creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

工學碩士 學位論文

매트릭스 컨버터 토폴로지를 이용한 DC/DC 컨버터에 관한 연구

A Study on The DC/DC Converter
using Matrix Converter Topology

指導敎授 金 成 煥

2017年 2月

韓國海洋大學校 大學院

機關시스템工學科

金 成 完

本 論文을 金成完의 工學碩士 學位論文으로 認准함

委員長 工學博士 吳 世 眞 印

委 員 工學博士 尹 璟 國 印

委 員 工學博士 金 成 煥 印

2016年 12月 26日

韓國海洋大學校 大學院

機關시스템工學科

金 成 完

Collection @ kmou

목 차

목 차 i
List of Figures iii
List of Tables v
Abstract vi
기호설명 viii

제 1 장 서 론 1
1.1 연구배경 1
1.2 연구내용 3
1.3 논문의 구성 4

제 2 장 매트릭스 컨버터 5
2.1 단상 매트릭스 컨버터 (SPMC) 8
2.2 삼상 매트릭스 컨버터 (TPMC) 9
2.2.1 직접 매트릭스 컨버터 11
2.2.2 간접 매트릭스 컨버터 13

제 3 장 매트릭스 컨버터형 DC/DC 컨버터 14
3.1 기존의 DC/DC 컨버터 14
3.2 매트릭스 컨버터형 DC/DC 컨버터 15

제 4 장 시뮬레이션 27

Collection @ kmou

4.1 기존의 DC/DC 컨버터 27
4.2 매트릭스 컨버터형 DC/DC 컨버터 31
4.2.1 계단전압특성 31
4.2.2 전압증가시 응답특성 35
4.2.3 전압 극성 반전특성 39

제 5 장 결 론 42

참고문헌 43

Collection @ kmou

List of Figures

Fig. 2-1 Schematic of Cyclo-converter
Fig. 2-2 AC/AC single phase matrix converter topology
Fig. 2-3 Bidirectional Switch
Fig. 2-4 Single-phase matrix converter circuit configuration
Fig. 2-5 Circuit diagram of 3 phase matrix converter
Fig. 2-6 27 switching status of 3 phase matrix converter
Fig. 2-7 Conventional AC/DC/AC Converter (Indirect)
Fig. 2-8 AC/AC Matrix Converter (Direct)
Fig. 2-9 AC/DC/AC Matrix Converter (Indirect)
Fig. 3-1 Conventional DC/DC Converter
Fig. 3-2 DC/DC Converter using Matrix converter
Fig. 3-3 PWM waveform
Fig. 3-4 First quadrant operation
Fig. 3-5 Output current waveform
Fig. 3-6 Second quadrant operation
Fig. 3-7 Output current waveform
Fig. 3-8 Third quadrant operation
Fig. 3-9 Output current waveform
Fig. 3-10 Fourth quadrant operation
Fig. 3-11 Output current waveform
Fig. 4-1 PSIM diagram for conventional DC/DC converter
Fig. 4-2 Voltage & currents of conventional DC/DC converter

Collection @ kmou

Fig. 4-3 Load current and RPM of Motor
(Conventional DC/DC Converter)
Fig. 4-4 Simulation diagram for Matrix topology DC/DC converter
Fig. 4-5 Voltage & currents of Matrix topology DC/DC converter
Fig. 4-6 Load current and RPM of Motor
(Matrix topology DC/DC converter)
Fig. 4-7 Voltage & currents of Matrix topology DC/DC converter
(Response characteristic with increasing voltage)
Fig. 4-8 Load current and RPM of Motor
(Matrix topology DC/DC converter)
Fig. 4-9 Voltage & currents of Matrix topology DC/DC converter
(Reversal characteristic of voltage polarity)
Fig. 4-10 Load current and RPM of Motor
(Reversal characteristic of voltage polarity)

Collection @ kmou

List of Tables

Table 3.1 Table for switching of 4 quadrant operation

Table 4.1 System parameters used in DC/DC converter

Table 4.2 System parameters used in Motor of DC/DC converter

Collection @ kmou

A Study on The DC/DC Converter using Matrix Converter Topology

Seong-Wan Kim

Department of Marine Engineering
Graduate School of
Korea Maritime and Ocean University

Abstract

Thesedays, propulsion system for ship has been developed to achieve high efficiency and environmental regulation. Emission regulation for atmosphere is hot issue for main propulsion. The countermeasures for satisfying environmental requirement are Emission reduction system, different Fuel type or Electric propulsion system. The efficiency of Electric propulsion system is based on the power converting system AC/AC, AC/DC, DC/AC, DC/DC

In case of DC/DC converter, there are different types of conventional DC/DC converter which use variable topologies to supply required DC voltage by using transistors and capacitors. However conventional DC/DC converter has limited operation method due to its configuration with diode.

This paper describes modeling and simulation of DC/DC converter using M atrix converter. This converter also has four quadrant operation, thanks to its function, the bidirectional operation is accomplished. The

Collection @ kmou

performance between Conventional DC/DC converter and Matrix topology DC/DC converter is the same. By having 8 equal switches, there are additional operation mode rather than conventional DC/DC converter. To control output voltage, DC/DC converter with Matrix converter uses pulse width modulation method. This topology nowadays widely applied in power distribution system, UPS, Solar power system and traction motor.

In this paper by using PSIM programme, the performance of stair case voltage characteristic, response characteristic with increasing voltage and reversal characteristic of voltage polarity are presented. And it will be compared with conventional DC/DC Converter

Collection @ kmou

기 호 설 명

C_{dc}	: 직류단 커패시터[F]
$i_{OFF}(t^{'})$	: 스위치 OFF 이후의 전류
L	: 인덕터 [H]
L_a	: 아마추어 권선 인덕턴스[H]
L_f	: 계자 권선 인덕턴스 [H]
n	: RPM
R	: 저항 [Ω]
R_a	: 아마추어 권선저항[Ω]
R_f	: 계자권선저항 [Ω]
R_L	: 부하 저항 [Ω]
$S1a, S1b$	: 스위치
T_C	: 일정 Torque [N-m]
$V_i(t)$	: 입력 전압 [V]
$V_O(t)$	: 출력 전압 [V]
V_{ref}	: Reference 전압 [V]
V_t	: 정격 터미널 전압 [V]
V_{tri}	: Triangular 전압 [V]
$Amplitude$	: 진폭
CO_2	: 이산화탄소
EGR	: Exhaust Gas Recirculation
IM	: Induction Motor
$Moment of\ Inertia$	: 관성 모멘트
PWM	: Pulse width Modulation
RPM	: Revolution per minute
SCR	: Selective Catalystic Reduction

Collection @ kmou

제 1 장 서 론

1.1 연구배경

오늘날 환경문제의 부각으로 인해 국제사회는 환경을 보호하기위한 각종 규제를 시행함으로써 에너지의 생산단계에서 부터 소비단계에 이르기까지 에너지 효율과 배출가스에 대한 문제를 끊임없이 개선해 나가고 있다.

이로 인해 배출가스에 대한 규제가 날로 강화되며 해상에서는 연안에 근접하는 선박의 배출가스에 대한 규제(Emission Control Area), 대양항해 선박에 대한 배출가스의 규제 또한 국제사회의 공조 속에 발 빠르게 진행되고 있다.

이는 기기의 효율뿐만 아니라 배출가스의 처리문제도 이슈화되고 있으며 배출가스내의 환경오염물질을 줄이기 위한 기술은 원동기측면(엔진 성능 개선, 엔진 운전 모드 변경)과 추가적인 장비(Scrubber, SCR, EGR)를 통해 많은 기술이 발전해왔고 사용하는 연료의 변화 등을 통해서도 일부 이룰 수가 있었다.

하지만 배출가스 제한구역만을 항해하는 선박에 있어서 석유화학물질을 원료로 하는 원동기로는 이러한 환경오염물질 저감방안대책에 있어 그 실효성이 제한되거나 이를 보완하기위해 추가적인 기기를 장착할 경우 발생되는 설비비와 운영비는 전체적인 시스템의 효율을 떨어뜨린다고 볼 수 있다.

이에 해상에서의 전기추진 시스템이 선보이게 되며 Hybrid선박 또한 선을 보이고 있다. 전기시스템은 전기를 사용한다는 측면에서 배출가스의 규제로부터 자유로울 수는 있으나 이 또한 전기를 발전기(원동기)로부터 공급받아야 하며 이를 보관하는 battery 또한 필요하게 되었다.

Collection @ kmou

반도체 산업에 있어서 반도체 소자의 발전은 직류전동기 사용뿐만 아니라 대마력에서의 교류전동기의 사용을 가능하게 하였고 각종 제어기법의 발달로 인해 역률 및 고조파 등이 점차 개선되고 있다. 이로 인해 전동기는 일반 자동차에서부터 해상용 대마력 시장에까지 넓은 범위에서 사용이 가능하지만 전기를 공급받아야 한다는 전제조건이 필요하다.
전기자동차의 경우 AC를 받아 이를 DC로 변환한 뒤 다시 AC로 변환하여 사용하게 되며 선박의 경우 발전기로부터 생산된 AC를 전력변환장치를 통해 주파수가 변환된 교류를 공급하게 된다. 즉 전력변환장치가 전기기기의 효율에 있어 매우 중요한 요소이다.
선박에서는 여기에 추가하여 신재생 에너지의 기술개발을 통해 추가적인 전원을 공급받을 경우 battery가 추가적인 장치로 필요하게 되며 이 경우 선박의 전원은 AC보다는 DC가 유리한 부분이 있다. 이러한 DC GRID 선박의 활용에 있어서 DC/DC 컨버터의 기술을 필요로 하며 육상에서도 전기자동차의 battery는 시간에 따라 전압이 변화를 하게 되는데 안정적인 출력을 위해서는 DC/DC 컨버터가 필요하다.

DC/DC 컨버터는 그 기능과 구성, 형식에 따라 다양하게 분류할 수 있다. 기능적으로는 입력전압보다 출력전압을 낮게 하는 BUCK 컨버터, 반대로 출력 전압을 높게 하는 BOOST 컨버터, 이외에도 두 가지 출력특성을 내는 BUCK-BOOST 컨버터 등이 있다. 이러한 회로에는 직류 단에 에너지 저장 장치를 필요로 하는데 이를 제거하고 전력변환을 가능하게 하는 방식이 매트릭스 컨버터이다.

매트릭스 컨버터 토폴로지를 이용한 DC/DC 컨버터의 경우 전력 손실이 적은 양방향 스위치를 사용하며 DC/DC 변환에 활용이 가능하다. 이러한 매트릭스 컨버터의 종류에는 직접전력변환 방식과 간접전력변환 방식으

Collection @ kmou

로 나누어지며 전력 분배, UPS, 태양열전지, 전기차 등에 널리 적용될 수 있을 것이다.

1.2 연구내용

본 논문에서는 기본적인 매트릭스 컨버터의 종류와 단상 매트릭스 컨버터 토폴로지를 이용한 DC/DC 컨버터의 모델링 및 모의실험 결과를 제시한다.

매트릭스 컨버터의 토폴로지는 1976년 Gyugi에 의해 처음으로 제안되었다. 그리고 출판된 논문들 대부분이 3상전류방식을 다루고 있었다. 단상 매트릭스 컨버터는 Zuckerberger에 의해 처음으로 고안이 되었다. 그 후 단상 매트릭스 컨버터에 관련된 다양한 연구 결과들이 발표 되었다.
매트릭스 컨버터는, PWM 양방향 제어 스위치를 기반으로 하는 강제 전류 싸이크로 컨버터를 향상시킨 것이다. 이는 에너지를 회생시킬 수도 있고, 입.출력 전류를 정현파에 가깝게 유지할 수 있을 뿐 아니라 입력역률도 개선하는 등 많은 이점들을 제공하고 있다. 매트릭스 컨버터는 기존의 컨버터가 사용하는 에너지 저장 요소를 가지지 않는다.

이 논문에서는 단상 매트릭스 컨버터 토폴로지를 사용하는 DC/DC 컨버터가 고정된 DC 전압으로부터 조정 가능한 DC 전압을 생성하는 결과를 전압 증가시 응답특성과 전압극성 반전특성으로 나누어 특징을 살펴보고 기존의 DC/DC 컨버터와 매트릭스 컨버터 토폴로지를 이용한 DC/DC컨버터의 특징을 분석한다.

Collection @ kmou

1.3 논문의 구성

1장 서론에서는 연구 배경, 연구내용을 기술하고, 2장에서는 현재 사용되고 있는 매트릭스 컨버터의 종류에 대해서 서술한다.

3장에서는 기존의 DC/DC 컨버터와 매트릭스 컨버터 토폴로지를 활용한 DC/DC 컨버터의 동작특성에 대해 알아보고 4장에서는 기존의 DC/DC컨버터와 매트릭스 토폴로지를 이용한 DC/DC 컨버터의 시뮬레이션결과를 PSIM을 활용한 계단전압특성, 전압증가 시 응답특성과 전압극성반전특성으로 나누어 결과를 알아보도록 한다.

