

# DC 마이크로 그리드를 위한 컨버터 주파수 변동 제어 전략

최현준, 이원빈, 정지훈  
울산과학기술원(UNIST)

## DC Bus Communication Strategy for DC Microgrid Using Pulse Frequency Modulation of Power Converter

Hyun-Jun Choi, Won-bin Lee, and Jee-Hoon Jung  
Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST)

### ABSTRACT

본 논문에서는 DC 마이크로그리드(MG) 동작의 신뢰성 및 안정성을 향상시키기 위하여, 주파수 변동을 이용한 새로운 DC bus signaling (DBS) 전략을 제안하고자 한다. 제안한 DBS의 경우 스위칭 리플을 사용하여, DC 버스를 통해 연결된 컨버터 등의 소자가 현재 DC bus의 전력에 대한 정보를 얻을 수 있다. DC bus의 전력의 정보는 소비와 생산에 대한 DC bus의 밸런스를 맞추기 위해 사용되고, 이를 통해 각각의 컨버터 동작 영역이 상황에 따라 자동적으로 결정되고, 궁극적으로 자율화 시스템을 구현할 수 있게 된다. 본 논문에서는 DC bus에 나타나는 주파수 성분의 분석 및 변동 전략에 대해 기술하고, 시뮬레이션 및 실험 결과를 통해 제안하고자 하는 알고리즘이 Power Line Communication (PLC) 으로의 가능성과 타당성을 점검하고자 한다.

### 1. 서론

최근 DC 마이크로그리드(MG)는 AC 그리드의 대체 수단으로 기대 받고 있다. 기존의 AC 그리드는 변압기를 이용하여 전압의 승,강압에 유리하기 때문에 널리 사용되고 있다. 하지만 기존의 시스템은 효율이 낮고, 부피와 무게가 크다는 단점이 있다. DC MG의 경우 분산전원과 에너지 저장장치를 사용하여 주전원과 떨어진 독립적으로 동작하는 시스템으로 기존의 AC 시스템의 단점을 극복하기 위하여 활발히 연구되고 있다.

DC 버스의 경우, 주 전원과 분산전원, 에너지 저장장치 및 부하가 동시에 연결 되어 있기 때문에, DC 그리드의 신뢰성 및 안정성은 DC 버스에 연결되어 있는 장치간의 전력 밸런스에 따라서 판단된다. 즉, 전력의 생산과 소비에 대한 밸런스를 맞추기 위해서는 적절한 전력 관리 알고리즘이 필요하다[1].

기존의 DC 그리드 제어 방법은 Centralized 제어와 DC bus signaling (DBS)를 이용한 제어로 크게 나뉜다. Centralized 제어는 하나의 제어기가 전체 시스템을 제어하기 때문에 신뢰성이 떨어진다[1]. 또한 DBS를 하면, 장거리 선로의 임피던스에 의한 전압 강하와 측정 오류 인해 시스템의 신뢰성 및 안정성이 떨어지게 된다.

본 논문에서는 DC MG의 전력 밸런스를 맞추기 위한 관리 알고리즘으로, 부하에 따라 스위칭 주파수를 변동하여 DC 버스를 통해 연결된 컨버터 등의 구성요소가 현재 DC bus의 전력에 대한 정보를 얻을 수 있는 방법을 제안하고자 한다. 컨버터의 입장에서 스위칭 변동을 어떻게 설정 하는 것이 유리한지

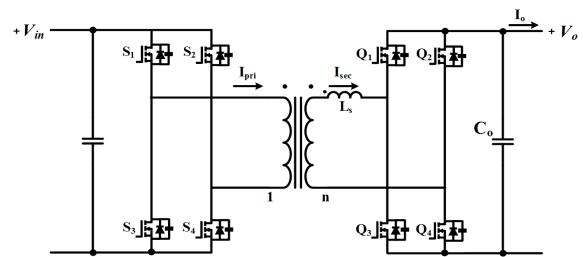


그림 1. Dual Active Bridge DC-DC 컨버터

분석 및 파악 하고, 실험을 통해 제안하는 알고리즘을 검증하였다.

