



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0080997
(43) 공개일자 2011년07월13일

(51) Int. Cl.

H02P 6/08 (2006.01) H02P 21/14 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2010-0001481

(22) 출원일자 2010년01월07일

심사청구일자 2010년01월07일

(71) 출원인

경상대학교산학협력단

경상남도 진주시 가좌동 900

(72) 발명자

김태웅

경상남도 진주시 금산면 장사리 북진주현대아이파크 101동 1501호

(74) 대리인

이현수, 김태현, 정홍식

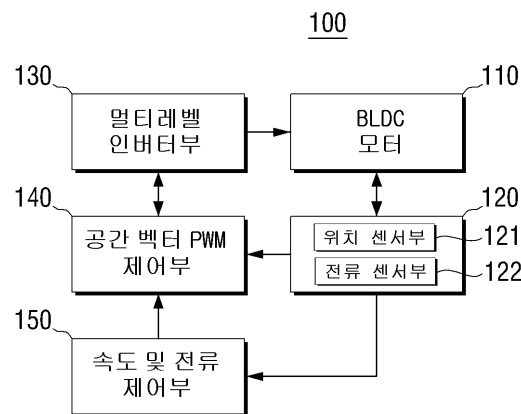
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) BLDC 모터의 제어장치 및 멀티레벨 인버터의 제어방법

(57) 요약

BLDC 모터 제어장치가 개시된다. 본 BLDC 모터 제어장치는, 복수의 스위칭소자를 포함하며, 복수의 스위칭소자의 스위칭 동작에 따라 3상 구형파 출력전압을 생성하는 멀티레벨 인버터, 3상 구형파 출력전압 중 적어도 한 상의 출력 전압이 턴 오프 되도록 3상 구형파 출력전압에 대한 구형파 공간벡터 PWM 제어(Rectangle SVPWM)를 수행하여, 복수의 스위칭소자에 대한 제어를 수행하는 공간벡터 PWM 제어부, 및, 생성된 3상 구형파 출력전압을 입력받아 구동하는 3상 PM-BLDC(Permanent magnet brushless DC) 모터를 포함한다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

복수의 스위칭소자를 포함하며, 상기 복수의 스위칭소자의 스위칭 동작에 따라 3상 구형파 출력전압을 생성하는 멀티레벨 인버터;

상기 3상 구형파 출력전압 중 적어도 한 상의 출력 전압이 턴 오프 되도록 상기 3상 구형파 출력전압에 대한 구형파와 공간벡터 PWM 제어(Rectangle SVPWM)를 수행하여, 상기 복수의 스위칭소자에 대한 제어를 수행하는 공간벡터 PWM 제어부; 및

상기 생성된 3상 구형파 출력전압을 입력받아 구동하는 3상 PM-BLDC(Permanent Magnet Brushless DC) 모터;를 포함하는 BLDC 모터의 제어장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 공간벡터 PWM 제어부는,

공간전압벡터를 12개의 영역으로 구분하고, 구분된 12개의 영역을 이용하여 상기 구형파와 공간벡터 PWM 제어를 수행하는 것을 특징으로 하는 BLDC 모터의 제어장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 3상 PM-BLDC 모터의 회전자 위치를 검출하는 위치 센서부;를 더 포함하고,

상기 공간벡터 PWM 제어부는, 상기 검출된 회전자 위치정보에 기초하여 상기 구형파와 공간벡터 PWM 제어를 수행하는 것을 특징으로 하는 BLDC 모터의 제어장치.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 3상 PM-BLDC 모터의 3상 전류 또는 상기 멀티레벨 인버터의 입력전류를 검출하는 전류 센서부; 및

상기 검출된 회전자 위치에 기초하여 상기 3상 PM-BLDC 모터의 속도를 추정하고, 상기 3상 PM-BLDC 모터의 속도가 기설정된 지정속도를 추정할 수 있도록 상기 추정속도 및 상기 검출전류에 기초하여 지령전압을 생성하는 속도및전류 제어부;를 더 포함하고,

상기 공간벡터 PWM 제어부는, 상기 지령전압 및 상기 검출된 회전자 위치정보에 기초하여 상기 복수의 스위칭소자 각각에 대한 PWM 게이트 신호를 생성하는 것을 특징으로 하는 BLDC 모터의 제어장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 멀티레벨 인버터는,

상기 3상 출력 전압을 생성하기 위한 3개의 레그를 포함하며,

상기 3개의 레그 각각은 순차적으로 직렬 연결된 제1 내지 제4 스위칭소자를 포함하고, 상기 3개의 레그 각각은 제1 및 제2 스위칭소자가 온 되고, 제3 및 제4 스위칭소자가 오프되는 제1 동작 모드, 제3 및 제4 스위칭소자가 온 되고, 제1 및 제2 스위칭소자가 오프 되는 제2 동작 모드, 제2 스위칭소자 및 제 3 스위칭소자가 온 되고, 제1 스위칭소자 및 제4 스위칭소자가 오프되는 제3 모드, 및, 제1 내지 제4 스위칭소자가 오프되는 제4 모드로 동작하는 것을 특징으로 하는 BLDC 모터의 제어장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 공간벡터 PWM 제어부는,

상기 3개의 레그 중 적어도 하나의 레그는 제4 모드로 동작하도록 상기 복수의 스위칭소자에 대한 제어를 수행하는 것을 특징으로 하는 BLDC 모터의 제어장치.

청구항 7

복수의 스위칭소자를 구비하여 3상 PM-BLDC(Permanent Magnet Brushless DC) 모터에 3상 구형과 출력전압을 출력하는 멀티레벨 인버터의 제어방법에 있어서,

상기 3상 구형과 출력전압 중 적어도 한 상의 출력 전원이 턴 오프 되도록 상기 3상 구형과 출력전압에 대한 구형과 공간벡터 PWM 제어를 수행하여, 상기 복수의 스위칭소자 각각에 대한 전압벡터 인가시간을 계산하는 단계;

상기 계산된 전압벡터 인가시간에 따라, 상기 복수의 스위칭소자를 제어하는 단계; 및

상기 복수의 스위칭소자의 스위칭 동작에 따라 상기 3상 PM-BLDC 모터에 3상 구형과 출력전압을 공급하는 단계;를 포함하는 멀티레벨 인버터의 제어방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 전압벡터 인가시간을 계산하는 단계는,

공간전압벡터를 12개의 영역으로 구분하고, 구분된 12개의 영역을 이용하여 상기 구형과 공간벡터 PWM 제어를 수행하는 것을 특징으로 하는 멀티레벨 인버터의 제어방법.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 3상 PM-BLDC 모터의 회전자 위치를 검출하는 단계;를 더 포함하고,

상기 전압벡터 인가시간을 계산하는 단계는,

상기 검출된 회전자 위치정보에 기초하여 상기 구형과 공간벡터 PWM 제어를 수행하는 것을 특징으로 하는 멀티레벨 인버터의 제어방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 3상 PM-BLDC 모터의 3상 전류 또는 상기 멀티레벨 인버터의 출력전류를 검출하는 단계; 및

상기 검출된 회전자 위치에 기초하여 상기 3상 PM-BLDC 모터의 속도를 추정하고, 상기 3상 PM-BLDC 모터의 속도가 기설정된 지정속도를 추정할 수 있도록 상기 추정속도 및 상기 검출전류에 기초하여 지령전압을 생성하는 단계;를 더 포함하고,

상기 전압벡터 인가시간을 계산하는 단계는,

상기 지령전압 및 상기 검출된 회전자 위치정보에 기초하여 상기 전압벡터 인가시간을 계산하는 것을 특징으로 하는 멀티레벨 인버터의 제어방법.

