



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2011년12월07일
(11) 등록번호 10-1090510
(24) 등록일자 2011년11월30일

(51) Int. Cl.

H02P 6/16 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-0072457

(22) 출원일자 2009년08월06일

심사청구일자 2009년08월06일

(65) 공개번호 10-2011-0014874

(43) 공개일자 2011년02월14일

(56) 선행기술조사문헌

JP2008199746 A*

KR1019980024023 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

창원대학교 산학협력단

경남 창원시 의창구 사림동 9 창원대학교내

(72) 발명자

김삼영

경상남도 진해시 석동 199-1 번지

이우택

경상남도 김해시 내동 동아아파트 307동 903호

최진철

부산광역시 서구 동대신동1가 305번지

(74) 대리인

이현수, 김태현, 정홍식

전체 청구항 수 : 총 8 항

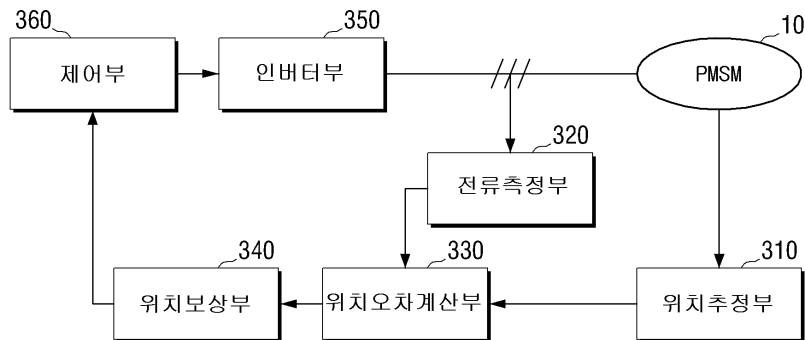
심사관 : 이영노

(54) 영구자석 동기 전동기의 제어 및 위치 추정 오차 보정 방법

(57) 요약

영구자석 동기 전동기 제어 시스템이 개시된다. 영구자석 동기 전동기 제어 시스템은, 전동기의 회전자 위치를 추정하는 위치추정부, 전동기에 인가된 전압에 따른 전류를 측정하는 전류측정부, 측정된 전류를 이용하여 실제 회전자의 위치 및 추정된 회전자의 위치의 오차 보정값을 계산하는 위치오차계산부 및, 계산된 오차 보정값을 이용하여 추정된 회전자의 위치를 보정하는 위치보상부를 포함한다. 이에 따라 전동기의 성능을 개선할 수 있게 된다.

대표도 - 도3



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 없음

부처명 지식경제부/교육과학기술부

연구관리전문기관

연구사업명 산학협력중심대학육성사업

연구과제명 가변속 Direct Drive 전동 시스템을 이용한 시술전용 엔진개발

기여율

주관기관 창원대학교 산학협력단

연구기간 2007년 09월 01일 ~ 2009년 06년 30일

특허청구의 범위

청구항 1

전동기의 회전자 위치를 추정하는 위치추정부;

상기 전동기에 인가된 전압에 따른 전류를 측정하는 전류측정부;

상기 측정된 전류를 이용하여 실제 회전자의 위치 및 상기 추정된 회전자의 위치의 오차 보정값을 계산하는 위치오차계산부; 및

상기 계산된 오차 보정값을 이용하여 상기 추정된 회전자의 위치를 보상하는 위치보상부;를 포함하며,

상기 위치추정부는,

상기 회전자의 위치 검출을 위한 홀센서를 구비하며,

상기 홀센서에서 출력되는 신호의 한 주기를 복수 개의 섹터로 구분하고, 각 섹터마다 상기 회전자의 절대 위치를 부여한 후 상기 주기에 대응되는 각속도 및 미소 시간을 이용하여 회전자 위치의 미소 변화량을 계산한 후 상기 계산된 미소 변화량을 각 섹터의 절대 위치에서 다음 절대 위치까지 증가시키면서 회전자의 위치를 추정하는 것을 특징으로 하는 영구자석 동기 전동기 제어 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 전동기를 구동하기 위한 구동 신호를 출력하는 인버터부; 및

상기 인버터부를 제어하기 위한 제어신호를 출력하는 제어부;를 더 포함하며,

상기 제어부는,

상기 보상된 회전자의 위치를 이용하여 상기 인버터부를 제어하는 것을 특징으로 하는 영구자석 동기 전동기 제어 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 위치오차계산부는,

상기 제어부에서의 지령 전압, 상기 측정된 전류, 상기 각속도를 이용하여 실제 회전자의 위치를 계산하고,

상기 실제 회전자의 위치 및 상기 추정된 회전자의 위치를 이용하여 상기 오차 보정값을 계산하는 것을 특징으로 하는 영구자석 동기 전동기 제어 시스템.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 실제 회전자의 위치 및 상기 추정된 회전자의 위치의 오차 보정값은 각 회전자에 대한 단위 역기전력 함수의 벡터의 곱으로 계산되는 것을 특징으로 하는 영구자석 동기 전동기 제어 시스템.

청구항 5

삭제

청구항 6

전동기의 회전자 위치를 추정하는 단계;

상기 전동기에 인가된 전압에 따른 전류를 측정하는 단계;

상기 측정된 전류를 이용하여 실제 회전자의 위치 및 상기 추정된 회전자의 위치의 오차 보정값을 계산하는 단계; 및

상기 계산된 오차 보정값을 이용하여 상기 추정된 회전자의 위치를 보정하는 단계;를 포함하며,

상기 회전자 위치를 추정하는 단계는,

상기 회전자의 위치 검출을 위한 홀센서에서 출력되는 신호의 한 주기를 복수 개의 섹터로 구분하고, 각 섹터마다 회전자의 절대 위치를 부여한 후 상기 주기에 대응되는 각속도 및 미소 시간을 이용하여 회전자 위치의 미소 변화량을 계산한 후 상기 계산된 미소 변화량을 각 섹터의 절대 위치에서 다음 절대 위치까지 증가시키면서 회전자의 위치를 추정하는 것을 특징으로 하는 영구자석 동기 전동기 제어 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

인버터가 상기 전동기를 구동하기 위한 구동 신호를 출력하는 단계;및

제어기가 상기 인버터를 제어하기 위한 제어신호를 출력하는 단계;를 더 포함하며,

상기 제어기는,

상기 보정된 회전자의 위치를 이용하여 상기 인버터를 제어하는 것을 특징으로 하는 영구자석 동기 전동기 제어 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 오차 보정값을 계산하는 단계는,

상기 제어기에서의 지령 전압, 상기 측정된 전류, 상기 각속도를 이용하여 실제 회전자의 위치를 계산하고,

상기 실제 회전자의 위치 및 상기 추정된 회전자의 위치를 이용하여 상기 오차 보정값을 계산하는 것을 특징으로 하는 영구자석 동기 전동기 제어 방법.

