

3상 고압 전력연계를 위한 다중레벨 인버터

안현진*, 이화춘*, 송성근*, 이상훈**, 박성준*, 김광현*, 임영철*
 전남대학교 전기공학과*, 삼성전기**

Multi-level PWM Inverter for 3-Phase High Voltage Power On-Grid

Hyun-Jin Ahn*, Hwa-Chun Lee*, Sung-Gun Song*, Sang-Hun Lee**, Sung-Jun Park*,
 Kwang-Heon Kim*, Young-Cheol Lim*
 Chonnam University*, Samsung Electro-Mechanics**

ABSTRACT

This paper deals with the three phase high voltage power-grid connection topology using multi-level inverter. Due to the multi-level inverter, these are improved effect of fluctuating voltage, problem of EMC and switching loss using suitable switching patterns of device, above all thing, it is easy to realize the system because of using lower voltage rating switch. This topology can be applicable to power-grid connection of wind system, there is a good point about economical efficiency. The simulation results are presented to verify the validity of the proposed topology.

1. 서론

2레벨 인버터는 입력 직류 전원을 출력하므로 고압을 스위칭 하게 되고, 이로 인해 dv/dt에 의한 부하측의 스트레스 및 EMC(Electro magnetic compatibility)의 영향이 크다. 이와 같은 2레벨 인버터의 단점을 극복하며 신·재생 에너지 발전의 요구 및 산업용 대용량 인버터에 적합한 구조가 다중레벨 인버터이다. 다중레벨 인버터는 여러 개의 스위치 소자를 이용하여 낮은 전압을 적층하여 출력 전압을 형성 하는 방식으로 낮은 전압을 스위칭 함으로 dv/dt에 의한 영향이 작아지며, EMC의 발생 역시 줄어든다. 또한, 전압 적층을 하기 위해 스위치들이 직렬로 연결되므로, 각 스위치의 전압정격이 낮아지게 되며, 이는 다시 말해 고전압을 형성하기 위해 전압 정격이 낮은 스위치를 사용할 수 있으므로 구현이 용이하다^[1].

본 논문에서는 높은 DC 고전압 이용이 가능한 다중레벨 인버터 구조를 제안한다. 제안된 인버터의 구조는 높은 직류 전압을 분할 할 수 있도록 커패시터를 직렬로 연결하였으며, 각 분할용 커패시터를 직류전원으로 하여 3상 H-Bridge 인버터와 변압기의 조합으로 다중레벨 인버터 전력회로를 구성하였다. 또한, 제안된 다중레벨 인버터에 적합한 스위칭 신호는 새로운 변조파 위상변위 방식을 사용한 PWM 스위칭 신호에 의해 확장이 용이한 다중레벨 인버터 스위칭 신호를 구성하였다. PSIM을 이용한 시뮬레이션을 통하여 제안된 방식의 타당성을 검증하였다.

2. 고압 구동용 다중레벨 인버터

2.1 다중레벨 인버터의 원리

그림 1은 5-레벨 인버터의 한 상에 대한 개념도를 나타내고 있으며, 여기서 a상의 인버터 출력 V_{ag} 는 V_1, V_2 등의 노드전압을 선택함에 따라 임의의 전압레벨이 된다.

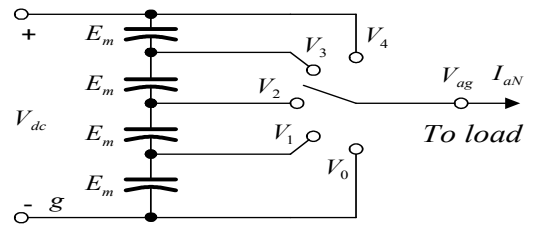


그림 1 다중레벨 인버터의 개념도
 Fig. 1. Schematic of multi-level inverter

그러므로 다중레벨 인버터의 한 극은 다채널 단극 스위치 (Single pole multi throw)로 생각할 수 있다. 즉, 한 번에 한 노드에 연결된 스위치에 의해 한 개의 원하는 출력을 형성한다. 다중레벨 인버터의 구조는 일반적으로 커패시터 전압으로부터 몇 개의 직류 전압 레벨을 정현파 전압에 가깝게 합성시키는 것으로, 레벨 수를 증가 시킬수록 합성된 출력 파형은 원하는 정현파 파형에 가까운 계단파가 된다. 이는 파형에 더 많은 단계가 더해질수록 인버터 출력 파형의 총 고조파 왜형률 (THD)이 감소되기 때문이며, 레벨수를 증가시키에 따라 다중 전압 레벨에 의해 합산되어 인가되는 전압의 최대치 또한 증가하게 되고 양의 반주기 동안의 출력 전압은 다음 식과 같이 정의 된다.

