos \theta_r & \sin \theta_r \\ -\sin \theta_r & \cos \theta_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_\alpha \\ \lambda_\beta \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} L_d & 0 \\ 0 & L_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta_r & \sin \theta_r \\ -\sin \theta_r & \cos \theta_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \lambda_{PM} \\ 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

수학식 10

[0082]

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \lambda_\alpha \\ \lambda_\beta \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} L_d \cos^2 \theta_r + L_q \sin^2 \theta_r & (L_d - L_q) \sin \theta_r \cos \theta_r \\ (L_d - L_q) \sin \theta_r \cos \theta_r & L_d \sin^2 \theta_r + L_q \cos^2 \theta_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \\ &\quad + \lambda_{PM} \begin{bmatrix} \cos \theta_r \\ \sin \theta_r \end{bmatrix} \\ &= L_q \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} + (L_d - L_q) \begin{bmatrix} \cos^2 \theta_r & \sin \theta_r \cos \theta_r \\ \sin \theta_r \cos \theta_r & \sin^2 \theta_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \\ &\quad + \lambda_{PM} \begin{bmatrix} \cos \theta_r \\ \sin \theta_r \end{bmatrix} \\ &= L_q \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} + (L_d - L_q) \begin{bmatrix} \cos \theta_r & 0 \\ 0 & \sin \theta_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta_r & \sin \theta_r \\ \cos \theta_r & \sin \theta_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \\ &\quad + \lambda_{PM} \begin{bmatrix} \cos \theta_r \\ \sin \theta_r \end{bmatrix} \\ &= L_q \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} + (L_d - L_q) i_d \begin{bmatrix} \cos \theta_r \\ \sin \theta_r \end{bmatrix} + \lambda_{PM} \begin{bmatrix} \cos \theta_r \\ \sin \theta_r \end{bmatrix} \end{aligned}$$

[0083] 특히, 수학식 10은, 수학식 9 및 삼각함수 성질 등을 이용하여 정리된다(예를 들어, $\cos^2 \theta + \sin^2 \theta = 1$ 등).

[0084] 이에 따라, 수학식 10은, 정지 좌표계의 α 축, β 축 자속 쇄교($\lambda_\alpha, \lambda_\beta$)가, α 축, β 축 전류(i_α, i_β), d 축, q 축 인덕턴스(L_d, L_q), d 축 전류(i_d), 자석에 의한 쇄교 자속(λ_{pm}), 및 회전자의 위치(θ_r)로 표현될 수 있다.

[0085] 한편, 수학식 10을 다시 회전자의 위치(θ_r)를 기준으로 정리하면 다음의 수학식 11과 같다.

수학식 11

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \cos \theta_r \\ \sin \theta_r \end{bmatrix} &= \frac{1}{(L_d - L_q)i_d + \lambda_{PM}} \left(\begin{bmatrix} \lambda_\alpha \\ \lambda_\beta \end{bmatrix} - L_q \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \right) \\ &= \frac{1}{K} \left(\begin{bmatrix} \lambda_\alpha \\ \lambda_\beta \end{bmatrix} - L_q \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \right) \end{aligned}$$

[0086]

[0087] 여기서, K는 비례상수로서, d축, q축 인덕턴스(Ld, Lq), d축 전류(id), 자석에 의한 쇄교 자속(λpm)에 관한 식으로 표현될 수 있다.

[0088] 결국, 회전자 위치(θr)는, 비례상수 K를 기 설정된 값이라 한다면, α축, β축 자속 쇄교(λ α, λ β)와, α축, β축 전류(i α, i β)를 통해 추정될 수 있음을 알 수 있다.

[0089] 상술한, 위치 추정부(220) 내의 자속 관측부(310)를 통한, 자속 추정은, 상술한 수학식 8을 기초로, 다음의 수학식 12로 표현될 수 있다.

