



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0032541

(43) 공개일자 2016년03월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H02M 5/293 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-0122809

(22) 출원일자 2014년09월16일

심사청구일자 2014년09월16일

기술이전 희망 : 기술양도

(71) 출원인

울산대학교 산학협력단

울산광역시 남구 대학로 93

(72) 발명자

이흥희

울산광역시 울주군 범서읍 구영로 101-7, 504동 1401호 (구영푸르지오)

전대원

부산광역시 금정구 구서중앙로 20, 7동 308호 (구서동, 선경아파트)

서영수

울산광역시 남구 대공원로99번길 25, 201동 801호 (옥동, 대공원롯데인벤스가아파트)

(74) 대리인

김종선, 이형석

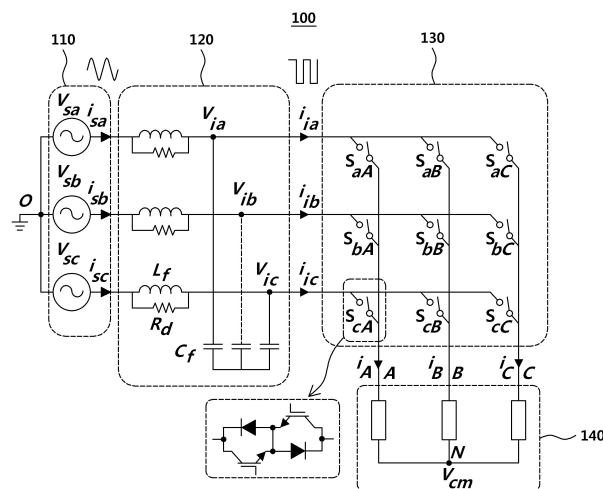
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 제로 공통모드전압을 위한 매트릭스 컨버터의 스위칭 제어방법

(57) 요약

본 발명은 매트릭스 컨버터의 스위칭 형태 중 그룹 3의 회전 벡터만을 이용하면서 입력 전압과 출력 전압 벡터의 섹터 위치에 따라 대응하는 스위칭 기법을 제안하는 매트릭스 컨버터의 스위칭 제어방법에 관한 것이다. 이에 본 발명은 매트릭스 컨버터의 공통모드전압 값을 영 전압(zero voltage)이 되게 구현할 수 있고, 따라서 축 전압 (shaft voltage), 누설 전류(leakage current) 및 베어링 전류(bearing current) 손상을 방지하게 되어 모터 수명을 향상시키는 물론 전체 시스템 성능도 향상되는 이점이 있다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415133537

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국산업기술진흥원

연구사업명 지역특화산업육성

연구과제명 대경 태양전지/모듈 소재공정 지역혁신센터(네트워크 기반 자동화 연구(3-2))

기 여 율 1/1

주관기관 영남대학교 산학협력단

연구기간 2014.03.01 ~ 2015.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

3상 입력 전압을 매트릭스 컨버터의 3상 부하에 모두 연결되게 하고,

상기 매트릭스 컨버터의 전력용 반도체(S_{aa} 내지 S_{cc})를 스위칭 제어하여 상기 매트릭스 컨버터의 공통모드전압(CMV)이 영 전압(zero voltage)이 되게 제어하는 매트릭스 컨버터의 스위칭 제어방법.

청구항 2

매트릭스 컨버터의 스위칭 형태 중 모든 3상 입력 전원이 부하에 연결된 상태인 그룹 3의 회전벡터를 이용하여 상기 매트릭스 컨버터를 제어하되,

상기 그룹 3의 회전벡터는 반 시계방향으로 회전하는 회전벡터($\vec{r}_1, \vec{r}_3, \vec{r}_5$)와 시계방향으로 회전하는 회전벡터($\vec{r}_2, \vec{r}_4, \vec{r}_6$)를 포함하며,

상기 6개의 회전벡터 중 기준 출력전압 벡터로부터 가장 먼 회전벡터를 제외한 5개의 회전벡터를 이용하여 원하는 출력전압(V_o)과 입력전류(i_i)를 동시에 제어하는 매트릭스 컨버터의 스위칭 제어방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 그룹 3은 상기 매트릭스 컨버터를 구성하는 9개의 전력용 반도체를 각각 스위칭 제어하는 스위칭 패턴 r_1 , r_2 , r_3 , r_4 , r_5 및 r_6 을 제공하며,

입력 전압 벡터와 출력 전압 벡터의 위치에 따라 상기 스위칭 패턴 중 5개의 스위칭 패턴이 적용되는 매트릭스 컨버터의 스위칭 제어방법.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 입력 전압 벡터와 상기 출력 전압 벡터의 위치에 따른 스위칭 패턴 구성은 아래 표로 제공되는 매트릭스 컨버터의 스위칭 제어방법.

		Input Voltage Vector Sector																			
		1			2			3			4			5			6				
Output Voltage Vector Sector	1	r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅	r ₁	r ₅	r ₆	r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅	r ₆	r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅	r ₆
	2	r ₄	r ₃	r ₂	r ₁	r ₆	r ₁	r ₆	r ₅	r ₄	r ₃	r ₆	r ₁	r ₄	r ₅	r ₂	r ₃	r ₄	r ₁	r ₂	r ₅
	3	r ₃	r ₄	r ₅	r ₆	r ₁	r ₆	r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₁	r ₆	r ₃	r ₂	r ₅	r ₄	r ₃	r ₄	r ₅	r ₂
	4	r ₆	r ₅	r ₄	r ₃	r ₂	r ₃	r ₂	r ₁	r ₆	r ₅	r ₂	r ₃	r ₆	r ₁	r ₄	r ₅	r ₂	r ₃	r ₄	r ₁
	5	r ₅	r ₆	r ₁	r ₂	r ₃	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅	r ₆	r ₃	r ₂	r ₅	r ₄	r ₁	r ₄	r ₁	r ₆	r ₅	r ₂
	6	r ₂	r ₁	r ₆	r ₅	r ₄	r ₅	r ₄	r ₃	r ₂	r ₁	r ₄	r ₃	r ₂	r ₅	r ₆	r ₃	r ₂	r ₅	r ₆	r ₃
Duty cycles		d _I	d _{II}	d _{III}	d _{IV}	d _V	d _I	d _{II}	d _{III}	d _{IV}	d _V	d _I	d _{II}	d _{III}	d _{IV}	d _V	d _I	d _{II}	d _{III}	d _{IV}	d _V

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 스위칭 패턴 구성에 따른 회전벡터의 듀티 사이클(duty cycle)(d_I , d_{II} , d_{III} , d_{IV} , d_V)은 다음 식들로 표현하는 매트릭스 컨버터의 스위칭 제어방법.

