

분산전원용 인버터의 유효 무효전력 감결합을 통한 PQ제어 과도상태 특성개선

최철훈¹, 최종우[†], 이창희²

Improved Transient Response of Distributed Energy Resources Inverters to PQ Control using Decoupling

Chul-Hoon Choi¹, Jong-Woo Choi[†], and Chang-Hee Lee²

Abstract - This paper deals with the active and reactive power control of Grid connected system. It was shown that active power and reactive power can be dependently controlled with two individually adaptable parameters. The two parameters are power angle and voltage magnitude. Transient state will occur with active or reactive power reference value variation. This paper presents a new control strategy for active and reactive power control of less interaction and improved transient response. The paper details the control technique by the mathematical and electrical network analysis of the methodology. The performance was verified through computer simulation using MATLAB Simulink and experiment.

Keywords: distributed energy resources (DER), PQ control

1. 서 론

전세계는 에너지 문제와 환경 문제를 해결하기 위해 선진국을 중심으로 대체에너지의 기술개발과 보급에 매진하고 있다. 유럽 신재생에너지 위원회는 2040년 신재생에너지의 비중이 전 세계 에너지 소비의 30~50%에 다다를 것으로 전망하고 있다. 유럽의 신재생에너지 주도 국가 중 하나인 스웨덴은 바이오 에너지와 풍력발전을 중심으로 2011년 기준으로 신재생 에너지의 비중이 35%에 달하고 있다. 또한 유럽의 다수 국가 및 미국 중국 등의 국가들은 풍력발전을 중심으로 신재생 에너지의 에너지 공급 비중을 키워 가고 있다.^{[1]-[2]} 우리나라 또한 2020년부터 적용 될 교토의정서에 대비하여 서남해 해상풍력 발전단지를 구축하는 등 신재생에너지 산업에 대한 투자를 늘려가고 있다.

이처럼 신재생 에너지의 중요성이 커짐에 따라 마이크로그리드에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 마

이크로그리드는 소형 분산 에너지원으로 이루어진 분산 전원망의 총칭으로, 다수의 수용가들을 위하여 수요지에서 전력을 생산 및 공급하는 기술로, 기본적으로 여러 수용가의 부하 및 분산발전기들이 하나의 덩어리(Cluster)를 형성하게 되는 새로운 개념의 배전망이다.^[3] 마이크로그리드는 외부 계통에서 보았을 때는 독립적으로 제어 가능한 하나의 전원 시스템으로 동작 하게 된다. 여기에 사용되는 분산발전 기술의 대부분이 전력전자 기술을 적용하고 있어, 시스템의 유연성을 제공한다. 또한 수용가의 컴퓨터 등의 민감한 부하에 의해 고품질 전력을 요구함에 따라, 전압문제(voltage sag, swell)에 대한 전력품질을 유지할 수 있는 제어방식으로 전압형 인버터를 채용한 마이크로그리드의 개념이 사용되고 있다.

분산전원은 대부분 전력원이 DC 전원을 생산하고 전압원형 인버터를 사용하여 교류전원을 발생하는 방식을 채택하고 있다. 분산발전 시스템은 크게 계통, 인버터, 부하로 구분되며 이 인버터 시스템과 계통이 연계 되는 경우 전력제어는 매우 중요한 부분이다. 인버터는 부하에 필요한 전력을 공급하면서 계통의 안정도를 유지하여야 하기 때문이다.

다수의 분산전원이 계통에 연계 되었을 경우 분산전원이 전력시스템 및 부하에 유효 및 무효전력을 원활히 공급할 수 있어야 한다. 분산전원의 제어시스템에는 여

Paper number: TKPE-2012-17-5-9 ISSN: 1229-2214
[†] Corresponding author: jwchoi@ee.knu.ac.kr, College of IT Engineering, Kyungpook National University
 Tel: +82-53-950-5515 Fax: +82-53-940-8615

¹ Institute of Industrial Technology, Samsung Heavy Industries, Co., Ltd.

² College of IT Engineering, Kyungpook National University
 Manuscript received Jul. 16, 2012; accepted Aug. 27, 2012

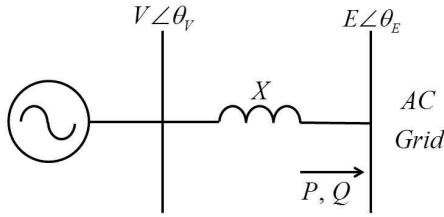


Fig. 1 Ideal model of a distributed generator

러 가지 제어 파라미터가 존재하며 다수의 분산전원의 개개의 제어 파라미터에 의한 유효 및 무효전력의 변동 및 상호 작용에 대한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 이들을 해석하고 각 제어 파라미터의 변화에 따른 유효 및 무효전력의 상관관계를 정리하였다. 이 상관관계를 바탕으로 유효 및 무효전력 지령이 변화할 때 제어 파라미터들의 변화를 분석 하였고, 기존의 PQ제어에서 제어 파라미터에 의한 유효전력과 무효전력의 상호 연관성을 연구하였다. 이러한 유효전력과 무효전력의 제어 파라미터에 대한 상호 연관성에 의해 발생하는 과도 상태에 대한 분석을 통해 이 과도상태를 기존의 PQ제어 방법에 비해 개선할 수 있는 새로운 PQ제어 방법을 제시한다.

