

AC-DC 마이크로그리드의 각상 1선지락 상태를 고려한 인터링킹 컨버터

김미나, 최봉연, 강경민, 이훈, 안창균, 원충연
성균관대학교

Interlinking converter considering 1-phase short circuit state of AC-DC microgrid system

Mi-Na Kim, Bong-Yeon Choi, Kyung-Min Kang, Hoon-Lee, Chang-Gyun An, Chung-Yeun Won
Sungkyunkwan University

ABSTRACT

Voltage unbalance can be occurred in AC-DC microgrid systems when AC loads or AC systems are connected. To solve this problem, 3-phase 4-wire interlinking converter is used. This paper proposes a PLL method that can detect accurate phase and voltage magnitude.

1. 서론

AC-DC 마이크로그리드는 신재생 에너지 및 에너지 저장 장치가 DC버스에 구성되고 AC계통이나 AC부하가 연결된 AC버스를 인터링킹컨버터를 사용하여 연계한다. 이때 AC부하나 AC계통 연결시 전압 불평형이 발생할 수 있어 이를 해결하기 위해 3상 4선식 방식의 인터링킹 컨버터를 사용한다.^[1] 그러나 3상 4선식의 인터링킹 컨버터는 각상의 부하의 불평형 전압 발생시 이를 안정적으로 제어하기 위해 동기좌표계의 d-q변환 방식을 사용한 일괄제어 방식을 사용 하는데 3상 일괄제어 방식은 상별 0%, 100%, 100%의 1선지락 사고 발생시 시스템이 정지 하는 문제가 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위해 각상이 독립적으로 제어되는 개별제어 방식이 연구 되었으나 이는 변환과정이 복잡하고 제어기의 수가 많은 단점이 있다.^[2]

본 논문에서는 AC-DC 마이크로그리드 시스템의 인터링킹 컨버터에서 부하 평형 전압시 발생하지 않는 0축이 부하 불평형 전압시 0축에 발생하는 전압을 좌표 변환을 통해 발생하는 전압을 제어하여 특정상에서 0% 일때 정확한 위상 및 크기를 검출할 수 있는 PLL 기법을 제안하였으며, 이를 수식 및 시뮬레이션을 통해 검증 하였다.

2. 제안하는 PLL 기법

2.1 AC-DC 마이크로그리드의 시스템 구성도

AC-DC 마이크로그리드의 시스템 구성도는 그림1과 같으며 각 leg스위칭 상태에 따른 인버터 출력전압은 표 1과같이 나타낼 수 있다^[3]. 단독운전시 U,V,W상중에서 만일 W상 1선지락사고 발생시 N상에 동일한 스위칭 기법으로 제어할때 이는 표1의 분홍색의 벡터로 사용가능하며 이 벡터는 같은 평면에 위치한다. W상 뿐만 아닌 V상 또는 U상이 단락시에도 적용가능하다.

