



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0064411
(43) 공개일자 2012년06월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H02P 6/16 (2006.01) H02P 6/18 (2006.01)

H02P 27/04 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2010-0125631

(22) 출원일자 2010년12월09일

심사청구일자 없음

기술이전 희망 : 기술양도

(71) 출원인

울산대학교 산학협력단

울산 남구 무거2동 산29

(72) 발명자

전태원

부산광역시 금정구 중앙대로1929번길 48, 102동 1703호 (구서동, 부영벽산아파트)

이흥희

울산광역시 울주군 범서읍 구영리 푸르지오2차아파트 504동 1401호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

김중선

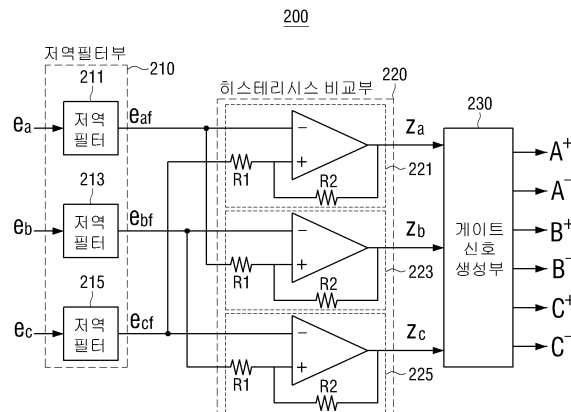
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 브러쉬리스 모터 제어 장치

(57) 요약

모터 제어 장치가 제공된다. 모터 제어 장치는 복수의 스위치 소자를 포함하며, 복수의 스위치 소자의 스위칭 동작에 따라 3상 출력 전압을 생성하는 스위칭부, 3상 출력 전압을 입력받아 기동하는 브러쉬리스(Brushless DC : BLDC) 모터 및 3상 출력 전압에 대한 위상 지연을 보상한 후, 위상 보상된 3상 출력 전압을 이용하여 브러쉬리스 모터의 회전자 위치를 추정하며, 추정된 회전자 위치에 따라 복수의 스위치 소자에 대한 제어를 수행하는 제어부를 포함한다.

대표도 - 도3



(72) 발명자

김홍근

대구광역시 수성구 지산로 56, 동서맨션 106동
1102호 (지산동)

노의철

부산광역시 남구 분포로 111, LG메트로시티 1차
125동 2003호 (용호동)

특허청구의 범위

청구항 1

복수의 스위치 소자를 포함하며, 상기 복수의 스위치 소자의 스위칭 동작에 따라 3상 출력 전압을 생성하는 스위칭부;

상기 3상 출력 전압을 입력받아 기동하는 브러쉬리스(Brushless DC : BLDC) 모터; 및

상기 브러쉬리스 모터의 3상 역기전력에 대한 위상 지연을 보상한 후, 상기 위상 보상된 3상 역기전력을 이용하여 상기 브러쉬리스 모터의 회전자 위치를 추정하며, 상기 추정된 회전자 위치에 따라 상기 복수의 스위치 소자에 대한 제어를 수행하는 제어부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 브러쉬리스 모터 제어 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 3상 역기전력을 입력받아 필터링 동작을 수행하는 저역필터부;

상기 저역필터부에 의해 지연되는 상기 3상 역기전력의 위상각을 보상하여, 상기 3상 역기전력과 위상이 같은 3상 전환 신호(commutation signal)를 출력하는 히스테리시스 비교부; 및

상기 전환 신호에 대해 논리 동작을 수행하여 상기 복수의 스위칭 소자의 입력 신호를 생성하는 게이트 신호 생성부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 브러쉬리스 모터 제어 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 히스테리시스 비교부는,

상기 3상 역기전력의 각 상에 대응하는 3개의 히스테리시스 비교기;를 포함하며,

상기 히스테리시스 비교기는,

op-amp(operational amplifier);

상기 op-amp의 비반전 입력단에 연결된 입력 저항; 및

상기 op-amp의 피드백 저항;을 포함하는 것을 특징으로 하는 브러쉬리스 모터 제어 장치.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 히스테리시스 비교기는,

상기 3상 역기전력 중 서로 다른 2 상의 역기전력을 입력받아 차분 증폭을 수행하여 상기 3상 전환 신호를 생성하는 것을 특징으로 하는 브러쉬리스 모터 제어 장치.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 히스테리시스 비교기는,

아래의 수식식과 같이, 상기 저역필터부에 의해 야기되는 위상 지연을 상기 op-amp의 입력 저항과 상기 피드백 저항의 비를 이용하여 보상하는 것을 특징으로 하는 브러쉬리스 모터 제어 장치:

$$\frac{\theta_a}{360^\circ} = \frac{1}{12} \frac{1}{n+1} \left(1 - \frac{V_{SAT}}{V_P} \right)$$

여기서, θ_a 는 지연 위상각, V_p 는 3상 출력 전압의 피크치, V_{SAT} 는 히스테리시스 비교기의 출력 전압, n 은 op-amp의 입력 저항과 피드백 저항의 비를 나타낸다.

청구항 6

제2항에 있어서,

상기 게이트 신호 생성부는,

상기 3상 전환 신호에 대해 논리 동작을 수행하여 상기 복수의 스위칭 소자의 게이팅 신호를 생성하는 것을 특징으로 하는 브러쉬리스 모터 제어 장치.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 모터 제어 장치에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 위치센서 없는 센서리스(sensorless)로 브러쉬리스(Brushless DC : BLDC) 모터의 회전자 위치를 추정하고, 회전자 초기 위치 정렬을 제어할 수 있는 모터 제어 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근에는 자동차 연료 펌프용으로 정류자와 브러쉬의 유지 및 보수가 필요한 직류 모터 대신 브러쉬리스(Brushless DC : BLDC) 모터가 많이 이용되는 추세이다. 브러쉬리스 모터는 직류 모토에서 브러쉬 구조를 없애고 정류를 전자적으로 수행하는 모터로, 브러쉬와 정류자 간의 기계적인 마찰부가 없어지므로 고속화가 가능하고 유지 및 보수가 필요 없으므로 수명이 길며 효율도 적다.