$$d_I = \frac{1}{3} \left[1 - 2q \frac{\cos(\pi/3 - \tilde{\alpha}_o) \cos \tilde{\beta}_i}{\cos \delta_i} + \sqrt{3}q \frac{\sin(2\pi/3 - \tilde{\alpha}_o + \tilde{\beta}_i)}{\cos \delta_i} \right]$$

$$d_{II} = \frac{q}{\sqrt{3}} \times \frac{\sin(2\pi/3 - \tilde{\alpha}_o - \tilde{\beta}_i)}{\cos \delta_i}$$

$$d_{III} = \frac{1}{3} \left[1 - 2q \frac{\cos(\pi/3 - \tilde{\alpha}_o) \cos \tilde{\beta}_i}{\cos \delta_i} + \sqrt{3}q \frac{\sin(\tilde{\alpha}_o - \tilde{\beta}_i)}{\cos \delta_i} \right]$$

$$d_{IV} = \frac{q}{\sqrt{3}} \times \frac{\sin(\tilde{\alpha}_o + \tilde{\beta}_i)}{\cos \delta_i}$$

$$d_V = \frac{1}{3} \left[1 - 2q \frac{\cos(\pi/3 - \tilde{\alpha}_o) \cos \tilde{\beta}_i}{\cos \delta_i} \right]$$

여기서 $\tilde{\alpha}_o$ 과 $\tilde{\beta}_i$ 은 다음 식으로 정의한다.

$$k_1 = (\text{int})(k_o \times 0.5); \tilde{\alpha}_o = (-1)^{k_o} (k_1 \times 2\pi/3 - \alpha_o), (k_1 = 0, 1, 2, 3)$$

$$k_2 = (\text{int})(k_i \times 0.5); \tilde{\beta}_i = (-1)^{k_i} (k_2 \times 2\pi/3 - \beta_i), (k_2 = 0, 1, 2, 3) \text{ 임.}$$

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 매트릭스 컨버터에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 기존의 공간 벡터 변조(SVM)에서 사용되지 않은 회전 벡터(rotating vectors)들을 사용하여 제로(zero) 공통모드전압(Common Mode Voltage : CMV)을 가지도록 매트릭스 컨버터를 구동할 수 있도록 한 매트릭스 컨버터의 스위칭 제어방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

전력용 소자의 발달과 함께 전력변환장치의 효율과 성능 향상을 위한 노력은 꾸준히 계속되어 왔다.

[0003]

전력변환장치로서 다이오드 정류회로를 갖는 VSI(Voltage source inverters)가 가장 널리 사용되고 있으나 입력 전류에 많은 고조파가 포함되어 있고 에너지가 회생 되지 않은 단점을 지니고 있다. 또한 중간에너지 저장장치로 커패시터를 사용하기 때문에 전체 시스템의 수명이 제한된다.

[0004]

반면 전력변환장치 가운데 매트릭스 컨버터(Matrix converters)는 순수 전력소자 변환기이다. 이러한 매트릭스 컨버터는 일정 교류 전원을 사용해 가변 주파수와 전압을 공급함에 있어 기존의 인버터와는 달리 상용 교류 전원을 직류로 변환하는 과정이 없다. 즉 상용 교류 전원으로부터 직접 가변 교류로 변환하기 때문에 정류기와 평활용 콘덴서가 필요하지 않아 시스템의 부피와 무게를 현저히 줄일 수 있다. 또한 고온에서의 동작도 용이하고 변환 효율 향상과 함께 수명도 연장할 수 있다. 이외에도 매트릭스 컨버터는 별도의 부가장치 없이 입출력 전류를 정현파로 유지할 수 있고 양방향 전력제어가 가능하며, 입력 역률을 1로 만드는 것이 가능하다. 또한, 전동기를 제어할 경우 특정 전력소자에 전류가 집중되지 않아 저속상태로 오랫동안 운전해도 소자에 무리를 주지 않는다는 등의 장점이 있다. 따라서 제어기술과 전력용 반도체소자의 발달과 함께 인버터를 대체할 수 있는 차세

대 전력변환장치로 주목받고 있다.

[0005] 이처럼 많은 장점에도 아직까지 매트릭스 컨버터는 입력 필터, 불균형한 입력전압에 따른 복잡한 제어 알고리즘, 공통모드전압(CMV) 등과 같은 해결해야할 문제가 많다.

[0006] 특히 공통모드전압은 축 전압(shaft voltage), 누설 전류(leakage current) 및 베어링 전류(bearing current) 손상의 주요 원인으로 알려져 있다. 이는 모터의 수명을 단축하는 것은 물론 전체 시스템의 성능 저하를 초래한다. 예를 들면 베어링 전류 손상은 전체 모터 고장에서 30%를 차지하고 있다. 뿐만 아니라 누설 전류는 노이즈(noise)나 전자기 간섭(Electro magnetic interference : EMI)의 원인이 된다.

[0007] 그렇기 때문에 매트릭스 컨버터에서 공통모드전압을 최소화하는 기술이 절대적으로 필요하다.

선행기술문헌

특허문헌

[0008] (특허문헌 0001) 한국공개특허 10-2011-0038908호(2011. 04. 15. 매트릭스 컨버터 및 이의 제어방법)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 따라서 본 발명의 목적은 상기한 문제점을 해결하기 위한 것으로, 매트릭스 컨버터의 공통모드전압을 최소화하도록 매트릭스 컨버터의 스위칭 제어방법을 제공하는 것이다.

[0010] 즉 본 발명은 매트릭스 컨버터의 스위칭 패턴 중 그룹 3에 속하는 회전벡터(rotating vectors)들을 이용하여 매트릭스 컨버터의 공통모드전압을 영 전압(zero voltage)이 되게 하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0011] 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 특징에 따르면, 3상 입력 전압을 매트릭스 컨버터의 3상 부하에 모두 연결되게 하고, 상기 매트릭스 컨버터의 전력용 반도체(S_{aA} 내지 S_{cC})를 스위칭 제어하여 상기 매트릭스 컨버터의 공통모드전압(CMV)이 영 전압(zero voltage)이 되게 제어하는 매트릭스 컨버터의 스위칭 제어방법을 제공한다.

[0012] 본 발명의 다른 특징에 따르면, 매트릭스 컨버터의 스위칭 형태 중 모든 3상 입력 전원이 부하에 연결된 상태인 그룹 3의 회전벡터를 이용하여 상기 매트릭스 컨버터를 제어하되, 상기 그룹 3의 회전벡터는 반 시계방향으로

회전하는 회전벡터($\vec{F}_1, \vec{F}_3, \vec{F}_5$)와 시계방향으로 회전하는 회전벡터($\vec{F}_2, \vec{F}_4, \vec{F}_6$)를 포함하며, 상기 6개의 회전벡터 중 기준 출력전압 벡터로부터 가장 먼 회전벡터를 제외한 5개의 회전벡터를 이용하여 원하는 출력전압(V_o)과 입력전류(i_i)를 동시에 제어하는 매트릭스 컨버터의 스위칭 제어방법을 제공한다.