분산전원 시스템에서 스위칭 모델을 이용할 경우 모델링의 복잡도가 너무 증가하여 효과적인 해석이 어려워진다. 따라서 기본파 성분을 토대로 한 이상적인 인버터 모델을 이용하여 분산전원 제어시스템에서 유효 및 무효전력과 제어 파라미터 사이의 상관관계를 해석하였다. 모델링 및 모의실험 도구로서 제어 시스템 모의실험에 널리 사용 되고 있는 MATLAB Simulink를 이용하여 인버터를 모델링하고 이를 바탕으로 기존의 PQ제어와 제안한 PQ제어의 응답특성을 비교 하였다. 또한 실험을 통해 그 성능을 검증하였다.

2. 분산전원의 PQ 제어

2.1 분산전원의 PQ제어 원리

그림 1은 분산전원이 계통에 연결된 경우의 단상 모델을 나타낸다. 분산전원 측 단자 전압의 크기와 위상각은 인버터의 제어시스템에 의해 제어되며, 수십~수백 μs정도의 아주 빠른 특성이 있다. 따라서 전력주파수 영역의 해석에서는 순간적으로 동작한다고 가정하여도 큰 오차가 없다. 또한 고조파가 통상 수 % 이내의 값이므로 고조파를 무시하면 분산전원 시스템의 출력은 이상 전압원으로 모델링할 수 있다.^[3] 그림 1에서 θ_V , θ_E 는 각각 분산전원 측 전압의 위상과 계통 측 위상을 나타내며 V , E 는 각각 분산전원 측 전압의 크기와 계통 측 전압의 크기를 나타낸다. 또한 X 는 계통연계용 인덕터의 임피던스 P , Q 는 각각 분산전원에서 공급하는 유효, 무효전력을 나타낸다.

$$P_{3\phi} = \frac{VE}{X} \sin(\theta_p) \quad (\theta_p \equiv \theta_V - \theta_E) \quad (1)$$

$$Q_{3\phi} = \frac{VE}{X} \cos(\theta_p) - \frac{E^2}{X} \quad (\theta_p \equiv \theta_V - \theta_E) \quad (2)$$

그림 1과 같은 시스템을 3상으로 생각하면 분산전원에서 공급하는 유효 및 무효전력은 식 (1), (2)와 같다.

식 (1), (2)에서 계통 측 전압 크기와, 계통연계용 인덕터의 임피던스는 고정된 값이므로, 분산전원 장치에서 공급하는 유효, 무효전력은 분산전원 측 전압의 크기 (V)와 전력각(θ_p)에 의해 결정됨을 알 수 있다. 여기서 전력각의 크기는 계통연계용 인덕터의 임피던스 값에 의해 전력각의 크기가 영향을 받게 되는데, 분산전원의 최대출력을 고려하면 전력각의 크기는 매우 작은 값으로 생각할 수 있다. 이러한 가정 하에 분산전원에서 공급하는 유효, 무효 전력은 식 (3), (4)와 같이 선형 근사화 된다.

$$P_{3\phi} = \frac{VE}{X} \sin(\theta_p) \cong \frac{VE}{X} \theta_p \quad (3)$$

$$Q_{3\phi} = \frac{VE}{X} \cos(\theta_p) - \frac{E^2}{X} \cong \frac{VE}{X} - \frac{E^2}{X} \quad (4)$$

식 (3)을 통해 분산전원 측의 유효전력은 전력각(θ_p)에 큰 영향을 받고, 식 (4)를 통해 분산전원 측의 무효전력은 분산전원의 전압의 크기(V)에 큰 영향을 받음을 알 수 있다.

따라서 유효전력의 제어는 전력계통으로 주입할 유효전력의 지령치 P^* 와 순시유효전력 p 의 차로부터 PI-제어를 통해 마이크로 전원의 출력전압 위상 θ_V 을 결정하면 된다. 식 (3)에서 전력각 θ_p 에 대한 유효전력이 sin 함수로 표현되어 유효전력 제어기의 PI 블록은 선형운전 영역이 최대 $\pm 30^\circ$ 로 제한되고, 유효전력 지령치 P^* 는 분산전원의 전력원의 용량 및 인버터의 정격이 고려되어 제한되어야 한다.^[4]

동일한 맥락으로 무효전력의 제어는 무효전력 지령치 Q^* 와 순시무효전력 q 의 차로부터 PI-제어를 통해 분산전원의 출력전압 크기 V 를 결정하면 된다. 무효전력 제어를 위한 분산전원의 출력전압 크기는 인버터 직류링 크전압 크기에 의해 제한되고, 부하의 정격전압에 대해 통상 0.9~1.1 p.u.로 제한된다. 또한 무효전력의 지령치 Q^* 는 분산전원의 전력원의 용량 및 인버터의 정격이 고려하여 제한되어야 한다.^[4]

