

계통 전압 위상 검출법 비교

김인호*, 김흥근*, 차헌녕*, 전태원**, 노의철***
 경북대학교* 울산대학교** 부경대학교***

Comparison of Grid Voltage Phase Detection Method

In Ho Kim*, Heung Geun Kim*, Honnyong Cha*, Tae Won Chun**, Eui Cheol Nho***
 Kyungpook National Univ.*, Ulsan Univ.** , Pukyong National Univ.***

ABSTRACT

불평형 및 왜곡 상태에서 정상분 추출은 기존 여러 가지 방법이 제시되어 있다. 여기에 PLL(Phase Locked Loop) 방식에 따라 다양한 특성이 나타나게 된다. 본 논문에서는 4가지 정상분 추출 방법과 2가지 PLL 방법을 적용하여 각각의 성능을 시뮬레이션 및 실험을 통해 비교 분석하였다.

1. 서 론

2011년 총 발전량 중 신재생에너지 발전비율이 3.46%로 전년 대비 2.42% 증가하였다. 총 발전량 대비 신재생에너지 발전비율이 커질수록 계통의 불안정화가 예상 된다. 이러한 사정 으로 인해 신재생에너지 발전의 원활한 계통 연계를 위해 계통 전압 정보를 정확하게 알 수 있어야 한다.

정상분 추출방법을 DDSRF(Decoupled Double Synchronous Reference Frame) 방법을 이용하고 정지좌표계 PLL을 사용한 하이브리드 PLL 방법이 있으나 실제로 PI제어기의 주파수 대역폭을 동일하게 놓고 테스트 해볼 경우 특성이 더 나빠지는걸 확인 하였다. 이에 따라 4가지 계통 전압 위상 검출법들을 사용 하고 각각 동기좌표계 PLL과 정지좌표계 PLL을 사용 하여 성능을 비교하였다. [1]

2. 계통 전압 위상 검출법

2.1 PLL 알고리즘

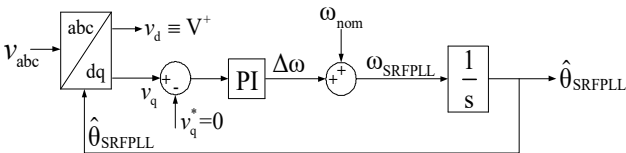


그림 1 동기좌표계 PLL
 Fig. 1 Synchronous Reference Frame PLL - dqPLL

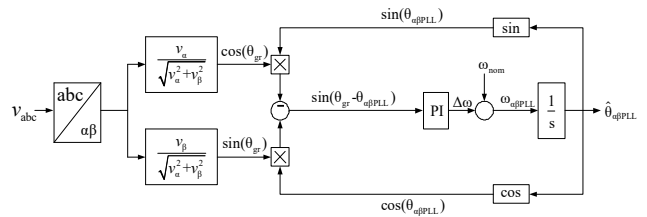


그림 2 정지좌표계 PLL
 Fig. 2 Stationary Reference Frame PLL - αβPLL

그림 1은 일반적인 동기좌표계 PLL이다. 3상 전압을 동기좌표계로 변환하고 이때의 q축 전압을 PI제어기를 거쳐서 위상을 추정한다. 그림 2는 αβPLL 방법을 보여주고 있다. 일반적인 정지좌표계 PLL 방법은 arctan를 이용하여 위상을 추정하는데 반해서 αβPLL 방법은 연산된 위상의 sin,cos 값과 PI제어기를 거쳐 추정한 위상의 sin,cos 값의 연산을 통해 얻은 위상오차를 PI제어기의 입력으로 가져간다.

PI제어기의 주파수 대역폭을 동일하고 하면 동기좌표계 PLL방법과 정지좌표계 PLL 방법의 PI제어기 이득은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$dqPLL : s^2 + V_p K_{p,dqPLL} s + V_p K_{i,dqPLL} = s^2 + \sqrt{2} \omega_c s + \omega_c^2$$

$$K_{p,dqPLL} = \frac{\sqrt{2} \omega_c}{V_p}, K_{i,dqPLL} = \frac{\omega_c^2}{V_p}$$

$$\alpha\beta PLL : s^2 + K_{p,\alpha\beta PLL} s + K_{i,\alpha\beta PLL} = s^2 + \sqrt{2} \omega_c s + \omega_c^2$$

$$K_{p,\alpha\beta PLL} = \sqrt{2} \omega_c, K_{i,\alpha\beta PLL} = \omega_c^2$$

이와 같이 정지좌표계의 PI제어기 이득이 동기좌표계의 PI 이득의 비해서 상 전압의 최대치를 곱한 만큼 크게 나타남을 알 수 있다.

2.2 정상분 추출 방법

정상분 추출 방법은 4가지 방법을 사용하였다. 동기좌표계에서 정상분을 추출하는 DDSRF 방법과 3상 abc좌표계에서 정상분을 추출하는 PSC(Positive Sequence Computation) 방법, 정지좌표계에서 정상분을 추출하는 SOGI(Second Order Generalized Integrator) 방법, 마찬가지로 정지좌표계에서 정상분을 추출하는 DSC(Delayed Sequence Computation) 방법을 사용하여 각각 동기좌표계 PLL과 정지좌표계 PLL을 수행하였다. [2], [3]

3. 실험 결과

MATLAB Simulink 및 PSIM 프로그램들을 사용하여 시뮬레이션을 진행하였고 이를 바탕으로 실험을 진행하였다. 계통 시뮬레이터는 NF사의 ES 12000W 모델을 사용하였다.