청구항 9

제6항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 실제 회전자의 위치 및 상기 추정된 회전자의 위치의 오차 보정값은 각 회전자에 대한 단위 역기전력 함수의 벡터의 곱으로 계산되는 것을 특징으로 하는 영구자석 동기 전동기 제어 방법.

청구항 10

삭제

명세서

발명의 상세한 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 영구자석 동기 전동기 제어 시스템 및 그 제어 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 회전자 위치를 보정하여 전동기를 제어하는 영구자석 동기 전동기 제어 시스템 및 그 제어 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 영구자석 동기 전동기는 고속 영역에서도 고효율 및 높은 출력 밀도를 나타낸다는 장점으로 인하여 현재 여러 분야에서 사용되고 있는 전동기 중 하나로서, 내부 회전자로 자속세기를 정현파 형태로 가진 영구자석을 사용하고, 외부 고정자로는 권선수가 정현파 형태로 분포된 3상 권선을 감은 전동기이다.

[0003] 이러한 영구자석 동기 전동기를 구동하기 위해서는 반드시 회전자의 위치 정보가 필요하고 이 정보를 검출하기

위해서 위치 센서로 높은 분해능을 가지는 엔코더가 주로 이용된다.

- [0004] 그러나 엔코더는 구조적인 제약이나, 기계적인 강성이 약하는 단점 때문에 고속 구동에는 적합하지 않으며 가격도 다른 센서들에 비해 상대적으로 고가라는 문제점이 있다.
- [0005] 이러한 엔코더의 대안으로 위치센서를 사용하지 않는 센서리스(sensorless) 제어가 제기되고 있지만, 이 또한 저속 영역에서는 정확한 위치 추정이 어렵다는 문제점이 있다.
- [0006] 이러한 문제점을 해결하기 위하여 홀 센서를 위치 센서로 이용하는 방법이 제기되고 있다.
- [0007] 하지만, 홀센서의 비대칭 배치, 홀 센서 신호의 지터(jitter)가 발생하는 경우 등으로 인하여 회전자의 위치 추정에 오차가 발생된다는 문제점이 있었다.

[0008]

발명의 내용

- [0009] 본 발명은 상술한 문제점을 해결하기 위한 것으로, 본 발명의 목적은 보상된 회전자의 위치를 이용하여 전동기를 제어하는 영구자석 동기 전동기 제어 시스템 및 그 제어방법을 제공함에 있다.
- [0010] 본 발명의 일 실시 예에 따르면, 영구자석 동기 전동기 제어 시스템은, 전동기의 회전자 위치를 추정하는 위치 추정부, 전동기에 인가된 전압에 따른 전류를 측정하는 전류측정부, 측정된 전류를 이용하여 실제 회전자의 위치 및 추정된 회전자의 위치의 오차 보정값을 계산하는 위치오차계산부 및, 계산된 오차 보정값을 이용하여 추정된 회전자의 위치를 보상하는 위치보상부를 포함한다.
- [0011] 또한, 상기 전동기를 구동하기 위한 구동 신호를 출력하는 인버터부 및, 상기 인버터부를 제어하기 위한 제어신호를 출력하는 제어부를 더 포함하며, 상기 제어부는, 상기 보상된 회전자의 위치를 이용하여 상기 인버터부를 제어할 수 있다.
- [0012] 또한, 상기 위치추정부는, 상기 회전자의 각속도를 추정하며, 상기 위치오차계산부는, 상기 제어부에서의 지령 전압, 상기 측정된 전류, 상기 추정된 각속도를 이용하여 실제 회전자의 위치를 계산하고, 상기 실제 회전자의 위치 및 상기 추정된 회전자의 위치를 이용하여 상기 오차 보정값을 계산할 수 있다.
- [0013] 여기서, 상기 실제 회전자의 위치 및 상기 추정된 회전자의 위치의 오차 보정값은 각 회전자에 대한 단위 역기 전력 함수의 벡터의 곱으로 계산될 수 있다.
- [0014] 또한, 상기 위치추정부는, 상기 회전자의 위치 추정을 위한 홀센서를 포함할 수 있다.
- [0015] 한편, 본 발명의 일 실시 예에 따른 영구자석 동기 전동기 제어 방법은, 전동기의 회전자 위치를 추정하는 단계, 상기 전동기에 인가된 전압에 따른 전류를 측정하는 단계, 상기 측정된 전류를 이용하여 실제 회전자의 위치 및 상기 추정된 회전자의 위치의 오차 보정값을 계산하는 단계 및, 상기 계산된 오차 보정값을 이용하여 상기 추정된 회전자의 위치를 보상하는 단계를 포함한다.
- [0016] 또한, 인버터가 상기 전동기를 구동하기 위한 구동 신호를 출력하는 단계 및, 제어가 상기 인버터를 제어하기 위한 제어신호를 출력하는 단계를 더 포함하며, 상기 제어기는, 상기 보상된 회전자의 위치를 이용하여 상기 인버터를 제어할 수 있다.
- [0017] 또한, 상기 회전자 위치 추정 단계는, 상기 회전자의 각속도를 추정하며, 상기 오차 보정값을 계산하는 단계는, 상기 제어기에서의 지령 전압, 상기 측정된 전류, 상기 추정된 각속도를 이용하여 실제 회전자의 위치를 계산하고, 상기 실제 회전자의 위치 및 상기 추정된 회전자의 위치를 이용하여 상기 오차 보정값을 계산할 수 있다.
- [0018] 이 경우, 상기 실제 회전자의 위치 및 상기 추정된 회전자의 위치의 오차 보정값은 각 회전자에 대한 단위 역기 전력 함수의 벡터의 곱으로 계산될 수 있다.
- [0019] 또한, 상기 전동기는, 상기 회전자의 위치 추정을 위한 홀센서를 구비할 수 있다.
- [0020] 이에 따라, 영구자석 동기 전동기 제어 성능을 향상시키고, 시스템의 효율을 증가시킬 수 있게 된다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- [0021] 이하에서, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 대하여 구체적으로 설명한다.
- [0022] 도 1은 본 발명의 이해를 돕기 위한 영구자석 전동기의 구조를 나타내는 도식도이다.
- [0023] 도 1에 도시된 영구자석 동기 전동기는 내부 회전자로 자속세기를 정현파 형태로 가진 영구자석을 사용하고, 외부 고정자로는 권선수가 정현파 형태로 분포된 3상 권성을 감은 전동기이다,
- [0024] 영구자석 동기 전동기는 직류 전동기와 달리 정류자, 브러쉬가 없으므로 전동기 자체가 닳거나 부서지지 않는 한 유지보수 없이 반영구적으로 사용 가능하며, 같은 출력용량의 직류 전동기에 비해 높은 전력밀도, 높은 관성치 대 토크 비 및 고효율 등의 장점을 갖고 있다. 또한, 유도 전동기에 비해서도 높은 효율과 역률이 장점이다.
- [0025] 이러한 영구자석 동기 전동기의 구동 방법을 간략히 설명하면 다음과 같다. 고정자 3상 정현파 전류에 의하여 수학적 1과 같은 동기 각속도로 회전하는 회전자계를 형성한다.