2.2 PQ제어에 대한 분석

2.1절의 이론을 바탕으로 널리 알려져 있는 분산전원 장치의 PQ 제어 블록도는 그림 2와 같다. 여기서 e_{abc} , i_{abc} 는 각각 PCC(Point of Common Coupling)지점의 전압, 전류이며 θ_E 는 PLL(Phase Locked Loop)을 통해 추

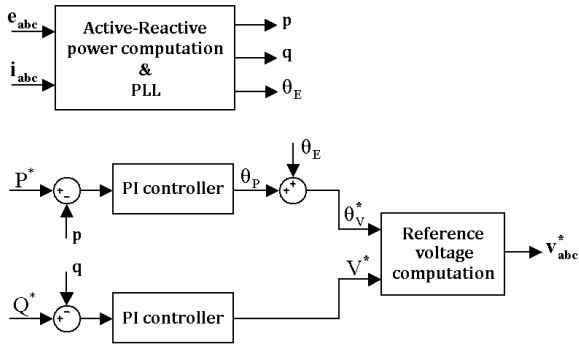


Fig. 2 Block diagram of PQ control

정된 계통 측 위상이다. p , q 는 PCC점의 전압, 전류로 계산한 순시 유효, 무효전력이며, P^* , Q^* 는 유효, 무효전력 지령이다. 그리고 V_{abc}^* 는 분산전원의 출력전압 지령이다.

그림 2에서 볼 수 있듯이 전력각과 분산전원 측의 전압크기에 의해 제어가 이루어진다. 유효, 무효전력과 θ_P , V 의 관계를 해석 해보면, 식 (3), (4)를 통해 이 값들은 비례 관계를 가짐을 알 수 있다. 즉 유효전력 지령이 실제 유효전력 보다 크면, 전력각을 증가시키고, 반대의 경우에는 전력각을 감소시킨다. 또한 무효전력 지령이 실제 무효전력보다 크면 분산전원 측의 전압크기를 증가시키고, 반대의 경우에는 분산전원 측의 전압크기를 감소시키면서 제어가 이루어진다.^{[5]-[7]}

이러한 과도상태를 거쳐 유효, 무효전력의 지령을 추종하는 정상상태에 도달하게 된다. 식 (3), (4)를 이용해 정상상태의 θ_P , V 에 대하여 정리하면 식 (5), (6)과 같다.

$$\theta_P(P_{3\phi}, Q_{3\phi}) = \theta_P(P^*, Q^*) = \tan^{-1}\left(\frac{XP^*}{XQ^* + E^2}\right) \quad (5)$$

$$V(P_{3\phi}, Q_{3\phi}) = V(P^*, Q^*) = \frac{\sqrt{(XP^*)^2 + (XQ^* + E^2)^2}}{E} \quad (6)$$

이러한 정상상태 방정식에 근거하여, 과도상태 해석을 할 수 있다. 유효, 무효전력 변화에 대한 θ_P , V 의 변화는 식 (7)~(10)으로 정리된다.

$$\frac{\partial \theta_P}{\partial p} = \frac{X(Xq + E^2)}{(Xp)^2 + (Xq + E^2)^2} \quad (7)$$

$$\frac{\partial \theta_P}{\partial q} = \frac{-X^2p}{(Xp)^2 + (Xq + E^2)^2} \quad (8)$$

$$\frac{\partial V}{\partial p} = \frac{X^2p}{E\sqrt{(XP)^2 + (Xq + E^2)^2}} \quad (9)$$

$$\frac{\partial V}{\partial q} = \frac{X(Xq + E^2)}{E\sqrt{(XP)^2 + (Xq + E^2)^2}} \quad (10)$$

식 (7)~(10)을 θ_P , V 의 변화량으로 정리하면 식 (11), (12)와 같다.

$$\Delta \theta_P = \frac{\partial \theta_P}{\partial p} \Delta p + \frac{\partial \theta_P}{\partial q} \Delta q \equiv \Delta \theta_{P-P} + \Delta \theta_{P-Q} \quad (11)$$

$$\Delta V = \frac{\partial V}{\partial p} \Delta p + \frac{\partial V}{\partial q} \Delta q \equiv \Delta V_P + \Delta V_Q \quad (12)$$

식 (11)과 같이 전력각의 변화($\Delta \theta_P$)는 유효전력에 의한 변화성분($\Delta \theta_{P-P}$)과 무효전력에 의한 변화성분($\Delta \theta_{P-Q}$)의 합으로 나타낼 수 있다. 식 (7)과 (8)에서 알 수 있듯이 상대적으로 전력각은 무효전력의 변화 보다 유효전력의 변화에 더 큰 영향을 받는다. 즉 전력각의 변화는 무효전력 보다 유효전력의 값에 더 큰 영향을 준다.

같은 맥락으로 식 (12)에서 출력전압의 크기의 변화(ΔV)는 유효전력에 의한 변화성분(ΔV_P)과 무효전력에 의한 변화성분(ΔV_Q)의 합으로 나타낼 수 있다. 식 (9)와 (10)에서 알 수 있듯이 상대적으로 출력전압의 크기는 유효전력의 변화 보다 무효전력의 변화에 더 큰 영향을 받는다. 즉 출력전압 크기의 변화는 유효전력 보다 무효전력의 값에 더 큰 영향을 준다.

