

# Charge Pump 멀티레벨 인버터

김홍권, 지상근, 홍성수, 한상규  
국민대학교 전력전자 연구소

## Charge Pump Multi-level Inverter

Hong Kwon Kim, Sang Keun Ji, Sung Soo Hong, Sang Kyo Han  
Kookmin University Power Electronics Center

### ABSTRACT

일반적으로 멀티레벨 인버터는 고조파 저감을 위하여 출력전압의 레벨 수에 비례하는 다수의 플로팅(floating)된 입력 전압원 또는 다수의 절연 변압기를 필요로 하므로 시스템이 복잡하고 가격이 높은 단점을 갖는다. 이를 위해 본 논문에서는 단 한 개의 입력 전압원만으로 원하는 만큼의 출력전압 레벨 수를 획득할 수 있는 Charge Pump 방식의 멀티레벨 인버터를 제안한다. 제안된 인버터는 시스템 구성이 매우 간단하여 제작 단가 및 전력변환 효율을 개선시킬 수 있는 장점을 가진다. 최종적으로 제안 인버터의 특성에 대한 이론적 분석과 모의실험을 통해 그 우수성을 검증한다.

### 1. 서 론

기존 H 브리지 인버터는 입력전압  $V_{in}$ 으로부터  $V_{in}$ , 0,  $V_{in}$  인 3 레벨의 전압을 출력하므로 출력에 많은 고조파 성분이 포함되어 THD(Total Harmonic Distortion: 종합왜율) 특성이 저조할 뿐만 아니라 출력전압의 크기를 입력전압  $V_{in}$  이상으로 증가시켜야 할 경우 별도의 승압 컨버터나 승압 트랜스포머가 요구되는 단점을 가진다. 이를 위해 기존에는 여러 개의 절연 트랜스포머와 H 브리지 인버터로 구성된 멀티레벨 인버터 또는 여러 개의 플로팅 전압원과 H 브리지 인버터가 직렬로 구성된 Cascaded H bridge 멀티레벨 인버터가 제안된 바 있다.<sup>[1,2]</sup>

상기 Cascaded H bridge 멀티레벨 인버터의 경우 원하는 레벨(N level)의 출력전압을 출력하므로 THD 특성이 우수하며 모든 전력스위치의 전압스트레스가 출력전압의  $(N-1)/2$ 로 낮출 수 있는 장점이 있으나  $(N-1)/2$ 개의 H 브리지 인버터와  $(N-1)/2$ 개의 플로팅전압원이 요구되며 이를 위해서는 별도의 절연형 전력컨버터를 여러 개 사용하여 다수의 플로팅된 전압원을 생성해야 하므로 제작단가가 매우 높고 입출력 전력변환 효율이 낮은 단점을 갖는다. 본 논문은 상기한 문제점을 해결하기 위한 것으로 단 한 개의 입력 전압원으로 멀티 레벨 출력을 획득할 수 있는 새로운 Charge Pump 인버터 토폴로지를 제시하고, 시뮬레이션을 통해 그 타당성을 검증한다.

### 2. 제안된 Charge Pump 멀티레벨 인버터

그림 1은 제안된 Charge Pump 9 레벨 인버터의 회로구성을 보여준다. 그림에서 보인 바와 같이 그림 2와 같은 2가지

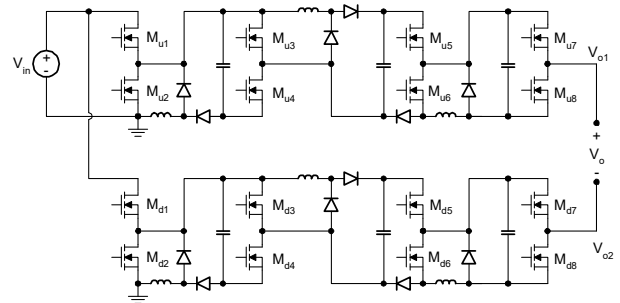
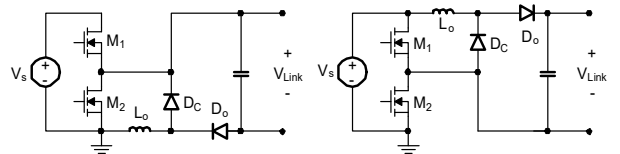
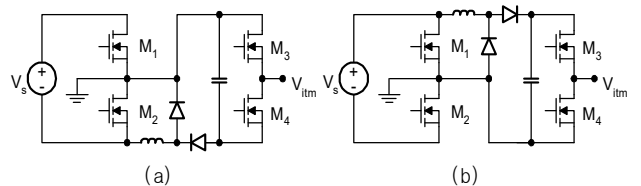


그림 1 제안하는 Charge Pump 9-레벨 인버터 회로



(a) Low side Charge Pump (b) High side Charge Pump

그림 2 제안하는 Charge Pump 멀티레벨 인버터 회로에 사용된 2가지 Charge Pump 부



(a) (b)

그림 3 제안하는 Charge Pump 멀티레벨 인버터 회로에 사용된 2가지 인버터부

종류의 Charge Pump부 6개와 그림 3에 보인 2가지 종류의 인버터부 6개로 구성되어 있다.

