

전압센서를 사용하지 않는 계통연계 인버터 구현을 위한 계통전압의 추정 및 위상보상 기법

김현수, 김경화*
서울과학기술대학교

Estimation and Phase Lag Compensation of Grid Voltages for Voltage-sensorless Grid-connected Inverter

Hyun-Sou Kim, Kyeong-Hwa Kim
Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

최근 신재생에너지 발전시스템 등 분산전원 시스템을 활용하는 경우가 증가함에 따라 마이크로그리드의 효율적인 제어와 안정성에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 분산전원 발전 설비를 마이크로그리드에 연계하기 위해서는 계통연계 인버터가 필수적으로 요구된다. 계통연계 인버터를 구성하기 위해서는 계통전압과 인버터 출력 전류 등을 측정하기 위한 센서가 요구되며 이는 계통연계 인버터의 생산비용을 상승시키는 원인이 된다. 본 논문에서는 계통연계 인버터의 경제성을 향상시키기 위해 전압센서를 사용하지 않는 새로운 인버터의 제어기법을 제안한다. 제안된 기법은 전압센서를 사용하지 않고 인버터 출력전류 정보와 외란관측기를 이용해 계통전압을 추정한다. 하지만 외란관측기로 계통전압을 추정하는 경우 관측기의 한정된 대역폭으로 인해 추정 계통 전압에는 위상 지연이 발생하며 이는 제어 성능 저하의 원인이 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 추정 계통 전압의 위상지연을 보상하기 위한 위상 보상기법이 설계된다. 제안된 기법의 안정성과 성능이 시뮬레이션 및 실험을 통해 입증된다.

1. 서 론

신재생 에너지를 이용한 분산발전 시스템의 수가 증가함에 따라 분산전원을 전력계통에 연계하기 위한 계통연계 인버터에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^[1]. 그러나 계통전압에 고조파와 왜곡 및 불평형 등의 비이상적 왜곡이 발생한 경우에도 계통연계 인버터의 전력품질을 유지하기 위한 전력품질 향상 기법에 관한 연구에 비해 계통연계 인버터의 성능을 유지하면서도 경제성을 향상시키기 위한 연구는 여전히 부족한 상태이다.

계통연계 인버터를 통해 분산전원이나 에너지 저장 시스템을 전력계통 혹은 마이크로그리드에 연계하기 위해서는 계통전압에 대한 정보가 필수적으로 요구된다^[2]. 계통전압 정보를 얻기 위해서는 전압센서가 사용되며 이는 계통연계 인버터의 제조비용을 증가시키는 원인 중 하나이다.

최근 외란에 의한 시스템 출력의 강인성을 보장하기 위한 외란관측기 기반의 제어기에 관한 연구가 진행되었다^[3]. 계통연계 인버터의 제어 관점에서 계통전압은 외란 성분으로 간주할 수 있으며 따라서 계통연계 인버터에 전압센서를 사용하지 않

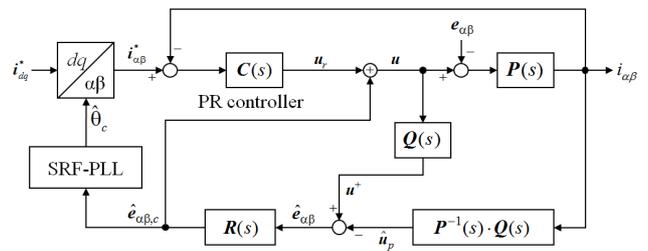


그림 1 제안된 센서리스 제어기법의 블록선도
Fig. 1 Overall block diagram of the proposed sensorless scheme

은 경우에도 외란관측기를 통해 인버터의 출력전류 정보와 제어기 입력 정보로부터 계통전압을 추정할 수 있다.