이와 같은 상관관계를 바탕으로 전력각과 출력전압의 크기를 이용해 분산전원의 유효, 무효전력 제어가 이루어진다. 하지만 전력각이 변화할 때 유효전력 뿐만 아니라 무효전력에도 영향을 주며, 출력전압의 크기가 변화할 때 무효전력 뿐만 아니라 유효전력에도 영향을 준다는 것을 알 수 있다. 즉 유효, 무효전력 중 하나의 지령이 변화할 때 유효, 무효 전력 모두에서 과도상태가 발생함을 의미한다.

2.3 제안한 PQ 제어 방법

2.2절에서 언급 한 바와 같이 기존의 PQ제어 방법에서는 유효, 무효전력의 상호영향에 의해 과도상태가 발생한다. 이러한 상호영향에 의한 과도상태를 개선하기 위해 유효, 무효전력의 지령이 변화할 때 전력각과 출력전압 크기의 변화를 정리할 필요가 있다.

식 (1)에서 알 수 있듯이 유효전력은 전력각, 출력전압 크기와 비례 관계를 가진다. 무효전력 지령이 일정하고 유효전력 지령이 변화할 때 전력각의 증감 뿐만 아니라 부수적으로 출력전압 크기의 증감에도 영향을 주게 되는데, 이때 유효전력의 오차분(ΔP)으로 V 를 더 빨리 증감시켜주어 무효전력의 과도 상태를 최소화할 수 있다.

또한 식 (2)에서 무효전력은 출력전압 크기와 비례 관계를 가지며 전력각과 반비례 관계를 가진다. 유효전력 지령이 일정하고 무효전력 지령이 변화할 때 출력전압 크기 뿐만 아니라 전력각에도 영향을 주게 된다. 이로 인해 유효전력 측에서 과도상태가 발생하게 되는데, 이는 무효전력의 오차 분(ΔQ)으로 θ_P 를 더 빨리 정상상태에 이르도록 보상하여 유효전력 측의 과도상태를 최

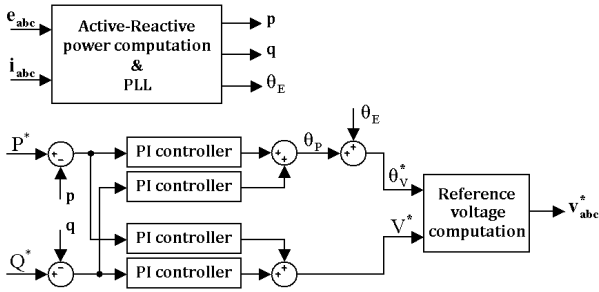


Fig. 3 Block diagram of proposed PQ control

소화할 수 있다.

결론적으로 PQ제어에서 유, 무효전력의 상호결합을 통해 θ_p , V 를 더 빠르게 정상상태에 도달하게 함으로써 유, 무효전력에서 발생하는 과도상태를 기존의 PQ제어 보다 줄일 수 있다. 이러한 개념을 바탕으로 새롭게 제안하는 PQ제어의 블록도는 그림 3과 같다.

그림 3과 같이 유, 무효전력의 오차성분 ΔP , ΔQ 을 PI제어기를 거쳐 PQ제어의 출력인 전력각(θ_p), 출력전압 크기(V)에 보상된다. 이 때 무효전력 오차와 전력각은 반비례 관계에 있으므로 전력각에 보상되는 PI제어기의 이득은 음의 값이 되어야 한다. 반대로 유효전력의 오차와 분산전원의 출력전압 크기는 비례 관계에 있기 때문에 분산전원의 출력전압 크기에 보상되는 PI제어기 이득은 양의 값이 된다.

이때 보상용 PI제어기의 이득은 식 (7)~(10)을 통해 식 (13), (14)와 같이 전력변화율을 구할 수 있고, 이 값을 주제어기의 이득에 곱한 값이 보상용 PI 제어기의 이득이 된다.

$$\left(\frac{\partial p}{\partial q}\right)_{\theta_p} = \frac{\frac{\partial \theta_p}{\partial q}}{\frac{\partial \theta_p}{\partial p}} = \frac{-X^2 p}{X(Xq + E^2)} \quad (13)$$

$$\left(\frac{\partial q}{\partial q}\right)_V = \frac{\frac{\partial V}{\partial p}}{\frac{\partial V}{\partial q}} = \frac{X^2 p}{X(Xq + E^2)} \quad (14)$$

제안한 PQ제어 방법에서 P^* 에 변화가 있을 때 ΔQ 에 의한 보상성분은 거의 '0'에 가깝기 때문에 기존의 PQ제어 방법의 유효전력 과도상태와 거의 동일하다. 하지만 ΔP 에 의한 V 의 보상으로 인해 V 가 기존의 PQ제어보다 더 빨리 정상상태에 도달하게 되고 이는 무효전력의 과도상태 개선으로 직결된다.