명세서

기술분야

본 발명은 BLDC 모터의 제어장치 및 멀티레벨 인버터의 제어방법에 관한 것으로, BLDC 모터에 대해서 멀티레벨 인버터를 이용하여 구형과 공간벡터 제어를 수행하는 BLDC 모터의 제어장치 및 멀티레벨 인버터의 제어방법에 관한 것이다.

[0001]

배경 기술

- [0002] 역기전력이 사다리꼴인 3상 영구자석형 브러시리스 직류전동기(PM-BLDCM: permanent magnet brushless DC motor)의 동작 특성은 직류전동기와 유사하고 위치센서와 인버터의 스위칭소자가 직류전동기의 기계적인 브러시와 정류자의 역할을 대신한다.
- [0003] 구체적으로, BLDC 모터는 DC 모터에서 브러시 구조를 없애고 정류를 전자적으로 수행하는 모터로, 브러시와 정류자 간의 기계적인 마찰부가 없어지므로 고속화가 가능하고 수명이 길며 소음이 적다.
- [0004] 따라서, PM-BLDC 모터는 직류전동기에서와 같이 브러시 마멸로 인한 유지보수가 필요 없으면서도 우수한 성능을 얻을 수 있다는 점에서 최근에 많이 이용되는 추세이다.
- [0005] 최근 3상 PM-BLDC 모터를 구동하기 위해서는 일반적으로 출력 상 전압이 2가지 패턴으로 얻을 수 있는 3상 인버터 구조와 삼각파 비교방식인 구형과 PWM 제어기법을 조합하여 이용하고 있다. 그러나 이와 같은 종래의 PWM 인버터로서는 3상 PM-BLDC 모터를 구동할 때에 토크리플이 크고, 스위칭시 전동기 권선에 인가되는 전압 스트레스가 크다는 단점이 존재하며, 또한 대용량의 3상 PM-BLDCM에는 적합하지 않다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 따라서 본 발명의 목적은 BLDC 모터에 대해서 멀티레벨 인버터를 이용하여 구형과 공간벡터 PWM 제어를 수행하는 BLDC 모터의 제어장치 및 멀티레벨 인버터의 제어방법을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

- [0007] 이상과 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명에 의한 BLDC 모터의 제어장치는, 수의 스위칭소자를 포함하며, 상기 복수의 스위칭소자의 스위칭 동작에 따라 3상 구형과 출력전압을 생성하는 멀티레벨 인버터, 상기 3상 구형과 출력전압 중 적어도 한 상의 출력 전압이 턴 오프 되도록 상기 3상 구형과 출력전압에 대한 구형과 공간벡터 PWM 제어(Rectangle SVPWM)를 수행하여, 상기 복수의 스위칭소자에 대한 제어를 수행하는 공간벡터 PWM 제어부, 및, 상기 생성된 3상 구형과 출력전압을 입력받아 구동하는 3상 PM-BLDC(Permanent magnet brushless DC) 모터를 포함한다.
- [0008] 이 경우, 상기 공간벡터 PWM 제어부는, 공간전압벡터를 12개의 영역으로 구분하고, 구분된 12개의 영역을 이용하여 상기 구형과 공간벡터 PWM 제어를 수행하는 것이 바람직하다.
- [0009] 한편, 본 BLDC 모터의 제어장치는, 상기 3상 PM-BLDC 모터의 회전자 위치를 검출하는 위치 센서부를 더 포함하고, 상기 공간벡터 PWM 제어부는, 상기 검출된 회전자 위치정보에 기초하여 상기 구형과 공간벡터 PWM 제어를 수행하는 것이 바람직하다.
- [0010] 이 경우, 본 BLDC 모터의 제어장치는, 상기 3상 PM-BLDC 모터의 3상 전류 또는 상기 멀티레벨 인버터의 입력전류를 검출하는 전류 센서부, 및, 상기 검출된 회전자 위치에 기초하여 상기 3상 PM-BLDC 모터의 속도를 추정하고, 상기 3상 PM-BLDC 모터의 속도가 기설정된 지정속도를 추정할 수 있도록 상기 추정속도 및 상기 검출전류에 기초하여 지령전압을 생성하는 속도및전류 제어부를 더 포함하고, 상기 공간 벡터 제어부는, 상기 지령전압 및 상기 검출된 회전자 위치정보에 기초하여 상기 복수의 스위칭소자 각각에 대한 PWM 게이트 신호를 생성하는 것이 바람직하다.
- [0011] 한편, 상기 멀티레벨 인버터는, 상기 3상 출력 전압을 생성하기 위한 3개의 레그를 포함하며, 상기 3개의 레그 각각은 순차적으로 직렬 연결된 제1 내지 제4 스위칭소자를 포함하고, 상기 3개의 레그 각각은 제1 및 제2 스위칭소자가 온 되고, 제3 및 제4 스위칭소자가 오프되는 제1 동작 모드, 제3 및 제4 스위칭소자가 온 되고, 제1 및 제2 스위칭소자가 오프 되는 제2 동작 모드, 제2 스위칭소자 및 제 3 스위칭소자가 온 되고, 제1 스위칭소자 및 제4 스위칭소자가 오프되는 제3 모드, 및, 제1 내지 제4 스위칭소자가 오프되는 제4 모드로 동작하는 것이 바람직하다.
- [0012] 이 경우, 상기 공간벡터 PWM 제어부는, 상기 3개의 레그 중 적어도 하나의 레그는 제4 모드로 동작하도록 상기 복수의 스위칭소자에 대한 제어를 수행하는 것이 바람직하다.
- [0013] 한편, 본 실시예에 따른 멀티레벨 인버터의 제어방법은, 상기 3상 구형과 출력전압 중 적어도 한 상의 출력 전

원이 턴 오프 되도록 상기 3상 구형과 출력전압에 대한 구형과 공간벡터 PWM 제어를 수행하여, 상기 복수의 스위칭소자 각각에 대한 전압벡터 인가시간을 계산하는 단계, 상기 계산된 전압벡터 인가시간에 따라, 상기 복수의 스위칭소자를 제어하는 단계, 및, 상기 복수의 스위칭소자의 스위칭 동작에 따라 상기 3상 PM-BLDC 모터에 3상 구형과 출력전압을 공급하는 단계를 포함한다.

[0014] 이 경우, 상기 전압벡터 인가시간을 계산하는 단계는, 공간전압벡터를 12개의 영역으로 구분하고, 구분된 12개의 영역을 이용하여 상기 구형과 공간벡터 PWM 제어를 수행하는 것이 바람직하다.