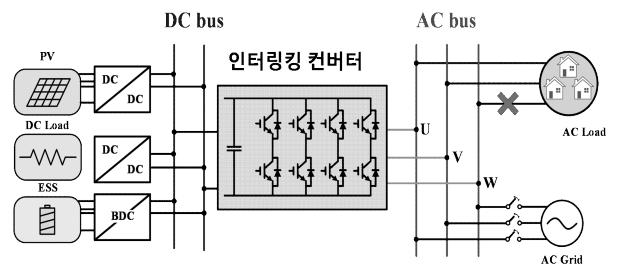


그림 1 AC-DC 마이크로그리드의 시스템 구성도
Fig. 1 AC-DC Microgrid System Diagram

표 1 4-leg 인터링킹 컨버터 출력 전압
Table 1 4-Leg interlinking converter output voltages

| | U | V | W | N | V_α | V_β | V_o |
|----------------|---|---|---|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| \vec{V}_1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| \vec{V}_2 | 0 | 0 | 1 | 0 | $-\sqrt{\frac{1}{6}}$ | $-\sqrt{\frac{1}{2}}$ | $\frac{1}{\sqrt{3}}$ |
| \vec{V}_3 | 0 | 1 | 0 | 0 | $-\sqrt{\frac{1}{6}}$ | $\sqrt{\frac{1}{2}}$ | $\frac{1}{\sqrt{3}}$ |
| \vec{V}_4 | 0 | 1 | 1 | 0 | $-\sqrt{\frac{2}{3}}$ | 0 | $\frac{2}{\sqrt{3}}$ |
| \vec{V}_5 | 1 | 0 | 0 | 0 | $\sqrt{\frac{2}{3}}$ | 0 | $\frac{1}{\sqrt{3}}$ |
| \vec{V}_6 | 1 | 0 | 1 | 0 | $\sqrt{\frac{1}{6}}$ | $-\sqrt{\frac{1}{2}}$ | $\frac{2}{\sqrt{3}}$ |
| \vec{V}_7 | 1 | 1 | 0 | 0 | $\sqrt{\frac{1}{6}}$ | $\sqrt{\frac{1}{2}}$ | $\frac{2}{\sqrt{3}}$ |
| \vec{V}_8 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | $\sqrt{3}$ |
| \vec{V}_9 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | $-\sqrt{3}$ |
| \vec{V}_{10} | 0 | 0 | 1 | 1 | $-\sqrt{\frac{1}{6}}$ | $-\sqrt{\frac{1}{2}}$ | $-\frac{2}{\sqrt{3}}$ |
| \vec{V}_{11} | 0 | 1 | 0 | 1 | $-\sqrt{\frac{1}{6}}$ | $\sqrt{\frac{1}{2}}$ | $-\frac{2}{\sqrt{3}}$ |
| \vec{V}_{12} | 0 | 1 | 1 | 1 | $-\sqrt{\frac{2}{3}}$ | 0 | $-\frac{1}{\sqrt{3}}$ |
| \vec{V}_{13} | 1 | 0 | 0 | 1 | $\sqrt{\frac{2}{3}}$ | 0 | $-\frac{2}{\sqrt{3}}$ |
| \vec{V}_{14} | 1 | 0 | 1 | 1 | $\sqrt{\frac{1}{6}}$ | $-\sqrt{\frac{1}{2}}$ | $-\frac{1}{\sqrt{3}}$ |
| \vec{V}_{15} | 1 | 1 | 0 | 1 | $\sqrt{\frac{1}{6}}$ | $\sqrt{\frac{1}{2}}$ | $-\frac{1}{\sqrt{3}}$ |
| \vec{V}_{16} | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |

2.2 제안하는 상지락시 PLL기법

부하 전압 불평형 발생시 일반적인 d-q-o 변환은 식 (1)과 같으며 o축에 불평형 전압이 발생하는 것을 확인 할 수 있다. 식 (2)는 W상 지락시 발생한 한 섹터를 기준으로 좌표계로 변환하기 위해 변환 행렬로 수식화 하였다. 식 (1)과 식 (2)를 사용하여 o축을 회전하여 부하 불평형 전압을 제거 하였다. 하지만 이 성분은 120° 위상 차이가 발생하기 때문에 이를 식(4)를 통해 30° 위상 차이가 발생하도록 변환 할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} d \\ q \\ o \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_m \sin \omega t \\ V_m \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$R_w = \begin{bmatrix} \bar{V}_5 \\ \bar{V}_5 \times \bar{V}_7 \times \bar{V}_5 \\ \bar{V}_5 \times \bar{V}_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{\frac{2}{3}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ -\frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ -\frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} d_N \\ q_N \\ o_N \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \sqrt{\frac{2}{3}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ -\frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_m \sin \omega t - \frac{1}{2} \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right) \\ \frac{\sqrt{3}}{2} V_m \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} V_m \sin \omega t + \frac{1}{\sqrt{2}} V_m \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} d_r \\ q_r \\ o_r \end{bmatrix} = \frac{2}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2} & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_N \\ q_N \\ o_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_m \sin \omega t \\ V_m \cos \omega t \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

