

LVRT 제어시 분산전원의 계통 동기화를 위한 FLL 제어

장미금*, 최정식*, 오승열*, 송성근*, 정동화**
전자부품연구원*, 순천대학교**

FLL Control for Grid Synchronization of Distributed Power System under LVRT Control

Mi Geum Jang*, Jung Sik Choi*, Seung Yeol Oh*, Sung Geun Song*, Dong Hwa Chung**
Korea Electronics Technology Institute*, Suncheon National Univ.**

ABSTRACT

본 논문은 LVRT 제어를 위한 계통 사고 상황에서도 정확한 위상각을 검출하기 위하여 일반화된 2차 적분기(Second Order Generalized Integrator)를 이용한 정상분 전압 검출을 기반으로 하며, 주파수 변동에도 강인성 제어가 가능한 DSOGI (Double Second Order Generalized Integrator) FLL(Frequency locked loop)을 제안한다. 실험을 통해 종래의 SRF(Synchronous reference frame) PLL, DSOGI PLL 제어와 비교, 분석을 통해 본 논문의 타당성을 입증한다.

1. 서론

최근 풍력, 태양광 등과 같은 신재생 에너지의 대단지화에 따라 신재생에너지 발전이 전력계통 용량에 차지하는 비중이 늘고 있으며, 높은 보급률로 인하여 신재생 에너지 발전 시스템이 전력계통의 전력품질이나 안정도에 미치는 영향을 무시할 수 없게 되어 계통연계규정의 재정비라는 결과를 가져왔다. 이는 계통전원 사고로 인한 순시전압 강하 시 전력계통의 안정적인 복구를 위하여 분산전원의 계통연계를 유지하는 LVRT와 같은 요구조건을 만족시켜야 한다. 따라서 급격한 전압변동에 빠르게 대응하는 적절한 PLL(Phase Locked Loop) 제어를 통한 계통각 검출이 필수적이다.^[1]

일반적으로 3상 계통 연계 방식에서는 측적된 전압을 동기 좌표계로 변환하여 위상각 오차를 계산하고 이를 최소화 하도록 하는 피드백 제어기를 구성하는 방식인 SRF PLL이 널리 쓰이고 있다.^[2] 그러나 불평형 사고의 경우 동기 좌표계의 전압에 기본파 성분의 2고조파가 생겨 추정각에도 2고조파가 보이게 된다. 이에 따라 SOGI를 이중으로 이용한 정상분 전압 검출을 기반으로 하는 DSOGI PLL 제어 방법이 제시되었으나, 주파수 변동시 강인성 제어에 문제점이 나타난다.

따라서, 본 논문에서는 정상분 전압 검출을 기반으로 전압 불평형, 고주파 왜곡 및 주파수 변동에도 강인한 특성을 가지는 DSOGI FLL 제어를 제시하고 실험을 통해 그 타당성을 입증한다.

2. PLL 제어

2.1 DSOGI PLL

불평형 계통 사고의 경우, 불평형 전압과 고조파 성분이 발

생하게 되어 SRF PLL 방식으로 각을 구하면 추정각에도 전압 왜곡 및 고조파가 보이게 된다. 따라서 불평형 계통 사고에도 정확한 각을 추정하기 위해 정상분 전압을 이용하는 방법으로 그림1과 같은 SOGI를 사용하는 PLL 구조를 사용한다.

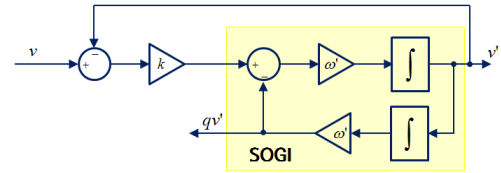


그림 1 SOGI를 사용한 QSG
Fig. 1 SOGI-QSG scheme

SOGI를 사용한 QSG(Quadrature Signal Generator)의 전달 함수는 다음과 같다

$$D = \frac{v'}{v} = \frac{kw's}{s^2 + kw's + \omega'^2} \quad (1)$$

$$Q = \frac{q\omega'}{v} = \frac{k\omega'^2}{s^2 + kw's + \omega'^2} \quad (2)$$

이를 통해 90° 위상차 신호를 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 고조파 성분도 필터링 할 수 있다. SOGI를 이용한 출력은 $\alpha\beta$ 축의 PSC(Positive Sequence Calculator) 입력신호이며 그림2와 같은 구조이다.

