

# 듀얼 액티브 브릿지에서 Single-PWM과 Dual-PWM 간의 인덕터 전류의 특성 비교

변병주, 정병환\*, 최규하

건국대 전기공학과 전력전자연구실(KOPEL), 효성중공업\*

## Comparison of Inductor Current Characteristic between Single-PWM and Dual-PWM in the Dual Active Bridge Converter

Byeng Joo Byen, B.H. Jeong\*, G.H. Choe

Dept. of Electrical Eng., Konkuk Univ., Hyosung Power & Industrial Systems R&D Center\*

### Abstract

본 논문에서는 듀얼 액티브 브릿지에서 SPWM(Single Pulse Width Modulation)과 DPWM(Dual Pulse Width Modulation)을 적용하였을 때, 인덕터 전류의 특성을 비교하고자 한다. 인덕터 전류의 특성을 이론적으로 분석하고, 실험을 통해서 결과를 분석하였다.

### 1. 서론

최근 전력 수요 증가와 신재생에너지에 대한 수요가 증가함에 따라서 전력을 전달하는 전력전자 시스템의 고효율화에 대한 관심이 증가하고 있다. 특히, 이 중에서도 신재생 에너지와 직접적인 연결을 하여 전력을 전달하는 DC DC 컨버터에 대한 연구가 많이 되고 있다[1~2]. 신재생에너지의 경우, 조건에 따라서 인버터의 출력단 전압보다 높아지는 경우가 존재하기 때문에 모든 조건에서 만족하기 위해서는 신재생에너지와 인버터 사이에 연결되는 DC DC 컨버터의 경우 양방향 승압 및 강압이 가능한 컨버터가 요구가 된다. 이러한 관점에서 양방향 승압 및 강압이 가능하며 절연이 되어 전체 시스템의 안정성을 높일 수 있는 듀얼 액티브 브릿지 컨버터에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다.

듀얼 액티브 브릿지 컨버터의 경우 풀브릿지 구조가 1차측과 2차측에 구성되어 있고, 이 두 풀브릿지를 연결하기 위해서 가운데 변압기가 직렬 연결되어 있는 구조이다. 이렇듯 풀브릿지가 양쪽으로 존재하기 때문에 시스템은 8개의 스위치가 존재하고 이로 인해 다양한 모듈레이션이 구현이 가능하다. 대표적으로 PSM(Phase Shift Modulation), SPWM, DPWM 세가지 기법이 있다. PSM은 1차측과 2차측의 0.5 고정 듀티비에 위상만 제어하는 기법이고, SPWM은 1차측과 2차측 중 한쪽은 가변 듀티비, 한쪽은 고정 듀티비에 위상 차이를 이용한 기법이다. DPWM은 양쪽다 가변 듀티비에 위상 차이를 이용하는 기법이다. 이러한 다양한 모듈레이션 기법을 연구하는 가장 큰 이유는 효율을 증가하기 위함이고, 고효율을 위해서는 제어의 복잡성이 증가한다는 단점이 존재한다.

본 논문에서는 듀얼 액티브 브릿지 컨버터에서 이용되는 SPWM과 DPWM을 적용하였을 때, 만들어지는 인덕터 전류 특성에 대한 분석을 하였다. 이를 위해서 각 모듈레이션을 적용하였을 때, 인덕터 전류에 대한 검토를 하였고, 이를 실험을 통해서 전류의 특성에 대한 분석을 진행하였다.

### 2. SPWM 및 DPWM의 인덕터 전류 특성 비교

그림 1, 2는 듀얼 액티브 브릿지 컨버터에서 사용하는 모듈레이션 기법의 변압기 전압과 인덕터 전류의 파형들을 보여주고 있다. 그림 1은 승압형 모듈레이션 기법을 보여주고 있으며, 그림 1(a)는 SPWM이며, 그림 1(b)는 DPWM을 나타내고 있다.

