

# 불평형을 포함한 PCC전압 유지를 위한 분산전원의 제어전략

임지훈, 송승호, 정승기, 최주엽  
 광운대학교 전기공학과

## A Control Algorithm of Distributed Generation for Maintaining PCC Voltage even during Unbalanced Voltage Conditions

Ji Hoon Im, Seung Ho Song, Seung Gi Jeong, Ju Yeop Choi  
 Dept. of Electrical Engineering, Kwangwoon University

### ABSTRACT

본 논문에서는 분산전원의 출력여부와 상관없이 계통연계지점의 (PCC : Point of Common Coupling) 전압제어를 위한 새로운 알고리즘을 제안한다. 또한, PCC전압이 불평형을 포함했을 때에도 분산전원이 PCC 전압유지를 위한 보상을 할 수 있음을 제안한다. 이를 구현하기 위해 분산전원은 전압유지를 위해서는 무효분 전류를, 불평형 보상을 위해서는 역상분 전류를 이용한다. PSIM 시뮬레이션을 통해 이를 증명하였다.

### 1. 서 론

오늘날 분산전원은 계통의 사고 혹은 전력부족 시에도 이에 유연하게 대처할 수 있는 전력수급 대안으로 각광받고 있다. 그러나 이러한 분산전원의 증가는 계통의 전력품질에 문제점을 야기할 수 있다. 특히 분산전원의 연계로 인한 전압변동은 빈번하게 발생하는 문제로써 분산전원 설치 시 반드시 고려되어야 할 사항이다.<sup>[1]</sup> 이와 더불어 계통에 불평형 문제가 공존한다면 PCC의 전압변동으로 인해 PCC 전압이 정상범위를 벗어날 위험성이 더 높아진다. 이와 같은 전압보상을 위해 무효전력 제어, PCC 역상분전압 피드백 제어 등을 활용하고 있으나<sup>[2]</sup>, 다수대의 분산전원이 계통에 유입될 경우 제어기 충돌위험이 존재한다.

따라서, 본 논문에서는 PCC 전압보상을 위한 무효분전류와 역상분 전류의 값을 수식으로 계산하였으며, 개루프 제어를 실행하였다. 시뮬레이션을 통해 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 PCC 전압변동

분산전원의 연계로 인한 PCC의 전압  $V_{PCC}$ 는 (1)과 같이 간략하게 쓸 수 있다.<sup>[3]</sup> 만약, 기존 PCC의 전압  $V_{PCC0}$ 에 불평형이 존재한다면 (1)은 정상분과 역상분에 관한 식으로 각각 나누어 쓸 수 있다. 즉, 분산전원의 정상분 출력은 PCC의 정상분 전압에 관여하여, 역상분 출력은 역상분 전압에 관여한다.

때문에, 분산전원이 정상분인 유효전력을 출력하게 되면, 계통연계지점의 전압은 (1)과 같이 등가임피던스  $Z_{effect}$ 에 의해 출력량과 연관되어 변동하게 된다. 이 때, 등가임피던스는 PCC에서 바라본 계통임피던스와 부하에 따라 달라진다. 그림 1에서와 같이 PCC전압은 분산전원의 유효전력 출력  $I_{pqe}$ 에 의해 기존 PCC전압과 출력량이 더해져  $V_{PCC\_new}$ 의 크기로 바뀌게 된다.