또한 Q^* 에 변화가 있을 때 ΔP 에 의한 보상성분은 거의 '0'에 가깝기 때문에 기존의 PQ제어 방법의 무효전력 과도상태와 거의 동일하다. 하지만 ΔQ 에 의한 θ_p 의 보상으로 인해 θ_p 가 기존의 PQ제어보다 정상상태에 더 빨리 도달하여 유효전력의 과도상태가 개선된다.

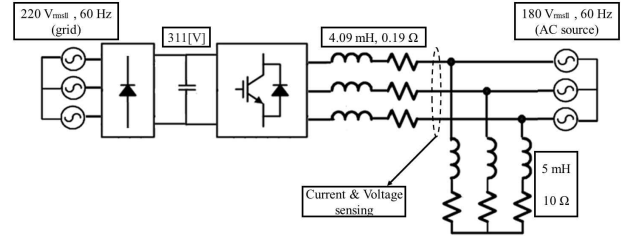


Fig. 4 Circuit of simulation and experiment

Table 1 Parameters of simulation and experiment

article	Value
Main PI controller gain	$K_p=0, K_i=2$
Compensating PI controller gain	$K_p=0, K_i=\pm 0.3382$
Reference of active power (P^*)	0.1(0s) → 0.5(2s) → 0.2(4s) [p.u.]
Reference of reactive power (Q^*)	0(0s) → 0.4(3s) → 0.2(5s) [p.u.]
base power (for per unit)	active power 5000 W reactive power 1500 var

3. 모의실험 및 실험

3.1 모의실험 및 실험조건

기존의 PQ제어 방법과 제안한 PQ제어 방법의 응답특성을 비교하기 위한 모의실험 및 실험 회로 구성은 그림 4와 같다. 계통연계용 인덕터의 공칭 값은 5mH이나, LCR tester를 이용한 측정 값 4.09mH, 0.19 Ω를 모의 실험에서 사용하였다. 직류링크전압은 다이오드 정류기를 이용하여 계통전압을 정류하여 311 V로 직류링크전압으로 사용하였다. 또한 직류링크 전압 311 V에서 인버터 단 출력전압의 선형성을 고려하여 AC 전원을 선간 180 V인 계통으로 간주하여 사용하였다. 그리고 PCC에서 전류, 전압을 측정하여 순시 유, 무효전력을 계산하고 PLL을 수행하여 계통 측 위상 정보를 얻는다.

표 1은 제어기의 이득 및 유, 무효전력 지령 변화이다. 유, 무효전력의 기준전력은 각각 5000 W, 1500 var로 선정하여 부하의 유, 무효전력을 감안하여 지령 값의 변화를 0~0.5 p.u.에서 변화하도록 하였다. 각각의 전력지령 변화 주기는 2초이며, 1초 마다 유효전력 혹은 무효전력의 변화가 있도록 설정하였다.

3.2 모의실험

그림 5와 6은 기존의 PQ제어와 제안한 PQ제어의 유, 무효전력 응답 특성 곡선이다. 그림에서 볼 수 있듯이 유효전력의 지령이 변화하는 2초, 4초 뿐만 아니라 무효

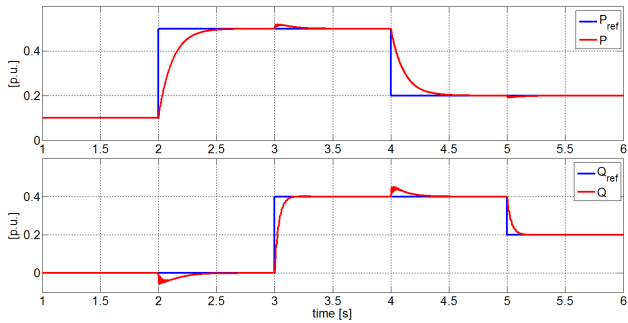


Fig. 5 Active power and reactive power response characteristic of existing PQ control

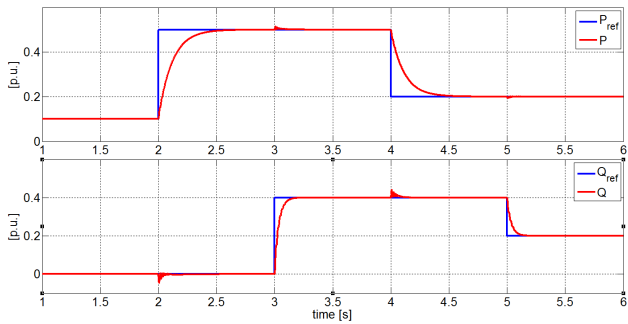


Fig. 6 Active power and reactive power response characteristic of proposed PQ control

전력 지령이 변화하는 3초, 5초에서도 유효전력에 과도상태가 발생함을 알 수 있다. 그리고 무효전력 역시 마찬가지로 유효전력의 지령이 변화하는 2초, 4초에서 과도상태가 발생한다.

