



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년12월08일
(11) 등록번호 10-1684807
(24) 등록일자 2016년12월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H02P 6/08 (2016.01)

(52) CPC특허분류

H02P 6/08 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2015-0159499

(22) 출원일자 2015년11월13일

심사청구일자 2015년11월13일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020090082595 A*

Bon-Gwan Gu 외 2명. Simple Lead Angle

Adjustment Method for Brushless DC Motors.

Journal of Power Electronics, Vol. 14, No. 3,
pp. 541-548, May 2014*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

서강대학교산학협력단

서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)

(72) 발명자

공경철

서울특별시 관악구 봉천로 387, 102동 1304호 (봉천동, 두산아파트)

이명석

충청남도 천안시 서북구 두정고8길 24, 111동 803호 (두정동, 한성필하우스3차)

(74) 대리인

김준현, 서현, 민복기

전체 청구항 수 : 총 9 항

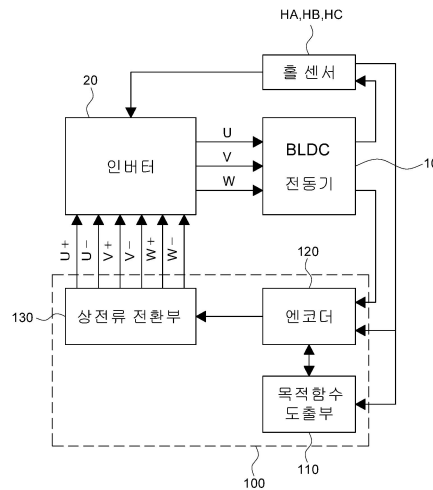
심사관 : 박태근

(54) 발명의 명칭 진상각 제어기

(57) 요약

본 발명은 고속 영역에서 BLDC 전동기의 효율 및 토크 성능을 개선하기 위한 BLDC 전동기의 진상각 제어기에 관한 것이다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711023563

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 재단법인 한국연구재단

연구사업명 신진연구자지원

연구과제명 고속주행 로봇의 신개념 하이브리드 구동기 연구

기 여 율 1/1

주관기관 서강대학교

연구기간 2015.05.01 ~ 2016.04.30

명세서

청구범위

청구항 1

복수의 고정자의 상전환 스텝에 따라 회전자를 회전시키는 BLDC 전동기의 진상각 제어기로서,

상기 BLDC 전동기의 회전 속도에 따른 복수의 상기 고정자의 상전환에 대한 상전류 전환의 지연을 보상하기 위한 진상각을 연산하는 목적함수를 도출하는 목적함수 도출부;

상기 상전환 스텝 동안 카운팅 되는 펄스수인 상전환 펄스수를 카운팅 하고, 상기 목적함수를 통해 연산된 상기 진상각에 해당하는 펄스수인 진상각 펄스수를 도출하여, 상기 상전환 스텝 중의 상기 진상각이 제어되는 시점을 결정하는 엔코더;

상기 엔코더를 통해 카운팅 되는 상기 상전환 펄스수가 상기 진상각 펄스수에 도달할 경우, 복수의 상기 고정자의 상전환에 앞서 복수의 상기 고정자의 상전류 전환을 제어하여, 상전류 지연에 대한 상기 BLDC 전동기의 구동을 보정하는 상전류 전환부;를 포함하고,

상기 목적함수 도출부는 상기 BLDC 전동기의 상전압 파형을 푸리에 급수로 전개한

$$v(t) = \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{b_n}{n} \sin(n\omega_e t)$$

로부터 상기 목적함수를 도출하는 것을 특징으로 하는 진상각 제어기.

$$b_n = \cos\left(\frac{n\pi}{6}\right) - \cos\left(\frac{5n\pi}{6}\right)$$

* ω_e 는 BLDC 전동기의 전기각속도, b_n 은 $v(t)$ 의 계수로서, $v(t)$ 는 주기 함수로서 사인파의 합, t 는 시간.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 목적함수 도출부는 상기 $v(t)$ 의 각 항에 대한 상기 상전류 지연의 크기 및 가중치에 대해 하기 제1 식의 상기 진상각으로 표현되는 상기 목적함수를 도출하며,

$$d\theta = \omega_e dt = \sum_{n=1}^N \frac{c_n}{n} \tan^{-1}\left(\frac{nL\omega_e}{R}\right) \quad - \text{제1 식}$$

$$d\theta_a = k_1 \tan^{-1}\left(\frac{L\omega_e^{k_2}}{R}\right) \quad - \text{제2 식}$$

상기 목적함수를 커브피팅(curve fitting)하여 상기 제2 식으로 간소화 하는 것을 특징으로 하는 진상각 제어기.

* c_n/N 은 가중치, $\tan^{-1}(nL\omega_e/R)$ 은 복수의 고정자간의 상전환 시점에 대한 상전류 전환의 상지연, ω_e 는 BLDC 전동기의 전기각속도, L 은 고정자의 권선에 의한 자체 인덕턴스, R 은 고정자의 저항, 및 k_1 과 k_2 는 커브피팅을 결정하는 상수, $d\theta$ 는 진상각, $d\theta_a$ 는 $d\theta$ 를 간소화하여 나타낸 진상각.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 상전류 전환부는 상전환을 통해 여자될 상기 고정자에 전류의 인가를 제어하여 복수의 상기 고정자의 상전류 전환을 제어하는 것을 특징으로 하는 진상각 제어기.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 상전류 전환부는 복수의 상기 고정자의 상전류 전환의 제어를, 복수의 상기 고정자의 상전환 시점을 기준으로 복수의 상기 고정자의 상전류 전환의 지연만큼 앞서 시행하여, 복수의 상기 고정자의 상전환과 동일한 시점에 복수의 상기 고정자가 상전류 전환되게 하는 것을 특징으로 하는 진상각 제어기.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 엔코더는 상기 회전자의 자극을 감지하는 홀 센서로부터 제공되는 상기 회전자의 자극 감지에 대한 전기적 신호로부터 복수의 상기 고정자의 상전환 완료를 감지하며, 복수의 상기 고정자의 상전환 완료된 시점을 기준으로 상기 상전환 스텝 동안의 상기 상전환 펄스수를 카운팅 하고, 상기 진상각 펄스수를 도출하는 것을 특징으로 하는 진상각 제어기.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 상전류 전환부는 상기 홀 센서로부터 제공되는 상기 전기적 신호를 기준으로, 전류가 인가될 상기 고정자가 미리 정해진 진리표에 따라 상기 고정자에 전류 인가를 제어하여, 복수의 상기 고정자의 상전류 전환을 제어하는 것을 특징으로 하는 진상각 제어기.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 BLDC 전동기의 회전 속도는 상기 회전자와 함께 회전하여 상기 상전환 펄스수를 카운팅할 수 있는 상기 엔코더를 통해 검출되거나, 복수의 상기 고정자의 상전환 완료를 감지하여 복수의 상기 고정자의 상전환에 따른 상기 회전자의 회전 속도를 도출할 수 있는 상기 홀 센서를 통해 검출되는 것을 특징으로 하는 진상각 제어기.

청구항 9

제6항에 있어서,

복수의 상기 고정자의 상전환이 완료될 경우,

상기 엔코더는 상전환 완료 후의 상기 BLDC 전동기의 회전 속도에 따라 상기 진상각의 제어 시점을 동기화 하기 위해, 상기 목적함수를 통해 상기 BLDC 전동기의 회전 속도에 따른 상기 진상각 펄스수를 재 도출하는 것을 특징으로 하는 진상각 제어기.

청구항 10

제6항에 있어서,

복수의 상기 고정자의 상전환이 완료될 경우,

상기 엔코더는 상전환 완료 후의 상기 진상각의 제어 시점의 기준을 제공하기 위해, 상기 상전환 펄스수를 초기화 된 상태로 카운팅 하는 것을 특징으로 하는 진상각 제어기.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 진상각 제어기에 관한 것이다. 보다 상세하게, 본 발명은 고속 영역에서 BLDC 전동기의 효율 및 토크 성능을 개선하기 위한 BLDC 전동기의 진상각 제어기에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 브러쉬리스 직류(Brushless Direct Current, BLDC) 전동기는 기존의 직류(Direct Current) 전동기에서 기계적인 접촉 구조로 구비되는 정류자와 브러시를 없애고, 이를 전자적인 정류기구로 대체한 전동기로서, 전자기적 잡음과 기계적 소음이 적고 수명이 길다는 장점이 있다.

[0003] 현재에는 브러쉬리스 직류 전동기가 기기의 고성능화, 경박단소화, 장수명화, 그리고 반도체 기술을 중심으로 한 부품이나 재료의 진보에 따라 비약적인 발전을 이뤄, 가전제품, 정보통신기기, 자동차 산업, 의료기기 등 다양한 분야에서 폭넓게 사용되고 있다.

[0004] 이러한 브러쉬리스 직류 전동기는 통상 영구자석인 회전자와 고정된 계좌권선인 고정자, 특히 3상의 고정자를 가지며, 홀 센서(hall sensor)와 같은 위치센서에 의하여 회전자의 위치를 검출하며, 검출된 회전자의 위치에 따라 각 고정자별로 전압의 인가 및 해제가 반복되도록 동작하여 이에 따라 브러쉬리스 직류 전동기가 구동하게 된다.

[0005] 여기서, 회전자가 회전하여 브러쉬리스 직류 전동기가 구동하게 되면 자계속을 도선이 움직이는 것과 같은 효과가 발생하게 되어, 각 고정자에 유도기전력인 역기전력이 발생하게 되며, 따라서, 각 고정자에는 인가전압에서 역기전력압을 감한 전압에 따라 권선 전류가 흐르게 된다.

[0006] 따라서, 브러쉬리스 직류 전동기의 이상적인 구동 형태는, 홀 센서의 신호 검출과 동시에 고정자의 전압 인가 및 해제, 즉, 고정자의 상전환이 시행되어야 하지만, 전동기의 권선 인덕턴스의 영향으로 인해 고정자에 권선 전류가 흐르는 시점이 고정자의 상전환 시점보다 지연되어 나타나며, 특히, 인덕턴스가 크고 전동기의 고속 회전 상태일수록 상전류의 지연각은 증가하여 브러쉬리스 직류 전동기의 효율 감소 및 토크 성능 감소 등의 문제로 이어질 수 있다.

[0007] 이와 같은, 문제점을 해결하기 위하여 브러쉬리스 직류 전동기를 구동함에 있어서, 상전류 전환을 상전환 시점보다 일정각도(α)만큼 더 앞선 각도에서 시행되어야 하며, 상기 앞선각도 α 를 진상각(Lead Angle)이라고 하며, α 의 크기는 전동기의 저항과 인덕턴스, 모터의 회전속도 등에 결정될 수 있다.

[0008] 종래의 진상각을 제어하기 위한 방법은, 전동기의 회전 속도에 따른 진각량을, 입력 신호와 출력 신호의 위상차를 검출하고 전압제어 발진기를 제어하여 출력 신호의 주파수를 항상 일정하게 유지하도록 하는 위상고정루프(Phase Locked Loop, PLL)을 통해 추정하여 진상각 제어를 구현하는 방법이 있으나, 전동기에 외란이 작용하는 경우에는 속도 변화에 대한 효율이 최적화되는 진상각을 구할 수 없으며, 이와 다른 방법으로서, 미분기를 회로를 통해 구현하여 고조파를 제거하여 진상각 제어를 구현한 방법은 고속에서의 전동기의 효율 성능은 향상시킬 수 있는 반면 저속에서는 전동기의 효율이 오히려 저하되는 문제점이 발생하였다.

