

위상추종(Phase Locked Loop)알고리즘 성능개선을 위한 제어방법 연구

임정우, 조영훈, 최규하
 건국대학교 전기기계 및 전력전자연구실

Research on improving performance of phase locked loop algorithm

J.W. Lim, Y.H. Cho, G.H. Cheo
 Power electronics laboratory, Konkuk Univ.

ABSTRACT

This paper introduces general single PLL(Phase Locked Loop) algorithm and compares with proposed PLL method. The suggested PLL uses low pass filter to reduce high harmonics in real grid and uses feed forward method to compensate phase delay of the low pass filter.

1. 서론

본 논문은 일반적으로 사용되고 있는 단상 PLL 알고리즘을 소개하고, 제안한 새로운 PLL 알고리즘과의 성능비교를 진행한다. 제안한 PLL 알고리즘은 그리드에 존재하는 고조파성분을 제거하기 위하여 저역통과필터를 사용하였고, 저역통과필터의 위상지연을 보상하기 위하여 전향보상을 하는 PLL 알고리즘을 제안하였다. 또한 제안한 PLL 알고리즘과 기존의 PLL 알고리즘은 시뮬레이션을 통해 성능평가를 진행하였다.

2. 단상 PLL 알고리즘

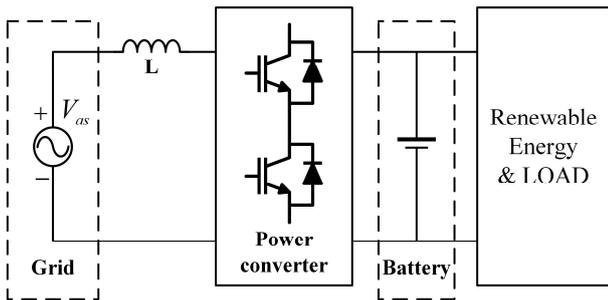


그림 1 분산전원 개략도
 Fig. 1 Distributed system schematic diagram

2.1 기존 단상 PLL알고리즘 소개

그림 2는 일반적인 단상 PLL 알고리즘 블록도를 나타내고 있다. 그림 2의 \$V_{as}\$는 그림 1에서와 같이 그리드의 전압을 나타내고 \$\omega_{ff}, \omega_{grid}\$ 그리고 \$\theta_e\$는 각각 전향보상을 위한 그리드 기본주파수[rad/s]와 그리드의 추종 주파수[rad/s], 추종한 위상각을 나타내고 있다.

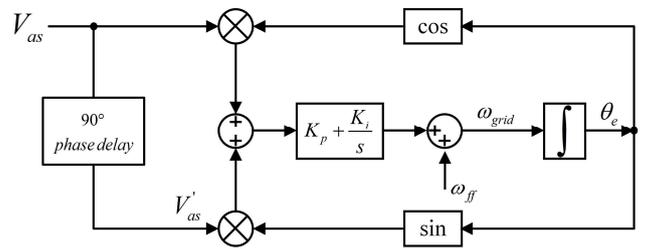


그림 2 일반적인 단상 PLL알고리즘 블록도
 Fig. 2 General single PLL algorithm block schematic

위 그림 2에서와 같이 PI제어기에 입력되는 위상의 오차는 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.^[1]

$$V_{as} = V \sin(\omega t + \theta_0) \quad (1)$$

$$V_{as} \cos(\tilde{\omega} t + \tilde{\theta}_0) = V \sin(\omega t + \theta_0) \cos(\tilde{\omega} t + \tilde{\theta}_0) \quad (2)$$

$$V'_{as} \sin(\tilde{\omega} t + \tilde{\theta}_0) = -V \cos(\omega t + \theta_0) \sin(\tilde{\omega} t + \tilde{\theta}_0) \quad (3)$$

$$= V \sin((\omega - \tilde{\omega})t + (\theta_0 - \tilde{\theta}_0)) \quad (4)$$

$$= V \sin(\theta_0 - \tilde{\theta}_0) \approx V(\theta_0 - \tilde{\theta}_0) \quad (5)$$

