

직렬 결합된 커패시터를 DC 입력으로 갖는 7-레벨 인버터

김진산, 여성찬, 강필순
한밭대학교

Seven-level Inverter employing a series-connected capacitor as DC input

Jin san Kim, Sung Chan Yeo, Feel soon Kang
Hanbat National University

ABSTRACT

본 논문에서는 직렬로 결합된 세 개의 커패시터를 입력 전압 원으로 하는 7 레벨 인버터의 입력 커패시터 전압이 불균형을 이루는 원인을 분석하고 전압 균형 제어를 적용하여 7 레벨의 출력 전압을 생성하는 방법에 대하여 제안한다. 직렬로 결합된 커패시터에서 전압 불균형이 발생하는 기본적인 원인은 커패시터의 충·방전 시간에 대한 불평형이며 이는 양방향 제어가 가능한 스위치의 ON/OFF 듀티폭 제어를 통해 해결이 가능하다. 제안하는 제어법의 타당성 검증을 위해서 제안하는 전압 균형 제어 적용 전후에 대한 시뮬레이션 및 실험 결과를 제시한다.

1. 서론

멀티레벨 인버터는 다수의 출력전압 레벨을 생성하기 위하여 입력으로 dc 전원을 사용하게 된다. Cascaded H bridge 멀티레벨과 같이 독립된 dc 전원의 사용이 일반적이지만 최근 회로 토폴로지의 간략화를 위해 직렬 결합된 dc 전원을 멀티레벨 인버터의 입력으로 사용하는 방식이 연구되고 있다. 특히 dc 전원을 직렬 결합하는 멀티레벨인버터 방식은 독립된 다수의 전원 확보가 어렵거나 스위칭 소자수를 저감하면서 출력전압 레벨 수를 증가시키는 경우에 적합하다. 이러한 목적으로 최근 커패시터 직렬 결합의 입력 dc 전원을 활용한 7 레벨 인버터가 소개되었다^[1]. 그러나 직렬 결합된 커패시터를 입력으로 사용할 경우 효과적인 출력전압 생성의 장점은 있지만 직렬 결합된 커패시터를 입력으로 사용할 경우 가운데 커패시터의 충·방전 제어를 통한 커패시터 전압 균등제어가 요구된다. 회로 구성을 보다 간단하게 수정한 7 레벨 인버터가 태양광 발전용 인버터로 적용되었다^[2]. 하지만 이 회로의 경우 직렬 결합된 커패시터의 전압 불균형을 해소하기 위한 제어 방식이 적용되어 있지 않다. 하지만 입력 전압으로 사용되는 커패시터를 개별적으로 충전하지 않으면 전압 불균형이 발생할 수밖에 없다. 따라서 본 논문에서는 커패시터 전압 불균형을 해결할 수 있는 스위칭 제어법을 적용하고 PSIM 시뮬레이션과 시작품 기반 실험을 통해 검증한다.

2. 커패시터 직렬 입력을 갖는 7-레벨 인버터

그림 1은 커패시터 직렬 입력 구조를 갖는 7 레벨 인버터를

나타낸다. V_{dc} 의 입력전원과 직렬 결합된 세 개의 커패시터, 두 개의 양방향 스위치모듈, 한 개의 H bridge 모듈로 구성된다. 커패시터 전압 불균형이 없는 이상적인 경우 직렬 결합된 세 개의 커패시터는 각각 $V_{dc}/3$ 의 전압을 공급하며 각 레벨 전압이 $V_{dc}/3$ 인 7 레벨 인버터가 구성된다.^[2]

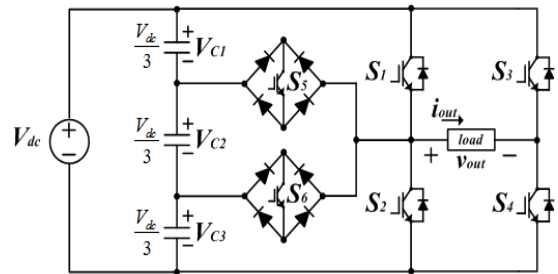


그림 1 커패시터 직렬 입력 구조를 갖는 7-레벨 인버터
Fig. 1 7-level inverter with series-connected capacitor

