

임피던스 네트워크를 사용한 NPC type 인버터모듈 병렬운전

박종형, 정상민, 최기영
 (주)효성 중공업연구소

NPC type inverter module parallel operation using impedance network

Jong-Hyoung Park, Sang-Min Jung, Ki-Young Choi
 HYOSUNG Corp.

ABSTRACT

여러 모듈을 묶어 하나의 PCS를 구현하는 모듈형 인버터는 대부분 모듈들의 직류단과 교류 단을 공통으로 연결하여 사용한다. 모듈간의 순환전류 등의 문제를 해결하기 위해 PWM 동기화 기법을 사용하고 있으며 교류 단에서의 문제는 이것으로 대부분 해결할 수 있다. 그러나 임피던스가 매우 작은 직류 단에서는 PWM Pulse까지 동일하지 않는 이상 모듈 간 스위칭 전압 차에 의해 순간전류가 발생할 수밖에 없다. 직류 단이 분리된 구조에서는 문제가 없지만 ESS의 경우 대부분 직류 단이 공통으로 묶여있어 그에 대한 대책이 필요한 실정이다. 본 논문에서는 그에 대한 대책으로 직류 단에 임피던스 네트워크를 적용하는 방안을 제시하며 그 효과에 대해 고찰하고자 한다.

1. 서 론

독립적인 PCS로도 운전이 가능한 PEBB(Power Electronic Building Block) 모듈을 병렬로 연결하여 다양한 용량에 대응이 가능하도록 구성된 전력변환 장치를 모듈형 PCS라고 부른다. 이 때 PCS의 전략에 따라 각 PEBB의 직류 단을 공통으로 연결하기도 하고 분리하기도 하는데 공통으로 연결 시 각 PEBB의 운전 상태에 따라 전류 Path가 형성되어 직류 단을 통해 영향을 주고받게 된다. 동기화 실패 및 PWM Duty 차이에 의해 PEBB 간 순간적으로 순환 전류가 흐르는 문제가 그 중 하나로서 짧은 순간 발생하는 현상이더라도 시스템 정지를 유발할 수 있고, 지속적 발생 시 스트레스로 인하여 스위칭 소자의 수명에도 영향을 준다. 본 논문에서는 그러한 영향을 최소화하기 위한 방안으로 임피던스 네트워크^[1]를 직류 단에 구성하는 방법을 검토하였다.

임피던스 네트워크를 적용한 인버터는 전압형 인버터와 전류형 인버터의 특성을 모두 가지고 있어 일명 Z-Source 인버터라고 부른다. 임피던스 네트워크는 인덕터와 커패시터의 적절한 조합으로 구성되어 일반적인 상황에서는 전압형 인버터와 동일한 특성을 보이지만 암 단락과 같은 상황에서는 전류형 인버터의 특성을 보여 스위칭 소자의 고장을 일으키지 않고 인덕터에 에너지를 저장하였다가 암단락 상태가 해소가 되면 커패시터에 에너지를 넘겨 직류 단 전압의 상승효과를 낼 수 있다. 즉, 암 단락 상태를 적절히 활용하여 스위칭 소자의 증가 없이 DC Coupled 시스템을 구현할 수도 있겠다.

본 논문에서는 DC Coupled 시스템을 구성하기에 앞서 병렬

연결된 PEBB의 직류 단 전류가 튀는 현상을 억제하기 위한 용도로서 임피던스 네트워크를 사용하였으며, 실험을 통해 발견된 문제점에 대해 시뮬레이션으로 현상을 재현하였고, 임피던스 네트워크를 구성하여 재현된 문제를 해소하는 과정을 통해 그 효용성을 따져보았다.

2. 본 론

2.1 모듈형 PCS의 구성 및 전류 스파이크 발생

그림 1은 당사의 모듈형 PCS의 Line Up을 보여주고 있으며 각각 1MW, 1.5MW, 2MW 급 구성이다. 단위용량 250kW의 PEBB의 구성 개수에 따라 용량을 설정할 수 있으며 최대 3MW까지 구성이 가능하다.

각 모듈별로 별도 제어가 있어 이기종 배터리 운전 또는 PV Array 등을 연결하여 PEBB 별로 개별 운전이 가능하다.

