

계통 연계용 2레벨 양방향 인버터와 3레벨 양방향 인버터 손실 비교 및 분석

장은수, 안효민, 오창열, 박상민, 이병국[†]
 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과

Comparative Analysis of Power Losses for Bidirectional Grid-Connected 2-Level Inverter and 3-Level Inverter

Eun Su Jang, Hyo Min Ahn, Chang-Yeol Oh, Sang Min Park, and Byoung Kuk Lee[†]
 Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University

ABSTRACT

본 논문은 계통 연계용 2레벨 인버터와 3레벨 인버터의 전력 반도체 소자와 출력 필터에서 발생하는 손실을 비교 분석한다. 각 인버터 토폴로지 별로 국제 고조파 기준을 만족하도록 하는 출력 필터 설계 값을 고려하며, 각 인버터 토폴로지의 필터 설계 및 소자 선정 차이, 동작조건에 따른 손실 양상을 비교 분석한다.

1. 서론

3레벨 인버터의 경우 2레벨 인버터에 비해 상대적으로 작은 필터로도 2레벨과 동등한 품질의 출력 전류를 확보할 수 있는 장점을 갖는다^[1]. 반면 3레벨 인버터의 경우 2레벨 인버터에 비하여 전력 반도체의 수와 정격이 차이로 인해 전력 반도체 소자에서 발생하는 전력 손실의 양상이 변하게 된다^[1].

기존의 2레벨 인버터와 3레벨 인버터의 손실 양상을 비교하는 연구는 토폴로지 및 주파수에 따른 출력 필터 설계 값 변화 및 그에 따른 손실 성분 변화에 대한 명확한 제시 없이 전력 반도체 소자의 개수와 정격 차이에서 발생하는 손실 성분에 대해서만 고려하여 비교 분석하였다^[1].

따라서 본 논문에서는 전력 반도체 소자의 손실 성분과 추가적으로 출력 필터에서 발생하는 손실 성분까지 고려하여 계통연계용 양방향 인버터의 동작 조건 및 주파수에 따른 손실 양상을 비교 분석한다. 이를 위해 토폴로지와 주파수에 맞게 필터를 설계하고, 이를 토대로 시스템 손실을 분석한다. 그리고 분석 결과를 통해서 설계 고려 사항을 제시한다.

2. 손실양상 분석 및 파라미터 설계

2.1 시스템 사양 및 설계

표 1은 시스템 사양과 각 토폴로지 정격 차이를 고려하여 선정된 전력 반도체 소자를 나타낸다. 그리고 표 2는 스위칭 주파수 별로 국제 고조파 기준을 만족하도록 하는 인덕턴스와 이에 따라 선정된 코어를 보여준다^[2].

2.2 인버터 모드 동작

그림 1은 각 토폴로지별 인버터 모드로 동작 시에 손실을 나타낸 그래프이다. 그림 1에서 확인 할 수 있듯이, 6-스위치

표 1 시스템 사양 및 소자 선정

Table 1 Specifications of the system

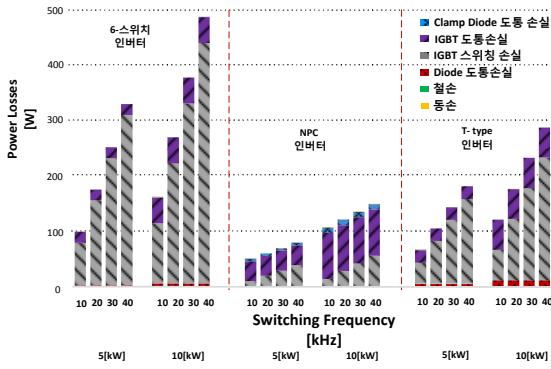
시스템 사양			
입력 전압	650 [V]	계통 선간전압	380 [V]
정격 전력	10 [kW]	스위칭 주파수	10-40 [kHz]
소자 선정			
6-스위치 인버터	IGBT	IKW40N120T2	
NPC 인버터	IGBT	IKW40N65ES5	
	Diode	IDW80C65D1	
T-type 인버터	IGBT	IKW40N120T2	
	IGBT	IKW40N65ES5	