그리고 5장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

Collection @ kmou

제 2 장 매트릭스 컨버터

매트릭스 컨버터는 DC 또는 다양한 주파수를 갖는 AC를 다양한 출력 전압을 갖는 AC, DC를 생성하기 위해 조정 가능한 네 가지 양방향 스위치의 배열을 사용하는 강제 전류 싸이크로 컨버터이다.[9]

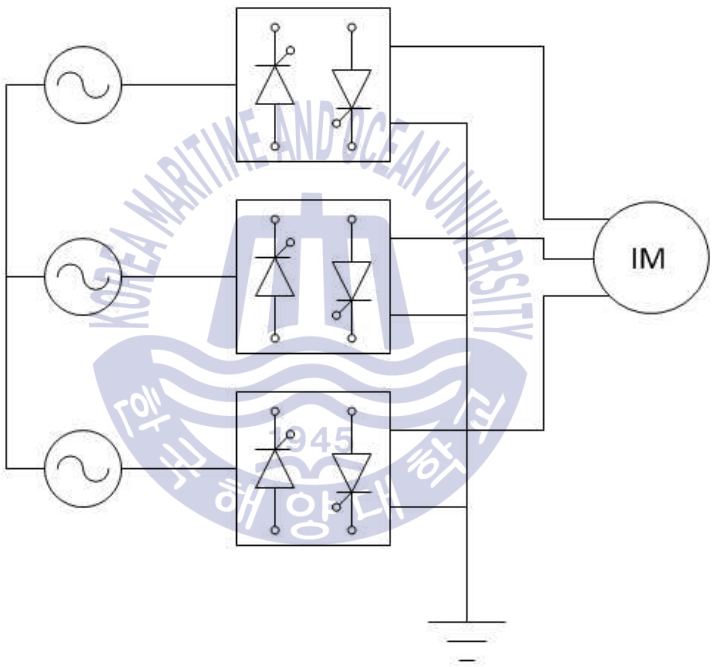


Fig. 2-1 Schematic of Cyclo-converter

기존의 강제 전류 싸이크로 컨버터의 경우 Fig. 2-1에서 보는 것과 같이 스위치 소자로 SCR 또는 IGBT를 사용하여 AC/AC 변환을 하지만 매트릭스 컨버터의 경우 스위치소자로써 IGBT를 사용하며 입력과 출력이 다

Collection @ kmou

양하다.

양방향 스위치를 사용하므로 양방향 에너지의 이동, 즉 전원 측에서 부하 측으로, 부하 측에서 전원 측으로 가능하게 되었다.

Fig. 2-2는 양방향스위치를 사용하여 단상 교류입력으로부터 임의의 전압과 주파수의 단상 교류를 출력하는 AC/AC 단상 매트릭스 컨버터의 예시를 나타낸다. 양방향 스위치의 사용으로 인해 기존의 컨버터가 고조파를 제거하기위해 사용하는 필터의 제거가 가능하여 무게와 부피의 감소라는 장점을 가져왔고 또한 4상한동작이 가능하므로 스위칭의 횟수가 기존 컨버터에 비해 감소하여 스위치의 수명을 연장하는 장점이 있다.

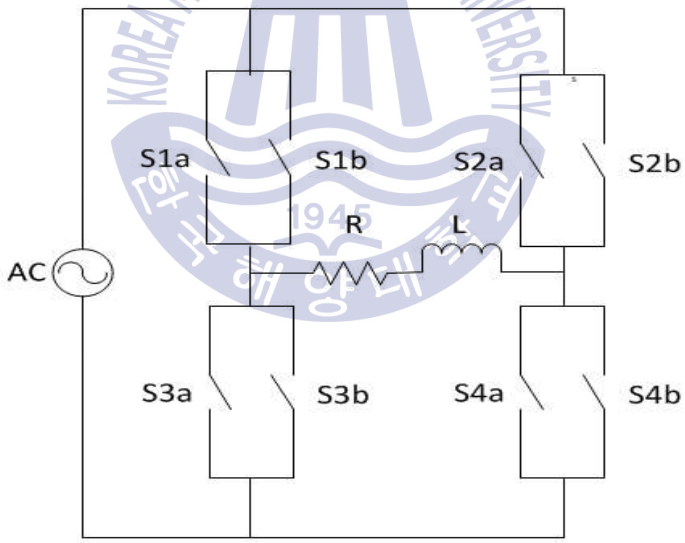


Fig. 2-2 AC/AC single phase matrix converter topology

하지만 회로를 보호하기 위해 양방향 스위치가 동시에 ON 되거나 OFF

Collection @ kmou

되는 경우가 발생하여서는 안 되며 따라서 반드시 보호회로가 추가되어야 한다. 이에 IGBT회로에 다이오드가 추가되어야 한다. 또한 왜란에 민감하고 콘트롤러가 복잡한 단점이 있다.[5],[7],[8]

매트릭스 컨버터의 스위칭 소자는 Fig. 2-3과 같이 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)와 Diode로 구성된 소자를 연결하여 사용하는데 그 종류와 방법은 2단계 Commutation기법과 4단계 Commutation기법이 있다[10]

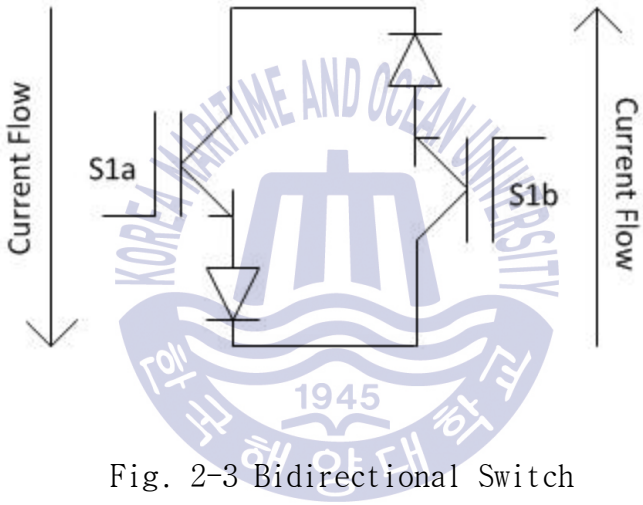


Fig. 2-3 Bidirectional Switch

IGBT의 경우 전압제어식 소자로써 +15V게이트 전압에 의해 ON되고 게이트 전압이 0V가 될 때 OFF되게 된다. 노이즈에 대한 면역을 증가시키기 위해 스위치가 소자된 기간 동안 -전압을 일부 걸어주게 된다. 또한 ON/OFF시에 큰 게이트 전류를 필요로 하지 않는다. 하지만 스위칭 기간 동안 게이트와 에미터의 용량에 의해 Peak 게이트 전류를 필요로 하게 된다. 또한 응답속도가 빠른 장점을 가지고 있다.

Collection @ kmou

2.1 단상 매트릭스 컨버터(SPMC - Single Phase Matrix Converter)

Fig. 2-4는 단상 매트릭스 컨버터의 예로 다양한 AC입력을 주파수 및 전압을 변환하여 또 다른 AC를 출력한다. 이러한 매트릭스 컨버터를 사용함으로써 전력변환기의 무게를 상당히 줄여 비용을 절감할 수 있다.[5]

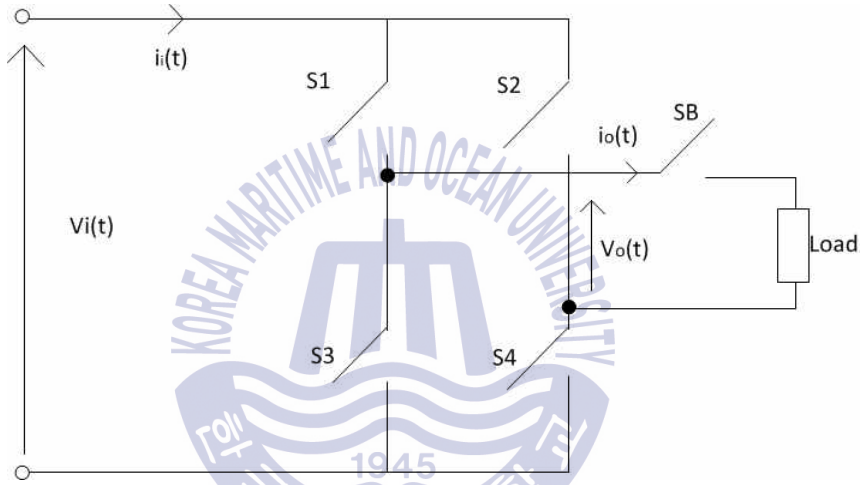


Fig.2-4 Single-phase matrix converter circuit configuration

이러한 스위칭 방식에는 다음과 같은 모드가 있다.

$$v_o(t) = \begin{cases} v_i(t) & (S1\ \ S4)\ are \in on-state-Mode1 \\ -v_i(t) & (S2\ \ S3)\ are \in on-state-Mode2 \\ 0 & (S1\ \ S2)\ are \in on-state-Mode3 \\ 0 & (S3\ \ S4)\ are \in on-state-Mode3 \end{cases}$$

S1 & S3 ON인 경우와 S2 & S4가 ON인 경우는 단락을 유발하기 때문에 선택할 수 없다.

Collection @ kmou

2.2 3상 매트릭스 컨버터(TPMC - Three Phase Matrix Converter)

Fig. 2-5는 3상 교류 매트릭스 컨버터의 예로서 AC 입력을 스위칭 소자를 이용하여 다양한 주파수 및 전압으로 변환이 가능하다. 부하로는 3상 유도전동기, 동기전동기 및 R-L 부하 등이 가능하다.

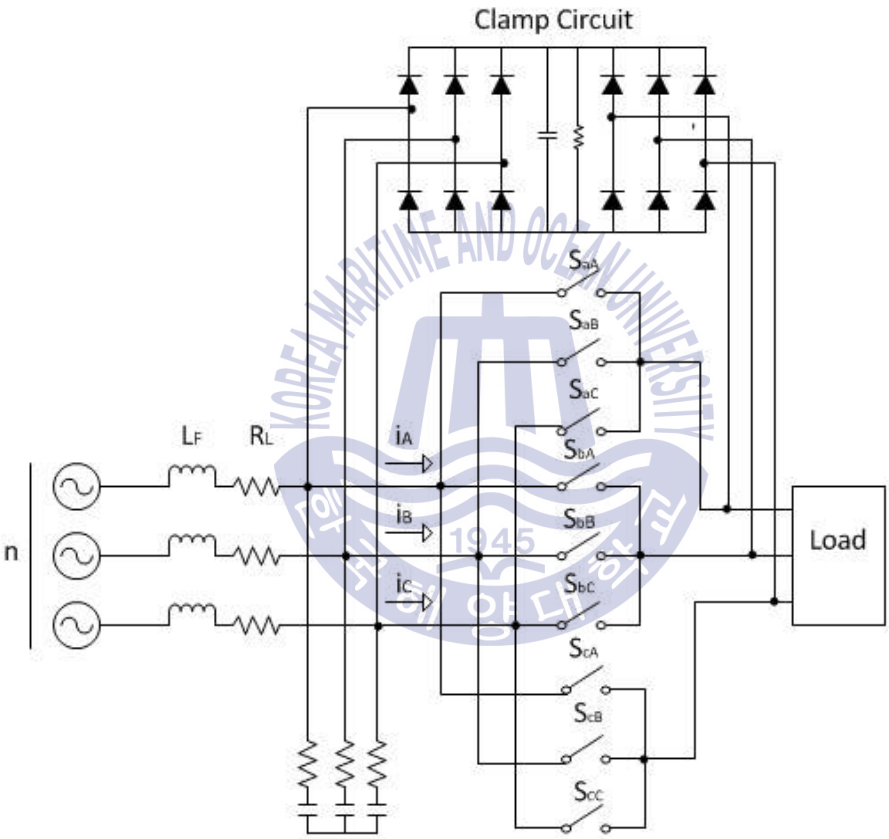


Fig. 2-5 Circuit diagram of 3 phase matrix converter

입력과 출력은 DC-Link를 거치지 않고 직접 연결되어 있으며 양방향 스위치를 통해 전원 측에서 부하 측으로 에너지를 공급하거나 부하 측에서 발생된 회생 에너지의 반환이 가능하다. 하지만 사용되는 IGBT의 개수가 많고 제어기법이 복잡하다는 단점이 있다. 또한 독자적 안전장치가

Collection @ kmou

없으므로 반드시 다이오드를 이용한 보호회로가 필요하게 되며, 정해진 스위칭 기법에 의해 소자들이 제어되어야 한다.

