

# 역상분 전류 주입을 이용한 계통 등가 임피던스 추정 기법

박찬솔\*, 송승호\*†, 임지훈\*\*

\*광운대학교 전기공학과

\*\*한국전력공사 전력연구원

## Grid Impedance Estimation Method Using Negative Sequence Current Injection

Chan-sol Park\*, Seung-Ho Song\*†, Ji-Hoon Im\*\*

\*Dept. of Electrical Engineering, Kwangwoon Univ.

\*\*Korea Electric Power Research Institute, Korea

### ABSTRACT

본 논문은 계통에 전력을 변동하여 계통 임피던스를 추정하는 기법의 문제점을 분석하고 개선된 역상분 전류 주입을 이용한 임피던스 추정 기법을 제안한다. 기존의 계통 임피던스 추정 기법에서는 유, 무효 전력의 크기를 변화시키고, 그에 따른 두 동작점에서 측정된 전압의 변동량을 통해 계통 임피던스를 계산한다. 하지만 일반적인 계통 연계형 인버터에는 전원 전압의 위상을 추종하는 PLL이 동작하고 있으며, 이 PLL은 정상 상태에서 얻을 수 있는 전류 주입에 따라 발생하는 d-q축 전압의 변동량을 왜곡시켜 추정 오차를 유발한다. 따라서 본 논문에서는 불평형 전원을 독립적으로 제어하는 듀얼 제어기와 정상분 PLL 기법을 사용하여 역상분 전류에 의한 역상분 전압의 변동량만으로 PLL에 의한 PCC 전압의 정상 상태 측정 오차를 제거하여 계통 임피던스를 정확히 추정하는 기법을 제안한다.

### 1. 서론

신재생 에너지의 중요성이 증가하면서 태양광 발전이나 풍력 발전 등의 계통 연계 형 인버터 시스템의 사용이 크게 증가함에 따라서 섬과 같은 약한 강도를 갖는 Micro Grid에 전력 공급이 이루어지고 있다. 이런 경우 계통에 존재하고 있는 계통 임피던스의 크기가 인버터 출력단 필터의 임피던스에 비해 무시할 수 없을 만큼 클 수 있고, 이것은 전류 제어기의 안정도나 응답특성에 큰 영향을 줄 수 있다. 이러한 제어기의 성능 저하를 극복하기 위해 계통 임피던스를 정확히 아는 것이 전류 제어기 설계에 중요한 부분으로 요구된다. 또한 계통 연계 규정에서 요구하고 있는 PCC 전압의 변동 범위를 만족시키기 위해 무효전류 주입을 이용한 전압 보상 기법에는 계통 임피던스를 정확히 아는 것이 필수적이다.

본 논문에서는 PCC에서 바라보는 계통 임피던스의 구성과 이에 따라 발생하는 PCC 전압의 전압 변동을 이해한다. 그리고 일반적인 인버터에서 사용되는 PLL 기능에 의해 발생하는 기존의 PQ 변동을 이용한 계통 임피던스 추정 기법의 오차를 분석하고, 이 문제를 해결하기 위해 본 논문에서 제안하고 있는 역상분 전류 주입을 이용한 추정 기법에 대해 설명한다. 제안한 알고리즘은 PSIM 시뮬레이션과 실험을 통해 검증한다.

### 2. 계통 임피던스 추정 기법

#### 2.1 계통 임피던스의 구조

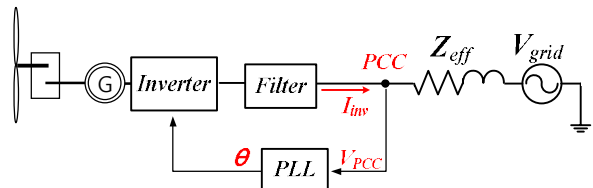


Fig.1 Point of Common Coupling(PCC) and grid impedance( $Z_{eff}=R_{eff}+jX_{eff}$ )

본 논문에서 다루고 있는 계통 임피던스는 인버터의 계통 연계 시 연계 지점으로부터 이상적인 모션 전압원까지 존재하는 부하 및 선로에 존재하는 임피던스( $Z_{eff}=R_{eff}+jX_{eff}$ )를 의미한다. Fig.1은 계통 연계 형 인버터가 전압과 전류를 센싱받는 계통 연계 지점 PCC와 계통 임피던스의 구조를 보인다.

