

연계형 분산전원용 개선된 위상각 검출 방법

허민호\*, 이호\*, 박성준\*, 김광현\*, 송성근\*\*  
전남대 전기공학과\*, 전자부품연구원\*\*

Enhanced Phase Angle Detect Method for Grid Connected Distributed Power System

Min-Ho Heo\*, Ho Lee\*, Sung-Jun Park\*, Kwang-Heon Kim\*, Sung-Geun Song\*\*  
Chonnam National University\*, Korea Electronics Technology Institute\*\*

**Abstract** - 태양광, 풍력, 연료전지 등 신재생에너지가 분산전원으로 계통에 연계될 경우 정확한 위상각 검출과 함께 전압 및 주파수 변화에 따른 빠른 응답성이 요구된다. 본 논문에서는 개선된 Gauss-Seidal Relaxation 방식을 사용하여 수ms 이내에 정확한 위상각을 검출하는 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 통해 타당성을 검증하였다.

1. 서 론

계통의 이상상태를 검출하고 대처하기 위해서 전압과 위상을 빠르고 정확하게 검출하는 방법이 여자시스템, AVR, UPS 등의 전력제어분야에서 필수적인 기술로 중요시되고 있다. 특히 신재생 에너지가 분산전원으로 계통에 연계될 경우 연계기술기준을 충족시키고 전체 전력의 품질 및 단독운전방지를 위해서 반드시 필요한 기술이다.

계통 전압 및 주파수를 검출하는 방법으로는 일반적으로 동기좌표계 d-q변환을 이용한 PLL방식이 널리 사용되고 있으며 그 외에 분산 푸리에 변환법을 이용한 방법, 단상 교류성분을 직교좌표계 d-q 성분으로 분해하여 FPV를 적용하는 방법, 칼만 필터를 이용하거나 뉴턴의 반복 알고리즘을 이용하는 방법들이 제시되어 왔다.

본 논문에서는 Gauss-Seidal 반복법을 이용하여 전압 및 주파수 검출 정밀도를 높이고 Successive Over Relaxation 방식으로 수렴성을 높여서 응답속도를 최대한 빠르게 하였다. PSIM DLL 모듈을 통해 제안된 알고리즘을 검증하였다.

2. 본 론

2.1 전압/주파수 검출 알고리즘

교류 정현파를 수식 1과 같이 나타낼 때 전원 주파수 60Hz에 대한 각 주파수 편차는 샘플링 주파수를 10kHz 정도로 할 경우 무시할 수 있으므로 샘플링 횟수 3번에 대해서 수식 2에서 수식 4와 같이 표현할 수 있다.

$$v(t) = V_m \sin(\omega t + \Delta \omega t + \theta) \tag{1}$$

$$V(k) = V_m \sin(\omega k T + \theta_k) \tag{2}$$

$$V(k-1) = V_m \sin(\omega k T - \omega T + \theta_k) \tag{3}$$

$$V(k-2) = V_m \sin(\omega k T - 2\omega T + \theta_k) \tag{4}$$

(단, k: 샘플링횟수, T: 샘플링시간)

샘플링 전압 V(k)에 대한 기준 위상각을  $\phi_k$ 라고 할 때, 수식 2~4는 다음과 같이 된다.

$$V(k) = V_m \sin(\phi_k) \tag{5}$$

$$V(k-1) = V_m \sin(\phi_k - \omega T) \tag{6}$$

$$V(k-2) = V_m \sin(\phi_k - 2\omega T) \tag{7}$$

(단,  $\phi_k = \omega k T + \theta_k$ )

미지의 변수  $\phi_k, \omega, V_m$ 을 Gauss-Seidal 반복법으로 구하기 위해 위 수식들을 다시 정리하면 수식 8~10과 같이 된다.