표 2 스위칭 주파수에 따른 필터 인덕터 설계 파라미터

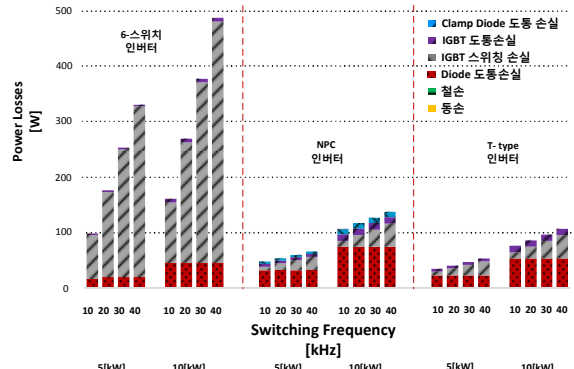
Table 2 Parameters of filter inductors by switching frequencies

스위칭 주파수	토폴로지	코어	인덕턴스
10 [kHz]	2레벨 인버터	CH740125×3	4.24 [mH]
	3레벨 인버터	CH740125×2	2.22 [mH]
20 [kHz]	2레벨 인버터	CH740125×2	2.12 [mH]
	3레벨 인버터	CH571125×2	1.11 [mH]
30 [kHz]	2레벨 인버터	CH571125×2	1.41 [mH]
	3레벨 인버터	CH571125×2	0.74 [mH]
40 [kHz]	2레벨 인버터	CH571125×2	1.06 [mH]
	3레벨 인버터	CH571125×2	0.56 [mH]

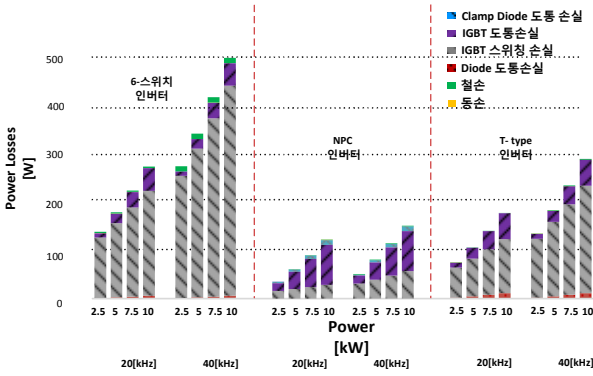
인버터의 경우 IGBT에 인가되는 전압의 변화량이 3레벨 인버터에 비하여 크기 때문에 IGBT 스위칭 손실이 차지하는 비중 가장 크다. 따라서 스위칭 손실은 주파수가 증가할수록 더 크게 나타난다. NPC 인버터의 경우 전체 손실에서 IGBT의 소자 개수로 인해 IGBT의 도통 손실이 가장 큰 영향을 주며, 클램프 다이오드에서의 손실이 추가적으로 발생하여 IGBT의 도통 손실의 비중이 가장 크고, 주파수가 증가할수록 스위칭 손실이 증가하지만, 도통 손실에 비해 비중이 크지 않다. T-type 인버터는 NPC 인버터보다 도통 손실은 작으나, 중성점의 IGBT로 인한 스위칭 손실로 인해 전체 손실이 비교적 크게 발생한다. 따라서 스위칭 손실의 비중은 주파수가 높아질수록 증가한다. 그림 1 (b)에서 볼 수 있듯이 부하가 증가할 때, 모든 토폴로



