

비상발전기와 ESS를 이용한 양극성 저압 직류배전에서의 비상 전력 공급 시스템 운영 방법

강경민*, 강진욱*, 송준호*, 이훈*, 권용훈*, 원충연*
성균관대학교*

The Operation Method of Emergency Power Supply System in Bipolar LVDC Using Emergency Generator and ESS

Kyung Min Kang*, Jin Wook Kang*, Jun Ho Song*, Hoon Lee*, Yong Hoon Kwon*,
Chung Yuen Won*
Sungkyunkwan University*

ABSTRACT

직류배전 시스템은 신재생에너지 및 ESS(Energy Storage System)와의 결합으로 높은 에너지 이용효율을 가질 수 있다. 이러한 직류배전 시스템은 기존 교류계통을 통해 구성되며, 다양한 디지털 부하가 연계되므로 교류계통 및 메인 PCS(Power Conversion System)에 문제가 발생했을 때를 대비하여 비상 전력 공급 시스템이 필수적으로 고려되어야 한다. 최근 직류배전에서 비상전력 공급 시스템으로 큰 관심을 받고 있는 ESS는 초기 설치비용, 용량, 수명 등의 문제로 인해 단일로 비상 전력 공급 시스템을 구성하기에 어려움이 있다. 때문에 기존에 이미 많이 설치되어 있는 비상발전기의 적용이 검토되어야 한다. 본 논문에서는 비상발전기와 ESS를 활용하여 양극성 저압직류배전에서 정전과 같은 사고 상황 발생 시 직류배전망의 전압을 빠르게 안정시킬 수 있는 시스템과 그 운영기법을 제안하였고, PSIM 시뮬레이션을 통하여 타당성을 검증하였다.

1. 서 론

최근 직류배전 시스템에 대한 관심이 증가함에 따라 +, 0,의 출력 전압을 이용할 수 있는 양극성 저압 직류배전(Low Voltage Direct Current distribution)시스템 또한 많은 연구와 실증이 진행되고 있다. 그림 1은 1개 혹은 그 이상의 PCS를 이용하여 구성되는 양극성 LVDC 시스템을 보여준다.

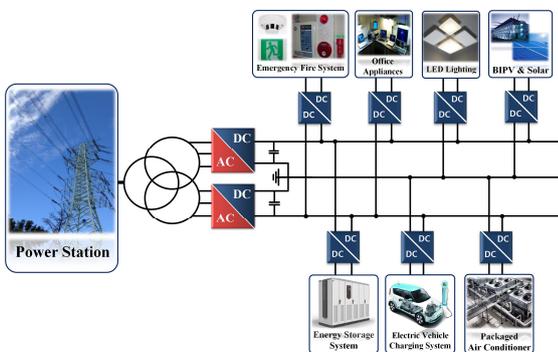


그림 1 양극성 LVDC 시스템 구성도
Fig. 1 Bipolar LVDC system configuration diagram

그림 1의 양극성 LVDC 시스템 구조는 교류계통의 정전 또

는 메인 PCS의 문제 발생으로 인한 정지 상황에서 정전상태에 돌입하게 되며, 부하는 전력을 공급받을 수 없게 된다. 또한 두 대 중 한 대의 메인 PCS만 정지하더라도, 직류배전망에 큰 전압 불평형 현상이 발생한다. 이러한 문제는 각종 디지털 부하와의 연계가 장점인 직류배전에서 치명적인 단점이 될 수 있으며, 이를 해결하기 위해 비상 전력 공급 장치로 ESS에 대한 연구가 활발히 진행되었다. ESS는 배터리 기반의 에너지 저장 장치로 비상 전력 공급 장치의 역할 외에 평상시에도 직류배전망의 전력 균형을 수행한다. 이러한 ESS는 고가의 배터리로 인한 초기 설치비용, 배터리 수명 및 용량의 한계와 같은 문제가 존재하기 때문에, 단일로 비상 전력 공급 시스템을 구성하기에 어려움이 있다. 하지만 비상발전기는 다양한 장소에 이미 많이 설치되어 있으며, 기계적인 구조로 인해 반영구적인 사용이 가능하므로 비상발전기를 ESS와 함께 비상 전력 공급 시스템에 적용한다면 직류배전 시스템의 사고 상황에 더욱 효과적으로 대처할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 양극성 LVDC 시스템에 비상 상황이 발생하였을 때 비상발전기, ESS와 DC전압 밸런서를 적용하여 전력을 안정적으로 공급할 수 있는 시스템과 그 운영 방법을 제안하였고, 시뮬레이션을 통해 타당성을 검증하였다.