[0003] 도 1은 이와 같은 브러쉬리스 모터의 3상 역기전력 및 전류 파형을 보인 것이다. 회전자 위치를 60° 간격으로 측정하여 각 상 별 역기전력에 대하여 전류가 동상이 되도록 인버터 스위칭 소자 6개 중 2개를 스위칭시킨다. 여기서 회전자 위치를 검출하기 위하여 홀소자 등을 사용하는데, 홀소자에 의해 비용이 증가되고 연료가 브러쉬리스 모터 내부로 통과하는 자동차 연료 펌프용에서는 센서고장 등 신뢰성이 저하된다는 문제가 있다. 따라서 이 회전자 위치센서가 없이 역기전력 파형으로 회전자 위치를 추정하는 센서리스 제어기법이 많이 발표되었다.

[0004] 일반적으로, 브러쉬리스 모터의 센서리스 제어기법은 먼저 3상 역기전력을 측정한 후, 3상 역기전력의 영점교차점에서 30° 위상 전이하여 전류의 전환점을 검출하는 방법이 사용되었다. 하지만, 이 방법은 저역필터에 의한 역기전력의 위상 지연에 대한 보상이 되지 않으며 30° 위상 전이를 위한 하드웨어가 더 필요하다는 문제점이 있다. 또한 PLL과 역기전력의 3 고조파 성분을 사용하여 역기전력과 동상인 전환신호를 발생시키는 기법이 발표되었으나, 부하 토크나 속도에 따라 이 전환신호의 위상이 변화되는 문제점이 있었다. 그리고 이 문제점을 해결하기 위하여 브러쉬리스 모터의 중성점 전압을 검출하는 방식이 있으나, 브러쉬리스 모터 구조가 복잡하므로 비용이 상승한다는 단점이 있다.

[0005] 한편 모터가 정지 또는 저속에서 기동할 때, 역기전력 값이 너무 작으므로 센서리스 제어기법을 적용하기가 힘들다. 따라서 모터가 저속으로 기동할 때, V/f 제어 기법으로 전동기를 어느 속도까지 기동시킨 후 역기전력 값이 충분할 때 센서리스 제어로 동작모드를 변환시킨다. 이때 자동차 연료펌프용으로 사용하는 브러쉬리스 모터는 기동 시 기동토크를 최대로 하여 기동시간을 최대한 단축시켜야 한다. 최대 기동토크를 발생시키기 위하여 기동 전 회전자 위치를 추정하거나 회전자를 원하는 위치로 정렬하는 회전자 초기 정렬이 필요하다.

[0006] 기동토크를 최대로 하기 위한 기존의 방식은 2개 스위칭소자를 도통시켜 회전자를 초기위치로 정렬시킨 후, 적절한 전압백터를 인가하여 모터를 기동시키는 것이다. 이 방식은 회전자 초기위치와 인가 전압백터가 90° 가 되지 않으므로 최대 기동토크를 발생시킬 수 없으며, 또한 위치 정렬시 고정자 전류가 급격히 상승하여 고정자 권선이 과손될 가능성도 있다. 또 다른 방식으로 인덕턴스 변화를 관측하여 회전자 초기위치를 검출하는 방식이 있는데, 이러한 방식은 회전자 위치를 정밀하게 관측할 수 있다는 장점이 있으나 제어 알고리즘이 복잡하고 전류센서가 필요하다는 문제점이 있다.

발명의 내용

[0007] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 브러쉬리스 모터의 센서리스 제어기법에 있

어 히스테리시스 비교기를 사용하여 역기전력에 대한 전류의 전환점을 추정하며, 저역 필터에 의한 역기전력의 위상 지연을 보상하고, 기동토크를 최대로 하기 위한 회전자 초기 위치를 정렬시킬 수 있는 모터 제어 장치에 관한 것이다.

[0008] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른, 브러시리스 모터 제어 장치는, 복수의 스위치 소자를 포함하며, 상기 복수의 스위치 소자의 스위칭 동작에 따라 3상 출력 전압을 생성하는 스위칭부, 상기 3상 출력 전압을 입력받아 기동하는 브러시리스(Brushless DC : BLDC) 모터 및 상기 브러시리스 모터의 3상 역기전력에 대한 위상 지연을 보정한 후, 상기 위상 보상된 3상 역기전력을 이용하여 상기 브러시리스 모터의 회전자 위치를 추정하며, 상기 추정된 회전자 위치에 따라 상기 복수의 스위치 소자에 대한 제어를 수행하는 제어부를 포함한다.

[0009] 여기서, 상기 제어부는, 상기 3상 역기전력을 입력받아 필터링 동작을 수행하는 저역필터부, 상기 저역필터부에 의해 지연되는 상기 3상 역기전력의 위상각을 보상하여, 상기 3상 역기전력과 위상이 같은 3상 전환 신호(commutation signal)를 출력하는 히스테리시스 비교부 및 상기 전환 신호에 대해 논리 동작을 수행하여 상기 복수의 스위칭 소자의 입력 신호를 생성하는 게이트 신호 생성부;를 포함할 수 있다.