W상 뿐만 아닌 U상과 V도 각상 지락시 발생한 한 섹터를 기준으로 좌표계로 변환하기 위해 변환 행렬로 수식화 할 수 있으며 U상은 식(5), V상은 식(6)처럼 행렬로 표현할 수 있다.

$$R_U = \begin{bmatrix} \bar{V}_{14} \\ \bar{V}_{14} \times \bar{V}_{13} \times \bar{V}_{14} \\ \bar{V}_{14} \times \bar{V}_{13} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{\frac{1}{6}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{3}} \\ \sqrt{\frac{1}{6}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{3}} \\ \sqrt{\frac{2}{3}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$R_V = \begin{bmatrix} \bar{V}_5 \\ \bar{V}_5 \times \bar{V}_6 \times \bar{V}_5 \\ \bar{V}_5 \times \bar{V}_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{\frac{2}{3}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ -\frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{\sqrt{2}}{2} & -\frac{1}{\sqrt{3}} \end{bmatrix} \quad (6)$$

3. 시뮬레이션

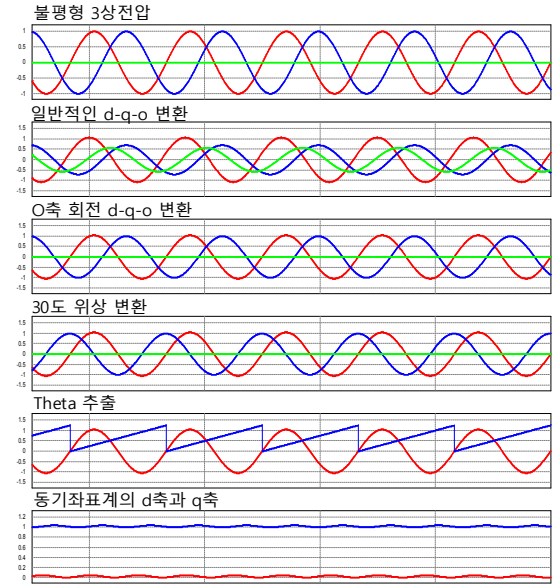


그림 2 제안하는 방식의 시뮬레이션 결과
Fig. 2 Proposed method of simulation result

W상 1선 지락 발생시 불평형 3상 전압이 발생하였고, 일반적인 d-q-o 변환시 o축에서 불평형 성분이 발생하는 것을 확인 할 수 있었다. 식(3)을 통해 o축을 0으로 제어 하였으며 식 (4)를 통해 30° 위상 차이가 발생하도록 변환 하였다. 이후 동기 좌표계에서 d축과 q축을 확인하였고 Theta를 안정적으로 추출하는 것을 확인 하였다.

4. 결론

AC-DC 마이크로 그리드 시스템에서 W상 1선지락 발생시 발행하는 o축 부하 불평형 전압을 추출하여 이를 좌표 변환을 통해 제어하여 특정상에서 0% 일때 정확한 위상 및 크기를 검출할 수 있는 PLL기법을 제안하였으며, 이를 수식 및 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(No. 2019381010001B)

참고 문헌

- [1] R. Zhang, V. H. Prasad, D. Boroyevich, and F. C. Lee, "Threedimensional space vector modulation for four-leg voltage-source converters," *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 17, pp. 314-326, 2002.
- [2] 김승호, 최성식, 김승중, 노대석 (2017). 마이크로그리드용 4-Leg 방식 PCS의 각상 개별제어 알고리즘에 관한 연구. 한국산학기술학회 논문지, 18(11), 817-825.
- [3] J. I. Y. Ota, M. G. Villalva, F. Sato and E. Ruppert, "3-D Space Vector PWM implementation for Four-Leg Voltage Source Inverter," *XI Brazilian Power Electronics Conference, Praiamar*, 2011, pp. 79-86.