본 논문에서는 전압센서를 사용하지 않는 외란관측기 기반의 계통연계 인버터의 제어기법을 제안한다. 외란관측기로 계통전압을 추정하는 경우 관측기의 한정된 대역폭으로 인해 추정 계통 전압에는 위상 지연이 발생하며 이는 제어 성능 저하의 원인이 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 추정 계통 전압의 위상지연을 보상하기 위한 위상 보상기법이 설계된다. 제안된 기법의 성능과 타당성이 시뮬레이션을 통해 입증된다.

2. 제안된 전류제어 기법

그림 1은 제안된 센서리스 제어기법의 블록선도를 나타낸다. 계통연계 인버터를 통해 전력계통에 주입되는 유효전력 및 무효전력을 제어하기 위해 동기좌표계 상의 인버터 출력전류가 제어되어야 한다. 동기좌표계 상의 인버터 출력전류 명령치 i_{dq}^* 는 정지좌표계 값 $i_{\alpha\beta}^*$ 으로 변환되며 Proportional-resonant (PR) 제어기 $C(s)$ 에 의해 정지좌표계 상에서 인버터의 출력전류 $i_{\alpha\beta}$ 가 제어된다. PR 제어기의 출력 u_r 과 위상지연이 보상된 외란관측기의 출력 $\hat{e}_{\alpha\beta,c}$ 의 합 u 는 계통연계 인버터의 출력전압 명령치가 되며 Space Vector Pulse-width Modulation (SVPWM)을 통해 계통연계 인버터의 출력전압 $v_{\alpha\beta}$ 이 발생하게 된다. 인버터의 출력전압 $v_{\alpha\beta}$, 계통전압 $e_{\alpha\beta}$ 및 인버터 출력전류 $i_{\alpha\beta}$ 는 다음과 같은 관계를 가진다.

$$v_{\alpha\beta} = \begin{bmatrix} r & 0 \\ 0 & r \end{bmatrix} i_{\alpha\beta} + \begin{bmatrix} L & 0 \\ 0 & L \end{bmatrix} \dot{i}_{\alpha\beta} + e_{\alpha\beta} \quad (1)$$

* 교신저자

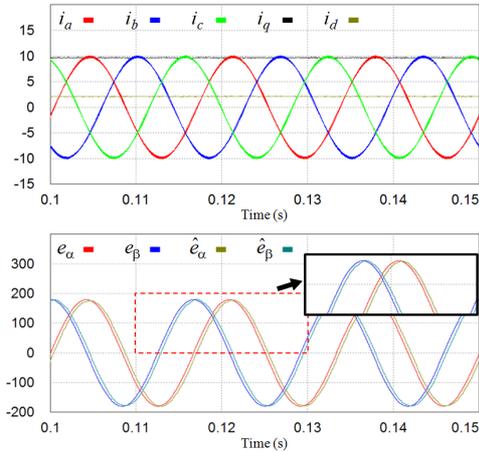


그림 2 위상지연 보상이 적용되지 않은 제안된 센서리스 제어기법의 시뮬레이션 결과
Fig. 2 Simulation result of the proposed sensorless control scheme without phase lead compensation

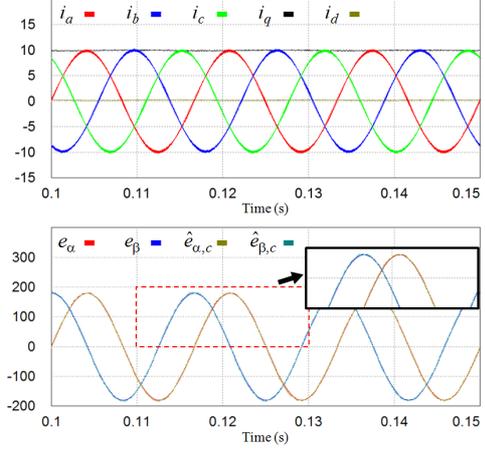


그림 3 위상지연 보상이 적용된 제안된 센서리스 제어기법의 시뮬레이션 결과
Fig. 3 Simulation result of the proposed sensorless control scheme with phase lead compensation