[0009] 나아가, 진상각에 대한 정보를 커브피팅을 통한 진상각 예측으로 제어하는 방법도 있지만 전동기의 특성 및 시스템의 특성에 따라 커브피팅 방정식을 다르게 적용해야 하므로, 진상각 도출을 위한 과정이 복잡해 질 수 있는 문제점이 있었다.

[0010] 따라서, 전동기에 가해질 수 있는 외란에 영향을 받지 않으면서 저속은 물론 고속에서의 전동기 효율을 보장할 수 있으며, 간소화된 절차의 진상각 예측을 통하여 전동기의 효율 및 토크 성능을 개선할 수 있는 브러쉬리스 직류 전동기의 진상각 제어 기술의 제공이 절실히 요구된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명은 진상각 제어에 대한 외부환경의 영향이 배제될 수 있고, 실시간으로 구동 상태를 분석하여 진상각을 도출할 수 있으며, 간소화된 절차의 진상각 예측을 통한 진상각의 제어를 실시함으로써 전동기의 효율 및 토크 성능을 개선시킬 수 있는 진상각 제어기를 제공하는 것을 해결하고자 하는 과제로 한다.

과제의 해결 수단

[0012] 상기한 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일실시예에 따른 진상각 제어기는, 복수의 고정자의 상전환 스텝에 따

라 회전자를 회전시키는 BLDC 전동기의 진상각을 제어하는 진상각 제어기로서, 상기 BLDC 전동기의 회전 속도에 따른 복수의 상기 고정자의 상전환에 대한 상전류 전환의 지연을 보상하기 위한 진상각을 연산하는 목적함수를 도출하는 목적함수 도출부, 상기 상전환 스텝 동안 카운팅 되는 펄스수인 상전환 펄스수를 카운팅 하고, 상기 목적함수를 통해 연산된 상기 진상각에 해당하는 펄스수인 진상각 펄스수를 도출하여, 상기 상전환 스텝 중의 상기 진상각이 제어되는 시점을 결정하는 엔코더, 상기 엔코더를 통해 카운팅 되는 상기 상전환 펄스수가 상기 진상각 펄스수에 도달할 경우, 복수의 상기 고정자의 상전환에 앞서 복수의 상기 고정자의 상전류 전환을 제어 하여, 상전류 지연에 대한 상기 BLDC 전동기의 구동을 보정하는 상전류 전환부를 포함할 수 있다.

[0013] 또한, 상기 목적함수 도출부는, 상기 BLDC 전동기의 상전압 파형을 푸리에 급수로 전개한

$$v(t) = \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{b_n}{n} \sin(n\omega_e t)$$

로부터 상기 목적함수를 도출할 수 있다.

$$b_n = \cos\left(\frac{n\pi}{6}\right) - \cos\left(\frac{5n\pi}{6}\right)$$

[0014] * ω_e 는 BLDC 전동기의 전기각속도, b_n 은 $v(t)$ 의 계수로서, $v(t)$ 는 주기 함수로서 사인파의 합, t 는 시간.

[0015] 그리고, 상기 목적함수 도출부는 상기 $v(t)$ 의 각 항에 대한 상기 상전류 지연의 크기 및 가중치에 대해 하기 제 1 식의 상기 진상각으로 표현되는 상기 목적함수를 도출하며,

$$d\theta = \omega_e dt = \sum_{n=1}^N \frac{c_n}{n} \tan^{-1}\left(\frac{nL\omega_e}{R}\right)$$

[0016] - 제1 식

$$d\theta_a = k_1 \tan^{-1}\left(\frac{L\omega_e^{k_2}}{R}\right)$$

[0017] - 제2 식

[0018] 상기 목적함수를 커브피팅(curve fitting)하여 상기 제2 식으로 간소할 수 있다.

[0019] * c_n/N 은 가중치, $\tan^{-1}(nL\omega_e/R)$ 은 복수의 고정자간의 상전환 시점에 대한 상전류 전환의 상지연, ω_e 는 BLDC 전동기의 전기각속도, L 은 고정자의 권선에 의한 자체 인덕턴스, R 은 고정자의 저항, 및 k_1 과 k_2 는 커브피팅을 결정하는 상수, $d\theta$ 는 진상각, $d\theta_a$ 는 $d\theta$ 를 간소화하여 나타낸 진상각.

[0020] 여기서, 상기 상전류 전환부는, 상전환을 통해 여자될 상기 고정자에 전류의 인가를 제어하여 복수의 상기 고정자의 상전류 전환을 제어할 수 있다.

[0021] 이 경우, 상기 상전류 전환부는 복수의 상기 고정자의 상전류 전환의 제어를, 복수의 상기 고정자의 상전환 시점을 기준으로 복수의 상기 고정자의 상전류 전환의 지연만큼 앞서 시행하여, 복수의 상기 고정자의 상전환과 동일한 시점에 복수의 상기 고정자가 상전류 전환되게 할 수 있다.

[0022] 또한, 상기 엔코더는, 상기 회전자의 자극을 감지하는 홀 센서로부터 제공되는 상기 회전자의 자극 감지에 대한 전기적 신호로부터 복수의 상기 고정자의 상전환 완료를 감지하며, 복수의 상기 고정자의 상전환 완료된 시점을 기준으로 상기 상전환 스텝 동안의 상기 상전환 펄스수를 카운팅 하고, 상기 진상각 펄스수를 도출할 수 있다.

[0023] 그리고, 상기 상전류 전환부는, 상기 홀 센서로부터 제공되는 상기 전기적 신호를 기준으로, 전류가 인가될 상기 고정자가 미리 정해진 진리표에 따라 상기 고정자에 전류 인가를 제어하여, 복수의 상기 고정자의 상전류 전환을 제어할 수 있다.

[0024] 여기서, 상기 BLDC 전동기의 회전 속도는, 상기 회전자와 함께 회전하여 상기 상전환 펄스수를 카운팅할 수 있는 상기 엔코더를 통해 검출되거나, 복수의 상기 고정자의 상전환 완료를 감지하여 복수의 상기 고정자의 상전환에 따른 상기 회전자의 회전 속도를 도출할 수 있는 상기 홀 센서를 통해 검출될 수 있다.

[0025] 이 경우, 복수의 상기 고정자의 상전환이 완료될 경우, 상기 엔코더는, 상전환 완료 후의 상기 BLDC 전동기의

회전 속도에 따라 상기 진상각의 제어 시점을 동기화 하기 위해, 상기 목적함수를 통해 상기 BLDC 전동기의 회전 속도에 따른 상기 진상각 펄스수를 재 도출할 수 있다.

[0026] 그리고, 복수의 상기 고정자의 상전환이 완료될 경우, 상기 엔코더는, 상전환 완료 후의 상기 진상각의 제어 시점의 기준을 제공하기 위해, 상기 상전환 펄스수를 초기화 된 상태로 카운팅 할 수 있다.

발명의 효과

[0027] 본 발명의 일실시예에 따르면, BLDC 전동기의 상전환 스텝을 더욱 정밀하게 검출할 수 있는 엔코더를 이용하여 상기 진상각의 제어 시점을 도출하므로, 더욱 정확한 시점에서 진상각의 제어를 시행할 수 있다.

[0028] 또한, 진상각을 도출하는 목적함수가 간소화됨으로서, BLDC 전동기의 회전 속도에 따른 진상각을 더욱 빠른 속도로 연산할 수 있으므로 이의 제어 시점을 실시간으로 제공하기 용이할 수 있다.

[0029] 또한, 고정자의 상전환 스텝 시마다, 초기화된 정보로 진상각의 제어 시점을 도출하므로, 상기 BLDC 전동기의 진상각 제어 시점에 영향을 미칠 수 있는 외란을 배제하여 보다 정확한 진상각 제어 시점을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0030] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 BLDC 전동기의 구동 시스템을 도시한다.

도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 2상 여자 방식의 BLDC 전동기의 상전환 및 상전환에 따른 회전자 회전을 도시한다.

도 3은 BLDC 전동기의 상전압 파형을 도시한다.

도 4는 푸리에 급수로 전개된 BLDC 전동기의 상전압 파형을 도시한다.

도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 BLDC 전동기의 지연각을 대조군과 나타낸 그래프이다.

도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 엔코더를 도시한다.

도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 진상각 제어기의 시퀀스 차트를 도시한다.

도 8은 본 발명의 일실시예에 따라 고정자의 상전류 전환을 제어하기 위한 진리표를 도시한다.

도 9는 본 발명의 일실시예에 따른 진상각 제어가 적용된 시뮬레이션의 상전류 및 이의 대조군의 상전류를 도시한다.

도 10은 시뮬레이션을 통해 본 발명의 일실시예에 따른 진상각 제어가 적용된 구동 및 진상각 제어가 적용되지 않은 일반적인 구동에서의 전동기의 효율 및 토크 리플을 도시한다.

도 11은 진상각 제어를 검증하기 위한 실험 장치를 도시한다.

도 12는 본 발명의 일실시예에 따른 진상각 제어를 구현한 BLDC 전동기와 진상각 제어를 구현하지 않은 BLDC 전동기의 RPM에 따른 효율을 도시한다.

도 13은 본 발명의 일실시예에 따른 진상각 제어를 구현한 BLDC 전동기와 진상각 제어를 구현하지 않은 BLDC 전동기의 17000 RPM 에서의 전류 파형을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0031] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예들을 상세히 설명하기로 한다. 그러나, 본 발명은 여기서 설명된 실시예들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 오히려, 여기서 소개되는 실시예들은 개시된 내용이 철저하고 완전해질 수 있도록, 그리고 당업자에게 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 제공되는 것이다. 명세서 전체에 걸쳐서 동일한 참조 번호들은 동일한 구성요소들을 나타낸다.

[0032] 본 발명은 복수의 고정자의 상전환 주기에 따라 회전자 회전시키는 브러쉬리스 직류(Brushless Direct Current, 이하 BLDC라 함) 전동기의 진상각 제어기에 관한 것으로서, 상기 진상각 제어기에 대해서 살펴보기에 앞서, 본 명세서의 보다 수월한 이해를 위해 상기 BLDC 전동기의 구성 및 구동 형태에 대해 개략적으로 살펴볼 수 있다.

[0033] 이하 본 명세서에서 언급될 상기 BLDC 전동기는 설명의 편의를 위하여 하나의 회전자를 기준으로 3개의 상기 고

정자가 구비되는 3상(U, V, W) BLDC 전동기로 설명될 수 있다.