먼저 그림 2 (a)의 Low side Charge Pump부의 동작은  $M_1$  스위치가 On 이고  $M_2$  스위치가 Off 상태일 때 입력전압  $V_s$ 로부터 링크 캐패시터를  $V_{link} = V_s$ 로 충전하게 된다. 이때 인덕터  $L_0$ 는 링크 캐패시터 충전 시 돌입전류를 저감하기 위해 삽입된 것으로 회로 동작상 비절연형 buck 컨버터와 동일 하지만 인덕터  $L_0$ 를 작게 설계하여 DCM으로 동작시킴으로써  $V_{link} \approx V_s$ 로 충전할 수 있다. 그림 2 (b)의 High side Charge Pump도 마찬가지로  $M_2$  스위치가 On 이고  $M_1$  스위치가 Off 상태일 때 입력전압  $V_s$ 로부터 링크 캐패시터를  $V_{link} = V_s$ 로 충전하게 된다. 한편 그림 3은 제안된 Charge Pump 멀티레벨 인버터 회로에 사용된 2가지 종류의 인버터부를 보이고 있으며 이 중 그

그림 3 (a)에 보인 인버터에서 우측 인버터 Leg의  $M_3$ 가 On이고  $M_4$ 가 Off인 경우 GND대비 출력 전압  $V_{im}$ 은 0이 출력되고,  $M_3$ 가 Off이고  $M_4$ 가 On인 경우 GND대비 출력 전압  $V_{im}$ 은  $V_s$ 이 출력된다. 또, 그림 3 (b)에 보인 인버터에서 우측 인버터 Leg의  $M_3$ 가 On이고  $M_4$ 가 Off인 경우 GND대비 출력 전압  $V_{im}$ 은  $V_s$ 가 출력되고,  $M_3$ 가 Off이고  $M_4$ 가 On인 경우 GND대비 출력 전압  $V_{im}$ 은 0이 출력된다. 따라서 그림 2와 그림 3에 보인 Charge Pump부와 인버터 부를 그림 1과 같이 조합하면  $V_{o1}$ 과  $V_{o2}$ 에는 각각 GND 대비  $2V_{in}$ ,  $V_{in}$ , 0,  $V_{in}$ ,  $2V_{in}$ 의 5가지 레벨의 출력전압을 얻을 수 있고 그림 1의 상측 인버터부와 하측 인버터부의 위상 차이를 통해  $4V_{in}$ ,  $3V_{in}$ ,  $2V_{in}$ ,  $V_{in}$ , 0,  $V_{in}$ ,  $2V_{in}$ ,  $3V_{in}$ ,  $4V_{in}$ 의 9가지 레벨의 최종 출력전압  $V_o$ 를 획득할 수 있다.

본 논문의 멀티레벨 인버터는 단 하나의 입력전압( $V_{in}$ )으로 Charge Pump 동작을 사용하여 각부 링크 캐패시터의 전압을 입력전압  $V_{in}$ 으로 충전하고 입력 전압과 캐패시터 전압을 이용하여 멀티레벨을 갖는 최종 출력전압을 출력할 수 있으므로 종래의 멀티레벨 인버터가 요구한 다수의 플로팅된 전압원이 불필요하므로 제작단가 측면에서 매우 우수한 장점을 갖는다. 또한 클램프 다이오드에 의해 모든 반도체 소자가 입력전압으로 클램핑되므로 별도의 스너버가 필요 없고, 소자 전압 스트레스를 저감시킬 수 있다. 특히 본 논문의 인버터는 중성점 전압의 평균이 0[V]이기 때문에 입력단과 출력단의 동일 그라운드 접지가 가능하므로 절연 변압기 없는 시스템 구현이 가능한 장점을 가진다.