[0015] 한편, 본 멀티레벨 인버터의 제어방법은, 상기 3상 PM-BLDC 모터의 회전자 위치를 검출하는 단계를 더 포함하고, 상기 전압벡터 인가시간을 계산하는 단계는, 상기 검출된 회전자 위치정보에 기초하여 상기 구형과 공간벡터 PWM 제어를 수행하는 것이 바람직하다.

[0016] 이 경우, 본 멀티레벨 인버터의 제어방법은, 상기 3상 PM-BLDC 모터의 3상 전류 또는 상기 멀티레벨 인버터의 출력전류를 검출하는 단계, 및, 상기 검출된 회전자 위치에 기초하여 상기 3상 PM-BLDC 모터의 속도를 추정하고, 상기 3상 PM-BLDC 모터의 속도가 기설정된 지정속도를 추정할 수 있도록 상기 추정속도 및 상기 검출 전류에 기초하여 지령전압을 생성하는 단계를 더 포함하고, 상기 전압벡터 인가시간을 계산하는 단계는, 상기 지령전압 및 상기 검출된 회전자 위치정보에 기초하여 상기 전압벡터 인가시간을 계산하는 것이 바람직하다.

발명의 효과

[0017] 따라서 본 실시예에 따른 BLDC 모터의 제어장치 및 멀티레벨 인버터의 제어방법은, BLDC 모터에 대해서 구형과 공간벡터 PWM 제어를 수행하는바, 영구자석형 동기모터(PMSM: Permanent Magnet Synchronous Motor) 구동하기 위한 정형과 공간벡터 PWM 제어방식보다 영역구분을 1/2으로 하여 제어할 수 있게 되어, PMSM보다 BLDC 모터를 제어하기 용이하다.

[0018] 또한, 본 실시예에 따른 BLDC 모터의 제어장치 및 멀티레벨 인버터의 제어방법은, BLDC 모터에 대한 구동 성능의 향상과 함께 저 가격화를 추구할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 BLDC 모터 제어장치의 구성을 나타내는 블록도,
 도 2는 도 1의 멀티레벨 인버터의 구체적인 구성을 나타내는 회로 블록도,
 도 3은 본 실시예에 따른 공간벡터도(Space vector diagram)를 도시한 도면,
 도 4는 도 3의 A 영역을 구체적으로 도시한 도면,
 도 5는 본 실시예에 따른 스위칭소자의 동작 모드에 따른 스위치 상태 및 출력 전압의 크기를 도시한 도면,
 도 6은 본 실시예에 따른 멀티레벨 인버터의 스위치 상태에 따른 벡터의 분류 및 캐패시터 전압을 도시한 도면,
 도 7은 본 실시예에 따른 지령전압벡터의 위치에 따른 스위칭 소자의 동작 시간 및 조합된 스위칭 상태를 도시한 도면,
 도 8 내지 도 10은 본 실시예에 따른 BLDC 모터의 제어장치의 실험 결과를 나타내는 도면, 그리고,
 도 11은 본 실시예에 따른 멀티레벨 인버터의 제어방법을 설명하는 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 이하 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예를 더욱 상세하게 설명한다.

[0021] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 BLDC 모터 제어장치의 구성을 나타내는 블록도이다.

[0022] 도 1을 참조하면, 본 BLDC 모터 제어장치(100)는 BLDC 모터(110), 센서부(120), 멀티레벨 인버터(130), 공간벡터 PWM 제어부(140) 및 속도및전류 제어부(150)를 포함한다.

[0023] BLDC 모터(110)는 3상 구형과 출력전압을 입력받아 구동하는 3상 PM-BLDC 모터이다. 구체적으로, BLDC 모터(110)는 멀티레벨 인버터(130)에서 생성된 3상 구형과 출력전압을 입력받으며, 입력된 3상 구형과 출력전압에 따라 등속 또는 가속 구동을 수행할 수 있다. 그리고, BLDC 모터(110)는 입력되는 3상 구형과 출력전압의 상 순서에 따라 정방향 구동 또는 역방향 구동을 수행할 수 있다.

- [0024] 그리고, BLDC 모터(110)는 브레이크 구성을 포함할 수 있으며, 속도및전류 제어부(150)의 제어에 따라, 브레이크 동작을 수행할 수 있다.
- [0025] 또한, BLDC 모터(110)는 모터 내부의 회전자 위치를 감지하는 홀 센서 및 회전 속도를 감지하는 속도 감지 센서를 포함할 수 있다. 구체적으로, 홀 센서는 BLDC 모터(110)에 부착되어 DC 모터 내부의 회전자 위치를 감지하는 센서이고, 속도 감지 센서는 BLDC 모터(110)의 구동 속도 정보를 주파수 형태로 출력하는 센서이다. 홀 센서 및 속도 감지에서 감지된 회전자 위치정보 및 구동 속도 정보는 센서부(120)를 통하여 공간벡터 PWM 제어부(140) 및 속도및전류 제어부(150)에 전달되며, 공간벡터 PWM 제어부(140) 및 속도및전류 제어부(150)는 BLDC 모터(110)에 대한 피드백 제어를 수행할 수 있다. 본 실시 예에서는 홀 센서 및 속도 감지 센서만을 설명하였지만, 이외의 센서를 이용하여 BLDC 모터의 구동 동작을 감지할 수도 있다.
- [0026] 센서부(120)는 BLDC 모터(110)의 동작 상태 및 전류 상태를 검출할 수 있다. 구체적으로, 센서부(120)는 위치 센서부(121) 및 전류 센서부(122)로 구성될 수 있다.
- [0027] 위치 센서부(121)는 BLDC 모터(110)의 회전자 위치를 검출할 수 있다. 구체적으로, 위치 센서부(121)는 BLDC 모터(110)에 부착된 홀 센서로부터 회전자 위치정보를 수신하며, 이에 대한 정보를 공간벡터 PWM 제어부(140) 및 속도및전류 제어부(150)에 전달할 수 있다.
- [0028] 전류 센서부(122)는 BLDC 모터(110)의 3상 전류 또는 멀티레벨 인버터(130)의 입력 전류를 검출할 수 있다. 구체적으로, 전류 센서부(122)는 3상 PM-BLDC 모터에 공급되는 3상 전류 또는 멀티레벨 인버터(130)에 입력되는 전류를 검출하고, 검출된 전류에 대한 정보를 속도및전류 제어부(150)에 전달할 수 있다.
- [0029] 멀티레벨 인버터(130)는 복수의 스위칭소자를 포함하며, 복수의 스위칭소자의 스위칭 동작에 따라 3상 구형과 출력전압을 생성할 수 있다. 멀티레벨 인버터(130)의 구체적인 구성 및 동작에 대해서는 도 2를 참고하여 후술한다.
- [0030] 공간벡터 PWM 제어부(140)는 3상 구형과 출력전압 중 적어도 한 상의 출력 전원이 턴 오프(turn-off) 되도록 3상 구형과 출력전압에 대한 구형과 공간벡터 PWM 제어(SVPWM)를 수행한다. 구체적으로, 공간벡터 PWM 제어부(140)는 공간전압벡터를 12개의 영역으로 구분하고, 구분된 12개의 영역을 이용하여, 3상 구형과 출력전압 중 적어도 한 상의 출력 전원이 턴 오프 되도록 3상 구형과 출력전압에 대한 구형과 공간벡터 PWM 제어를 수행할 수 있다. 본 실시예에 따른 구형과 공간벡터 PWM 제어에 대해서는 도 2 내지 도 7을 참고하여 후술한다.
- [0031] 그리고, 공간벡터 PWM 제어부(140)는 수행된 구형과 공간벡터 PWM 제어에 따라, 멀티레벨 인버터(130) 내의 각각의 스위칭소자에 대한 전압벡터 인가시간(즉, 스위칭 주기)을 계산하고, 계산된 전압벡터 인가시간에 따라 각각의 스위칭소자를 제어(PWM 제어)할 수 있다. 이때, 공간벡터 PWM 제어부(140)는 멀티레벨 인버터(130)의 3개의 레그(leg) 중 적어도 하나의 레그의 4개의 스위칭소자가 모두 오프(off)되도록 제어할 수 있다. 한편, 공간벡터 PWM 제어부(140)는 구현시에 DSP나 마이크로프로세서로 구현될 수 있다.
- [0032] 속도및전류 제어부(150)는 검출된 회전자 위치에 기초하여, 3상 PM 모터의 속도를 추정하고, 3상 PM-BLDC 모터의 속도가 기설정된 지령속도를 추정할 수 있도록 추정속도 및 검출전류에 기초하여 지령전압을 생성할 수 있다. 구체적으로, 속도및전류 제어부(150)는 센서부(120)를 통하여 전달된 BLDC 모터(110)의 회전자 위치정보 및 에 기초하여, BLDC 모터(110)의 속도를 추정할 수 있다. 본 실시 예에서는 회전자 위치정보를 이용하여 BLDC 모터(110)의 속도를 추정하는 실시예에 대해서만 설명하였지만, BLDC 모터(110)에 속도 감지 센서가 부착되어 있는 경우, 속도 감지 센서에서 감지된 BLDC 모터(110)의 속도를 이용할 수 있다.
- [0033] 그리고, 속도및전류 제어부(150)는 추정된 속도 및 검출전류에 기초하여 지령전압을 생성할 수 있다. 그리고, 속도및전류 제어부(150)는 생성한 지령전압을 공간벡터 PWM 제어부(140)에 전송하여 BLDC 모터(110)에 대한 피드백 제어를 수행할 수 있다.
- [0034] 한편, 도 1을 설명함에 있어서, 공간벡터 PWM 제어부(140)와 속도및전류 제어부(150)를 별도의 구성인 것으로 설명하였으나, 구현시에는 공간벡터 PWM 제어부(140)의 기능과 속도및전류 제어부(150)의 기능을 통합하여 하나의 구성으로 구현할 수 있다.
- [0035] 이상과 같이 본 실시예에 따른 BLDC 모터 제어장치(100)는 공간벡터영역을 12개 영역만으로 구별하여 공간벡터 PWM 제어를 수행하는바, BLDC 모터를 용이하게 제정할 수 있다.
- [0036] 도 2는 도 1의 멀티레벨 인버터의 구체적인 구성을 나타내는 회로 블록도이다.