- [0034] 그러나, 상기 BLDC 전동기는 더 많은 상(예컨대, 4 상)을 가진 상기 BLDC 전동기에도 적용 가능함을 이해 하여야 한다.
- [0035] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 BLDC 전동기의 구동 시스템을 도시하며, 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 2상 여자 방식의 BLDC 전동기의 상전환 및 상전환에 따른 회전자의 회전을 도시한다.
- [0036] 상기 BLDC 전동기(10)는 고정자(11)와 회전자(12)를 포함할 수 있다. 여기서, 상기 고정자(11)는 권선계좌의 3상(U, V, W)으로 마련될 수 있으며, 3상(U, V, W)의 상기 고정자(11)는 120도 간격으로 배치되어, 각 고정자(11)에 흐르는 전류의 방향에 따라 자극(N극 또는 S극)으로 작용할 수 있다.
- [0037] 본 발명의 일실시예에 따른 BLDC 전동기(10)는 2상 여자 방식, 즉, 3상(U, V, W)의 상기 고정자(11) 중 두 상만 여자되고 나머지 한 상은 여자되지 않는 방식으로 상기 회전자(12)를 회전시킬 수 있다.
- [0038] 도 2를 참조하면, 본 발명의 일실시예에 따른 BLDC 전동기(10)는 3상(U, V, W)의 상기 고정자(11) 중, 두 상의 상기 고정자(11)의 전위차를 선택적으로 발생시키는 6 스텝의 상전환 방식으로서, 상기 회전자(12)를 회전시킬 수 있다.
- [0039] 구체적으로, 도 2를 참조하면, 상전환 스텝 1(a)에서는 U 상의 고정자(11)로부터 W 상의 고정자(11) 방향으로 전류를 인가시키며, 높은 전위에서 낮은 전위로 흐르는 전류의 특성 때문에, U 상의 상기 고정자(11)는 + 전위, W 상의 상기 고정자(11)는 - 전위를 띌 수 있다.
- [0040] 이로 인해, U 상의 상기 고정자(11)는 상기 회전자(12)의 S 극을 끌어당기고, W 상의 상기 고정자(11)는 상기 회전자(12)의 S 극을 밀어내므로, 상기 회전자(12)는 S 극이 W 상의 상기 고정자(11)로부터 U 상의 상기 고정자(11) 방향으로 이동하도록 회전할 수 있다.
- [0041] 이어서, 도 2의 상전환 스텝 2(b)에서는 V 상의 상기 고정자(11)로부터 W 상의 상기 고정자(11) 방향으로 전류를 인가시킴으로써, V 상의 상기 고정자(11)는 + 전위, W 상의 상기 고정자(11)는 - 전위를 띌 수 있다.
- [0042] 따라서, W 상의 상기 고정자(11)는 상기 회전자(12)의 N 극을 끌어 당기고, V 상의 상기 고정자(11)는 상기 회전자(12)의 N 극을 밀어내므로, 상기 회전자(12)는 N 극이 V 상의 상기 고정자(11)로부터 W 상의 상기 고정자(11) 방향으로 이동하도록 회전할 수 있다.
- [0043] 도 2의 상전환 스텝 3 내지 스텝 6((c) 내지 (f)) 에서도 상술한 방식으로 상기 회전자(12)를 회전시킬 수 있으며, 이를 통해, 상기 회전자(12)는 상기 상전환 스텝 1 내지 스텝 6((a) 내지 (f))의 반복을 통해 지속적으로 회전할 수 있다.
- [0044] 이와 같이, 상기 BLDC 전동기(10)는 3상(U, V, W)의 상기 고정자(11)의 상전환을 제어, 즉, 3상(U, V, W)의 상기 고정자(11) 중 두 상의 상기 고정자(11)를 통해 전류를 인가하여 해당 고정자(11)를 여자 시키되, 여자되는 두 상의 상기 고정자(11)의 전위차를 제어함으로써, 상술한 바와 같이 상기 고정자(11)를 6 스텝으로 상전환하여 상기 회전자(12)를 회전 시킬 수 있다.
- [0045] 상술한 바와, 상기 BLDC 전동기(10)는 3상(U, V, W)의 상기 고정자(11)를 구비함으로써, 3상(U, V, W)의 상기 고정자(11)가 여자되는 형태(U+, U-, V+, V-, W+, W-)에 따라 6 스텝으로 상전환 되는 것을 개시하나, 상기 고정자(11)의 수에 따라 상기 고정자(11)의 상전환 스텝은 변경될 수 있다. 일 예로, 상기 고정자(11)가 6상으로 제공될 경우에는, 상기 고정자(11)의 상전환이 12 스텝으로 구성되는 것이 가능하다.
- [0046] 이와 같이, 상기 BLDC 전동기(10)는 복수의 상기 고정자(11)의 상전환을 통해 상기 회전자(12)를 회전시키는 방식으로 구동할 수 있는데, 상기 BLDC 전동기(10)는 상기 회전자(12)의 회전 상태에 따라서, 3상(U, V, W)의 상기 고정자(11) 중 두 상의 상기 고정자(11)를 여자시켜야 하므로 상기 회전자(12)의 회전 상태에 대한 정보가 명확해야 할 필요가 있다.
- [0047] 구체적으로, 도 2를 참조하면, 상전환 스텝 1(a)을 통해 + 전위로 여자된 U 상의 상기 고정자(11)와 - 전위로 여자된 W 상의 상기 고정자(11) 사이에 상기 회전자(12)의 S 극이 정확히 위치하지 않은 상태에서, 상기 고정자(11)가 상전환 스텝 2(b)로 전환된 경우, 상기 회전자(12)는 불규칙한 회전 형태를 구현하거나, 회전하는 도중 반대 방향으로 회전하게 될 수 도 있다.
- [0048] 따라서, 상기 BLDC 전동기(10)는, 상기 회전자(12)의 회전 형태를 정확하게 파악하여, 상기 회전자(12)의 회전

이 완료된 후, 복수의 상기 고정자(11)를 다음 스텝으로 상전환 하여 상기 회전자(12)의 회전을 지속시킬 수 있다.

- [0049] 여기서, 상기 BLDC 전동기(10)는 상기 회전자(12)의 회전 상태를 검출하고 이를 통해 상기 회전자(12)의 정확한 회전을 구현하기 위해 위치센서를 필수적으로 구비할 수 있으며, 상기 위치센서는 상기 회전자(12)의 회전 상태를 검출할 수 있는 것이라면 특별히 제한되지 않으나, 일 예로, 상기 회전자(12)에 형성된 S 극 또는 N 극의 자극을 감지할 수 있는 홀 센서(hall sensor, HA, HB, HC)가 주로 사용될 수 있다.
- [0050] 상기 홀 센서(HA, HB, HC)는 상기 회전자(12)로부터 감지된 자극의 신호를 전기 신호로 변환하여, 상기 고정자(11)에 전류를 인가하는 인버터(20)에 전송할 수 있다.
- [0051] 여기서, 상기 홀 센서(HA, HB, HC)는, 상기 회전자(12)의 자극 중, N 극 또는 S 극을 감지하도록 설계될 수 있으며, 이는 상기 홀 센서(HA, HB, HC)의 설계자에 따라 충분히 상이해 질 수 있는 변경 조건일 수 있으나, 본 명세서에서는 설명의 간결화를 위해 상기 홀 센서(HA, HB, HC)가 상기 회전자(12)의 N 극을 감지하도록 설계된 것으로 일 예를 설명할 수 있다.
- [0052] 도 2를 참조하면, 상기 홀 센서(HA, HB, HC)는 3상(U, V, W)의 상기 고정자(11) 사이 각각에 구비될 수 있다.
- [0053] 이하, 본 발명은 3상(U, V, W)의 상기 고정자(11)와 3상(U, V, W)의 상기 고정자(11) 사이에 각각의 상기 홀 센서(HA, HB, HC)가 구비되는 상기 BLDC 전동기(10)를 일 실시예로 하여 설명될 수 있다.
- [0054] 상기 회전자(12)는 3상(U, V, W)의 상기 고정자(11)의 상전환을 통해 회전 가능하며, 이 경우, 회전하는 상기 회전자(12)의 N 극과 대향되는 곳에 위치하는 상기 홀 센서(HA, HB, HC)는 상기 회전자(12)의 N 극을 감지할 수 있다.
- [0055] 도 2를 통한 일 예로서, 상전환 스텝 1(a)에서는 상기 회전자(12)의 N 극이 V 상의 상기 고정자(11) 양측에 위치하는 상기 홀 센서(HB, HC)와 대향하므로, 해당 홀 센서(HB, HC)는 상기 회전자(12)의 N 극을 감지할 수 있으며, 상전환 스텝 2(b)에서는, 상기 회전자(12)의 N 극이 V 상의 상기 고정자(11) 및 W 상의 상기 고정자(11) 사이에 위치하는 상기 홀 센서(HC)와 대향하므로, 해당 홀 센서(HC)는 상기 회전자(12)의 N 극을 감지할 수 있다.
- [0056] 이와 같이, 상기 홀 센서(HA, HB, HC)는 상기 회전자(12)의 N 극을 감지하며, 상기 홀 센서(HA, HB, HC)에서 상기 회전자(12)의 N 극을 감지한 신호는 전기적 신호로 변환되어 상기 인버터(20)로 전송될 수 있으며, 상기 인버터(20)는 상기 전기적 신호에 따라 복수의 상기 고정자(11) 중 상전환 되어 여자될 상기 고정자(11)에 전류를 인가할 수 있다.
- [0057] 따라서, 복수의 상기 고정자(11)는 인버터(20)로부터 인가되는 전류를 통해 상전류 전환되고, 이에 따라, 상기 회전자(12)가 회전할 수 있다.
- [0058] 상기 홀 센서(HA, HB, HC)를 통한 상기 회전자(12)의 N 극의 감지는 복수의 상기 고정자(11)의 상전환 완료를 감지하는 것으로 이해될 수 있다.
- [0059] 즉, 상기 회전자(12)는 3상(U, V, W)의 상기 고정자(11)의 상전환 스텝별 상전환을 통해 회전하며, 회전하는 상기 회전자(12)의 N 극을 상기 홀 센서(HA, HB, HC)가 감지한 경우, 해당 상전환 스텝중의 상기 회전자(12)의 회전이 완료된 것으로 이해될 수 있으며, 이어서, 상기 상전환 스텝이 다른 상기 상전환 스텝으로 전환됨으로써, 복수의 상기 고정자(11)는 다시 상전환 되어 상기 회전자(12)의 회전이 지속될 수 있으므로, 상기 홀 센서(HA, HB, HC)를 통한 상기 회전자(12)의 N 극 감지는 복수의 상기 고정자(11)의 상전환 완료로 이해되는 것이 타당하다.
- [0060] 또한, 상기 홀 센서(HA, HB, HC)는, 상기 BLDC 전동기(10)의 회전 속도를 검출할 수 있다.
- [0061] 구체적으로, 상기 홀 센서(HA, HB, HC)는 도 2에 도시된 상기 고정자(11)의 상전환 스텝((a) 내지 (f)) 각각에 따라 상기 회전자(12)의 회전 형태를 감지할 수 있으므로, 상기 홀 센서(HA, HB, HC)가 상기 회전자(12)의 회전 및 이의 소요시간을 도출하여 상기 회전자(12)의 회전 속도, 즉, 상기 BLDC 전동기(10)의 회전 속도를 간단히 감지할 수 있다.
- [0062] 상기 홀 센서(HA, HB, HC)를 통한 상기 회전자(12)의 회전 속도 감지에 대한 사항은 종래의 기술에서도 일반적인 사항이므로 더 이상의 자세한 설명은 논외로 할 수 있다.

