

계통사고 시 3상 양방향 AC-DC 컨버터의 동작 분석

송인범*, 정두용*, 이우원**, 이수원**, 한기준**, 원충연*
성균관대학교*, 이엔 테크놀로지*

The Operation Analysis of the Three-phase Bi-directional AC-DC Converter during the Grid Faults

In-Beom Song, Doo-Yong Jung, Woo-Won Lee, Su-Won Lee, Ki-Jun Han, and
Chung-Yuen Won

Sungkyunkwan University, EN Technologies

ABSTRACT

본 논문에서는 3상 양방향 AC-DC 컨버터의 계통사고 검출 기법을 제안한다. 3상 양방향 AC-DC 컨버터는 동기좌표법을 이용하여 PLL(Phase locked loop)을 구현하였고, PLL제어에 있어서 dq변환을 수행한다. dq변환은 입력의 크기 정보와 위상 정보를 포함하기 때문에 이를 이용하여 계통사고의 검출이 가능하다. 따라서 본 논문에서는 3상 양방향 AC-DC 컨버터를 이용하여, 계통사고에 대한 검출 기법을 제안하였으며, 계통의 d축, q축 전압대하여 사고를 정의하였다.

1. 서론

최근 신재생에너지에 대한 연구가 활발히 진행됨에 따라서 신재생에너지를 하나의 분산전원으로 간주하여 계통과 연계하여 운전하는 시스템이 각광받고 있다. 계통연계 운전을 하는 경우에, 계통 전압에 대한 정보를 검출한다. 계통 전압의 위상각에 동기화하여 계통과 연계운전을 하기 위함이다.^[1]

계통 연계운전에 있어서 계통 전압의 크기 및 위상각에 대한 규제를 하고 있다. ITIC(Informational Technology Industry Council) 또한 계통 연계 규정을 발표하였으며, 이는 계통의 분리 및 복전 시점 또한 포함하고 있다. ITIC 곡선은 전압 강하(Sags) 또는 상승(Swells)과 같은 전압 변동(Disturbance)을 보상하는 데에 있어서 자주 사용되는 기준이 된다.^[2]

2. 3상 양방향 AC-DC 컨버터의 계통사고 검출

2.1 제안하는 계통사고 검출 기법

그림 1은 3상 양방향 AC-DC 컨버터에서 계통의 위상각을 검출하는 PLL에 대한 제어 블록도이다. 동기좌표법을 이용하여 계통의 위상각을 검출하였다.

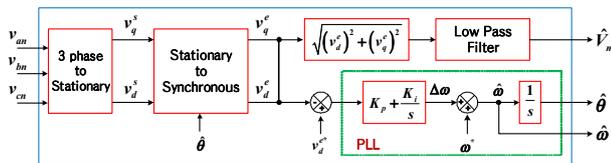


그림 1 PLL(phase locked loop) 제어 블록도
Fig. 1 The block diagram of PLL(phase locked loop) control

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_A \\ v_B \\ v_C \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} v_D \\ v_Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\omega t & \sin\omega t \\ -\sin\omega t & \cos\omega t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$v_D = k_1(v_B - v_C) + k_2(2v_A - v_B - v_C)\sin 2\theta - k_3(v_B - v_C)\cos 2\theta \quad (3)$$

$$v_Q = k_4(2v_A + v_B + v_C) - k_5(2v_A - v_B - v_C)\cos 2\theta - k_6(v_B - v_C)\sin 2\theta \quad (4)$$

여기서, $k_1 = k_3 = k_6 = 0.1443$, $k_2 = k_4 = k_5 = 0.25$ 이다.

식(1)과 식(2)는 각각 3상 좌표계에서 2상 고정좌표계, 2상 고정좌표계에서 2상 동기좌표계로 변환하는 식이다.^[1] 그리고 제안하는 검출 기법에서는 동기좌표에 의한 d축 전압과 q축 전압을 이용하여 사고를 검출하므로, 입력에 대한 출력은 식으로 나타내면 식(3)과 (4)와 같다.

