

정밀한 반주기 실효값 계산을 위한 위상각 동기화 알고리즘

함도현*, 이국선*, 송승호†
*광운대학교

Phase Angle Synchronization for Accurate Calculation of Half-cycle RMS Value

Do Hyun Ham*, Kook Sun Lee*, Seung Ho Song†
*Kwangwoon University

ABSTRACT

본 논문에서는 그리드 코드에서 요구하는 반주기 실효치 계산 방식을 국내 계통에 적용하기 위한 실효값(RMS) 계산 알고리즘을 제안한다. 정확한 실효값을 계산하기 위해서는 국내 계통 60Hz에 적합한 샘플링 주파수가 적용되어야 한다. 따라서 기존의 실효값 계산 알고리즘과 제안하는 실효값 알고리즘을 시뮬레이션 및 실험데이터를 제시하고, 속응성 및 오차 특성을 비교 제시한다.

1. 서 론

근래의 전력계통에 발전원들이 다수 증가 함에 따라, 계통 안정화를 위한 발전기의 출력 전압 제어 및 전력 품질 관리 등의 경우 전압 실효값을 계측하는 것이 필요하다. 실제 국외 그리드코드에서는 반주기 실효값 계산 방식을 요구하고 있다. 반주기 실효값 계산 방식의 장점은 반주기 마다 실효값을 계산하여 계통 전원에 이상이 빠르게 감지할 수 있다. 계통 사고 시 계통 전압의 정확하고 빠른 감지는 사고 상황에 맞추어 빠르게 대응 할 수 있는 중요한 척도가 된다. 그러나 대개 마이크로프로세서 등을 이용하여 전압 실효값를 계산하면 샘플링 수가 정수배로 나오지 않는 경우가 많아, 오차가 발생하게 된다.

2. 위상각 동기화를 이용한 실효치 계산

2.1 기존의 전압 실효값 계산 알고리즘

그림 1은 일반적인 실효값 계산 알고리즘을 나타낸다. 그에 따른 계산식은 다음과 같다.

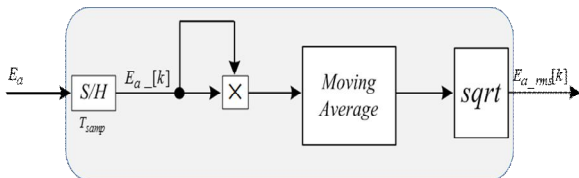


그림 1. 기존의 전압 실효값 계산 알고리즘

$$X = \sqrt{\frac{1}{N}(x_0^2 + x_1^2 + \dots + x_{N-2}^2 + x_{N-1}^2)} \quad (1)$$

여기서 N을 구하는 식은 다음과 같다.

$$\frac{f_s}{f_{Sample}} = N(\text{샘플링 개수}) \quad (2)$$

N은 식(2)와 같이 나타낼 수 있으며, 전원주파수와 샘플링 주파수를 나눈 값으로 정의 할 수 있다. 그러나, N이 정수배가 아닐 경우 실효값 계산 결과의 오차를 나타내고, 이러한 오차는 정확한 전압 정보를 방해한다. 실제 분산제어의 발전단 전압의 안정화를 위한 제어에 쓰이는 전압 실효값의 오차로 인해 정확한 보상이 어렵다. 또한 주기를 늘리게 될 경우 계통 사고에 대한 감지가 늦어 안정화를 저해 할 수 있다.

