

바이폴라 타입 DC 마이크로그리드의 전압 불평형 보상 및 안정도 향상을 위한 제어기법 개발

김현준, 이지현, 한태희, 한병문, 김주용, 채우규
 명지대학교, 한국전력공사 전력연구원

Development of Control Algorithm for Improving Stability and Compensating Voltage Unbalance of Bipolar-type DC micro-grid

Hyun-Jun Kim, Ji-Heon Lee, Tae-hee Han, Byung-Moon Han, Ju-Yong Kim, Woo-Kyu Chae
 Myongji University, KEPCO Research Institute

ABSTRACT

본 논문에서는 바이폴라 타입 DC 마이크로그리드의 전압 불균형을 보상하기 위한 전압 밸런싱 기법과 안정도 향상을 위한 제어기법을 제안하였다. 선로 임피던스와 부하 불균형에 의한 전압 불평형 문제를 해석하고 제안하는 기법을 통해 이를 해결하였으며 과도 상태에 대한 DC 배전계통의 안정도 향상기법을 개발하였다. 제안하는 시스템의 동작 타당성을 체계적으로 분석하기 위해 PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 이용한 시뮬레이션 모델을 개발하고 그 성능을 검증하였다.

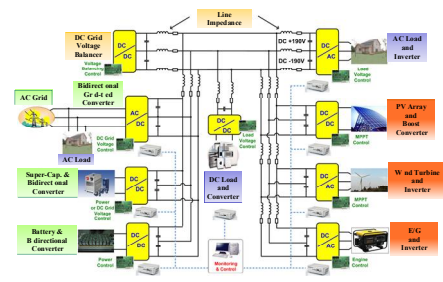


그림 1 바이폴라 타입 DC 마이크로그리드의 구성
 Fig. 1 Configuration of Bipolar Type DC Micro-grid

1. 서론

최근 분산전원의 용량 및 설치의 증가에 의하여 많은 전력 품질문제가 발생하고 있으며 또한 디지털 부하의 급증에 따라 국내외에서 DC 마이크로그리드와 저압 직류배전에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

저압 직류배전의 경우 핀란드 LUT에서 바이폴라 저압배전을 설치하고 운용되고 있으며 이로 인해 많은 장점들과 데이터들이 도출되고 있으나 단순 배전에 국한되어 있어 DC 배전의 효율성을 많이 높이지는 못하였다.

본 논문에서는 신재생에너지 기반의 바이폴라 DC 마이크로그리드를 설계하고 여기서 발생 가능한 전력품질문제들을 분석하고 이를 해결하는 기법들을 개발하였으며 시스템의 동작 타당성을 체계적으로 분석하기 위해 PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 이용한 시뮬레이션 모델을 개발하고 그 성능을 검증하였다.

2. 본론

2.1 시스템 설계

그림 1에 설계한 바이폴라 DC 마이크로그리드의 구조를 나타내었다. 분산전원과 하이브리드 에너지 저장장치, 여러 부하들과 전압 밸런서로 구성되어 있으며 전력관리를 위한 통신장비들이 각 기기에 연계되어 있다. 바이폴라 배전의 효율 극대화를 위하여 양 단에 서로 다른 용량의 부하가 연계되어 있으며 실제 선로 km당 임피던스가 기기 사이에 설치되었다.

2.2 DC 마이크로그리드 과도상태 안정도 향상 기법

DC 마이크로그리드 계통에는 다수의 분산전원 및 부하가 연결되며 각 각의 전력변환기들에서 발생하는 스위칭 고조파 성분에 의하여 DC 계통 전압은 상당히 비선형적인 특성을 띄게 된다. DC 마이크로그리드에 연계되는 기기와 선로를 등가화한 회로를 그림 2에 나타내었다. 계통의 안정도를 분석하기 위해서 선형화된 상태공간모델은 식 (1)로 정리된다. 본 수식을 안정도 관점에서 정리해 보면 용량이 증가할수록 선로 저항이나 출력 커패시터의 값을 키우면 어느 정도 감쇄시킬 수는 있으나 이는 현실적으로는 불가능하다. 즉, DC 계통을 안정화시키기 위해서는 선로 노이즈 필터링이 반드시 필요하다. 노이즈 필터링 기법과 등가 포지티브 저항 성분을 만들고 계통의 댐핑을 늘리기 위함을 목적으로 하는 안정화 기법을 추가하도록 한다. 안정화 기법의 회로도와 제어 블록도를 그림 3과 4에 나타내었다.

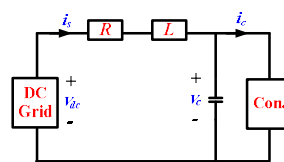


그림 2 DC 계통의 등가 회로

Fig 2. Equivalent Circuit

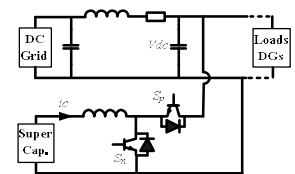


그림 3 전압 안정화 회로

Fig 3. Circuit of Voltage Stabilization

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Delta i_s \\ \Delta v_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R & -1 \\ L & L \\ 1 & P \\ C & v_{nom}^2 C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta i_s \\ \Delta v_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ L \\ 0 \end{bmatrix} \Delta v_{dc} \quad (1)$$