[0013] 상기 그룹 3은 상기 매트릭스 컨버터를 구성하는 9개의 전력용 반도체를 각각 스위칭 제어하는 스위칭 패턴 r_1, r_2, r_3, r_4, r_5 및 r_6 을 제공하며, 입력 전압 벡터와 출력 전압 벡터의 위치에 따라 상기 스위칭 패턴 중 5개의 스위칭 패턴이 적용된다.

상기 입력 전압 벡터와 상기 출력 전압 벡터의 위치에 따른 스위칭 패턴 구성은 다음과 같다.

		Input Voltage Vector Sector																													
		1				2				3				4				5				6									
Output Voltage Vector Sector	1	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_4	f_5	f_6	f_1	f_2	f_3	f_4	f_1	f_6	f_3	f_6	f_2	f_5	f_4	f_3	f_6	f_5	f_2	f_1	f_2	f_1	f_4	f_3	f_6	
	2	f_4	f_3	f_2	f_1	f_6	f_1	f_6	f_5	f_4	f_3	f_6	f_1	f_4	f_5	f_2	f_5	f_2	f_3	f_6	f_1	f_2	f_5	f_6	f_3	f_4	f_3	f_4	f_1	f_2	f_5
	3	f_3	f_4	f_5	f_6	f_1	f_6	f_1	f_2	f_3	f_4	f_1	f_6	f_3	f_2	f_5	f_2	f_5	f_4	f_1	f_6	f_5	f_2	f_1	f_4	f_3	f_4	f_3	f_6	f_5	f_2
	4	f_6	f_5	f_4	f_3	f_2	f_3	f_2	f_1	f_6	f_5	f_2	f_3	f_6	f_1	f_4	f_1	f_4	f_5	f_2	f_3	f_4	f_1	f_2	f_5	f_6	f_5	f_6	f_3	f_4	f_1
	5	f_5	f_6	f_1	f_2	f_3	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_3	f_2	f_5	f_4	f_1	f_4	f_1	f_6	f_3	f_2	f_1	f_4	f_3	f_6	f_5	f_6	f_5	f_2	f_1	f_4
	6	f_2	f_1	f_6	f_5	f_4	f_5	f_4	f_3	f_2	f_1	f_4	f_5	f_2	f_3	f_6	f_3	f_6	f_1	f_4	f_5	f_6	f_3	f_4	f_1	f_2	f_1	f_2	f_5	f_6	f_3
Duty cycles		d_I	d_{II}	d_{III}	d_{IV}	d_V	d_I	d_{II}	d_{III}	d_{IV}	d_V	d_I	d_{II}	d_{III}	d_{IV}	d_V	d_I	d_{II}	d_{III}	d_{IV}	d_V	d_I	d_{II}	d_{III}	d_{IV}	d_V	d_I	d_{II}	d_{III}	d_{IV}	d_V

상기 스위칭 패턴 구성에 따른 회전벡터의 듀티 사이클(duty cycle)(d_I , d_{II} , d_{III} , d_{IV} , d_V)은 다음 식들로 표현한다.

$$d_I = \frac{1}{3} \left[1 - 2q \frac{\cos(\pi/3 - \tilde{\alpha}_o) \cos \tilde{\beta}_i}{\cos \delta_i} + \sqrt{3}q \frac{\sin(2\pi/3 - \tilde{\alpha}_o + \tilde{\beta}_i)}{\cos \delta_i} \right]$$

$$d_{II} = \frac{q}{\sqrt{3}} \times \frac{\sin(2\pi/3 - \tilde{\alpha}_o - \tilde{\beta}_i)}{\cos \delta_i}$$

$$d_{III} = \frac{1}{3} \left[1 - 2q \frac{\cos(\pi/3 - \tilde{\alpha}_o) \cos \tilde{\beta}_i}{\cos \delta_i} + \sqrt{3}q \frac{\sin(\tilde{\alpha}_o - \tilde{\beta}_i)}{\cos \delta_i} \right]$$

$$d_{IV} = \frac{q}{\sqrt{3}} \times \frac{\sin(\tilde{\alpha}_o + \tilde{\beta}_i)}{\cos \delta_i}$$

$$d_V = \frac{1}{3} \left[1 - 2q \frac{\cos(\pi/3 - \tilde{\alpha}_o) \cos \tilde{\beta}_i}{\cos \delta_i} \right]$$

여기서 $\tilde{\alpha}_o$ 과 $\tilde{\beta}_1$ 은 다음 식으로 정의한다.

$$k_1 = (\text{int})(k_o \times 0.5); \tilde{\alpha}_o = (-1)^{k_o} (k_1 \times 2\pi/3 - \alpha_o), (k_1 = 0, 1, 2, 3)$$

$$k_2 = (\text{int})(k_i \times 0.5); \tilde{\beta}_i = (-1)^{k_i} (k_2 \times 2\pi/3 - \beta_i), (k_2 = 0, 1, 2, 3) \text{ 이다.}$$

발명의 효과

이와 같은 본 발명에 따른 제로 공통모드전압을 위한 매트릭스 컨버터의 스위칭 제어방법은 다음과 같은 효과가 있다.

본 발명은 매트릭스 컨버터의 그룹 3에 존재하는 회전벡터만을 이용하여 매트릭스 컨버터를 제어하는 스위칭 기법을 제안하고 있다. 스위칭 기법은 입력전압벡터와 출력전압벡터의 섹터 위치에 따라 6개의 회전벡터 중 5개의 회전벡터만을 선택하여 스위칭이 이루어지도록 한다.

그 결과 본 발명에서는 매트릭스 컨버터의 공통모드전압을 영 전압(zero voltage)이 되게 구현할 수 있다.