- [0037] 도 2를 참고하면, 멀티레벨 인버터(130)는 직류 전원(Vdc), 직렬 연결된 두 개의 커패시터(C_upper, C_lower) 및 4개의 스위칭소자를 포함하는 3개의 레그를 포함한다.
- [0038] 구체적으로, 제1 커패시터(C_upper)는 일 측이 직류 전원(Vdc)의 일 측과 연결되며, 타 측이 제2 커패시터(C_lower)와 연결된다. 그리고, 제2 커패시터(C_lower)는 일 측이 직류 전원(Vdc)의 타 측(제1 커패시터와 연결되지 않은 쪽)과 연결되며, 타측이 제1 커패시터(C_lower)와 연결된다. 제1 커패시터(C_upper)와 제2 커패시터(C_lower)가 만나는 노드(중성 노드 또는 중성점)는 각각의 레그에 전원을 공급하는 노드이다. 본 실시 예에서는 2개의 커패시터를 이용하는 실시예에 대해서만 설명하였지만, 3개 이상의 커패시터를 이용하는 형태로 멀티레벨 인버터(130)를 구현할 수도 있다. 예를 들어, 동일한 커패시턴스를 갖는 4개의 커패시터를 2개씩 병렬 연결하고, 병렬 연결된 커패시터를 직렬 연결하는 형태로도 멀티레벨 인버터(130)를 구현할 수 있다.
- [0039] 그리고, 각각의 레그는 직렬 연결된 4개의 스위칭소자를 포함한다. 여기서 각각의 레그의 중간 노드는 출력단을 갖으며, 제1 레그의 중간 노드, 즉, 제2 스위칭소자(SA2)와 제3 스위칭소자(SA3)가 만나는 노드는 A상에 대한 출력 전원(Va)을 출력하는 노드이고, 제2 레그의 중간 노드, 즉, 제6 스위칭소자(SB2)와 제7 스위칭소자(SB3)가 만나는 노드는 B상에 대한 출력 전원(Vb)을 출력하는 노드이고, 제3 레그의 중간 노드, 즉, 제10 스위칭소자(SC2)와 제11 스위칭소자(SC3)가 만나는 노드는 C상에 대한 출력 전원(Vc)을 출력하는 노드이다. 구현시에 각 레그의 중간 노드의 역할은 상호 변경되는 형태로 구현될 수 있다. 즉, 제2 레그의 중간 노드가 B상에 대한 출력 전원(Vb)을 출력하는 노드 또는 C상에 대한 출력 전원(Vc)을 출력하는 노드로 동작하도록 구현될 수 있다.
- [0040] 이와 같은 각각의 레그 내의 4개의 스위칭소자는 도통 상태에 따라서, $V_{dc}/2$, 0, $-V_{dc}/2$ 의 3가지의 상 전압 상태가 존재할 수 있다. 그리고, 멀티레벨 인버터(130)는 3개의 레그를 포함하는바, 총 27개 스위칭 조합($3^3=27$, 3은 3 레벨³은 3상을 의미함)이 가능하다. 그러나 3상 PM-BLDC 모터의 경우 IM(Induction type AC servo Motor)이나 PMSM(Permanent Magnet Synchronous Motor)과 달리 상 독립제어이기 때문에 구동할 때 3상 중 하나의 상은 반드시 오프 상태를 유지해야 한다.
- [0041] 이와 같은 점에서, 각각의 레그 내의 4개의 스위칭소자는 도 5에 도시된 바와 같이 4가지 모드로 동작할 수 있다. 구체적으로, 4가지 모드는, 제1 및 제2 스위칭소자가 온 되고, 제3 및 제4 스위칭소자가 오프되는 제1 동작 모드(P), 제3 및 제4 스위칭소자가 온 되고, 제1 및 제2 스위칭소자가 오프 되는 제2 동작 모드(N), 제2 스위칭소자 및 제 3 스위칭소자가 온 되고, 제1 스위칭소자 및 제4 스위칭소자가 오프되는 제3 모드(O), 및, 제1 내지 제4 스위칭소자가 오프되는 제4 모드(x)를 포함한다. 이와 같은 4가지 모드에 따른 스위치 상태 및 출력 전압의 크기는 도 5에 도시되어 있다.
- [0042] 따라서, 본 실시예에 따른 멀티레벨 인버터(130)에 대한 27개의 스위칭 조합은 18개의 유효벡터와 9개의 영벡터를 가지게 된다. 한편, 종래의 NPC형 3 레벨 인버터는 유효벡터 24개, 영벡터 3개를 갖는다.
- [0043] 그리고, 본 실시예에 따른 멀티레벨 인버터(130)의 27개의 스위칭 상태는 지령전압벡터의 크기에 따라 도 6에 도시된 바와 같이 영벡터(ZV: zero vector), 중간유효벡터(MV: middle active vector), 큰 유효벡터(HV: high active vector)의 3가지로 구분될 수 있다. 그리고, 영벡터는 0, 중간유효벡터는 $(\sqrt{3}/4)V_{dc}$, 큰 유효벡터는 $(\sqrt{3}/2)V_{dc}$ 의 전압 크기를 가질 수 있다.
- [0044] 한편, 이와 같은 영벡터, 중간유효벡터, 큰 유효벡터 중에서 임의의 전압벡터가 선택된 후, 멀티레벨 인버터(130)가 어떤 동작 모드에 있느냐에 따라 중성점 전위가 변동될 수 있다. 구체적으로, 큰 유효벡터인 경우, 인버터의 동작 모드와 무관하게 두 커패시터(C_upper, C_lower)의 충전과 방전이 동시에 이루어지므로 직류링크전압 불균형에 영향을 주지 않는다.
- [0045] 그리고, 중간유효벡터인 경우, 동일한 선간 전압을 출력하는 지령전압벡터가 직류링크회로의 하단 커패시터(C_lower)를 방전하고 상단 커패시터(C_upper)를 충전하는 하단 중간유효벡터(LMV: lower middle active vector)와 직류링크회로의 상단 커패시터(C_upper)를 방전하고 하단 커패시터(C_lower)를 충전하는 상단 중간유효벡터(UMV: upper middle active vector)인 2종류로 구분할 수 있다. 구분된 2종류의 중간유효벡터 중 어떠한 벡터를 선택하느냐에 따라 상단 커패시터(C_upper) 또는 하단커패시터(C_lower)가 집중적으로 충전과 방전이 이루어지므로 중성점 전위의 변동에 많은 영향을 주게 된다. 이러한 중성점 전위가 과도하게 변화게 되면 3상 NPC형 인버터 포틀로지의 장점을 충분히 살리지 못하게 되므로 중성점 전위가 과도한 변동을 하지 않도록 하단 중