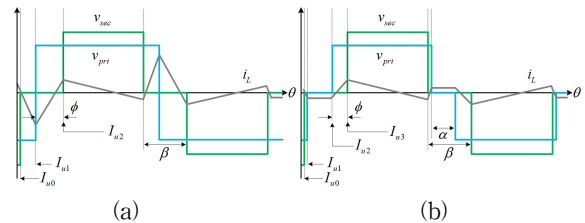


그림 1 승압 인덕터 전류 파형  
Fig. 1 Step up inductor current waveform

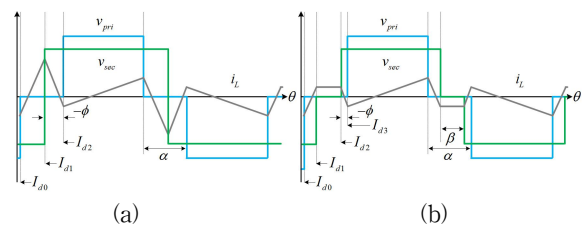


그림 2 강압 인덕터 전류 파형  
Fig. 2 Step down inductor current waveform

이와 마찬가지로 그림 2(a), (b)는 각각 강압형 SPWM과 DPWM을 나타내고 있다.

여기서 SPWM과 DPWM의 파형을 비교해 보면, [2]의 논문에서 각 파형의 수식을 정리하였고, 이를 간단히 정리해 보면 SPWM의 경우,  $I_{x1}$ ,  $I_{x2}$ ,  $I_{x3}$ 과 같이 반주기에 세 꼭지점을 가진 인덕터 전류파형을 가지고 있다. 반면 DPWM의 경우,  $I_{x1}$ ,  $I_{x2}$ ,  $I_{x3}$ ,  $I_{x4}$ 과 같이 반주기에 네 꼭지점을 가진 인덕터 전류파형을 가지고 있다. 여기서, x는 강압일 경우 d, 승압일 경우 u로 나타낸다. DPWM의 경우 SPWM 보다 많은 꼭지점을 가지게 되는데, 이는 SPWM과 달리 변압기의 1, 2차측에서 전부 영전압 구간이 적용되기 때문이다. 이로 인해서 SPWM보다 낮은 피크 인덕터 전류의 파형을 얻을 수 있고, 이는 동일

한 영전압 스위칭을 갖는 조건에서 더 낮은 도통 전류의 값을 얻을 수 있다는 장점을 갖을 수 있게 한다.

### 3. 실험 및 결과 분석

본 연구에서 비교하고자 하는 모듈레이션 기법에 따른 인덕터 전류의 특성을 확인하기 위해서 100kW 듀얼 액티브 브릿지 컨버터를 제작하였다. 이 특성을 비교하기 위해서 컨버터의

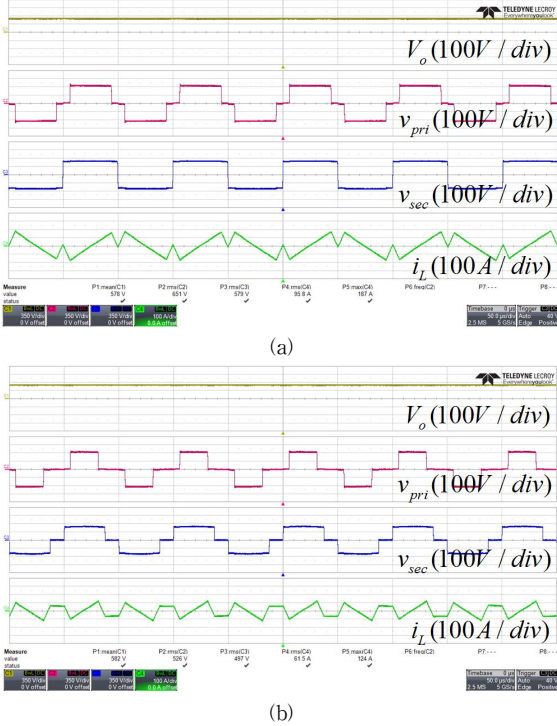


그림 3 실험 파형  
Fig. 3 Experimental waveform

출력전압, 변압기 1차측 전압, 2차측 전압, 인덕터 전류를 확인하는 포인트로 정했다. 그리고 이 컨버터의 전기적 사양은 입력 전압은 750V, 출력전압 580~820V, 스위칭 주파수 10kHz 이다.