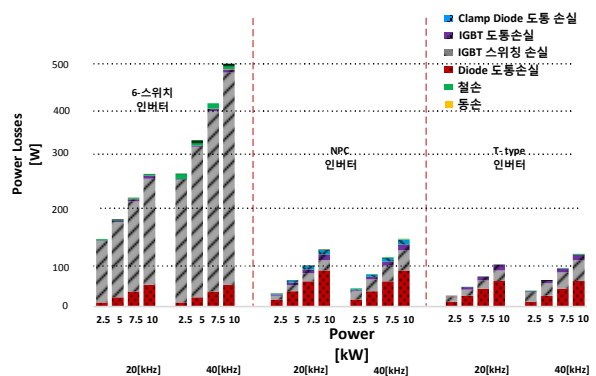
(a) 인버터 모드 - 스위칭 주파수에 따른 손실양상



(a) 컨버터 모드 - 스위칭 주파수에 따른 손실양상



(b) 인버터 모드 - 부하 증가에 따른 손실양상



(b) 컨버터 모드 - 부하 증가에 따른 손실양상

그림 1 인버터 모드 동작 손실 결과 그래프

Fig. 1. Comparison results of power losses in inverter mode.

그림 2 컨버터 모드 동작 손실 결과 그래프

Fig. 2. Comparison results of power losses in converter mode.

지의 IGBT의 다이오드의 도통손실이 점차 증가하는 양상을 보인다. NPC 인버터의 경우에는 스위칭 손실 증가분보다 IGBT 도통 손실 증가분이 크게 되고, 반대로 T-type 인버터의 경우에는 스위칭 손실 증가분이 도통 손실 증가분보다 크다.

따라서 인버터 모드로 동작할 때, 6-스위치 인버터와 T-type 인버터는 스위칭 손실을 NPC 인버터는 IGBT의 도통 손실을 고려하여 설계 할 필요가 있다.

2.3 컨버터 모드 동작

그림 2은 각 토폴로지별로 컨버터 모드로 동작 시에 손실을 나타낸 그래프이다. 컨버터 모드로 동작할 때, 인버터 모드와는 달리 IGBT의 역병렬 다이오드에서의 손실 비중이 전체적으로 증가한다. 전체 손실의 크기는 6-스위치 인버터가 가장 크게 나타나며 그중 IGBT에서의 스위칭 손실이 가장 큰 비율을 차지하고 주파수가 증가할수록 더 크게 나타난다. NPC 인버터는 6-스위치 인버터에 비해 도통 손실이 증가하나, IGBT 스위칭 손실이 전체 스위칭 주파수 영역과 부하 영역에서 작게 발생하기 때문에, 전체 손실 크기가 6-스위치 인버터보다 작게 나타난다. T-type 인버터는 NPC 인버터와 비슷한 손실 양상을 보이지만, 역병렬 다이오드에 의한 도통 손실이 적기 때문에 전체 손실이 작게 나타난다. NPC 인버터와 T-type 인버터는 부하가 증가 할수록 다이오드 도통 손실이 증가하고, 스위칭 주파수가 증가 할수록 IGBT의 스위칭 손실이 차지하는 비중이

증가하는 양상을 보인다.

따라서 컨버터 모드로 동작 시에는 6-스위치 인버터는 스위칭 손실을 NPC 인버터와 T-type 인버터의 경우에는 낮은 부하 영역과 높은 스위칭 주파수 대역에서는 스위칭 손실을, 중간 부하 영역 이상에서는 다이오드 도통 손실을 고려하여 설계 할 필요가 있다.

3. 결론

본 논문은 양방향 계통연계용 6-스위치 인버터와 NPC 인버터, T-type 인버터의 동작 조건에 따라 발생하는 손실을 비교 및 분석을 하였으며, 분석한 내용을 토대로 양방향 계통연계 인버터의 동작 조건에 따른 설계 고려 사항을 제시 하였다.

참고 문헌

- [1] M. Schweizer, and J. W. Kolar, "Design and Implementation of a Highly Efficient Three-Level T-Type Converter for Low-Voltage Applications," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 28, no. 2, pp. 899-907, Feb. 2013.
- [2] *IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power System*, IEEE-519-192, May, 1993.