따라서, 종래 매트릭스 컨버터의 공통모드전압으로 인하여 초래되었던 축 전압(shaft voltage), 누설 전류

(leakage current) 및 베어링 전류(bearing current)의 손상을 방지할 수 있게 되어, 전동기의 수명을 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0029] 도 1은 본 발명을 설명하기 위한 매트릭스 컨버터용 전력변환장치의 구성도
 도 2는 본 발명의 실시 예에 따라 그룹 3의 회전벡터를 설명하기 위한 벡터 구성도
 도 3은 α β 좌표 상에서 섹터(sector)를 나타낸 도면
 도 4는 본 발명의 실시 예에 따라 입력전압벡터와 출력전압벡터가 모두 섹터 1에 있을 때의 스위칭 패턴 구성도
 도 5는 입력 전압과 출력 전류의 파형도로서, (a)는 공급단 전압, (b)는 필터링된 입력 전류
 도 6은 출력 선간 전압과 출력 전류의 파형도로서, (a)는 출력 선간 전압, (b)는 출력 전류
 도 7은 본 발명에 따른 공통모드전압으로, (a)는 하나의 샘플링 주기 동안의 공통모드전압의 파형도, (b)는 공통모드전압의 FFT(fast Fourier transform)를 나타내는 도면

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0030] 본 발명은 3상 입력 전압이 모두 매트릭스 컨버터의 부하에 연결되게 하여 공통모드전압이 영전압(zero voltage) 될 수 있도록 하는 개선된 공간벡터변조(Space vector modulation : SVM) 기법을 제공하여 전력변환 장치의 성능을 향상시키는데 그 기술적 특징이 있다.
- [0031] 이하 본 발명에 의한 제로 공통모드전압을 위한 매트릭스 컨버터의 스위칭 제어방법의 실시 예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.
- [0032] 도 1은 본 발명을 설명하기 위해 제공된 매트릭스 컨버터용 전력변환장치의 구성도이다.
- [0033] 도 1을 살펴보면 전력변환장치(100)는 전체적으로 상용교류전원단(110), 입력필터(120), 매트릭스 컨버터(130) 및 부하단(140)을 포함하고 있다.
- [0034] 상용교류전원단(110)은 3상 교류 전원을 공급한다.
- [0035] 상용교류전원단(110)의 출력측에는 입력 필터(120)가 연결된다. 입력필터(120)는 매트릭스 컨버터(130)를 구성하는 전력용 반도체의 고속 스위칭으로 발생하는 고조파 성분의 잡음이 상용교류전원단(110)에 미치는 영향을 제거시키기 위한 것이다. 이러한 입력필터(120)는 주로 LC 저역 통과필터가 사용된다.
- [0036] 입력 필터(120)의 출력측에 매트릭스 컨버터(130)가 연결된다. 도 1에서 알 수 있는 바와 같이 매트릭스 컨버터(130)는 9개의 양 방향성 전력용 반도체(S_{aA} 내지 S_{cC})로 이루어지고 있다.
- [0037] 매트릭스 컨버터(130)에는 부하단(140)이 연결된다.
- [0038] 그리고, 도 1에서 '0'는 전원 중성점이고, 'N'는 부하 중성점을 말하며, 공통모드전압은 상기 전원 중성점 '0'과 부하 중성점 'N' 사이의 전압(V_{cm})을 의미한다.
- [0039] 한편, 도 1의 매트릭스 컨버터(130)는 다음 표 1과 같은 스위칭 형태를 제공한다.

표 1

	Switching Configurations				Output Voltage		Input Current		CMV (peak)
	No	A	B	C	V_o	α_o	I_i	β_i	V_{cm}
Group I	+1	a	b	b	$2v_{ab}/3$	0	$2i_A/\sqrt{3}$	$-\pi/6$	$V_i/\sqrt{3}$
	-1	b	a	a	$-2v_{ab}/3$	0	$-2i_A/\sqrt{3}$	$-\pi/6$	
	+2	b	c	c	$2v_{bc}/3$	0	$2i_A/\sqrt{3}$	$\pi/2$	
	-2	c	b	b	$-2v_{bc}/3$	0	$-2i_A/\sqrt{3}$	$\pi/2$	
	+3	c	a	a	$2v_{ca}/3$	0	$2i_A/\sqrt{3}$	$7\pi/6$	
	-3	a	c	c	$-2v_{ca}/3$	0	$-2i_A/\sqrt{3}$	$7\pi/6$	
	+4	b	a	b	$2v_{ab}/3$	$2\pi/3$	$2i_B/\sqrt{3}$	$-\pi/6$	
	-4	a	b	a	$-2v_{ab}/3$	$2\pi/3$	$-2i_B/\sqrt{3}$	$-\pi/6$	
	+5	c	b	c	$2v_{bc}/3$	$2\pi/3$	$2i_B/\sqrt{3}$	$\pi/2$	
	-5	b	c	b	$-2v_{bc}/3$	$2\pi/3$	$-2i_B/\sqrt{3}$	$\pi/2$	
	+6	a	c	a	$2v_{ca}/3$	$2\pi/3$	$2i_B/\sqrt{3}$	$7\pi/6$	
	-6	c	a	c	$-2v_{ca}/3$	$2\pi/3$	$-2i_B/\sqrt{3}$	$7\pi/6$	
	+7	b	b	a	$2v_{ab}/3$	$4\pi/3$	$2i_C/\sqrt{3}$	$-\pi/6$	
	-7	a	a	b	$-2v_{ab}/3$	$4\pi/3$	$-2i_C/\sqrt{3}$	$-\pi/6$	
	+8	c	c	b	$2v_{bc}/3$	$4\pi/3$	$2i_C/\sqrt{3}$	$\pi/2$	
	-8	b	b	c	$-2v_{bc}/3$	$4\pi/3$	$-2i_C/\sqrt{3}$	$\pi/2$	
	+9	a	a	c	$2v_{ca}/3$	$4\pi/3$	$2i_C/\sqrt{3}$	$7\pi/6$	
	-9	c	c	a	$-2v_{ca}/3$	$4\pi/3$	$-2i_C/\sqrt{3}$	$7\pi/6$	
Group II	0 _a	a	a	a	0	x	0	x	V_i
	0 _b	b	b	b	0	x	0	x	
	0 _c	c	c	c	0	x	0	x	
Group III	r ₁	a	b	c	V_i	α_i	I_o	β_o	0
	r ₂	a	c	b	V_i	$-\alpha_i$	I_o	$-\beta_o$	
	r ₃	c	a	b	V_i	$2\pi/3+\alpha_i$	I_o	$-2\pi/3+\beta_o$	
	r ₄	b	a	c	V_i	$2\pi/3-\alpha_i$	I_o	$2\pi/3-\beta_o$	
	r ₅	b	c	a	V_i	$-2\pi/3+\alpha_i$	I_o	$2\pi/3+\beta_o$	
	r ₆	c	b	a	V_i	$-2\pi/3-\alpha_i$	I_o	$-2\pi/3-\beta_o$	

표 1을 보면 매트릭스 컨버터(130)는 모두 27개의 스위칭 패턴을 제공하며 이를 3개 그룹(Group I, Group II, Group III)으로 구분할 수 있다. 이하에서는 설명의 편의상 그룹 1, 그룹 2, 그룹 3이라 하여 설명한다. 여기서, 그룹 1은 3상 입력전원 가운데 2상만이 부하에 연결된 상태를 말하고, 그룹 2는 1상의 입력 전원만이 부하에 연결된 상태를 말하고, 그룹 3은 모든 3상 입력 전원이 부하에 연결된 상태를 말한다.