2.2 제안하는 전압 실효치 계산 알고리즘

그림 2는 제안하는 전압 실효값 계산 알고리즘이다. 기존의 데이터를 빼고 새로운 데이터를 더하는 이동평균 계산 방식은 데이터 개수가 정수배로 떨어지지 않을 경우, 데이터간의 오차가 발생하고 결과로 출력되어 나타난다. 따라서 반주기마다 동일한 시점에서 샘플링 할 경우 결과 값의 오차 범위를 줄일 수 있다. 전원 주파수의 흔들림 또는 샘플링 주파수의 변경 조건을 고려하여 기존의 계산 알고리즘에 PLL 알고리즘을 추가하였다. 계통 위상각 정보를 이용하면 반주기의 첫 번째 위상각 정보와 영전위 구간과의 차를 구해 낼 수 있다. 식(3)을 이용하여 보상하면 반주기 구간의 샘플링 시점을 동일하게 할 수 있다.

$$\sin(\alpha - \theta) = \sin\alpha\cos\theta - \cos\alpha\sin\theta \quad (3)$$

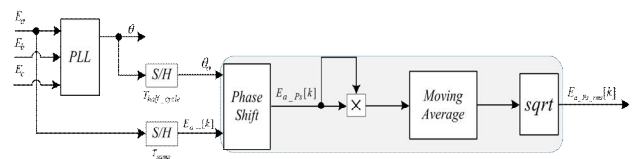
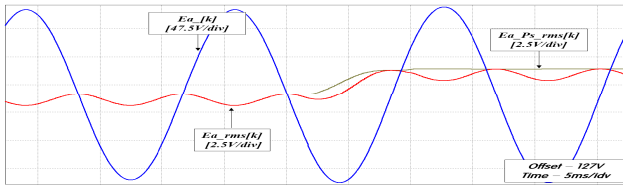
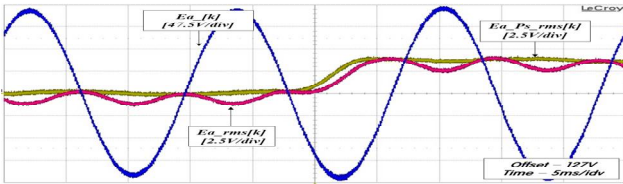


그림 2. 제안하는 전압 실효값 계산 알고리즘

3. 시뮬레이션 및 실험 결과

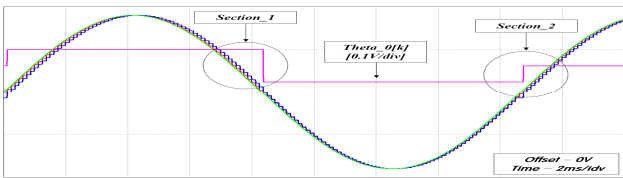


(a) 시뮬레이션(5ms/div)

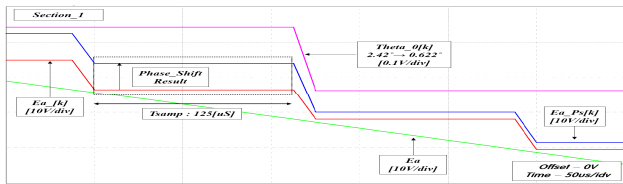


(b) 실험(5ms/div)

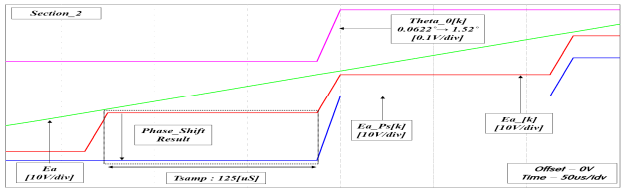
그림 3. 보상 전 후 실효값 비교(127V→130V)



(a) Section 1과 Section 2의 위상 보상(2ms/div)



(b) Section 1의 위상 보상(50us/div)



(c) Section 2의 위상 보상(50us/div)

그림 4. 영전위 구간에 따른 위상 보상 변화

PSIM 시뮬레이션을 기반으로 3상 계통 연계형 인버터 시스템을 구성한 후 실효치 계산 알고리즘을 시뮬레이션과 실험으로 비교하였다. 계통 전압은 220V, 60Hz이고 샘플링 주파수는 8kHz로 진행하였다.

그림 3(a), (b)는 기존의 실효값 계산 방식과 제안하는 실효값 계산 방식의 실험 및 시뮬레이션 파형을 나타낸다. 상전압(E_a)를 127V에서 130V로 스텝으로 증가시켰을 때, 속응성은 그대로 유지하고, 오차는 줄어든 것을 확인 할 수 있었다.