$$V_{PCC} = V_{PCC0} + Z_{effect} I_{DG} \quad (1)$$

Where

$V_{PCC}$  : PCC voltage with DG output

$V_{PCC0}$  : PCC voltage without DG output

$I_{DG}$  : Output active current of DG at dq frame

$Z_{effect}$  : Equivalent Impedance at PCC

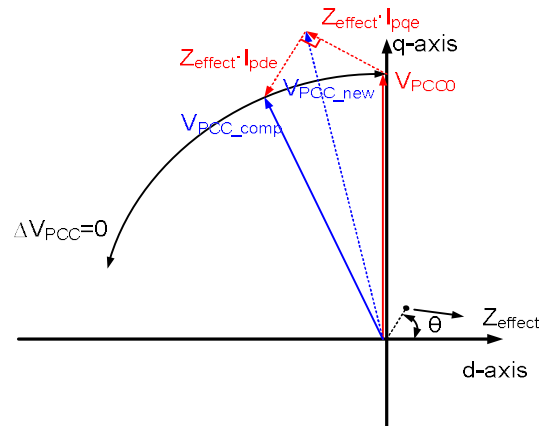


그림 1 무효전력 보상에 의한 PCC 전압변동 저감

Fig. 1 PCC voltage variation by supporting reactive power

#### 2.2 무효전력을 이용한 전압변동의 보상

그림 1은 무효전력을 통한 전압변동 보상을 나타낸다. 분산전원의 유효전력 출력  $I_{pqe}$ 에 의해 변동한 전압은 이와 직교하는 전류 출력  $I_{pde}$ 을 통해 분산전원의 출력이 없을 때의 PCC전압과 보상하는 것이 가능하다. 이 때, 분산전원의 출력 유무에 따라 두 전압벡터의 크기를 같게 만드는 무효분 전압벡터의 크기를 구할 수 있다.<sup>[3]</sup>

#### 2.3 전압 불평형 보상

(1)에서 역상분에 관한 식을 정리하면 (2)와 같이 쓸 수 있다. 그림 2는 역상분 전압을 제거하기 위한 분산전원의 역상분 전류에 대해 설명하고 있다. PCC의 역상분 전압  $V_{n\_init}$ 는 분산전원의 역상분 d축과 q축 전류의 조합에 의해 제거될 수 있으며, 이 때, 역상분 전압을 완전히 제거하는 경우 (2)의 좌항은 0이 된다. (3)에서는 좌항이 0일 경우 (2)를 전개하여 분산전원이 필요로 하는 d축과 q축 전류를 나타내었다.

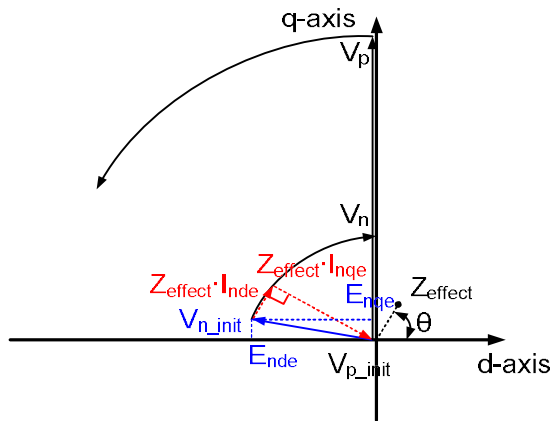


그림 2 역상분 전류를 통한 PCC 역상분 전압 보상  
Fig. 2 PCC negative sequence voltage compensation phasor diagram with negative sequence current

$$\mathbf{E}_n = \mathbf{E}_{n0} + \mathbf{Z}_{effect} \mathbf{I}_n \quad (2)$$

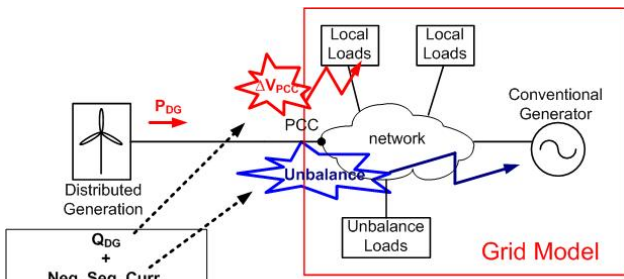
Where

$\mathbf{E}_n$  : The negative sequence voltage complex vector

$\mathbf{E}_{n0}$  : The negative sequence voltage complex vector without DG output

$\mathbf{I}_n$  : The negative sequence current complex vector

$$\begin{bmatrix} I_{nde} \\ I_{nqe} \end{bmatrix} = \frac{1}{Z_{effect}} \begin{bmatrix} -\cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & -\cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{nde} \\ E_{nqe} \end{bmatrix} \quad (3)$$



DG Compensation  
그림 3 PCC 전압변동과 불평형 보상을 위한 DG의 역할  
Fig. 3 Compensation of DG for voltage variation and unbalanced voltage at PCC

위에서 언급했듯이 등가임피던스를 알 경우 전압변동에 대한 보상전류와 불평형에 대한 보상전류를 계산하는 것이 가능하다. 그림 3은 분산전원의 각각의 보상전류가 담당해야 할 역할이며, DG의 유효전력 출력을 1pu라고 가정하면 보상전류를 모두 출력하기 위한 DG의 인버터 용량은 매우 커질 수 있다.

