

양방향 컨버터를 이용한 직류 마이크로그리드 연계 모델과 운영 방안

이문현, 김혜진, 최우인, 조보형
서울대학교 전기·정보공학부

Operational Schemes of Interconnected DC Microgrids using a Bi-directional Converter

Moonhyun Lee, Hyejin Kim, Woojin Choi and Bo Hyung Cho
Department of Electrical and Computer Engineering, Seoul National University

ABSTRACT

본 논문에서는 모듈화된 두 직류 마이크로그리드를 직류 버스 레벨에서 양방향 DC-DC 컨버터로 연계한 새로운 시스템을 제안한다. 연계 컨버터로 인해 모듈 간 직접적인 전력 전송이 가능하므로 전체 시스템의 효율이 향상되고 한 모듈의 교류 전원 연결 사고 시 빠른 대처 및 복구가 가능하다. 이로 인해 제안하는 시스템은 다수의 모듈화된 직류 배전 시스템으로 구성되는 데이터 센터 등에 적용할 수 있다. 제안하는 시스템 모델과 운영 방안은 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

1. 서론

친환경적인 전력 시스템의 운영을 위해 전력 공급원으로 신재생에너지원(PV·풍력), 에너지 저장장치(ESS)와 같은 분산 전원의 역할이 점차 증대되고 있다. 이에 따라 분산 전원의 효과를 극대화할 수 있는 직류 배전 시스템에 대한 관심도 높아지고 있다. 현재 다수의 분산 전원을 포함한 직류 배전 시스템이 높은 전력 밀도, 품질이 요구되는 데이터 센터 등에 적용되고 있으며 시스템 안정성을 위한 연구가 증가하고 있다.^[1]

기존의 시스템은 독립된 마이크로그리드 모듈 간 전력 전달이 교류 전원을 거쳐 이루어지며, 다른 모듈로 잉여 전력을 전달할 때 변환 과정이 복잡하여 효율과 신뢰성에 문제가 생길 수 있다. 특히 교류 전원과 연결되는 지점에서 사고 시, 전력 공급에 차질이 생겨 신뢰성 및 안정성의 저하가 발생한다.

본 논문에서는 독립된 두 직류 마이크로그리드를 직류 버스 레벨에서 양방향 DC-DC 컨버터를 통해 연계하여 높은 시스템 효율과 전력 품질을 달성할 수 있는 시스템 모델과 운영 방안을 제안한다. 제안한 연계형 직류 마이크로그리드 시스템은 두 마이크로그리드를 개별 운영하는 시스템에 비해 과부하 상황, 사고 발생 상황 등에서 신뢰성과 안정성 면에서 장점을 갖는다. 제안하는 시스템의 동작은 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

2. 제안하는 시스템 모델

2.1 시스템 구성

그림 1은 본 논문에서 제안하는 양방향 컨버터 연계형 시스템을 나타낸다. 단일 직류 마이크로그리드부터 살펴보면, 계통의 MV 교류 전력이 변압기를 통해 LV 교류 전력으로 변환된 후 AC-DC 컨버터를 거쳐 직류 버스가 형성된다.

