

# 매트릭스 컨버터 기반의 3상 절연형 커패시터리스 컨버터

이형주, 채수용, 홍순찬  
단국대학교 전자전기공학부

## Three-Phase Isolated Capacitorless Converter Based on Matrix Converter

Hyoung Ju Lee, Soo Yong Chae, and Soon Chan Hong  
School of Electronics and Electrical Engineering, Dankook University

### ABSTRACT

본 논문에서는 급속충전기에 적용 가능한 매트릭스 컨버터 기반의 3상 절연형 커패시터리스 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 직류 링크단의 전해 커패시터를 제거함으로써 기존의 풀브리지형 컨버터에 비해 부피가 작고 신뢰성이 향상되는 장점이 있다. 또한, 기존의 충전기가 AC DC 변환기와 DC DC 변환기를 포함한 2단 구조인데 비해 제안하는 충전기는 매트릭스 컨버터 회로를 이용한 1단 구조로서 제어부 구성이 간단한 장점이 있다. 본 논문에서는 제안한 충전기를 해석하고, 시뮬레이션을 통하여 제안한 충전기의 유효성을 확인한다.

### 1. 서 론

최근 전기자동차의 상용화로 인하여 충전인프라 구축의 필요성이 점차 증대되는 추세이다. 5시간 내외의 장시간 충전 시간을 필요로 하는 3.3kW 용량의 완속충전기와는 달리 급속충전기의 경우 30분 이내의 단시간에 충전을 완료하여야 하므로 50kW의 대응량으로 설계된다.<sup>[1][2]</sup> 따라서 큰 부피와 무게를 줄일 수 있는 소형경량화 기술이 필요하다.

기존의 풀브리지형 급속충전기는 3상 PWM 컨버터와 풀브리지 컨버터로 구성된 2단 구조로서 직류링크단에 평활용 전해 커패시터를 포함하고 있어 전해커패시터의 수명문제와 큰 부피의 단점을 가지고 있다.<sup>[3]</sup>

본 논문에서는 전해커패시터 사용에 따른 문제점을 개선하기 위해 매트릭스 컨버터 토폴로지에 기반한 3상 절연형 커패시터리스 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 1단 구조로서 직류링크단의 전해커패시터를 제거할 수 있고 제어회로를 간단하게 구성할 수 있는 장점이 있다.

## 2. 제안한 3상 커패시터리스 컨버터

### 2.1 제안한 컨버터의 구성

본 논문에서 제안한 3상 절연형 커패시터리스 컨버터는 그림 1과 같다. 기존의 풀브리지형 컨버터가 AC DC 정류기와 고주파 절연형 DC DC 컨버터의 2단 전력변환부로 구성되어 있는데 반해 제안한 컨버터는 6개의 양방향 스위치를 가진 1단 전력변환부로 구성된다.

제안한 컨버터는 입력 필터부와 간접매트릭스형 변환기, 고주파 변압기, 정류부, 출력필터부로 구성되며 전력변환기와 고

주파변압기 사이에 직류링크가 없어서 전해커패시터를 필요로 하지 않는 장점이 있다.

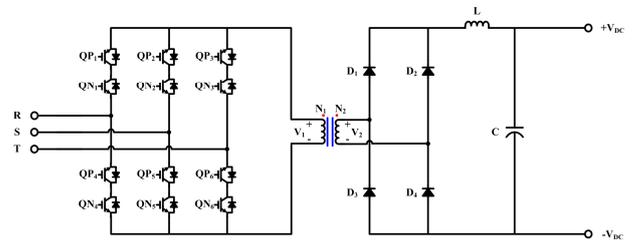


그림 1 제안한 3상 절연형 커패시터리스 컨버터  
Fig. 1 Proposed three-phase isolated capacitorless converter

### 2.2 제안회로 동작원리

고주파 변압기를 거쳐 2차측 부하단으로 전력을 전달하기 위해서는 변압기 1차측 권선에 교류전압이 인가되어야 한다.