그러나, 무효전류의 출력은 분산전원으로 인한 것이기 때문에 이로 인해 PCC 정격전압범위를 벗어난다면 연계를 위해 반드시 행해져야 한다. 반면, 불평형 전압보상은 분산전원으로써는 선택사항이나, 불평형이 심한 계통의 경우에는 보상기간의 충돌위험이 낮기 때문에 효과적인 불평형 대책이 될 수 있다. 때문에 제안된 방법은 DG의 출력전류가 다소 증가되더라도 불평형 문제를 해결하는 방법이 될 수 있다.

## 2. 4 시뮬레이션

그림 4는 역상분 6%가 존재하는 PCC에 분산전원이 연계되었을 경우 PSIM을 이용한 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

0.1[s]과 0.2[s]에서 각각 유효전력 출력이 0.5[pu]와 1[pu]일 때 최대 4%의 정상분 RMS 전압의 상승이 나타난다. 이 경우, 정상분 4%, 역상분 6%로 전압의 정상범위 90~110%를 벗어나므로 계통분리의 원인이 될 수 있다.

따라서, 0.3[s]에서는 계산된 무효전류 보상값을 출력하여, 상승된 정상분 전압을 보상할 수 있다. 이에 따라, 정상분 전압은 다시 1[pu]값을 유지할 수 있다. 0.4[s]에서는 계산된 역상분 전류를 출력하여, 역상분 전압에 대한 보상을 실행하였다. 이에 따라, 역상분 전압의 RMS값은 6%에서 0%로 보상되었다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 분산전원이 계통에 연계되었을 때 유효전력 출력에 따른 전압변동을 보상할 수 있음을 제시하였다. 또한, PCC 전압의 불평형이 존재할 경우에도 이를 계산하여 보상이 가능함을 제시하였다. 정상분 전압보상량은 분산전원 출력과 등가 유효임피던스 ( $Z_{effect}$ )의 함수이며, 역상분 전압보상량은 등가 유효임피던스에 비례한다. 이를 이용하여, PCC 전압변동의 보상량과 역상분에 대한 전압보상량 계산이 가능하며, 향후 DG의 유효전력 연계용량에 관해 DG의 인버터 용량을 산정하는 방법을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

이 계산결과를 검증하기 위하여 PSIM 시뮬레이션을 실행하였다.

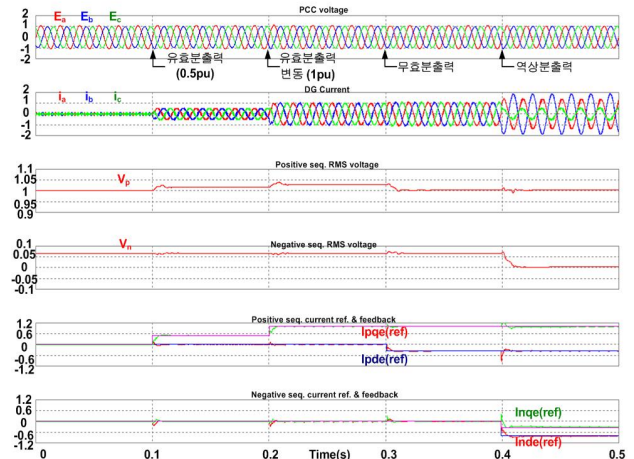


그림 4 무효전력보상 및 역상분 전압 보상 시뮬레이션  
Fig. 4 Simulation of reactive power compensation and negative sequence voltage compensation

## 참 고 문 헌

- [1] C. L. Su, "Comparative analysis of voltage control strategies in distribution networks with distributed generation", 2009 IEEE PES, pp. 1~7, Jul. 2009.
- [2] Tzung Lin Lee, Shang Hung Hu, Yu Hung Chan, "D STATCOM with positive sequence admittance and negative sequence conductance to mitigate voltage fluctuations in high level penetration of distributed generation systems", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol.60, No. 4, pp. 1417~1428, Apr. 2013.
- [3] Ji Hoon Im, Seung Ho Song, "Calculation and compensation of PCC voltage variation using a grid connected inverter of a wind turbine in a weak grid", INTELEC 31th International, pp.1~6, Oct. 2009.