간유효백터와 상단 중간유효백터를 적절하게 조합하여 멀티레벨 인버터(130)의 중성점 전위를 효과적으로 제어해야 한다.

[0046] 그러나, 3상 PM-BLDC 모터는 각 상의 제어가 독립적으로 지령전압이 구형파이기 때문에 dq 변환기법이 필요하지 않아 기존의 정형파 SVPWM 제어기법보다 간단하게 중성점 전위를 제어할 수 있다. 구체적으로, 본 실시예에 따른 구형파 공간벡터 PWM 제어 방식과 관련하여서는 도 3 및 도 4를 참고하여 이하에서 설명한다.

[0047] 한편, 도 2를 설명함에 있어서, 멀티레벨 인버터(130)가 3 레벨을 갖는 3상 구형파 출력전압을 출력하는 것으로 설명하였지만, 멀티레벨 인버터(130) 내의 스위칭소자의 개수를 조정하여 5 레벨 이상의 3상 구형파 출력전압을 출력하는 형태로도 구현할 수 있다.

[0048] 도 3은 본 실시예에 따른 공간벡터도(Space vector diagram)를 도시한 도면이다. 그리고, 도 4는 지령전압벡터가 섹터 A에 존재한다고 가정하였을 때의 전압벡터도이다.

[0049] 도 3을 참고하면, 본 실시예에 따른 공간전압 벡터도는 기존의 정형파 공간전압벡터도에 비하여 영역 구분이 절반(24개→12개)임을 알 수 있다. 구체적으로, 지령전압벡터(또는 지령전압)가 섹터 A의 영역 ① 안쪽에 주어졌을 경우에 $Px0$ 와 $0xN$ 인 유효벡터 2개, 그리고 PxP , $0x0$, NxN 인 영벡터 3개를 조합한 스위칭 상태로 멀티레벨 인버터(130) 내의 복수의 스위칭소자를 제어할 수 있다. 그리고, 섹터 A의 영역 ②에 지령전압벡터가 존재할 때에는 $Px0$, $0xN$ 와 PxN 를 조합한 스위칭 상태로 멀티레벨 인버터(130) 내의 복수의 스위칭소자를 제어할 수 있다. 즉, 본 실시예에 따른 구형파 공간벡터 PWM 제어 방식은 전압지령전압벡터가 존재하는 영역에 인접한 스위칭 상태를 조합하여 멀티레벨 인버터(130) 내의 복수의 스위칭소자를 제어할 수 있다.

[0050] 한편, 섹터 A의 영역 ①에서는 출력 선간 전압이 0과 $(\sqrt{3}/4)V_{dc}$ 으로 클램프되고, 섹터 A의 ②에서는 출력 선간 전압이 $(\sqrt{3}/4)V_{dc}$ 과 $(\sqrt{3}/2)V_{dc}$ 로 클램프(clamp)될 수 있다. 이 경우, 지령전압벡터는 도 2에 도시된 외곽 육각형의 내접원 안쪽에 존재해야 하며, 내접원을 벗어나면 그 이상의 출력 선간 전압을 얻을 수 없게 된다. 이와 같은 출력 선간 전압을 이용한 전압벡터 인가 시간은 도 7에 도시된 바와 같은 식을 이용하여 계산될 수 있다.

[0051] 한편, 3상 PMSM 구동에 사용되는 정형파 전압은 크기 및 방향을 가지는 전압벡터이지만, 3상 PM-BLDC 모터에 사용되는 구형파 전압은 벡터 및 스칼라가 혼재하는 전압이다. 즉, 벡터와 같은 보이지만 임의 섹터(섹터 A 내지 F) 안쪽에서는 스칼라로 취급되는 전압이 된다. 이는 홀 센서 신호에 따라 전압벡터의 각도가 60도씩 바뀌어 이를 통해 해당하는 섹터를 계산하고 각 섹터 내부에서의 전압은 스칼라로서 취급하여도 좋다.

[0052] 도 8은 종래의 정형파 공간벡터 PWM 제어 방식을 이용하여 BLDC 모터를 제어한 경우의 실험 결과를 나타내는 도면이고, 도 9는 본 실시예에 따른 구형파 공간벡터 PWM 제어 방식을 이용하여 BLDC 모터를 제어한 경우의 실험 결과를 나타내는 도면이다. 한편, 이와 같은 실험 결과는 제어 주기 및 스위칭 주파수를 10kHz, 입력전압을 300V, 직류 평활용 커패시터를 5000uF로 설정하여 얻어진 결과이다.