상기 3개 그룹으로 구분되는 그룹 1 내지 그룹 3에 대한 공통모드전압은 다음의 식 1과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 1

$$v_{cm} = \begin{cases} V_i/\sqrt{3} & \text{Group I} \\ V_i & \text{Group II} \\ 0 & \text{Group III} \end{cases}$$

식 1에서 V_i 는 3상 입력 전압의 최대값을 말한다.

표 1과 식 1을 보면, 매트릭스 컨버터용 전력변환장치(100)에서는 그룹 1과 그룹 2에 있는 전압 벡터만을 이용하여 매트릭스 컨버터(130)의 스위칭 동작을 제어하고 있다.

이와 같이 그룹 1 및 그룹 2만을 이용하여 매트릭스 컨버터(130)를 제어하는 것은 그룹 3의 전압 벡터가 회전벡터이기 때문에 출력전압을 생성하기 위한 전압벡터로 사용할 경우 재현성을 가질 수 없었기 때문이었다. 결국

종래에는 그룹 1 및 그룹 2를 이용하여 매트릭스 컨버터를 제어할 수밖에 없었고, 따라서 공통모드전압 값을 '0'과 같이 아주 작게 만드는 것이 불가능하였다. 따라서 상술한 바와 같이 축 전압(shaft voltage), 누설 전류(leakage current) 및 베어링 전류(bearing current)의 손상을 초래하게 된다.

그렇기 때문에 본 발명은 그룹 3의 회전 벡터를 이용하여 매트릭스 컨버터(130)의 공통모드전압 값이 제로 값을 가지도록 하는 것이고, 이어서는 이를 구체적으로 설명하기로 한다.

우선 그룹 3의 회전벡터에 대해 도 2를 참조하여 살펴보기로 한다.

도 2는 본 발명의 실시 예에 따라 그룹 3의 회전벡터를 설명하기 위한 벡터 구성도이다.

도 2에서 (a)는 회전전압의 벡터 구성도이고, (b)는 회전전류의 벡터 구성도이다. 이를 살펴보면, 그룹 3에서 회전벡터는 2가지 유형으로 구분할 수 있다. 하나는 반시계 방향으로 회전하는 첫 번째 벡터들과 시계방향으로

회전하는 두 번째 벡터들이다. 첫 번째 벡터들은 $\vec{r}_1, \vec{r}_3, \vec{r}_5$ 이고, 두 번째 벡터들은 $\vec{r}_2, \vec{r}_4, \vec{r}_6$ 이다.

본 발명에서는 상기한 6개의 회전벡터 가운데 5개의 회전벡터만이 이용된다. 이용되지 않는 나머지 1개는 출력 왜곡을 최소화하도록 기준 출력전압 벡터로부터 가장 먼 회전벡터이다.

한편 스위칭 패턴 구성은 $\alpha\beta$ 좌표 상에서 섹터(sector)를 나타내는 도 3을 참조하여 입력전압벡터와 출력전압 벡터가 모두 섹터 1에 있는 경우라면, 스위칭 패턴 구성은 r_1, r_2, r_3, r_4 및 r_5 을 이용하게 된다. 스위칭 패턴 구성은 표 1에서와 같이 그룹 3의 경우 총 6개가 제공된다. 즉 r_1, r_2, r_3, r_4, r_5 및 r_6 이다. 그러나 상기와 같이 입력전압벡터와 출력전압벡터가 모두 섹터 1에 있는 경우에는 r_6 패턴은 사용하지 않는 것이다.

이처럼 입력전압벡터와 출력전압벡터가 모두 섹터 1에 있을 때의 스위칭 패턴은 도 4에 도시하였다.

한편, 아래의 표 2는 입력전압과 출력전압의 벡터 위치에 따른 한 주기 동안 선택된 스위칭 패턴을 보인 구성이다.

표 2

		Input Voltage Vector Sector																													
		1					2					3					4					5					6				
Output Voltage Vector Sector	1	r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅	r ₁	r ₅	r ₆	r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₁	r ₆	r ₃	r ₆	r ₃	r ₂	r ₅	r ₄	r ₃	r ₆	r ₅	r ₂	r ₁	r ₂	r ₁	r ₄	r ₃	r ₆
	2	r ₄	r ₃	r ₂	r ₁	r ₆	r ₁	r ₆	r ₅	r ₄	r ₃	r ₆	r ₁	r ₄	r ₅	r ₂	r ₅	r ₂	r ₃	r ₆	r ₁	r ₂	r ₅	r ₆	r ₃	r ₄	r ₃	r ₄	r ₁	r ₂	r ₅
	3	r ₃	r ₄	r ₅	r ₆	r ₁	r ₆	r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₁	r ₆	r ₃	r ₂	r ₅	r ₂	r ₅	r ₄	r ₁	r ₆	r ₅	r ₂	r ₁	r ₄	r ₃	r ₄	r ₃	r ₆	r ₅	r ₂
	4	r ₆	r ₅	r ₄	r ₃	r ₂	r ₃	r ₂	r ₁	r ₆	r ₅	r ₂	r ₃	r ₆	r ₁	r ₄	r ₁	r ₄	r ₅	r ₂	r ₃	r ₄	r ₁	r ₂	r ₅	r ₆	r ₅	r ₆	r ₃	r ₄	r ₁
	5	r ₅	r ₆	r ₁	r ₂	r ₃	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅	r ₆	r ₃	r ₂	r ₅	r ₄	r ₁	r ₄	r ₁	r ₆	r ₃	r ₂	r ₁	r ₄	r ₃	r ₆	r ₅	r ₆	r ₅	r ₆	r ₃	r ₄
	6	r ₂	r ₁	r ₆	r ₅	r ₄	r ₅	r ₄	r ₃	r ₂	r ₁	r ₄	r ₅	r ₂	r ₃	r ₆	r ₃	r ₆	r ₁	r ₄	r ₅	r ₆	r ₃	r ₄	r ₁	r ₂	r ₁	r ₂	r ₅	r ₆	r ₃
Duty cycles		d _I	d _{II}	d _{III}	d _{IV}	d _V	d _I	d _{II}	d _{III}	d _{IV}	d _V	d _I	d _{II}	d _{III}	d _{IV}	d _V	d _I	d _{II}	d _{III}	d _{IV}	d _V	d _I	d _{II}	d _{III}	d _{IV}	d _V	d _I	d _{II}	d _{III}	d _{IV}	d _V

이를 보면, 입력전압과 출력전압의 벡터 위치, 즉 섹터 1 내지 섹터 6에 있는 경우의 각각에 대해 r_1, r_2, r_3, r_4, r_5 및 r_6 중 어느 하나가 제외된 상태의 스위칭 패턴 구성을 확인할 수 있다. 이처럼 그룹 3에 있는 5개의 회전벡터만을 사용하면 출력전압과 입력전류를 동시에 제어할 수 있게 된다.

