

3상 불평형 계통에서의 상 전압 보상을 통한 Sag 및 Swell 검출

김민기*, 김준구*, 정용채**, 원중연*
성균관대학교*, 남서울대학교**

Sag & Swell Detection by Phase Voltage Compensation in 3-Phase Unbalanced Grid

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

ABSTRACT

Load connection or disconnection makes instantaneous sag & swell in 3 phase grid. When unbalance state occurs, between sensed phase voltage and actual phase voltage may have discrepancy. It makes difficult to detect accurate sag & swell, so it is hard to satisfy the standard for switching ESS system to UPS mode. In this paper, we analyzed unbalanced 3 phase voltage, and compensated the actual sag & swell magnitude.

1. 서 론

분산전원 및 계통으로부터 전력을 공급받을 때, 민감 부하의 증가로 인한 안정적인 전력의 공급이 중요하다.^[1] 하지만 부하 연결 및 탈락으로 인한 크기 변동이나 특성 변화에 의한 부하로 공급되는 전압에 sag 및 swell이 발생할 수 있고, 이를 정확하게 검출해야 한다. 3상 계통에서 선간 부하를 연결하여 사용 시 선간 전압을 이용하여 상 전압의 크기를 구한다. 평형 3상의 경우 각 상의 전압 크기 및 위상을 정확하게 알 수 있다. 하지만 불평형 sag 및 swell이 발생할 경우 센싱을 통해 구한 상 전압의 크기와 실제 상 전압의 크기는 일치하지 않는다. 이에 따라 계통과 부하의 연계를 결정하는 IEEE 1159 CBEMA 규정 및 전력허용 곡선의 만족 여부를 판별할 시 이로 인한 만족 판별 오류가 발생할 수 있다. 본 논문에서는 정확한 상 전압 크기 정보를 얻기 위해 불평형 상태에서의 선간 전압과 상 전압간의 관계를 분석하고 불일치를 해결하기 위한 상 전압 보상 기법을 제시하고 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

2. 3상 불평형 전압 분석 및 보상 알고리즘

2.1 3상 불평형 전압 분석

3상 계통에서 불평형 sag 및 swell이 발생하였을 경우 가장 먼저 이 불평형 상태를 판단하기 위한 과정이 필요하다. 불평형 전압 변동으로 인한 sag 및 swell을 판단하기 위해서는 각 상 전압의 피크 값을 확인한 후 각각을 비교한다. 이 때, 부하에 인가되는 선간 전압 및 상 전압의 크기를 이용하여 계통의 상 전압 크기를 구할 수 있다. 상 전압과 선간 전압의 관계는 다음 식과 같다.

$$V_R = \frac{1}{3}(V_{RS} - V_{TR})$$

$$V_S = \frac{1}{3}(V_{ST} - V_{RS})$$

$$V_T = \frac{1}{3}(V_{TR} - V_{ST})$$

(1)

3상이 평형일 경우 위 식을 사용하면 정확한 상 전압을 구해낼 수 있다. 하지만 3상 전압에 불평형이 발생할 경우 실제 상 전압 크기와 센싱한 전압 크기 간에 차이가 발생한다.

R상에 a만큼의 단위 크기 변동이 발생하였을 경우 각 R, S, T상의 상변화 식 (2),(3),(4)와 같다.

$$V_R = \frac{622a + 311}{3} \cos \theta$$

(2)

$$V_S = 311 \cos \left(\theta - \frac{2}{3} \pi \right) + \frac{311 - 311a}{3} \cos \theta$$

(3)

$$V_T = 311 \cos \left(\theta + \frac{2}{3} \pi \right) + \frac{311 - 311a}{3} \cos \theta$$

(4)

위 식으로 알 수 있듯이 R상에 실제 크기 변화인 a의 변동이 아닌 2a/3의 크기 변화로 센싱된다. S상과 T상의 경우 크기 및 위상변화가 발생한다. 발생하는 크기 차이 및 위상 차이는 sag 및 swell의 발생 크기에 비례한다.

다음으로 R상에 a만큼의 단위 변동, S상에는 b만큼의 단위 변동이 발생하였을 경우의 식 (5),(6),(7)과 같다.

$$V_R = \frac{622}{3} a \cos \theta - \frac{311}{3} \cos \left(\theta + \frac{2}{3} \pi \right) - \frac{311}{3} b \cos \left(\theta - \frac{2}{3} \pi \right)$$

(5)

$$V_S = \frac{622}{3} b \cos \left(\theta - \frac{2}{3} \pi \right) - \frac{311}{3} a \cos \theta - \frac{311}{3} \cos \left(\theta + \frac{2}{3} \pi \right)$$

(6)

$$V_T = \frac{622}{3} \cos \left(\theta + \frac{2}{3} \pi \right) - \frac{311}{3} a \cos \theta - \frac{311}{3} b \cos \left(\theta - \frac{2}{3} \pi \right)$$

(7)

위 식에서 알 수 있듯이 R상과 S상에 실제 변동 크기인 a와 b가 아닌 각 상의 조합으로 기존 변동 값보다 큰 변동이 발

생하였다. T상의 경우 실제로는 정상상태를 유지해야 하지만 다른 두 상의 변화에 영향을 받는다. 이와 같이 불평형 sag 및 swell이 발생하였을 경우 오차가 있는 상 전압이 구해지고 이를 보상해야 한다.