수학식 1

$$w_e = \frac{4\pi f}{P}$$

- [0026]
- [0027] 회전자에서는 영구자석에 의한 자속과 회전자계 사이의 자기력에 의해 토크가 발생하게 된다. 그 결과 영구자석 동기 전동기가 구동하게 된다.
- [0028] 도 2는 본 발명의 이해를 돕기 위한 역기전력의 형태를 설명하기 위한 도면이다.
- [0029] 도 2에 도시된 바와 같은, 영구자석 동기 전동기의 역기전력은 회전자의 회전으로 인해 영구자석의 자속이 변하게 되어 고정자 권선에 유기되는 역방향 전압이다. 이는 패러데이(Faraday) 법칙을 각 상에 적용하여 수학식 2와 같이 구한다.

수학식 2

$$e_{as} = - \frac{d\lambda_{as}}{dt}$$

$$e_{bs} = - \frac{d\lambda_{bs}}{dt}$$

$$e_{cs} = - \frac{d\lambda_{cs}}{dt}$$

- [0030]
- [0031]
- [0032]
- [0033] 여기서, e_{as} , e_{bs} , e_{cs} 는 각각 A, B, C 상에 발생하는 역기전력이고, λ_{as} , λ_{bs} , λ_{cs} 는 A, B, C 상 권선이 감겨있는 단위의 자속이다. (-) 부호는 단순히 역기전력에 의해 발생하는 전류가 역기전력을 발행시킨 자속에 반대되는 자속을 만들어 낸다는 것을 의미한다. 영구자석 동기 전동기에서 역기전력은 도 2에 도시된 바와 같이 같이 정현파 형태를 띄게 된다.
- [0034] 한편, 영구자석 동기 전동기를 제어하기 위해서는 영구자석 동기 전동기의 역기전력 정보를 이용한다. 그 이유는 인터버를 통해 고정자 3상에 정류를
- [0035] 하기 위해서는 회전자와 고정자의 상대 위치를 알고 상대 위치에서 정류를 가해야 전동기가 일정한 토크를 유지할 수 있기 때문이다. 그러므로 영구자석 동기 전동기의 토크 제어를 위해서는 정확한 영구자석 동기 전동기의 회전자 위치를 피드백시키는 작업이 필요하다.

- [0036] 도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 영구자석 동기 전동기 제어 시스템의 구성을 나타내는 블록도이다.
- [0037] 도 3에 따르면, 본 영구자석 동기 전동기 제어 시스템(300)은 PMSM(Permanent Magnet Synchronous Motor:영구자석 동기 전동기)(10), 위치추정부(310), 전류측정부(320), 위치오차계산부(330), 위치보상부(340), 인버터부(350) 및 제어부(360)를 포함한다.
- [0038] PMSM(10)은 자극 위치 센서를 구비하며, 대표적으로, 홀 센서(Hall-effect sensor)가 될 수 있다.
- [0039] 예를 들어, 3개의 홀 센서가 전동기 회전자 주위로 120도의 위상차를 가지고 실장될 수 있다.
- [0040] 기타, PMSM(10)에 대한 설명은 도 1에서 상술하였으므로 자세한 설명은 생략하도록 한다.
- [0041] 위치추정부(310)는 PMSM(10)의 회전에 발생하는 홀 센서(미도시) 신호의 상태를 통하여 회전자의 위치를 추정한다. 회전자의 위치 추정에 대해서는 도 4에서 자세히 설명하도록 한다.
- [0042] 전류측정부(320)는 PMSM(10)에서의 전류를 측정한다. 여기서, 측정된 전류는 2상 고정 좌표계 ds축(이하에서, α 로 표현함) 및 qs축(이하에서, β 로 표현함) 상의 전류가 될 수 있다.
- [0043] 위치오차계산부(330)는 전류측정부(320)에서 측정된 전류 $\hat{i}_{\alpha,\beta}$ 및 후술하는 제어부(360)에서의 전압지령치 $u_{\alpha,\beta}^*$, 위치추정부(310)에서 추정된 각속도 $\hat{\omega}$ 를 이용하여 추정된 회전자 위치와 실제 회전자 위치의 오차인 $\delta\theta$ 를 계산한다.
- [0044] 보상부(340)는 위치추정부(310)에서 추정된 회전자의 추정 위치 $\hat{\theta}$ 에 위치오차계산부(330)에서 계산된 오차값 $\delta\theta$ 를 보정하여 보정된 값 $\tilde{\theta}$ 를 산출하여 제어부(360)에 제공한다.
- [0045] 인버터부(350)는 DC 파워를 AC 파워로 변환하는 기능을 하는 전력변환 장치이다. 인버터부(350)는 전압형 인버터로 구현될 수 있으나, 경우에 따라서는 전류형 인버터로 구현되는 것도 가능하다.
- [0046] 제어부(360)는 인버터부(350)를 제어하기 위한 제어 신호를 출력하는 기능을한다.
- [0047] 제어부(360)는 SVPWM(Space Vector Pulse Width Modulation)에 기반한 제어기로 구현될 수 있으며, 인버터부(350)를 제어하기 위한 PWM 제어 신호를 출력한다. 여기서, SVPWM은 3상의 물리량을 2상 고정 좌표계 물리량으로 변환하는 것에 기반한다.
- [0048] 일반적으로, 영구자석 동기 전동기의 고정자 3상 전압 방정식은 시변계수를 가지는 복잡한 미분 방정식으로 표현된다. 이 미분 방정식을 구하는 것은 매우 복잡하다. 따라서 시변원소를 상수원소로 만들기 위해서 기준 좌표계 이론을 도입한다. 변수의 변환은 3상 전압 방정식에 있어 복잡한 시변 미분방정식을 보다 쉽게 해석하기 위해 사용된다.
- [0049] 또한, 제어부(360)는 보상부(340)에서 보상된 회전자 위치를 피드백 받아 인버터부(350)를 구동하기 위한 전류 제어 신호를 출력할 수 있다.
- [0050] 도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따른 회전자 위치 추정의 원리를 설명하기 위한 도면이다.
- [0051] 도 4에 따르면, 신호의 한 주기를 6개의 섹터(sector No. 1-6)로 구분하고, 각 섹터마다 회전자의 절대 위치 θ_s 를 부여한다.
- [0052] 수학적 3과 같이 한 주기 동안의 시간은 t_h 를 이용하여 전기각 각속도인 ω_h 를 계산한다.

