

분산전원을 가진 직류수배전반의 DC/DC 컨버터 연구

김경만*, 강찬호*, 정지훈**, 류명호***, 백주원***, 김주용****

(주)이지트로닉스, 울산과학기술원, 한국전기연구원, 한국전력공사 전력연구원

A Study of DC/DC Converter for DC Distribution System in Building with Distributed Power System

Gyoungman Kim, Chanho Kang, Jeehoon Jung, Myunghyo Ryu, Juwon Baek, Juyong Kim
EGTRONICS Co., Ltd., UNIST, KERI, KEPRI

ABSTRACT

최근 저압직류배전에 대한 연구가 급속도로 진행되면서 배전망에 적용되는 구성요소에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 본 논문에서는 대용량 수용가 배전반에 접속된 구성요소 중 배전계통으로부터 직류전력 공급하기 위한 양방향 DC/DC 컨버터, 수용가 직접 전력공급을 위한 직류 저압 태양광 발전시스템용 DC/DC 컨버터, 저압 직류 에너지저장시스템용 DC/DC 컨버터의 운전이 있어서 배전계통간 전력조류를 양방향 운전의 타당성에 대해 비교하고, 운용상 얻어지는 효율 개선 등에 대한 것을 비교 검토하고자 한다.

1. 서론

전 세계적으로 화석연료의 고갈 및 환경문제에 대응하기 위해 신재생 에너지 시스템 개발과 보급이 증가하고 있고, 배전망 수요부하에서는 반도체 전력변환장치를 사용하는 직류성 디지털 부하 급증으로 직류 전력 수요가 점차 증가하고 있다.^[1] 현재의 교류방식 배전시스템에서 태양광발전시스템과 같은 신재생에너지원은 직류전력을 교류로 변성하고, TV, AV기기, PC, LED 램프 등 가전용 기기는 교류전력을 직류전력으로 변성하는 등 이중 전력변환으로 인해 공급전력의 20% 정도가 손실로 낭비된다는 것이다.^[2] 이와 같은 손실을 저감시키기 위해 배전계통에도 직류의 필요성이 대두되고 이를 실증하기 위한 다양한 연구가 진행 중이다. 이러한 직류 배전에서 1500V 이하의 전압영역을 가진 배전시스템을 LVDC(Low Voltage Direct Current) 배전시스템이라고 하고, 1500V의 단극(unipolar)형과 ±750V의 양극(bipolar)형으로 나뉜다. 국내에서도 초창기 단극형이 적용되었으나 최근에는 접지로써 사용가능한 중성점을 가진 양극형이 적용되고 있다.^[3]

본 논문에서는 직류배전계통으로부터 대용량 건물 수용가에 380V 직류 전력을 공급하고, 신재생 에너지원인 태양광발전시스템(Power Conditioning System, PCS)과 에너지저장시스템(Energy Storage System, ESS)을 가진 수배전시스템에 적용되는 DC/DC 컨버터들간 전력조류제어 효율성을 검토한다.

2. 본론

2.1 다중전원을 가지는 수배전반

대형 건물과 같은 직류 대용량 수용가에 신재생에너지 등과

같은 다양한 전원이 있으나 그림 1과 같이 3개의 직류 전원을 가진 배전반시스템으로 검토한다. ±750V 배전계통으로부터 수용가 저압 직류전원사이에 양방향 전력조류가 되도록 절연형 양방향 DC/DC 컨버터가 있고, PCS는 PV 패널의 직류전원으로부터 수용가에 전력을 공급하기 위한 단방향 DC/DC 컨버터가 있으며, ESS는 수용가 전압의 안정화 및 필요시 배전계통에 전력을 공급하기 위한 양방향 DC/DC 컨버터가 있다.

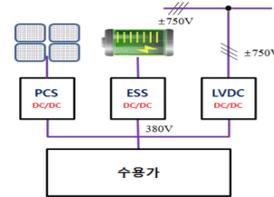


그림 1 직류 대용량 수용가 배전반시스템 구성도
Fig 1 Configuration of DC distribution panel system for a building.

2.2 배전반 적용 DC/DC 컨버터를 토폴로지

배전반 주전력변환 LVDC용 DC/DC 컨버터는 직류배전 ±750V 계통으로부터 수용가에 380V를 공급하기 위하여 그림 2와 같이 2개의 DC/DC 컨버터 모듈을 1차 직렬, 2차 병렬로 결선하고, 각 모듈들은 마스터와 슬레이브 운전을 한다. 양방향 동작을 위하여 모듈들은 3상 DAB(3 phase Dual Active Bridge)로 구성하였고, PCS의 잉여전력과 ESS로부터 ±750V 계통에 전력을 공급하기 위해 양방향 동작이 필요하다.

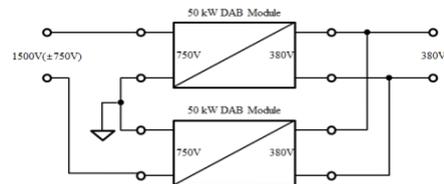


그림 2 2개 모듈로 구성된 양극 양방향 컨버터
Fig 2 Bipolar DC/DC converter with 2 modules

PCS와 ESS용 DC/DC 컨버터는 각각 단방향 동작과 양방향 동작을 하지만, 효율을 높이기 위해 비절연형 토폴로지를 적용하였고 동기정류방식을 적용하여 그림 3과 같은 3상 인터리브드 컨버터 토폴로지를 적용하였다.