다음에는 상기 표 2에 나타난 스위칭 패턴 구성을 참조하여 회전벡터의 듀티 사이클(duty cycles)에 대해 살펴보기로 한다.

스위칭 패턴을 일반화하기 위하여 입력전압벡터 및 출력전압벡터를 $k_i(k_i = 1, \dots, 6)$ 과 $k_o(k_o = 1, \dots, 6)$ 로 나타내기

로 한다. 그러면, $0 \leq \alpha_i < \pi/3$, $0 \leq \alpha_o < \pi/3$ 일 경우, k_i 과 k_o 는 모두 1이 된다. 즉 $k_i = 1, k_o$

= 1이다. 여기서 상기 α_i 는 입력전압벡터 위상각, β_i 는 입력전류벡터 위상각이다.

그 상태에서 듀티 사이클을 찾기 위해서는 우선적으로 다음 수학식 2 내지 수학식 6의 방정식이 이용된다.

수학식 2

$$d_I + d_{II} + d_{III} + d_{IV} + d_V = 1$$

수학식 3

$$d_I \cos(\alpha_i - \alpha_o) + d_{II} \cos(-\alpha_i - \alpha_o) + d_{III} \cos(2\pi/3 + \alpha_i - \alpha_o) + d_{IV} \cos(2\pi/3 - \alpha_i - \alpha_o) + d_V \cos(-2\pi/3 + \alpha_i - \alpha_o) = q$$

여기서 q 는 V_o/V_i 로서 전압 전송비(voltage transfer ratio)를 말한다.

수학식 4

$$d_I \sin(\alpha_i - \alpha_o) + d_{II} \sin(-\alpha_i - \alpha_o) + d_{III} \sin(2\pi/3 + \alpha_i - \alpha_o) + d_{IV} \sin(2\pi/3 - \alpha_i - \alpha_o) + d_V \sin(-2\pi/3 + \alpha_i - \alpha_o) = 0$$

수학식 5

$$d_I \cos \beta_i - d_{II} \cos(-\beta_i) + d_{III} \cos(2\pi/3 + \beta_i) - d_{IV} \cos(2\pi/3 - \beta_i) + d_V \cos(-2\pi/3 + \beta_i) = 0$$

수학식 6

$$d_I \sin \beta_i - d_{II} \sin(-\beta_i) + d_{III} \sin(2\pi/3 + \beta_i) - d_{IV} \sin(2\pi/3 - \beta_i) + d_V \sin(-2\pi/3 + \beta_i) = 0$$

상기 식 2는 샘플링 주기의 종료에 관한 것이다. 식 3 및 식 4는 하나의 방향 및 그와 직각 방향에서의 기준 출력 전압 벡터를 제어하는데 요구되는 식이다. 식 5 및 식 6은 입력 역률(power factor)를 제어하는데 사용되는 식이다.

그리고 상기 식 2 내지 식 6으로부터 다음 식 7 내지 식 11과 같이 듀티 사이클을 획득할 수 있다.

수학식 7

$$d_I = \frac{1}{3} \left[1 - 2q \frac{\cos(\pi/3 - \alpha_o) \cos \beta_i}{\cos \delta_i} + \sqrt{3}q \frac{\sin(2\pi/3 - \alpha_o + \beta_i)}{\cos \delta_i} \right]$$

수학식 8

$$d_{II} = \frac{q}{\sqrt{3}} \times \frac{\sin(2\pi/3 - \alpha_o - \beta_i)}{\cos \delta_i}$$

[0069]

수학식 9

$$d_{III} = \frac{1}{3} \left[1 - 2q \frac{\cos(\pi/3 - \alpha_o) \cos \beta_i}{\cos \delta_i} + \sqrt{3}q \frac{\sin(\alpha_o - \beta_i)}{\cos \delta_i} \right]$$

[0070]

수학식 10

$$d_{IV} = \frac{q}{\sqrt{3}} \times \frac{\sin(\alpha_o + \beta_i)}{\cos \delta_i}$$

[0071]

수학식 11

$$d_V = \frac{1}{3} \left[1 - 2q \frac{\cos(\pi/3 - \alpha_o) \cos \beta_i}{\cos \delta_i} \right]$$

[0072]

여기서, $\delta_i = \alpha_i - \beta_i$ 로서 입력전류 변위각(Input current displacement angle)이고, 상술한 바와 같이 α_i 는 입력전압벡터 위상각, β_i 는 입력전류벡터 위상각을 의미한다.

[0073]

한편, 상기 식 7 내지 식 11은 다음 식 12 내지 16과 같이 나타낼 수 있다.

[0074]

수학식 12

$$d_I = \frac{1}{3} \left[1 - 2q \frac{\cos(\pi/3 - \tilde{\alpha}_o) \cos \tilde{\beta}_i}{\cos \delta_i} + \sqrt{3}q \frac{\sin(2\pi/3 - \tilde{\alpha}_o + \tilde{\beta}_i)}{\cos \delta_i} \right]$$

[0075]

수학식 13

$$d_{II} = \frac{q}{\sqrt{3}} \times \frac{\sin(2\pi/3 - \tilde{\alpha}_o - \tilde{\beta}_i)}{\cos \delta_i}$$

[0076]

수학식 14

$$d_{III} = \frac{1}{3} \left[1 - 2q \frac{\cos(\pi/3 - \tilde{\alpha}_o) \cos \tilde{\beta}_i}{\cos \delta_i} + \sqrt{3}q \frac{\sin(\tilde{\alpha}_o - \tilde{\beta}_i)}{\cos \delta_i} \right]$$

수학식 15

$$d_{IV} = \frac{q}{\sqrt{3}} \times \frac{\sin(\tilde{\alpha}_o + \tilde{\beta}_i)}{\cos \delta_i}$$

수학식 16

$$d_V = \frac{1}{3} \left[1 - 2q \frac{\cos(\pi/3 - \tilde{\alpha}_o) \cos \tilde{\beta}_i}{\cos \delta_i} \right]$$

여기서 상기 식 12 내지 식 16에 기재된 $\tilde{\alpha}_o$ 과 $\tilde{\beta}_1$ 은 다음 식 17 및 식 18로 정의할 수 있다.