수학적 3

$$\omega_h = \frac{2\pi}{t_h} [rad/s]$$

- [0053]
- [0054] 이어서, 수학적 4와 같이 수학적 3에서 계산된 각속도와 미소시간인 T_s 를 이용하여 회전자 위치의 미소변화량인 $\Delta\theta$ 를 계산한다.

수학식 4

$$\Delta\theta = \omega_h T_s$$

[0055]

[0056] 이어서, 수학식 5와 같이 수학식 4에서 계산된 미소 변화량 $\Delta\theta$ 를 제어 주기마다 각 섹터의 절대위치인 θ_s 에서 그 다음 절대 위치까지 증가시키면서 회전자의 위치를 추정할 수 있다.

수학식 5

$$\theta = \theta_s + k\Delta\theta$$

[0057]

[0058] 도 5a 및 도 5b는 본 발명의 이해를 돕기 위한 3상 좌표계와 2상 고정 좌표계의 관계를 나타내는 도면이다.

[0059] 도 5a은 3상 좌표계와 임의의 속도 w 로 회전하는 2상 좌표계 α - β 축(d - q 축)과의 관계를 나타내는 도면이다.

[0060] 여기서, f_{jk}^i 로 표현된 것의 의미를 다음과 같이 정의한다. f 는 전압, 전류 또는 자속 등을 표현한다. 위 첨자 i 는 좌표계의 종류를 표현한 것으로, " $i=e$ "인 경우에는 동기 좌표계($w=w_e$)를, " $i=r$ "인 경우에는 회전자 좌표계($w=w_r$)를, " $i=s$ "인 경우에는 정지 좌표계($w=w_s$)를 표시한다. 밑 첨자 j 는 " $j=d$ "인 경우에는 α 축 변수임을, " $j=q$ "인 경우에는 β 축 변수임을, " $j=n$ "인 경우에는 n 축 변수임을 표시한다. 밑첨자 k 는 " $k=s$ "인 경우에는 고정 자양임을 " $k=r$ "인 경우에는 회전자양임을 표시한다.

[0061] 임의의 속도 w 로 회전하는 2상 좌표계의 함수 f_{dq} 와 3상 변수를 벡터로 표시한 f 와의 관계식은 수학식 6과 같다.

수학식 6

$$f_{dq} = f_{ds} + jf_{qs} = \frac{2}{3} e^{-j\theta} (f_{as} + af_{bs} + a^2 f_{cs})$$

[0062]

[0063] 여기서, $a = e^{j2\pi/3}$, $a^2 = e^{j4\pi/3} = e^{-j2\pi/3}$ 이다.

[0064] 2상 고정 좌표계는 $\theta=0$ 으로 하여 2상 좌표계 d 축을 3상 좌표계 a 상과 일치시킨 2상 좌표계로서, 도 6b와 같다.

[0065] 2상 고정 좌표계와 3상 벡터와의 관계는 수학식 6에 $\theta=0$ 을 대입하여 구하고, 수학식 7과 같다.

수학식 7

$$f_{dq}^s = \frac{2}{3} (f_{as} + af_{bs} + a^2 f_{cs})$$

[0066]

[0067] 이하에서는 위치오차계산부(330)의 연산 과정에 대해 설명하도록 한다.

[0068] 위치오차계산부(330)는 전류측정부(320)에서 측정된 전류 $\hat{i}_{\alpha,\beta}$ 및 후술하는 제어부(360)에서의 전압지령치 $u_{\alpha,\beta}^*$, 위치추정부(310)에서 추정된 각속도 $\hat{\omega}$ 를 이용하여 추정된 회전자 위치와 실제 회전자 위치의 오차인 $\delta\theta$ 를 계산한다. 여기서, 제어부(360)에서의 전압지령치 $u_{\alpha,\beta}^*$ 는 전동기에서의 전압 $u_{\alpha,\beta}$ 와 동일하고, 전류측정부(320)에서 측정된 전류 $\hat{i}_{\alpha,\beta}$ 는 전동기에서의 전류 $i_{\alpha,\beta}$ 와 동일하다고 가정한다.

[0069] 먼저, 2상 고정 좌표계 상에서 전압 관계식을 구하면, 수학식 8과 같다.

