

PWM 방식에 따른 계통연계 양방향 인버터 특성 비교 및 분석

허성준, 안효민, 변종은, 이병국[†]
성균관대학교 정보통신대학

Analysis and Comparison of Grid-connected Bidirectional Inverter with Different Types of PWM Schemes

Sung Jun Heo, Hyo Min Ahn, Jongeun Byeon, and Byoung Kuk Lee[†]
Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University

ABSTRACT

본 논문은 ESS용 3상 계통연계 양방향 인버터에 적용 가능한 PWM (Pulse width modulation) 방식에 따른 계통전류 품질 특성 및 손실 양상에 대해 다룬다. 각 PWM 방식이 적용된 ESS용 3상 계통연계 양방향 인버터의 부하 크기 및 배터리 충·방전 모드 조건에 따른 계통전류 품질과 손실 양상을 비교·분석을 한다.

1. 서 론

인버터 PWM 제어 방법으로는 SPWM (Sinusoidal pulse width modulation), DPWM (Discontinuous pulse width modulation) 과 같은 다양한 방식을 적용 할 수 있다. 각각의 PWM 방식에 따라 3상 계통연계 양방향 인버터의 계통전류 품질 및 전력 반도체 소자에서 발생하는 손실 양상이 다르게 나타난다. 따라서 3상 계통연계 양방향 인버터의 입력 및 출력 조건 등을 고려하여 PWM 기법을 선정 할 필요가 있다.

기존 Min max PWM과 DPWM을 비교한 연구는 주로 단 방향 인버터의 모터부하 등과 같은 유도성 부하에 적용하여 비교 및 분석을 하였다. 그러나 본 논문에서는 ESS용 3상 계통연계 양방향 인버터에 적용하였으며, 배터리 충·방전 모드 변화, 부하 변화, DC link 전압 변화 등 다양한 입·출력 조건을 고려하여 Min max PWM과 DPWM을 적용 하였을 때의 전류 품질 및 손실양상 차이를 비교, 분석 한다. 그리고 이를 시뮬레이션을 통해 검증 한다.

2. 시스템 사양 및 손실양상 비교분석

2.1 Min-max PWM, DPWM 기법

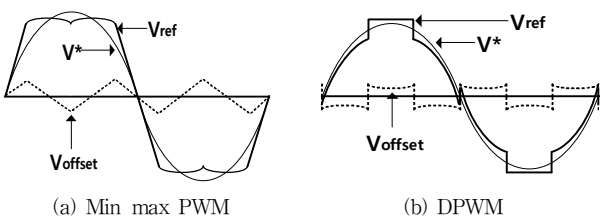


그림 1 Min-max PWM과 DPWM의 지령 전압
Fig. 1 Reference voltages of Min-max PWM and DPWM.

표 1 3상 계통연계 양방향 인버터 사양 및 소자 선정

Table 1 Specifications of the 3-phase grid connected inverter

시스템 사양			
입력전압	650 750 [V]	계통 선간전압	380 [V]
정격 전력	5 30 [kW]		
스위칭 주파수	10 [kHz]		
선정 소자	Infineon 社. IGBT module FS200R12PT4P		
LC 필터 설계 파라미터			
인덕턴스	1.35 [mH]	커패시턴스	18.8 [uF]

본 논문에서 3상 계통연계 양방향 인버터에 적용하여 비교 및 분석을 할 Min max PWM과 DPWM 방식은 그림 1과 같다. Min max PWM은 SPWM보다 전압 이용률을 크게 얻을 수 있기 때문에 계통연계 인버터에 주로 적용 되며, 기존 SPWM의 지령 파형에 3고조파를 주입하는 방법이다.

DPWM은 최대 전압 혹은 전류가 도통되는 구간에서 스위칭 손실을 줄이기 위해 그림 1과 같이 지령 전압을 최대에 함으로 써 스위칭 손실이 최대로 발생 하는 구간에서 스위칭을 하지 않고 최대 듀티로 동작 하도록 하는 구간이다^[1].