그림 4(a)는 샘플링 되고 있는 전압($E_a[k]$)와 위상 보상한 전압($E_aPs[k]$)와 실제 측정되고 있는 전압(E_a)을 나타낸다. 반주기마다, 위상 보상량이 달라지며 $E_aPs[k]$ 는 위상 보상 결과를 나타낸다. 그림 4(b), (c)는 반주기가 끝나는 시점인 Section1과 Section2를 확대하여 나타내었다. 첫 번째 위상각(Θ_{0})을 샘플하여 항상 0지점을 샘플하도록 동기화 한다. 따라서, Θ_{0} 는 영전위 구간과의 오차를 나타낸다.

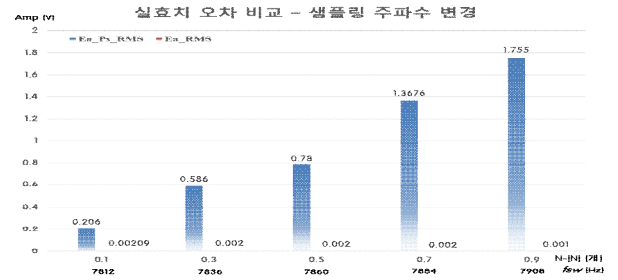


그림 5. 샘플링 주파수 변경에 따른 실효값 오차(시뮬레이션)

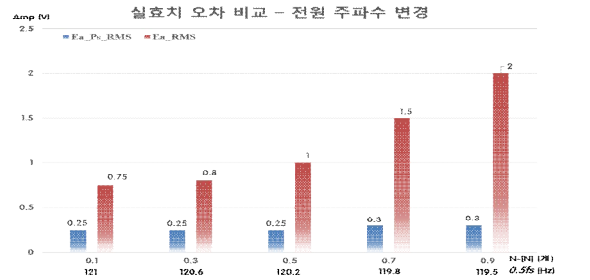


그림 6. 전원 주파수 변경에 따른 실효값 오차(실험)

그림 5은 전원 주파수를 60Hz로 고정하고 샘플링 주파수를 변경하여 실효값 오차를 데이터로 나타내었다. 샘플링 개수가 정수배가 아닐 경우 소수점만큼의 샘플 지연으로 인해 오차 범위가 달라지게 된다.

그림 6은 샘플링 주파수를 8kHz로 고정하고 전원 주파수를 변경하여 실효값 오차를 데이터로 나타내었다. 그림 5과 달리 실험데이터는 보상 알고리즘의 결과 값이 약 0.3V의 오차를 나타내는 것을 확인 할 수 있다.

4. 결론

PLL의 계통 전압 위상각을 이용한 실효값 계산 알고리즘에 대해 제안하였다. 제안한 알고리즘으로 기존에 구성된 시스템의 샘플링 주파수를 변경하지 않아도 적용이 가능하게 하였다. 또한 전원주파수의 흔들림까지 보완하여 실효값을 정확하게 계산할 수 있도록 하였다. 알고리즘의 타당성을 시뮬레이션 및 실험을 통해 검증하였고, 추가적으로 샘플링 주파수를 변경하여 오차분석까지 완료하여 제시하였다. 기존의 알고리즘의 최대 오차가 데이터 결과로는 약 2V이지만, 전원전압이 더 증가할 경우 오차범위는 더 커질 것으로 예상된다. 또한 시뮬레이션과 달리 실험의 오차범위가 다소 증가하여 PLL 알고리즘의 계인 특성 등을 개선한다면 더 정밀한 계산 알고리즘이 될 것으로 예상된다.

참고 문헌

- [1] C.J. Wu and T.H. Fu, "Effective voltage flicker calculation algorithm using indirect demodulation method", IEE Proc. Gener. Transm. Distrib., Vol. 150, No. 4, 2003, pp493~500.