유효전력 지령이 변화할 때 유효전력에서 발생하는 과도상태는 θ_p 의 변화에 더 크게 영향을 받기 때문에 보상성분에 의해 V 가 기존의 방법에 비해 더 빨리 정상상태에 도달 하여도 유효전력의 과도상태에는 크게 영향을 주지 않는다. 또한 무효전력 지령이 변화할 때 발생하는 무효전력 과도상태 또한 θ_p 가 정상상태에 더 빨리 도달한다고 해도 V 의 변화에 의한 영향이 커 두 방법의 과도상태는 거의 비슷하다.

제한한 PQ제어는 유, 무효전력의 상호영향을 줄이는 것이므로 유효전력 측의 3초, 5초 무효전력 측의 2초, 4초에서 발생하는 과도상태를 중점으로 그림 5, 6의 파형을 비교하면 제한한 PQ제어가 동특성이 우수하다.

그림 7, 8은 각각 기존의 PQ제어와 제한한 PQ제어의 유, 무효전력 오차이다. 그림 7, 8의 비교를 통해 유, 무효전력의 상호영향에 의해 발생하는 과도상태가 기존의 PQ제어에 비해 제한한 PQ제어에서 더 짧고 정상상태에 빠르게 도달함을 확인할 수 있다.

유효전력의 지령변화에 의해 나타나는 유효전력의 과도상태와 무효전력의 지령변화에 의해 나타나는 무효전력의 과도상태에 비해 유, 무효전력의 상호영향에 의해 발생하는 과도상태는 상대적으로 오차가 적기 때문에 그림 7, 8의 오차 파형을 확대하여 그림 9, 10에 나타 내었다.

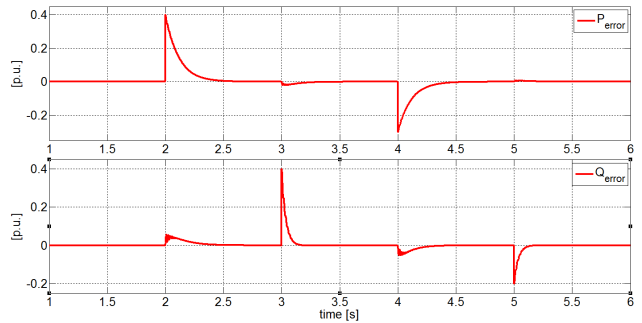


Fig. 7 Active power and reactive power error of existing PQ control

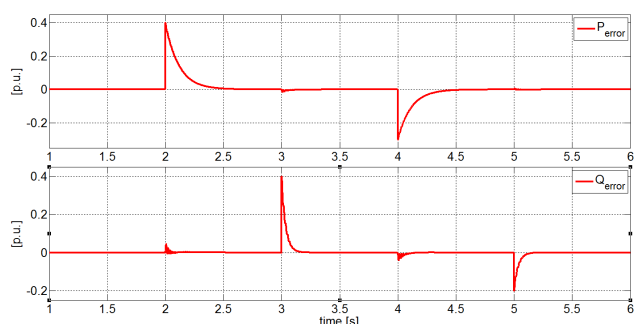


Fig. 8 Active power and reactive power error of proposed PQ control

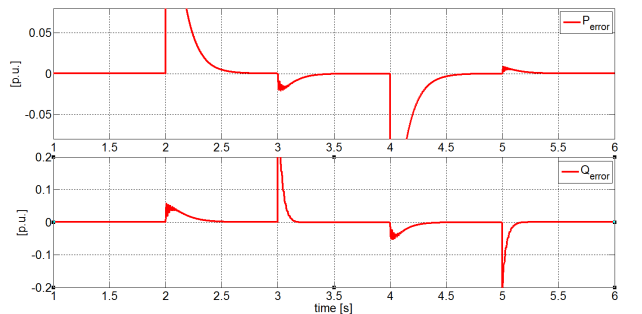


Fig. 9 Active power and reactive power error of existing PQ control (magnified)

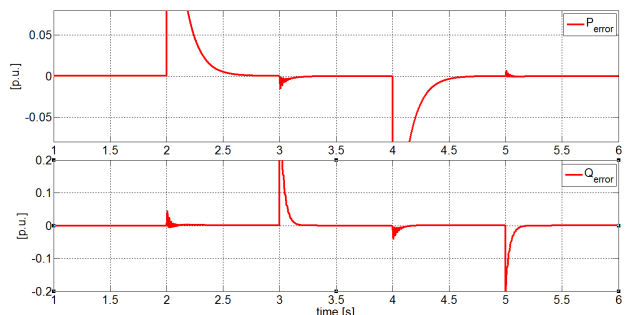


Fig. 10 Active power and reactive power error of proposed PQ control (magnified)

3초에서 발생하는 유효전력의 오차는 기존의 방법에서 최대오차가 -0.02p.u. 까지 발생하고, 0.5초 동안 과도상태가 지속된다. 반면 제한한 제어방법에서는 3초에서 유