- [0063] 상기 회전자(12)의 지속적인 회전, 즉, 상기 BLDC 전동기(10)의 지속적인 구동을 위해서는, 상기 홀 센서(HA, HB, HC)로부터 제공된 상기 전기적 신호를 통해 상기 인버터(20)가 복수의 상기 고정자(11)의 연속적인 상전류 전환을 시행 해야만 하며, 이를 위해서는, 상기 인버터(20)가 상기 홀 센서(HA, HB, HC)로부터 상기 전기적 신호, 즉, 상기 고정자(11)의 상전환 완료 신호를 전송 받음과 동시에 상전환되어 여자될 상기 고정자(11)에 전류를 인가하여 상기 회전자(12)를 회전 시키는 것이 상기 BLDC 전동기(10)의 가장 이상적인 구동형태라 할 수 있다.
- [0064] 그러나, 상기 인버터(20)로부터 상전환 되어 여자될 상기 고정자(11)에 전류가 인가되는 경우, 전류가 인가된 상기 고정자(11)에는 그 주위나 내부를 통하는 자속의 변화를 방해하는 작용, 즉, 인덕턴스가 발생하여, 여자될 상기 고정자(11)의 전류 인가, 즉, 상전류 전환이 지연되게 된다.
- [0065] 여기서, 상기 인덕턴스는 흐르는 전류의 주파수가 높아질수록 커지기 때문에, 상기 고정자(11)의 상전환 시점에 비해 상전류의 지연이 더욱 증가하게 되며, 이러한 상기 상전류의 지연은 상기 BLDC 전동기(10)의 효율 감소 및 토크 성능 감소 등의 문제로 이어질 수 있다.
- [0066] 따라서, 이와 같은 상기 고정자(11)의 상전환에 대한 상전류 전환의 지연으로 상기 BLDC 전동기(10)의 성능이 저하되는 것을 방지하기 위하여 상기 BLDC 구동에 있어서 진상각(Lead Angle) 제어 기법이 도입될 수 있다.
- [0067] 상기 진상각이란, 상기 BLDC 전동기(10)의 구동을 위한 전류의 투입 시점으로 설정된 것으로서, 상기 BLDC 전동기(10)의 구동 시, 상기 진상각 제어를 통해 상기 고정자(11)의 상전류 전환 시점을 제어할 경우, 상기 고정자(11)간의 상전환에 대한 상전류의 지연을 충분히 보상할 수 있다.
- [0068] 이하에서는, 상기 고정자(11)간의 상전환에 대한 상전류 전환의 지연을 보상할 수 있는 진상각 제어기(100)에 대해서 살펴보기로 한다.
- [0069] 본 발명의 일실시예에 따른 진상각 제어기(100)는, 상기 BLDC 전동기(10)의 회전 속도에 따른 복수의 상기 고정자(11)의 상전환에 대한 복수의 상기 고정자(11)의 상전류 전환의 지연을 보상하기 위한 진상각을 연산하는 목적함수를 도출하는 목적함수 도출부(110), 상기 상전환 스텝 동안 카운팅 되는 펄스수인 상전환 펄스수를 카운팅 하고, 상기 목적함수를 통해 연산된 상기 진상각에 해당하는 펄스수인 진상각 펄스수를 도출하여, 상기 상전환 스텝 중의 상기 진상각이 제어되는 시점을 결정하는 엔코더(120), 및 엔코더(120)를 통해 카운팅 되는 상기 상전환 펄스수가 상기 진상각 펄스수에 도달할 경우, 복수의 상기 고정자(11)의 상전환에 앞서 복수의 상기 고정자(11)의 상전류 전환을 제어하여, 상전류 지연에 대한 상기 BLDC 전동기(10)의 구동을 보정하는 상전류 전환부(130)를 포함할 수 있다.
- [0070] 상술한 바로, 상기 고정자(11)에 전류가 인가됨으로써 발생하는 인덕턴스는 상기 BLDC 전동기(10)의 회전 속도가 증가함에 따라 증가되므로, 상기 고정자(11)의 상전환에 대한 상전류 전환의 지연은 상기 BLDC 전동기(10)의 회전 속도가 증가함에 따라 커지는 경향이 있다.
- [0071] 따라서, 상기 고정자(11)의 상전환에 대한 상전류 지연의 정확한 보상을 위해서는, 상기 BLDC 전동기(10)의 회전 속도에 따라 상기 진상각을 연산해야 될 필요성이 있다.
- [0072] 따라서, 상기 목적함수 도출부(110)는, 상기 고정자(11)의 상전환에 대한 상전류 전환의 지연을 보상하기 위한 상기 진상각을 상기 BLDC 전동기(10)의 회전 속도에 따라 연산할 수 있는 상기 목적 함수를 도출할 수 있다.
- [0073] 도 3은 BLDC 전동기(10)의 상전압 파형을 도시한다.
- [0074] 상기 BLDC 전동기(10)에 인가되는 전압은 구형파로서 상기 도 3에 도시된 바와 같이 그래프 상에 선도로 표현될 수 있다.
- [0075] 도 3에 도시된 구형파 형태의 선도는 상기 BLDC 전동기(10)에 인가되는 전압을 시간의 영역에서 분석하는데 한계가 있으므로, 상기 구형파의 선도를 통해서는 상기 고정자(11)의 상전환에 대한 상전류의 지연을 상기 고정자(11)의 상전환 주기에 맞게 상기 진상각을 도출하는 것에 문제가 발생할 수 있다.
- [0076] 따라서, 상기 목적함수 도출부(110)는 상기 BLDC 전동기(10)에 인가되는 구형파 형태의 상전압을 푸리에 급수로 전개한 아래의 수학적 식 1로부터 상기 목적함수를 도출할 수 있다.

수학식 1

$$v(t) = \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{b_n}{n} \sin(n\omega_e t)$$

[0077]

$$b_n = \cos\left(\frac{n\pi}{6}\right) - \cos\left(\frac{5n\pi}{6}\right) \quad \text{로}$$

[0078]

여기서, ω_e 는 BLDC 전동기(10)의 전기각속도, b_n 은 $v(t)$ 의 계수로서 표현되며, $v(t)$ 는 주기 함수로서 사인파의 합, t 는 시간일 수 있다.

[0079]

도 4는 푸리에 급수로 전개된 BLDC 전동기(10)의 상전압 파형을 도시한다.

[0080]

상기 수학식 1을 통하여 푸리에 급수로 전개된 상기 BLDC 전동기(10)의 상전압 파형은 도 4에 표시된 바와 같이 복수의 고조파의 합인 $v(t)$ 로 표현될 수 있다.

[0081]

여기서, 상기 목적함수 도출부(110)는 상기 수학식 1의 각 항에 대한 지연각의 크기 및 가중치에 대해 아래의 수학식 2의 상기 진상각으로 표현되는 상기 목적함수를 도출할 수 있다.

수학식 2

$$d\theta = \omega_e dt = \sum_{n=1}^N \frac{c_n}{n} \tan^{-1}\left(\frac{nL\omega_e}{R}\right)$$

[0082]

여기서, c_n/N 은 가중치, $\tan^{-1}(nL\omega_e/R)$ 은 복수의 고정자(11)간의 상전환 시점에 대한 상전류 전환의 상지연, ω_e 는 BLDC 전동기(10)의 전기각속도, L 은 고정자(11)의 권선에 의한 자체 인덕턴스, $d\theta$ 는 진상각이다.

[0084]

상기 도 4의 푸리에 급수로 전개된 상기 BLDC 전동기(10)의 상전압 파형은 복수의 고조파의 합으로 표현될 수 있는데, 복수의 상기 고조파 중 1차나 3차와 같이 차수가 낮은 상기 고조파는 상기 고정자(11)의 상전환에 대한 상전류의 지연에 대한 보상에 큰 영향을 미치지만 차수가 높은 상기 고조파는 상기 고정자(11)의 상전환에 대한 상전류의 지연에 대한 보상에 영향을 적게 미칠 수 있다.

[0085]

따라서, 상기 c_n/N 로 표현되는 상기 가중치는 상기 고정자(11)의 상전류 지연에 대한 지연보상에 영향을 크게 미칠 수 있는 낮은 차수의 상기 고조파를 더욱 부각시킬 수 있는 계수로서 적용될 수 있다.

[0086]

도 5는 본 발명의 실시시에 따른 BLDC 전동기(10)의 지연각을 대조군과 나타낸 그래프이다.

[0087]

도 5를 참조하면, 상기 BLDC 전동기(10)의 상전류 지연은 상기 수학식 2를 통해 상기 BLDC 전동기의 상전압이 사인파 형태로 표현된 후 도출되는 것이 구형파 형태에서 도출되는 것보다 작은 것을 확인할 수 있다.

[0088]

따라서, 도 5를 통하여, 상기 BLDC 전동기(10)의 구동에 따른 상기 진상각을 도출하기 위해, 상기 BLDC 전동기(10)의 상전압을 푸리에 변환으로 전개하여, 이로부터 상기 진상각을 도출하는 것에 대한 타당성을 얻을 수 있다.

[0089]

여기서, 상기 수학식 2는 연산이 복잡하기 때문에 상기 진상각 제어를 실시간을 수행하기 위한 본 발명의 진상각 제어기(100)에 적용되는 목적함수로서는 부적합할 수 있다.

[0090]

따라서, 상기 목적함수 도출부(110)는, 상기 수학식 2를 커브피팅(curve fitting)하여 아래의 수학식 3로 표현할 수 있다.

수학식 3

$$d\theta_a = k_1 \tan^{-1} \left(\frac{L\omega_e^{k_2}}{R} \right)$$

[0091]

[0092]

여기서, ω_e 는 BLDC 전동기(10)의 전기각속도, L은 고정자(11)의 권선에 의한 자체 인덕턴스, 및 k_1 과 k_2 는 커브 피팅을 결정하는 상수, $d\theta_a$ 는 $d\theta$ 를 간소화하여 나타낸 진상각을 나타낸다.

[0093]

상기 커브피팅은 도 5와 같이 상기 수학식 2를 상기 그래프 상에 선도로 표현하고, 상기 그래프 상에 생성된 상기 선도 상의 복수의 좌표를 설정한 후, 해당 좌표에 대해 새로운 함수를 도출하는 것으로서, 상기 커브피팅을 통해 도출되어 상기 수학식 3으로 표현된 상기 진상각, 즉, 상기 목적함수는, 상기 수학식 2보다 간소화 되어 제공되므로, 상기 진상각을 실시간으로 제어하는 본 발명에 적합할 수 있다.

[0094]

상기 목적함수를 통해 도출된 상기 목적함수는 상기 수학식 3에서와 같이 상기 진상각에 대한 정보를 제공할 수 있으며, 따라서, 본 발명의 일실시예에 따른 진상각 제어기(100)는 상기 목적함수를 통하여 상기 BLDC 전동기(10)의 회전 속도에 따른 상기 진상각을 도출하여, 이를 통해 상전류 지연에 따른 상기 BLDC 전동기(10)의 구동을 보완할 수 있다.