수학식 8

$$u_{\alpha} = R_s \cdot i_{\alpha} + \frac{d}{dt} \lambda_{\alpha}$$

$$u_{\beta} = R_s \cdot i_{\beta} + \frac{d}{dt} \lambda_{\beta}$$

[0070]

[0071] 여기서, R_s 는 저항 성분이며, λ_{α} , λ_{β} 는 각각 α 축과 β 축 상의 고정자 쇄교 자속량이다.

[0072] 한편, α 축과 β 축 상의 고정자 쇄교 자속량 λ_{α} 와 λ_{β} 는 수학식 9와 같다.

수학식 9

$$\lambda_{\alpha} = L_s i_{\alpha} + \lambda_m \cos \theta$$

[0073]

$$\lambda_{\beta} = L_s i_{\beta} + \lambda_m \sin \theta$$

[0074]

[0075] 여기서, L_s 는 자기 인덕턴스 성분이며, λ_m 은 상수이다.

[0076] 수학식 8 및 수학식 9를 이용하여 α 축과 β 축 상의 전압 u_{α} , u_{β} 대해 다시 정리하면, 수학식 10과 같다.

수학식 10

$$u_{\alpha s} = R_s i_{\alpha} + L_s \rho i_{\alpha} - \omega \lambda_m \sin \theta$$

[0077]

$$u_{\beta} = R_s i_{\beta} + L_s \rho i_{\beta} + \omega \lambda_m \cos \theta$$

[0078]

[0079] 여기서, ρ 는 미분 연산자이다.

[0080] 실제 전동기에 인가되는 전압 u_{α} , u_{β} 와 제어부(360)에서의 지령치인 u_{α}^* , u_{β}^* 는 수학식 11과 같다.

수학식 11

$$\begin{bmatrix} u_{\alpha} \\ u_{\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + L_d \cdot \rho & 0 \\ 0 & R_s + L_q \cdot \rho \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{\alpha} \\ i_{\beta} \end{bmatrix} + \omega \cdot \lambda_m \cdot \vec{e}$$

[0081]

$$\begin{bmatrix} u_{\alpha}^* \\ u_{\beta}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + L_d \cdot \rho & 0 \\ 0 & R_s + L_q \cdot \rho \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{i}_{\alpha} \\ \hat{i}_{\beta} \end{bmatrix} + \hat{\omega} \cdot \lambda_m \cdot \vec{e}$$

[0082]

여기서, $\vec{e} = \begin{bmatrix} e_{\alpha} \\ e_{\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \theta \\ \cos \theta \end{bmatrix}$ 이고, $\vec{\hat{e}} = \begin{bmatrix} \hat{e}_{\alpha} \\ \hat{e}_{\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \hat{\theta} \\ \cos \hat{\theta} \end{bmatrix}$ 이다.

[0083] 수학식 11을 이용하여 쇄교 자속 증감량 $\Delta \lambda_{\alpha}$ 와 $\Delta \lambda_{\beta}$ 의에 대해 정리하면, 수학식 12과 같다.

수학식 12

$$\Delta \lambda_{\alpha} = \Delta \theta \cdot \lambda_m \cdot e_{\alpha} = (u_{\alpha} - R_s \cdot i_{\alpha}) \cdot T_s - L_d \cdot \Delta i_{\alpha}$$

$$\Delta \lambda_{\beta} = \Delta \theta \cdot \lambda_m \cdot e_{\beta} = (u_{\beta} - R_s \cdot i_{\beta}) \cdot T_s - L_q \cdot \Delta i_{\beta}$$

[0084]

[0085] 추정된 회전자의 위치 $\hat{\theta}$ 와 실제 회전자의 위치 θ 의 오차를 $\delta\theta$ 라 하면, 이들 간에는 수학식 13이 성립된다.

수학식 13

[0086]
$$\hat{\theta} = \theta + \delta\theta$$

[0087] 또한, 수학식 12를 단위벡터인 \vec{e} 와 $\vec{\hat{e}}$ 에 대해 정리하면, 수학식 14와 같다.

수학식 14

[0088]
$$\vec{e} = \frac{1}{\Delta\theta \cdot \lambda_m} \begin{bmatrix} \Delta\lambda_\alpha \\ \Delta\lambda_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin\theta \\ \cos\theta \end{bmatrix}$$

$$\vec{\hat{e}} = \begin{bmatrix} -\sin(\theta + \delta\theta) \\ \cos(\theta + \delta\theta) \end{bmatrix}$$

[0089] 여기서, \vec{e} 는 $\Delta\theta$, λ_m , $\Delta\lambda_\alpha$, $\Delta\lambda_\beta$ 으로부터 계산 가능하고, $\vec{\hat{e}}$ 는 추정된 회전자의 위치 $\hat{\theta}$ 로부터 계산 가능하다.

[0090] 또한, 단위벡터인 \vec{e} 와 $\vec{\hat{e}}$ 를 외적(Outer Product 또는 Cross Product)하면, 수학식 15와 같다.

수학식 15

[0091]
$$\vec{e} \times \vec{\hat{e}} = |\vec{e}| |\vec{\hat{e}}| \cdot \sin\delta\theta = \sin\delta\theta \approx \delta\theta$$

[0092] 즉, 추정된 회전자의 위치 $\hat{\theta}$ 와 실제 회전자의 위치 θ 의 오차 $\delta\theta$ 가 아주 작은 값을 가진다고 가정하면, 수학식 15의 마지막 항이 성립되므로 단위벡터인 \vec{e} 와 $\vec{\hat{e}}$ 의 외적으로부터 오차 $\delta\theta$ 를 구할 수 있게 된다.

[0093] 이에 따라 보정된 회전자의 위치값 $\tilde{\theta}$ 는 수학식 16이 성립한다.

수학식 16

[0094]
$$\tilde{\theta} = \hat{\theta} + \delta\theta$$

[0095] 도 6은 본 발명의 일 실시 예에 따른 영구자석 동기 전동기의 제어 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0096] 도 6에 도시된 영구자석 동기 전동기 제어 방법에 따르면, 영구자석 동기 전동기의 회전자 위치를 추정한다(S610).

[0097] 한편, 영구자석 동기 전동기는 회전자의 위치 추정을 위한 자극 센서를 구비할 수 있다. 이 경우 자극 센서는 대표적으로 홀센서가 될 수 있다.