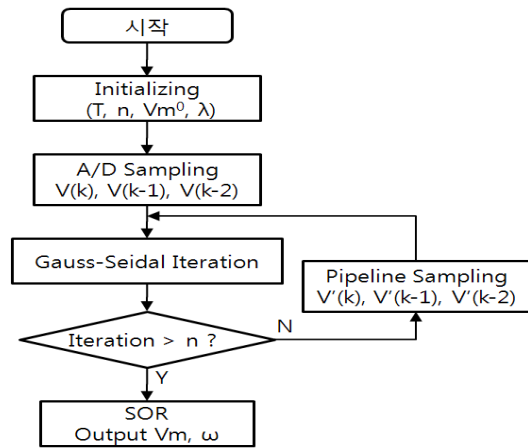
$$\phi_k^{n+1} = \sin\left(\frac{V(k)}{V_m^n}\right) \tag{8}$$

$$\omega^{n+1} = \frac{1}{T}\left(\phi_k^n - \sin^{-1}\left(\frac{V(k-1)}{V_m^n}\right)\right) \tag{9}$$

$$V_m^{n+1} = \frac{V(k-2)}{\sin(\phi_k^n - 2\omega^n T)} \tag{10}$$

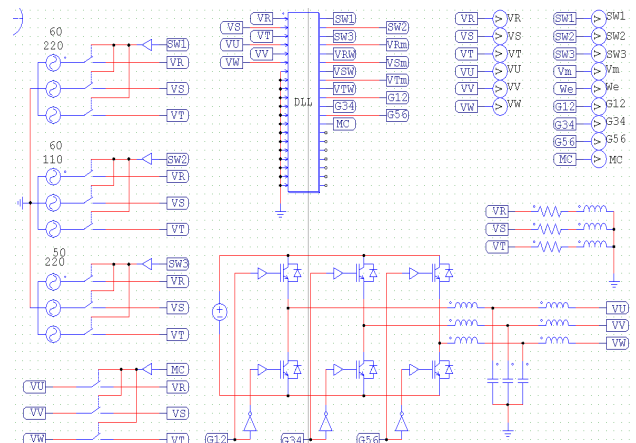
초기 값  $V_m^{(0)}$ 를 적절하게 선택하게 되면 수렴속도가 빨라지게 되고 전압, 위상각 검출 응답속도와 정밀도를 위해 반복횟수를 결정한다. 실시간 A/D 변환기를 통해 3회 샘플링된 전압 값은 V(k), V(k-1), V(k-2)에 각각 저장되고  $\phi_k^{n+1}, \omega^{n+1}, V_m^{n+1}$ 을 구한 다음 정해진 반복횟수에 따라 계산을 수행하여 최대전압 및 주파수를 구하게 된다. 구해진 전압과 주파수는 다음 식을 통해 Successive Over Relaxation 방식으로 수렴속도를 높이게 된다. 또한 반복계산을 수행하는 동안 A/D 값을 파이프라인 방식으로 처리하여 계산 시간을 최소화하는 알고리즘을 제안한다.

$$\chi_i^{new} = \lambda \chi_i^{new} + (1-\lambda) \chi_i^{old} \quad (1 < \lambda < 2) \tag{11}$$