### 2. 스위칭 주파수 변동 전략

주 전원인 AC 그리드와 DC MG의 연계를 위해서 양방향 컨버터는 필수적인 구성 요소로. 이를 통해 전력을 전달하고 DC bus 전압을 제어한다. 그림 1은 Dual Active Bridge (DAB) 컨버터의 회로도를 보여준다. DAB 컨버터의 경우 소프트 스위칭이 가능하고 양방향 제어 시 무순단 절체가 가능하기 때문에 양방향 응용분야에 널리 사용된다. DAB 컨버터의 경우 위상천이 제어 방법을 사용하여 출력전압을 제어하기 때문에 순간적으로 주파수가 변하더라도 출력전압을 제어하는데 큰 영향을 받지 않는다. 또한 스위칭 주파수는 자연스럽게 출력전압의 리플에 영향을 끼치지 때문에, DAB 컨버터를 사용함으로써, 새로운 주파수를 변동하는 DBS 알고리즘을 제안할 수 있다.

#### 2.1 DAB 컨버터의 소프트 스위칭 영역

DAB 컨버터의 단점 중 하나는 경부하 시 영전압 스위칭 (ZVS) 영역이 제한된다는 것이다. 인덕터에 저장되어 있는 에너지가 MOSFET의 기생 커패시터의 저장된 에너지보다 커야만 소프트 스위칭이 가능해진다. 그림 2는 인덕터 전류의 이론적 파형을 나타내고 있는데, ZVS를 성취하기 위해서는 최소한의 전류가 필요하고, 이는 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$I_1 = \frac{1}{4f_s L_s} \{n V_{IN} (2d-1) + V_o\} \geq 2 \sqrt{\frac{n C_s V_o V_{IN}}{L_s}} \quad (1)$$

이 때,  $d$ 를 위상 천이 각도이고  $n$ 은 턴 비,  $L_s$ 는 결합 인덕턴스,  $C_s$ 는 MOSFET의 기생 커패시터를 의미한다. 식 (1)을 정리하면 ZVS를 위한 최소 위상천이 양을 구할 수 있고, 이를 DAB 전력 전달 공식에 대입하면[2], 최종적으로 ZVS를 위한 최소의 전력 수식을 구할 수 있

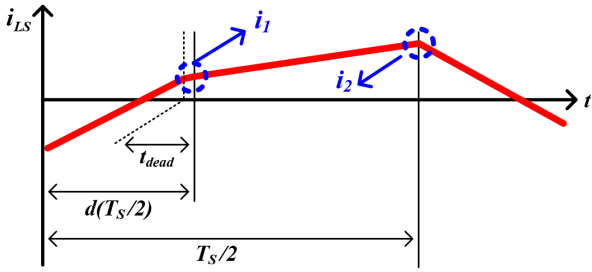


그림 2. DAB 컨버터의 인덕터 전류

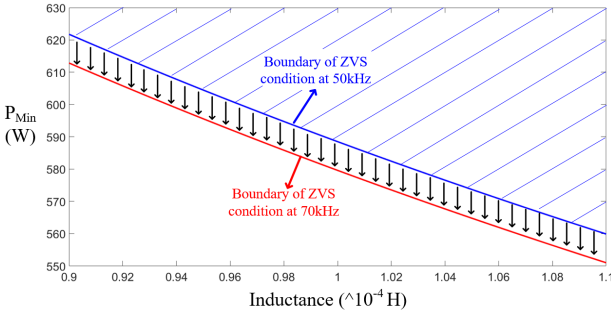


그림 3. 주파수에 따른 영전압 스위칭 범위

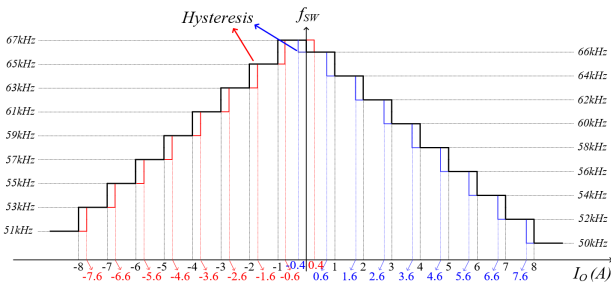


그림 4. 제안하는 주파수 변동 범위

으며, 이는 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$P_{O,min} = V_{IN}V_O(2\frac{\sqrt{C_S}}{\sqrt{L_S}} - 8f_sC_S) \quad (2)$$

식 (2)를 통해서 ZVS를 위해서 필요한 최소 전력은 스위칭 주파수와 결합 인덕턴스에 의해서 결정됨을 알 수 있다. 인덕턴스의 경우 최대 출력 전력에 의존하여 결정되기 때문에 최종적으로 ZVS 영역은 동작 주파수와 관련 있음을 알 수 있다. 따라서 DAB 컨버터의 동작 관점에서 ZVS 영역을 최대한 증가시켜 효율을 올릴 수 있는 방향으로 주파수 변동 전략을 세울 수 있다.