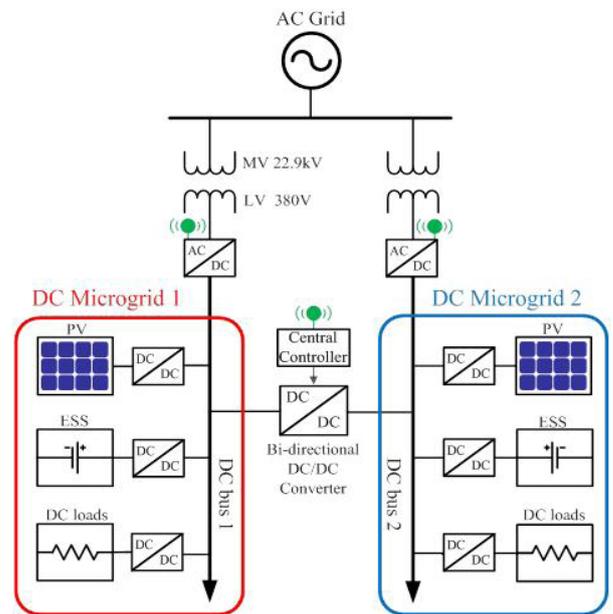


그림 1 양방향 컨버터를 통한 직류 그리드 연계 시스템 모델

단일 직류 버스에는 PV와 ESS 등의 다양한 분산 전원이 DC-DC 컨버터를 통해 연결되어 있으며 이는 지역 직류 부하에 전력을 공급한다. 기존의 단일 직류 마이크로그리드와 달리 본 논문에서 제안하는 시스템에서는 두 개의 직류 마이크로그리드를 양방향 컨버터가 연계하고 있다. 양방향 컨버터 토폴로지는 듀얼 액티브 브릿지(DAB)로 선정하였다. 듀얼 액티브 브릿지 컨버터는 전력 전달 방향과 전력량에 대한 지령을 중앙 제어기로부터 받고, 두 직류 버스 전압에 따라 위상 천이 변조(Phase Shift Modulation)를 통해 전력량을 제어한다.^[2]

2.2 단일 마이크로그리드 제어

각 직류 마이크로그리드의 직류 버스 전압은 직류 버스에 병렬로 연결된 컨버터들에 의해서 제어된다. 이 때, 제어의 신뢰성을 확보하기 위해 드롭 제어를 이용해서 전압을 제어한다. 단일 마이크로그리드 내에서 생산되는 전력이 소모되는 전력보다 클 경우 AC-DC 컨버터를 통해서 계통으로 전력을 내보내며, 교류 전압과 전류의 상이 반대로 나타나 컨버터가 인버팅 모드(Inverting Mode)로 동작한다. 반대의 경우에는 계통에서 전력이 유입되고, 교류 전압과 전류의 상이 일치하며 컨버터는 정류 모드(Rectifying Mode)로 동작한다.

2.3 마이크로그리드 연계 컨버터 운영 방안

중앙 제어기는 두 직류 마이크로그리드의 AC DC 컨버터 전류, 전압 정보를 이용해 컨버터 동작 모드를 파악하고 전력 상황을 판단한다. 각 직류 마이크로그리드 내에서 생산되는 전력량과 부하량이 평형을 이루고 있는 경우, 듀얼 액티브 브릿지는 동작하지 않는다. 제한하는 시스템에서 마이크로그리드 연계 컨버터는 다음의 두 경우에 대해 중앙 제어기로 부터 전력 전달 지령을 받고 동작한다.

2.3.1 마이크로그리드 간 전력 불균형 시

두 마이크로그리드의 AC DC 컨버터가 하나는 인버팅 모드, 다른 하나는 정류 모드로 동작하는 경우, 인버팅 모드로 동작하는 그리드의 잉여 전력을 연계 컨버터를 통해 직접 상대 그리드로 공급시킨다. 이를 통해 전력이 부족한 그리드의 떨어진 직류 버스 전압을 복구하고, 교류 전원 측을 거쳐 전달할 때보다 단순화된 경로로 전력을 보냄으로써 손실을 줄일 수 있다.

2.3.2 교류 전원과의 사고 발생 시

중앙 제어기는 AC DC 컨버터를 통한 전력 출력이 급감하는 것을 통해 교류 계통 측과 연결되는 지점에서 사고가 일어난 것을 판단할 수 있다. 사고 시점에서 사고 그리드의 부하량이 많으면 직류 버스 전압이 낮게 형성되고, 안정 범위 미만에서는 부하 차단(Load Shedding)이 발생한다. 중앙 제어기는 정상 동작하는 그리드의 AC DC 컨버터 동작 모드와 관계없이 사고가 발생한 마이크로그리드로 전력을 전달하도록 지령을 내려 중요 부하(Critical Load)에 대한 지속적인 전력 공급을 유지하도록 한다. 이 경우, 연계 컨버터가 동작하면 사고 그리드는 모든 전력을 DC DC 컨버터를 통해 공급받기 때문에 직류 버스의 전압은 순수한 직류의 형태를 보인다.

3. 시뮬레이션

3.1 조건

제한한 시스템 모델의 동작을 검증하기 위한 두 마이크로그리드 별 시뮬레이션 조건은 표 1과 같다. 2.3절의 두 상황에 대해 마이크로그리드 A의 전력을 듀얼 액티브 브릿지(DAB)를 통해 마이크로그리드 B로 전달하는 상황을 설정하고, B의 부하량을 증가시켜 직류 버스 전압이 부하 변동에 대해 응답하는 상황도 설정하였다. 직류 버스의 기준 전압은 380[Vdc], 안정 범위는 360~400[Vdc]로 가정했다. 각 컨버터는 평균 모델로 모델링하였고 스위칭 주파수는 50[kHz]이다.

