

# Sag와 Swell에 따른 계통 이상 검출에 관한 연구

김민기\*, 노용수\*, 김준구\*, 정용채\*\*, 원충연\*  
 \*성균관대학교, \*\*남서울대학교

## The Study of Grid Fault Detection for Sag, Swell

Min Gi Kim\*, Yong Su Noh\*, Jun Gu Kim\*, Yong Chae Jung\*\*, Chun Yuen Won\*  
 Sungkyunkwan University\*, Namseoul University\*\*

### ABSTRACT

When ESS(Energy Storage System) is under normal operation, island situation can be occur because of grid accidents. When island operation occur, the system mode switches in to UPS(Uninterruptible Power Supply) mode to supply stabled load power. To decide island operation, checking grid magnitude or frequency is general. But regulation for sag and swell is required. In this paper, it proposes grid connection error detection algorithm for UPS operation when sag and swell occurs in grid, and analyzed by simulation.

### 1. 서론

전력의 경제적 사용과 계통 사고 시 주요 부하에 연속적인 전력을 공급하기 위하여, 계통 연계형 시스템에 에너지 저장 시스템(ESS)을 추가하여 시스템을 구성한다. 일반적인 계통 연계형 시스템에서 단독운전 발생 시, 계통과 시스템을 분리시켜야 한다. 하지만 에너지 저장 시스템이 추가되면 단독운전 현상이 발생하더라도 부하에 안정적인 전력을 공급하기 위하여 UPS로 동작시킨다. 일반적으로 3상 계통 연계형 시스템에서 계통 이상을 검출할 경우, 주파수 변동 및 각 상전압의 크기를 계산하여 계통 상태를 판단한다. 하지만 불평형 성분과 Sag 및 Swell을 포함하는 계통 이상 시에는 각 상전압의 크기만으로 단독운전을 판단하기에는 어려움이 있다. 또한 연속적인 Sag와 Swell이 발생할 경우, ANSI C84.1 1989와 CBEMA의 규정에 따라 계통 연계형 시스템을 UPS 모드로 동작시켜야 한다. 본 논문에서는 이와 같은 문제점의 해결하기 위하여 3상 전원을 좌표변환하고 동기좌표계를 이용하여 계통의 상태 확인 및 UPS 모드로의 전환 시점 검출을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

### 2. 계통 이상 검출

#### 2.1 계통오류 검출 범위

계통의 Sag 및 Swell을 판단하기 위해서는 계통 전압의 오류를 검출할 수 있는 검출기준이 필요하다. 계통 전압의 허용 범위를 나타내는 기준으로는 IEEE 1159에서의 ITIC(Information Technology Industry Council) 곡선을 제시하고 있다.<sup>[1]</sup> ITIC곡선을 기준으로 전력 허용 곡선을 도시하면 그림 1과 같다.

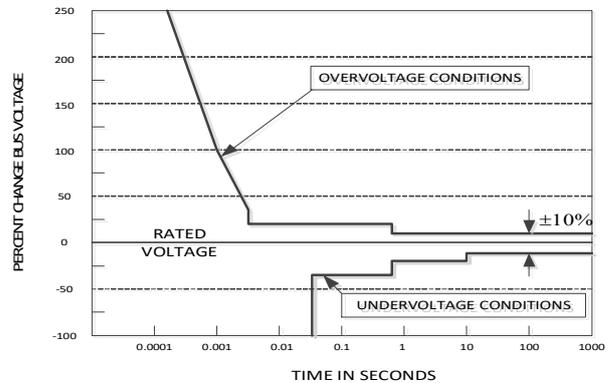


그림 1 ITIC 전력허용 곡선

Fig. 1 ITIC power acceptability curve

표 1 계통 오류 검출 범위 및 UPS 동작 시점

Table. 1 Range of grid fault detection and UPS implementation time

사고 상황	UPS 동작 시점
1.5[pu] 이상의 Deep Swell	즉시 차단, UPS 동작
0.7[pu] 이하의 Sag	50[msec] 이상 지속 시, UPS 동작
1.2[pu] 이상의 Swell	
0.7~0.8[pu] Sag	0.5[sec] 이상 지속 시, UPS 동작
1.15~1.2[pu] Swell	
0.8~0.9[pu] Sag	5[sec] 이상 지속 시, UPS 동작
1.1~1.15[pu] Swell	
0.9~1[pu] Sag	계통 정상 상태
1~1.1[pu] Swell	

이 ITIC 곡선에 따른 계통 사고 검출 전압 및 시간을 이용하여 사고 상황에 따른 UPS 동작 시점을 결정하게 된다.

#### 2.2 불평형을 고려한 전압 변동 값 측정

PLL을 이용하여 d 축 및 q 축 값을 얻는 경우 계통 3상 평형 상태를 고려한다. 불평형 상태일 경우 d 축 및 q 축 값이 가변되고 계통의 이상 검출이 어려우며 정상분을 추출하여 PLL을 한다. 이 때, d 축은 0, q 축은 계통 상전압의 첨두치를 나타낸다.

$$v_{de} = \frac{1}{4}(2V_R - V_S - V_T)\sin 2\theta - \frac{\sqrt{3}}{12}(V_S - V_T)\cos 2\theta + \frac{\sqrt{3}}{12}(V_S - V_T) \quad (1)$$

$$v_{qe} = \frac{1}{4}(2V_R + V_S + V_T)\sin 2\theta - \frac{1}{4}(2V_R - V_S - V_T)\cos 2\theta - \frac{\sqrt{3}}{12}(V_S - V_T)\sin 2\theta \quad (2)$$

3상 전원이 불평형일 경우 각 상의 전압 차이로 인하여 식 (1)과 식 (2)와 같이 d 축 및 q 축의 전압 값이 변동하게 된다. 3상의 경우 정상분만 고려하면 그림 1의 규정을 만족할 수 없게 된다. 식 (1)과 식 (2)와 같이 3상 전원의 불평형 상태에 따라 sin항과 cos항이 포함된 d 축 및 q 축 값을 얻을 수 있고 ups 절환을 판단할 수 있다.