[0053] 도 8 및 도 9를 비교하여 보면, 종래의 정형파 공간벡터 PWM 제어 방식을 이용하여 BLDC 모터를 제어한 경우, 토크 맥동률은 약 25%인데 반해, 본 실시예에 따른 토크 맥동률은 14%로 약 11% 정도 맥동률이 개선되는 것을 확인할 수 있다. 그리고, 토크의 FFT를 참고하면(도 8d 및 도 9d), 본 실시예에 따른 구형파 공간벡터 PWM 제어 방식을 이용하는 경우, 스위칭 주파수인 10kHz와 스위칭 주파수의 2배인 영역에서의 토크 맥동이 현저하게 감소하였음을 확인할 수 있다.

[0054] 도 10은 본 실시예에 따른 구형파 공간벡터 PWM 제어 방식을 이용하여 BLDC 모터를 제어한 경우의 속도, 출력 전류, 출력 선간 전압 및 토크에 대한 실험 결과를 나타내는 도면이다.

[0055] 구체적으로, 도 10은 0.4Nm의 부하를 100ms에 인가한 후, 140ms에서 제거하였을 때의 BLDC 모터(110)의 속도(도 10a), 멀티레벨 인버터(130)의 출력 전류(도 10b), 출력 전류(도 10c) 및 BLDC 모터의 토크(도 10d)의 파형도이다.

[0056] 도 10을 참고하면, 본 실시예에 따른 BLDC 모터 제어장치(100)는 부하가 변동되는 경우에도, BLDC 모터(110)의 속도가 지령 속도에 맞추어 동작함을 확인할 수 있다.

[0057] 도 11은 본 실시예에 따른 멀티레벨 인버터의 제어방법을 설명하는 흐름도이다.

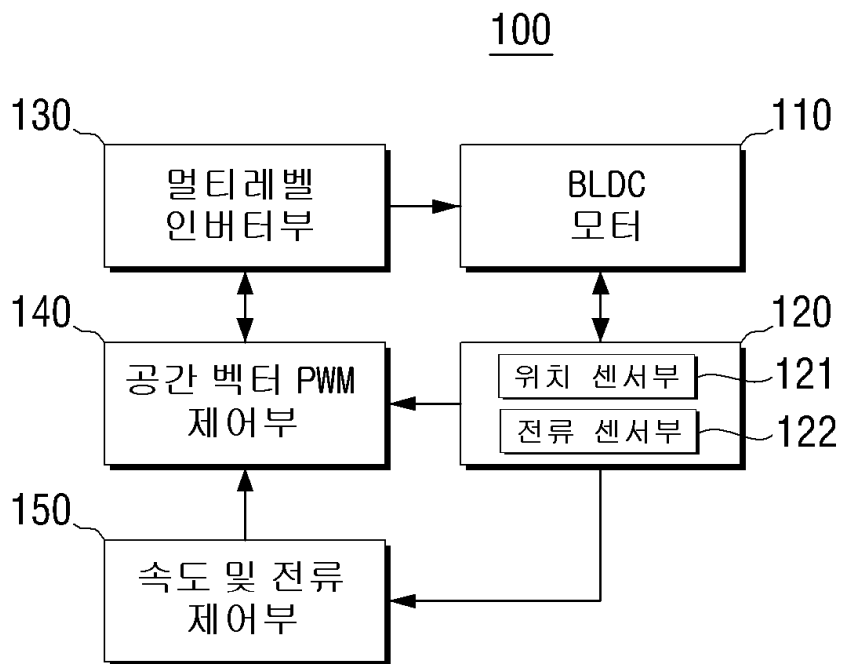
- [0058] 먼저, 3상 PM-BLDC 모터의 회전자 위치를 검출한다(S1110). 구체적으로, 3상 PM-BLDC 모터에 부착된 홀 센서를 이용하여 3상 PM-BLDC 모터의 회전자 위치를 검출할 수 있다. 이때, 3상 PM-BLDC 모터의 3상 전류 또는 멀티레벨 인버터의 입력 전류도 검출될 수 있다.
- [0059] 그리고, 검출된 회전자 위치를 기초로, 지령전압을 생성할 수 있다(S1120). 구체적으로, 검출된 회전자 위치를 기초로, 3상 PM-BLDC 모터의 속도를 추정할 수 있으며, 3상 PM-BLDC 모터가 기설정된 지령속도를 추정할 수 있도록 지령속도 및 추정 속도에 기초하여 지령전압을 생성할 수 있다.
- [0060] 그리고, 3상 구형파 출력전압 중 적어도 한 상의 출력 전원이 턴 오프되도록 3상 구형파 출력전압에 대한 구형파 공간벡터 PWM 제어를 수행한다(S1130). 구체적으로, 생성된 지령전압 및 검출된 회전자 위치에 기초하여 구형파 공간벡터 PWM 제어를 수행하여, 복수의 스위칭소자 각각에 대한 전압벡터 인가시간을 계산할 수 있다. 구형파 공간벡터 PWM 제어에 대해서는 도 3 내지 도 7과 관련하여 앞서 설명하였는바, 구체적인 설명은 생략한다.
- [0061] 그리고, 계산된 전압벡터 인가시간에 따라 복수의 스위칭소자를 제어하고(S1140), 복수의 스위칭소자의 온(on)/오프(off) 동작에 따라 3상 PM-BLDC 모터에 3상 구형파 출력전압을 공급한다(S1150).
- [0062] 따라서, 본 실시예에 따른 멀티레벨 인버터의 제어방법은, BLDC 모터에 대해서 구형파 공간벡터 PWM 제어를 수행하는바, BLDC 모터를 용이하게 제어할 수 있으며, BLDC 모터에 대한 구동 성능을 향상시킬 수 있다. 도 11과 같은 멀티레벨 인버터의 제어방법은, 도 1의 구성을 가지는 BLDC 모터 제어장치 상에서 실행될 수 있으며, 그 밖의 다른 구성을 가지는 BLDC 모터 제어장치 상에서도 실행될 수 있다.
- [0063] 이상에서는 본 발명의 바람직한 실시예에 대해서 도시하고, 설명하였으나, 본 발명은 상술한 특징의 실시예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진자라면 누구든지 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이고, 그와 같은 변경은 청구범위 기재의 범위 내에 있게 된다.

부호의 설명

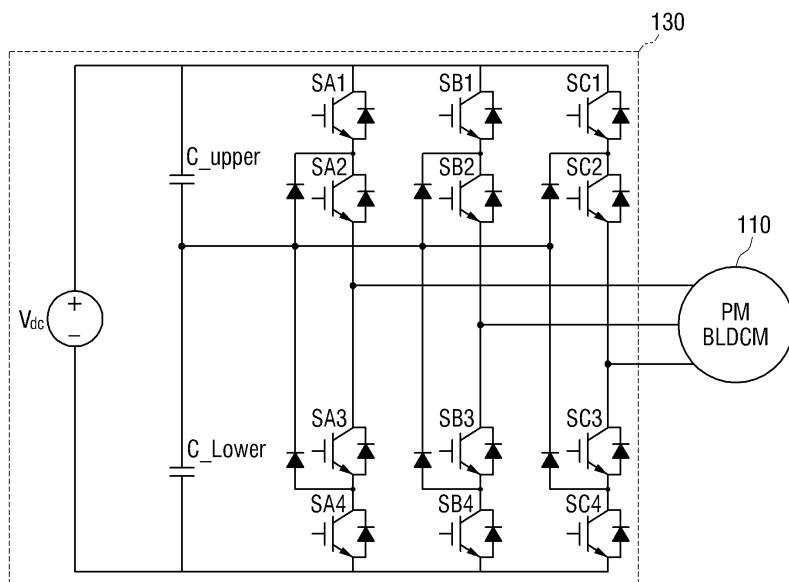
- [0064]
- | | |
|-------------------|----------------|
| 100: BLDC 모터 제어장치 | 110: BLDC 모터 |
| 120: 센서부 | 130: 멀티레벨 인버터 |
| 140: 공간벡터 PWM 제어부 | 150: 속도및전류 제어부 |