수학식 17

$$k_1 = (\text{int})(k_o \times 0.5); \tilde{\alpha}_o = (-1)^{k_o} (k_1 \times 2\pi/3 - \alpha_o), (k_1 = 0, 1, 2, 3)$$

수학식 18

$$k_2 = (\text{int})(k_i \times 0.5); \tilde{\beta}_i = (-1)^{k_i} (k_2 \times 2\pi/3 - \beta_i), (k_2 = 0, 1, 2, 3)$$

한편 상기 식 12 내지 식 16에 기재된 듀티 사이클을 구하는 식을 이용하면 입력 전압과 출력 전압의 벡터 위치에 따라 상기 표 2의 경우 수를 모두 적용할 수 있다. 즉 입력 전압이 섹터 2에 위치하고 출력 전압이 섹터 1에 위치할 경우, 스위칭 패턴 구성은 r_4, r_5, r_6, r_1, r_2 가 선택된다. 그리고 r_4, r_5, r_6, r_1, r_2 와 대응하는 회전벡터의 듀티 사이클은 식 12 내지 식 16에 $k_i = 2$ 를 입력하고, $k_o = 1$ 을 입력하여 계산하면 된다.

다음에는 본 발명의 결과를 평가하기 위해 일련의 조건에서 실험을 수행하고 그 결과를 살펴보기로 한다.

실험 조건으로는, 패시브 RL 부하를 가지는 3상 매트릭스 컨버터에 3상 전원을 공급하는 형태의 전력변환장치이다. 그리고 파워단은 18개의 이산 전력용 반도체(IGBT)가 사용된다. 또한 디지털 제어 시스템은 고정 소수점 디지털 신호 프로세서 및 복합 프로그래머블 로직 장치로 구현하였다. 아울러 각 파라미터 값은 다음 표 3과 같다.

표 3

파라미터	값
Three phase power supply	100V/60Hz(phase-to-neutral)
입력필터(input filter)	$L_f = 1.4\text{mH}$, $C_f = 22\mu\text{H}$, $R_d = 30\Omega$

Three-phase load	R=25Ω, L=20mH
Output frequency(f_o)	50Hz
Voltage transfer ratio(q)	0.45
Input power factor of MC(COS δ_i)	1
PWM sampling frequency(f_s)	10kHz($T_s=100\mu s$)

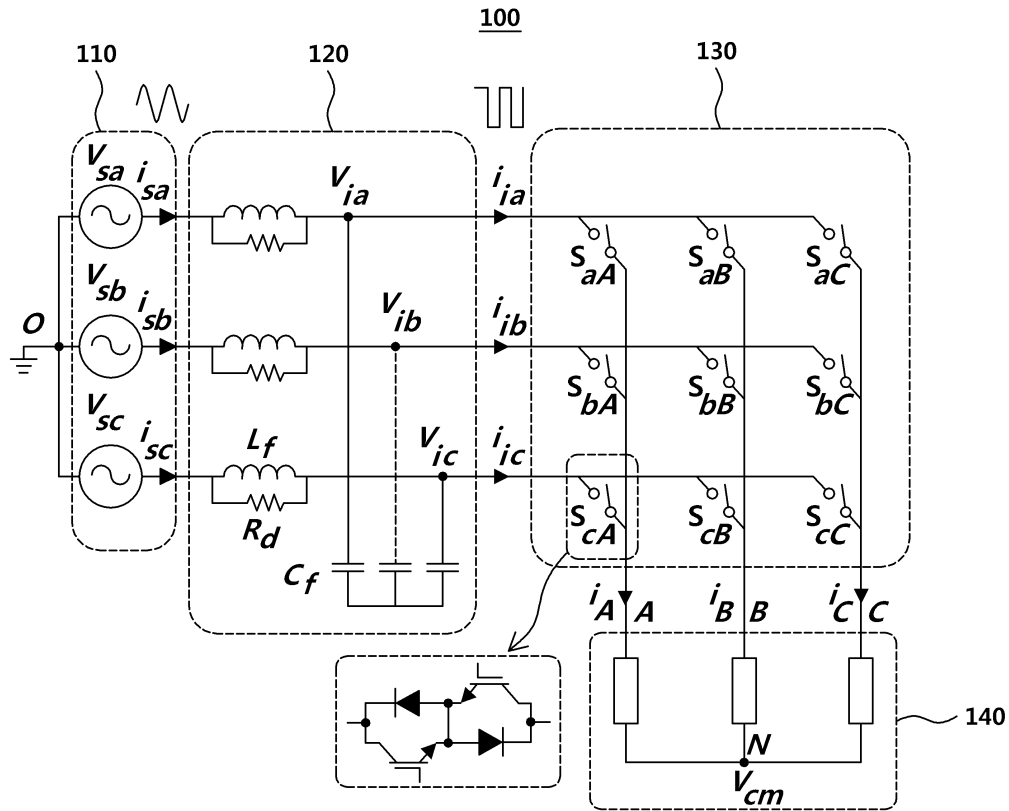
- [0087] 실험 결과 도면은 도 5 및 도 6에 나타났다.
- [0088] 도 5는 입력 전압과 출력 전류의 파형도로서, (a)는 공급단 전압, (b)는 필터링된 입력 전류이다. 이를 보면 필터링된 입력 전류는 입력 필터에 의하여 아주 작은 리플 성분만 가지는 것을 알 수 있다.
- [0089] 도 6은 출력 선간 전압과 출력 전류의 파형도로서, (a)는 출력 선간 전압, (b)는 출력 전류이다. 이를 보면 출력 전류는 좋은 정현파가 제공됨을 알 수 있다.
- [0090] 한편, 도 7은 본 발명에 따른 공통모드전압을 나타내고 있다. 도 6의 (a)는 하나의 샘플링 주기 동안의 공통모드전압의 파형도이고, (b)는 공통모드전압의 FFT(fast Fourier transform)이다.
- [0091] 이를 보면 약간의 노이즈(noise)가 포함되긴 하였지만 이를 제외하면 공통모드전압은 거의 영(zero) 값을 가짐을 알 수 있다. 그렇기 때문에, 공통모드전압에 의해 초래될 수 있는 베어링 전류 손상, 누설 전류, 전자기 간섭 등을 효과적으로 줄일 수 있는 것이다.
- [0092] 이상에서 상세히 설명한 바와 같이 본 발명에 따르면, 매트릭스 컨버터의 스위칭 형태 중 그룹 3의 회전 벡터를 이용하면서 입력 전압과 출력 전압 벡터의 섹터 위치에 따라 대응하는 스위칭 동작이 이루어지게 함으로서 매트릭스 컨버터의 공통모드전압 값을 거의 영(zero)이 되도록 함을 알 수 있다.
- [0093] 이상과 같이 본 발명의 도시된 실시 예를 참고하여 설명하고 있으나, 이는 예시적인 것들에 불과하며, 본 발명이 속하는 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 요지 및 범위에 벗어나지 않으면서도 다양한 변형, 변경 및 균등한 타 실시 예들이 가능하다는 것을 명백하게 알 수 있을 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적인 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