#### 2.2 PQ변동을 이용한 계통 임피던스 추정 기법

인버터의 계통 연계 시 인버터가 인식하는 PCC 전압은 식 (1)과 같이 계통 전압과 계통 임피던스에 의한 전압 강하만큼의 전압이 더해진 값이다. 따라서 기존의 추정 기법에서는 전류주입량 변동에 따른 PCC 전압의 변동량을 이용하여 계통 임피던스를 추정하였다. 이 때의 임피던스 계산 식은 식 (2), (3)와 같다.[1]

$$V_{PCC} = V_{grid} + Z_{eff} \times I_{inv} \quad (1)$$

$$R_{eff} = \frac{\Delta V_d^e \times \Delta I_d^e + \Delta V_q^e \times \Delta I_q^e}{\Delta I_d^e{}^2 + \Delta I_q^e{}^2} \quad (2)$$

$$X_{eff} = \frac{\Delta V_d^e \times \Delta I_q^e - \Delta V_q^e \times \Delta I_d^e}{\Delta I_d^e{}^2 + \Delta I_q^e{}^2} \quad (3)$$

하지만, 위와 같은 방법으로 계통 임피던스를 추정하는 경우 계통 연계형 인버터의 PLL에 의해 오차가 발생한다. Fig.2 (a)는 정상분 q축 전류 주입 시 발생하는 PCC 전압의 변동을 벡터로 나타낸 그림이다. 계통 측 등가 저항과

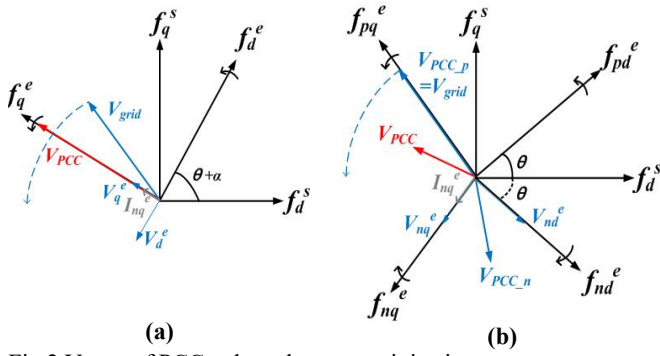


Fig.2 Vector of PCC voltage by current injection  
(a) by positive sequence q axis current injection(conventional)  
(b) by negative sequence q axis current injection(proposed)

인덕턴스에 의한 전압 벡터가 더해지면 새로운 PCC 전압 벡터는 기존 전압에 비해 크기와 위상각( $\alpha$ )의 차이가 발생하며 PLL 알고리즘은 이렇게 변동된 PCC 전압의 위상각을 추종하게 되므로 동기좌표 d-q축이 새로운 PCC 전압 벡터를 따라 이동하게 된다. 그 결과 새로운 d-q축에서 계산된(측정된) dq 전압으로 계통 등가 임피던스를 추정하면 오차가 발생한다.[2]

### 2.3 역상분 전류 주입을 이용한 계통 임피던스 추정 기법

본 논문에서 제안하는 계통 임피던스 추정 기법은 PCC 전압을 독립적인 정상분과 역상분으로 분리하여 각각 제어하는 듀얼 제어기를 이용하여 역상분 전류 주입에 의한 역상분 전압 변동량을 이용하여 계통 임피던스를 추정한다. Fig.2 (b)는 역상분 전류 주입 시 발생하는 PCC 전압의 변동을 나타낸 벡터도이다. 역상분 전류 주입 시 PCC 전압은 기존 기법과 마찬가지로 크기와 위상이 변동하지만, PLL이 추종하는 정상분 전압은 일정하게 유지되어 있으므로 d-q축의 회전이 발생하지 않는다. 따라서 역상분 d-q축 전압은 정확한 값으로 측정이 가능하기 때문에 계통 임피던스는 식 (4)와 같이 계산이 가능하다.