[0098] 이어서, 영구자석 동기 전동기에 인가된 전압에 따른 전류를 측정한다(S620).

[0099] 이후, S620 단계에서 측정된 전류를 이용하여 실제 회전자의 위치 및 추정된 회전자의 위치의 오차 보정값을 계산한다(S630).

[0100] 마지막으로, S630 단계에서 계산된 오차 보정값을 이용하여 S610 단계에서 추정된 회전자의 위치를 보상한다.

[0101] 이렇게 보상된 추정 회전자의 위치는 인버터를 제어하기 위한 제어 신호를 출력하는 제어기로 피드백되고, 제어기는 보상된 추정 회전자의 위치를 이용하여 인버터를 제어할 수 있다. 여기서, 인버터는 영구자석 동기 전동기

를 구동하기 위한 구동 신호를 출력한다.

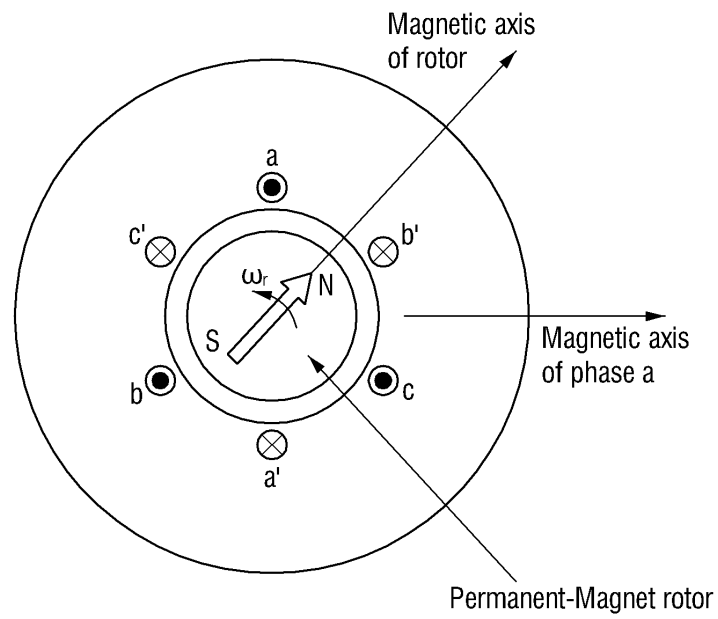
- [0102] 한편, S620 단계에서는, 회전자의 위치 및 회전자의 각속도를 추정하고, S630 단계에서는 제어기에서의 지령 전압, 상기 측정된 전류, 상기 추정된 각속도를 이용하여 실제 회전자의 위치를 계산할 수 있다. 구체적으로, 실제 회전자의 위치 및 상기 추정된 회전자의 위치의 오차 보정값은 각 회전자에 대한 단위 역기전력 함수의 벡터의 곱으로 계산될 수 있다. 오차 계산 방법에 대해서는 도 3 내지 5에 대한 설명 부분에서 상술하였으므로 자세한 설명은 생략하도록 한다.
- [0103] 도 7a 및 도 7b는 본 발명의 일 실시 예에 따른 오차 보정 효과를 설명하기 위한 도면들이다.
- [0104] 도 7a에 따르면, 오차 보정 전후의 회전자 위치를 설명하기 위한 그래프이며, 도 7b는 도 7a의 일 영역을 확대하여 나타낸 그래프이다.
- [0105] 도 7b에 따르면, 추정된 회전자의 위치 $\hat{\theta}$ 가 실제 회전자의 위치 θ 에 따른 오차값 $\delta\theta$ 으로 보정된 후 $\tilde{\theta}$ 값은 실제 회전자 위치와 거의 동일하게 회전자의 위치를 추정 가는 것을 확인할 수 있다.
- [0106] 도 8a 및 도 8b는 본 발명의 일 실시 예에 따른 오차 보정에 따른 영구자석 동기 전동기의 성능 향상을 설명하기 위한 도면들이다.
- [0107] 도 8a는 오차 보정 전의 전동기 출력 토크를 나타내며, 도 8b는 본 발명에 따른 오차 보정 후의 전동기 출력 토크를 나타낸다.
- [0108] 도 8a 및 도 8b에 따르면, 오차 보정 후의 전동기 출력 토크의 리플이 감소되는 것을 확인할 수 있다.

도면의 간단한 설명

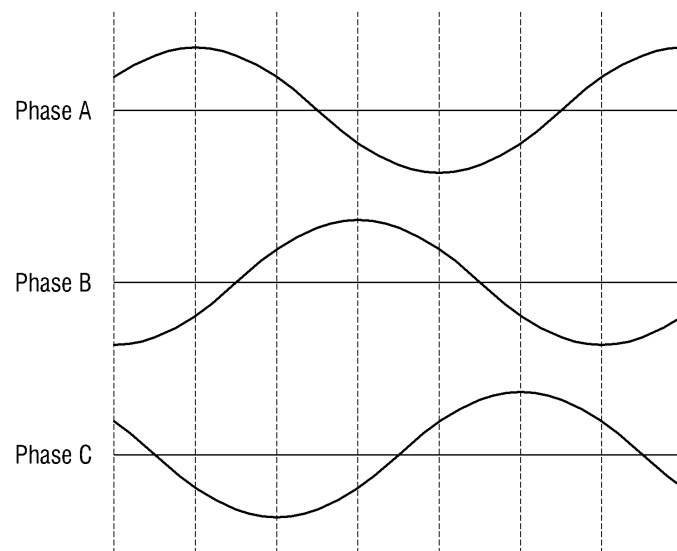
- [0109] 도 1은 본 발명의 이해를 돕기 위한 영구자석 전동기의 구조를 나타내는 도식도이다.
- [0110] 도 2는 본 발명의 이해를 돕기 위한 역기전력의 형태를 설명하기 위한 도면이다.
- [0111] 도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 영구자석 동기 전동기 제어 시스템의 구성을 나타내는 블록도이다.
- [0112] 도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따른 회전자 위치 추정의 원리를 설명하기 위한 도면이다.
- [0113] 도 5a 및 도 5b는 본 발명의 이해를 돕기 위한 3상 좌표계와 2상 고정 좌표계의 관계를 나타내는 도면이다.
- [0114] 도 6은 본 발명의 일 실시 예에 따른 영구자석 동기 전동기의 제어 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- [0115] 도 7a 및 도 7b는 본 발명의 일 실시 예에 따른 오차 보정 효과를 설명하기 위한 도면들이다.
- [0116] 도 8a 내지 도 8b는 본 발명의 일 실시 예에 따른 오차 보정에 따른 영구자석 동기 전동기의 성능 향상을 설명하기 위한 도면들이다.