[0010] 여기서, 상기 히스테리시스 비교부는, 상기 3상 역기전력의 각 상에 대응하는 3개의 히스테리시스 비교기를 포함하며, 상기 히스테리시스 비교기는, op-amp(operational amplifier), 상기 op-amp의 비반전 입력단에 연결된 입력 저항 및 상기 op-amp의 피드백 저항을 포함할 수 있다.

[0011] 여기서, 상기 히스테리시스 비교기는, 상기 3상 역기전력 중 서로 다른 2 상의 역기전력을 입력받아 차분 증폭을 수행하여 상기 3상 전환 신호를 생성할 수 있다.

[0012] 한편, 상기 히스테리시스 비교기는, 아래의 수식식과 같이, 상기 저역필터부에 의해 야기되는 위상 지연을 상기 op-amp의 입력 저항과 상기 피드백 저항의 비를 이용하여 보상할 수 있다.

$$\frac{\theta_a}{360^\circ} = \frac{1}{12} \frac{1}{n+1} \left(1 - \frac{V_{SAT}}{V_P}\right)$$

[0014] 여기서, θ_a 는 지연 위상각, V_P 는 3상 출력 전압의 피크치, V_{SAT} 는 히스테리시스 비교기의 출력 전압, n 은 op-amp의 입력 저항과 피드백 저항의 비를 나타낸다.

[0015] 한편, 상기 게이트 신호 생성부는, 상기 3상 전환 신호에 대해 논리 동작을 수행하여 상기 복수의 스위칭 소자의 게이팅 신호를 생성할 수 있다.

[0016] 따라서, 본 발명의 다양한 실시 예에 따르면, 3상 역기전력 값을 히스테리시스 비교기를 사용하여 각 상 역기전력과 동상인 전환신호를 쉽게 발생시킬 수 있다. 또한, 역기전력에 포함되어 있는 리플성분을 감소시키기 위하여 사용하는 저역필터에 의해 필연적으로 지연된 위상을 히스테리시스 비교기의 히스테리시스 밴드 폭 즉 두 저항 비를 조정하여 보상할 수 있어 센서리스 성능을 향상시킬 수 있다. 여기에, 히스테리시스 밴드 폭 내의 역기전력에 포함된 리플 또는 노이즈 성분에 대한 영향을 받지 않으므로 신뢰성도 향상된다.

[0017] 또한, 브러시리스 모터의 회전자 초기 위치를 정렬한 후 기동토크를 최대화하는 전압벡터를 인가함으로써 기동시간을 단축시킬 수 있으며, 회전자 정렬 시, 스위칭 소자의 게이팅 신호의 펄스폭을 변조하여 고정자 전류를 원하는 값으로 제한시켜 과전류를 방지할 수 있으며 회전자 정렬시간도 제어할 수 있게 된다.

도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 브러시리스 모터의 3상 역기전력 및 전류 파형을 나타낸 그림,

도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 브러시리스 모터 제어 장치의 구성을 나타내는 블록도,

도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 브러시리스 모터 제어 장치의 제어부를 나타내는 블록도,

도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따라, 브러시리스 모터가 3,000rpm에서 9,000rpm의 범위에서 저역필터의 차단 주파수가 1kHz에서 3kHz까지 변환될 때, 저역필터에 의해 지연되는 역기전력의 위상각 변화를 나타내는 그래프,

도 5는 본 발명의 일 실시 예에 따른, 히스테리시스 비교부의 입,출력 신호 동작을 설명하기 위한 그림,

도 6은 본 발명의 일 실시 예에 따른, 히스테리시스 비교기의 밴드값으로 저역필터에 의한 역기전력 위상 지

연 보상 결과를 나타낸 그래프,

도 7 및 도 8은 본 발명의 일 실시 예에 따른 브러쉬리스 모터 제어 장치의 실험 결과를 나타낸 그래프,

도 9 및 도 10은 일반적으로, 브러쉬리스 모터가 기동 시 최대 기동토크를 발생시키기 위한 동작을 설명하기 위한 도면,

도 11은 본 발명의 다른 실시 예에 따라 전동기 회전자 위치 정렬시 펄스 폭 변조로 고정자 전류응답 그래프 및,

도 12는 본 발명의 다른 실시 예에 따른 제어부가 스위칭부의 동작을 제어하는 실험 결과를 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0019] 이하에서는 도면을 참조하여 본 발명을 보다 상세하게 설명한다.
- [0020] 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 브러쉬리스 모터 제어 장치의 구성을 나타내는 블록도이다. 도 2를 참조하면, 브러쉬리스 모터 제어 장치(100)는 스위칭부(110), 브러쉬리스 모터(120) 및 제어부(130)를 포함하며, 브러쉬리스 모터(120)를 제어하여, 자동차에 연료를 공급하는 기능을 수행할 수 있다.
- [0021] 스위칭부(110)는 복수의 스위치를 포함하며, 복수의 스위치 소자의 스위칭 동작에 따라 3상 출력 전압을 생성한다. 구체적으로, 스위칭부(110)는 6개의 온/오프(on/off) 스위치를 포함하며, 스위치들은 2개씩 직렬 연결되어 입력 전압(V_{dc})을 120° 의 위상 차이를 가지는 3상 출력 전압으로 변환하여, 브러쉬리스 모터(120) 각 상에 전달한다. 여기서, 스위칭부(110)의 3상 출력 전압은 브러쉬리스 모터(120)의 3상 역기전력에 해당한다.
- [0022] 브러쉬리스 모터(120)는 3상 출력 전압을 입력받아 기동한다.
- [0023] 제어부(130)는 입력 전압(V_{dc})이 3상 출력 교류전압으로 변환되도록 스위칭부(110)를 제어할 수 있다.
- [0024] 또한, 제어부(130)는 브러쉬리스 모터(120)의 3상 역기전력에 대한 위상 지연을 보상하고, 위상이 보상된 3상 역기전력을 이용하여 브러쉬리스 모터(120)의 회전자 위치를 추정할 수 있다. 이를 위해, 제어부(130)는 브러쉬리스 모터(120)의 고정자 전류 전환점을 검출하기 위한 전환 신호(commutation signal)를 생성할 수 있다. 그리고, 제어부(130)는 추정된 회전자 위치에 따라 스위칭부(110)의 복수의 스위치 소자에 대한 스위칭 동작을 제어할 수 있다.
- [0025] 한편, 제어부(130)는 최대 기동토크를 발생시키기 위한 브러쉬리스 모터(120)의 회전자 초기위치 정렬 시 과전류를 방지하면서, 회전자 초기 위치를 정렬할 수 있다.
- [0026] 다만, 상술한 실시 예에서는, 브러쉬리스 모터 제어 장치(100)는 스위칭부(110), 브러쉬리스 모터(120) 및 제어부(130)를 모두 포함하는 것으로 상정하였으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 브러쉬리스 모터 제어 장치(100)는 스위칭부 및 제어부만을 포함할 수 있으며, 브러쉬리스 모터는 모터 제어 장치와 별도로 구비될 수 있다.