2.2 전압 변동 시 d축과 q축 전압

식 (3)과 (4)에 따르면, d축 전압과 q축 전압의 평균값은 사인과 코사인을 포함하지 않은 항의 값이 되고 나머지 사인과 코사인을 포함한 항은 전압 변동에 대한 값이 된다. 그리고 전압 변동에 있어서, 입력 위상각 또는 주파수는 평형 상태에서의 전압보다 2배가 큰 것을 알 수 있다. 즉, 식 (3)과 (4)를 통하여 상전압이 변동할 때 마다 d축 전압과 q축 전압이 변동하고, 이를 이용하여 계통 사고 검출이 가능하다.

3. 시뮬레이션 결과

그림 3은 한 개의 상(a상)과 3상에 대한 전압 강하와 상승에 대한 결과 파형이다. 한 상 전압이 하강 또는 상승할 경우에는 변동되는 시점에 d축 전압과 q축 전압이 계통 주파수 60[Hz]의 2배에 해당하는 120[Hz]의 리플을 갖고 진동을 한다. 3상에 대해서 전압이 하강 또는 상승하는 경우에는 식(3)과 (4)에서 볼 수 있듯이 사인과 코사인 항이 모두 영이 되기 때문에 d축과 q축 전압에 리플이 발생하지 않고 크기만 달라진다. d축 전압은 영으로 제어되고, q축 전압은 하강 또는 상승한 계통전압의 최대치가 된다.

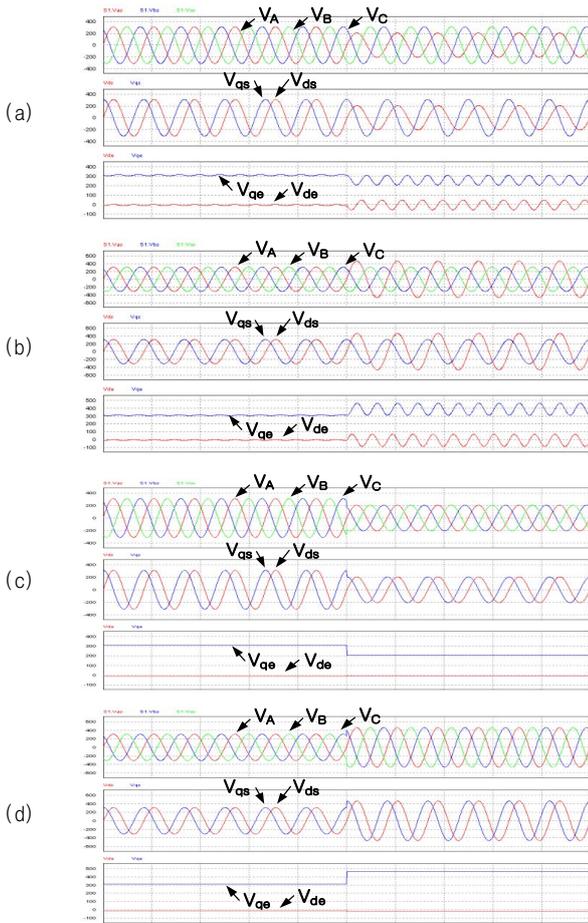


그림 2 시뮬레이션 결과 파형 (a) a상 전압 강하, (b) a상 전압 상승, (c) 3상 전압 강하, (d) 3상 전압 상승
 Fig. 2 Simulation results (a) a-phase voltage sag, (b) a-phase voltage swell, (c) three-phase voltage sags, (d) three-phase voltage swells