도면

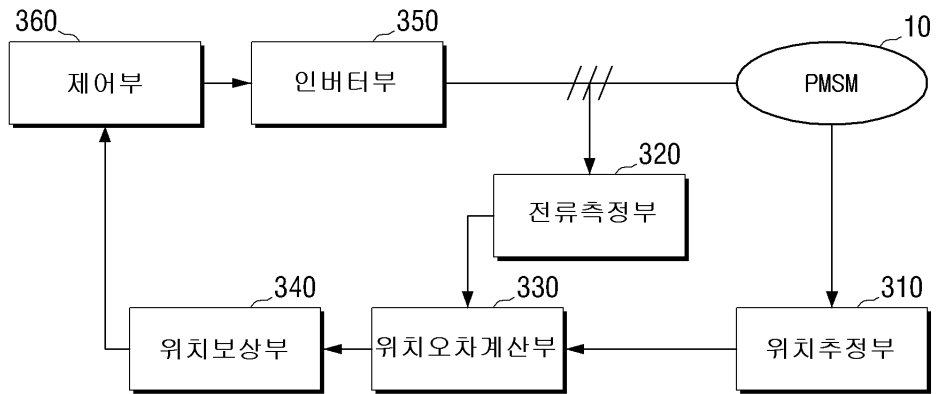
도면1



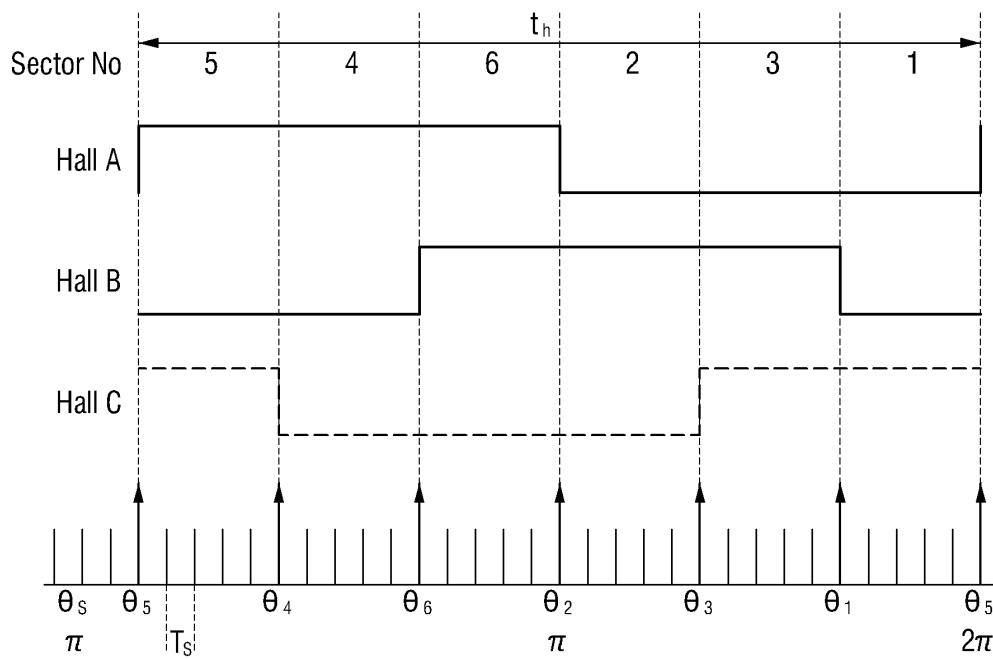
도면2



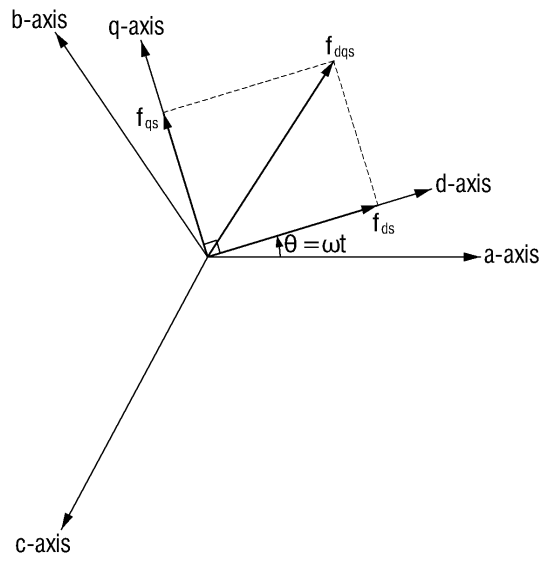
도면3



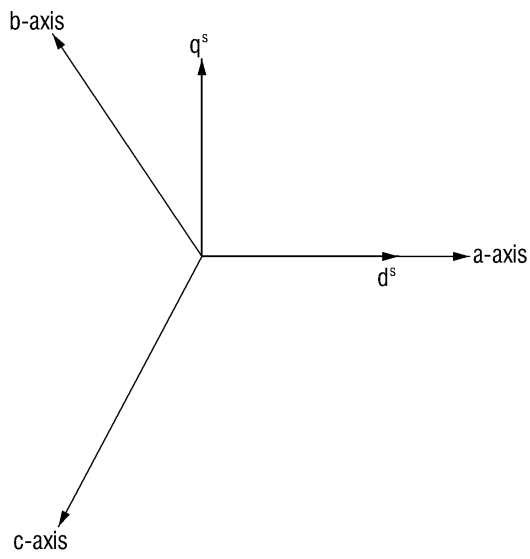
도면4