[0027] 전환 신호를 발생하는 실시 예

- [0028] 도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 제어부(130)의 구성을 나타내는 블록도이다. 도 3을 참조하면, 제어부(130)는 저역필터부(210), 히스테리시스 비교부(220) 및 게이트 신호 생성부(230)를 포함한다.
- [0029] 저역필터부(210)는 3상 역기전력을 입력받아 필터링 동작을 수행한다. 구체적으로, 저역필터부(210)는 브러쉬리스 모터(120)의 각 상마다 하나의 저역필터를 포함하며, 각각 e_a , e_b , e_c 를 입력받아 3상 역기전력에 포함된 고주파 리플성분 또는 노이즈를 감소시켜 e_{af} , e_{bf} , e_{cf} 를 출력한다.
- [0030] 히스테리시스 비교부(220)는 저역필터부(210)에 의해 지연되는 3상 역기전력의 위상각을 보상하여, 3상 역기전력과 위상이 같은 전환 신호를 출력한다. 이러한 히스테리시스 비교부(220)는 브러쉬리스 모터(120)의 각 상 a, b, c에 대응하는 3개의 히스테리시스 비교기(221, 223, 225)를 포함한다. 이러한, 히스테리시스 비교기 각각은 하나의 op-amp(operational amplifier), op-amp의 비반전 입력단에 연결된 입력 저항(R1) 및 op-amp의 피드백 저항(R2)을 포함할 수 있다.
- [0031] 한편, 히스테리시스 비교부(220)에서 a상 역기전력은 첫 번째 히스테리시스 비교기(221)의 반전 입력단에 연

결되고 c상 역기전력은 저항(R_1)을 거쳐 비교기(221)의 비반전 입력단에 연결되어 차분 증폭에 따라 a상의 전환신호 Z_a 를 출력한다. 또한, b상 역기전력은 두 번째 히스테리시스 비교기(223)의 반전 입력단에 연결되고 a상 역기전력은 저항(R_1)을 거쳐 히스테리시스 비교기(223)의 비반전 입력단에 연결되어 차분 증폭에 따라, b상의 전환신호 Z_b 를 출력한다. 마찬가지로, c상 역기전력은 세 번째 히스테리시스 비교기(225)의 반전 입력단에 연결되고 b상 역기전력은 저항(R_1)을 거쳐 히스테리시스 비교기(225)의 비반전 입력단에 연결되어 차분 증폭에 따라, c상의 전환신호 Z_c 를 출력한다.

[0032] 상술한 히스테리시스 비교부(220)가 전환 신호(Z_a , Z_b , Z_c)를 출력하고, 지연된 위상을 보상하는 동작을 첨부된 도 4 내지 도 6을 참조하여 보다 상세히 설명한다.

[0033] 도 4는 브러쉬리스 모터(120)가 3,000rpm에서 9,000rpm의 범위에서 저역필터의 차단주파수가 1kHz에서 3kHz까지 변환될 때, 저역필터에 의해 지연되는 역기전력의 위상각 변화를 보인 것이다.

[0034] 도 4를 참조하면, 속도가 증가될 시와 차단주파수가 감소할 시 지연 위상각이 증가됨을 알 수 있으며, 위상이 지연된 역기전력을 사용하여 전환신호를 발생시킬 경우, 실제 역기전력에 대하여 전환신호 즉 전류가 전환되는 시점이 달라지므로 브러쉬리스 모터의 센서리스 성능이 저하되고, 이 지연위상 값이 커질수록 성능이 더 악화된다.

[0035] 본 발명의 일 실시 예에서, 역기전력에 포함되어 있는 고주파 리플성분의 주파수분포를 고려하여 저역필터의 차단주파수를 1.5kHz로 하였다. 이 경우, 이 차단주파수를 사용할 경우 전동기 속도가 3000rpm에서 9000rpm범위에서 역기전력이 약 4° 에서 11° 까지 위상이 지연됨을 도 4를 통해 알 수 있다.

[0036] 이러한 저역필터에 의한 역기전력의 위상 지연을 보상하기 위하여 본 발명의 일 실시 예에 따른 제어부(200)는 히스테리시스 비교기(221, 223, 225) 각각의 저항비를 조정할 수 있다. 이하에서, 첨부된 도 5를 참조하여 보다 상세히 설명한다.