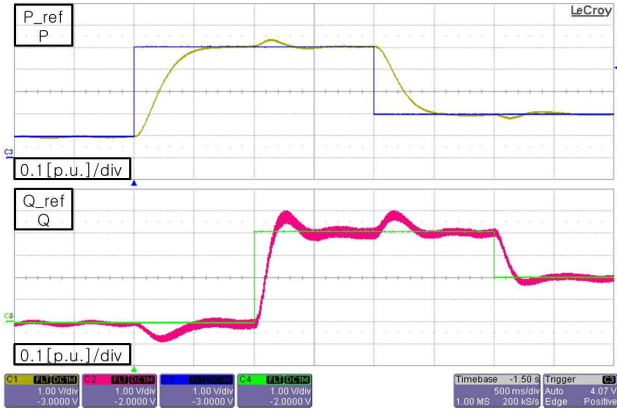


Fig. 11 Active power and reactive power response characteristic of existing PQ control

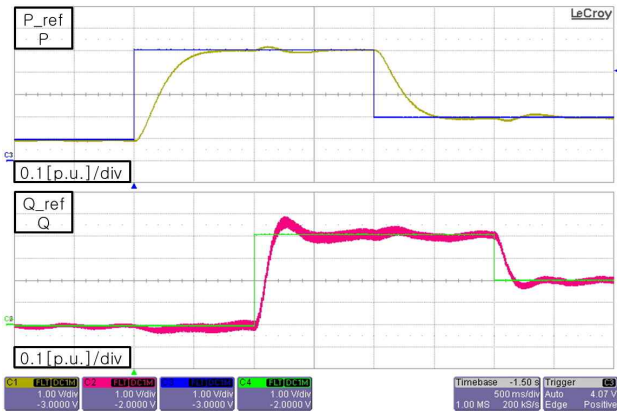


Fig. 12 Active power and reactive power response characteristic of proposed PQ control

효전력의 최대 오차가 -0.015 p.u. 까지 발생하고, 0.3초 동안 과도상태가 지속된다. 또한 5초에서도 기존의 제어 방법의 최대 오차는 0.009 p.u. 과도상태 지속시간은 0.5 초인 반면, 제안한 제어방법의 최대 오차는 0.005 p.u. 과도상태 지속시간은 0.3초이다.

2초에서 발생하는 무효전력의 오차는 기존의 제어방법에서 최대 0.06 p.u. 까지 발생하고 0.5초 동안 과도상태가 지속되지만, 제안한 방법에서는 최대 오차 0.04 p.u. 과도상태가 0.2초 지속된다. 또한 4초에서 기존의 제어 방법의 최대 오차는 -0.05 p.u. 이고 과도상태 지속시간은 0.5초이지만 제안한 방법의 최대 오차는 -0.04 p.u. 이고 과도상태는 0.2초 동안 지속된다.

그림 9, 10의 비교를 통해 제안한 PQ제어가 기존의 PQ제어에 비해 과도상태에 의한 오차가 적음을 알 수 있다.

3.3 실험

3.3절의 실험은 3.1절에서 언급한 모의실험 및 실험 조건의 동일한 회로와 실험 파라미터를 사용하였다.

그림 11, 12,는 각각 기존의 PQ제어와 제안한 PQ제어의 유효, 무효전력 응답특성 그래프이다. 모의실험에서와

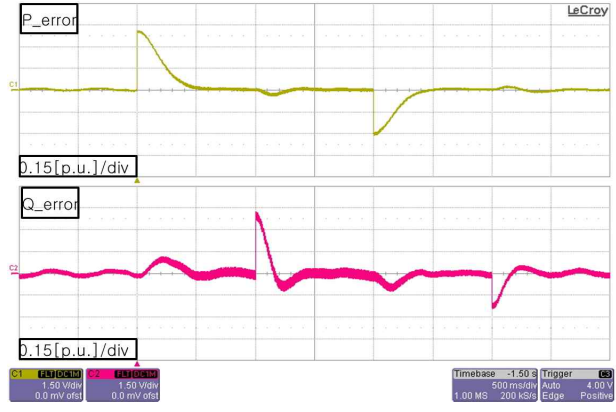


Fig. 13 Active power and reactive power error of existing PQ control

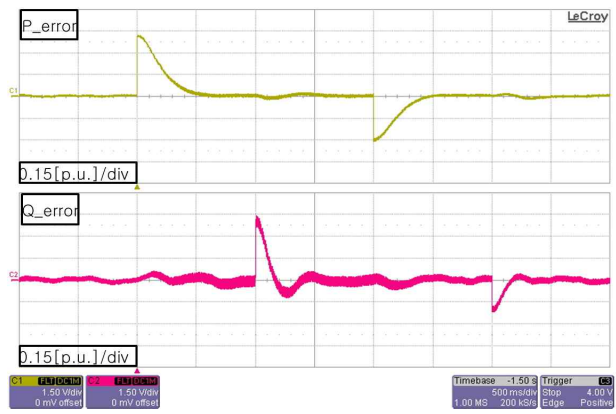


Fig. 14 Active power and reactive power error of proposed PQ control

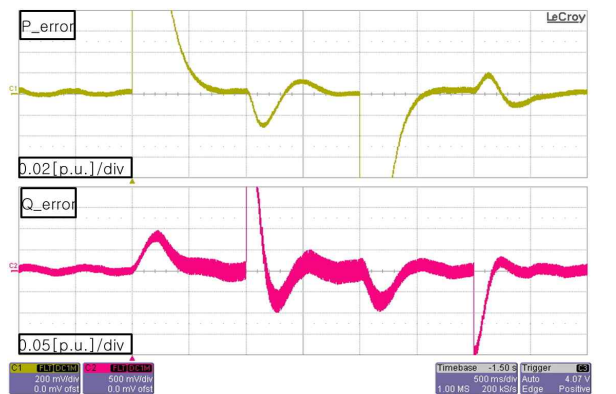


Fig. 15 Active power and reactive power error of existing PQ control (magnified)