$$V_{ag} = \sum_{i=0}^{m-1} E_m S_i \quad (1)$$

위 식에서 S_i 는 0 또는 1의 값을 갖고 i 번째 노드의 스위칭 함수 또는 제어 함수를 나타낸다. 각 커패시터의 전압이 평형이라면, 식 (1)에서 나타낸 바와 같이 커패시터 전압은 모두 E_m 이 된다. 따라서 m -레벨 인버터의 경우 출력전압의 최대치는 다음 식에 의해 계산된다.

$$V_{ag} = (m-1)E_m = V_{dc} \quad (2)$$

2.2 제안된 고압 구동형 다중레벨 인버터 구조

그림 2는 본 논문에서 제안된 고압 운전을 위한 콘덴서 분할형 다중레벨 인버터의 구조를 나타내고 있다.

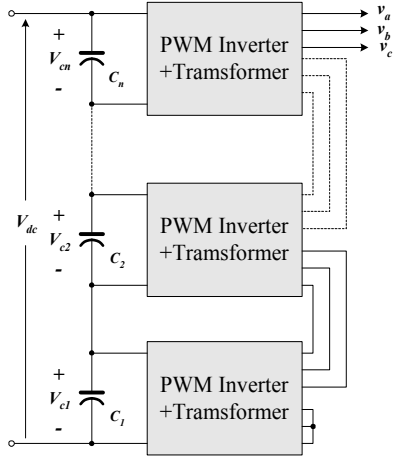


그림 2. 제안된 다중레벨 인버터의 개념도
Fig. 2 Structure of proposed multi-level inverter

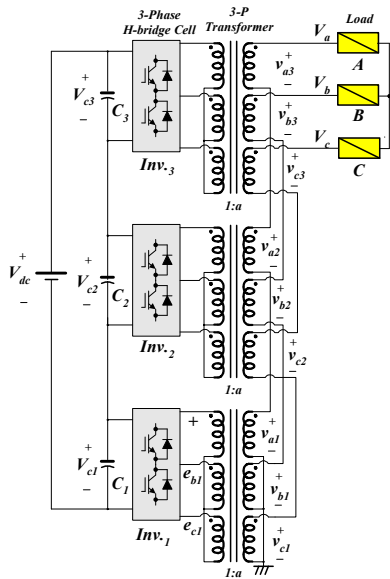


그림 3. 제안된 3상 다중레벨 인버터의 구조
Fig. 3 Structure of proposed 3-phase multi-level inverter

그림 2와 같이 n 개의 동일용량의 콘덴서를 직렬로 연결하고 고압 V_{dc} 라인에 연결하면, 콘덴서에 인가되는 전압은 V_{dc}/n 으로 저감된다. 이 저감된 전압을 이용하여 PWM 인버터를 구동시키면, 인버터의 출력전압을 형성할 수 있다. 인버터의 직류 전압은 상·하단 직류전압과 서로 연결되어 있어, 인버터의 출력전압을 직렬로 연결하기 위해서는 절연이 필수적이다. 이를 해결할 수 있는 한 방법은 변압기를 사용하는 것이다. 또한 이러한 콘덴서 분할에 의한 전압 저감 방법에서 전압분배가 균일하게 이루어지려면 각 콘덴서에서 인버터로 유입되는

전류 평균치가 일치하여야 한다.