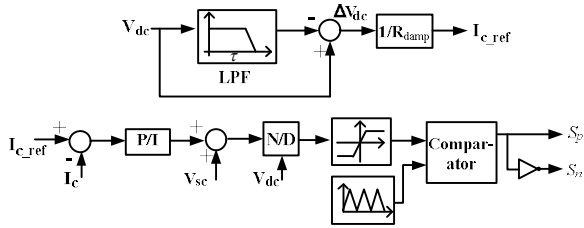


그림 4 전압 안정화 제어 블록도
Fig 4. Control Block of Voltage Stabilization

등가 포지티브 저항 성분을 만들기 위해서 먼저 DC 계통 전압 필터링을 수행한다. DC 계통에 병렬로 연결되는 등가 댐핑 저항 성분을 만들기 위하여 댐핑 전류를 만들어 주면 식 (2)와 같이 선형화된 수식을 정리할 수 있으며 τ 와 R_{damp} 에 의하여 DC 계통의 특성을 조절할 수 있다.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Delta i_s \\ \Delta v_c \\ \Delta v_{cf} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & \frac{-1}{L} & 0 \\ \frac{1}{C} & \frac{P}{v_{nom}C} - \frac{1}{R_{damp}C} & \frac{1}{R_{damp}C} \\ 0 & \frac{1}{\tau} & \frac{-1}{\tau} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta i_s \\ \Delta v_c \\ \Delta v_{cf} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \Delta v_{dc} \quad (2)$$

2.3 바이폴라 DC 배전망 전압 불균형 향상 기법

바이폴라 타입 DC 마이크로그리드는 양 극에 서로 다른 부하 또는 분산전원들이 연계되며 실제 임피던스를 고려한 배전 선로의 등가회로는 그림 5와 같이 나타낼 수 있다. 분산전원이 연계된 바이폴라 DC 계통에서 입력단과 분산전원 사이의 선로 임피던스를 고려하면 분산전원의 정격출력에 대한 선로의 손실은 식 (3)과 같다. 이에 대해 발생하는 전압 강하는 식 (4)가 되며 후단의 전압은 식 (5)로 나타낼 수 있다. 수용가는 바이폴라 양단 혹은 한 극에 서로 다른 용량으로 연결될 수 있으며 부하에 불평형이 발생하면 계통 말단의 전압은 전압 밸런싱이 깨지므로 안정적인 전압 유지가 매우 어렵게 된다. 따라서 바이폴라 방식의 DC 마이크로그리드에서는 선로 임피던스와 선로 간 전력의 불평형을 고려하여 DC 전압 밸런싱을 유지하는 것이 매우 중요한 사항이다.

$$P_{loss} = (P_{dg} / V_{dc})^2 \times R_{\Omega/km} \quad (3)$$

$$V_{drop1} = (P_{rated} / V_{dc}) \times R_{\Omega/km} \quad (4)$$

$$V_{dg2} = V_s + V_{drop1} \quad (5)$$

그림 5에 전압 밸런서를 나타내었으며 그림 6에 제어 블록도를 나타내었다. 2개의 반도체 스위치와 전류제어용 리액터, 바이폴라 단의 전압 유지를 위한 2개의 커패시터로 단순한 구조를 통해 상당한 효과를 볼 수 있는 특징이 있다. 반도체 소자와 리액터에는 밸런싱이 깨지는 순간에만 적은 전류가 흐르므로 용량산정에도 장점이 있다. 양단의 전압을 측정하고 밸런싱 계수 K를 곱해주고 이를 양단 전압의 합으로 나누어 준다. 이 값에 0.5를 더하여 듀티를 형성한다.

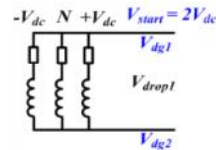


그림 5 바이폴라 DC 계통 등가회로
Fig 5. Equivalent Circuit

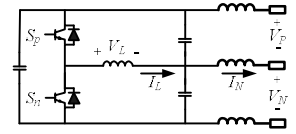


그림 6 전압 밸런서 회로도
Fig 6. Circuit of Voltage Balancer

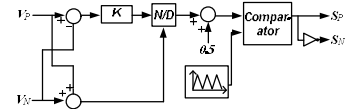
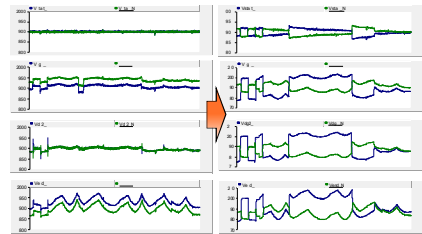
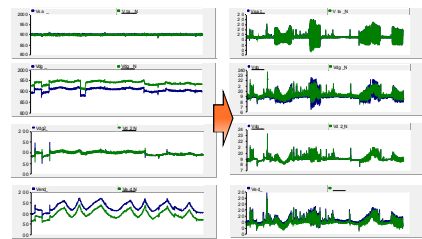


그림 7 전압 밸런서 제어 블록도
Fig 7. Control Block of Voltage Balancer

3. 모의실험을 통한 결과분석



(a) 전압 밸런서 성능 검증 모의실험



(b) 전압 안정화 성능 검증 모의실험

그림 8 모의실험 결과

Fig 8. Simulation Result

제안하는 기법의 타당성 검증을 위해 모의실험을 수행하였다. 그림 8(a)는 전압 밸런서의 성능을 검증하는 모의실험으로 밸런서가 있을 때와 없을 때의 비교 결과로서 10%가 넘는 변동률의 차이를 보이고 있다. 그림 8(b)는 전압 안정화 제어를 하였을 때와 하지 않았을 때의 비교 결과로서 40%가 넘는 변동률의 차이를 보이고 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 바이폴라 타입 DC 마이크로그리드의 전압 불균형을 보상하기 위한 전압 밸런싱 기법과 안정도 향상을 위한 제어기법을 제안하였다. PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 이용하여 동작 타당성을 검증하였으며 향후 DC 배전 및 마이크로그리드 설계에 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

본 연구는 2012년도 한국전력공사 재원으로 전력연구원의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부서에 감사드립니다. (과제번호 : R12DA01)