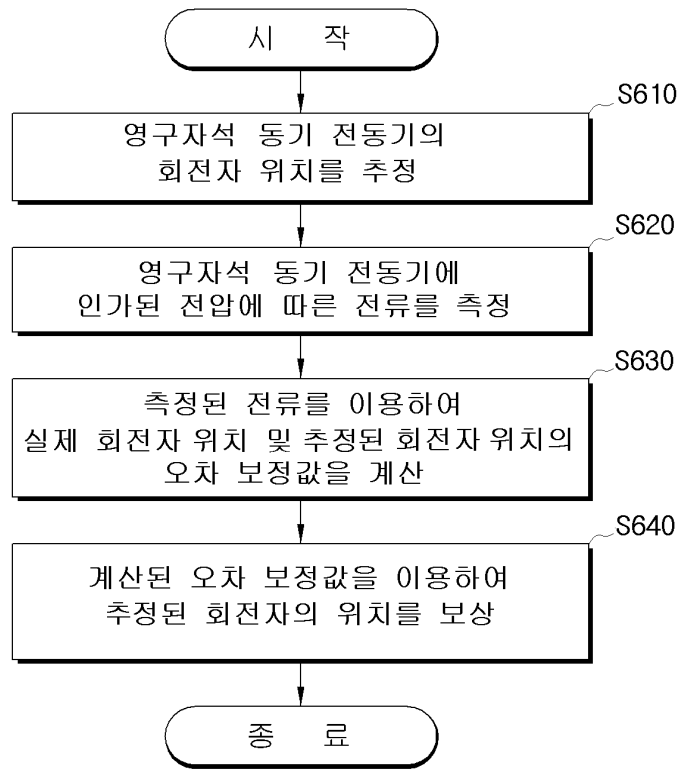
도면5a



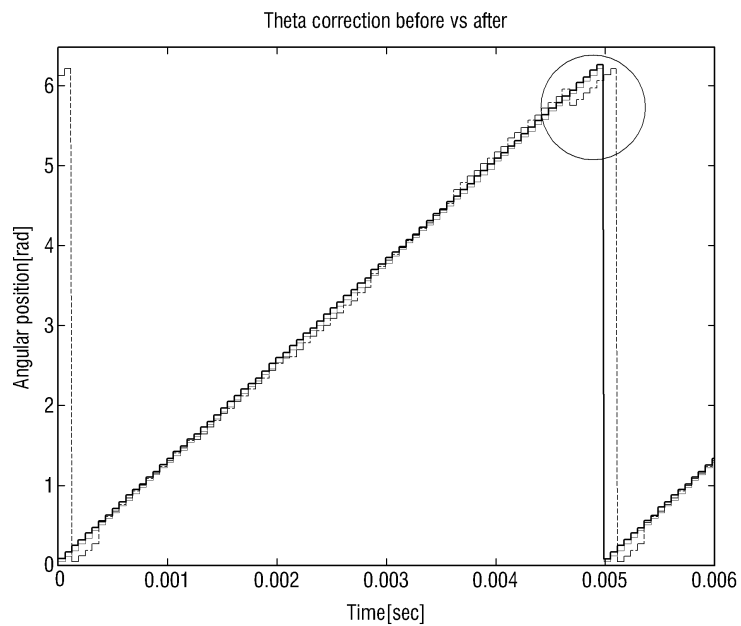
도면5b



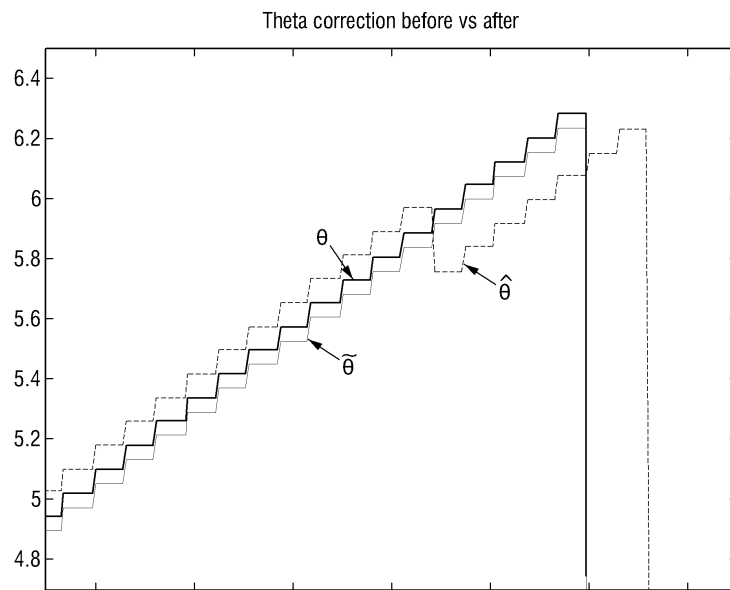
도면6



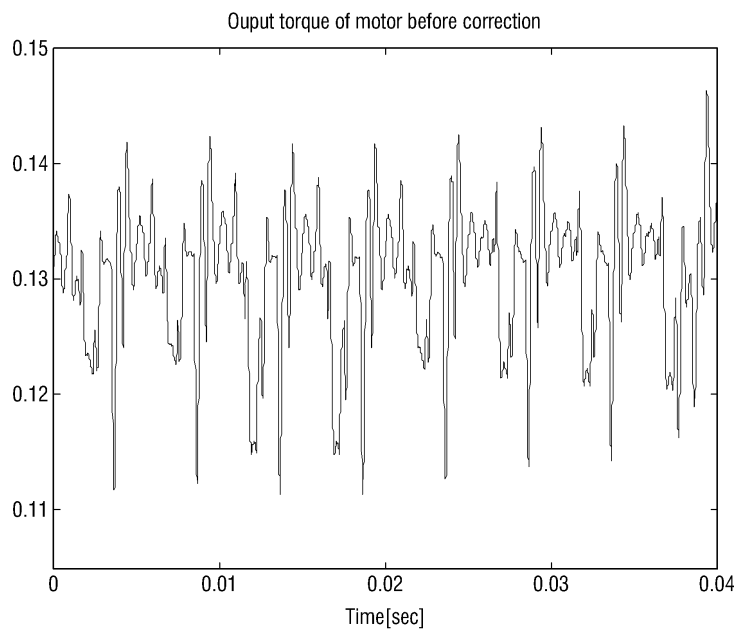
도면7a



도면7b



도면8a



도면8b