매트릭스 컨버터의 입력은 3상 60Hz의 교류전압이지만 컨버터의 스위칭 주파수가 20kHz 이상인 점을 감안하면 스위칭 한 주기 내에서는 근사 직류로 볼 수 있다. 따라서 동작 스위치를 적절히 제어하면 변압기 1차측에 교류전압 인가가 가능하다.

입력 전압의 상별 전압의 크기를 기준으로 섹터를 구분하면 그림 2와 같다.

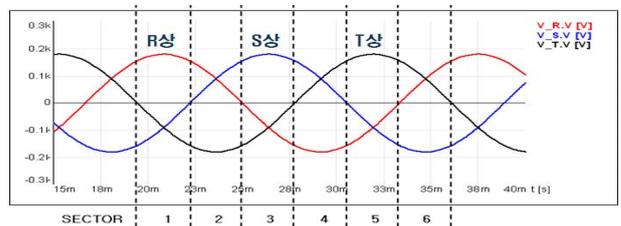


그림 2 섹터 판별  
Fig. 2 Sector selection

각 섹터별로 전압 크기의 절대 값이 가장 큰 상을 기준으로 주 동작 스위치가 결정된다. 예를 들어 섹터 1에서는 R상의 양(+)의 전압이, 섹터 2에서는 T상의 음(-)의 전압이 최대가 되므로 섹터 1에서는 R상의 스위치가 섹터 2에서는 T상의 스위치가 주 동작 스위치가 된다.

그림 1의 제안회로에는 총 12개의 스위치가 있지만 고주파 변압기의 1차 코일에 양(+)의 전압을 인가하기 위한 스위치 6

개와 음( )의 전압을 인가하기 위한 스위치 6개로 구분할 수 있다. 스위치  $QP_1 \sim QP_6$  변압기에 양(+)의 전압을 인가할 때 동작하는 스위치이고 스위치  $QN_1 \sim QN_6$  변압기에 음( )의 전압을 인가할 때 동작하는 스위치이다. 양(+)의 스위치와 음( )의 스위치가 동시에 동작하는 경우는 없으므로 제안회로는 총 12개의 모드를 갖는다.

제안회로의 모드별 스위치 동작을 정리하면 표 1과 같다. 모드 1에서 모드 6은 변압기 1차 코일에 양(+)의 전압이 인가될 때의 스위치 동작이고 모드 7에서 모드 12는 변압기 코일에 음( )의 전압이 인가될 때의 스위치 동작이다. R→S는 전류의 흐름을 나타내는 표시이다.

표 1 모드별 스위치 동작  
Table 1 Switch operations at each mode

양(+) 극성			음(-) 극성		
Mode 1	R → S	$QP_1, QP_5$ ON	Mode 7	R → S	$QN_2, QN_4$ ON
Mode 2	R → T	$QP_1, QP_6$ ON	Mode 8	R → T	$QN_3, QN_4$ ON
Mode 3	S → T	$QP_2, QP_6$ ON	Mode 9	S → T	$QN_3, QN_5$ ON
Mode 4	S → R	$QP_2, QP_4$ ON	Mode 10	S → R	$QN_1, QN_5$ ON
Mode 5	T → R	$QP_3, QP_4$ ON	Mode 11	T → R	$QN_1, QN_6$ ON
Mode 6	T → S	$QP_3, QP_5$ ON	Mode 12	T → S	$QN_2, QN_6$ ON

변압기 1차 코일에 양(+)의 전압과 음( )의 전압이 각각 1번씩 걸리는 것을 한 주기로 볼 때 제안회로는 한 주기 내에서 양(+)극 모드 2개와 음( )극 모드 2개로 총 4개의 모드를 가진다. 각 섹터별로 모드를 정리하면 표 2와 같다.

표 2 섹터별 모드  
Table 2 Modes at each sector

	양(+) 극성	음(-) 극성
Sector 1	Mode 1, Mode 2	Mode 7, Mode 8
Sector 2	Mode 2, Mode 3	Mode 8, Mode 9
Sector 3	Mode 3, Mode 4	Mode 9, Mode 10
Sector 4	Mode 4, Mode 5	Mode 10, Mode 11
Sector 5	Mode 5, Mode 6	Mode 11, Mode 12
Sector 6	Mode 6, Mode 1	Mode 12, Mode 7

### 3. 시뮬레이션

#### 2.1 제안한 충전기의 구성

제안회로의 유효성을 확인하기 위하여 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에 파라미터는 표 3과 같다.

