

LPN 필터를 이용한 계통 위상 추종 방법

이경준*, 이종필**, 신동설*, 김태진**, 유동욱**, 김희제*
 부산대학교*, 한국전기연구원**

A grid synchronization method using LPN filter

Kyoung Jun Lee*, Jong Pil Lee**, Dongsul Shin*, Tae Jin Kim**, Dong Wook Yoo**, Hee Je Kim*
 Pusan National University*, Korea Electro-technology Research Institute**

ABSTRACT

본 논문은 계통 연계형 인버터에서 LPN 필터를 이용한 계통 위상 추종 방법을 제안한다. 기존의 FFT를 이용한 계통 위상 추종 알고리즘의 한주기 평균 계산부를 LPN 필터로 대체하여 위상 추종 성능을 개선하였다. 기존의 FFT PLL의 경우 SRF PLL과 달리 별도의 PI 게인 튜닝이 필요 없으며, 고조파와 같은 노이즈에 강인한 특징을 가진다. 하지만 위상 이동시에 새로운 위상을 추종하기 위해서 한주기 소요된다. 따라서 본 논문에서는 LPN 필터를 사용하여 반주기 이내에 추종할 수 있도록 성능을 개선하였다. 제안된 위상 추종 전략의 타당성을 실험을 통하여 검증하였다.

1. 서 론

전 세계적으로 태양광 발전, 풍력발전, 연료전지, 마이크로 가스터빈과 같은 신재생에너지를 기반으로 한 분산형 전원의 보급이 급속히 증가하고 있으며, 동시에 전력 생산의 패러다임이 변하고 있다^[1, 2]. 하지만 분산형 전원을 기반으로 한 계통 연계형 PCS (Power Conditioning System)의 설치가 증가함에 따라 주파수 변동, 전압 변동, 고조파 왜곡과 같은 계통 전원 품질에 영향 주고 있다. 이러한 계통 전원 상황에서도 빠르고 안정적인 위상 추종을 통해서 계통 연계형 PCS의 안정적인 연계 운전이 요구되고 있다. 따라서 본 논문에서는 LPN (Low Pass Notch) 필터를 이용하여 기존 PLL (Phase Locked Loop)의 단점을 극복하고 장점을 유지할 수 있는 방법을 제시하였다. 제안된 방법은 PSIM 시뮬레이션 및 실험을 통하여 타당성을 검증 하였다.

2. 본 론

2.1. 기존 계통 위상 추종 방법

일반적으로 그림 1과 같이 3상 D Q 변환 후 동기좌표에서 PI 제어기를 통해 계통 위상을 추종하는 SRF PLL (Synchronous Reference Frame PLL) 방법이 사용된다. 하지만 3상 전원에 고조파 성분이 포함되어 있거나 3상 전원이 불평형인 경우에 D Q 변환된 전압에 리플이 포함되어 PI 제어기를 통해 정확한 위상 추종이 어렵다. 기존의 SRF PLL의 단점을 극복하고자 FFT (Fast Fourier Transform) 방법을 이용하여 위상을 추종하는 FFT PLL 방법이 제안되었다^[3].

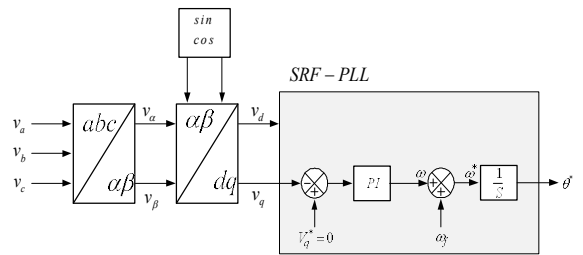


그림 1 일반적인 3상 PLL 블록 다이어그램
 Fig. 1 Block diagram of conventional three-phase PLL

계통 전압의 불평형, 고조파, 스위칭 노이즈 등에 강인한 PLL 이라고 할 수 있다. 그림 2와 같이 센싱된 계통 전압에 기준 신호를 곱한 후 한주기 평균을 하게 되면 계통 주파수에 해당하는 성분만 남게 된다. 하지만 FFT PLL의 경우 계통 전압에 위상 천이가 발생할 경우 새로운 계통 위상을 추종하기 위하여 한 주기의 시간이 소요된다.