\$V_{as}\$가 이상적인 정형파일 경우에는 기존의 단상 PLL알고리즘만으로도 정확한 그리드 위상을 찾을 수 있다. 하지만 실제 그리드의 전압은 고조파의 영향으로 이상적인 정형파를 얻기가 매우 힘들다. 이러한 고조파성분은 PLL알고리즘의 성능을 저하시켜 정확한 위상을 얻을 수가 없다. 따라서 실제 그리드의 정확한 위상을 예측하기 위해서는 그리드에 포함되어 있는 고조파성분을 보상할 수 있는 알고리즘이 필요하다.

아래 그림 3은 실제 그리드에 존재하는 고조파를 모사하여 기존의 PLL알고리즘으로 위상을 추종한 결과이다. 시간 \$t\$이전까지는 이상적인 정형파 \$V_{as}\$를 추종하다가 \$t\$가 지남에 따라 고조파성분이 포함된 전압 \$V_{as} + V_h\$를 추종하도록 설계하였다. 결과적으로 제어기 출력인 그리드 주파수 \$\omega_{grid}\$가 \$t\$를 기준으로 큰 왜곡이 발생했으며, \$V_{as} + V_h\$를 추종한 위상값 \$theta_{as+h}\$ 역시 왜곡이 일어남을 확인할 수 있다. \$theta_{as}\$ 이상적인 \$V_{as}\$를 추종한 결과이다.

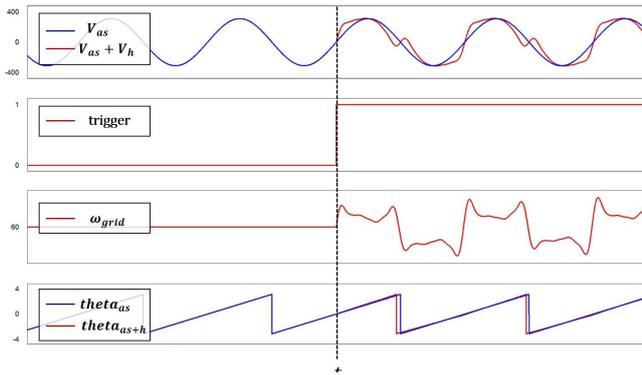


그림 3 실제 그리드를 모사한 $V_{as} + V_h$ 를 기존의 PLL알고리즘으로 구현한 결과
 Fig. 3 Result of general PLL algorithm for $V_{as} + V_h$ emulated real grid

2.2 제안한 PLL알고리즘

그림 4는 저역통과필터를 이용하여 실제 그리드에 존재하는 고주파성분을 최소화하고 저역통과필터의 영향을 최적화하여 정확한 위상추종을 하기위한 제안된 알고리즘 블록도이다. V_{as} 는 V_{as} 의 저역통과필터 출력이다. ω_{filter} 는 저역통과필터 주파수응답에서 그리드 기본주파수의 위상지연이다. 그림 5에서는 45° [Hz]가 ω_{filter} [rad/sec]이다.

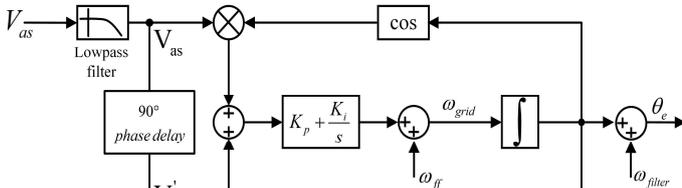


그림 4 제안한 단상 PLL알고리즘 블록도
 Fig. 3 Proposed single PLL algorithm block schematic

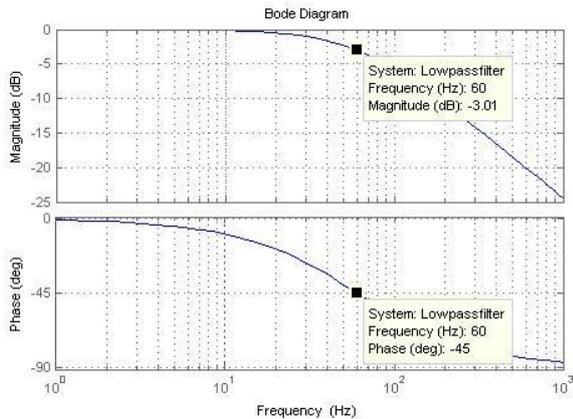


그림 5 1차 저역통과필터 보드선도(cutoff frequency = 60Hz)
 Fig. 5 Bode frequency response of first order low pass filter