### 3. 시뮬레이션

시뮬레이션은 계통의 전압 변동을 d 축 및 q 축 전압의 크기를 통해 IEEE 1159의 ITIC 전력허용 곡선에 따라 계통의 오류를 검출하였다. 전압의 오차 폭에 따른 계통연계 유지시간이 다르며, 계통이 이상상태라고 판단될 시 Fault로 동작하여 계통과 시스템의 연결을 차단한다.

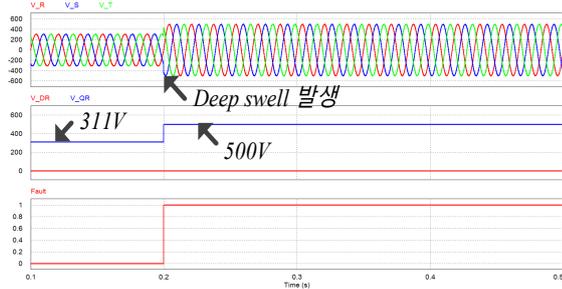


그림 2 1.5[p.u] deep swell 검출 ( $V_R = V_S = V_T = 500[V]$ )  
Fig. 2 1.5[p.u] deep swell detection

그림 2는 계통의 3상 전압 모두 1.5[p.u] 이상의 deep swell이 발생하였을 때의 오류 검출 파형을 나타낸다. 이 경우 표 1에 나타낸 것과 같이 즉시 Fault검출을 한다.

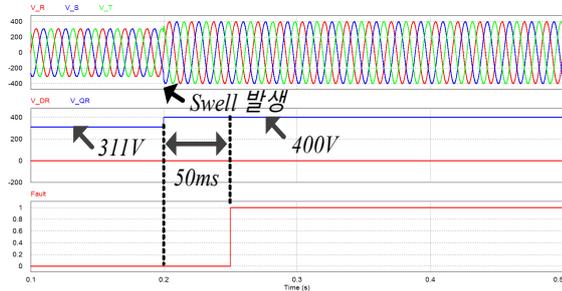


그림 3 1.2[p.u] swell 검출 ( $V_R = V_S = V_T = 400[V]$ )  
Fig. 3 1.2[p.u] swell detection

그림 3은 계통의 3상 전압 모두 1.2[p.u] 이상의 swell이 발생한 경우 오류 검출 파형을 나타낸다. 이 때 50[ms] 이후 Fault검출을 한다.

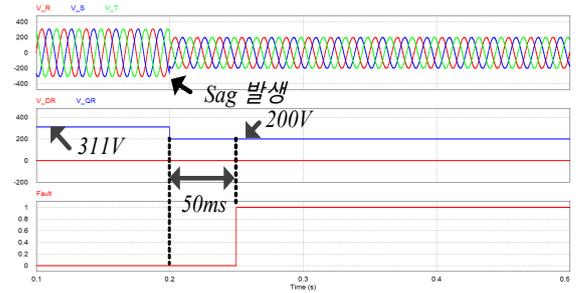


그림 4 0.7[p.u] sag 검출 ( $V_R = V_S = V_T = 200[V]$ )  
Fig. 4 0.7[p.u] sag detection

그림 4는 계통의 3상 전압 모두 0.7[p.u]의 sag가 발생하였을 때의 오류 검출 파형을 나타낸다. 이 같은 경우 50[ms] 이후 Fault 검출을 한다.

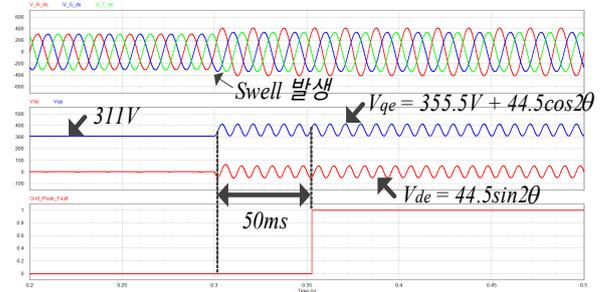


그림 5 1.2[p.u] R-상 swell 검출 ( $V_R = 400[V], V_S = V_T = 311[V]$ )  
Fig. 5 1.2[p.u] R-phase swell detection

그림 5는 R상만이 1.2[p.u] 만큼의 swell이 발생하여 3상 전압 불평형이 일어났을 경우 d 축 및 q 축 전압값을 확인하여 계통의 오류를 검출하였다. d 축 및 q 축 값은 변동하며 이 때의 값을 확인하여 Fault를 검출하였으며, Fault 검출 시간은 50[ms] 이후이다.

### 4. 결론

본 논문에서는 계통연계형 ESS 시스템에서 계통의 전압을 PLL을 통해 d 축 및 q 축의 크기를 확인하여 sag 및 swell 발생 시 이를 검출하는 기법을 제시하였다. d 축과 q 축의 크기 변동 폭에 따라 오류 검출 시간을 결정하게 되며 UPS 규정을 만족하는 오류 검출을 한다.

이 논문은 삼성전기의 연구비 지원에 의하여 연구되었습

### 참고 문헌

[1] 윤 석호, 이 근준, “전력품질 평가지표 개발”, 산업자원부, pp. 16 34, 2002, 9.