2. 본 론

2.1 제안하는 LVDC의 비상 전력 공급 시스템 구성

그림 2는 본 논문에서 제안하는 비상 전력 공급 시스템의 전체 구성도를 보여준다. 제안하는 시스템에 적용한 비상발전기는 디젤 발전기 혹은 가스 터빈 발전기에 주로 사용되는 회전계자형 동기 발전기이다. 비상발전기로부터 생산된 전력을 직류배전망으로 전달하기 위해 3상 2 Level AC/DC PCS를 적용하였으며, 전력 균형제어와 비상 전원 보조 장치로 사용되는 ESS를 연계하기 위해 양방향 인터리브드 DC/DC 컨버터를 적용하였다. 또한 사고 상황 발생 시 직류배전망의 전압 밸런싱 제어를 위해 커플드 인덕터 구조의 DC전압 밸런서를 적용하였으며, 직류배전망은 AC/DC PCS의 출력을 통해 일정한 직류 전압을 유지하기 때문에 커패시터로 모델링하였다.

그림 3은 제안하는 비상 전력 공급 시스템의 전체 회로도를 보여준다. 교류계통과의 연계를 위한 메인 AC/DC PCS는 교류 전압 각을 기반으로 벡터제어(Voltage Oriented Control)를 수행하여 직류배전망의 전압을 제어한다. 또한 비상발전기용

AC/DC PCS는 절대형 엔코더(Absolute Encoder)를 통해 얻은 자속각을 기준으로 벡터제어(Field Oriented Control)를 수행하며, 커플링된 직류전동기에 의해 동기발전기가 일정 속도로 회전할 때, 역토크 지령을 인가하면 발전기에서 생산된 전력이 발전기용 AC/DC PCS를 통해 직류배전망 측으로 회생된다.

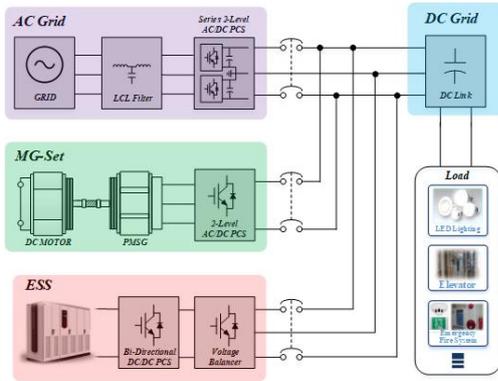


그림 2 제안하는 비상 전력 공급 시스템 구성도
Fig. 2 The proposed emergency power supply system configuration diagram

ESS를 위한 전력변환 장치는 양방향 전력 전달이 가능한 양방향 인터리브드 DC/DC PCS이며, 평상시 ESS의 SOC에 따라 직류배전망 전체의 전력 균형제어를 수행한다. 또한 DC전압 밸런서는 평상시에는 동작하지 않지만, 사고상황이 발생하여 메인 AC/DC PCS에 의해 직류배전망의 전압 밸런싱 제어가 불가능할 경우, 동작하여 전압 밸런싱 제어를 수행한다.

