

계통 사고시 분산전원의 계통 동기화를 위한 새로운 PLL 제어

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

New PLL Control for Grid Synchronization of Distributed Power System under Faulty Grid Conditions

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

ABSTRACT

본 논문은 SOGI를 이용한 정상분 전압 검출을 기반으로 하는 SRF(synchronous reference frame)-PLL(phase locked loop) 시스템을 제안한다. 일반화된 2차 적분기의 이증으로 사용하여 QSG(Quadrature-signals generator)의 성능을 개선하여 전압 불평형, 고조파 왜곡 등으로 인한 오차 발생 시에도 빠르고 정확한 위상 검출이 가능하도록 하였으며 본 논문에서 제시한 알고리즘은 PSIM 프로그램 결과를 통하여 타당성을 입증한다.

1. 서 론

신재생에너지 뿐만 아니라 모든 분산전원의 계통연계 운전을 위해서는 계통의 전압을 정확하게 파악하여 전원의 위상각과 동기가 맞는 전력을 공급하여야 한다.

최근 WT의 급격한 개발과 풍력발전 단지의 증가는 계통연계 규정의 재정비라는 결과를 가져왔으며 이는 계통전원 사고로 인한 순시전압 강하 시 전력계통의 안정적인 복구를 위하여 분산전원의 계통연계를 유지하는 LVRT와 같은 요구조건을 만족시켜야 한다. 따라서 급격한 전압변동에 빠르게 대응하는 PLL 특성이 요구된다.^[1-3]

일반적으로 3상 계통 연계 방식에서는 측정한 전압을 동기 좌표계로 변환하여 위상각 오차를 계산하고 이를 최소화 하도록 하는 피드백 제어를 구성하는 방식이 널리 쓰이고 있다.

본 논문에서는 SRF-PLL을 바탕으로 정상분 전압 검출을 기반으로 하는 DSOGI-PLL을 제어를 제시하고 시뮬레이션을 통해 그 타당성을 검증한다.

2. 제안된 DSOGI-PLL 시스템

2.1 alpha, beta 축에서 정상분 계산

상전압과 정상분 사이의 관계식은 다음과 같다.

$$V_{abc}^+ = [V_a^+ \ V_b^+ \ V_c^+]^T = [T_+] V_{abc} \quad (1)$$

$$[T_+] = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a^2 & a \\ a & 1 & a^2 \\ a^2 & a & 1 \end{bmatrix}, a = e^{-j\frac{2\pi}{3}}$$

Clarke transform을 이용하여 정상분의 상전압 벡터를 α, β 좌표계로 변환하는 과정은 다음과 같다.

$$V_{\alpha\beta} = [V_\alpha \ V_\beta]^T = [T_{\alpha\beta}] V_{abc} \quad (2)$$

$$[T_{\alpha\beta}] = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix}$$

식(2)에 식(1)을 대입하여 정리하면,

$$V_{\alpha\beta} = [T_{\alpha\beta}] V_{abc}^+ = [T_{\alpha\beta}] [T_+] V_{abc} \quad (3)$$

$$= [T_{\alpha\beta}] [T_+] [T_{\alpha\beta}]^{-1} V_{\alpha\beta} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & -q \\ q & 1 \end{bmatrix} V_{\alpha\beta}$$

여기서, $q = e^{-j\frac{\pi}{2}}$ 를 의미하며, 90°의 위상차를 가지는 전압을 의미한다.

2.2 SOGI를 사용한 QSG

α, β 의 전압의 90도 위상차를 발생하기 위해 이동 지연 버퍼가 쉽게 사용되며 다른 간단한 QSG는 1차 APF(All pass filter)에 의해 개선되었다. 그러나 이는 주파수 적응이 되지 않기 때문에 정상분을 추정함에 있어 오차를 발생한다.

따라서 본 논문에서는 측정된 전원 전압으로부터 정상분을 추출하기 위해 본 논문에서는 그림1과 같은 일반화된 2차 적분기(Second Order Generalized Integrator)를 사용하는 PLL 구조를 사용한다.

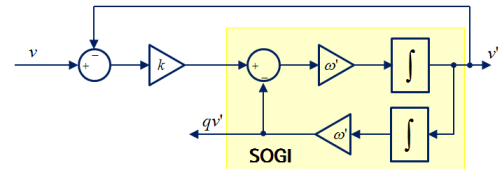


그림 1 SOGI를 사용한 QSG
 Fig. 1 SOGI-QSG scheme

SOGI를 사용한 QSG의 전달함수는 다음과 같다

$$D = \frac{v'}{v} = \frac{kw's}{s^2 + kw's + w'^2} \quad (4)$$

$$Q = \frac{qv'}{v} = \frac{kw'^2}{s^2 + kw's + w'^2}$$

여기서 k 는 직교 성분 출력(qv')에서 직류 성분이 증폭되는 것을 방지하기 위해 1로 설정한다. 전달함수 D 는 입력신호 v 와 동일한 위상을 가지는 w' 주파수 성분의 신호 v' 을 출력하고, 전달함수 Q 는 입력신호와 90° 위상차를 가지는 w' 주파수 성분의 신호 qv' 을 추출한다. 이를 통해 90° 위상차 신호를 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 고조파 성분도 필터링 할 수 있다.

2.3 DSOGI를 이용한 정상분 검출

제한한 DSOGI-QSG는 $\alpha\beta$ 축의 PSC(positive sequence calculator) 입력신호이며 그림2와 같은 구조이다.