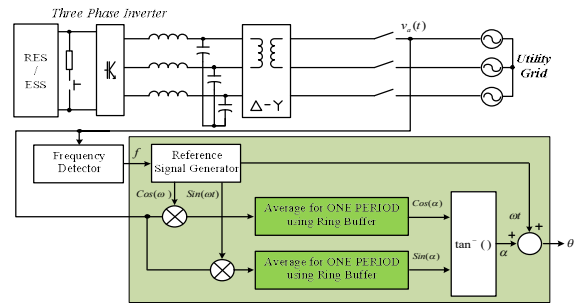


그림 2 FFT를 이용한 PLL 방법
 Fig. 2 PLL method using FFT concept

2.2. LPN 필터를 이용한 계통 위상 추종 방법

기본적으로 LPN PLL도 FFT PLL과 같이 센싱된 계통 전압에 S/W 내부적으로 스위칭 주기에 맞춰서 발생하는 기준신호를 곱한 후 평균값을 구한다. 하지만 그림 3과 같이 FFT PLL에서 링 버퍼를 사용한 것과 달리 LPN PLL에서는 한 주기 평균 계산 대신 LPN 필터부를 이용하여서 평균값을 구하게 된다.

$$H_{LPN}(z) = H_L(z)H_N(z) = \frac{[b_{L0} + b_{L1}z^{-1} + b_{L2}z^{-2}]}{[1 + a_{L1}z^{-1} + a_{L2}z^{-2}]} \left[\frac{b_{N0} + b_{N1}z^{-1} + b_{N2}z^{-2}}{1 + a_{N1}z^{-1} + a_{N2}z^{-2}} \right] \quad (1)$$

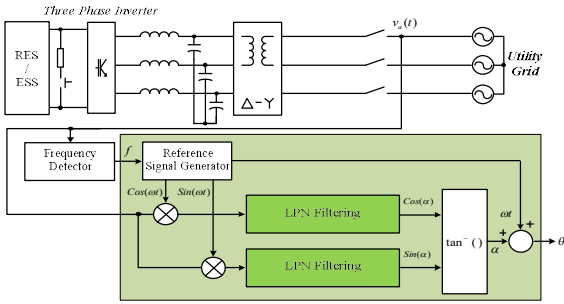


그림 3 LPN-PLL 블록 다이어그램
Fig. 3 Block diagram of LPN-PLL

4차 LPN 필터는 식 (1)에 나타난 것과 같이 2차 저역통과필터와 2차 노치필터의 곱 형태로 구성된다. 필터 계수는 차단 주파수 및 Q factor에 의해서 결정된다. 본 연구에서는 차단 주파수는 계통 주파의 2배 값으로 하였으며, Q factor는 0.625로 하였다.

2.2 시뮬레이션 및 실험 결과

제안하는 LPN PLL 성능 검증을 위하여 10kW 급 계통 연계 인버터를 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 먼저 그림 4에 기존의 SRF PLL과 FFT PLL의 성능을 전압 불평형 및 고조파가 포함된 전압 조건에서 비교하였다.

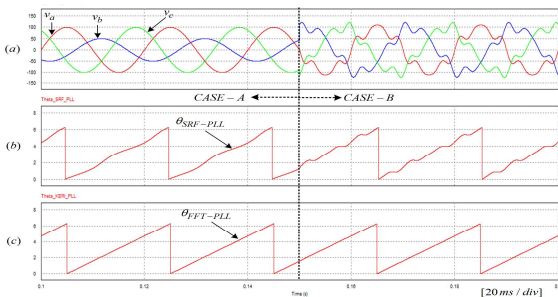


그림 4 전압불평형, 고조파 조건시 SRF-PLL과 FFT-PLL 성능비교
Fig. 4 Simulation waveforms of SRF-PLL and FFT-PLL with unbalanced voltage and harmonics

여러 가지 계통 상황에서 위상 천이시 FFT PLL과 LPN PLL 성능비교 시뮬레이션 결과를 그림 5에 나타내었다. 기존의 FFT PLL은 위상 천이시에 한주기 평균 계산부로 인하여 새로운 위상 추종에 한 주기가 소요 된다. 하지만 제안하는 방법은 LPN 필터로 한주기 평균 계산부를 대체할 경우 위상 추종 시간이 반주기 이내로 단축됨을 알 수 있다.