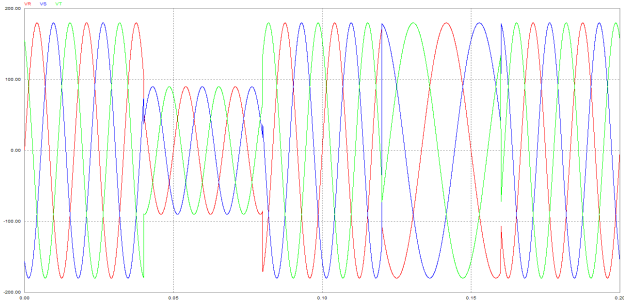
<그림 1> 검출 플로우차트

2.2 시뮬레이션 결과

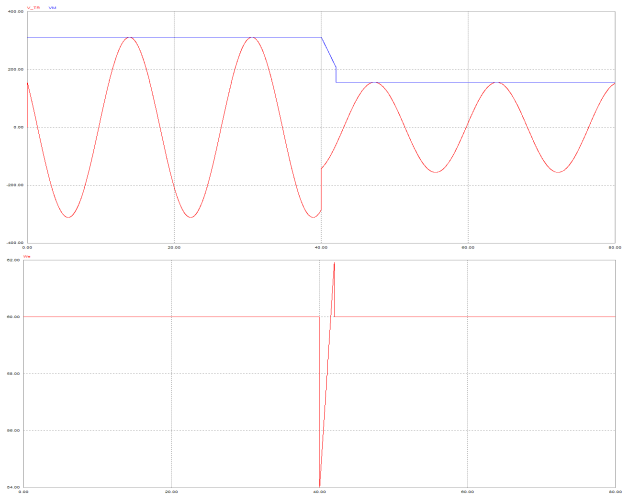


<그림 2> 시뮬레이션 회로도

그림 2는 제안된 전압/주파수 검출 방식을 시뮬레이션하기 위한 회로와 DLL 블록을 나타낸다. 그림 3은 계통 이상상태를 표현하기 위해 전압과 주파수가 상이한 3가지 전원을 정해진 시간에 따라 투입한 파형이다. 40ms 간격으로 정상 -> 부족전압 -> 정상 -> 부족주파수 -> 정상 상태 구간을 정하였다. 이에 따른 전압 및 주파수 검출 알고리즘과 연계형 인버터 제어 및 연계시점은 DLL 블록을 통해 처리하였다.

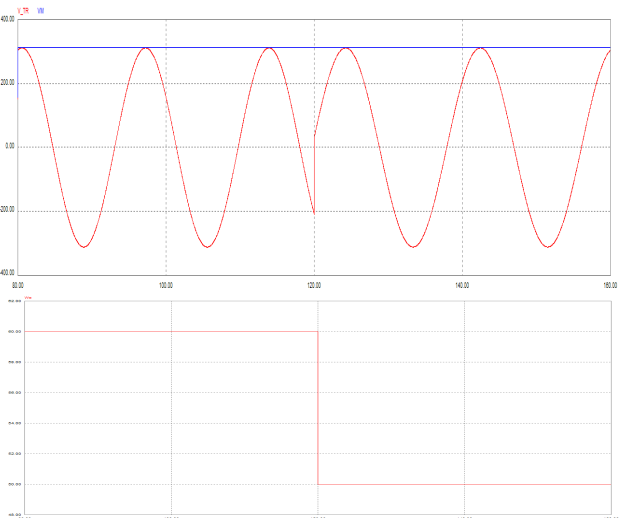


〈그림 3〉 계통이상 전압파형



〈그림 4〉 전압강하시 피크전압 및 주파수 검출 파형

기준전압/주파수는 220V/60Hz로 설정하고 샘플링 주파수는 10kHz, Gauss-Seidal 반복회수는 5회로 설정하였다. 그림 4에서 설정된 40ms 지점에서 50% 정도 급격한 전압강하가 발생했을 때 최대전압과 주파수 검출 파형을 나타내었다. 2~3ms 이내에 추종함을 알 수 있다. 그림 5는 설정된 120ms 지점에서 주파수가 50Hz로 급격히 변할 때 최대전압과 주파수 검출 파형을 나타내었다.



〈그림 5〉 주파수강하시 피크전압 및 주파수 검출 파형

### 3. 결 론

태양광, 풍력, 연료전지 등 신재생에너지가 분산전원으로 계통에 연계될 경우 계통 전압 및 주파수를 검출하는 방법으로 Gauss-Seidal 반복법을 이용하여 전압 및 주파수 검출 정밀도를 높이고 Successive Over Relaxation 방식으로 수렴성을 높여서 응답속도를 최대한 빠르게 하였다. Gauss-Seidal 반복계산을 수행하는 동안 A/D 값을 파이프라인 방식으로 처리하여 계산시간을 최소화하는 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션으로 확인하였다. 설정된 지점에서 급격한 전압강하나 주파수 강하가 발생했을 때 최대전압과 주파수 검출 시간은 2~3ms 이내에 추종함을 알 수 있었다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Wei-Neng Chang, Kuan-Dih Yeh, "Digital design and implementation of fast power frequency and voltage detector with iteration method", PEDS 2003, Vol. 2, 1345 - 1349, 2003
- [2] Hui-Yung Chu, Huring-Liahng Jou, Ching-Lien Huang, "Transient Response of a Peak Voltage Detector for Sinusoidal Signals", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 39, No. 1, 74 - 79, 1992
- [3] 최형진, 송승호, 정승기, 최주엽, 최익, "3상 계통연계형 인버터를 위한 SRF-PLL 시스템의 동특성 개선", 전력전자학회 논문지, Vol. 14, No. 2, 134 - 141, 2008