### 3. 시뮬레이션

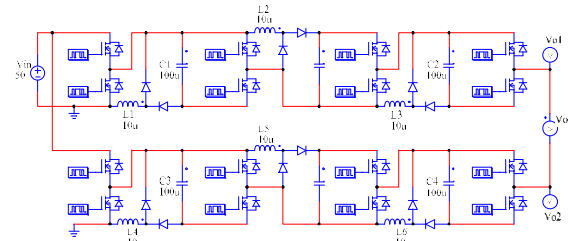
그림 4는 제안된 멀티레벨 인버터의 회로도와 시뮬레이션 결과를 보이고 있다. 그림 4 (a)와 (b)는 4개의 Low side Charge Pump와 2개의 High side Charge Pump에 인버터부 6개를 사용한 경우 회로도와 주요동작 파형을 보이고 있다. 인버터부 Leg간의 위상차이는  $\phi_L$ 이며 상하측 인버터 위상차이는  $\phi_p$ , 좌우측 인버터 위상차이는  $\phi_s$ 이고  $V_o$ 는  $4V_{in} \sim 4V_{in}$ 의 9레벨의 출력파형을 가짐을 알 수 있다. 한편, 그림 4의 (c)와 (d)는 두 인버터 출력의 합으로 나타나는 최종 인버터의 13레벨을 가지는 출력전압 파형을 보여주며 사인파에 가까운 출력전압 생성이 가능할 뿐만 아니라 레벨을 증가시킬수록 더 높은 출력전압을 생성시킬 수 있다. 제안한 멀티레벨 인버터는 직렬로 연결되는 Charge Pump와 인버터 Leg의 개수를 더 늘릴 수 있으며 이는 최종 출력되는 출력 전압 파형의 레벨을 증가시킬 수 있어 고조파 성분 및 THD 특성을 더욱 개선시킬 수 있다.

표 1 시뮬레이션에 사용된 입출력 사양

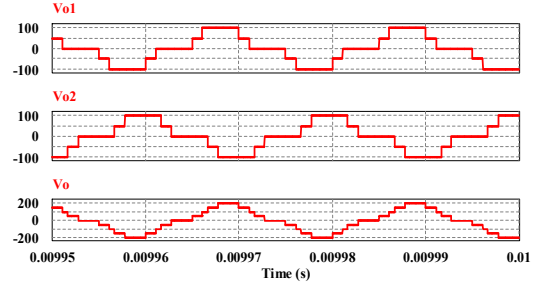
$V_{in}$	50 V	$f_{sw}$	50kHz
L	10uH	위상차	$\phi_L=90^\circ$ $\phi_s=10^\circ, 20^\circ$ $\phi_p=30^\circ$
C	100uF	$V_{ref}$	amplitude : 1 frequency : 60Hz

### 4. 결 론

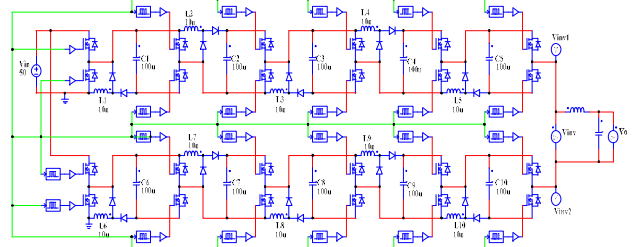
본 논문에서는 종래의 멀티레벨 인버터가 제작단가가 매우 높고 입출력 전력변환 효율이 낮다는 단점을 해결하기 위해 단 한 개의 입력 전압원으로 멀티레벨 출력을 획득할 수 있고 승합 트랜스포머가 없는 새로운 토폴로지를 제시하고 Charge Pump 동작과 인버터부를 포함하는 모듈을 늘림으로써 출력레벨수 증가와 고조파가 감소되는 것을 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 제안한 멀티레벨 인버터 구조는 특정 회로에 한정되지 않고 컨버터 및 계통연계형 인버터에 응용될 수 있다.



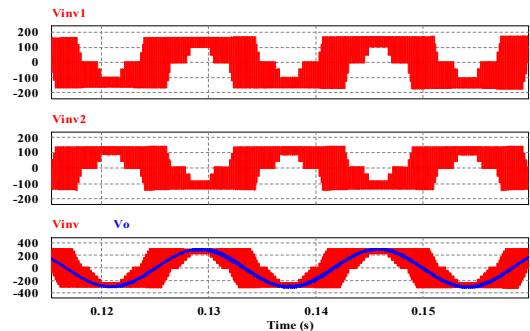
(a) 직병렬접속된 9레벨 인버터 시뮬레이션 회로도



(b) 시뮬레이션 결과파형 (위에서부터  $V_{o1}$ ,  $V_{o2}$ ,  $V_o$ )



(c) 직병렬접속된 13레벨 인버터 시뮬레이션 회로도



(d) 시뮬레이션 결과파형 (위에서부터  $V_{inv1}$ ,  $V_{inv2}$ ,  $V_{inv}$  &  $V_o$ )

그림 4 제안하는 Charge Pump 멀티레벨 인버터 시뮬레이션

이 연구(논문)는 한국에너지기술연구원 지원으로 수행하는 지식경제 기술혁신사업(과제번호 : 2010T100100763)의 일환으로 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

[1] Sung Geun Song, Feel Soon Kang, and Sung Jun Park, "Cascaded Multilevel Inverter Employing Three Phase Transformers and Single DC Input", IEEE Trans, Industrial Electronics, Vol. 56, No. 6, pp. 2005-2014, June, 2009.

[2] Cheol soon Kwon, Won kyun Choi, and Feel soon Kang, "Cascaded H bridge multilevel inverter using trinary dc sources", in IEEE ICEMS Rec., 2010, pp.52-55.