도면

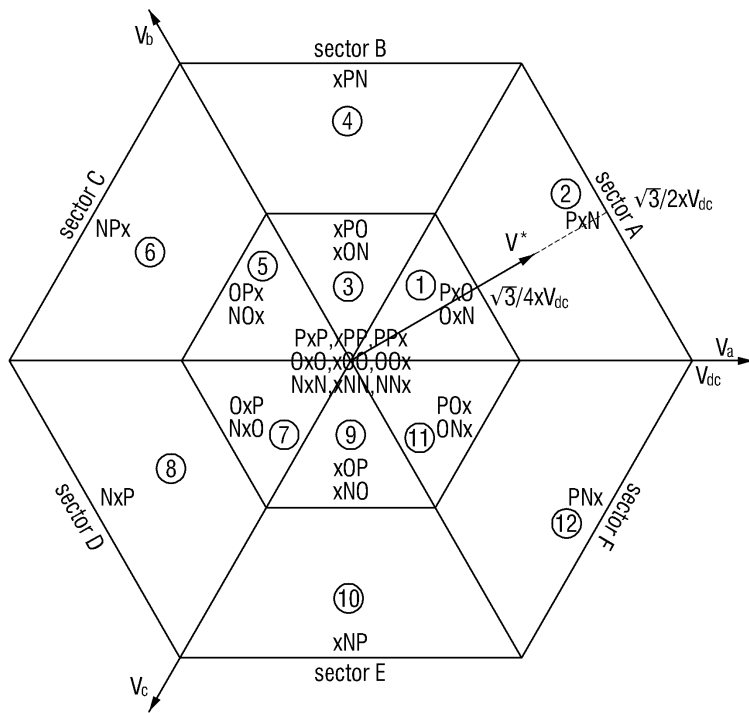
도면1



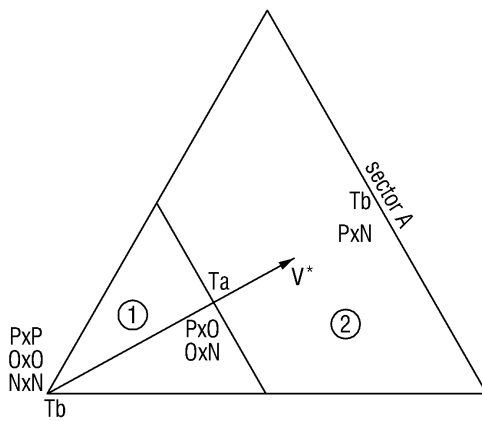
도면2



도면3



도면4



도면5

switch	symbol	Sk1	Sk2	Sk3	Sk4	output phase voltage
switching state	P	on	on	off	off	$V_{dc}/2$
	O	off	on	on	off	0
	x	off	off	off	off	
	N	off	off	on	on	$-V_{dc}/2$

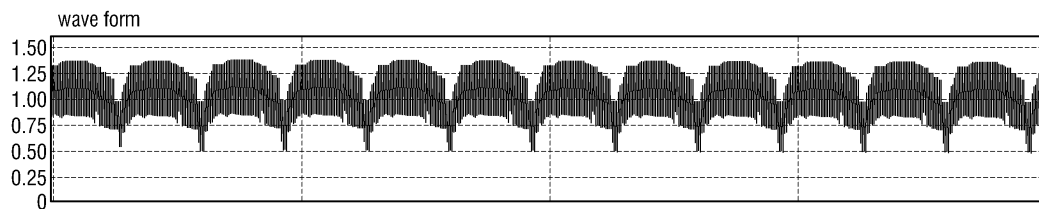
도면6

type		switching state			UC	LC	output voltage
ZV		PxP OxO NxN	PPx OOx NNx	xPP xOO xNN	0	0	0
MV	UMV	PxO OxP	POx OPx	xPO xOP	-	+	$\frac{\sqrt{3}}{4}V_{dc}$
	LMV	OxN NxO	ONx NOx	xON xNO	+	-	
HV		PxN NxP	PNx NPx	xPN xNP	-	-	$\frac{\sqrt{3}}{2}V_{dc}$

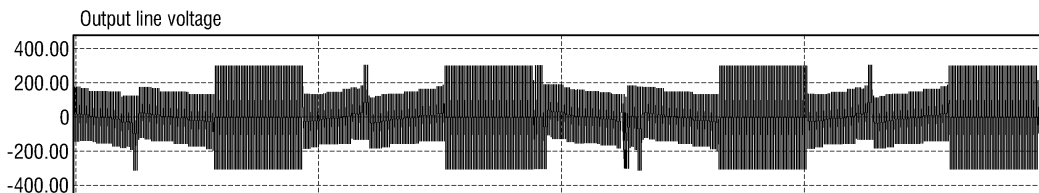
도면7

sector A		region ① 2 level mode	region ② 3 level mode
vector duration time	T_a	$T_s \frac{ V^* }{(\sqrt{3}/4)V_{dc}}$	$T_s \left(1 - \frac{ V^* }{(\sqrt{3}/2)V_{dc}}\right)$
	T_b	$T_s \left(1 - \frac{ V^* }{(\sqrt{3}/4)V_{dc}}\right)$	$T_s \frac{ V^* }{(\sqrt{3}/2)V_{dc}}$
combined switching state		PxP, OxO, NxN PxO, OxN	PxO, OxN PxN