2.2 제안하는 비상전력 공급 시스템의 운영 기법

교류계통의 정전사고 또는 메인 AC/DC PCS에 고장이 발생하였을 때 직류배전망에 연결된 부하에 지속적으로 전력을 공급하기 위해서는 비상 전력 공급 시스템을 동작시켜야 한다. ESS는 부하의 총 용량에 비해 비교적 용량이 작아 장시간 전력 공급이 어려운 반면, 비상발전기는 장시간 지속적으로 전력을 공급할 수 있으며 ESS에 비해 용량도 크다. 하지만 비상발전기가 정격 속도에 도달하기 전에 역토크 지령을 인가하면,

발전기에 부하가 인가된 것과 같은 현상이 발생하기 때문에 정격 속도에 도달하는데 더욱 오랜 시간이 소요되며, 이 경우 직류배전망으로 전력을 제대로 공급할 수 없다. 그림 4는 이와 같은 문제를 고려한 제안하는 비상 전력 공급 시스템의 운영 알고리즘을 보여준다.

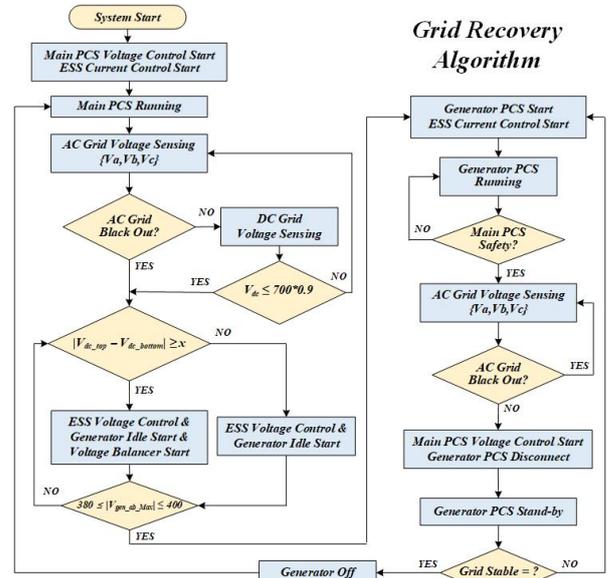


그림 4 제안하는 비상 전력 공급 시스템 운영 알고리즘
Fig. 4 Algorithm flow chart of the proposed emergency power supply operation process

정상상태에서 부하는 직렬 연결된 두 대의 메인 AC/DC PCS로부터 전력을 공급받으며, ESS용 양방향 DC/DC PCS는 부하의 크기에 따라 ESS를 방전 또는 충전하여 SOC를 항상 30% 이상으로 관리한다.

교류계통의 정전사고 또는 메인 AC/DC PCS에 고장이 발생하여 직류배전망 전압이 하락하면, ESS용 양방향 DC/DC PCS가 전압 제어로 전환되어 직류배전망의 전압을 제어한다. 이와 동시에 비상발전기는 즉시 가동되어 정격속도까지 Idling하게 된다. 만약 부하가 양극성 직류배전망의 한쪽에 몰려 직류배전