2.2 시스템 사양 및 설계

Min max PWM와 DPWM을 3상 계통연계 양방향 인버터에 적용하여 비교하기 위해 설계한 인버터 사양은 표 1과 같다. DC link 전압과 전류를 고려하여 전력 반도체 스위칭 소자를 선정 하였고, 스위칭 주파수를 고려하여 설계 하였다. 이를 시뮬레이션에 적용하여 전력 반도체 소자에서 발생하는 손실 양상 및 출력 전류 품질 양상을 비교 한다.

2.3 시뮬레이션 결과 분석

설계 조건을 시뮬레이션에 적용하여 인버터 모드와 컨버터 모드에 따른 손실 양상을 비교 및 분석을 하였다. 인버터 모드는 배터리에서 계통으로 에너지를 전달하는 동작이고 컨버터 모드는 계통을 이용하여 배터리를 충전하는 동작이다. 이 때, 3상 계통연계 양방향 인버터는 3상 PFC 동작을 수행한다.

그림 2는 인버터 모드에서 DC link 전압과 부하조건에 따른 손실양상을 Min max PWM 과 DPWM 비스위칭 구간을 30°, 60°로 변화 시켜 분석한 결과이다. 전류는 충·방전 모드에 따라 주 도통 구간이 IGBT 혹은 다이오드가 된다. 본 논문에서 인버터 동작 모드는 방전 모드로 DC link에서 계통으로 에너지

를 전달하는 구간이다. 따라서 전류는 IGBT로 도통되는 구간이 다이오드로 도통되는 구간보다 길기 때문에, IGBT에서의 도통 손실이 상대적으로 다이오드의 도통 손실 보다 크게 나타난다. 또한 스위칭 손실의 경우 IGBT 스위칭 시점에서의 전류가 다이오드 스위칭 시점에서 보다 더 크기 때문에 도통 손실과 동일하게 IGBT에서의 스위칭 손실이 다이오드에서의 손실보다 크게 발생 한다. 반면에 DPWM 기법을 적용하였을 때 IGBT와 다이오드에서 발생하는 도통 손실양상은 Min max PWM 기법을 적용 하였을 때와 유사하게 나타난다. 그러나 스위칭 손실이 최대로 발생 하는 구간에서 DPWM의 경우 그림 1 (b)와 같이 스위칭을 하지 않기 때문에 Min max PWM 보다 스위칭 손실 관점에서 유리하다. 그리고 DPWM에서 비스위칭 구간이 증가 할수록 IGBT 및 역병렬 다이오드에서 발생하는 손실이 감소한다. 추가적으로 DC link 전압에 따라서도 손실이 감소하는 경향이 있다.

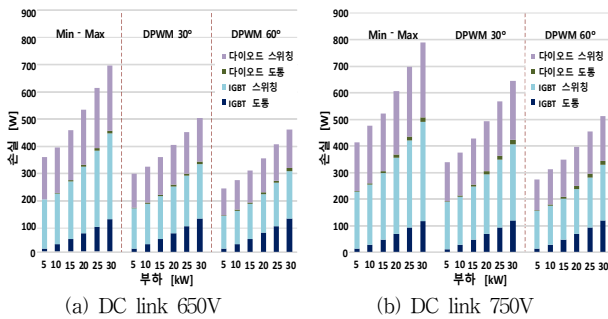


그림 2 인버터 모드 동작 손실
Fig. 2 Power losses in inverter mode.

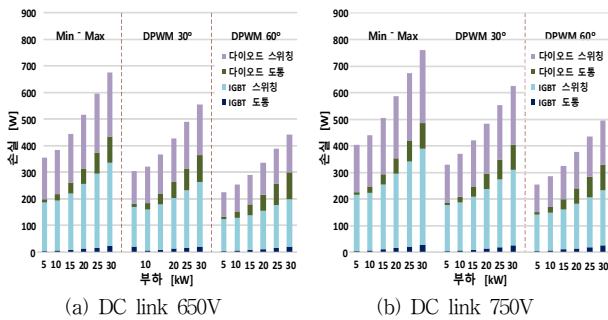


그림 3 컨버터 모드 동작 손실
Fig. 3 Power losses in converter mode.