그림 2에서 제안된 콘덴서 분할형 다중레벨 인버터는 단상 및 3상에 적용할 수 있다. 그림 3은 본 논문에서 제안된 고압 운전을 위한 콘덴서 분할형 다중레벨 인버터의 구조로서, 3상 인버터를 사용한 3상 다중레벨 인버터를 나타내고 있다. 콘덴서에 의해 분할된 전압을 이용하여 3상 인버터를 구성하였으며, 인버터 출력을 3상 변압기 1차 측으로 구성하고 변압기 2차 측은 직렬로 연결하는 구조를 취하고 있다. 이로 인하여 최종 출력전압은 식 3과 같이 각 변압기 2차 측 출력전압의 합으로 나타난다.

$$V_a = v_{a1} + v_{a2} + v_{a3} \quad (3)$$

2.3 위상 변위를 이용한 스위칭 함수 구현

그림 3과 같이 콘덴서 분할형 인버터에서 동일한 전압 분배를 하기 위해서는, 전압의 밸런스 유지가 매우 중요하다. 전압의 밸런스 여부는 스위칭 함수에 의해 좌우되며 본 논문에서는 그림 4와 같이 반송파의 위상 변위를 이용한 스위칭 함수발생 방법을 제안한다.

각 반송파의 위상차는 인버터의 수에 의해 좌우되며 다중레벨 인버터 수를 N 이라하면 식 (4)와 같다.

$$\phi = \frac{2\pi}{N} \quad (4)$$

그림 4의 경우 3상 인버터 3조를 사용하여 다중레벨 인버터를 구성한 경우로 각 반송파의 위상차는 그림에서 보는바와 같이 120° 가 된다. 그림 4(a)는 120° 위상차를 갖는 3개의 반송파와 한 개의 변조파를 나타내고, (b), (c), (d)는 다중레벨용 인버터의 a상 암의 상위 스위칭 신호를 나타내고 있다.

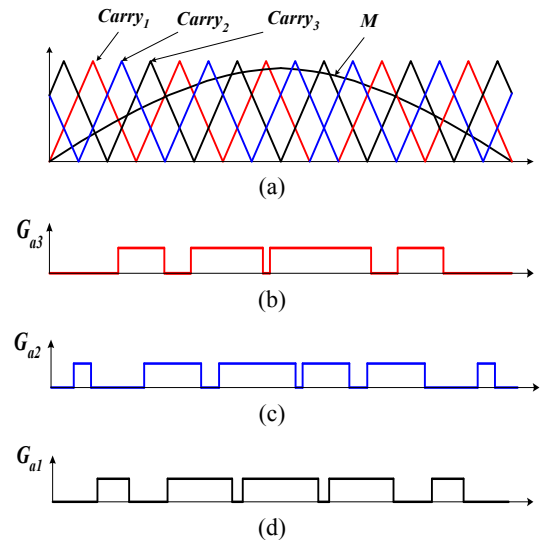


그림 4. 위상변위를 이용한 스위칭 함수
Fig. 4 The switching function using phase shift

3. 시뮬레이션 결과

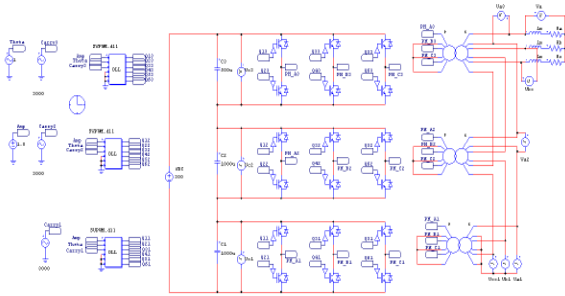
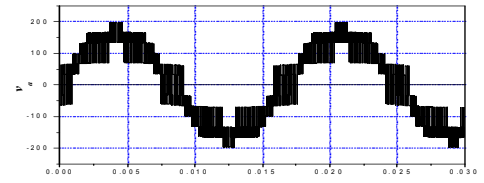
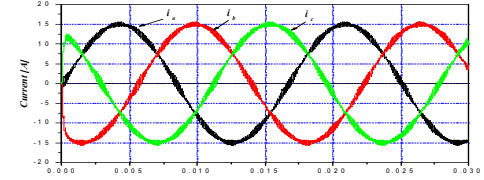