수학식 12

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \hat{\lambda}_\alpha \\ \hat{\lambda}_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} - R_s \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} - g \begin{bmatrix} \hat{\lambda}_\alpha \\ \hat{\lambda}_\beta \end{bmatrix}$$

[0090]

[0091] 여기서, $\hat{\lambda}_\alpha$ 와 $\hat{\lambda}_\beta$ 는, 추정된 쇄교 자속을 나타낸다. g는 센서리스 파라미터로서, 소정값을 나타낸다.

[0092] 한편, 위치 추정부(220) 내의 자속 관측부(310)에서 추정된 쇄교 자속($\hat{\lambda}_\alpha$, $\hat{\lambda}_\beta$)을 이용하여, 위치 추정부(220) 내의 위치 연산부(320)는, 다음의 수학식 13과 같이, 회전자 위치를 추정할 수 있다.

수학식 13

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} &= \left(\begin{bmatrix} \hat{\lambda}_\alpha \\ \hat{\lambda}_\beta \end{bmatrix} - L_q \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \right) \\ \begin{bmatrix} \cos \hat{\theta}_r \\ \sin \hat{\theta}_r \end{bmatrix} &= \frac{1}{\sqrt{A^2 + B^2}} \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} \end{aligned}$$

[0093]

[0094] 여기서, A, B는 추정된 쇄교 자속과, α축, β축 전류(i α, i β)를 이용하여 산출되는 값을 나타내며, 이를 이용

하여, 간단하게 추정된 회전자 위치($\hat{\theta}_r$)를 산출할 수 있게 된다.

[0095] 결국, 수학식 12와 수학식 13을 종합하면, 상저항(Rs)와 q축 인덕턴스(Lq)에 기초하여, 간단하게 추정된 회전자 위치($\hat{\theta}_r$)를 산출할 수 있게 된다.

[0096] 한편, 수학식 11의 비례상수 K와 관련하여, 동기 전동기의 특성에 따라 다음의 수학식 14와 같이 정리될 수 있다.

수학식 14

$$\begin{aligned}
 K &= (L_d - L_q) i_d &< \text{SynRM} > \\
 K &= (L_d - L_q) i_d + \lambda_{PM} &< \text{IPMSM} > \\
 K &= \lambda_{PM} &< \text{SMPMSM} >
 \end{aligned}$$

[0097]

[0098] 동기 릴럭턴스 전동기(Synrm)는, 내부에 자석이 배치되지 않으므로, 상술한 수학식 11의 비례상수 K 중 자석에 의한 쇄교 자속(λ_{pm}) 성분이 제거된다.

[0099] SPMSM은, 영구 자석 배치가 대칭형 구조로서, 돌극성이 없으므로, d축 인덕턴스와 q축 인덕턴스가 동일하게 된다(Ld=Lq). 그래서, 상술한 수학식 11의 비례상수 K 중 자석에 의한 쇄교 자속(λ_{pm}) 성분만이 남게 된다.

[0100] IPMSM은, 영구 자석 배치가 비대칭형 구조이므로, 상술한 수학식 11 그대로 이용하여, 비례상수 K를 설정할 수 있게 된다.

[0101] 한편, 이러한 비례상수 K 값은, 기설정된 값일 수 있다.

[0102] 이와 같이, 본 발명의 실시예에 따르면, 정지 좌표계에 있는 자속 관측부(flux observer)(310)를 사용하여, 동기 전동기(SM)에서의 위치 추정을 간단히 수행할 수 있게 된다. 특히, 이 위치 추정 방법은, 단지 2개의 전동기 매개변수(상저항(Rs)와 q축 인덕턴스(Lq))만이 요구되기 때문에, 간단하고 쉽게 구해질 수 있다. 또한, 동기 전동기의 종류에 관계없이, 손쉽게 사용될 수 있다.

[0103] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 동기 전동기의 위치 추정 방법을 보여주는 순서도이다.