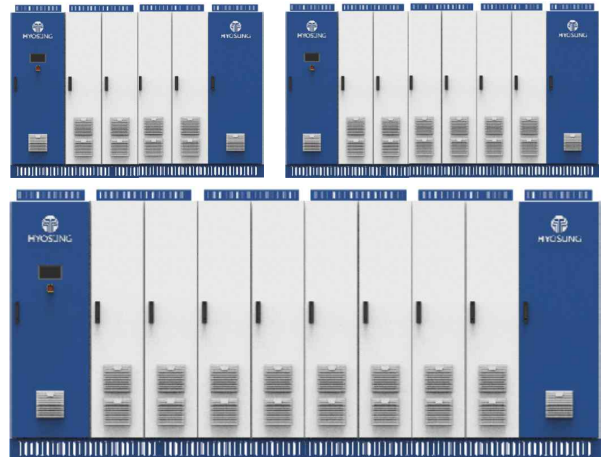


그림 1 (주)효성 모듈형 PCS의 제품 Line up
 Fig. 1 Hyosung's modular PCS product line up

이렇게 구성된 PEBB의 직류 단은 공통으로 묶어 운전하면, 중성점 연결 여부와 상관없이 그림 2와 같이 약 20[Adc]의 간헐적 전류 스파이크를 관찰할 수 있다. 이와 같은 전류 스파이크는 운전영역에 따라 달라지기 보다는 직류 단 전압에 따라 그 크기가 변하며 정격 운전 시 Trip 가능성이 존재한다. 또한 스위칭 소자에 스트레스를 줄 수 있는 부분으로 이러한 전류 스파이크를 억제할 수 있는 방법이 필요하다.

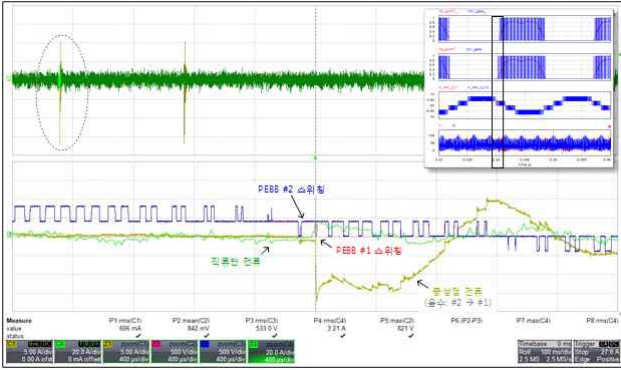


그림 2 PEBB 간 전류 Path 형성에 의한 전류 스파이크
 Fig. 2 Current spike by forming current path between PEBB

2.2 시뮬레이션을 통한 재현 및 원인분석

그림 3은 PEBB 2대를 모델링한 회로를 보여준다. 각각은 별도 제어로 운전하며 모든 파라미터는 실제 구성과 동일하게 설정하여 운전시퀀스에 따라 동작 시켰다.

그림 4에서 전류 스파이크가 발생하는 부분의 스위칭 상태를 재현한 시뮬레이션 파형을 보이고 있다. 전류 스파이크는 지령의 Zero Crossing 부분에서 발생하며, PEBB의 스위칭 상태가 달라지는 상황에서 발생하는 것을 알 수 있다.

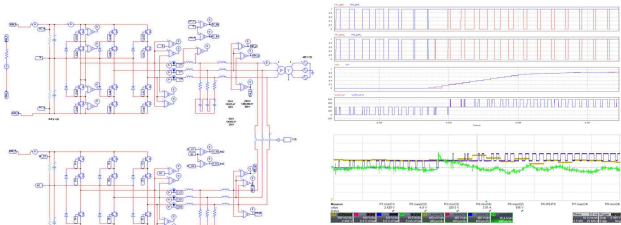


그림 3 PEBB 시뮬레이션 모델
 Fig. 3 PEBB simulation model

그림 4 시뮬레이션을 통한 재현
 Fig. 4 Re-implementation through simulation

그림 5와 같이 전류 스파이크 상황의 전류 Path를 추적할 수 있다. 동일한 지령을 받아 동작하지만 PWM 파형을 생성하는 단계에서 센싱 오차 또는 출력 전류의 편차에 의해 Zero Crossing 부분에서 PWM 파형이 발생하거나 발생하지 않는 경우가 존재 하며, Duty ratio 가 비교적 큰 부분에서는 영향이 크지 않다. 이러한 상황은 직류 단이 분리된 상황에서는 발생하지 않으며, Path에 임피던스를 넣어 최소화 할 수 있다.