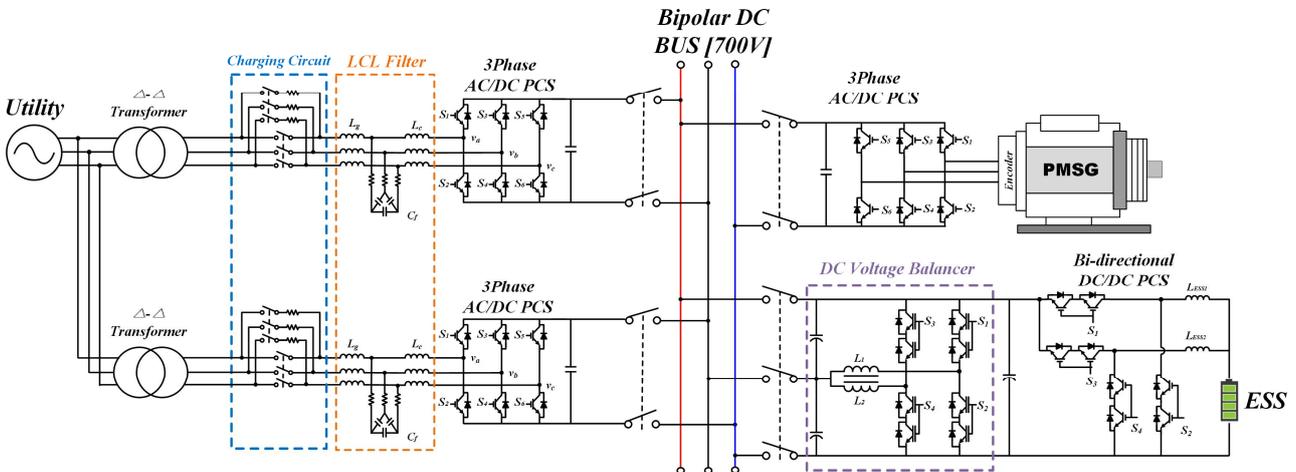


그림 3 제안하는 전력 공급 시스템의 전체 회로도
Fig. 3 Schematic of the proposed power supply system

망 전압에 불평형 현상이 발생할 경우, DC전압 밸런서가 동작하여 양극성 직류배전망의 전압 밸런싱 제어를 수행한다.

이후 비상발전기가 정격속도에 도달하면 비상발전기용 AC/DC PCS가 동작하여 직류배전망의 전압제어를 수행하며, 이와 동시에 ESS용 양방향 DC/DC PCS는 전류제어로 전환되어 정상상태와 같이 ESS를 SOC에 따라 충전 또는 방전시킨다.

사고 상황(교류계통 정전, 메인 AC/DC PCS의 고장)이 종료되어 정상상태가 되면 메인 AC/DC PCS에 의해 부하의 전력을 공급받는다. 동시에 비상발전기용 AC/DC PCS의 MC(Magnetic Connector)가 차단되어 비상발전기에 의한 전력 공급은 중단되며, DC전압 밸런서도 동작을 정지한다. 그러나 비상발전기와 비상발전기용 AC/DC PCS는 정지하지 않고 동작대기 상태를 유지한다. 만약 사고 상황이 다시 발생하여 전력 공급에 문제가 생기면 동작대기중이던 비상발전기에 의해 부하로 전력이 공급되지만, 일정 시간동안 사고 상황이 발생하지 않으면 비상발전기와 비상발전기용 AC/DC PCS는 동작을 완전히 정지하게 된다.

3. 시뮬레이션

본 논문에서 제안하는 비상 전력 공급 시스템의 운영 기법에 대한 타당성을 검증하기 위해 PSIM 시뮬레이션을 진행하였다.

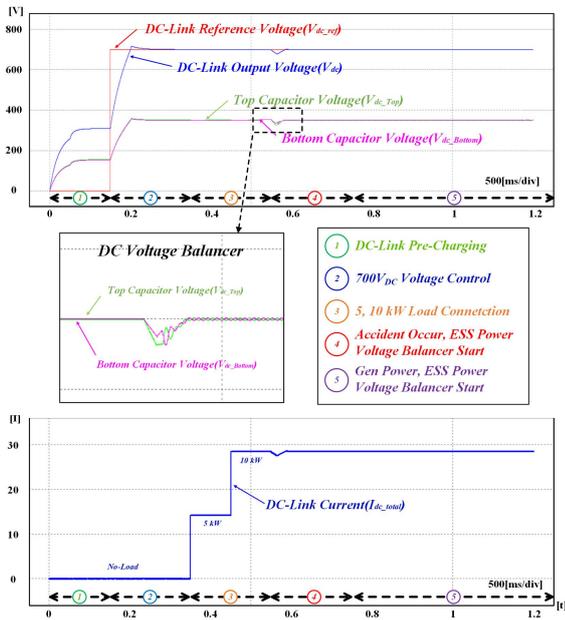
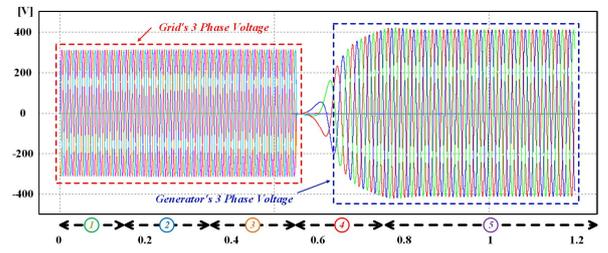