[0104] 도면을 참조하면, 먼저, 동기 전동기에 흐르는 삼상 출력 전류를 검출한다(S510). 도 1에 도시된 바와 같이, 동기 전동기(150)와 인버터(120) 사이를 흐르는 삼상 출력 전류(ia,ib,ic)를 출력 전류 검출부(E)를 이용하여 검출한다. 삼상 평형을 이용하여, 2 상만 검출하는 것도 가능하다. 검출되는 출력 전류는 신호 처리되어 제어부(130) 내의 축변환부(210)에 입력된다.

[0105] 다음, 삼상 출력 전류를 정지 좌표계의 2상 전류로 변환한다(S520).

[0106] 축변환부(210)는, 삼상 출력 전류(ia,ib,ic)를 정지 좌표계의 2상 전류(i_α, i_β)로 변환한다. 이를 위해, 상술한 바와 같이, 수학식 1이 사용될 수 있다.

[0107] 한편, 축변환부(210)는, 도면에는 도시하지 않았지만, dc 단 전압 검출부(B)에서 검출된 dc 단 전압에 기초하여 삼상 출력 전압(va,vb,vc)을 연산하고, 이를 바탕으로 정지 좌표계의 2상 전압(v_α, v_β)으로 변환할 수도 있다.

[0108] 다음, 정지 좌표계의 2상 전류 및 상저항에 기초하여, 쇄교 자속 추정한다(S530). 위치 추정부(220), 특히 자속 관측부(310)는, 상술한 수학식 12를 바탕으로, 정지 좌표계의 2상 전류(i_α, i_β), 상저항(Rs), 및 정지 좌표계의 2상 전압(v_α, v_β)를 이용하여, 쇄교 자속을 추정할 수 있다. 추정된 쇄교 자속($\hat{\lambda}_\alpha, \hat{\lambda}_\beta$)은 위치 연산부(320)에 입력될 수 있다.

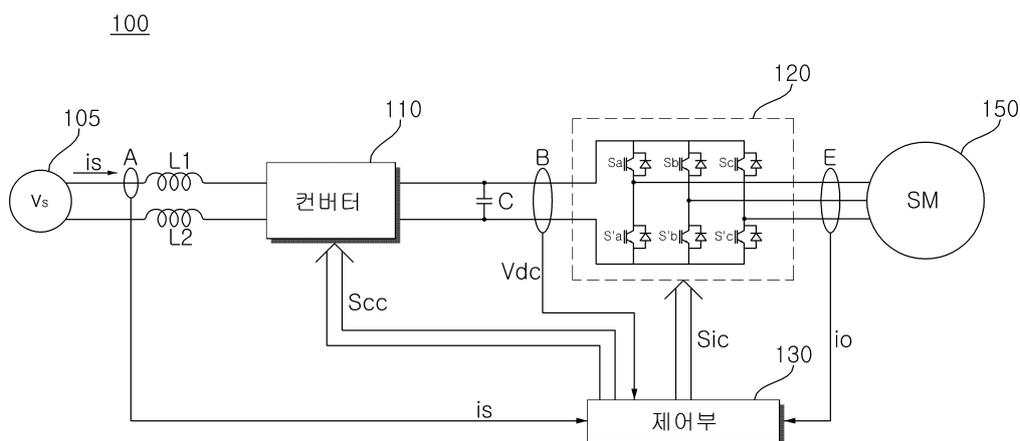
[0109] 다음, 추정 쇄교 자속 및 q축 인덕턴스에 기초하여, 회전자 위치 추정한다(S540). 위치 추정부(220), 특히 위치

연산부(320)는, 수학식 13을 바탕으로, 추정된 쇄교 자속($\hat{\lambda}_\alpha, \hat{\lambda}_\beta$), 정지 좌표계의 2상 전류(i_α, i_β), 및 q축 인덕턴스(L_q)를 이용하여, 회전자 위치를 추정할 수 있다.