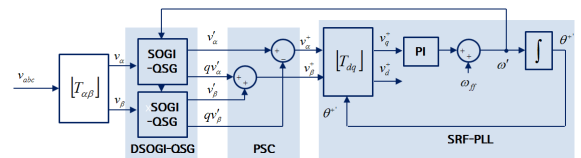


그림 2 DSOGI-PLL 블록도
Fig. 2 Block diagram of the DSOGI PLL

1.2 DSOGI FLL

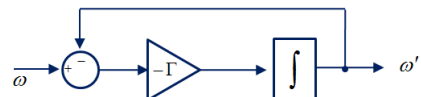


그림 3 단순화된 FLL 구조
Fig. 3 Blockdiagram of DSOGI PLL

주파수 적응을 위한 메카니즘이 추가된 것으로 SOGI에서 구해지는 오차 변수를 이용한 것으로 주파수 에러 변수 e_f 는 식(3)와 같고 전달함수는 식(4)과 같다.

$$e_f = qv' \times \varepsilon_v \quad (3)$$

$$E(s) = \frac{\varepsilon_v}{v}(s) = \frac{s^2 + \omega'^2}{s^2 + k\omega' + \omega'^2} \quad (4)$$

그림 3에서 나타난 것과 같이 FLL은 $-\gamma$ 이득을 적절히 조절하여 위상각이 아닌 주파수 변화를 추적하는 것으로, 주파수 변화를 즉각적으로 감지하여 반영함으로써 주파수 변화에 대한 강인성을 가지게 된다. 입력 주파수를 직접 감지하여 추적하는 것이므로 위상각에 대한 정보가 필요치 않으므로 위상각은 다음 식에 의해 간접적으로 계산된다.

$$\angle V' = \arctan \frac{qv'}{v} \quad (5)$$

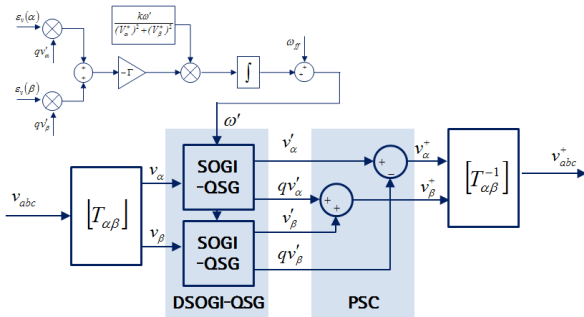


그림 4 DSOGI-FLL 블록도
Fig. 4 Blockdiagram of the DSOGI FLL

3. 실험결과

본 논문에서는 DSP를 이용하여 프로그램하여, 파워서플라이로 계통사고를 모의 하였다. 그림5는 A상 전압이 40% 강아 되는 과도 상태로, 종래의 SRF PLL 방법은 α β 축 변환을 함에 있어 불평형을 이루게 되나, DSOGI PLL, DSOGI FLL은 평형상태를 유지하여 양호한 응답특성을 보인다.