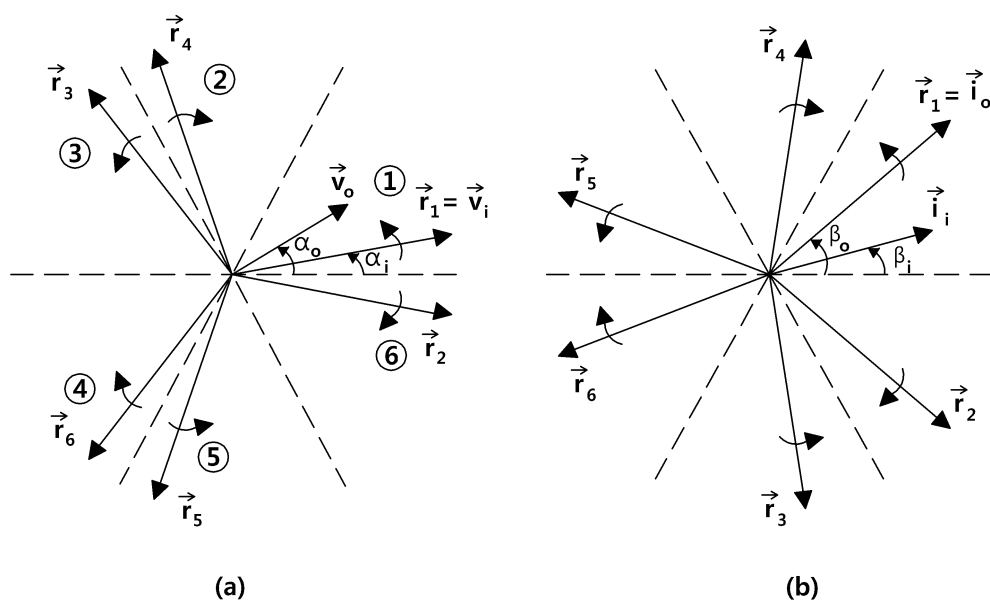
- [0094] 120 : 상용교류전원단 120 : 입력필터
130 : 매트릭스 컨버터 140 : 부하단

도면

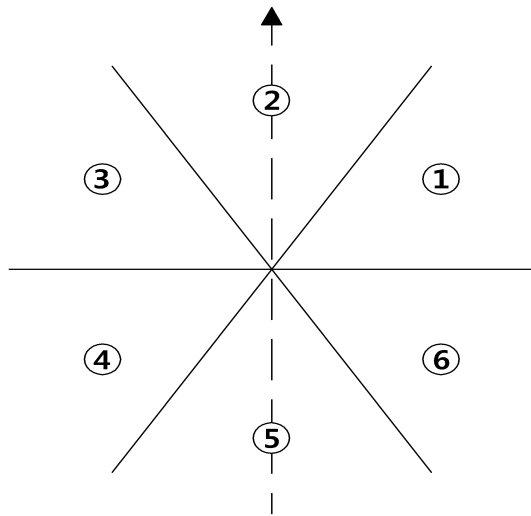
도면1



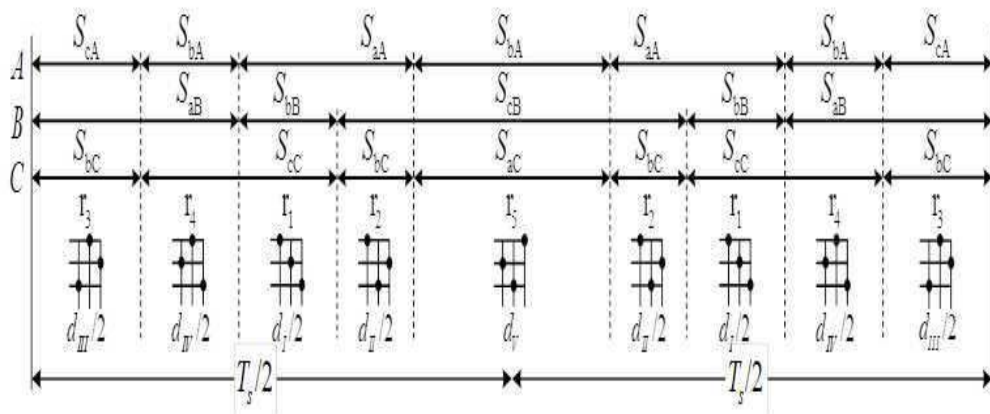
도면2



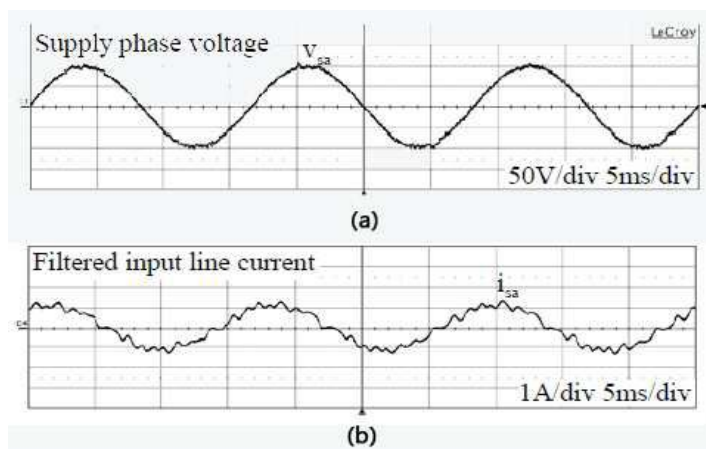
도면3



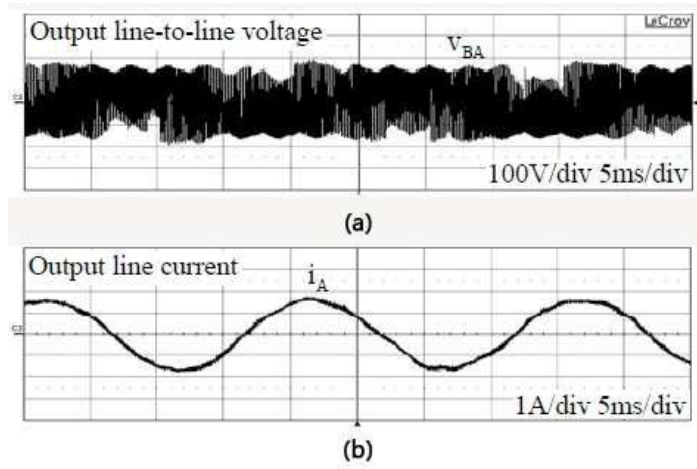
도면4



도면5



도면6



도면7