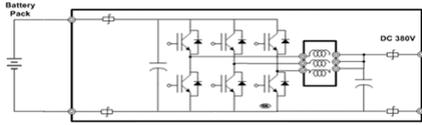


그림 3 ESS용 DC/DC 컨버터 토폴로지
Fig 3 DC/DC converter topology of ESS

2.3 전력조류에 대한 흐름

그림 4와 같이 PCS와 ESS가 $\pm 750V$ 배전계통에 위치할 경우 수용가 전력공급을 위해 PV 패널에서 2개 DC/DC 컨버터를 거쳐야 하고, 잉여 전력이 발생한 PCS에서 ESS를 거쳐 수용가에 전력공급을 위해 4개 DC/DC 컨버터를 거쳐야 한다.

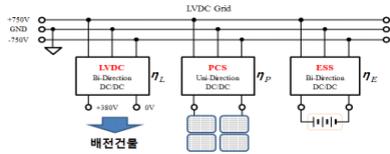


그림 4 $\pm 750V$ 그리드에 컨버터들 연결
Fig 4 To connect the converters to $\pm 750V$ grid.

그림 5와 같이 PCS와 ESS가 380V 수용가에 위치할 경우 수용가 전력을 공급하기 위해서는 PV 패널에서 1개 DC/DC 컨버터를 거치고, PCS에서 ESS를 거쳐 수용가에 전력공급을 위해 3개의 DC/DC 컨버터를 거치므로 $\pm 750V$ 에 PCS와 ESS를 접속한 경우보다 효율이 높음을 알 수 있다.

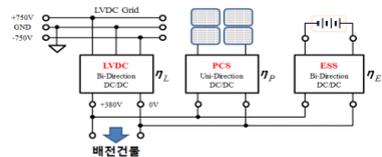


그림 5 380V 그리드에 컨버터를 연결
Fig 5 To connect the converters to 380V grid.

그림 5에서 PCS에서 $\pm 750V$ 계통으로 공급할 경우 PV 패널, PCS용 컨버터, LVDC 컨버터를 거치게 되므로 계통까지 전력변환효율은 두 컨버터 효율의 곱이 되고, LVDC 컨버터를 통해 전체는 절연형이 된다. 마찬가지로 ESS와 $\pm 750V$ 배전계통도 거의 동일하다.

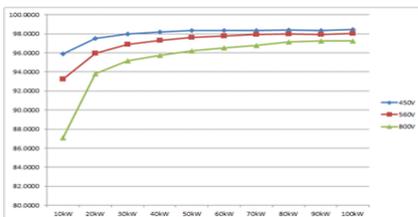


그림 6 ESS 컨버터 효율곡선
Fig 6 Efficiency curve for ESS converter

ESS용 배터리는 100kWh로 설계하였으며 수용가 380V 전원을 고려하여 배터리 저전압을 420V, 동작전압은 504 ~ 705V로 선정하였다. ESS 컨버터를 제작하여 시험한 결과 효율 그

래프는 그림 6과 같이 나타났다. 비절연 컨버터 토폴로지를 적용하여 배터리 전압과 낙차가 작을수록 효율이 높게 나타남을 알 수 있고, 3상 인터리브 방식으로 듀티비에 따라 리플전류가 0이 되는 배터리 전압을 입력하였으나 손실저감 효과는 크지 않음을 알 수 있었다.

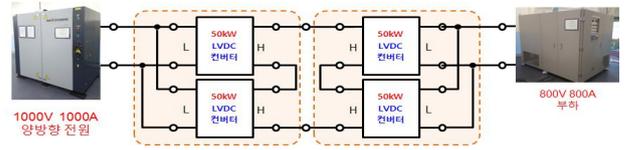


그림 7 LVDC 컨버터 시험환경 구성
Fig 7 Block diagram of LVDC converter test

LVDC 컨버터는 그림 7과 같이 구성하여 저전압에서 고전압 및 고전압에서 저전압의 양방향 동작에 대한 시험을 함께 평가하였으며 부하를 가변시키면서 효율을 측정된 결과 최고효율 97.3%를 확인하였다.

표 1 배전반 DC/DC 컨버터의 특징

Table 1 Characteristic of distribute panel DC/DC converters

	LVDC 컨버터	PCS용 컨버터	ESS용 컨버터
최고효율	97.3%	98.7%	98.7%
유형	절연 양방향	비절연 단방향	비절연 양방향
토폴로지	3상 DAB	3상 인터리브	3상 인터리브
용량	100kW	30kW	100kW

3. 결론

대용량 직류 수용가용 PCS와 ESS 컨버터는 에너지 효율이 높은 비절연형으로 적용하고, $\pm 750V$ 배전계통 전원과는 수용가 사이는 절연형 LVDC 컨버터로 고전압 혼축을 방지하였다. 한편 PCS와 ESS의 전력이 $\pm 750V$ 배전계통으로 공급시 절연형 LVDC 컨버터를 포함으로써 전체 시스템은 절연형을 유지하였다. 향후, 개발된 단품 시스템들의 연동운전으로 배전반 시스템 운용효율에 대한 연구와 지능형배전시스템을 통해 효과적 인 고효율 운전 모델에 대한 연구를 진행할 예정이다.

이 논문은 한국전력의 연구비 지원에 의하여 연구되었습

참고 문헌

[1] [1] Dong Dong, Fang Luo, Xuning Zhang, Dushan Boroyevich, Paolo Mattavelli, "Grid Interface Bidirectional Converter for Residential DC Distribution Systems Part 1 : High Density Two Stage Topology", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 28, No. 4, pp. 1655 1666, Apr, 2013.

[2] William Tschudi Lawrence, "DC Power for Improved Data Center Efficiency, " January 2007

[3] P. Salonen, T. Kaipia, P. Nuutinen, P. Peltoniemi, J. Partanen, "An LVDC Distribution System Concept", NORPIE, 2008.