그림 3은 강압조건인 입력전압 750V, 출력전압 580V에서 동작전력 3kW의 경우의 파형을 보여주고 있다. 그림 3(a)는 SPWM의 파형을 보여주고 있으며, 그림 3(b)는 DPWM의 파형을 주고 있다. SPWM의 경우 앞서 분석한 것과 같이 변압기 전압의 1차측만 영전압 구간이 적용되고 있으며, 인덕터 전류는 반주기에 세 꼭지점이 나타나고 있는 것을 확인할 수 있다. 그림 3(b)는 DPWM의 파형을 보여주고 있으며, 변압기의 1차측과 2차측 모두 영전압 구간이 들어가고 있는 것을 볼 수 있다. 여기서 인덕터 전류를 비교해보면, SPWM의 경우 인덕터 전류의 피크값이 대략 200A에 가깝게 출력되고 있으나, DPWM의 경우 피크값이 대략 110A 정도 출력되는 것을 알 수 있다. 이를 통해서 DPWM의 경우 인덕터 전류의 피크 값을 감소시켜 전체적인 동작전류의 값을 낮출 수 있을 것이라는 것을 예측 할 수 있다. 이 동작 전류의 경우 인덕터 전류의 RMS값으로 확인 할 수 있으며, 이는 그림 4에서 보여주고 있다. 그림 4(a), 4(b)는 각각 출력전압이 580V, 820V에서 동작전류별로 인덕터 전류의 RMS 값을 보여주고 있다. 무부하에서부터 전력을 증가시키면서 인덕터 전류의 값을 확인해보면,

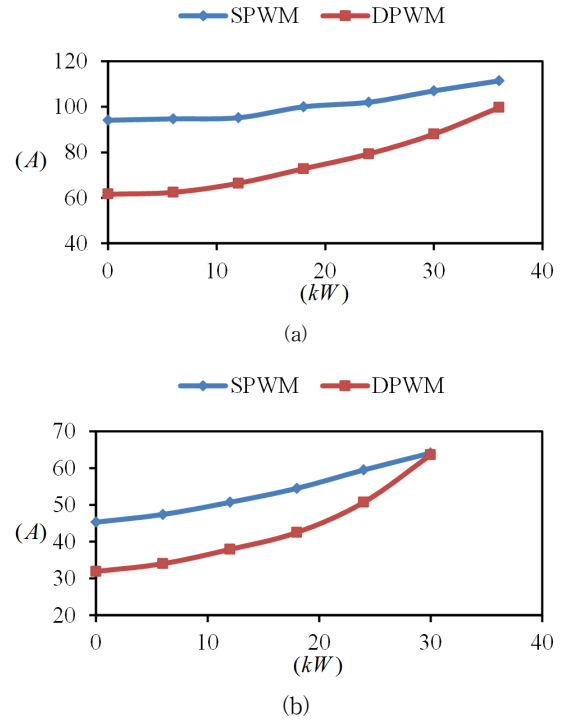


그림 4 인덕터의 RMS 전류 비교  
Fig. 4 Comparison of inductor current RMS value

SPWM에 비해서 DPWM의 인덕터 전류의 RMS의 감소량은 최대 대략 30% 정도이고, 동작전력이 증가하면서 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

### 4. 결론

본 연구는 듀얼액티브 브릿지에서 SPWM과 DPWM을 각각 적용하였을 때, 인덕터 전류에 대한 특성을 비교한 결과를 제시하고 있다. 이를 위해서 SPWM과 DPWM에 의해서 만들어지는 인덕터 전류 파형에 대해서 분석하였고, 이를 확인하기 위해서 실험을 통하여 검증하였다. 이 실험 결과를 보면 이전에 분석한 결과와 거의 동일하게 출력이 되었고, SPWM의 경우 한쪽만 듀티비가 가변되기 때문에 전류 모양이 평탄한 부분이 존재하지 않아 DPWM 보다 큰 도통전류가 저전력에서 최대 30%정도 더 높게 출력되는 것을 확인하였다.

### 참고 문헌

[1] S. Inoue, H. Akagi, "A Bidirectional Isolated DC DC Converter as a Core Circuit of the Next Generation Medium Voltage Power Conversion System", IEEE Trans. Power Electron., vol. 22, no. 2, pp. 535-542, 2007  
 [2] B.J. Byen, C.H. Ban, Y.B. Lim, G.H. Choe, "An Efficiency Optimized Modulation Strategy for Dual Active Bridge DC DC Converters Using Dual Pulse Width Modulation in the Low Power Region," Journal of Power Electronics, Nov. 2017(계제 예정).