[0037] 도 5는 본 발명의 일 실시 예에 따른, 히스테리시스 비교부(220)의 입,출력 동작을 설명하기 위한 그림이다. 여기서, 히스테리시스 비교기(221, 223, 225) 각각을 구성하는 2개의 저항 R_1 , R_2 의 저항비는 $n=R_2/R_1$ 와 같이 표시하며, 모든 히스테리시스 비교기(221, 223, 225)는 입력 전압만이 다를 뿐, 그 동작을 동일하므로 하나의 히스테리시스 비교기에 대해 설명한다.

[0038] 히스테리시스 비교기(221)에서 a상 역기전력 값은 $(1+(1/n))$ 만큼 증폭되며, 이 역기전력값을 중심으로 상위 및 하위 히스테리시스 전압식(V_{UT} , V_{LT})은 다음과 같다.

수학식 1

$$V_{UT} = (1 + \frac{1}{n}) e_{af} + (1 + \frac{1}{n}) V_{SAT}$$

[0039]

수학식 2

$$V_{LT} = (1 + \frac{1}{n}) e_{af} - (1 + \frac{1}{n}) V_{SAT}$$

[0040]

[0041] 여기서 V_{SAT} 는 히스테리시스 비교기의 출력전압크기이다.

[0042] a상 히스테리시스 비교기(221) 출력전압이 $+V_{SAT}$ 상태에서 c상 역기전력 e_{cf} 가 하위 히스테리시스 전압 V_{LT} 보다 작을 경우에는 히스테리시스 비교기(221) 출력전압이 $+V_{SAT}$ 상태에서 $-V_{SAT}$ 상태로 바뀐다. 그리고, 히스테리시스 비교기(221) 출력전압이 $-V_{SAT}$ 상태에서 c상 역기전력 e_{cf} 가 상위 히스테리시스 전압 V_{UT} 보다 클 경우에는 출력전압이 $-V_{SAT}$ 상태에서 $+V_{SAT}$ 상태로 바뀌므로, a상 히스테리시스 비교기(221)의 출력신호(a상 전환신호 Z_a)는 도 5와 같이 얻을 수 있다. 다른 b, c상 비교기(223, 225)도 상술한 과정과 동일하게 동작하여 전환신

호 Z_b , Z_c 를 각각 출력한다.

[0043] 여기서 히스테리시스 비교기 대신 일반 비교기로 사용하였을 경우 비교기 출력신호인 Z_a' 과 히스테리시스 비교기 출력신호 Z_a 를 비교하면, Z_a 이 Z_a' 보다 t_a 시간만큼 앞선 것을 알 수 있다. 여기서, t_a 시간은 다음 수학식 (3)과 같이 유도된다.

수학식 3

[0044]

$$t_a = \frac{T_s}{12} \frac{1}{n+1} \left(1 - \frac{V_{SAT}}{V_P} \right)$$

[0045] 여기서 T_s 는 역기전력 한 주기이고 V_P 는 역기전력의 피크치이며, 이러한 값들은 브러쉬리스 모터의 속도에 비례한다. 한편, 시간 t_a 는 위상각 $\theta_a = (t_a/T_s) \cdot 360^\circ$ 로 나타낼 수 있으므로, 수학식 3은 아래의 수학식 4와 같이 표현할 수 있다.

수학식 4

[0046]

$$\frac{\theta_a}{360^\circ} = \frac{1}{12} \frac{1}{n+1} \left(1 - \frac{V_{SAT}}{V_P} \right)$$

[0047] 여기서, 위상각 θ_a 는 수학식 4와 같이 저항비 n 과 비교기 출력전압 V_{SAT} 및 브러쉬리스 모터 속도에 비례하는 V_P 의 함수이다. 본 발명의 일 실시 예에 따르면 $V_{SAT}=1.8V$ 로 정하고 V_P 는 속도에 비례하므로, 저항비 n 값으로 진상 위상각 θ_a 를 조정하여 저역필터에 의한 역기전력의 위상지연을 보상할 수 있다.

[0048] 게이트 신호 생성부(230)는 3상 전환신호(Z_a , Z_b , Z_c)를 입력받아, 스위칭부(110)의 입력 신호를 생성한다. 구체적으로, 게이트 신호 생성부(230)는 아래의 수학식 5 내지 수학식 10과 같이 표현될 수 있는 XOR, AND 게이트 등 논리 회로로 구성되며, 입력받은 3상 전환신호에 XOR, AND 게이트 등 논리 동작을 수행하여 각 상 역기전력과 동상인 6개의 스위칭소자의 게이팅 신호를 발생시킬 수 있다.

수학식 5

[0049]

$$A^+ = (Z_a \text{ XOR } Z_b) \text{ AND } \bar{Z}_a$$

수학식 6

[0050]

$$A^- = (Z_a \text{ XOR } Z_b) \text{ AND } Z_a$$

수학식 7

[0051]

$$B^+ = (Z_b \text{ XOR } Z_c) \text{ AND } \bar{Z}_b$$

수학식 8

[0052]

$$B^- = (Z_b \text{ XOR } Z_c) \text{ AND } Z_b$$

수학식 9

[0053] $C^+ = (Z_c \text{ XOR } Z_a) \text{ AND } \overline{Z_c}$

수학식 10

[0054] $C^- = (Z_c \text{ XOR } Z_a) \text{ AND } Z_c$

[0055] 도 6은 저역필터 차단주파수를 1.5kHz하였을 경우, 본 발명의 일 실시 예에 따른 모터 제어 장치에 의해 위상이 보상된 결과를 도시한 그래프이다. 도 6을 참조하면, 브러쉬리스 모터의 전체 속도범위에서 지연되는 위상각의 범위가 약 $4^\circ \sim 11^\circ$ 이다. 여기서 전체 속도범위의 중간 속도인 6,000rpm에서 저역필터의 지연위상각을 0° 으로 보상하기 위하여 히스테리시스 비교기의 두 저항비 $n=2$ 로 정하였으며, 지상 위상각 θ_a 의 변화도 표시하였다.