스위칭 소자의 경우 Fig. 2-6에 제시된 바와 같이 두 개 이상의 양방향 스위치가 동시에 ON되어서는 안되며 한 개의 그룹에서 동시에 3개의 양방향 스위치가 OFF되어서도 안 된다. 이를 고려하면 27개의 스위칭 상태가 가능하다. [8],[12]

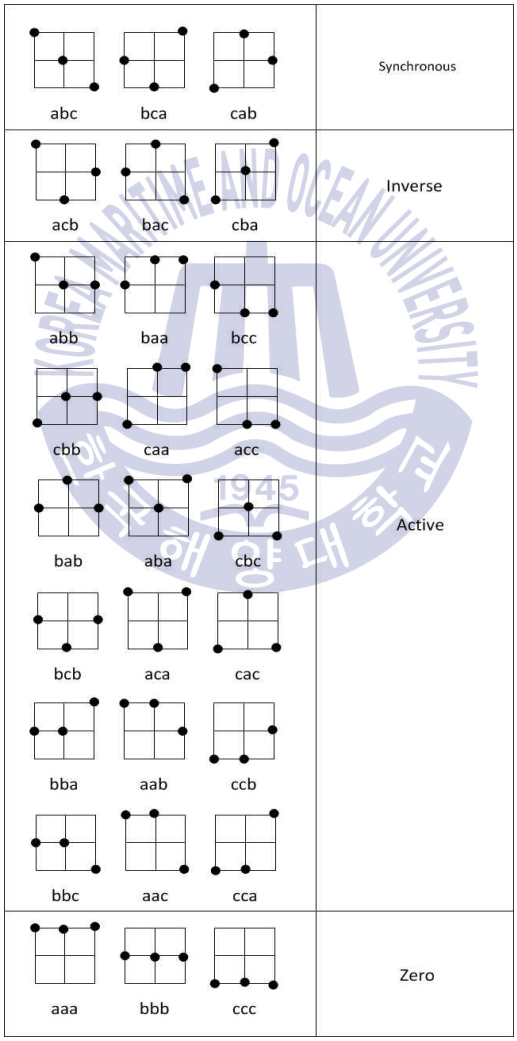


Fig.2-6 27 switching status of matrix converter

Collection @ kmou

2.2.1 직접 매트릭스 컨버터

Fig. 2-7에 제시된 기존의 전력변환장치의 경우 다이오드를 이용한 AC/DC 정류과정으로 인해 상당한 고조파가 포함되고 역률을 낮추는 단점이 있다. 이로 인해 전해 캐패시터를 설치하게 되는데 이는 많은 공간과 비용을 발생시키고, 높은 온도에서 운전될 경우 용량의 감소로 인해 수명이 단축되는 단점이 있다. 또한 입력 단에서 출력 단으로의 단방향 에너지 흐름으로 인해 부하 측에서 발생하게 되는 회생 에너지를 저장 및 사용할 수가 없다는 단점을 가지고 있다.[13]

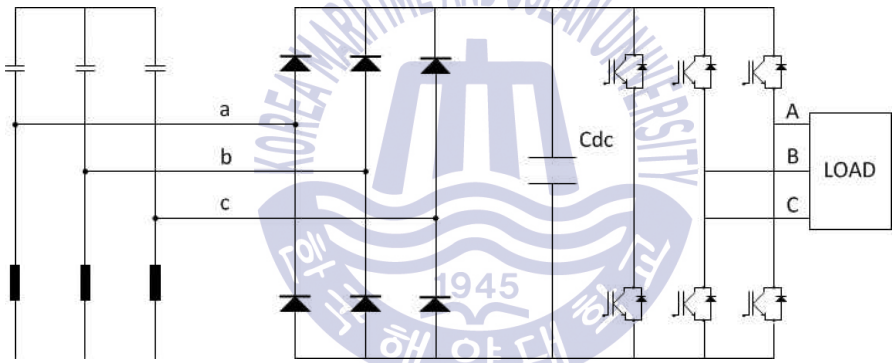


Fig. 2-7 Conventional AC/DC/AC Converter (Indirect)

이에 반해 다이오드 정류기를 제거하고, 양방향 운전이 가능하여 회생 에너지를 활용할 수 있는 것이 매트릭스 컨버터이다. 이 중에서 양방향 스위치를 이용하여 AC입력에서 AC출력으로 바로 변환하는 것을 Fig. 2-8에 나타낸 직접 매트릭스 컨버터라 부른다.

Collection @ kmou

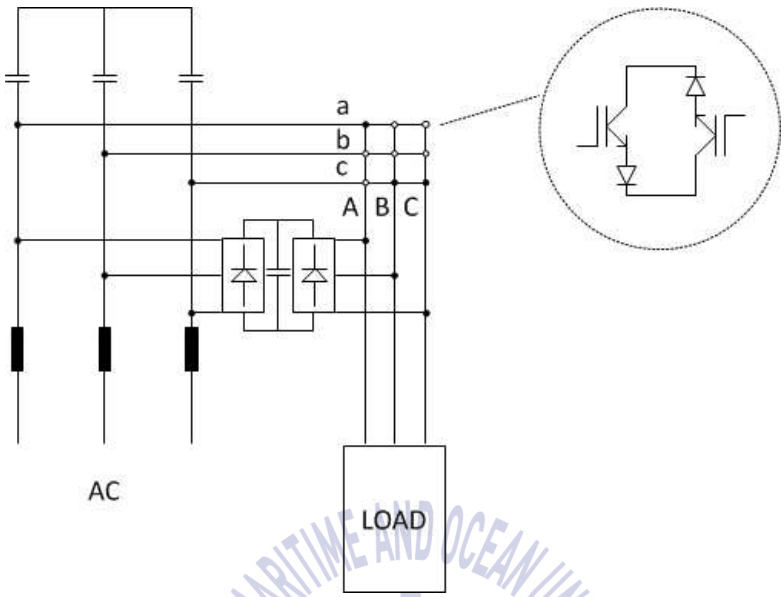


Fig. 2-8 AC/AC Matrix Converter (Direct)

이를 구현하기 위해 Fig. 2-6에 도시된 바와 같이 9개의 양방향 스위치를 사용하게 된다. 고조파 함유량을 감소하기위해 입력 단에 LC필터를 추가할 수 있고, 다이오드를 이용하여 보호회로를 구성할 수 있다. 또한 같은 상의 두 개 이상의 스위치가 동시에 ON되는 것과 같은 상의 스위치가 3개 모두 동시에 OFF되는 상태를 방지해야 한다. 즉, Fig 2-6에 제시한 27가지의 스위칭 방식을 조합하여 원하는 전압과 주파수의 AC를 구현한다. 하지만 제어기법이 복잡하고 직류 단이 없기 때문에 다양한 출력단을 형성하기 어렵다.[13]

Collection @ kmou

2.2.2 간접 매트릭스 컨버터

Fig. 2-9는 간접매트릭스 컨버터를 나타낸다. 간접 매트릭스의 경우 직접 매트릭스 컨버터가 가질 수 없는 다양한 출력단의 한계를 극복할 수가 있다.

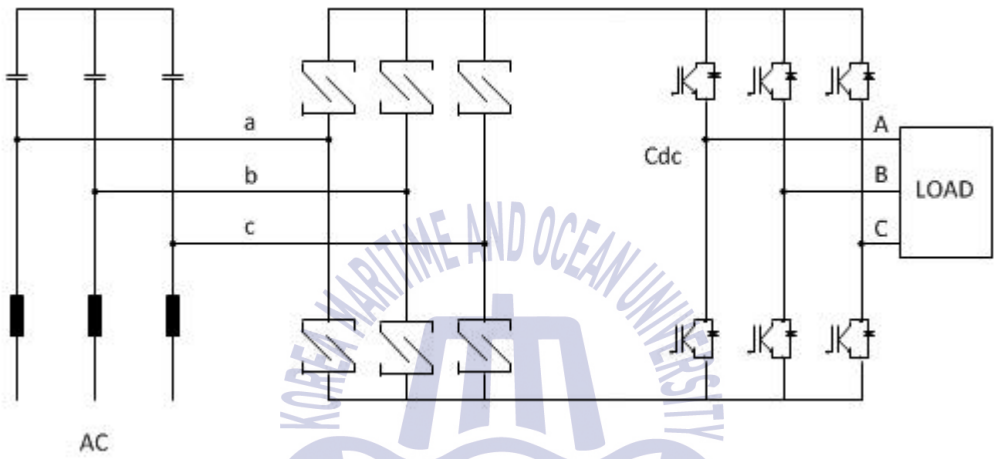


Fig. 2-9 AC/DC/AC Matrix Converter (Indirect)

이는 Fig. 2-7에 나타낸 기존의 컨버터 상에서 정류단을 다이오드 대신에 양방향 스위치를 이용하여 정류한 뒤 인버터에서 직류를 교류성분으로 출력하게 된다. Fig. 2-8에 나타낸 직접 매트릭스 컨버터의 경우 기존의 컨버터가 고조파를 줄이기 위해 설치한 직류단과 커패시터의 제거가 가능하였지만 다양한 출력단의 형성이 불가능하다는 단점이 있다. 하지만 Fig. 2-9에 나타낸 간접매트릭스의 경우 커패시터를 제거함으로써 부피의 감소와 수명의 증가를 가져오며 다양한 출력단을 가지는 잇점이 있다. 스위치 개수가 많은 단점을 보완하기위해 정류단측의 스위치갯수를 줄이는 것이 스파스 매트릭스 컨버터라고 부른다. [13]

Collection @ kmou

제 3 장 매트릭스 컨버터형 DC/DC 컨버터

3.1 기존의 DC/DC 컨버터

Fig. 3-1에 제시된 기존의 DC/DC 컨버터의 경우 IGBT와 함께 다이오드를 역병렬로 연결하여 사용하며 IGBT스위치의 ON/OFF에 따라, 즉 ON일 경우 전원 측에서 부하 측으로, OFF일 경우 부하 측에서 전원 측으로 에너지의 전달이 이루어진다. 일반적인 IGBT스위치의 제어 방법으로는 PWM 방식을 사용하는데 삼각파와 기준전압의 차이 값에 따라 Gate신호가 ON/OFF되어 스위칭이 일어난다. 이는 자동차 등의 모터제어에 종종 사용되고 있다.

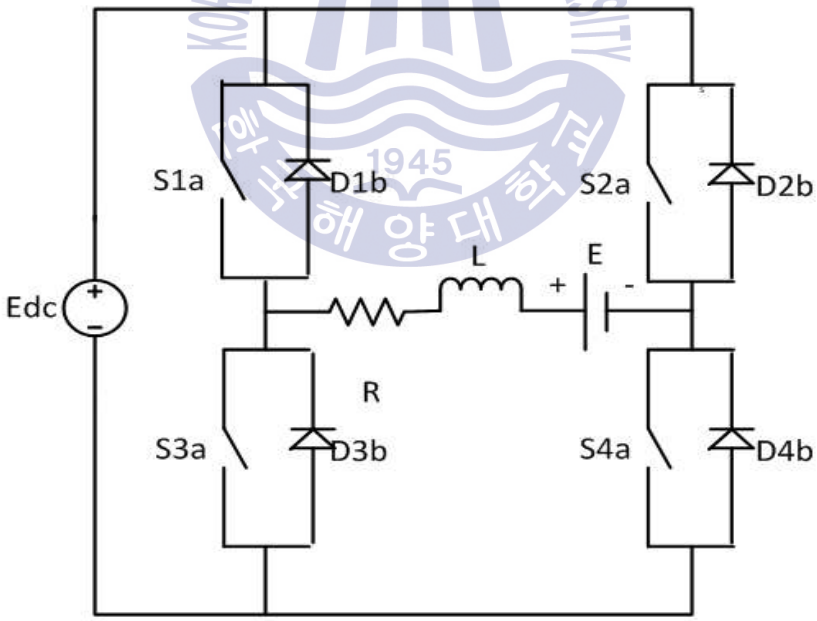


Fig. 3-1 Conventional DC/DC Converter

Collection @ kmou

3.2 매트릭스 컨버터형 DC/DC 컨버터

매트릭스 컨버터는 다른 장치와는 달리 직류단을 가지지 아니하고 교류를 교류로 변환할 수가 있고 직류를 또한 원하는 출력의 직류로 변환이 가능하며 기존의 IGBT와 다이오드를 사용한 방식이 아닌 IGBT소자로 양방향 전력변환이 가능하다. 이의 출력을 조정하기위해 공간벡터 변조기법과 반송파를 근거로 한 변조기법이 사용되어지고 있다.[7]

Fig. 3-2는 본 논문에서 제안하는 매트릭스 컨버터 토폴로지를 이용한 DC/DC 컨버터이다.

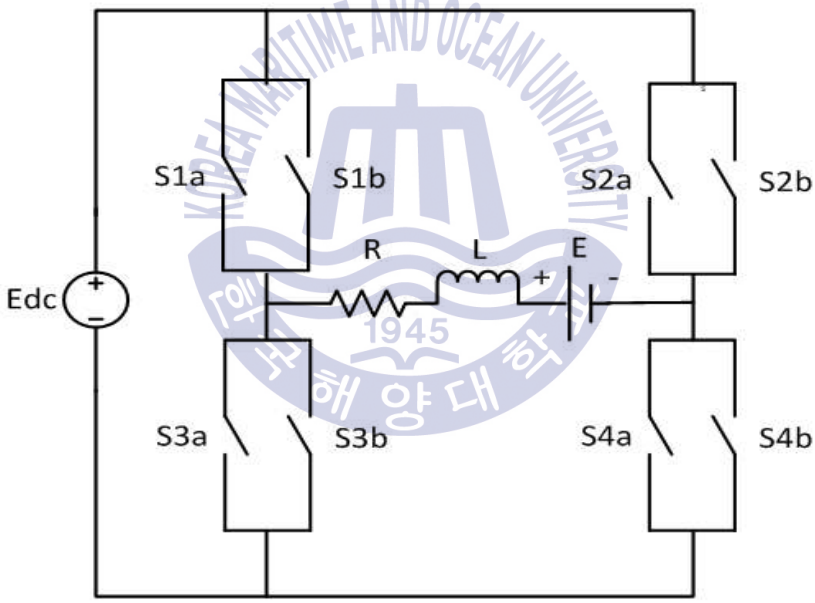


Fig. 3-2 DC/DC Converter using Matrix converter

삼각파 PWM은 삼각파의 전압과 기준전압을 비교함으로써 출력전압을 변화시키는 방식이다. 여기서는 DC/DC 컨버터로 사용하므로 삼각파변조 PWM제어방식이 적합하다. 그리고 이 비교에 의해 생성된 출력은 DC/DC 컨버터의 스위칭 펄스의 듀티 사이클을 제어한다. 즉, 입력 DC에서 원

Collection @ kmou

하는 출력 DC로 변환을 하는 PWM행렬의 흐름을 제공한다. 이것은 Fig. 3-3에 묘사되어있다.