## 2.2 주파수 변동 범위

그림 3을 통해 고정된 인덕턴스 값에서 주파수를 증가시키면 ZVS 영역이 증가하는 것을 확인 할 수 있다. 만약 경부하시 주파수가 증가하게 되면, DAB 컨버터에서 고정된 주파수 대비 ZVS 영역은 증가하게 된다. 즉 부하에 따라서 주파수를 변동 시 경부하에서 주파수를 증가시켜 효율을 올릴 수 있는 전략으로 주파수의 변동범위를 설정하였고, 이는 그림 4에서 확인 할 수 있다. 주파수의 변동 범위는 50 kHz부터 67 kHz로 설정하였고, 1 A 마다 2 kHz씩 움직일 수 있도록 설정하였다. 양방향 전력 방향을 DC bus를 통한 부하의 정보로 나타내기 위해 주파수를 홀수와 짝수로 구분하여 설정하였다. 또한, 주파수가 변동되는 부분에서 부하의 잦은 움직임으로 주파수가

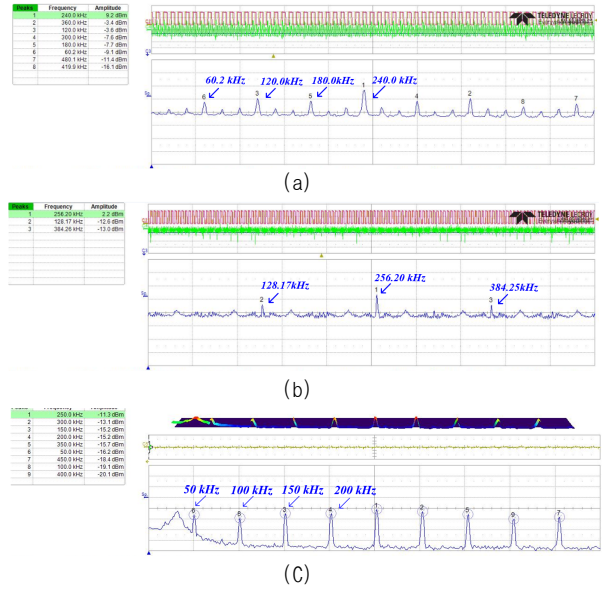


그림 5. 주파수에 따른 영전압 스위칭 범위 (a) 500 W, (b) 1.5 kW, (c) 3.3 kW

빈번하게 변하는 것을 방지하고자 히스테리시스 개념을 적용시켰다.

## 3. 실험 결과

3.3 kW급 DAB 컨버터를 통하여 제안하는 컨버터의 주파수 변동 알고리즘이 Power Line Communication (PLC) 로써의 가능성에 대해 실험적으로 검증해보았다. 인덕턴스의 경우 10%의 여유를 두어 100uH로 설계하였고, 그림 4에서 제안한 주파수 변동 범위를 적용시켰다. 그림 5는 Lecoroy사 HDO-8000 Oscilloscope의 스펙트럼 분석 기능을 이용하여 출력전압의 리플을 측정된 것으로 각각 1.5 A, 3.9 A, 8.5 A에서의 파형을 나타낸다. 각각의 결과는 스위칭 주파수의 고조파를 탐지하는 것을 보여주고, 이는 제안하는 주파수가 DC 버스와 연계되어 있는 컨버터 등의 구성요서에겐 부하별 정보를 줄 수 있음을 의미한다.

## 5. 결론

본 논문에서 DC MG 동작의 신뢰성 및 안정성을 향상시키는 PLC로써, 주파수 변동을 이용하여 새로운 DBS 전략을 제안하고자 하였다. 양방향 전력 변환이 가능하고, 고효율 달성할 수 있는 DAB컨버터 토폴로지를 기반으로, DAB 컨버터의 ZVS영역이 커지는 전략으로 주파수 변동범위를 설정하였고 3.3 kW급 시제품을 통해서 제안하는 알고리즘의 가능성을 검증하였다.

This work was supported by the 2015 Creativity&Innovation Research Fund (Project No. 1.150027) of UNIST(Ulsan National Institute of Science and Technology)

## 참고 문헌

- [1] J. Schönberger, R. Duke, and S. D. Round, "DC-bus signaling: A distributed-control strategy for a hybrid renewable nanogrid," IEEE Trans. Ind.Electron., vol. 53, no. 5, pp. 1453 - 1460, Oct. 2006.
- [2] D. K. Jeong, M. H. Ryu, H. G. Kim, and H. J. Kim, "Optimized design of bi-directional dual active bridge converter for low-voltage battery charger," J. Power Electron., vol. 14, no. 3, pp. 468 - 477, May 2014.