표 3 시뮬레이션 파라미터  
Table 3 Simulation parameters

Parameter	Value	Parameter	Value
Input Voltage( $V_{in}$ )	220[Vrms]	Turn Ratio( $N1/N2$ )	0.4
Switching Frequency( $f_{sw}$ )	20[kHz]	Inductance	100[uH]
Output Power( $P_o$ )	5[kW]	Capacitance	6600[uF]
Output Voltage( $V_o$ )	450[V]		

그림 3은 섹터 1에서의 게이트 파형이고 그림 4는 변압기 전압파형 및 출력파형이다.

그림 4(a)에서 스위치 동작에 따라 변압기에 정상적으로 전압이 인가됨을 확인할 수 있으며, 그림 4(b)에서 출력전압 450V와 출력전류 11.1A로 제안한 회로가 정상 동작함을 확인하였다.

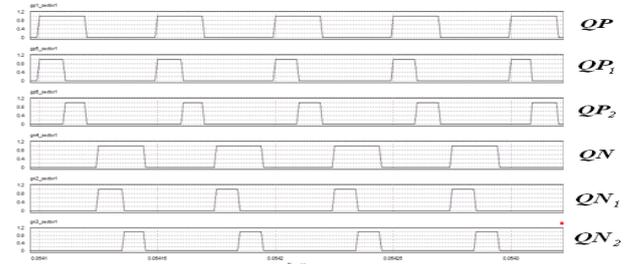
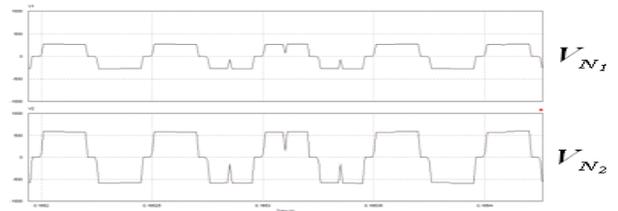
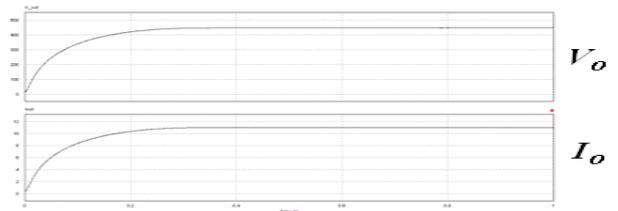


그림 3 제안한 컨버터의 게이트 신호  
Fig. 3 Gate signals of the proposed converter



(a) 변압기 1,2차 전압



(b) 출력전압 및 전류

그림 4 시뮬레이션 결과  
Fig. 4 Simulation results

### 4. 결론

본 논문에서는 매트릭스 컨버터 기반의 캐패시터리스 컨버터를 제안하였다. 제안한 충전기는 직류링크단의 캐패시터와 폴브리지 회로를 제거함으로써 장비의 신뢰성을 향상시키고, 부피를 줄이는 장점이 있다.

제안한 충전기의 유효성을 확인하기 위해 해석 및 제어방법을 제시하였고, 시뮬레이션을 수행하여 제안한 회로가 정상적으로 충전동작을 수행할 수 있음을 확인하였다.

### 참고 문헌

- [1] 김원용 외 7명, "EV/PHEV용 3.3kW 양방향 배터리 충전기", 전력전자학회 전력전자학술대회 논문집, pp.7 8, 2011.
- [2] 조형연 외 7명, "전기자동차 급속 충전 시스템", 전력전자학회 전력전자학술대회 논문집, pp.324 325, 2010.
- [3] 반충환 외 5명, "리튬 폴리머 배터리용 급속 충전 방전 시스템의 설계 및 특성 연구", 한국조명전기설비학회 춘계학술대회 논문집, pp.221 222, 2011.