$$R_{eff} = \frac{\Delta V_{nd}^e}{\Delta I_{nq}^e}, X_{eff} = -\frac{\Delta V_{nq}^e}{\Delta I_{nq}^e} \quad (4)$$

### 3. 시뮬레이션 및 실험

PSIM 시뮬레이션과 실험으로 제안한 계통 임피던스 추정 기법을 검증하였다. 사용된 계통 임피던스의 파라미터는 Table 1과 같다. 계통 임피던스는 Zeff1에서 일정 시간 이후 Zeff2로 변동하는 계통을 모의하였다. Fig.3은 시뮬레이션, Fig.4는 실험 파형을 나타낸다. 역상분 전류의 지속적인 주입은 전력의 품질을 저하시킬 수 있기 때문에 정상상태에서 임피던스를 계산한 후 역상분 주입을 중단하였다.

Table 1 Simulation and experiment parameters

Name	Value	Name	Value
Zeff1	0.54+j1.42	Zeff2	1.27+j1.66

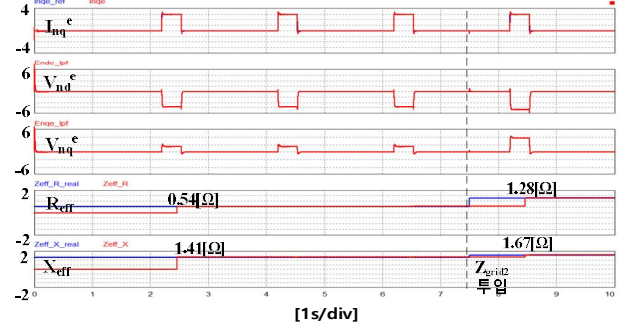


Fig.3 Simulation result of grid impedance estimation using negative sequence current injection

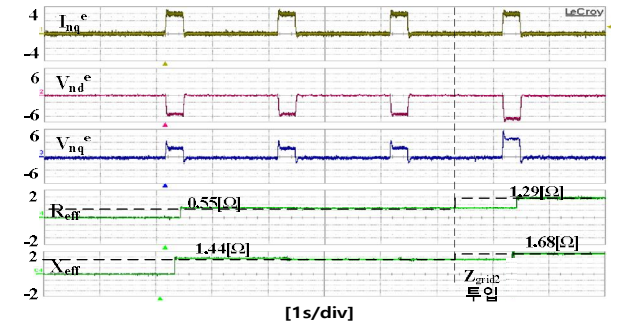


Fig.4 Experimental result of grid impedance estimation using negative sequence current injection

## 4. 결론

본 논문에서는 계통 임피던스의 구조와 기존 전력 변동을 이용한 계통 임피던스를 추정하는 기법에서 PLL이 발생시키는 임피던스 추정 오차를 설명하고, 역상분 전류 주입을 통해 계통 임피던스를 추정하였다. 이상적인 계통 모의 전원과 LCR미터를 이용한 임피던스 값을 이용해 실행한 시뮬레이션과 실험 결과 모두 오차율이 2%이내로 정확한 값을 보였다.

제안하는 추정 알고리즘은 유, 무효 전력의 출력 변동이나 계통 전원의 불평형 등의 조건에서도 정확한 추정이 가능하며, 전류 제어기의 응답성 향상 또는 PCC 전압의 변동량 보상 등에 활용이 가능하다.

본 논문은 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구입니다. (NO. 20142010103010)

## 참고 문헌

- [1] Timbus, A.V, Rodriguez, P, Teodorescu, R., Ciobotaru, M, "Line Impedance Estimation Using Active and Reactive Power Variations ", Power Electronics Specialists Conference, 2007. PESC 2007. IEEE, 17-21 June 2007, 1273 – 1279
- [2] 조제희, 김용욱, 김래영, "PQ변동을 이용한 개선된 계통 임피던스 추정기법", 전력전자학회 논문지 제 20권 제2호, 2015.4, 152-159 (8 pages)