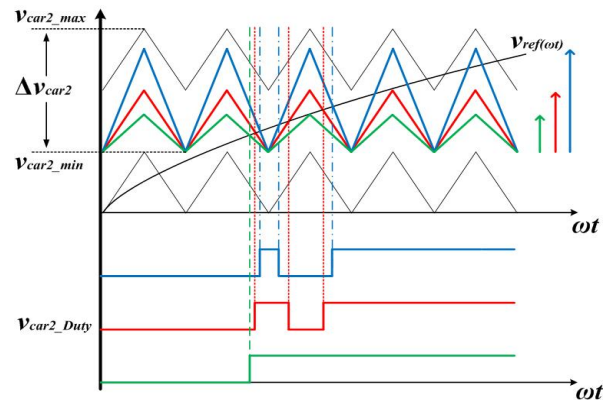


그림 2 반송신호 V_{car2} 의 진폭 변화에 따른 펄스폭 변화
Fig. 1 Pulse width variation according to amplitude change of carrier signal V_{car2}

직렬 결합된 세 개의 커패시터 전압을 균등하게 제어하기 위해서 본 논문에서 중앙의 커패시터 C_2 의 충·방전률을 조절하는 방식을 적용한다. 커패시터 C_2 는 커패시터 C_1 과 C_3 사이에 위치하기 때문에 C_1 과 C_3 의 충·방전 전류는 C_2 를 통과하여 흘러야한다. 이를 위해서 다중 반송파 방식 SPWM의 PD(Phase Disposition) 변조를 이용한다. 따라서 하나의 기준파 V_{ref} 와 세 개의 반송파 V_{car1} , V_{car2} , V_{car3} 를 비교한다.

그림 2는 커패시터 C_2 의 전압 제어를 위한 두 번째 반송신호 V_{car2} 의 진폭 변화와 이에 따른 펄스폭 변화를 나타낸다. V_{car2} 의 펄스폭인 V_{car2_Duty} 는 커패시터 C_2 의 충전방전을 결정하는 스위치 S_5 와 S_6 의 동작에 직접적인 영향을 끼친다.^[1] $2V_{dc}/3$ 전압 레벨의 경우, V_{car2} 의 진폭이 증가할 때 V_{car2_Duty} 의 면적이 줄어들며, 스위치 S_5 의 턴 온 시간은 감소하고 스위치 S_6 의 턴 온 시간은 증가하게 된다. 스위치 S_5 의 턴 온 시간 감소는 커패시터 C_2 의 방전시간 감소를 의미한다. 반대로 V_{car2} 의 진폭이 감소할 경우 V_{car2_Duty} 의 면적은 늘어나며, 스위치 S_5 의 턴 온 시간은 증가하게 되고 스위치 S_6 의 턴 온 시간은 감소하게 된다. S_5 의 턴 온 시간 증가는 커패시터 C_2 의 방전시간 증가를 의미한다. $2V_{dc}/3$ 전압 레벨의 경우 S_5 와 S_6 가 반대로 동작하게 되며 원리는 동일하다. 이때, 반송신호 V_{car2} 의 진폭변화의 범위는 식(1)과 같이 정의된다.

$$V_{car1_max} \leq \Delta V_{car2} \leq V_{car3_max} \quad (1)$$

3. 시뮬레이션 및 실험

그림 3은 제안된 7 레벨 인버터의 기존 스위칭 방법 적용 시 직렬 커패시터의 전압과 출력전압을 나타낸다. 시간이 지남에 따라 C_2 의 전압이 계속하여 감소하고 출력 전압 또한 $2V_{dc}/3$ 전압 레벨이 사라지며 7 레벨이 나오지 않는 것을 확인할 수 있다. 그림 4는 반송과 진폭 제어를 적용한 7 레벨 인버터의 직렬 커패시터 전압과 출력전압을 나타낸다. 이 경우 직렬 커패시터 전압은 50V로 일정하게 유지되며 출력전압 레벨 또한 7 레벨이 나오는 것을 확인할 수 있다. 그림 5는 실험 파형을 나타낸다. 실험 파형에서도 확인할 수 있듯이 직렬 커패시터의 각각 전압은 50V로 유지되며 출력전압 레벨 또한 7 레벨이 유지되는 것을 확인할 수 있다. 표 1은 7 레벨 인버터의 시뮬레이션 및 실험 조건을 나타낸다.