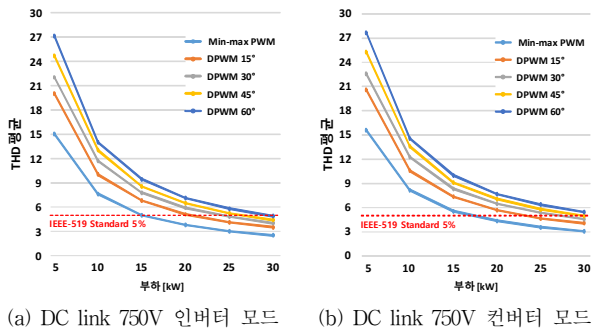


그림 4 동작 모드에 따른 계통 전류 THD
Fig. 4 THD of grid currents by operation modes.

그림 3은 컨버터 동작 모드에서 인버터 모드와 같은 조건으로 손실양상을 분석한 그래프이다. 컨버터 동작모드에서는 계통에서 DC link로 에너지를 전달하는 구간이기 때문에 인버터 동작모드와는 반대로 다이오드에서 도통손실이 더 크게 나타나며 스위칭 시점에 IGBT로 도통하는 전류가 다이오드보다 커서 스위칭 손실이 더 크게 나타나는 경향이 있다. 또한 인버터 동작모드와 같이 DC link 전압이 커질수록 전체 손실이 감소하는 경향이 있다.

그림 4는 DC link 전압에 따른 인버터 동작모드와 컨버터 동작모드에서의 THD 특성을 분석한 그래프이다. Min max PWM 기법이 DPWM 기법보다 고조파 함유율이 더 적게 나타나는 경향을 보이고 있다. 그리고 DPWM 기법의 비스위칭 구간이 길어질수록 그리고 DC link 전압 크기가 커질수록 고조파 함유율이 많아져 THD 특성이 나빠지는 것을 확인할 수 있다. 그 이유는 비스위칭 구간동안 IGBT가 스위칭을 하지 않아 고조파 함유율이 높아지고 DC link 전압크기가 커지면 인덕터 양단에 인가되는 전압이 증가하여 비 스위칭 구간 동안에 전류 왜곡이 상대적으로 Min max PWM 기법보다 크게 나타나 고조파가 많이 포함되기 때문이다.

시뮬레이션 결과 Min max PWM 기법은 전류품질 특성에서 유리한 측면을 보이고 있으며, DPWM 기법은 전력손실 양상에서 유리한 측면을 보이고 있다. 계통연계 인버터 특성상 손실뿐만 아니라 계통전류 품질이 중요하다. 따라서 DPWM 기법이 고조파 기준을 만족하는 조건까지는 DPWM이 Min max PWM 기법보다 유리하고 손실 보다 전류 품질 측면이 우선되는 조건에서는 Min max PWM 기법이 유리하다.

3. 결론

본 논문은 DC link 전압, 부하, 모드의 변화에 따른 3상 계통연계 인버터에 Min max PWM기법과 DPWM 기법을 적용하여 전류품질 및 스위칭에서의 손실을 비교분석하였다. 분석 결과 DPWM 기법이 Min max PWM 기법에 비해 THD 특성이 감소하는 경향이 있지만 국제표준을 만족하는 조건에서 스위칭 손실 측면에서 Min max PWM 보다 유리하기 때문에 3상 계통연계 양방향 인버터에 적용가능성을 확인 하였다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(No. 20168530050030)

참고 문헌

- [1] Fadhil Abbas M. Al Qrimli and Hussein Takleef Kadhum, "A Study of Harmonics in Pulse Width Modulation Power Inverter as a Motor Drive," *IEEE Trans. on Ind. Appl.* 32(5):1220 1221 · October 1996.
- [2] Ki Ho Kang, Young Min Kim, "An Optimal PWM Strategy for IGBT based Traction Inverters," *The Trans. of Korean Institute of Power Electron* 4(4). Aug. 1999.
- [3] *IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*, IEEE standard 519, May 10, 1992.