[0056] 도 6을 참조하면, 전체 속도범위에서 저역필터에 의한 위상 지연을 $n=2$ 인 히스테리시스 비교기로 보상하였을 경우 위상오차가 $+2^\circ \sim -3^\circ$ 범위로 대폭 감소됨으로 알 수 있다. 여기에 두 상 역기전력을 서로 비교하는 히스테리시스 비교기로 30° 위상전이 기능 또는 역기전력의 3고주파 검출 등이 없이, 각 상의 역기전력에 대한 전류의 전환점 즉 전환신호를 바로 출력시킬 수 있다는 중요한 장점도 있다.

[0057] 도 7은 브러쉬리스 모터가 6,000rpm속도로 기동 시, 저역필터를 거친 a상 및 c상 역기전력과 히스테리시스 비교기 출력인 a상 전환신호 예시도이다. 전술한 바와 같이, c상 역기전력이 a상 역기전력의 하위 히스테리시스 밴드 전압 V_{LT} 보다 작을 경우에는 a상 전환신호 Z_a 가 0 상태가 되고, c상 역기전력이 a상 역기전력의 상위 히스테리시스 밴드 전압 V_{UT} 보다 클 경우에는 Z_a 가 1 상태가 됨을 알 수 있다. 또한 a상 및 c상 역기전력에 리플 성분이 많이 포함되어 있더라도 히스테리시스 비교기에서는 진동이 없이 안정된 신호를 출력시킴을 알 수 있다.

[0058] 도 8은 브러쉬리스 모터가 6000rpm속도로 운전 시 실제 a상 역기전력 및 저역필터로 필터링 후 a상 역기전력과 인버터 게이팅 신호($A+$ & $A-$)의 예시도이다. 실제 a상 역기전력과 두 게이팅 신호가 거의 동상임을 알 수 있다.

[0059] 회전자의 초기 위치를 조절하는 실시 예

[0060] 한편, 본 발명의 다른 실시 예에 따르면, 모터 제어 장치(100)는 브러쉬리스 모터(120)의 회전자 초기위치 정렬 시 과전류를 방지하면서 회전자 초기 위치를 정렬할 수 있다.

[0061] 도 9 및 도 10은 일반적으로, 브러쉬리스 모터가 가동 시 최대 기동토크를 발생시키는 동작을 설명하기 위한 도면이다. 자동차 시동을 걸 때, 연료탱크에서 연료를 엔진으로 신속히 공급하기 위하여, 브러쉬리스 모터가 기동 시 최대 기동토크를 발생시켜야 한다. 이를 위하여 먼저 브러쉬리스 전동기가 기동 전에 회전을 원하는 위치로 정렬시키기 위하여 도 9와 같이 3개 스위칭소자($A+$, $B-$, $C-$)를 도통시킨다. 이때 발생된 전압 벡터 V_1 가 브러쉬리스 모터에 인가되어 회전자가 도 10과 같은 위치에 정렬된다. 회전자가 정렬된 후 두 스위칭소자 ($B+$, $C-$)를 도통시켜 발생하는 전압벡터 V_3 를 모터에 인가하면, 전압벡터 V_3 와 회전자 위치가 90° 로 직각이 되므로 최대 기동토크를 얻을 수 있다. 그런데 회전자 초기 위치 정렬시 전동기가 정지상태에서 약 +12V의 배터리전압을 인가되므로, 고정자 전류가 급격히 상승하여 브러쉬리스 모터의 고정자 권선이 파손될 수 있다.

[0062] 이러한, 과전류를 방지하기 위해, 본 발명의 일 실시 예에 따른 제어부(130)는 3개 스위칭소자($A+$, $B-$, $C-$) 중 스위칭소자 $A+$ 는 계속 도통시키고, 두 스위칭소자 $B-$ 와 $C-$ 는 한 주기 T_s 구간 중에서 T_{on} 구간만 도통시킬 수 있으며, 이러한 경우, 3상 고정자 전류 응답특성이 도 11에 도시된다. 여기서 3개 스위칭소자가 모두 도통하는 T_{on} 구간에서는 고정자전류가 상승하고, 두 스위칭소자가 오프되는 구간에서는 고정자전류가 감소된다. 따라서 한 주기에서 T_{on} 구간(즉 듀티 비)을 증가시키면 고정자전류 크기가 증가되어 회전자 위치정렬시 전동기

토크를 증가할 수 있으며, T_{on} 구간을 감소시키면 고정자전류 크기가 감소하여 정렬시 토크를 줄일 수 있다. 이렇게본 발명의 일 실시 예에 따른, 제어부(130)는 회전자 초기위치 정렬시 한 주기 T_s 구간에서 T_{on} 구간 즉 듀티비를 조정하면 고정자 전류크기와 함께 정렬시간까지 제어할 수 있다.

[0063] 도 12는 회전자 초기위치 정렬 시 스위칭 소자 A+는 항상 도통되고 스위칭소자 B-와 C-의 게이팅 신호 펄스폭 듀티비를 15%로 하였을 경우, 3개 스위칭소자의 게이팅 신호 및 a상 전류 응답특성 예시도이다. 회전자 위치 정렬시 고정자 전류를 약 4.5A로 제한되었으며, 만약 듀티비를 감소하면 이 전류값을 감소시킬 수 있다.