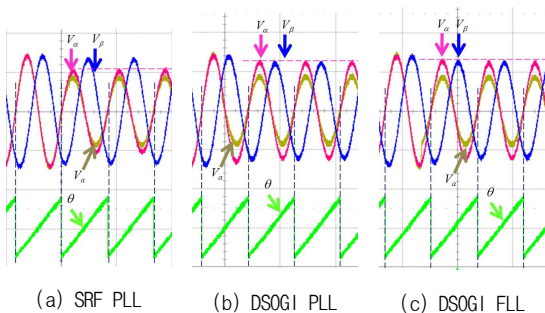


그림 5 A상 전압 강하시 특성신호
Fig. 5 Characteristic signals from the A-Phase Voltage sag

그림6은 A상 전압에 고조파(3고조파 5%, 5고조파 7%, 7고조파 10%)가 함유되는 과도상태로, SRF PLL은 A상의 고조파가 $\alpha\beta$ 전압에도 영향을 미치나, DSOGI PLL, DSOGI FLL은 고조파 성분이 필터링 되어 양호한 $\alpha\beta$ 전압을 출력한다.

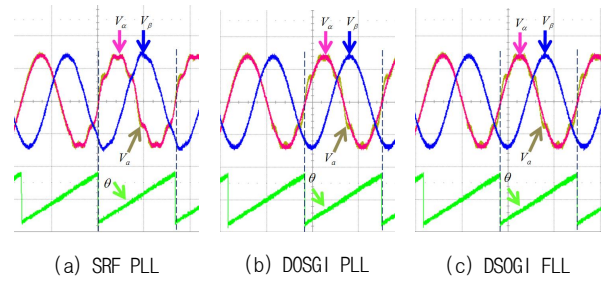


그림 6 A상 고주파 포함시 특성신호
Fig. 6 Characteristic signals from the A-Phase harmonic distortion

그림7는 주파수 변동(60Hz~55Hz)시 추정되는 위상각으로 DSOGI PLL의 경우 오차가 발생하여 주파수 변동에 따른 위상각을 추정함에 있어 8~9주기(144~162[ms])의 시간이 필요하나 DSOGI FLL은 주파수가 변동하더라도 즉각적인 대응으로 위상각을 추정함에 오차가 발생하지 않고 바로 추정함을 알 수 있다.

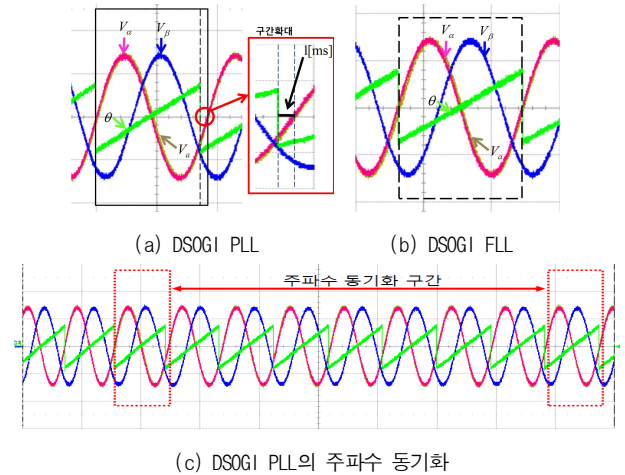


그림 7 A상 주파수 변동시 위상각
Fig. 7 Phase angle from the A-Phase frequency deviation

4. 결론

본 논문에서는 계통 사고 시에도 정확한 위상 검출을 위한 정상분 전압 검출을 기반으로 하여 주파수 추종을 기준으로 한 DSOGI FLL 제어를 제안하였다. SRF PLL에 비해 전압강하 및 고조파 왜곡시 DSOGI PLL, DSOGI FLL 모두 양호한 응답특성을 보였으나 주파수 변동시에는 제안한 DSOGI FLL이 강인한 응답특성을 보여 본 논문의 타당성을 입증하였다.

이 논문은 광역연계협력사업의 “승용, 상용 전기자동차 검용 급속 충전 시스템 개발사업” 과제의 지원으로 연구되었음.

참고 문헌

[1] Wind Energy Report 2009 World Wind Energy Association, March 2010.
[2] Se Kyo Chung, "A phase tracking system for three phase utility interface inverters" Power Electronics, IEEE Transactions on Volume: 15, Issue: 3, p. 431-438, 2000