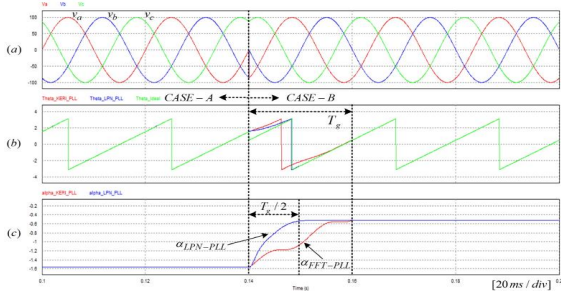


그림 5 위상 천이시 FFT-PLL과 LPN-PLL 성능비교 시뮬레이션
Fig. 5 Simulation waveforms of FFT-PLL and proposed LPN-PLL under phase jump

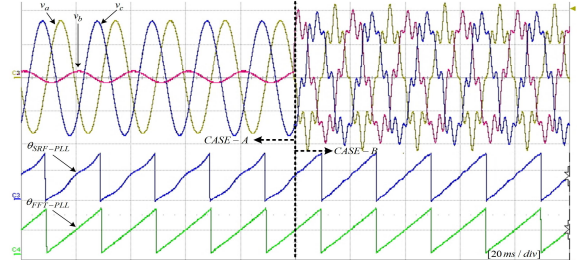


그림 6 전압불평형, 고조파 조건시 SRF-PLL 및 FFT-PLL 성능 비교
Fig. 6 Experimental results of SRF-PLL and FFT-PLL with unbalanced voltage and harmonics

그림 6에서는 전압 불평형 및 고조파 조건시에 SRF PLL과 FFT PLL의 성능을 DSP320F28335를 이용하여서 비교하였다. FFT PLL이 전압 불평형 및 고조파에 강인한 성능을 보여주고 있다.

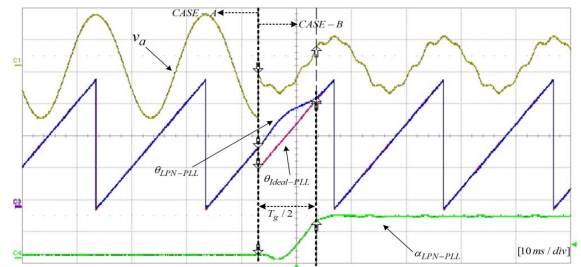


그림 7 전압 새그, 고조파, 위상 천이시 LPN-PLL 실험 결과
Fig. 7 Experimental results of LPN-PLL with voltage sag, harmonics and phase jump

그림 7에는 전압 새그, 고조파, 위상 천이가 복합적으로 계통 전압에 나타날 때, LPN PLL의 성능을 보여주고 있다. 기존 FFT PLL의 장점을 유지하여서 전압 새그 및 고조파에 강인한 성능을 보여주고 있으며, 위상 천이 시에는 반주기 이내에 위상 추종이 가능하여 빠르고 안정적인 성능을 보여주고 있다.

3. 결론

본 논문에서는 분산 전원 계통 연계 인버터의 LPN PLL을 이용한 계통 위상 추종방법을 제안 하였다. 기존의 SRF PLL과 FFT PLL이 가지고 있는 단점을 극복하여 여러 가지 계통 상황에서 빠르고 안정적인 성능을 보임을 시뮬레이션 및 실험을 통하여 검증하였다. 제안된 방법은 일반적인 마이크로프로세서를 이용하여 쉽게 구현이 가능하며, 3상 시스템 뿐만 아니라 단상 시스템에도 쉽게 적용 가능하다.

참고 문헌

- [1] W. Sinsukthavorn, E. Ortjohann, A. Mohd, N. Hamsic, D. Morton, "Control Strategy for Three Four Wire Inverter Based Distributed Generation," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 59, no. 10, pp. 3890-3899, Oct. 2012.
- [2] Shuitao Yang, Qin Lei, F.Z. Peng, Zhaoming Qian, "A Robust Control Scheme for Grid Connected Voltage Source Inverters," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 1, pp. 202-212, Jan. 2011.
- [3] J. P. Lee, B. D. Min, T. J. Kim, D. W. Yoo and J. Y. Yoo, "Active Frequency with a Positive Feedback Anti Islanding Method Based on a Robust PLL Algorithm for Grid Connected PV PCS," *Journal of Power Electronics*, Vol. 11, No. 3, pp. 360-368, May. 2011.