이때 r 과 L 은 필터의 저항과 인덕턴스의 크기이다. 따라서 시스템의 전달함수 $P(s)$ 는 다음과 같다.

$$P(s) = \frac{1}{Ls+r} \quad (2)$$

시스템의 안정성을 유지하기 위해서는 외란관측기 구성 시 저역통과필터 $Q(s)$ 가 포함되어야 한다^[3]. 그러나 저역통과필터의 지연성분으로 인해 외란관측기를 통해 추정된 계통전압 정보는 실제 계통전압정보에 비해 위상이 지연된다. 시스템의 안정성을 유지하면서 외란관측기를 통해 추정된 계통전압 정보 $\hat{e}_{\alpha\beta}$ 의 상용전원 주파수 대역 내 위상지연을 보상하기 위해 다음과 같은 위상보상기 $R(s)$ 가 사용된다.

$$R(s) = A_o \frac{1+s/\omega_p}{1+s/\omega_z} \quad (3)$$

여기서 ω_p 는 위상보상기의 극점, ω_z 는 위상보상기의 영점이다.

3. 시뮬레이션 결과

제안된 기법의 안정성과 성능을 입증하기 위해 시뮬레이션이 수행되었다. 그림 2는 위상지연 보상이 적용되지 않은 센서리스 제어기법의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 반면 그림 3은 위상지연 보상이 적용된 제안된 센서리스 제어기법의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 두 시뮬레이션은 모두 동기좌표계 q 축 전류명령 10[A], d 축 전류명령 0[A], 계통 선간전압의 크기 220[V_{rms}], 계통 주파수 60[Hz]의 조건에서 수행되었다.

그림 2는 3상 인버터 출력 전류 i_a, i_b, i_c , 동기좌표계 상에서의 출력전류 i_q, i_d , 정지좌표계 상에서의 실제계통전압 e_α, e_β 와 외란관측기를 통해 추정된 정지좌표계 상의 계통전압 $\hat{e}_\alpha, \hat{e}_\beta$ 를 나타낸다. \hat{e}_α 와 \hat{e}_β 에 위상지연이 존재하므로 인버터의 출력전류에 위상지연이 발생하게 되며 동기좌표계 상에서 d 축 전류 명령치가 0[A]로 정확히 제어되지 않는다.

그러나 그림 3에서는 위상보상기에 의해 보상된 계통전압 추정정보 $\hat{e}_{\alpha,c}$ 와 $\hat{e}_{\beta,c}$ 가 실제 계통전압과 정확히 일치함을 확인할 수 있으며 그 결과 그림 2와 달리 인버터의 출력 전류에 위상지연이 발생하지 않으며 동기좌표계 상에서 d 축 출력전류가 정확히 제어됨을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 전압센서를 사용하지 않는 새로운 전압센서리스 계통연계 인버터 전류제어 기법을 제시하였다. 제안된 기법은 외란관측기와 위상보상기를 통해 전압센서 없이도 계통전압을 추정하며 동기좌표계 상에서의 전류 주입 명령치에 따라 계통연계 인버터의 출력전류를 안정적이고 정확하게 제어할 수 있다. 시뮬레이션을 통해 제안된 방식의 성능을 입증하였다.

이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (NRF-2014R1A1A2056436).

참 고 문 헌

- [1] S.W. Kang and K.H. Kim, "Sliding Mode Harmonic Compensation Strategy for Power Quality Improvement of a Grid-Connected Inverter under Distorted Grid Condition", IET Power Electronics, Vol. 8, No. 8, pp. 1461-1472, 2015, August.
- [2] H. Abu-Rub, J. Guzinski, Z. Krzeminski, and H.A. Toliyat, "Predictive Current Control of Voltage-Source Inverters", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 51, No. 3, pp. 585-593, 2004, June.
- [3] J.H. Back and H.B. Shim, "An Inner-Loop Controller Guaranteeing Robust Transient Performance for Uncertain MIMO Nonlinear Systems", IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 54, No. 7, pp. 1601-1607, 2009, October.