같이 제안한 PQ제어를 통해 유효, 무효전력의 상호영향에 의한 과도 상태 개선됨을 확인할 수 있다. 실험파형에서 무효전력이 굵게 나타나는 것은 실험 부하가 정확히 평형이 아닌 것에 기인한 2차 성분에 의한 것이다.

그림 13, 14는 기존의 PQ제어와 제안한 PQ제어의 유효, 무효전력 오차이다.

그림 15, 16은 그림 13, 14를 확대한 파형으로 이를 통해 기존의 PQ제어에 비해 제안한 PQ제어에서 유효, 무

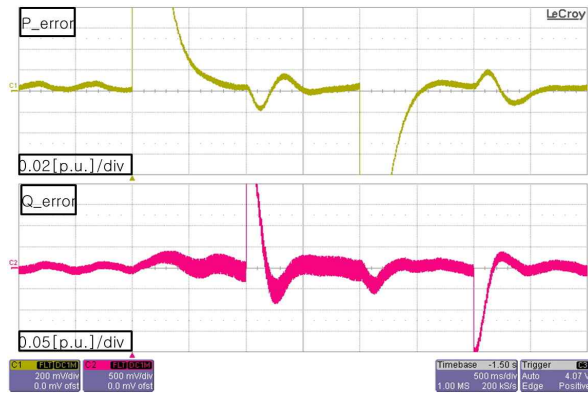


Fig. 16 Active power and reactive power error of proposed PQ control (magnified)

효전력의 상호영향에 의한 전력 오차가 적음을 확인할 수 있다.

4. 결 론

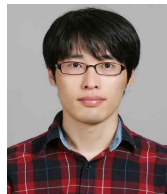
본 논문에서는 유, 무효전력의 상호결합을 통한 전력 지령 변화에 의한 과도상태를 개선할 수 있는 제어 기법을 제안하였다. 유, 무효전력과 전력각, 출력전압 크기의 상관 관계의 분석을 통해 제안한 PQ제어 방법의 이론적 타당성을 보였으며, 모의실험과 실험을 통해 기존의 PQ제어에 비해 제안한 PQ제어가 우수한 동특성을 가짐을 검증 하였다.

이 논문은 2012학년도 경북대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] IEA (International Energy Agency), "Renewables Information," IEA, 2010.
- [2] The European Parliament and The Council of The European Union, "Directive 2009/28/EC of The European Parliament and of the council," *Official Journal of the European Union*, Apr. 2009.
- [3] R. H. Lasseter, "MicroGrids," IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Vol. 1, pp. 305-308, 2002.
- [4] K. M. Son, Y. S. Kim, "A Study of Determining the Size of the Interface Inductor for Grid-Connected Micro-Sources," *Journal of KIIEE*, Vol.19, No.6, Sept. 2005.
- [5] R. H. Lasseter, A. Akhil, C. Marnay, J. Stephens, J. Dagle, R. Guttromson, A. Meliopoulous, R. Yinger, J. Eto, "The CERTS Microgrid Concept," *Consortium for Electric Reliability Technology Solutions White Paper*, Apr. 2002.

- [6] P. Piagi, R. H. Lasseter, "Autonomous Control of Microgrids," *Power Engineering Society General Meeting*, Oct. 2006.
- [7] R. H. Lasseter, P. Piagi, "Providing premium power through distributed resources," *System Sciences, 2000 Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference*, Oct. 2010.
- [8] J. H. Im, S. Kang, S. H. Song, S. K. Jung, J. Y. Choi, I. Choy, "Reactive Power Control Strategy for Inverter-based Distributed Generation System with a Programmable Limit of the Voltage Variation at PCC," *Journal of KIPE and ICPE 2011-ECCE Asia*, pp. 2979-2984, May 2011.
- [9] H. J. Choi, S. H. Song, K. S. Kim, H. S. Kim, "Analysis of Active and Reactive Power Variation according to Line Impedance Characteristics for Inverter Parallel Operation in an Isolated Grid," *Journal of KIPE*, pp. 126-128, Nov. 2009.



최철훈(崔哲勳)

1983년 2월 21일생. 2009년 경북대 전자전기컴퓨터학부 졸업. 2012년 동 대학원 전기전자컴퓨터학부 졸업(석사). 2012년~현재 삼성중공업 산업기술연구소 연구원.



최종우(崔鐘宇)

1969년 2월 25일생. 1991년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 2001년~현재 경북대 IT대학 전기공학과 교수.



이창희(李昌熙)

1980년 6월 22일생. 2008년 경북대 전자전기컴퓨터학부 졸업. 2012년 동 대학원 전기전자컴퓨터학부 졸업(석사).