

Feed-forward를 적용한 고속 위상 추종 방법

김승애, 박병우, 허민호[†], 이상훈^{††}, 김광현, 박성준
 전남대학교, 삼성전기주식회사[†], 한국승강기대학^{††}

High speed PLL(Phase Locked Loop) method using the feed-forward

Seung Ae Kim, Byoung Woo Park, Min Ho Heo[†], Sang Hun Lee^{††}, Gwang Heon Kim,
 Sung Jun Park
 Chonnam National University, Samsung Electro-Mechanics[†], Korea Lift College^{††}

ABSTRACT

본 논문에서는 상 절체와 같은 급작스러운 위상천위 발생 시에도 위상추정에 의한 계통연계를 위한 고속 PLL 알고리즘을 제안하였다. 제안된 고속 PLL 알고리즘은 2상 정지좌표계에서 취득한 위상정보의 불안정성을 보상하기 위함으로 저주파 필터를 이용한 정지좌표계상의 위상정보를 feed forward로 사용한 결과, 외란에 강인한 위상각을 추정하는 알고리즘을 구현하였으며, PSIM을 이용한 시뮬레이션을 통하여 제안한 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

1. 서 론

신뢰성 있는 PLL(phase locked loop)을 행하기 위해서는 계통 전압의 기본파성분에 대한 정확한 정보가 필수적이다. 일반적인 PLL의 구조는 d축 전압성분을 Zero로 할 수 있도록 PI제어기가 위상을 출력하는 형태를 취하고 있다. 이 경우 d축 전압성분에 리플분이 존재하는 된다면 제어기의 Gain 설정에 문제가 있으며, 이로 인해 한정된 에러 범위 내에서 위상각 추종에 어려움이 있고, 특히 위상추정 속도성 개선에는 그 한계가 있다. 본 논문에서는 기존의 계통 위상 추종 방식에 feed forward를 적용시킨 PLL 알고리즘을 제안한다.

2. PLL 설계

2.1 PLL의 구조

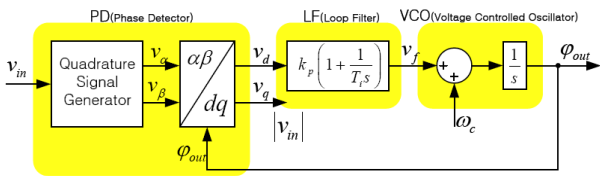


그림 1 d축 전압에 의한 PLL 블록도

Fig 1 The PLL Bkck diagram by the d axis voltage

그림 1에서 계통측의 실제 위상각을 ϕ_{in} 이라하면 2상 정지좌표계상의 계통전압은 식 (1)과 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = V \begin{bmatrix} \sin(\varphi_{in}) \\ -\cos(\varphi_{in}) \end{bmatrix} \quad (1)$$

2상 정지좌표계의 전압인 식 (1)을 2상 회전좌표계로 변환을

하기 위해서는 계통측의 실제 위상각 정보가 필수적이며, 이 추정치를 ϕ_{out} 이라하면 2상 회전좌표계상의 전압은 식 (2)와 같이 표현된다.

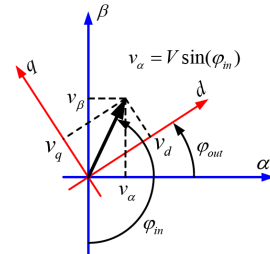


그림 2 d축 전압에 의한 PLL 페이저도

Fig 2 The PLL phaser picture by the d axis voltage

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi_{out}) & \sin(\varphi_{out}) \\ -\sin(\varphi_{out}) & \cos(\varphi_{out}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} \quad (2)$$

식(1), (2)로부터 전원전압에 의한 회전좌표계상의 전압은 식 (3)과 같이 주어진다. 만일 실제 위상각과 추정위상각이 일치한다면 식 (3)은 0와 V로 나타나게 되며, 만일 위상추정오차가 발생하면 회전좌표계상의 전압 오차는 식 (4)와 같이 주어진다. v_{de} 는 기함수가 되어 이 변수가 0으로 추종한다면 위상차 오차는 0이 된다.

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = V \begin{bmatrix} \sin(\varphi_{in})\cos(\varphi_{out}) - \cos(\varphi_{in})\sin(\varphi_{out}) \\ -\sin(\varphi_{in})\sin(\varphi_{out}) - \cos(\varphi_{in})\cos(\varphi_{out}) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$= V \begin{bmatrix} \sin(\varphi_{in} - \varphi_{out}) \\ -\cos(\varphi_{in} - \varphi_{out}) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} v_{de} \\ v_{qe} \end{bmatrix} = V \begin{bmatrix} \sin(\varphi_e) \\ -\cos(\varphi_e) \end{bmatrix} \quad (4)$$

2.2 제안된 PLL 구조

그림 3은 제안된 PLL블록도를 나타내고 있다. 2상 정지좌표계상의 계통전압은 계통의 위상정보와 크기정보를 가지고 있으며 이를 이용하여 위상각을 atan 함수를 이용하여 계산하고 계통에 고조파성분이 존재할 경우, 그 영향이 바로 나타나며 atan함수에서 분모가 Zero부근에서는 외부 noise에 매우 예민한 단점이 있다. 본 연구에서는 고조파성분에 의한 영향을 제거하기 위해 2상 정지좌표계상의 계통전압을 저주파 필터를 통

과한 후에 위상각 계산을 행하였으며, 저주파 필터에 의한 위상각 지연보상을 회전좌표계상의 d축 전압을 사용하여 보상하는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 또한 분모가 Zero부근에서 atan 함수의 단점을 보상하기 위해 두 변수 중 큰 변수를 분모로 하는 atan 함수를 사용하여 보상함으로써 외부 noise에 매우 예민한 단점을 보상하였다.