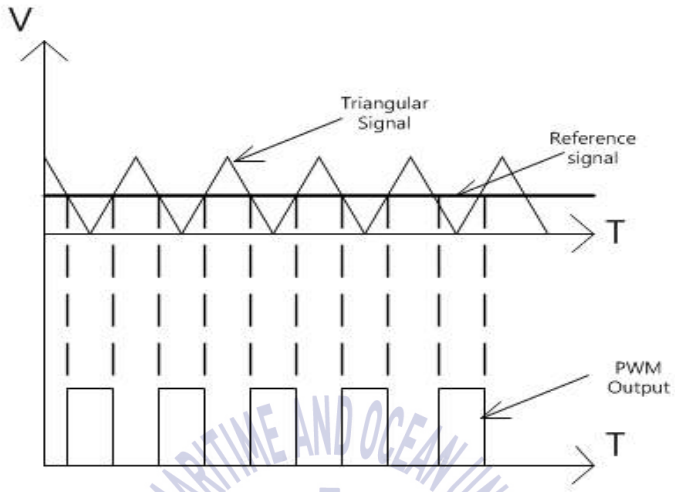


Fig. 3-3 PWM waveform

출력전압은 기준전압을 변화시켜 듀티 싸이클을 변환함으로써 제어가 가능하다. 이 컨버터는 4상한 동작이 가능하며 각 상한의 경우 스위칭 상태는 Table 3.1과 같다.

Table 3.1 Table for switching of 4 quadrant operation

Switches	1상한	2상한	3상한	4상한
S1a	S	-	-	-
S1b	-	O	-	-
S2a	-	-	S	-
S2b	-	-	-	O
S3a	-	S	O	-
S3b	O	-	-	O
S4a	O	-	-	S
S4b	-	O	O	-

(S: Switching, - : OFF, O : ON)

Collection @ kmou

1) 1상한 동작(Q1) (S1a ON/OFF, S3b & S4a ON)

Fig. 3-4는 1상한 동작의 회로도를 나타낸다. S1a스위치가 ON/OFF를 반복하며 회로의 흐름이 변화를 하게 된다. Fig. 3-4 회로도에 따르면 S1a가 ON상태이고, S3b,S4a도 ON인 경우에 DC전원으로부터 S1a 그리고 부하, S4a를 거치게 되며 부하 측에 전압이 인가되어지고 전류가 흐른다. 또한 인덕터 L측에 에너지가 축적이 된다. 이 때 S1a가 OFF되면 전원 전압이 차단되고 S3b와 S4a를 통해 프리 휠 모드를 구성하게 되는데 이로 인해 인덕터에 축적된 에너지가 부하 측에서 저항성분에 의해 소모가 이루어진다.

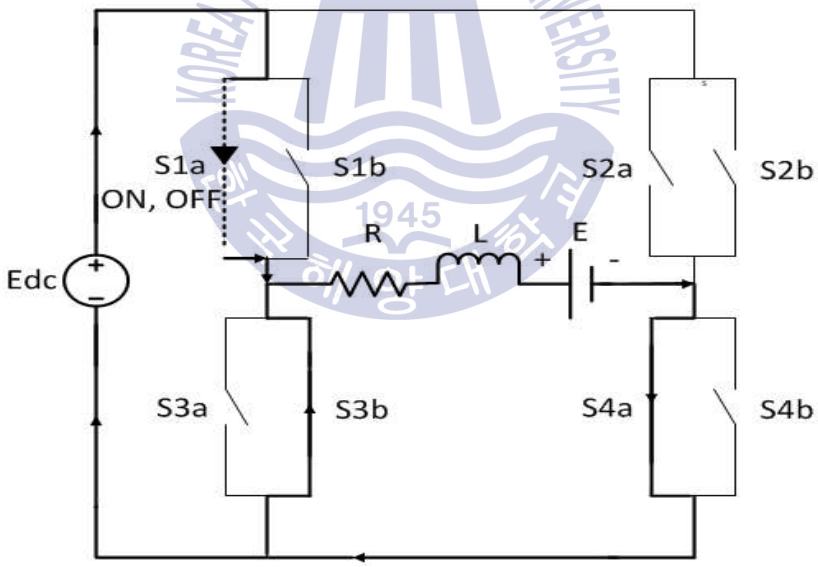


Fig. 3-4 First quadrant operation

S1a가 ON과 OFF일 때의 전압방정식은 키르호프 전압법칙에 의해 각각

Collection @ kmou

식(1)및 식(2)와 같다. 또한 두 경우의 전류는 식(3) 및 식(4)가 된다.

$$R_{i_{ON}} + L\frac{di_{ON}}{dt} + E = E_{dc} \tag{1}$$

$$R_{i_{OFF}} + L\frac{di_{OFF}}{dt} + E = 0 \tag{2}$$

$$i_{ON}(t) = \frac{E_{dc}-E}{R}(1-\exp(-\frac{R}{L}t)) + I_{mn}\exp(-\frac{R}{L}t) \tag{3}$$

$$i_{OFF}(t') = \frac{-E}{R}(1-\exp(-\frac{R}{L}t')) + I_{mx}\exp(-\frac{R}{L}t') \tag{4}$$

Fig. 3-5는 1상한동작시의 부하 측 전류 파형을 보여준다.

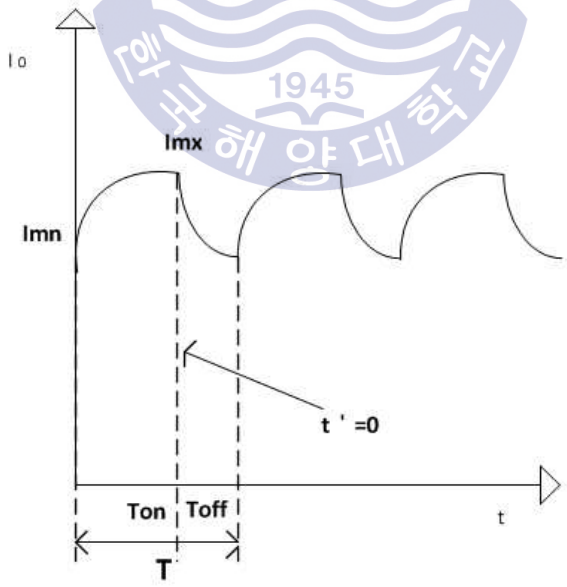


Fig. 3-5 Output current waveform

Collection @ kmou

식(1)로부터 식(3)을 라플라스 변환에 의해 얻는 과정은 다음과 같다.

$$Ri_{ON}(t)+L\frac{di_{ON(t)}}{dt}+E=E_{dc}$$

$$RI(S)+LSI(S)+\frac{E}{S}=\frac{E_{dc}}{S}$$

$$I(S)=\frac{E_{dc}-E}{S(R+LS)}$$

$$=\frac{\frac{E_{dc}-E}{L}}{S(\frac{R}{L}+S)}$$

$$=\frac{E_{dc}-E}{L}[\frac{1}{\frac{R}{L}+S-S}(\frac{1}{S}-\frac{1}{\frac{R}{L}+S})]$$

$$=\frac{E_{dc}-E}{L}[\frac{1}{\frac{R}{L}}(\frac{1}{S}-\frac{1}{\frac{R}{L}+S})]$$

$$=\frac{E_{dc}-E}{R}(\frac{1}{S}-\frac{1}{S+\frac{R}{L}})$$

$$i(t)=L^{-1}[I(S)]$$

$$=\frac{E_{dc}-E}{R}(1-e^{-\frac{R}{L}t})$$

여기에 최소전류값 $I_{mn}e^{-\frac{R}{L}t}$를 더해주면 된다.

off의 경우 $I_{mx}e^{-\frac{R}{L}t'}$를 고려해 주어야 한다.

Collection @ kmou

2) 2상한 동작 (Q2) (S3a ON/OFF, S1b & S4b ON)

Fig. 3-6은 2상한 동작을 나타내는 회로도이다. S1b와 S4b가 항상 ON상태를 유지하고 S3a가 스위칭을 한다. 부하에 가해진 전압과 전류의 방향이 반대이므로 부하 측으로부터 전원 측으로 에너지가 회수되는 과정이다.

S3a가 OFF되면 L에 저장된 에너지가 전원으로 반환되면서 전류가 빨리 감소하고, S3a가 ON되면 전원과 차단되어 R에 의해 에너지가 소모될 것이다.

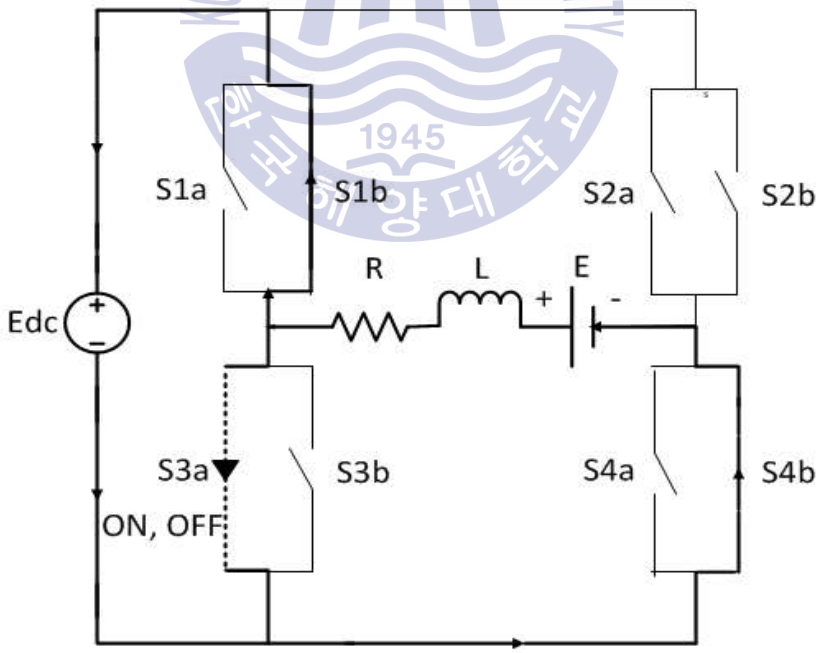


Fig. 3-6 Second quadrant operation

Collection @ kmou

S3a가 ON과 OFF일 때의 전압 방정식은 키르호프 전압법칙에 의해 식(5)와 식(6)이 된다. 또한 두 경우의 전류는 식(7)과 식(8)이다.

$$R_{i_{ON}} + L\frac{di_{ON}}{dt} + E = 0 \tag{5}$$

$$R_{i_{OFF}} + L\frac{di_{OFF}}{dt} + E = E_{dc} \tag{6}$$

$$i_{ON}(t) = \frac{-E}{R}(1-\exp(-\frac{R}{L}t)) + I_{mn}\exp(-\frac{R}{L}t) \tag{7}$$

$$i_{OFF}(t') = \frac{E_{dc}-E}{R}(1-\exp(-\frac{R}{L}t')) + I_{mx}\exp(-\frac{R}{L}t') \tag{8}$$

Fig. 3-7은 2상한동작시의 부하 측 전류 파형을 보여준다.

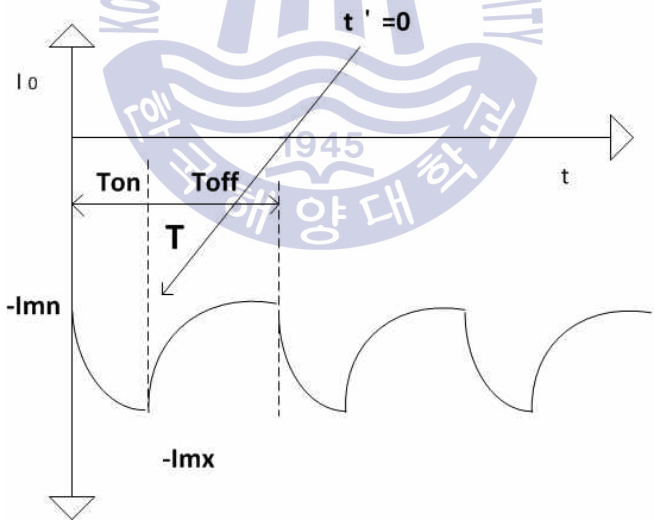


Fig. 3-7 Output current waveform

Collection @ kmou

3) 3상한 동작 (Q3) (S2a ON/OFF, S3a & S4b ON)

Fig. 3-8은 3상한 동작을 나타내는 회로도이다. S2a스위치가 ON/OFF를 반복하며 회로의 흐름이 변화를 하게 된다. S2a가 ON상태이고, S3a, S4b도 ON인 경우에 전원 측으로 부터 부하 측으로 전류가 흘러들어가게 된다. 하지만 이는 1상한 동작과 반대이며 부하 측은 음의 전압, 음의 전류를 가지게 된다. 이는 부하 측에 소모도 하지만 동시에 인덕터를 통해 에너지가 축적이 되게 된다. 이 때 S2a가 OFF 되면 프리 휠 모드를 구성하여 인덕터에 저장된 에너지가 저항권선에서 소모하게 된다. 이러한 스위칭이 반복되면서 원하는 출력을 조정 한다.