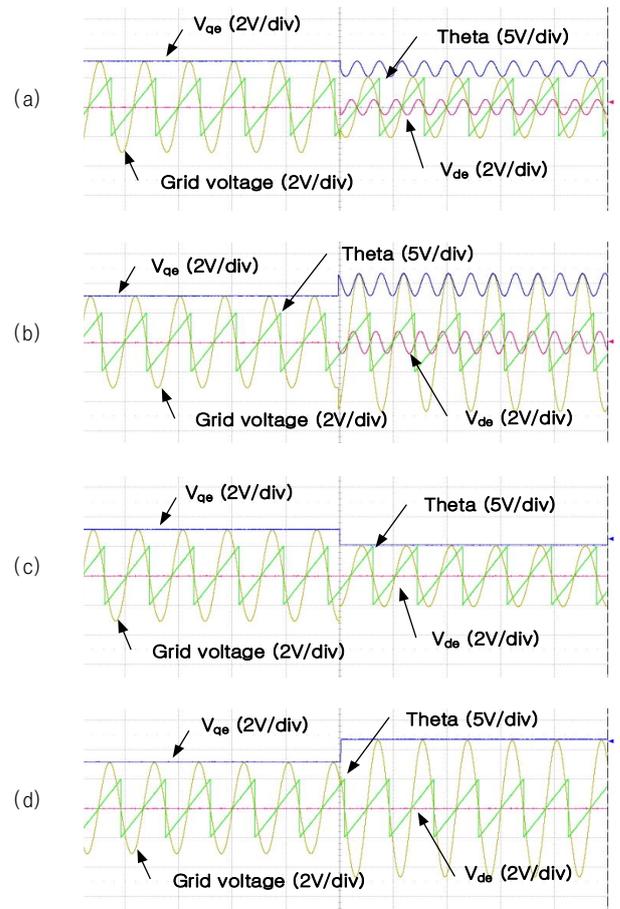


그림 3 실험 결과 파형 (a) a상 전압 강하, (b) a상 전압 상승, (c) 3상 전압 강하, (d) 3상 전압 상승
 Fig. 3 Experimental results (a) a-phase voltage sag, (b) a-phase voltage swell, (c) three-phase voltage sags, (d) three-phase voltage swells

4. 실험 결과

그림 3은 전압 강하와 전압 상승에 대한 실험 결과 파형이다. 조건은 시뮬레이션과 동일하며, 결과 또한 동일한 것을 확인할 수 있다. 그림 4는 fault counter를 이용한 계통 분리에 대한 실험 파형이다. fault는 q축 전압으로 검출하였으며, fault가 발생하는 시점부터 fault counter가 동작을 한다. fault counter를 이용하여 계통을 원하는 시점에서 분리시킬 수 있고 기계적 차단기(MC)의 딜레이 시간을 고려하여 설계 가능하다.

5. 결론

본 논문에서는 계통사고 시 3상 양방향 AC-DC 컨버터의 동작 분석을 제안하였다. 계통의 위상각을 검출하기 위하여 PLL제어를 수행하였고, PLL제어는 동기좌표법을 이용하여 구현하였다. 계통 사고가 발생하면 d축, q축 전압이 변화하는 것을 확인하였고, d축 전압과 q축 전압의 검출로 계통사고를 판단하고 계통을 분리시키는 것이 가능하다는 것을 실험을 통하여 검증하였다. 그리고 fault counter를 이용하여 계통을 분리 시점을 조절할 수 있었다.

향후, ITIC 규정에 근거한 계통 분리를 구현할 계획이다.

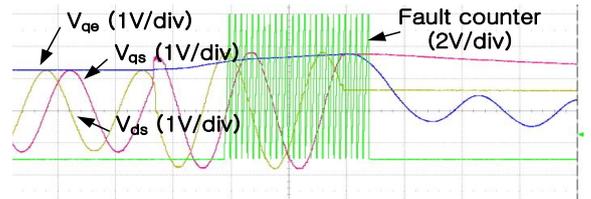


그림 4 Fault counter를 이용한 계통 분리
 Fig. 4 The grid disconnection using the fault counter

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(2010T100200295)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

참고 문헌

- [1] 최형진, 송승호, 정승기, 최주엽, 최익, “전원사고 시 3상 계통연계 인버터의 전압 전압 고속 검출 방법”, 한국태양에너지학회 논문집, 제 29권, 제 5호, pp. 65-72, 2009, 10.
- [2] 충북과학대학 “전력품질 평가지표 개발”, 기초전력공학공동연구 최종보고서, 2002, 09.