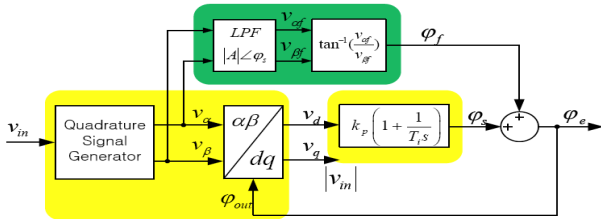


그림 3 제안된 PLL 블록도
Fig 4 The proposed PLL block diagram

그림 3의 정상상태 보상의 출력 ϕ_s 는 2상 정지좌표계 전압 저주파 필터의 위상지연과 일치하게 된다. 이 블록도에서 상천이와 같은 급작스러운 위상변위가 발생할 경우 정지좌표계상의 위상정보 feed-forward에 의해 ϕ_f 는 즉각적으로 반응하여 고속 PLL이 가능한 구조가 된다.

2.3 시뮬레이션 조건

그림 4, 5은 전원전압에 5고조파 성분이 5%함유된 경우 기준 및 제안된 PLL방법을 사용한 경우의 3상 상전압, 회전좌표계상 전압, 실제위상각, 추정위상각 및 보상기 출력을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 상 절체시 제안된 방식이 기존 방식에 비하여 위상각 추정 추정시정수가 1/5로 우수함을 알 수 있다.

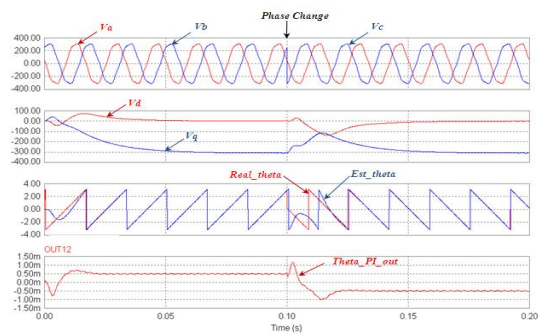


그림 4 상 절체시 기존의 PLL 특성
Fig 4 The conventional PLL characteristics during phase change over

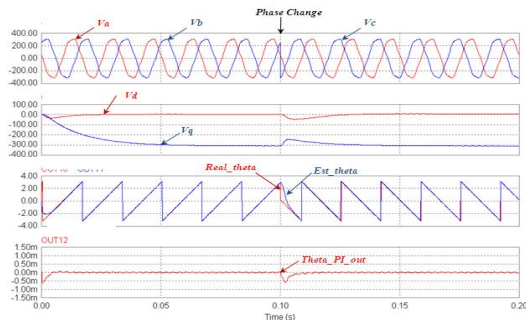


그림 5 상 절체시 제안된 PLL 특성
Fig 5 The proposed PLL characteristics during phase change over

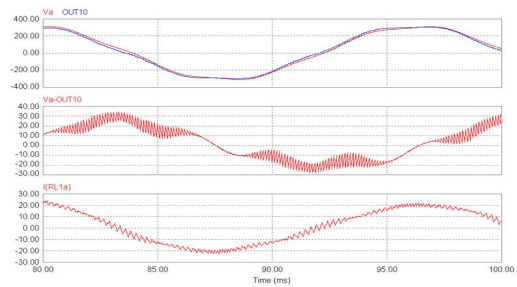


그림 6 연계시 전압 및 전류관계 특성
Fig 6 The voltage and current relationship characteristics in conjunction

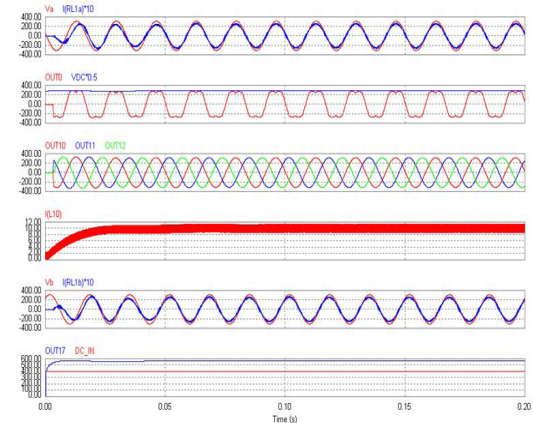


그림 7 연계형 인버터 특성 파형
Fig 7 Interconnected inverter characteristic waveform

그림 6은 연계시 인버터전압, 전원전압, 인덕터에 인가되는 전압 및 인덕터 전류를 나타내고 있으며, 파형에서 알 수 있듯이 전원전압에 고조파 성분이 존재하는 경우에도 연계전류는 양호한 정현적인 전류를 형성함을 알 수 있다.

그림 7은 연계형 인버터 특성 파형을 나타내고 있으며, 태양광 모듈전압이 400[V]로 입력되며, 3조 승압용 컨버터는 MPPT에 의해 리액터전류 9[A]로 DC link전압 560[V]를 형성하고, 인버터는 14[A]전류로 양호하게 연계됨을 알 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 2상 정지좌표계에서 취득한 위상정보의 불안정성을 보상하기 위해 저주파 필터를 이용한 정지좌표계상의 위상정보를 feed forward으로 사용한 결과 외란에 강인한 위상각을 추정 알고리즘을 구현하여 연계형 인버터에 적용하여 그 타당성을 검증하였다.

참고 문헌

[1] N.G. Hingorani, "Power Electronics in Electric Utilities : Role of Power Electronics in Future Power System", Proceedings of the IEEE, Vol. 76, No. 4, pp. 481 482, 1988, April.