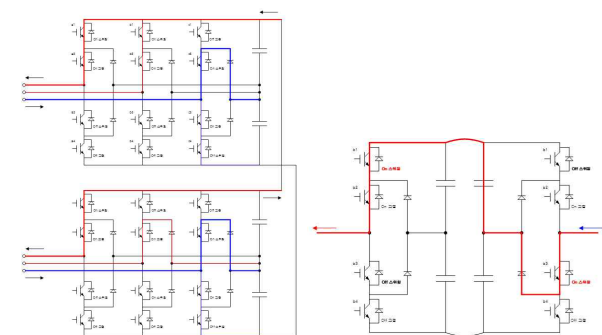


그림 5 스파이크 발생 시점의 전류 Path
 Fig. 5 Current path at the time of spike occurrence

2.3 임피던스 네트워크 구성

그림 6은 PEBB의 직류 단에 임피던스 네트워크를 삽입한 시뮬레이션 모델이다. 큰 부피 차지하는 인덕터를 삽입해야 하므로 동일 부피에 Quasi-Z_{source}를 구성하게 되면, Boost 기능이 추가되어 직류 단 전류 스파이크를 감소는 물론 넓은 범위의 MPPT가 가능하며, 안정된 직류 전압 제어가 가능하기 때문에 DC coupled 시스템으로 활용하기 용이하다.

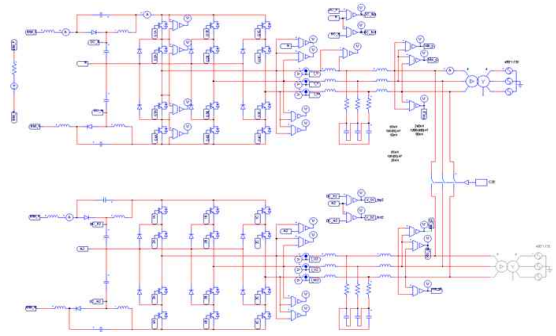


그림 6 임피던스 네트워크(qZNPC)를 적용한 시뮬레이션 모델.
 Fig. 6 Simulation model using impedance network(qZNPC).

2.4 시뮬레이션을 통한 검증

그림 7은 기존 전압형 PEBB의 직류 단 전류 파형을 스위칭 패턴과 함께 보이고 있으며, 그림 8은 임피던스 네트워크를 적용한 PEBB를 통해 얻은 파형을 보이고 있다.

그림에서 알 수 있듯이 임피던스 네트워크를 적용한 PEBB의 경우 직류 단 전류 스파이크를 효과적으로 억제하고 있다.

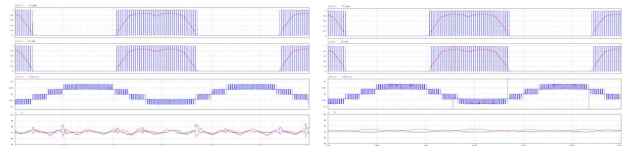


그림 7 전압형 PEBB 파형
 그림 8 qZNPC 적용 파형
 Fig. 7 Volt. type PEBB waveform Fig. 8 qZNPC applied waveform

3. 결론

모듈형 PCS에서 직류 단을 통합하게 되면 스위칭 상태 불균형에 의한 전류 스파이크가 필연적으로 발생하며, 이는 직류 단을 분리하거나 임피던스를 삽입하여 억제할 수 있다. 이 때 동일 부피로 임피던스 네트워크를 구성할 경우 Boost 등의 추가 기능을 활용할 수 있어 DC coupled 시스템으로서의 역할을 기대할 수 있다.

참고 문헌

[1] O. Husev, C. Roncero-Clemente, E. Romero-Cadaval, D. Vinnikov, T. Jalakas. "Three-level three-phase quasi-Z-source neutral-point-clamped inverter with novel modulation technique for photovoltaic application". Electric Power Systems Research, vol. 130, no. 1, pp. 10 - 21, 2016.