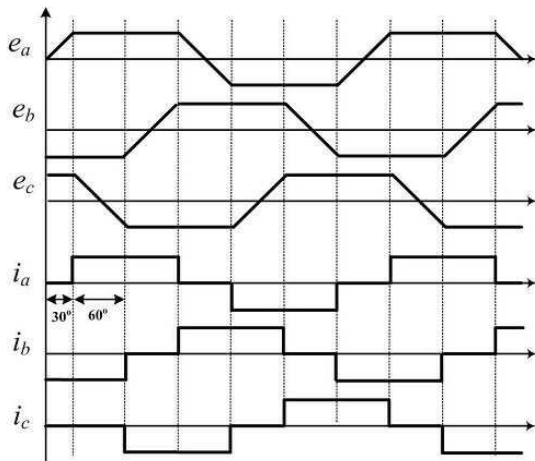
[0064] 이상에서는, 본 발명의 바람직한 실시 예에 대하여 도시하고 설명하였지만, 본 발명은 상술한 특정의 실시 예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진자에 의해 다양한 변형실시가 가능한 것은 물론이고, 이러한 변형실시들은 본 발명의 기술적 사상이나 전망으로부터 개별적으로 이해되어져서는 안될 것이다.

부호의 설명

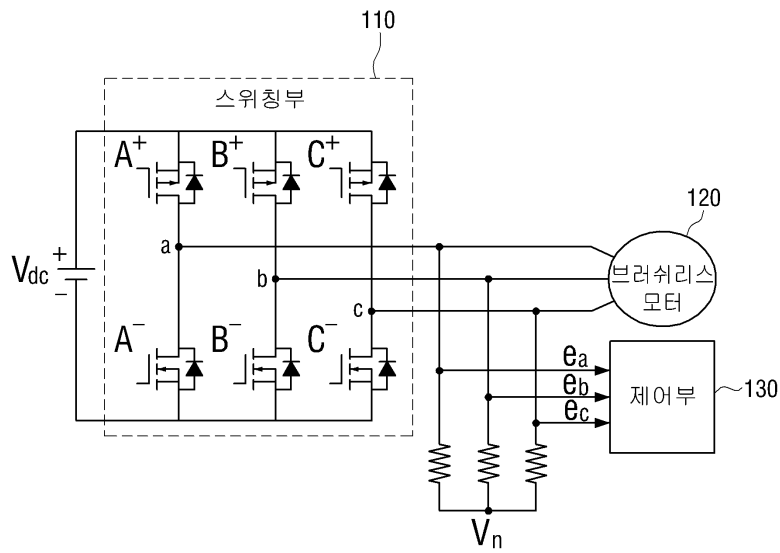
[0065] 100 : 모터 제어 장치
 110 : 스위칭부
 120 : 브러쉬리스 모터
 130 : 제어부
 210 : 저역필터부
 220 : 히스테리시스 비교부
 230 : 게이트 신호 생성부