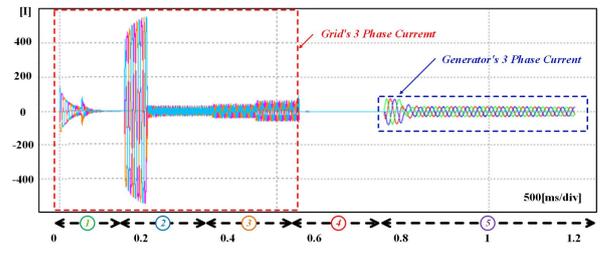
그림 5 시뮬레이션 파형(DC-Link Voltage, Current)
Fig. 5 Simulation waveform(DC-Link Voltage, Current)

그림 5는 DC Link를 350[V_{dc}]로 제어하는 메인 AC/DC PCS 두 대를 직렬 연결하여 전체 전압이 700[V_{dc}]인 양극성 직류배전망에 ESS가 전력 균형제어를 정상적으로 수행하다가 사고 상황이 발생했을 때의 시뮬레이션 결과이다. 5[kW], 10[kW] 부하가 각각 인가되어 있는 상태에서 0.55초에 교류계통에 정전사고가 발생하여 메인 AC/DC PCS는 동작을 정지한다. 때문에 DC Link의 전압이 하락하는 것을 확인할 수 있다.

DC Link의 전압이 하락함과 동시에 ESS용 양방향 DC/DC PCS가 전압제어로 전환되어 DC Link의 전압을 다시 700[V_{dc}]로 제어하고, DC전압 밸런서가 동작하여 상단, 하단 커패시터의 전압 불평형 현상을 제어한다. 이와 동시에 비상발전기는 Idling을 시작한다. 비상발전기가 정격 속도에 도달하면서 비상발전기에서 출력되는 교류전압이 380[V_{ac}]를 넘게 되면 비상발전기용 AC/DC PCS가 DC Link의 전압제어를 수행하고, ESS용 양방향 DC/DC PCS는 ESS의 SOC에 따라 충전, 방전제어를 수행한다. 비상발전기가 정격 속도에 도달한 이후에 비상발전기용 AC/DC PCS가 동작하는 것은 그림 6의 시뮬레이션 과정을 통해 확인할 수 있다. 비상발전기가 정격속도에 도달하는 동안, ESS에서 먼저 DC Link의 전압을 빠르게 700[V_{dc}]로 다시 제어하기 때문에 사고 상황에도 DC Link의 전압 하락폭이 작은 것을 확인할 수 있다.



(a) 3-Phase Voltage(AC grid, Emergency Generator)



(b) 3-Phase Current (AC grid, Emergency Generator)

그림 6 교류계통 및 비상발전기의 3상 전압, 전류파형
Fig. 6 3-phase voltage, current of ac grid and emergency generator

4. 결론

본 논문에서는 양극성 LVDC시스템에 교류계통의 정전사고 및 메인 AC/DC PCS의 고장과 같은 사고 상황이 발생하였을 때 부하로의 전력공급 문제를 최소화할 수 있는 비상 전력 공급 시스템과 운영 기법을 제안하였고, 시뮬레이션을 통해 타당성을 검증하였다. 제안하는 시스템과 운영기법이 적용된 직류배전 시스템은 IDC(Internet Data Center)와 같이 정전사고에 치명적인 장소에서 더욱 효과적일 것이라 예상된다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20162010103830)

[1] 홍석진, “분산전원과 에너지 저장장치가 연계된 양극성 직류 마이크로그리드용 PCS의 고성능 운전에 대한 연구,” 성균관대학교 박사학위논문, 2018.