[0095]

다음으로, 상기 엔코더(120)는, 상기 상전환 스텝 동안 카운팅 되는 상기 상전환 펄스수를 카운팅 하고, 상기 목적함수를 통해 연산된 상기 진상각 펄스수를 도출하여, 상기 상전환 스텝 중의 상기 진상각이 제어되는 시점을 결정할 수 있다.

[0096]

상기 목적함수 도출부(110)를 통해 도출된 상기 목적함수를 통해 연산될 수 있는 상기 진상각이 상기 BLDC 전동기(10)에 적용되기 위해서는, 상기 BLDC 전동기(10)의 구동 형태, 즉, 상기 고정자(11)의 상전환과 이에 따른 상기 회전자(12)의 회전에 맞게 적용되어야 한다.

[0097]

즉, 상기 목적함수를 통해 이론적으로 연산된 상기 진상각이 상기 BLDC 전동기(10)에 적용되기 위해서는, 상기 진상각이 상기 BLDC 전동기(10)의 구동 중 적용될 시점의 기준이 제공되어야 한다.

[0098]

따라서, 상기 엔코더(120)는 상기 상전환 스텝 각각에서 상기 목적함수를 통해 연산된 상기 진상각의 제어 시점의 기준을 제공하기 위해, 하나의 상기 상전환 스텝 동안의 상기 상전환 펄스수를 카운팅하고, 상기 목적함수를 통해 연산된 상기 진상각 펄스수를 도출하여, 하나의 상기 상전환 스텝 중에서 상기 진상각의 제어 시점을 결정할 수 있다.

[0099]

도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 엔코더(120)를 도시한다.

[0100]

본 발명의 일실시예에 따른 엔코더(120)는, 도 6에 도시된 바와 같이, 발광소자(124)로부터 투사된 광선이 회전 디스크(121)의 슬릿(122)을 통과한 뒤, 고정 슬릿판(125)의 각각의 고정 슬릿(126)을 통과하여 수광소자(127)에서 검출되는 구조이다.

[0101]

즉, 상기 발광소자(124)로부터 발광된 광선은, 상기 회전디스크(121)의 슬릿(122) 및 상기 고정 슬릿판(125)의 고정 슬릿(126)을 통과함에 있어서, 상기 회전디스크(121)의 회전으로 인한 통과 및 차단이 반복되어 상기 수광소자(127)에서 일정한 주기패턴으로 검출되므로, 이로 인해, 상기 펄스가 생성될 수 있다.

[0102]

상기 엔코더(120)는 상기 BLDC 전동기(10)의 회전 속도를 검출할 수 있는데, 상기 엔코더(120)는 상기 BLDC 전동기(10)와는 별개의 위치센서지만, 상기 BLDC 전동기(10)의 회전자(12)와 함께 회전하여 상기 펄스를 생성하기 때문에, 상기 엔코더(120)의 회전디스크의 회전 또는 상기 엔코더(120)로부터 생성되는 상기 펄스수를 통해 상기 BLDC 전동기(10)의 회전 속도를 검출할 수 있는 것은 매우 일반적인 사항이다.

[0103]

이와 같은 원리로, 상기 엔코더(120)는 상기 상전환 스텝 간의 상기 진상각 펄스수를 도출할 수 있는데, 상기 BLDC 전동기(10)의 회전자(12)는 상기 고정자(11)의 6 스텝에 따른 상전환에 의해 한 바퀴 회전하므로, 상기 회전 디스크가 한 바퀴 회전할 동안 상기 엔코더(120)를 생성된 상기 진상각 펄스수를 상기 고정자(11)의 상전환 스텝수로 나눈 경우가 상기 상전환 스텝 동안 상기 엔코더(120)를 통해 카운팅 될 수 있는 상기 펄스수가 될 수 있다.

- [0104] 또한, 상기 엔코더(120)는, 상기 목적함수를 통해 연산된 상기 진상각 펄스수를 도출할 수 있는데, 일 예로, 상기 수학식 3을 통해 상기 고정자(11)의 상전환에 대한 상전류 전환의 지연이 10 펄스수만 큼의 크기를 갖는다는 결과가 연산되었고, 하나의 상기 상전환 스텝 동안 카운팅 될 수 있는 상기 펄스수 가 100 펄스라고 가정할 경우, 100 펄스 에서 10 펄스 를 감한 90 펄스가 상기 상전환 스텝 중에서 상기 진상각 펄스수로 결정될 수 있다.
- [0105] 따라서, 상기 진상각 펄스수를 기준으로 상기 고정자(11)의 상전류 전환을 제어할 경우, 상기 고정자(11)의 상전환에 대한 상전류 전환의 지연만큼 앞선 시점에서 상기 진상각의 제어를 시행할 수 있으므로, 상전류 지연에 따른 상기 BLDC 전동기(10)의 구동을 충분히 보완할 수 있다.
- [0106] 이를 위해, 상기 상전류 전환부(130)는 상기 엔코더(120)를 통해 카운팅 되는 상기 상전환 펄스수가 상기 진상각 펄스수에 도달할 경우, 복수의 상기 고정자(11)의 상전환에 앞서 복수의 상기 고정자(11)의 상전류 전환을 제어하여, 상전류 지연에 대한 상기 BLDC 전동기(10)의 구동을 보정할 수 있다.
- [0107] 구체적으로, 상기 상전류 전환부(130)는, 복수의 상기 고정자(11)의 상전환 시점에 앞서, 상전환을 통해 여자될 상기 고정자(11)에 전류를 인가할 수 있는데, 상기 고정자(11)의 상전환에 대한 상전류 지연을 보상하기 위해, 복수의 상기 고정자(11)의 상전환 시점을 기준으로 복수의 상기 고정자(11)의 상전류 전환의 지연만큼 앞서 복수의 상기 고정자(11)의 상전류 전환을 제어할 수 있다.
- [0108] 이를 통해, 상기 상전류 전환부(130)는, 복수의 상기 고정자(11)의 상전환과 동일한 시점에 복수의 상기 고정자(11)가 상전류 전환되도록 하여, 상전류 전환의 지연에 대한 상기 BLDC 전동기(10)의 구동을 보완할 수 있다.
- [0109] 도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 진상각 제어기(100)의 시퀀스 차트를 도시한다.
- [0110] 도 2 및 도 7을 참조하면, 상기 고정자(11)의 상전환 스텝 1(도 2의 (a))에서의 카운팅 될 수 있는 상기 상전환 펄스수가 시작점으로부터 도 7의 (b)까지의 거리만큼 측정되었고, 상기 목적함수를 통해 상기 엔코더(120)에서 도출된 상기 진상각 펄스수가 시작점으로부터 도 7의 (a)까지 거리로 도출되었다고 가정하면, 상기 엔코더(120)에서 카운팅 되는 상기 상전환 펄스수가 상기 진상각 펄스수인(a)에 도달한 경우, 상기 상전류 전환부(130)는 3상(U, V, W)의 상기 고정자(11) 중, V 상의 상기 고정자(11)에서 W 상의 상기 고정자(11) 방향으로 전류가 인가되도록 복수의 상기 고정자(11)의 상전류 전환을 제어할 수 있다.
- [0111] 이를 통해, 상기 인버터(20)는 상기 V 상의 상기 고정자(11)에서 W 상의 상기 고정자(11) 방향으로 전류를 인가할 수 있다.
- [0112] 여기서, 도 7의 (a) 내지 (b) 사이의 상기 엔코더(120)의 펄스수가 상기 고정자(11)의 상전환에 대한 상전류 전환의 지연 정도일 수 있고, 이러한 상기 상전류의 지연을 보상하기 위해, 상기 엔코더(120)가 상기 (a) 시점을 상기 진상각 제어 시점으로 결정할 수 있으며, 상기 상전류 인가부가 상기 (a) 시점에서 복수의 상기 고정자(11)의 상전류 전환을 제어함으로써, 상기 고정자(11)의 상전환에 대한 상전류 전환의 지연은 보상될 수 있다.
- [0113] 또한, 상기 상전류 전환부(130)는, 상기 홀 센서(HA, HB, HC)로부터 제공되는 상기 전기적 신호를 기준으로, 전류가 인가될 상기 고정자(11)가 미리 정해진 진리표(truth table)에 따라 상기 고정자(11)에 전류 인가를 제어하여, 복수의 상기 고정자(11)의 상전류 전환을 제어할 수 있다.
- [0114] 도 8은 본 발명의 일실시예에 따라 고정자의 상전류 전환을 제어하기 위한 진리표를 도시한다.
- [0115] 상기 진리표라 함은, 논리 연산에 대한 연산표로서, 거짓과 참을 나타내는 변수값인 0, 1의 모든 가능한 조합과 이들 각각에 대한 관련 함수의 값을 0, 1로 나타내는 스위칭 함수로서, 본 발명의 일실시예에 있어서는, 상기 홀센서가 상기 회전자(12)의 N 극을 감지하는 변수, 및 3상(U, V, W)의 상기 고정자(11)의 전류 인가에 따른 전압 형성에 대한 변수를 토대로 상기 BLDC 의 구동형태를 미리 예측한 표로서 도 8과 같이 적용될 수 있다.
- [0116] 도 7 및 도 8을 참조하면, 상기 상전환 스텝 1에서 상기 엔코더(120)를 통해 카운팅 상기 상전환 펄스수가 상기 진상각 펄스수에 도달하는 경우, 상기 상전류 전환부(130)는 상기 진리표에 정해진 대로, 상기 상전환 스텝2의 상전환에 대응한 상전류 전환을 미리 제어할 수 있으며, 이를 통해, 상기 고정자(11)에 전류를 인가하는 상기 인버터(20)는 상기 V 상의 상기 고정자(11)에서 W 상의 상기 고정자(11) 방향으로 전류를 인가하여, 상기 상전환 스텝 2가 개시되는 시점에 V 상에 상기 고정자(11) 및 W 상의 상기 고정자(11)의 상전류 전환을 완료할 수 있다.
- [0117] 이와 같은 방식으로 상기 상전환 스텝 중의 상기 고정자(11)의 상전류 전환은, 상기 진리표에 미리 정해진바로 제어되므로, 상기 회전자(12)는 상기 고정자(11)의 상전환에 대한 상전류 전환의 지연 없이 상기 회전자(12)를

지속적으로 회전시켜, 상기 BLDC 전동기(10)의 지속적인 회전을 가능하게 한다.