도면

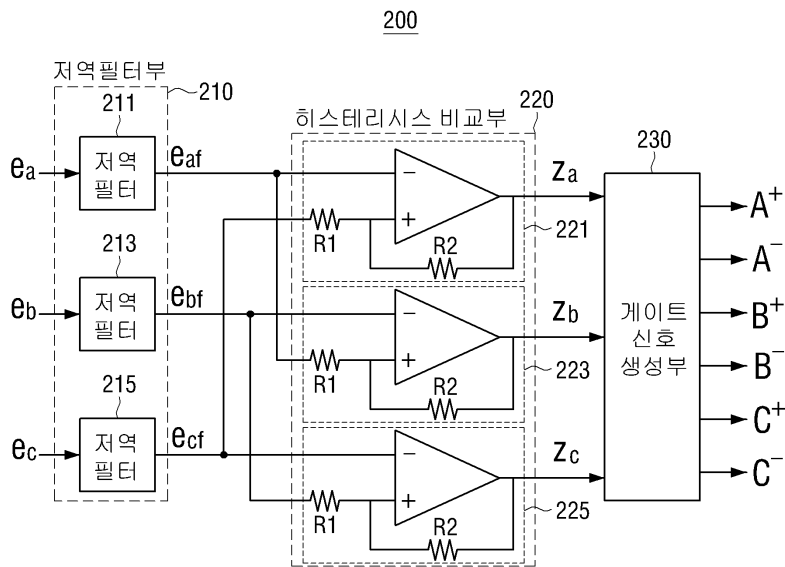
도면1



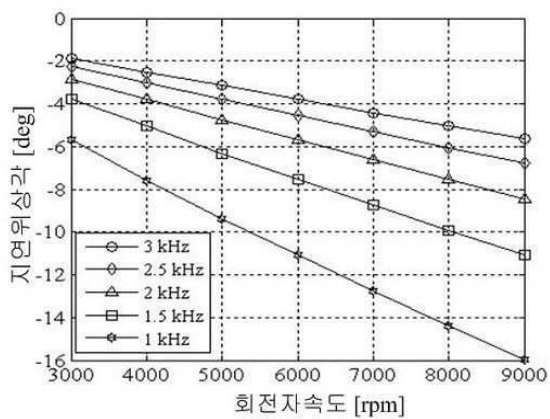
도면2



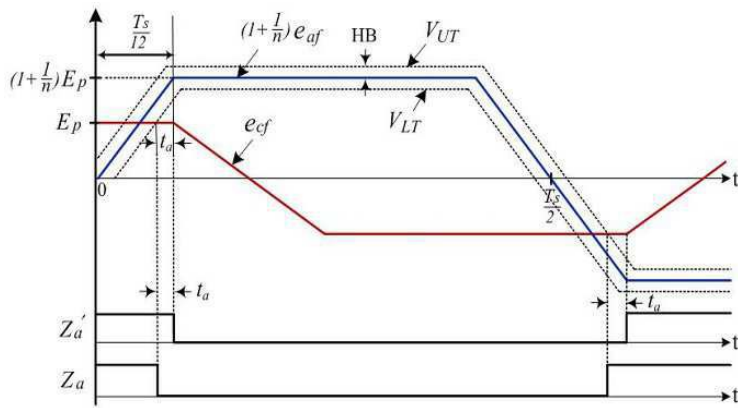
도면3



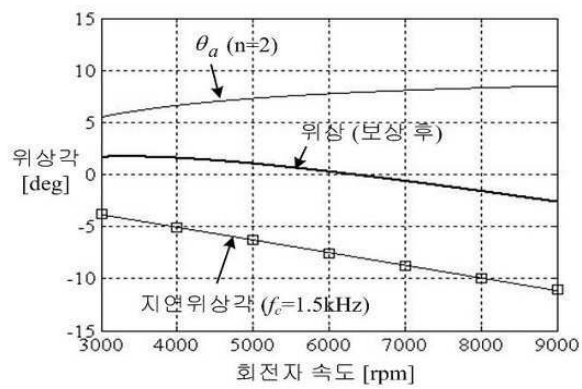
도면4



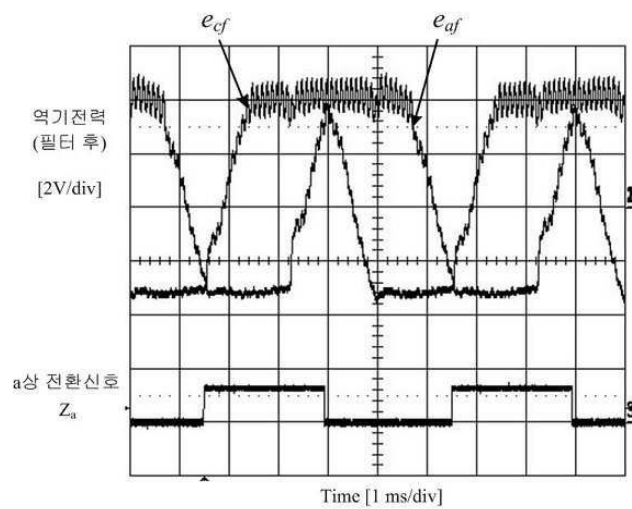
도면5



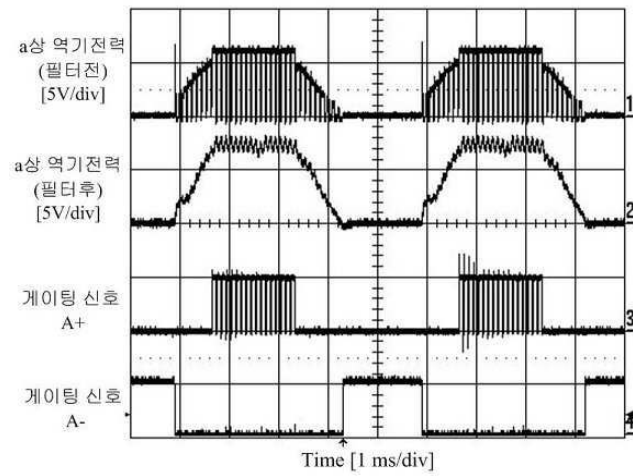
도면6



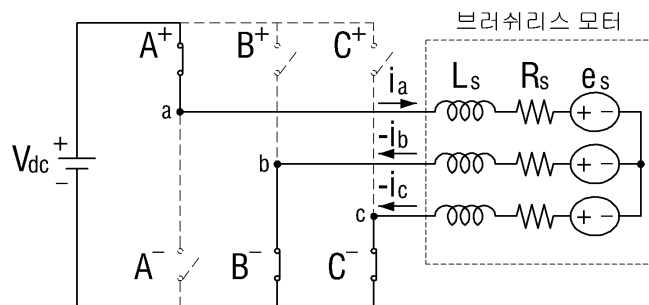
도면7



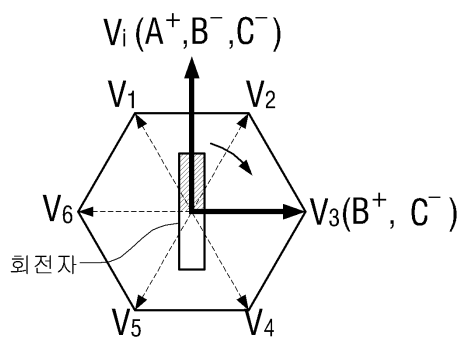
도면8



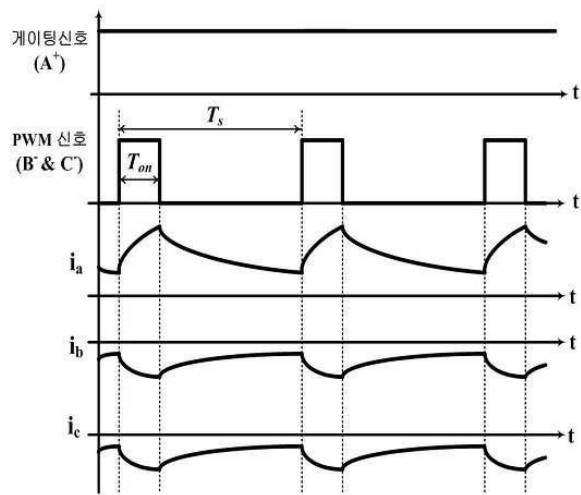
도면9



도면10



도면11



도면12