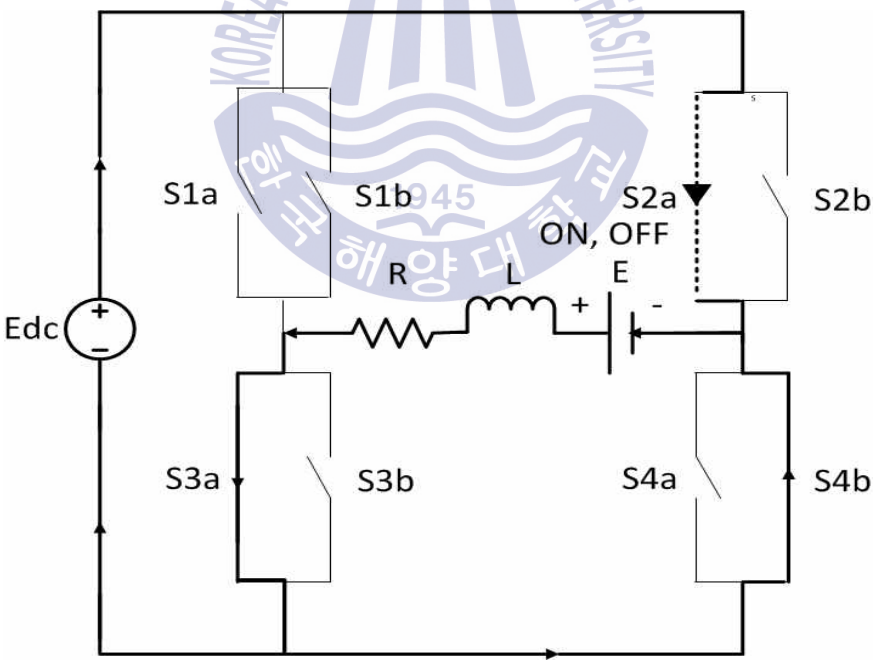


Fig. 3-8 Third quadrant operation

Collection @ kmou

S2a가 ON과 OFF일 때의 전압 방정식은 키르호프 전압법칙에 의해 식(9)와 식(10)이다. 또한 두 경우의 전류는 식(11) 및 식(12)이 된다.

$$R_{i_{ON}} + L\frac{di_{ON}}{dt} + E = E_{dc} \tag{9}$$

$$R_{i_{OFF}} + L\frac{di_{OFF}}{dt} + E = 0 \tag{10}$$

$$i_{ON}(t) = \frac{E_{dc}-E}{R}(1-\exp(-\frac{R}{L}t)) + I_{mn}\exp(-\frac{R}{L}t) \tag{11}$$

$$i_{OFF}(t') = \frac{-E}{R}(1-\exp(-\frac{R}{L}t')) + I_{mx}\exp(-\frac{R}{L}t') \tag{12}$$

Fig. 3-9는 3상한동작시의 부하 측 전류 파형을 보여준다.

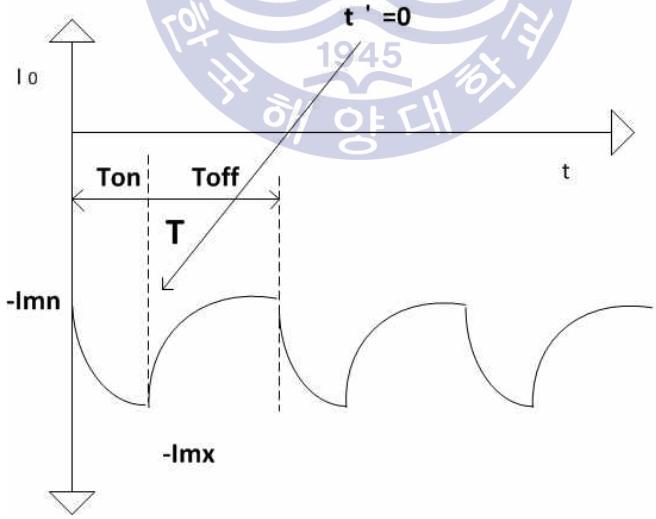


Fig. 3-9 Output current waveform

Collection @ kmou

4) 4상한 동작 (Q4) (S4a ON/OFF, S2b & S3b ON)

Fig. 3-10은 4상한 동작을 나타내는 회로이다. S4a스위치가 ON/OFF를 반복하며 회로의 흐름이 변화를 하게 된다. S4a가 ON상태이고, S2b, S3b도 ON인 경우에 양의 전류를 가진 음 전압이 인가되고 R에서 에너지 소모가 이루어진다. S4a가 OFF되면 전원전압과 전류가 반대로 되어 부하 측으로부터 전원 측으로 에너지의 반환이 이루어지며 전류는 감소하게 된다.

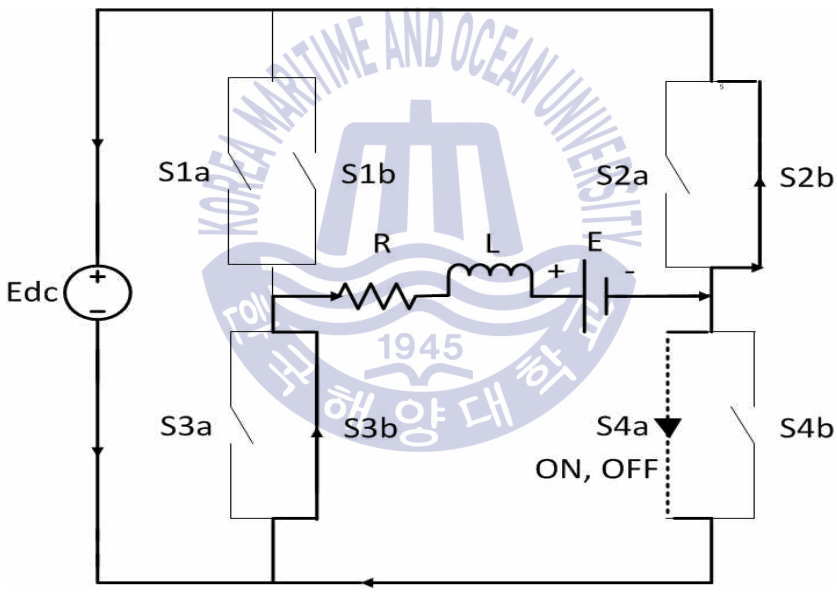


Fig. 3-10 Fourth quadrant operation

S4a가 ON과 OFF일 때의 전압 방정식은 키르호프 전압법칙에 의해 식(13)과 식(14)가 된다. 또한 두 경우의 전류 표현은 식(15)와 식(16)과 같다.

Collection @ kmou

$$R_{i_{ON}} + L\frac{di_{ON}}{dt} + E = 0 \tag{13}$$

$$R_{i_{OFF}} + L\frac{di_{OFF}}{dt} + E = E_{dc} \tag{14}$$

$$i_{ON}(t) = \frac{-E}{R}(1-\exp(-\frac{R}{L}t)) + I_{mn}\exp(-\frac{R}{L}t) \tag{15}$$

$$i_{OFF}(t') = \frac{E_{dc}-E}{R}(1-\exp(-\frac{R}{L}t')) + I_{mx}\exp(-\frac{R}{L}t') \tag{16}$$

Fig. 3-11은 4상한동작시의 부하 측 전류 파형을 보여준다.

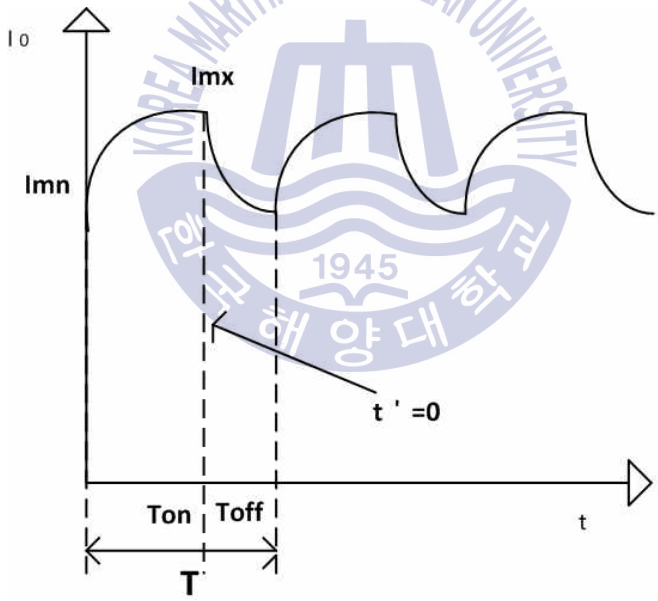


Fig. 3-11 Output current waveform

Collection @ kmou

앞에서 기술한 4상한 동작 모두에 대해 식을 적용하고 i_{ON}과 i_{OFF}를 두 개의 상태변수로서 취하면 식(17)과 같은 상태공간모델을 얻을 수 있다.

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} i_{ON} \\ i_{OFF} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & -\frac{R}{L} \\ -\frac{R}{L} & -\frac{R}{L} \\ -\frac{R}{L} & -\frac{R}{L} \\ -\frac{R}{L} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ON} \\ i_{OFF} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L} \\ \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L} \end{bmatrix} Edc + \begin{bmatrix} -\frac{E}{L} & -\frac{E}{L} \\ -\frac{E}{L} & -\frac{E}{L} \\ -\frac{E}{L} & -\frac{E}{L} \\ -\frac{E}{L} & -\frac{E}{L} \end{bmatrix} \quad (17)$$

이는 $\frac{dx}{dt} = ax + bu + d$의 표준형의 상태방정식이 되며 활성된 부하가 없는 경우 d는 0이다.

KOREA MARITIME AND OCEAN UNIVERSITY
한국해양대학교 1945

Collection @ kmou

제 4 장 시뮬레이션

본 논문에서 제안하는 매트릭스 토폴로지를 이용한 DC/DC 컨버터의 성능을 기존의 DC/DC 컨버터와 비교하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 행하였다. 소프트웨어는 최근 전기전자 부분에서 탁월한 기능을 나타내는 PSIM을 활용하였다.

4.1 기존의 DC/DC 컨버터

Fig.4-1은 기존의 DC/DC컨버터를 이용하여 직류전동기 구동시뮬레이션 PSIM 다이아 그램이다.

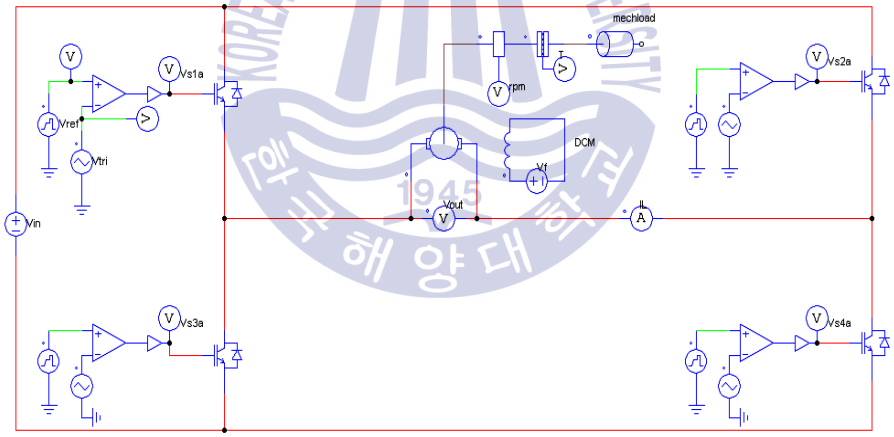


Fig. 4-1 PSIM diagram for conventional DC/DC converter

시스템 파라메타는 Table 4.1과 같으며 직류전동기의 파라메타는 Table 4.2와 같다. 직류전동기 파라메타의 경우 매트릭스 토폴로지를 이용한 DC/DC 컨버터의 경우에도 같은 값을 사용한다.

Collection @ kmou

Table 4.1 System parameters used in DC/DC converter

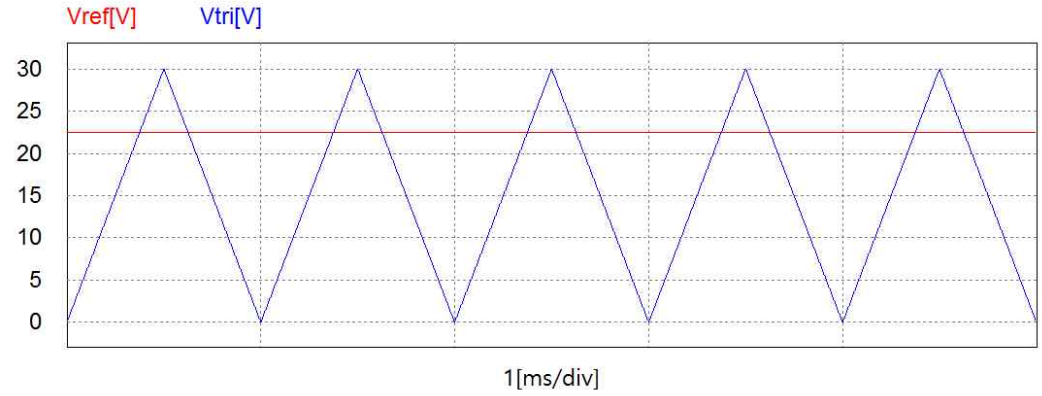
Parameter	Value
V_{in} Amplitude	300[V]
V_{ref} Amplitude ($S1_a, S4_a$)	22.5[V]
V_{tri} V peak to peak	30[V]
V_{tri} Frequency	1000[V]
V_{tri} Duty Cycle	0.5
V_f Amplitude	200[V]
T_C	60[N-m]
Moment of inertia	0.1[$kg-m^2$]

Table 4.2 System parameters used in Motor of DC/DC converter

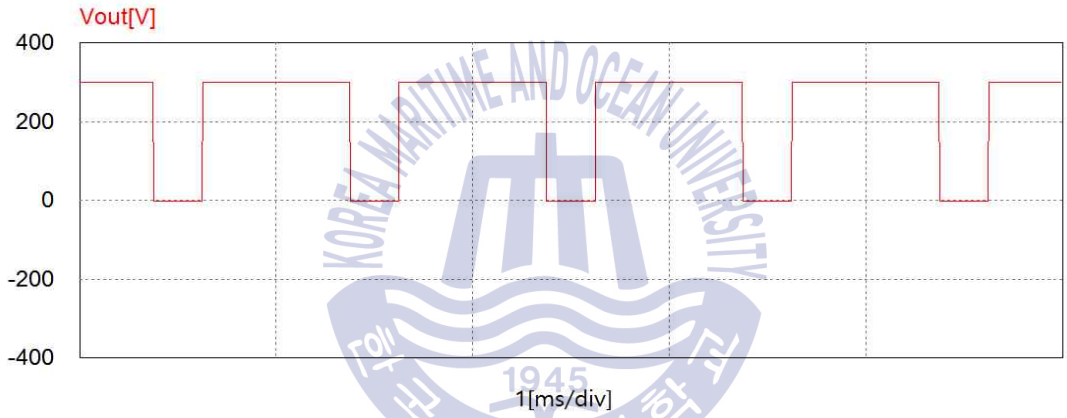
Parameter	Value
R_a	0.5[Ω]
L_a	0.01[H]
R_f	50[Ω]
L_f	0.02[H]
Moment of Inertia	0.4[$kg-m^2$]
n	1200[rpm]
I_f	1.6[A]

Fig. 4-2는 시뮬레이션 결과를 나타낸다. (a)는 변조를 위한 삼각파 전압과 기준전압을 나타내며 (b)는 부하에 인가되는 출력전압0/300[V] (c)는 부하에 흐르는 전류의 형상으로 S1a는 Switching을 S4a는 ON을 유지하면 S1a가 ON시 전류는 증가하고 D3b 와 S4a가 도통되면 감소함을 나타내고 있다. 전류는 부하가 안정된 구간에서 23.4 ~ 29.9[A]를 나타내고 있다.