- [0118] 상술한 바에 따르면, 상기 상전류 전환부(130)는 상기 엔코더(120)에서 카운팅되는 상기 상전환 펄스수 및 상기 목적함수를 통해 연산되는 상기 진상각 펄스수를 기준으로 상기 고정자(11)의 상전류 전환의 제어를 시행한다.
- [0119] 여기서, 상기 상전환 스텝 동안 카운팅 되는 상기 상전환 펄스수가 상기 상전환 스텝이 전환 될 때마다 누적되어 기록된다면, 상기 진상각 제어 시점에 대한 기준 제공에 문제가 발생할 수 있다.
- [0120] 또한, 상기 진상각은 상기 목적함수를 통하여 상기 BLDC 전동기(10)의 회전속도에 따라 연산되는데, 상기 진상각 펄스수가 모든 상기 상전환 스텝에 동일하게 계속 적용된다면, 상기 BLDC 전동기(10)가 외력, 전력상황, 또는 상기 BLDC 전동기(10)를 제어하는 사용자 제어조건에 따라 회전 속도가 변경될 경우, 현재 BLDC 전동기(10)의 회전 속도와 기존에 적용되고 있는 상기 진상각 펄스수가 대응되지 못하여, 상기 고정자(11)간의 상전환에 대한 상전류 지연의 보상에 문제가 발생할 수 있다.
- [0121] 따라서, 상기 엔코더(120)는, 복수의 상기 고정자(11)의 상전환이 완료될 시, 상기 목적함수를 통해 상기 BLDC 전동기(10)의 회전 속도에 따른 상기 진상각 펄스수를 재 도출하여, 상전환 완료 후의 상기 BLDC 전동기(10)의 회전 속도에 따라 상기 진상각의 제어 시점을 재정비 할 수 있다.
- [0122] 또한, 상기 엔코더(120)는, 복수의 상기 고정자(11)의 상전환이 완료된 후에는, 상기 상전환 펄스수를 초기화된 상태로 카운팅할 수 있다.
- [0123] 이를 통해, 상기 엔코더(120)는 복수의 상기 고정자(11)의 상전환 스텝 마다, 상기 BLDC 전동기(10)의 회전 속도에 따른 진상각을 도출하여, 상기 BLDC 전동기(10)의 회전 속도에 대한 상기 진상각의 제어 시점을 더욱 정확하게 제어할 수 있다.
- [0124] 본 발명의 일실시예에 따른 진상각 제어기(100)에 따르면, 상전류 전환 지연에 대한 상기 BLDC 전동기(10)의 구동을 보완하기 위해, 상기 BLDC 전동기(10)의 상전환 스텝을 더욱 정밀하게 검출할 수 있는 상기 엔코더(120)를 이용하여 상기 진상각의 제어를 시행하므로, 더욱 정확한 상기 진상각의 제어 시점을 제공할 수 있다.
- [0125] 또한, 상기 진상각을 도출하는 목적함수가 간소화됨으로서, 상기 BLDC 전동기(10)의 회전 속도에 따른 상기 진상각을 더욱 빠른 속도로 연산할 수 있으므로 이의 제어 시점을 실시간으로 제공하기 용이할 수 있다.
- [0126] 또한, 상기 진상각의 제어 시점을 도출함에 있어서, 상기 고정자(11)의 상전환 스텝 시마다, 초기화된 정보로 상기 진상각의 제어 시점을 도출하므로, 상기 BLDC 전동기(10)의 진상각 제어 시점에 영향을 미칠 수 있는 외란을 배제하여 보다 정확한 상기 진상각 제어 시점을 제공할 수 있다.

[0127] [시뮬레이션을 통한 사전 실험예]

[0128] 1. 시뮬레이션 구성

[0129] MATLAB 및 SIMULINK를 활용하여 진상각 제어 시뮬레이션을 구성하였다.

[0130] 도 9은 본 발명의 일실시예에 따른 진상각 제어가 적용된 시뮬레이션의 상전류 및 이의 대조군의 상전류를 도시한다.

[0131] 상기 시뮬레이션은 아래의 표 1과 같은 조건으로 시행되었으며, 도 9에 도시된 바와 같이, 동일한 시뮬레이션을 통해 본 발명의 일실시예에 따른 진상각 제어가 적용된 구동 및 진상각 제어가 적용되지 않은 일반적인 구동을 시행하였다.

표 1

EC-4POLE 30, 200W	
정격 전압	24 V

정격 전류	9.08 A
정격 RPM	16220 RPM
정격 토크	112 mNm
정격 저항	0.102 Ω
권선 인덕턴스	0.0163 mH
토크 상수	13.5 mNm/A
최대 효율	88 %

[0133] 2. 시뮬레이션 결과

[0134] 도 10은 시뮬레이션을 통해 본 발명의 일실시예에 따른 진상각 제어가 적용된 구동 및 진상각 제어가 적용되지 않은 일반적인 구동에서의 전동기의 효율 및 토크 리플을 도시한다.

[0135] 도 10을 참조하면, 진상각 제어가 적용되지 않은 일반적인 구동 시, 고속으로 회전할수록 인덕턴스에 의한 상전류 지연에 의해 구동 효율이 감소하였으며, 이에 따라 토크 리플이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

[0136] 반면, 본 발명의 일실시예에 따라 진상각 제어가 적용된 구동은, 고속으로 회전시의 구동 효율이 일반적인 구동에 비해 높았으며, 따라서, 토크 리플 또한 일반적인 구동에 비해 감소된 것을 확인하였다.

[0137] 결과적으로, 상기 시뮬레이션을 통한 사전 실험예를 통하여, 본 발명의 일실시예에 따른 진상각 제어를 수행하였을 때, 고속영역에서의 전동기의 효율이 증가하고 토크리플이 감소하는 것을 이론적으로 확인하였다.

[0138] [실제 BLDC 전동기에 적용한 실험예]

[0139] 1. 실험 구성

[0140] 도 11는 진상각 제어를 검증하기 위한 실험 장치를 도시한다.

[0141] BLDC 전동기, 진상각을 연산하는 FPGA 보드, 진상각 제어를 위한 PAAC driver 및 진상각에 의한 효과를 검증하기 위해 상기 BLDC 전동기의 효율 및 토크리플 등을 분석하는 다이내모미터(Dynamometer)를 연결하여 도 11과 같은 실험 장치를 구성하였다.

[0142] 상기 BLDC 전동기의 사양은 상기 표 1과 같으며, 상기 BLDC 전동기에는 CPR이 2000인 엔코더가 연결되었다.

[0143] 40MHz 의 상기 FPGA 보드에서 상기 수학식 3을 통해 연산된 진상각은 상기 PAAC driver에 전송되었으며, 상기 PAAC driver는 도 7에 도시된 시퀀스 차트를 통하여 상기 BLDC 전동기를 제어하였다.

[0144] 2. 실험 결과

[0145] 도 12는 본 발명의 일실시예에 따른 진상각 제어를 구현한 BLDC 전동기와 진상각 제어를 구현하지 않은 BLDC 전동기의 RPM에 따른 효율을 도시한다.

[0146] 도 12를 참조하면, 상기 다이내모미터를 통해 RPM, 즉, 회전 속도에 따른 상기 BLDC 전동기의 효율을 분석한 결

과, 본 발명의 일실시예에 따른 진상각 제어를 구현한 상기 BLDC 모터는 진상각 제어를 구현하지 않은 BLDC 전동기 보다, 고속의 회전 영역에서 7.7 내지 21.7 %의 효율이 증가한 것을 확인하였다.

[0147] 도 13은 본 발명의 일실시예에 따른 진상각 제어를 구현한 BLDC 전동기와 진상각 제어를 구현하지 않은 BLDC 전동기의 17000 RPM 에서의 전류 파형을 도시한다.

[0148] 도 13을 참조하면, 진상각 제어를 구현하지 않은 상기 BLDC 전동기의 평균 토크는 0.1391 Nm이고, 본 발명의 일실시예에 따른 진상각 제어를 구현한 상기 BLDC 전동기의 평균 토크는 0.1550 Nm로서, 본 발명의 일실시예에 따른 진상각의 제어를 구현한 상기 BLDC 전동기의 평균 토크가 진상각 제어를 구현하지 않은 상기 BLDC 전동기의 평균 토크보다 약 11.43 % 증가한 것을 확인하였다.

[0149] 또한, 본 발명의 일실시예에 따른 진상각 제어를 구현한 상기 BLDC 전동기는 진상각 제어를 구현하지 않은 상기 BLDC 전동기에 비해 토크 리플이 약 7.15 내지 12.88 % 감소한 것을 확인하였다.

[0150] 결과적으로, 본 발명의 일실시예에 따른 진상각 제어는 인덕턴스에 의한 지연각을 앞당김으로써 회전자의 영구자석과 고정자의 쇠교하는 자속의 시점이 일치하면서 효율 증가 및 토크리플 감소 결과가 나타나는 것을 확인하였다.

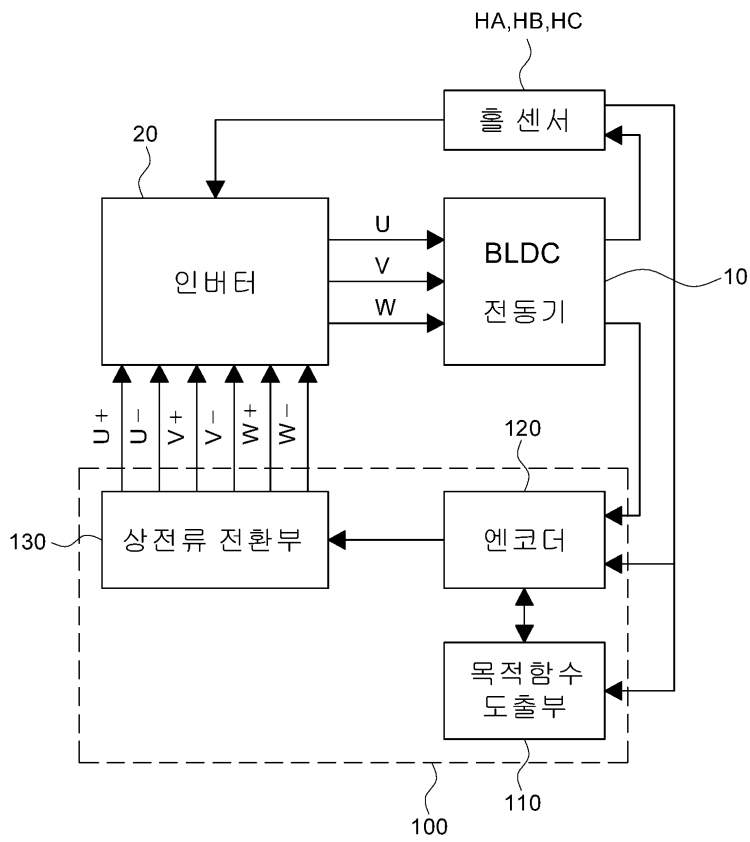
[0151] 본 명세서는 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술분야의 당업자는 이하에서 서술하는 특허청구범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경 실시할 수 있을 것이다. 그러므로 변형된 실시가 기본적으로 본 발명의 특허청구범위의 구성요소를 포함한다면 모두 본 발명의 기술적 범주에 포함된다고 보아야 한다.