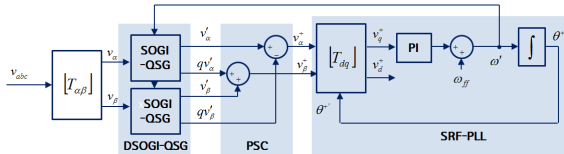


그림 2 제한한 DSOGI-PLL 블록도
Fig. 2 Block diagram of the SOGI-PLL

상전압으로부터 α, β 좌표계로 변환한 다음 DSOGI-QSG를 사용하여 α 축 전압과 이차 직교하는 전압, β 축 전압과 이차 직교하는 전압을 추출할 수 있다. 추출된 4개의 전압정보를 (3)에 대입하여 정상분 α, β 전압을 얻고 dq 좌표계로 변환하여 SRF-PLL 블록의 입력으로 사용하면, 전원 전압의 불평형 및 고조파 왜곡에도 정확한 전원각을 추정 할 수 있다.

$$V_{dq}^+ = \begin{bmatrix} V_d^+ \\ V_q^+ \end{bmatrix} = [T_{dq}] V_{\alpha\beta}^+ ; [T_{dq}] = \begin{bmatrix} \cos \theta^+ & \sin \theta^+ \\ -\sin \theta^+ & \cos \theta^+ \end{bmatrix} \quad (5)$$

3. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 수행 하였다. 그림 3은 기존의 방법으로 a상에 고조파로 인한 왜곡이 있으며 0.1[sec] 후에 전압이 50% 강하되도록 설정한 것이다. 그림4(a)는 입력되는 3상 전압을 (b)는 위상각을 (c)는 출력전압을 나타내며 그림 4는 이를 확대한 것이다.

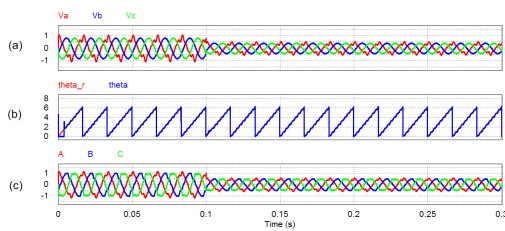


그림 3 종래의 SRF-PLL의 특성 신호
Fig. 3 Characteristic signals of the conventional SRF-PLL Method

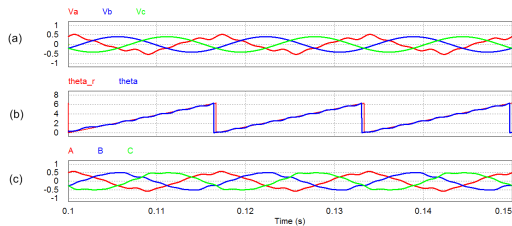


그림 4 종래의 SRF-PLL의 특성 신호 확대
Fig. 4 Enlarge a characteristic signals of the conventional SRF-PLL Method

기존의 SRF-PLL 방법은 a상의 왜곡으로 인해 위상각을 추정함에 있어도 찌그러진 에러가 발생하며 출력되는 3상 전압에 모두 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

그림 5는 제안한 DSOGI-PLL 방법을 시뮬레이션 한 것으로 입력신호에 왜곡이 있으나, 위상각을 잘 추종하며 양호한 상전압을 출력한다.

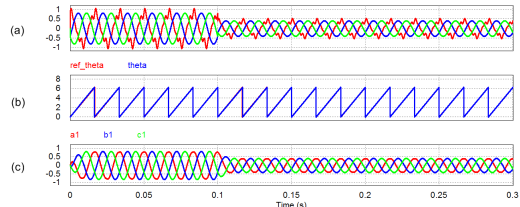


그림 5 제안한 DSOGI-PLL의 특성 신호
Fig. 5 Characteristic signals of the proposed DSOGI-PLL

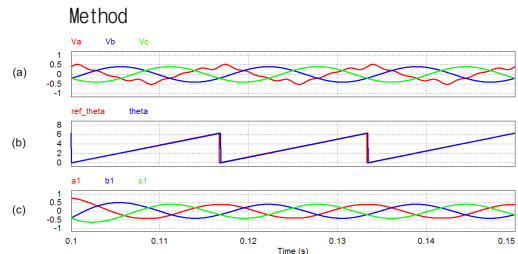


그림 6 제안한 DSOGI-PLL의 특성 신호 확대
Fig. 6 Enlarge a characteristic signals of the proposed DSOGI-PLL Method

4. 결 론

본 논문에서는 계통사고 시 전력변환기의 동기화를 위한 정상분 전압 검출을 기반으로 하는 DSOGI-PLL을 제안 하였다. 기존의 SRF-PLL 방법과 비교를 통해 전원 전압의 불평형 및 고조파 왜곡에도 정확한 전원각을 추정하여 본 논문의 타당성을 입증하였다.

본 논문은 호남광역경제권 선도산업육성사업의 “대용량 해상풍력발전기용 VSC-MVDC 시스템 기술 개발” 과제의 지원으로 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] C. Jauch, J. Matevosyan, T. Ackermann, and S. Bolik, “International comparison of requirements for connection of wind turbines to power systems,” Wind Energy, vol. 8, pp. 295-306, Jul. 2005.
- [2] A. Ghosh and A. Joshi, “A new algorithm for the generation of reference voltages of a DVR using the method of instantaneous symmetrical components,” IEEE Power Eng. Review, vol. 22, pp. 63-65, Jan. 2002.
- [3] V. Kaura and V. Blasco, “Operation of a phase locked loop system under distorted utility conditions,” IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 33, pp. 58-63, Jan./Feb. 1997.