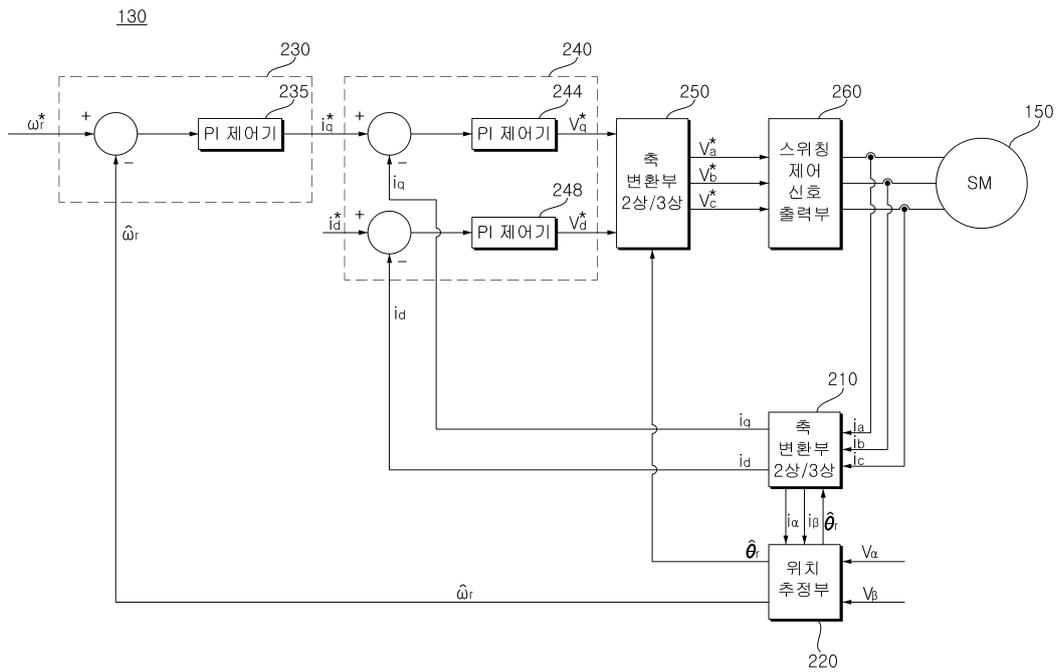
- [0110] 이와 같이, 추정된 회전자 위치($\hat{\theta}_r$)는, 제520 단계(S520)에서, 삼상 출력 전류를 정지 좌표계의 2상 전류로 변환하는 경우에 사용될 수 있다.
- [0111] 이러한 방법에 의해, 위치 감지부 없이, 정지 좌표계에 있는 자속 관측부(310)를 사용하여, 동기 전동기에서의 위치 추정을 간단히 수행할 수 있게 된다. 특히, 이 위치 추정 방법은, 단지 2개의 전동기 매개변수, 구체적으로 상저항(R_s)와 q축 인덕턴스(L_q)만이 요구되기 때문에, 간단하고 쉽게 구해질 수 있다.
- [0112] 한편, 도 2와 도 3에서는, 위치 추정부(220) 내에 자속 관측부(310)와 위치 연산부(320)가 구비되는 것으로 도시하나, 이와 달리, 별개로 각각 구비되는 것도 가능하다.
- [0113] 한편, 본 발명의 실시예에 따른 동기 전동기는, 다양한 예가 가능하며, 그 적용 범위도, 세탁물 처리기기, 청소기, 공기조화기 및 냉장고 등의 가전 기기, 전기 자동차, 하이브리드 자동차, 엘리베이터 등 다양한 동력원을 필요로하는 데에 적용될 수 있다.
- [0114] 본 발명의 실시예에 따른 동기 전동기의 위치 추정 방법 및 이를 이용한 전동기 구동장치는, 상기한 바와 같이 설명된 실시예들의 구성과 방법이 한정되게 적용될 수 있는 것이 아니라, 상기 실시예들은 다양한 변형이 이루어질 수 있도록 각 실시예들의 전부 또는 일부가 선택적으로 조합되어 구성될 수도 있다.
- [0115] 한편, 본 발명의 동기 전동기의 위치 추정 방법은 전동기 구동장치에 구비된 프로세서가 읽을 수 있는 기록매체에 프로세서가 읽을 수 있는 코드로서 구현하는 것이 가능하다. 프로세서가 읽을 수 있는 기록매체는 프로세서에 의해 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록장치를 포함한다.
- [0116] 또한, 이상에서는 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 도시하고 설명하였지만, 본 발명은 상술한 특정의 실시예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진자에 의해 다양한 변형실시가 가능한 것은 물론이고, 이러한 변형실시들은 본 발명의 기술적 사상이나 전망으로부터 개별적으로 이해되어져서는 안될 것이다.