부호의 설명

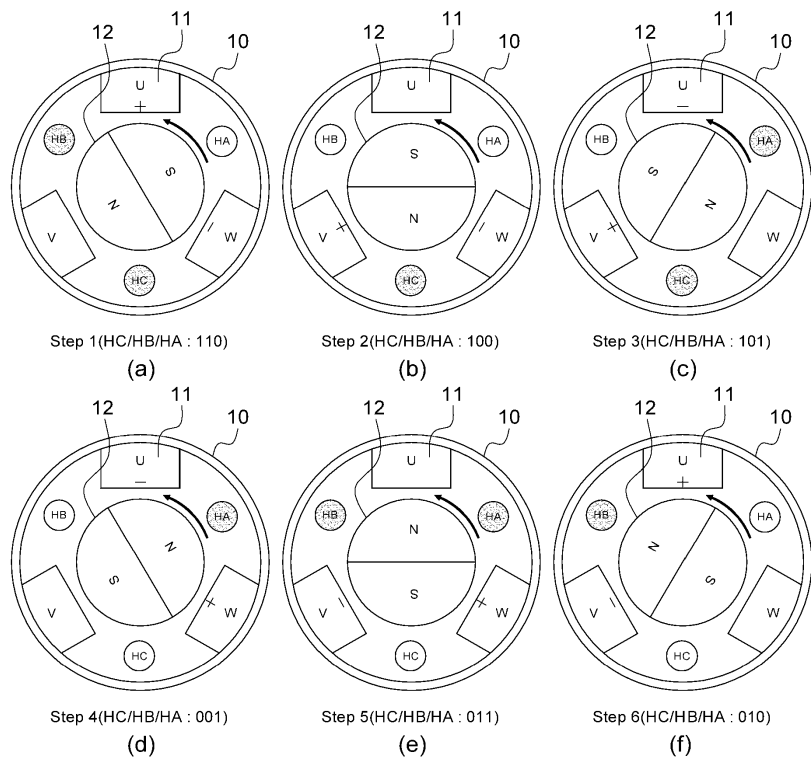
- | | | |
|--------|-------------------|----------------|
| [0152] | 10 : BLDC 전동기 | 11: 고정자 |
| | 12 : 회전자 | 110 : 목적함수 도출부 |
| | 120 : 엔코더 | 130 : 상전류 전환부 |
| | HA, HB, HC : 홀 센서 | |