표 1 시뮬레이션 및 실험 조건
Table 1 Simulation and experiment condition

Parameter	Symbol	Value
Input Voltage	V_{dc}	150 [Vdc]
Output Voltage	v_{out}	106 [Vac] (rms)
Output Current	i_{out}	2.5 [A] (rms)
Switching Frequency	f_s	10 [kHz]
Output Frequency	f_{out}	60 [Hz]
DC link capacitor	C_1, C_3	2000 [μ F]

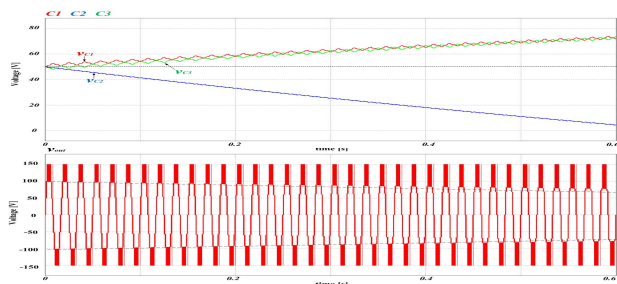


그림 3 전압 균형 제어 미적용시 커패시터 전압과 출력전압
Fig. 3 Capacitor voltage and output voltage without capacitor voltage balancing control

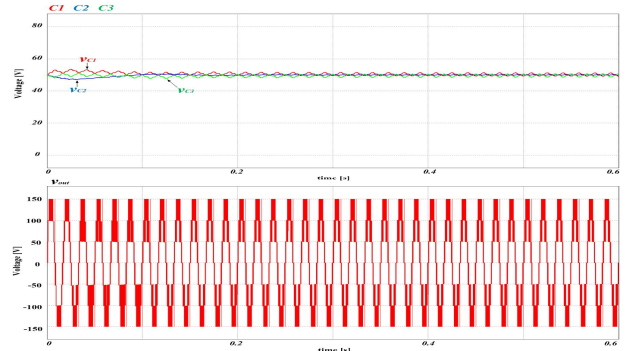


그림 4 전압 균형 제어 적용시 커패시터 전압과 출력전압
Fig. 4 Each capacitor voltage and output voltage with capacitor voltage balancing control

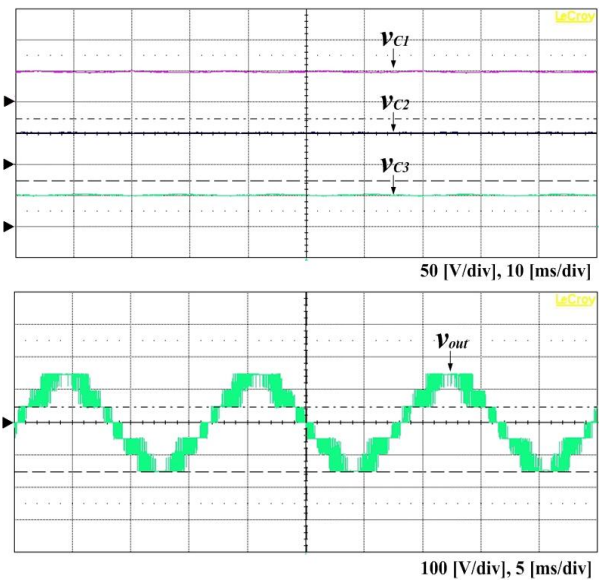


그림 5 전압 균형 제어 적용시 커패시터 전압과 출력전압 실험 결과
Fig. 5 Experimental results for Capacitor voltage and output voltage with capacitor voltage balancing control

4. 결론

본 논문에서는 기존의 직렬 결합된 커패시터를 dc 입력으로 갖는 7 레벨 인버터의 커패시터 간 전압 불균형 문제를 해결할 수 있는 제어방법을 적용하였다. 적용된 제어방법의 경우 반송신호의 진폭을 제어하여 가운데 커패시터 C_2 의 충전방전을 조절하는 방식이며, 적용결과 직렬 결합된 커패시터 전압 불균형은 해소되었다. 결론적으로 커패시터 간의 전압 균형을 유지하여 양질의 출력전압을 얻을 수 있음을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] J. S. Choi and F. S. Kang, "Seven level PWM Inverter Employing Series Connected Capacitors Paralleled to a Single DC Voltage Source," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 62, no. 6, pp. 3448-3459, June 2015.
- [2] N. A. Rahim, "Single phase seven level grid connected inverter for photovoltaic system," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 6, pp. 2435-2443, June 2011.