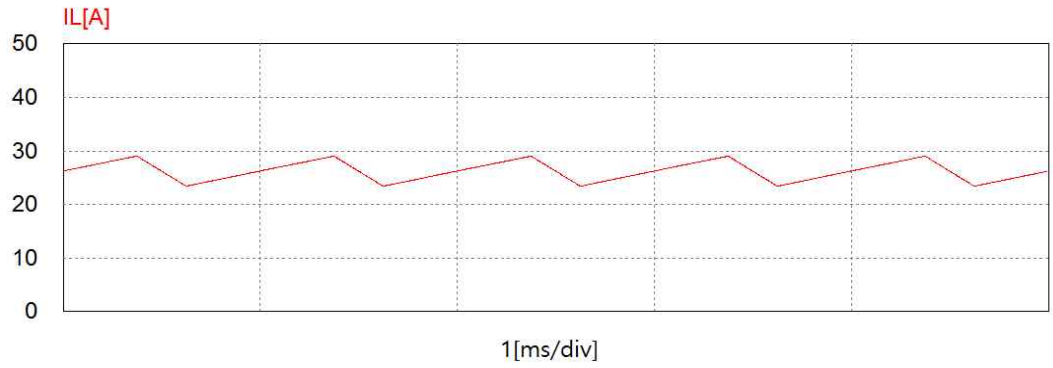
Collection @ kmou



(a) Reference Voltage, Triangular Voltage



(b) Voltage output

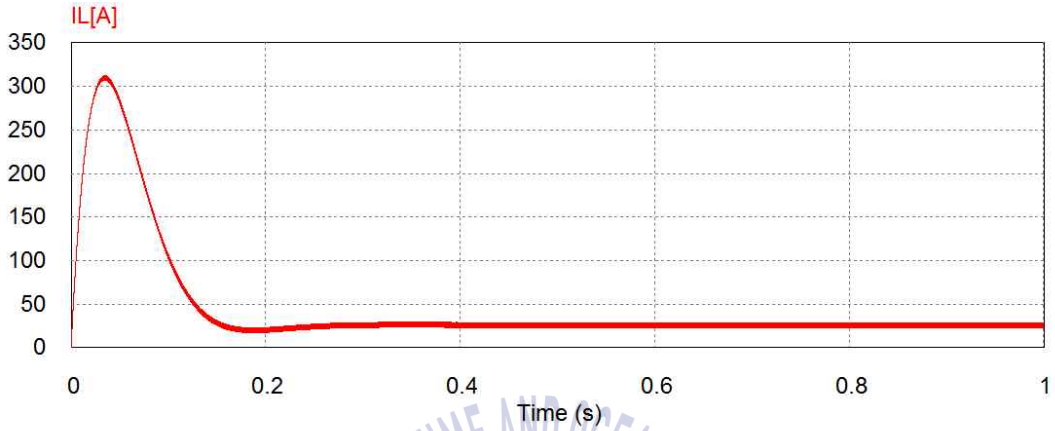


(c) Load current

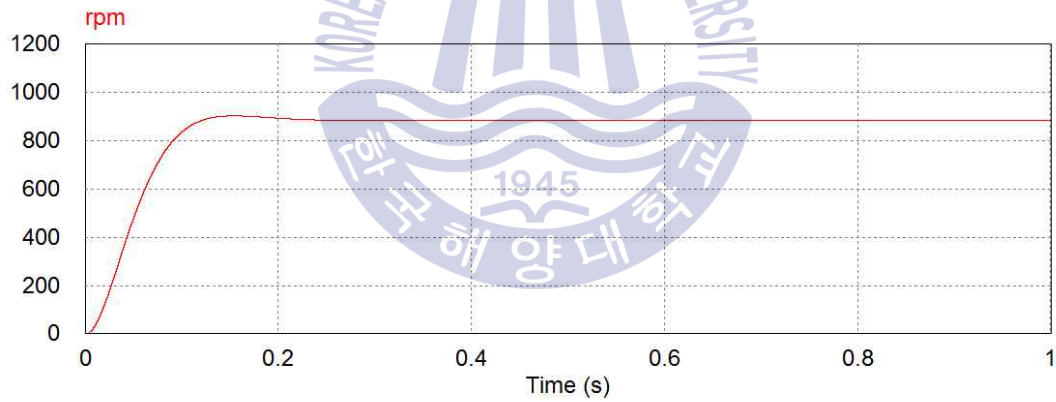
Fig. 4-2 Voltage & currents of conventional DC/DC converter

Collection @ kmou

Fig. 4-3은 전 구간에 걸친 전동기의 전류와 회전속도를 도시하고 있다.



(a) Load current



(b) rpm

Fig. 4-3 Load current and rpm of Motor

(Conventional DC/DC Converter)

Collection @ kmou

4.2 매트릭스 컨버터형 DC/DC 컨버터

본 논문에서 제안한 매트릭스 컨버터 토폴로지를 이용한 DC/DC 컨버터의 성능을 확인하기 위하여 계단전압특성, 전압증가시 응답특성 및 전압극성반전특성을 알아보기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 시행하였다.

4.2.1 계단전압특성

Fig. 4-4는 계단전압특성을 고찰하기위해 구현된 PSIM 다이아 그램이고, 양방향 IGBT Switch를 사용하는 경우 전류의 흐름을 일정하게 유지하기위해 회로 상에 Diode가 추가된다.

Fig. 4-5는 매트릭스 컨버터 토폴로지를 이용한 DC/DC 컨버터의 계단전압특성의 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

Collection @ kmou

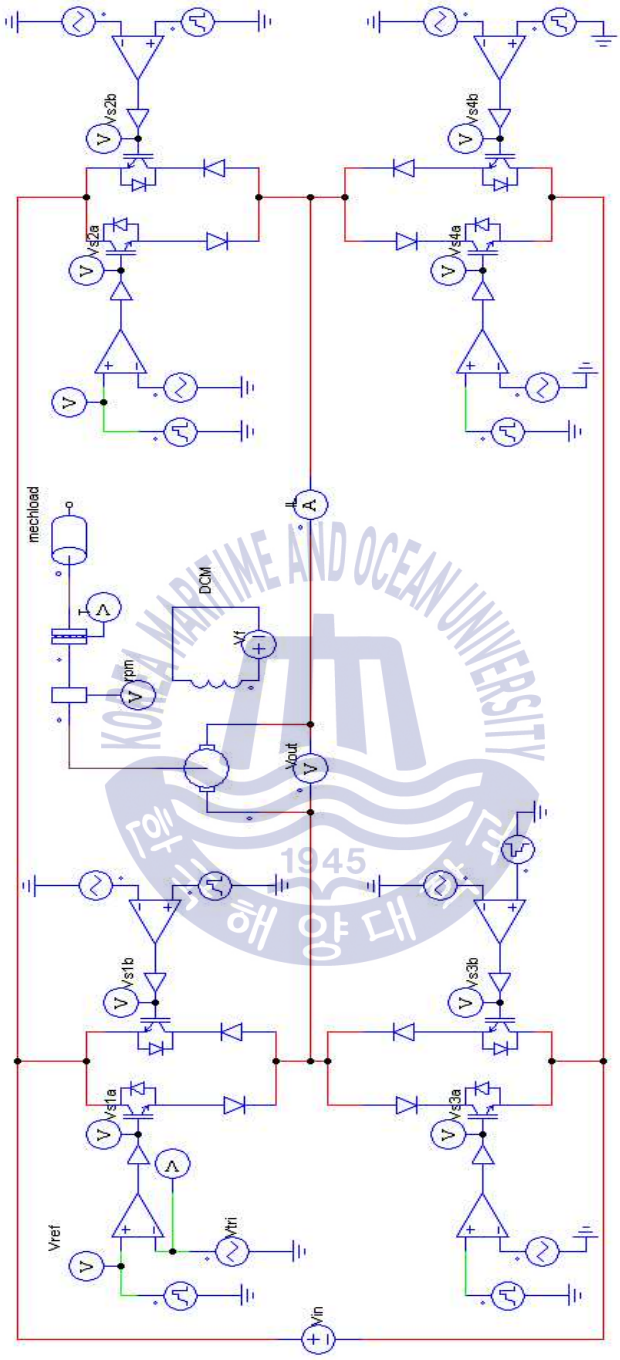
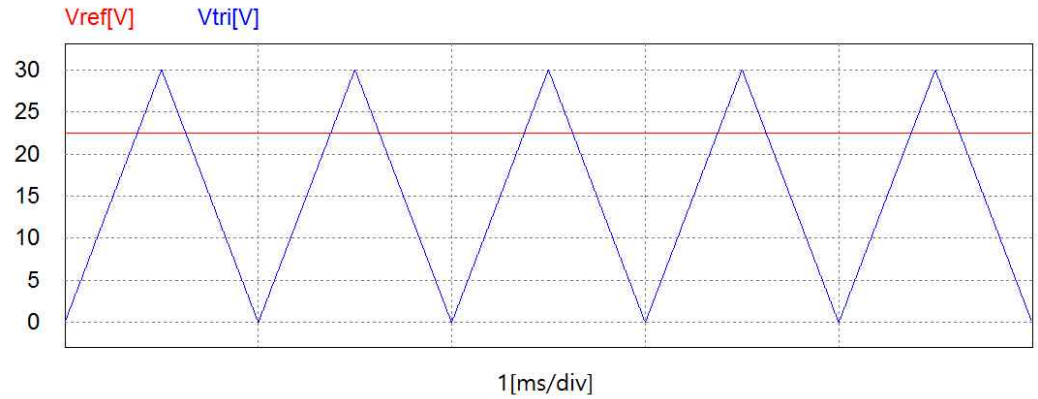
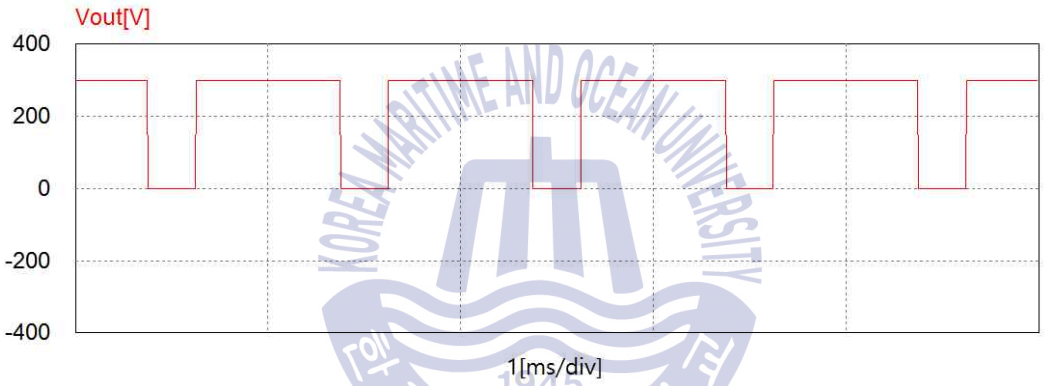