계통선간전압은 220V(RMS), 주파수는 60Hz, PI제어기의 주파수 대역폭을 30Hz 두고 PI제어기의 이득을 설정하였다. 3상 전원 중 A상 지락 상황에서 각각의 PLL 방법의 주파수 변동을 확인 하였다.

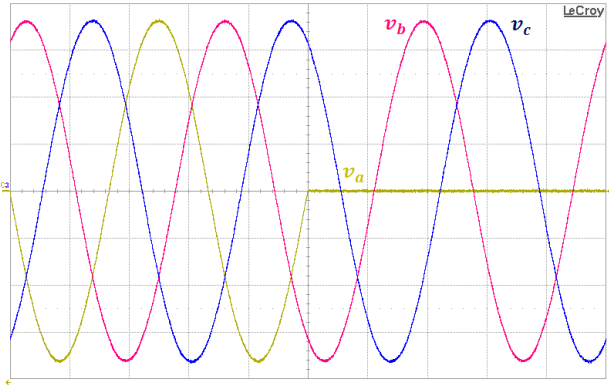


그림 3 계통 상전압 - A상 지락 [50V/div]
Fig. 3 Grid Phase Voltage - A Phase Earthed

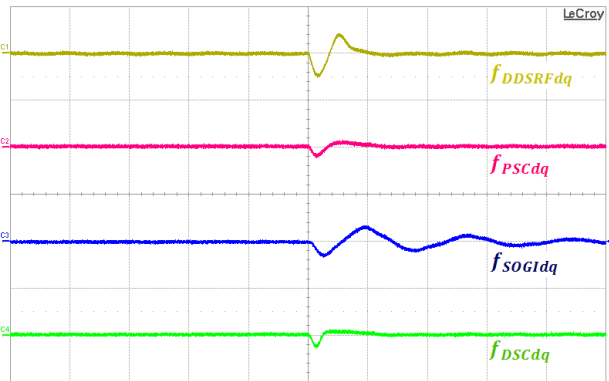


그림 4 동기좌표계 PLL 방법의 주파수 변동 [10Hz/div]
Fig. 4 Frequency Variation of dq PLL

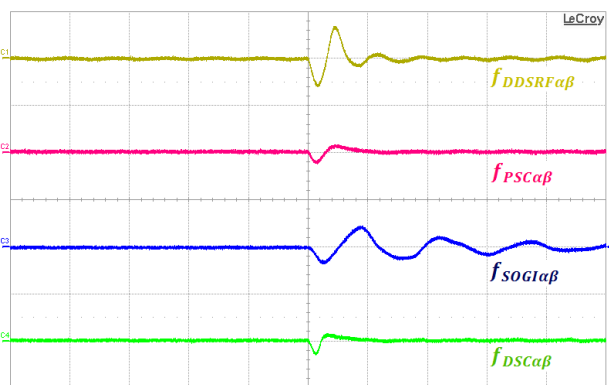


그림 5 정지좌표계 PLL 방법의 주파수 변동 [10Hz/div]
Fig. 5 Frequency Variation of $\alpha\beta$ PLL

PI 제어기의 주파수 대역폭을 같게 설정하면 동기좌표계 PLL이 정지좌표계 PLL 방법에 비해 성능이 나음을 확인 할 수 있었다. 1상 지락 사고에서 DSC 방법이 가장 나은 응답을 보임을 확인 할 수 있었다.

4. 결론

하이브리드 PLL의 PI 제어기 이득의 잘못 설정 됨을 확인 하였고 동기좌표계 PLL 방법과 정지좌표계 PLL 방법의 PI제어기 주파수 대역폭을 같게 설정하고 여기에 4가지 정상분 추출 방법을 이용하여 성능을 비교하였다. 이에 따라 동기좌표계 PLL 방법이 정지좌표계 PLL 방법에 비해 계통 왜곡 및 불평형 상태시 보다 나은 특성을 보임을 알 수 있었다. 또한 정상분 추출 방법 중 DSC 방법이 다른 정상분 추출 방법에 비해 가장 우수한 성능을 보임을 확인 하였다.

본 연구는 2013년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20111020400260)

참 고 문 헌

- [1] Hadjidemetriou, L. ; Kyriakides, E. ; Blaabjerg, F. "A New Hybrid PLL for Interconnecting Renewable Energy Systems to the Grid ", Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2012 IEEE, pp. 2075 - 2082, 2012
- [2] Rodriguez, P. ; Pou, J. ; Bergas, J. ; Candela, J.I. ; Burgos, R.P. ; Boroyevich, D. "Decoupled Double Synchronous Reference Frame PLL for Power Converters Control", Power Electronics, IEEE Transactions on, Volume: 22 , Issue: 2 pp. 584 - 592, 2007
- [3] Rodriguez, P. ; Teodorescu, R. ; Candela, I. ; Timbus, A.V. ; Liserre, M. ; Blaabjerg, F. "New Positive sequence Voltage Detector for Grid Synchronization of Power Converters under Faulty Grid Conditions", Power Electronics Specialists Conference, 2006. PESC '06. 37th IEEE, pp. 1 - 7, 2006