표 1 직류 마이크로그리드 시뮬레이션 조건
Table 1 DC Microgrids Specifications for Simulation 단위:[kW]

구분	Microgrid A	Microgrid B
PV 용량	3.7	2
ESS 용량	1	1
부하량	1.5	3 → 3.7
듀얼 액티브 브릿지 용량	2	

3.2 결과

그림 2, 3은 마이크로그리드 간 전력 불균형 시, 교류 전원과의 사고 시 시스템 운영을 시뮬레이션 한 결과 파형이다. 교류 계통을 거치는 전력을 줄이고, 연계 컨버터를 통해 효율적인 마이크로그리드 간 전력 공급을 수행하며, 사고 발생 시 유연한 대처가 가능함을 확인할 수 있다.

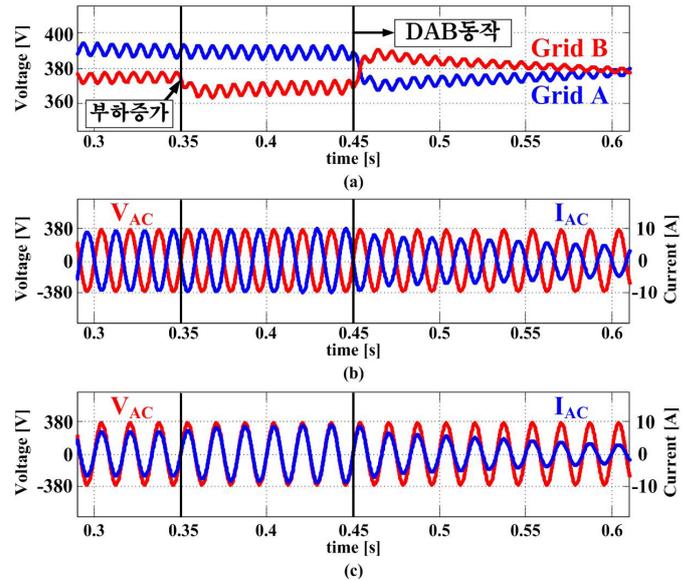


그림 2 마이크로그리드 간 전력 불균형 시, 연계 컨버터 동작
(a) Grid A, B : 직류 버스 전압 파형
(b) Grid A : AC-DC 컨버터의 교류 전압, 전류 파형 [Inverting Mode]
(c) Grid B : AC-DC 컨버터의 교류 전압, 전류 파형 [Rectifying Mode]

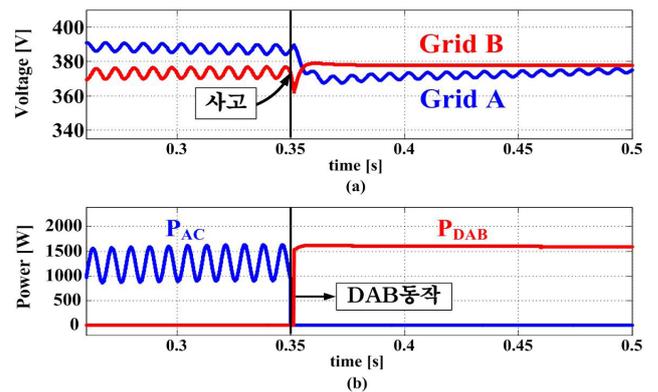


그림 3 교류 전원과의 사고 발생 시, 연계 컨버터 동작
(a) Grid A, B : 직류 버스 전압 파형
(b) Grid B : 교류 계통에서의 입력 전력, DAB를 통한 전달 전력 파형

4. 결론

본 논문에서는 두 직류 마이크로그리드를 양방향 컨버터를 통해 연계한 시스템 모델과 운영 방안에 대해 제안하였다. 제안한 시스템은 마이크로그리드의 개별적 운영에 비해 신뢰도 및 효율 면에서 장점을 갖는다. 이를 그리드 간 전력 불균형과 교류 전원과의 사고 상황에 대해 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)과 산업평가관리원의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.(No. 2011T100100025)

참고 문헌

[1] Montri Wiboonrat, "Next Generation Data Center Design Under Smart Grid", IEEE ICUFN, pp. 103-108, 2012.
[2] Hengsi Qin, "Generalized Average Modeling of Dual Active Bridge DC DC Converter", IEEE Transaction on Power Electronics, Vol. 27, No. 4, pp. 2078-2084, 2012.