Fig. 4-4 Simulation diagram for Matrix topology DC/DC converter

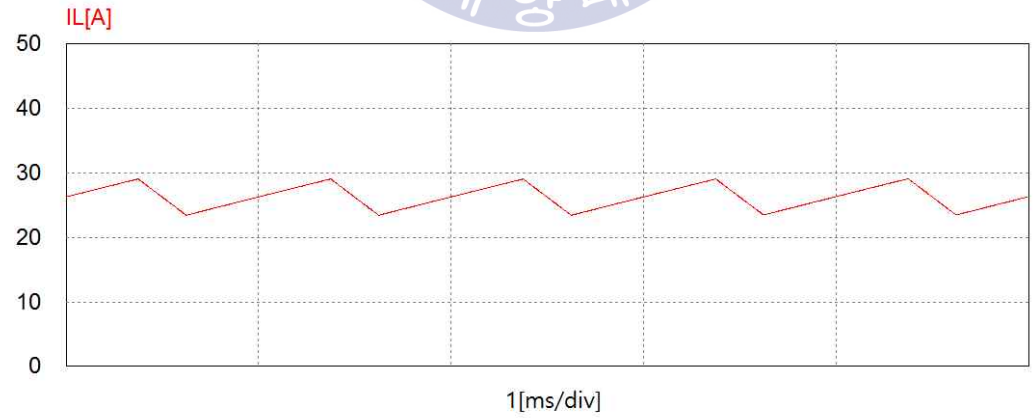
Collection @ kmou



(a) Reference Voltage, Triangular Voltage



(b) Voltage output

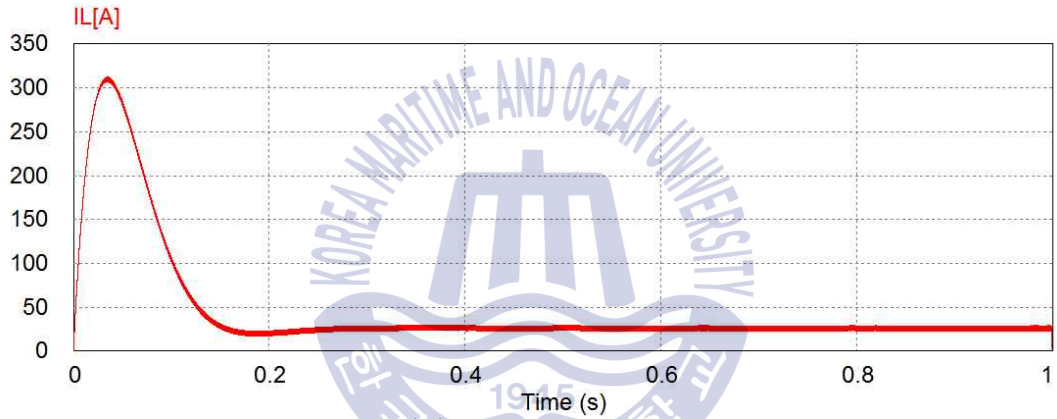


(c) Load current

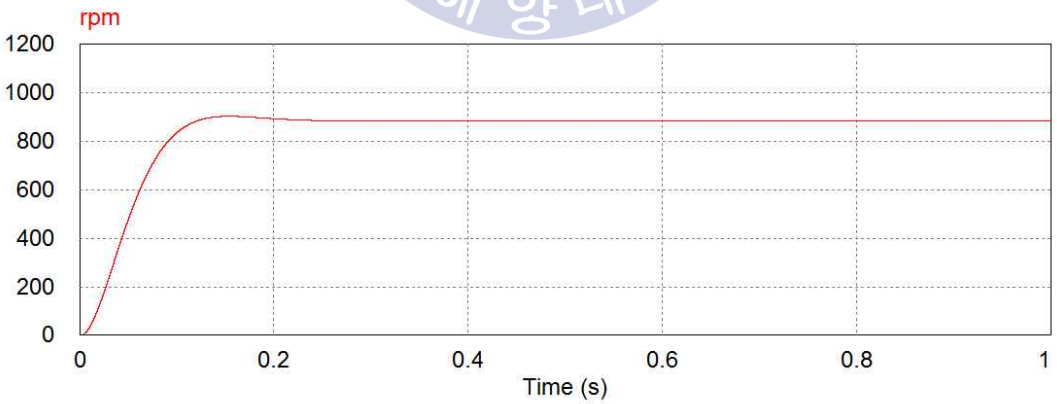
Fig. 4-5 Voltage & currents of Matrix topology DC/DC converter

Collection @ kmou

(a)에서 나타나듯이 기존의 DC/DC 컨버터와 동일한 삼각파형의 전압과 기준전압을 사용한 상태에서 (b)는 부하에 인가되는 출력전압 (c)는 부하에 흐르는 전류의 형상으로 S1a의 도통에 의해 IGBT를 통해 도통되면 증가하고 스위치가 OFF시에는 전류가 감소함을 나타내고 있다. Matrix 토폴로지를 이용한 DC/DC Converter가 기존의 DC/DC 컨버터와 동일한 출력전압 0/300[V]를 나타내며 부하전류 또한 기존의 컨버터와 동일한 23.4 ~ 29.1[A]를 나타낸다. Fig. 4-6은 전 구간에 걸친 전동기의 회전속도와 전류를 도시하고 있다.



(a) Load current



(b) rpm

Fig. 4-6 Load current and rpm of Motor
(Matrix topology DC/DC converter)

Collection @ kmou

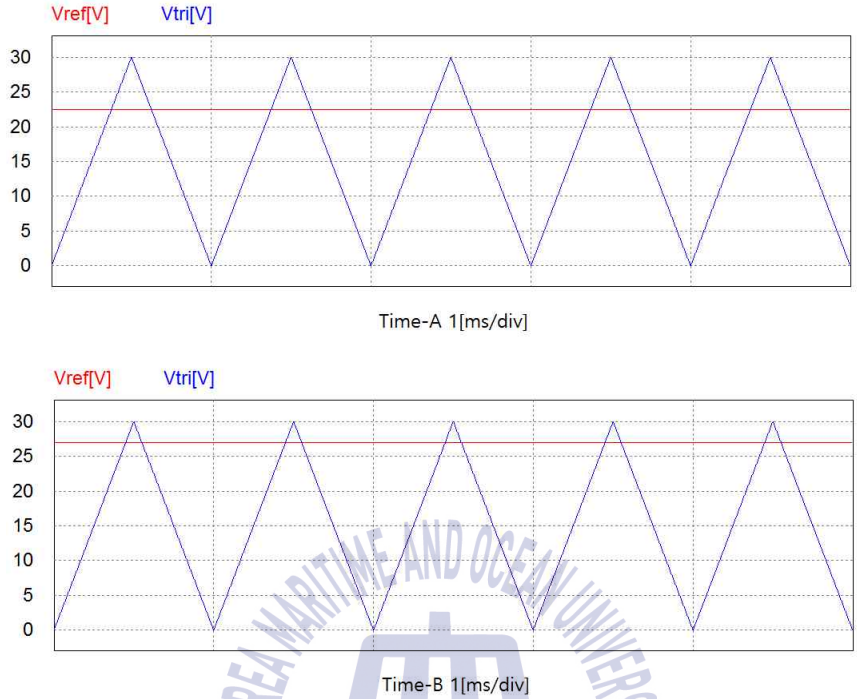
4.2.2 전압 증가시 응답특성

전압 증가시 응답특성을 확인하기위해 컴퓨터 시뮬레이션을 행하였다. 이를 위해 Vs1a의 Reference Voltage를 0 ~ 0.5초 구간[Time-A], 0.5 ~ 1.0[sec]구간[Time-B]로 분할하여 각각 22.5[V]/27[V]를 공급하여 응답특성을 비교하였다.

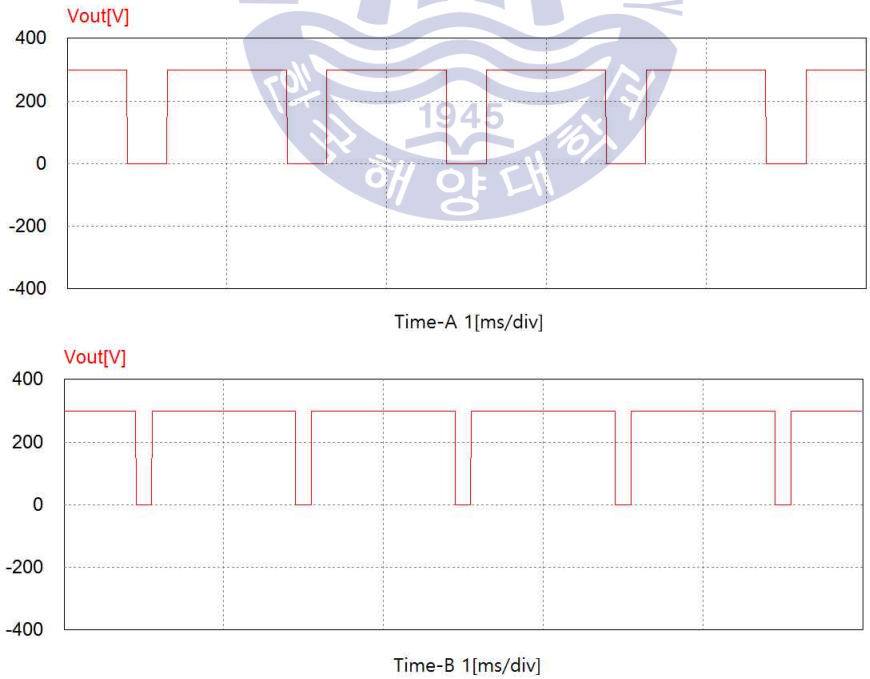
시뮬레이션 다이아 그램의 경우 Fig.4-4와 동일한 조건에서 구현하였다.

Fig. 4-7은 시뮬레이션 결과를 나타낸다. (a)는 변조를 위한 삼각파 전압과 기준전압을 나타내며 (b)는 부하에 인가되는 출력전압 (c)는 부하에 흐르는 전류의 형상으로 S1a의 도통에 의해 IGBT를 통해 도통되면 증가하고 스위치가 OFF시에는 전류가 감소함을 나타내고 있다. 시간에 따른 기준전압의 변화에 따라 출력전압 0/300[V]를 출력되는 시간이 달라지며, 부하측 전류 또한 변화되는 것을 나타낸다.

Collection @ kmou

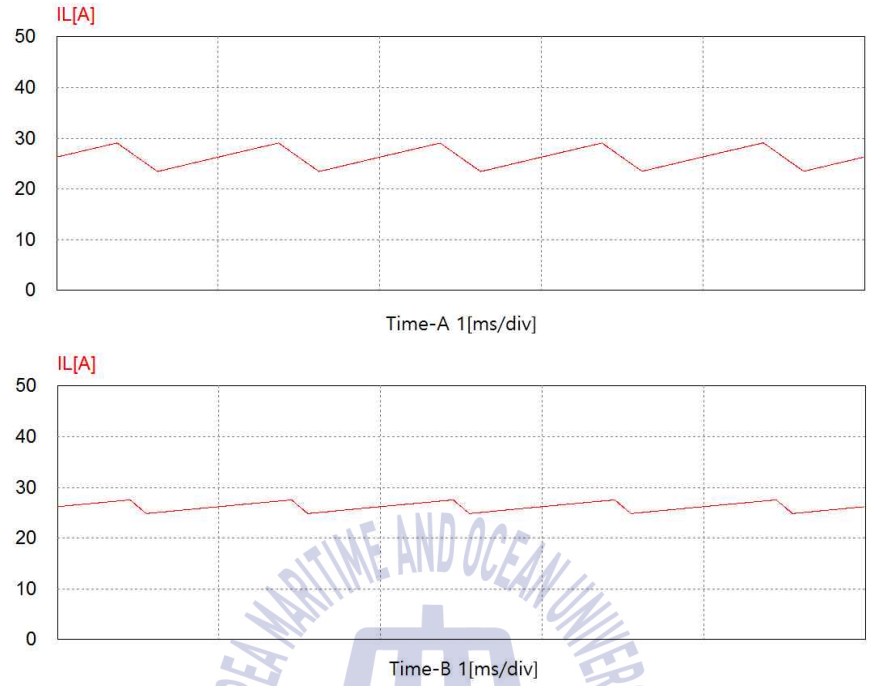


(a) Reference Voltage, Triangular Voltage



(b) Voltage output

Collection @ kmou



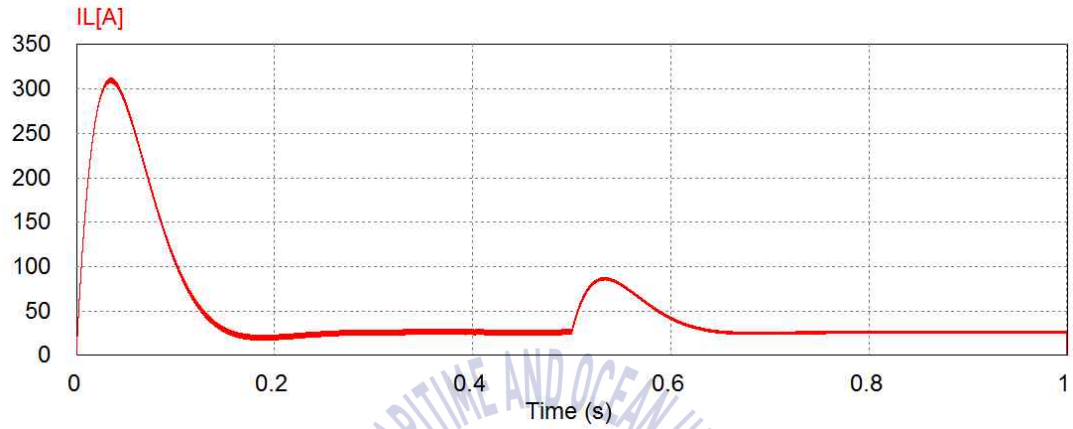
(C) Load current

Fig. 4-7 Voltage & currents of Matrix topology DC/DC converter

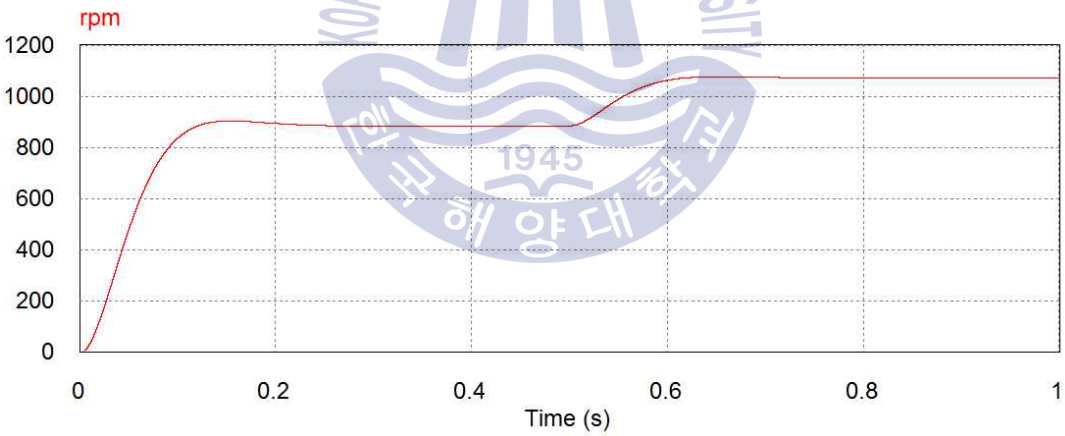
(Response characteristic with increasing voltage)

Collection @ kmou

Fig. 4-8은 전 구간에 걸친 전동기의 회전속도와 부하전류를 도시하고 있다.