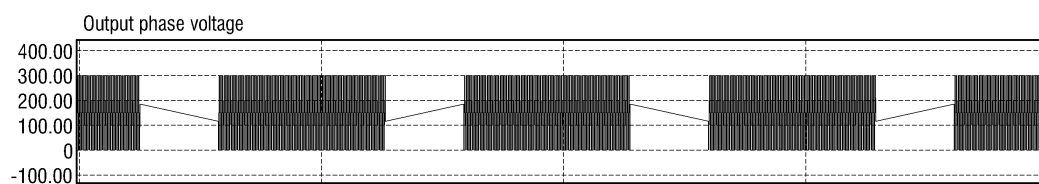
도면8a



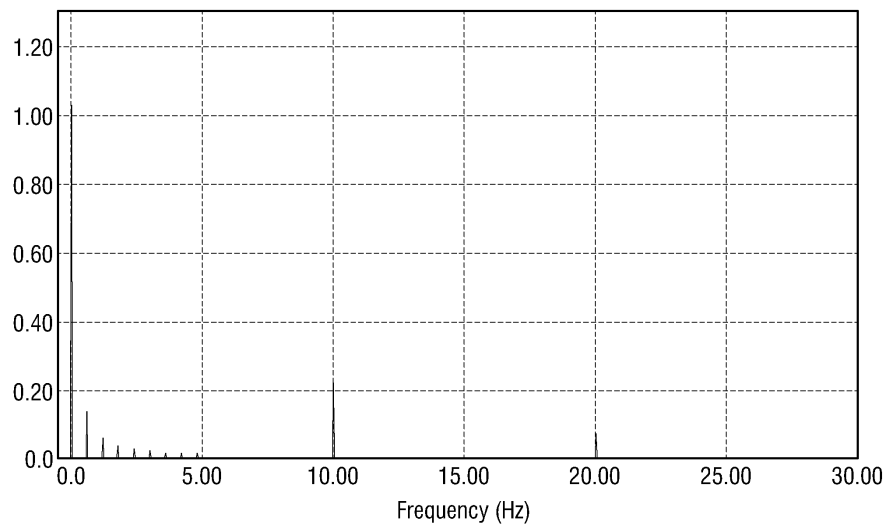
도면8b



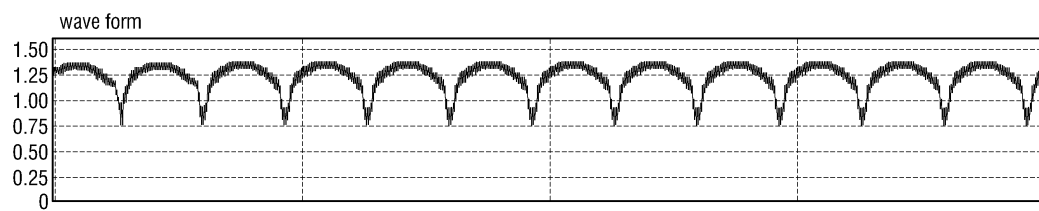
도면8c



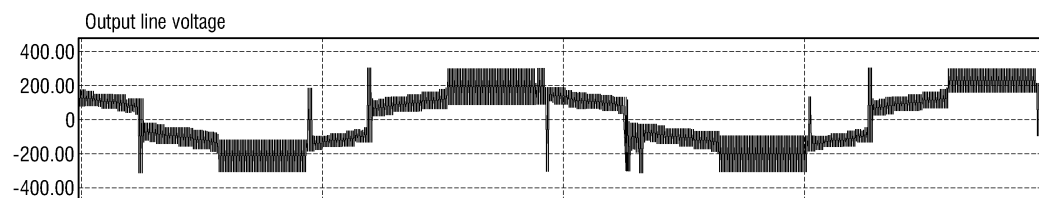
도면8d



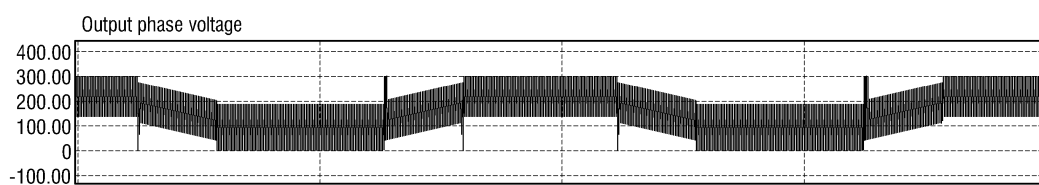
도면9a



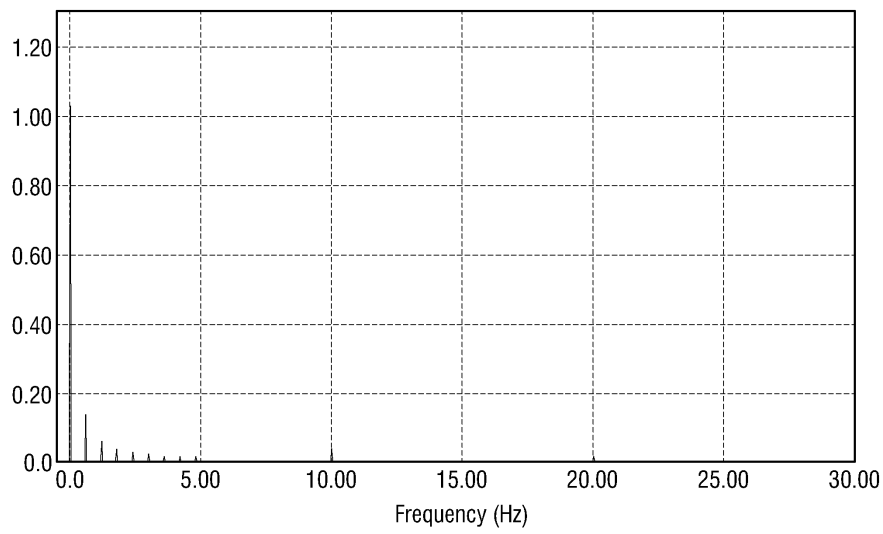
도면9b



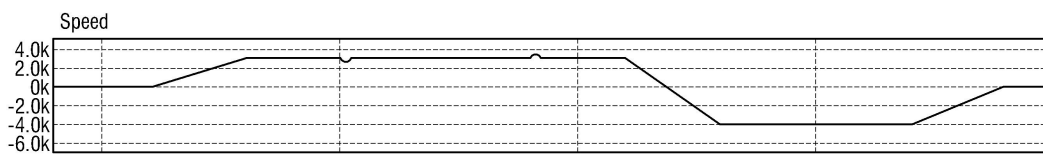
도면9c



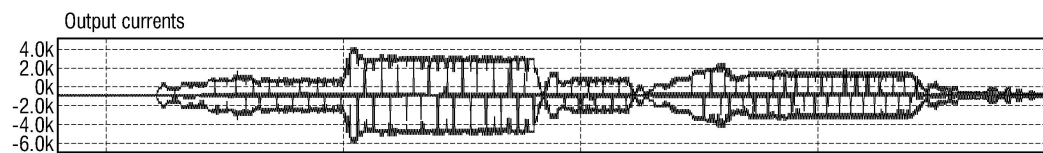
도면9d



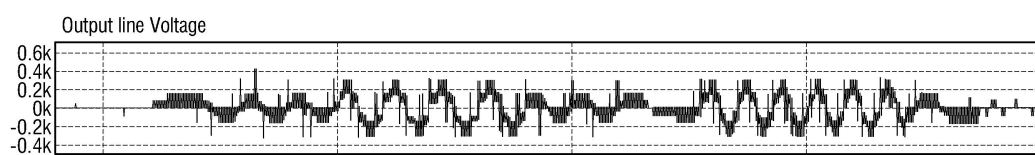
도면10a



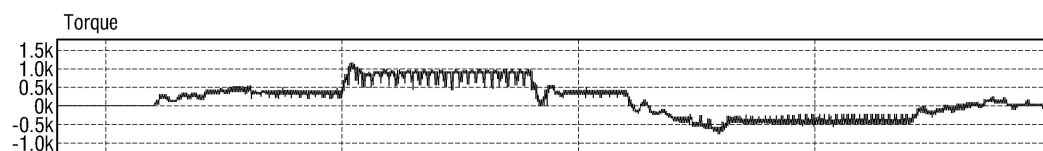
도면10b



도면10c



도면10d



도면11