그림 5. 시뮬레이션 회로도
Fig. 5 Simulation circuit

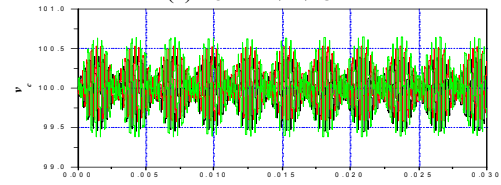
제안된 고압 구동이 가능한 인버터 방식 및 변조방식의 타당성을 검증하기 위해 시뮬레이션을 수행 하였다. 시뮬레이션은 그림 5와 같이 PSIM을 이용하였으며, 스위칭 함수는 Visual C++을 이용한 dll파일을 이용하였다. 그림 6은 변조비(M)를 1.0으로 한 경우의 a상 기준 신호를 기준으로 한 다중레벨 인버터의 출력 및 각 트랜스의 출력을 나타내고 있다. 그림 6 (a), (b), (c)는 다중레벨 발생용 3조의 변압기 a상 출력전압 파형을 나타내고, 그림 6(d)는 인버터의 최종 출력 전압을 나타내고 있다. 그림에서 보는바와 같이 3상 변압기 상 출력 전압은 인버터 입력 직류전압의 $\pm 1/3$ 및 $\pm 2/3$ 전압이 나타나며, 최종 출력 전압은 이 전압의 순시적인 합으로 6-레벨의 전압이 나타남을 알 수 있었다. 그림 6(e)는 이때의 3상 상전류 파형으로 양호한 정현파를 형성함을 알 수 있다. 그림 6(f)는 분할용 콘덴서의 전압분배 특성을 보기 위한 파형으로, 그림 6에서 알 수 있듯이 분할용 콘덴서 중 제일 상단 콘덴서를 다른 콘덴서에 비하여 1/2로 설정한 경우의 결과이다. 그림 6(d)에 1/2 콘덴서에 나타나는 순시 전압변동은 기존 콘덴서에 비하여 약 0.2[%]의 전압 맥동이 크게 나타나나 이 값은 무시할 수 있는 정도로 적은 값이 됨을 알 수 있었다.



(d) v_a 파형



(e) 상 전류파형



(f) 분할용 콘덴서 전압파형

그림 6. 실험 결과 파형
Fig. 6 Simulation results

4. 결론

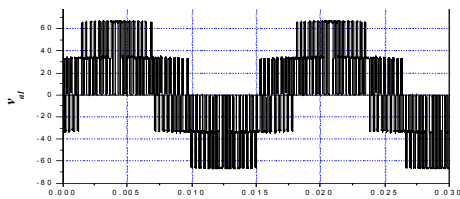
본 논문에서는 높은 직류전압 구동이 가능한 콘덴서 분할용 다중레벨 인버터 구조를 제안하고, 이에 적합한 스위칭 신호 발생 방법을 제안하였다. 제안된 인버터의 구조는 커패시터를 직렬로 연결하여 전압을 분배함으로써 높은 직류전압의 사용이 가능하게 하였다. 또한 제안된 다중레벨 인버터에 적합한 스위칭 신호는 새로운 변조와 위상변위 방식을 사용한 PWM 스위칭 신호에 의해 확장이 용이한 다중레벨 인버터 스위칭 신호를 구성하였다. 실험 결과 본 전력회로의 분할용 콘덴서 값의 차이가 100[%]가 있더라도 양호한 다중레벨이 가능함을 입증하였다.

감사의 글

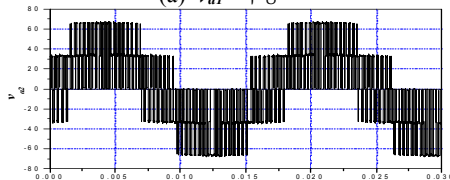
본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구 결과임.
이 연구의 참여한 연구자는 『2단계 BK21 사업』의 지원비를 받았음.

참고 문헌

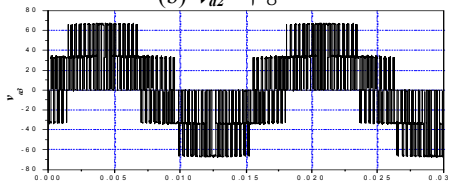
- [1] Abraham I. Pressman, Switching Power Supply Design, McGraw-Hill, Inc., 1991.
- [2] N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, Power Electronics: converters, applications, and design, John Wiley & Sons, Inc., 1995.
- [3] B. K. Bose, Power Electronics and Variable Frequency Drives: Technology and Applications, IEEE Press, 1997.



(a) v_{a1} 파형



(b) v_{a2} 파형



(c) v_{a3} 파형