(a) Load current



(b) rpm

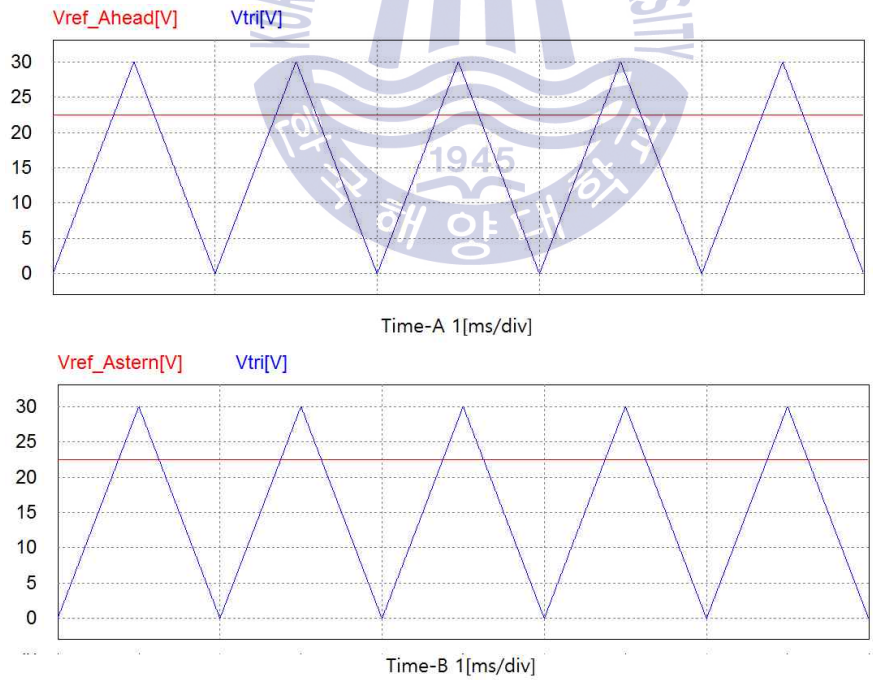
Fig. 4-8 Load current and rpm of Motor
(Matrix topology DC/DC converter)

Collection @ kmou

4.2.3 전압 극성 반전특성

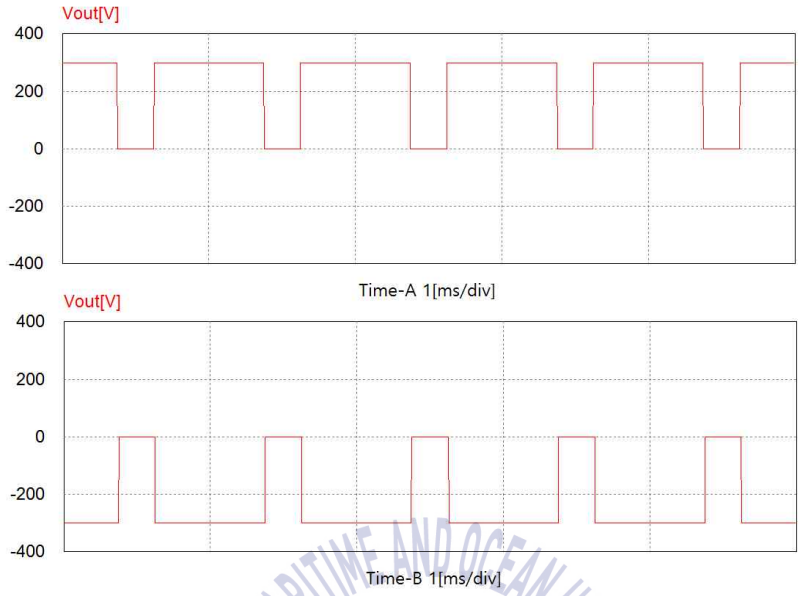
매트릭스 토폴로지를 이용한 DC/DC 컨버터의 전압 극성 반전특성을 확인하기위해 컴퓨터 시뮬레이션을 행하였다. 이를 위해 Vs1a와 Vs4a를 통한 전류흐름에서 Vs2a와 Vs3a를 통한 흐름으로 변환하기위해 스위칭 IGBT를 변경하였다

Fig. 4-9는 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 모터의 정회전과 역회전이 시간에 따라 진행되기 때문에 0 ~ 0.5[sec]구간을 Time-A, 0.5 ~ 1.0[sec]구간을 Time-B로 분할하여 그 값을 나타내었다. (a)는 변조를 위한 삼각파 전압과 기준전압을 나타내며 (b)는 부하에 인가되는 출력전압 (c)는 부하에 흐르는 전류의 형상으로 운전 특성변화에 따라 출력전압이 0/300[V]와 0/-300[V]로 출력되어 부하 측 전류의 변화가 일어난다.

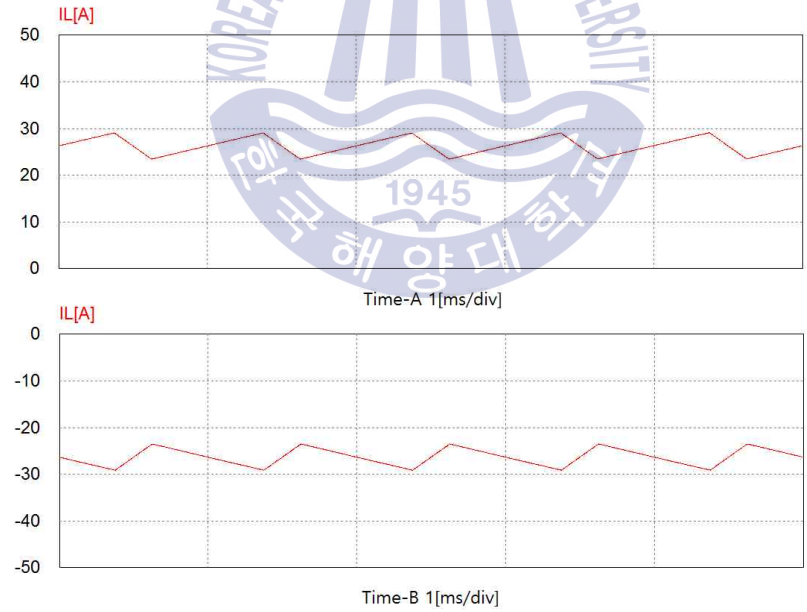


(a) Reference Voltage, Triangular Voltage

Collection @ kmou



(b) Voltage output

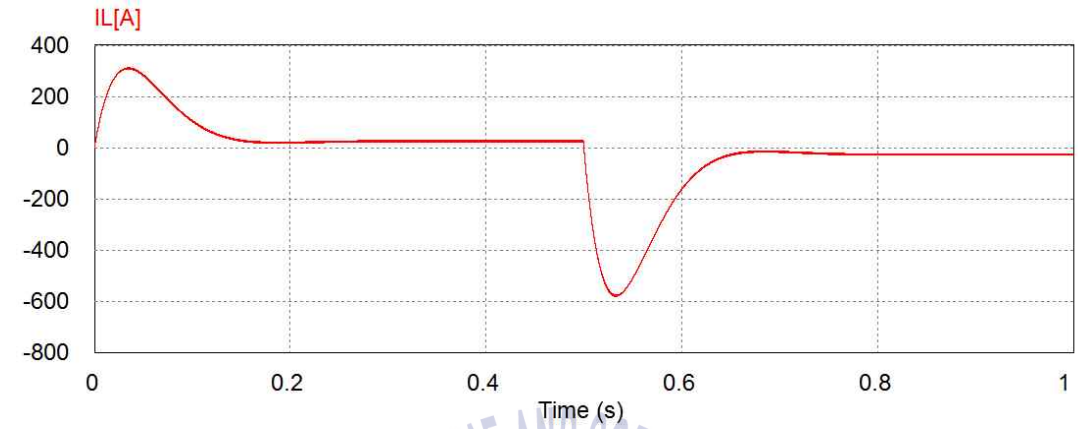


(c) Load current

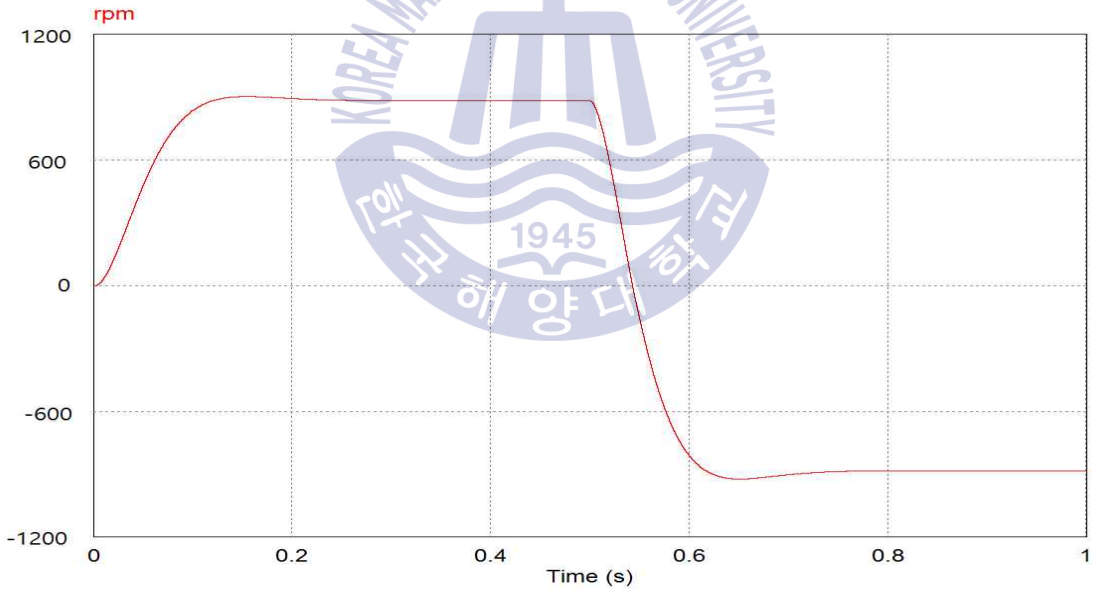
Fig. 4-9 Voltage & currents of Matrix topology DC/DC converter (Reversal characteristic of voltage polarity)

Collection @ kmou

Fig. 4-10는 전 구간에 걸친 전동기의 회전속도와 전류를 도시하고 있다.



(a) Load current



(b) rpm

Fig. 4-10 Load current and rpm of Motor
(Reversal characteristic of voltage polarity)

Collection @ kmou

제 5 장 결 론

현대에 이르러 환경오염문제로 인해 추진시스템에 관한 배출가스제한 규제들이 더욱 강화되고 있으며 이를 뒷받침하는 기술로 전기추진 방식이 육상과 해상에서 사용되고 있다. 이 전기추진방식의 효율을 개선하기 위해 전력변환장치에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 더욱 나아가 재생에너지와 다양한 입력을 사용하기위해 DC/DC 컨버터에 관한 연구가 진행되고 있다.

기존의 DC/DC 컨버터의 기능을 매트릭스 컨버터 토폴로지를 활용하여 구현하였다. 성능비교를 위해 1상한 동작을 PSIM을 이용하여 시뮬레이션 한 결과 동일한 운전조건에서 동일한 출력전압 및 전류를 나타냄을 알 수 있었으며 전동기의 회전속도 또한 동일하게 지시하였다.

매트릭스 토폴로지를 이용한 DC/DC 컨버터의 전압증가시 응답특성과 전압극성반전특성에서도 변화된 기준전압에 따라 변화된 출력전압으로 인해 부하전류가 변화함을 확인하였다.

이로써 매트릭스 컨버터 토폴로지는 기존의 응용분야뿐 아니라 DC/DC컨버터에도 사용이 가능하며 기존의 DC/DC 컨버터의 기능을 대체할 수 있다.

Collection @ kmou

참고문헌

[1] Ho-Sung Kim, "A Study on High Efficiency Isolated AC-DC Converter for DC Power Distribution Systems"

[2] 김동록,DC-DC buck converter방식을 사용하는 UPS 충.방전 시스템을 위한 SMPS의 설계 및 구현

[3] 최제연,최우영,“모듈형 태양광 발전을 위한 개선된 동적응답특성을 지닌 고효율 DC-DC 컨버터

[4] 박영수,“다출력 기능을 갖는 간접형 매트릭스 컨버터의 제어 기법에 관한 연구

[5] A. Zuckerberger, D. Weinstick and A. Alexandrovitz, "Single Phase Matrix Converter", IEE Proc. Electric Power App, Vol. 144(4),Jul 1997 pp.235-240

[6] Rahul Kumar, Ayush Vardhan, Shashank Srivastava, Satendra Pratap Singh and Nitin Singh "Modeling and Simulation of Matrix Converter Based DC DC Converter

[7] 설승기,“전기기기제어론”홍릉과학출판사 2002, Page(s):119-131

[8] 김성곤,“3상 매트릭스 컨버터에 관한 연구”

[9] 김종수, 서동환, 김정우, 김성환,“상천이 필터를 이용한 싸이클로 컨버터 출력의 개선

[10] 이동근, “직접변환 AC-AC 컨버터를 이용한 이중여자 유도형 풍력 발전기의 계통연계 시스템 개발

[11] Bin Wu, " High-Power Converters and AC Drives

[12] 김우중, “유도 전동기용 매트릭스 컨버터 설계 제작 및 그래픽 방법을 적용한 PWM 알고리즘 비교 분석

[13] 정원석,“ 승압 모드로 동작하는 매트릭스 컨버터의 유도 전동기 제어 기법에 관한 연구

Collection @ kmou