도면

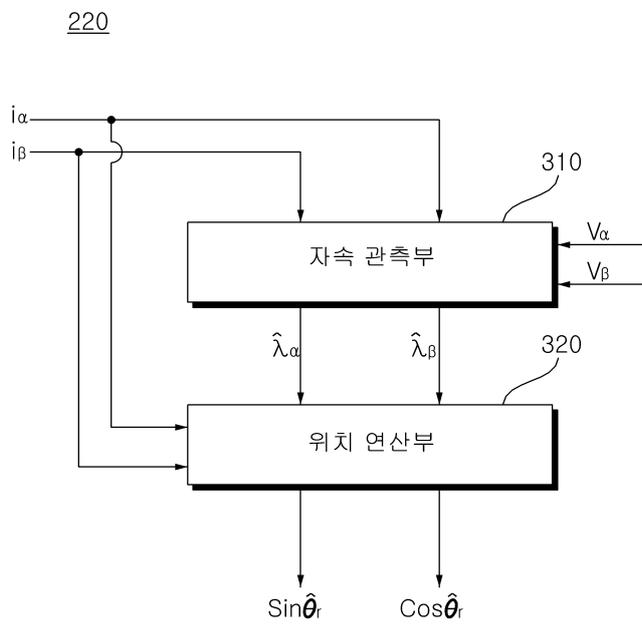
도면1



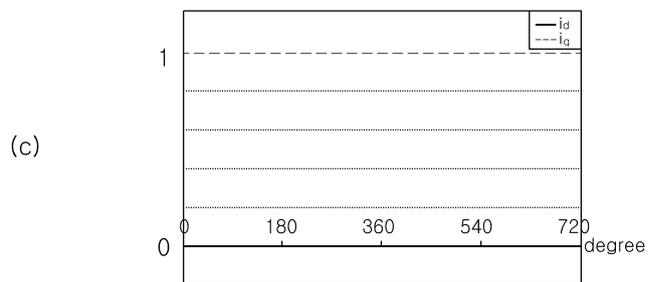
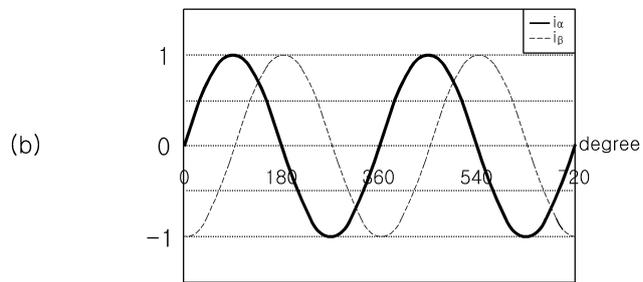
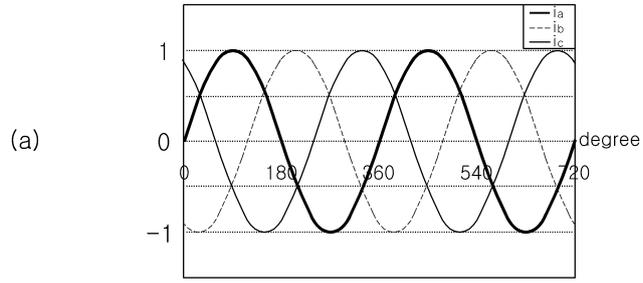
도면2



도면3



도면4



도면5