도면

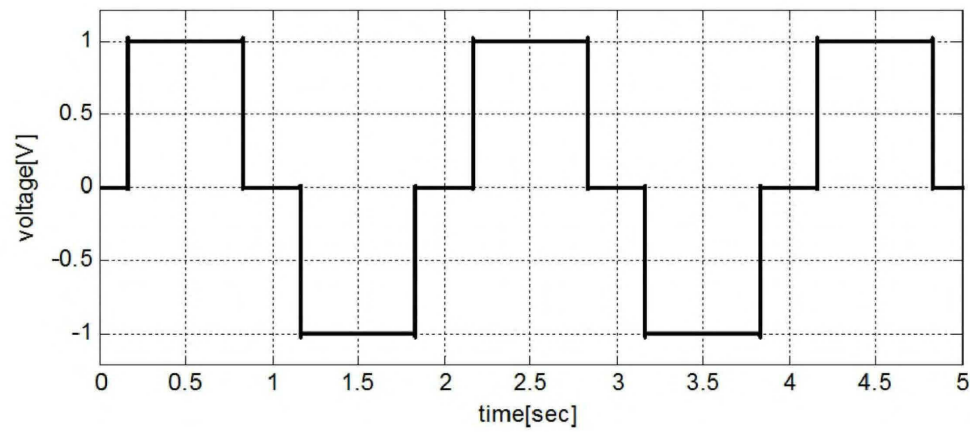
도면1



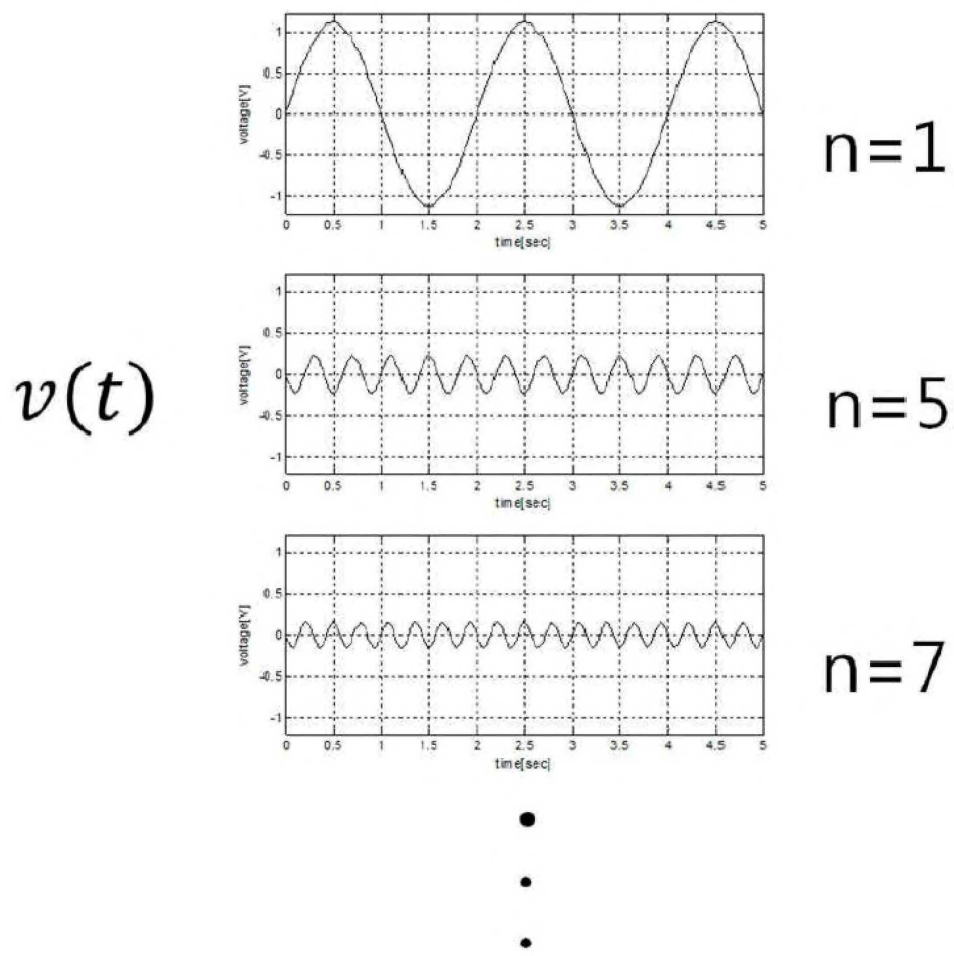
도면2



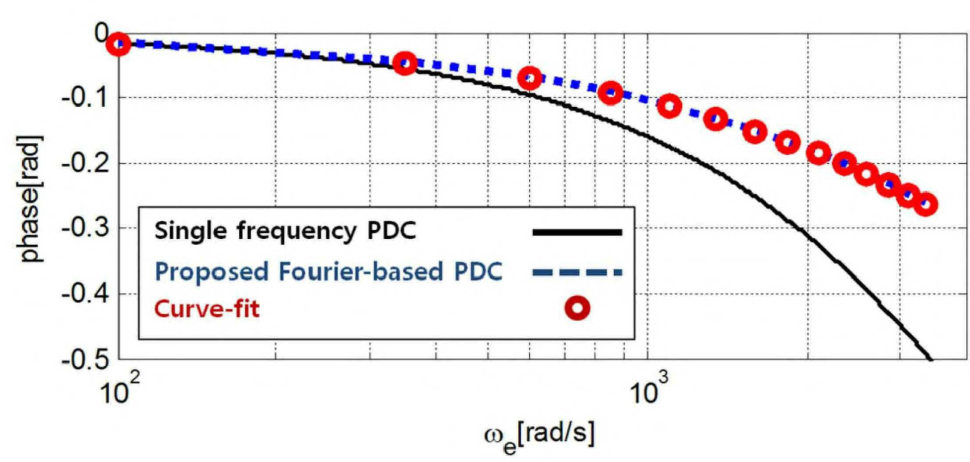
도면3



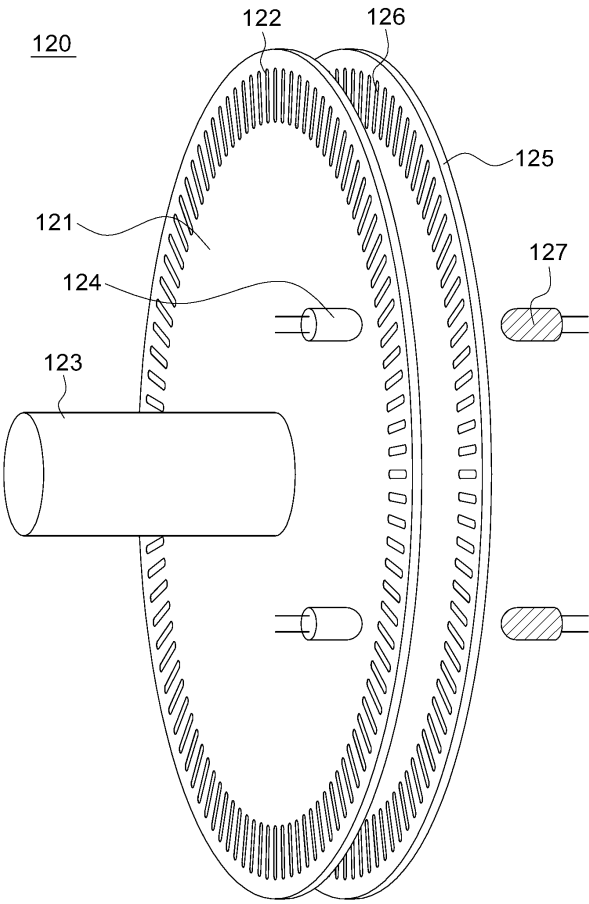
도면4



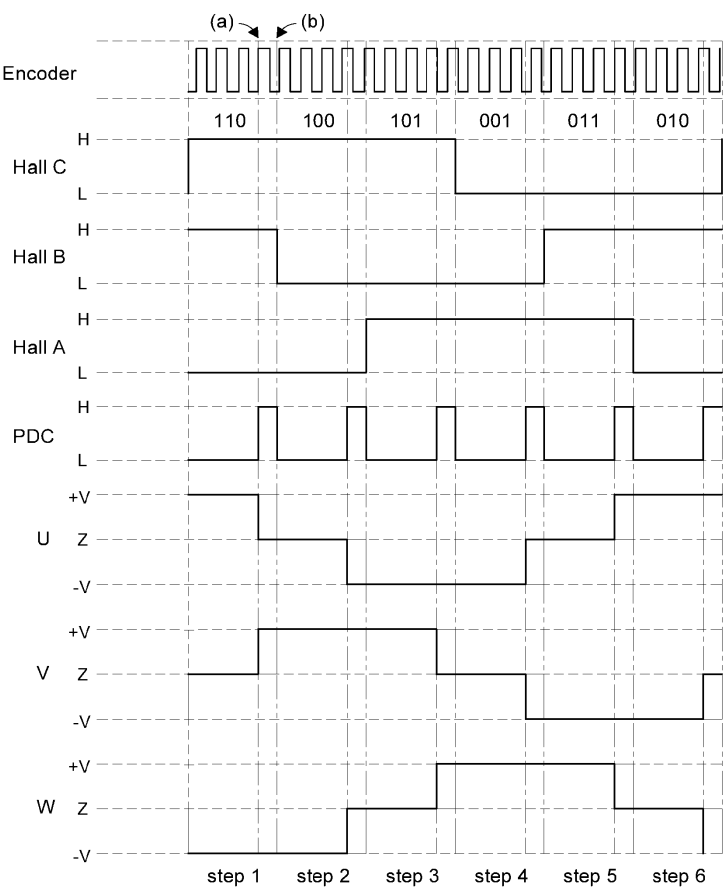
도면5



도면6



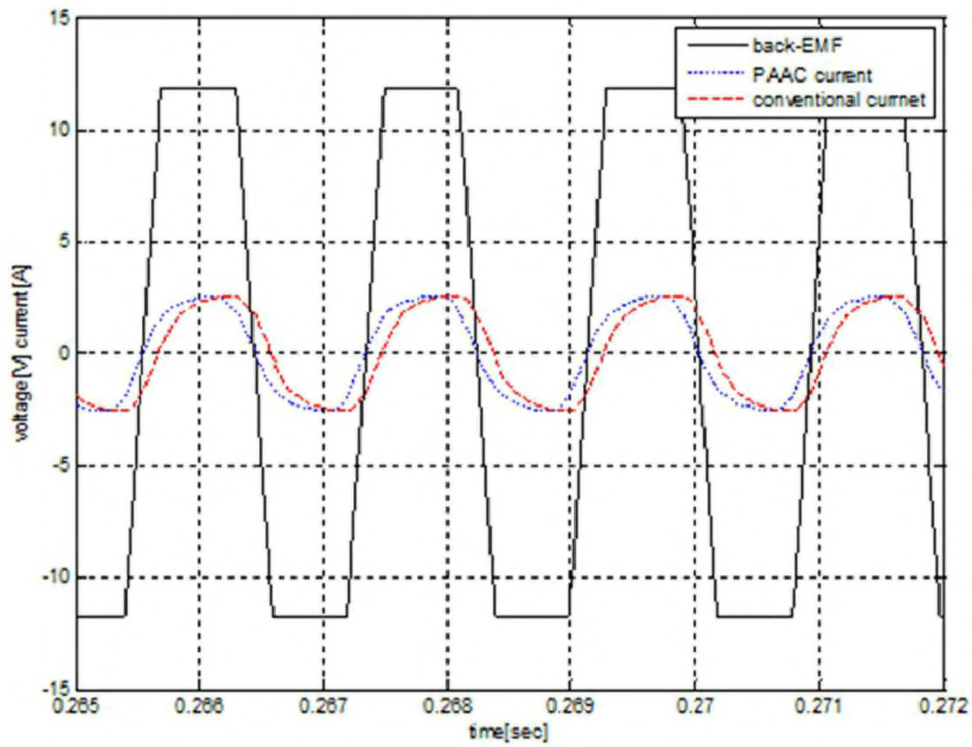
도면7



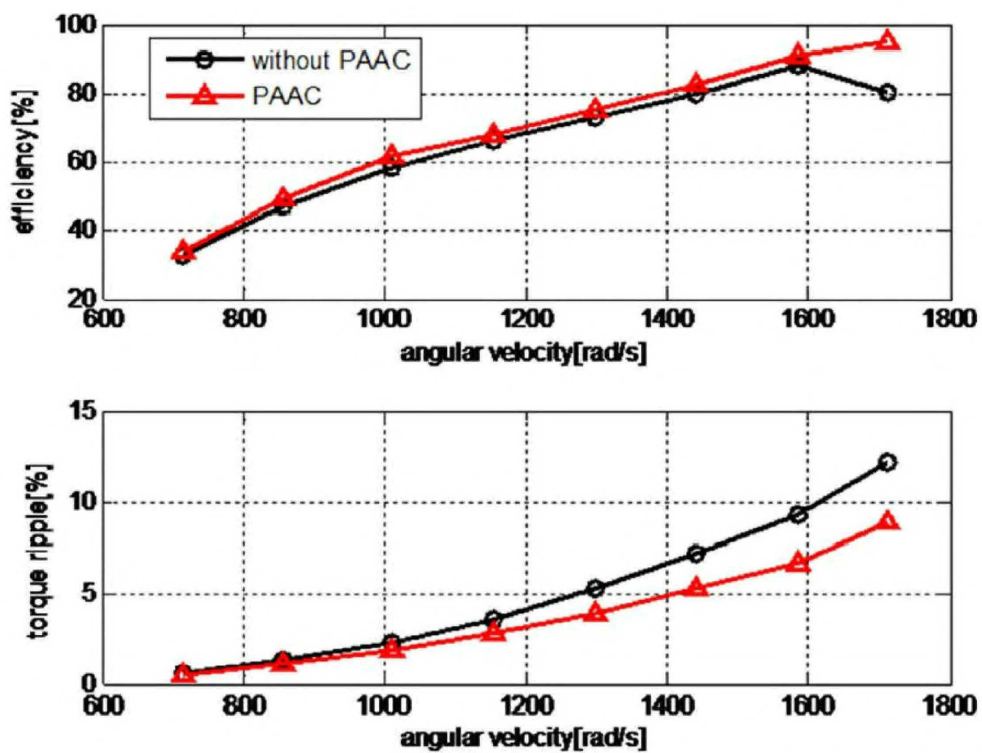
도면8

	PDC	Hall sensor			phase order					
Step	상전류 전환 제어	H3	H2	H1	U_HIGH	U_LOW	V_HIGH	V_LOW	W_HIGH	W_LOW
1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1
	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1
2	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0
3	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0
	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0
4	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0
5	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0
	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0
6	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1

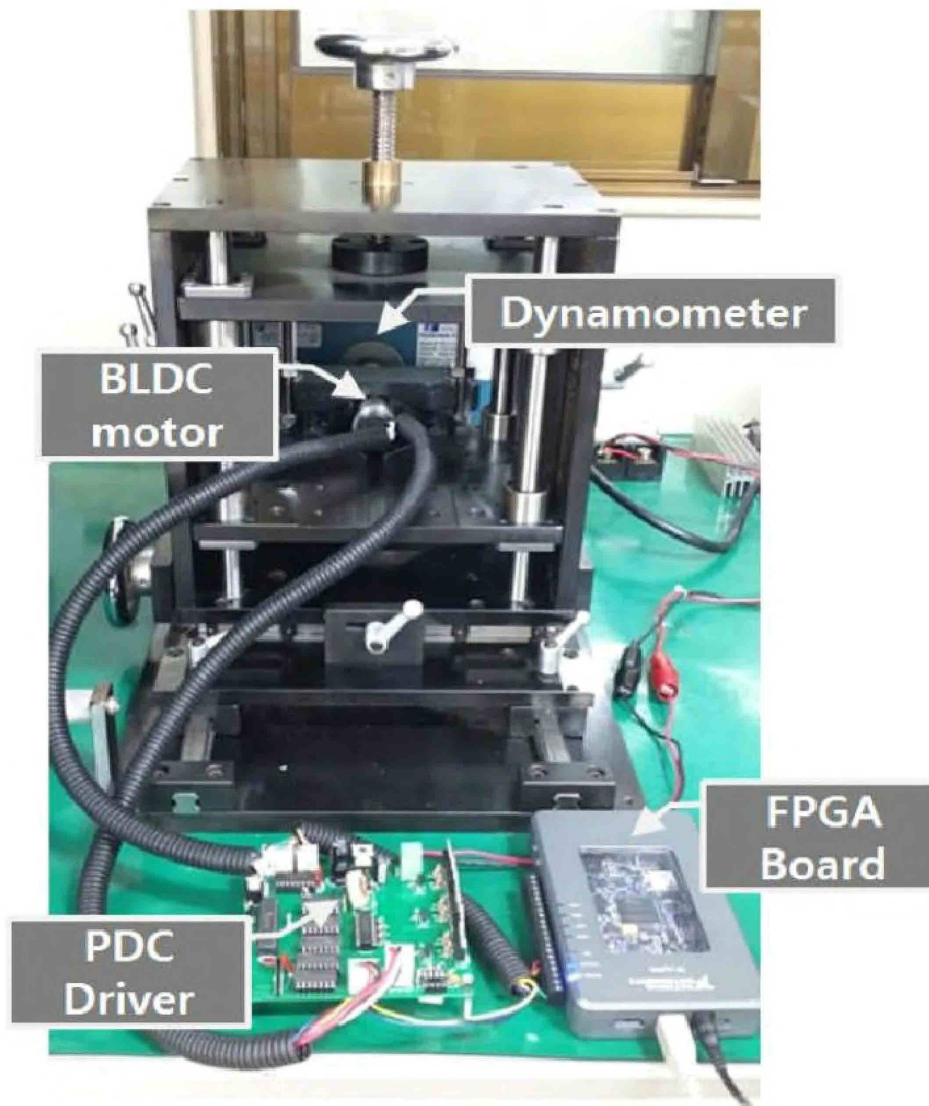
도면9



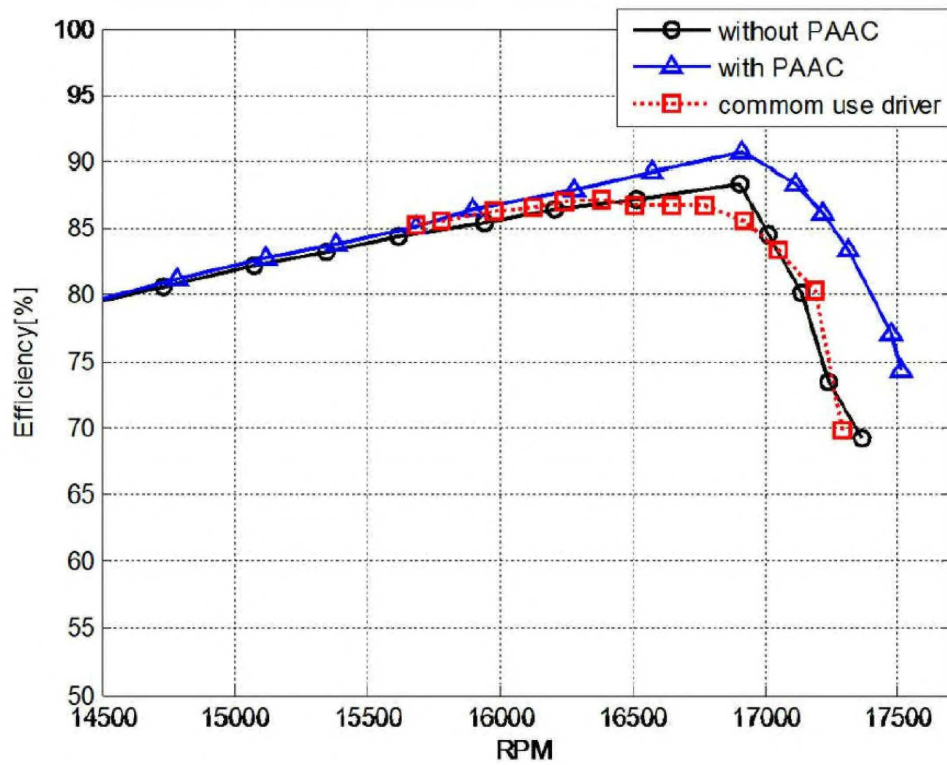
도면10



도면11



도면12



도면13