그리드의 고주파성분을 제거하기위하여 저역필터를 사용하게 될 경우에는 그림 5에서와 같이 기본파에도 위상지연이 발생하여 출력위상에 오차가 발생하기 때문에, 저역통과 필터의

차단주파수를 설정함에 있어 한계가 존재했다. 하지만 본 논문에서 제안한 PLL알고리즘은 저역통과필터로 발생한 기본파성분의 위상지연을 전향보상하기 때문에 출력위상에 대한 오차가 발생하지 않아, 보다 정확한 그리드 위상을 추종할 수 있다. 저역통과필터를 거친 V_{as} 는 수식 (6)으로 표현되며, 수식 (7)과 같이 저역통과필터의 ω_{filter} 위상지연을 갖게 된다. 따라서 그림 4와같이 ω_{filter} 전향보상하여 저역통과필터에 대한 위상지연을 보상을 해야 한다.

$$V_{as} = V \sin(\omega t + \theta_0 + \omega_{filter}) \quad (6)$$

$$V \sin(\theta_0 - \tilde{\theta}_0 + \omega_{filter}) \approx V(\theta_0 - \tilde{\theta}_0 + \omega_{filter}) \quad (7)$$

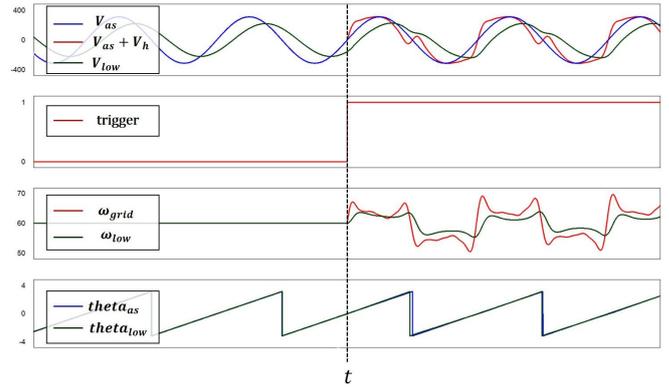


그림 6 그림 3과 같은 조건에서 제안한 PLL알고리즘 결과
 Fig. 6 Result of proposal PLL algorithm in same situation with the Fig. 3

그림 6은 제안한 PLL알고리즘의 결과를 보여주고 있다. 첨자를 low로 사용하고 있는 변수는 저역통과필터를 이용한 전압과 결과값이다. 저역통과필터를 거치면서 고주파성분을 제거하여 PI제어의 출력인 ω_{grid} 에 외란이 보다 적어진 것을 확인할 수 있다. 이러한 안정적인 제어는 보다 정확한 위상추종을 가능케 할 수 있으며, 시뮬레이션 결과를 통하여 그 성능을 검증할 수 있다.

3. 결론

제안한 PLL알고리즘은 그리드의 고주파성분을 제거하여 보다 정확한 위상추종이 가능하다. 하지만 본 논문은 s domain에서의 영향만을 고려했기 때문에 디지털로 구현한 저역통과필터의 경우에는 디지털 지연을 고려하여 ω_{filter} 를 신중하게 선택해야 한다.

본 연구는 중소기업청의 융복합기술개발사업 이전기술과제의 일환으로 수행하였음. [S2136777]

참고 문헌

[1] Teodorescu, Remus, Marco Liserre, and Pedro Rodriguez. Grid converters for photovoltaic and wind power systems. Vol. 29. John Wiley & Sons, 2011.