2.2 3상 불평형 전압 보상 알고리즘

정확한 sag 및 swell을 판단하기 위해 위의 오류를 보상해야 한다. 정상상태의 피크 값인 311V를 1.0pu로 지정하였을 때, 이에 대한 첨두치를 확인함으로써 sag 및 swell을 판단한다. 상 전압에 sag 및 swell이 발생하였을 경우 이를 보상하기 위한 알고리즘이 필요하다.

불평형 발생 시 각각의 전압 크기는 다른 값을 갖게 된다. 만약 R상과 S상에 swell이 발생 할 경우 두 상의 크기를 비교해서 더 큰 변동 폭을 갖는 상을 swell 판단의 기준으로 선택한다. 이 때 R상의 피크 값은 오류를 포함하므로 식 (8)과 같이 보상한다.

$$V_{Rpu,new} = (V_{Rpu} - V_{Spu}) + (V_{Tpu} - 1) \times 3 + 1 \quad (8)$$

가장 큰 피크 값에 두 번째로 큰 피크 값의 차를 이용한다. 선간 전압에서 상 전압으로 변환하는 식 (1)에서 3으로 크기를 나눠주기 때문에 기준이 되는 상의 변동 값에 3을 곱한다. 마지막으로 정상 전압 크기 기준이 되는 1.0pu 값을 더하면 보상된 불평형 3상의 피크 값을 구할 수 있다.

4. 시뮬레이션

시뮬레이션에서는 실제 상 전압과 센싱된 상 전압을 확인하여 각각의 피크 값을 비교하였다. 그리고 센싱된 상 전압의 피크치에 보상을 통한 수정된 상 전압 피크 값을 통해 ITIC 곡선의 기준에 따라 Fault 발생을 확인하였다.

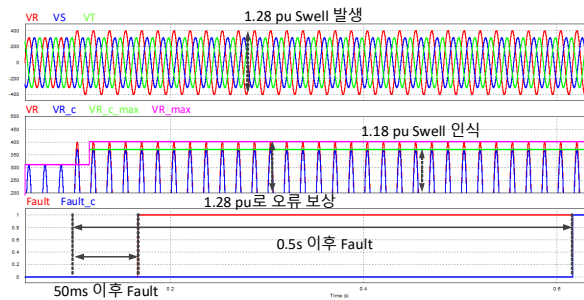


그림 1 R상 1.28pu swell 발생 시 파형

그림 1은 3상 전압 중 R상에 1.28pu의 swell이 발생했을 경우의 시뮬레이션 파형을 보여준다. CBEMA 규정에 따라 1.28pu의 swell은 50ms 이후에 Fault 신호가 발생해야 하지만 선간 전압의 상 전압 변환 중에 R상의 swell 값이 1.18pu의 값을 갖는다. 1.15pu에서 1.2pu의 사이 값을 갖는 경우 0.5s 이후에 Fault 신호가 발생한다. 이로 인해 계통의 연계를 단절하는 시간을 정확하게 다룰 수 없게 된다. 피크 전압 알고리즘을 통한 실제 상 전압 값 보상을 통해 이와 같은 문제를 해결하였다.

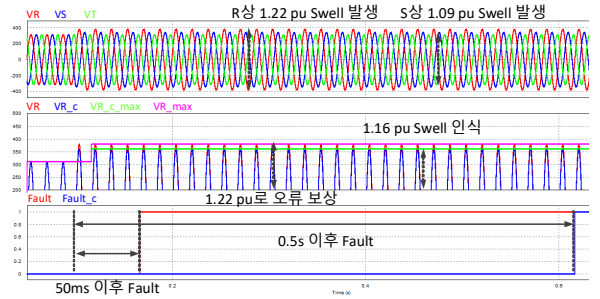


그림 2 R상 1.22pu, S상 1.09pu swell 발생 시 파형

그림 2는 3상 전압 중 R상에는 1.22pu S상에는 1.09pu의 swell이 발생했을 경우의 시뮬레이션 파형이다. 위와 마찬가지로 보상 알고리즘을 통해 정확한 Fault 발생 시간을 검출하였다.

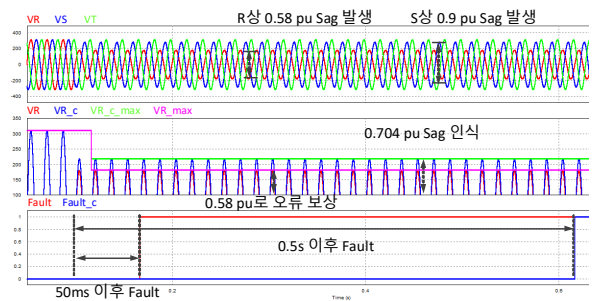


그림 3 R상 1.58pu, S상 0.9pu sag 발생 시 파형

그림 3은 3상 전압 중 R상에는 0.58pu S상에는 0.9pu의 sag이 발생했을 경우의 시뮬레이션 파형이다. CBEMA 곡선의 sag 규정에 따라 오류 전압 피크 값을 보상하여 보다 정확한 계통 오류 검출을 하였다.

5. 결론

본 논문에서는 3상 계통 시스템에서 부하에 의해 불평형 전압의 sag 및 swell이 발생했을 때, 상 전압에 발생하는 피크 값의 오류를 분석하고 이를 보상하는 알고리즘을 제시하였다. 또 보상된 전압 피크치를 확인하여 계통의 오류를 검출하였다.

이 논문은 삼성전기의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] Raj Naidoo, Pragasen Pillay, "A New Method of Voltage Sag and Swell Detection", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 22, No. 2, pp. 1056, 2007, April.