

Positive Feedback을 이용한 무효전력 P&O 단독운전 검출기법

이종원¹, 박성열¹, 이재연¹, 최세완[†]

Reactive Power P&O Islanding Detection Method using Positive Feedback

Jong-Won Lee¹, Sung-Youl Park¹, Jae-Yeon Lee¹, and Se-Wan Choi[†]

Abstract

A grid-connected inverter with critical loads uses mode transfer control to supply stable voltage to the load. An islanding detection method should also be used to quickly detect the grid fault and disconnect the inverter from the grid. However using the existing islanding detection method to detect islanding is difficult due to the small fluctuation of the voltage and frequency of the point of common coupling. This study proposes a reactive power P&O islanding detection method by using the positive feedback technique. The proposed method always injects a small variation of reactive power. When a grid fault occurs, the injected reactive power accelerates the reactive power injection reference. As a result, the reactive power reference value and the sensed reactive power become mismatched, and islanding is detected. Reducing the amount of real-time injected reactive power results in high efficiency and power factor. The simulation and experimental results of a 3 kW single-phase inverter are provided to verify the proposed islanding detection method.

Key words: Grid-connected inverter, Anti-islanding, RPV(Reactive Power Vvariation), Positive feedback

1. 서 론

최근 전 세계적으로 화석 에너지의 고갈 및 환경오염 문제가 증가함에 따라 풍력 발전, 연료전지, 태양광 에너지 등 신재생에너지를 활용하는 분산전원의 수가 증가 하고 있으며 분산 전원에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다^{[1]-[2]}. 이러한 분산전원들은 계통과의 연결을 통해 중요 부하에 안정적인 전원을 공급해야 하므로 계통에 사고가 발생하여 정전이 된 경우에는 신속한 검출을 통하여 계통과의 연결을 분리하여야 한다.

그림 1은 단독운전의 검출 방식의 종류를 나타낸 개념도이다. 단독운전 검출 방식의 경우 크게 두 가지로 Remote Method와 Local Method으로 나뉘고 Local

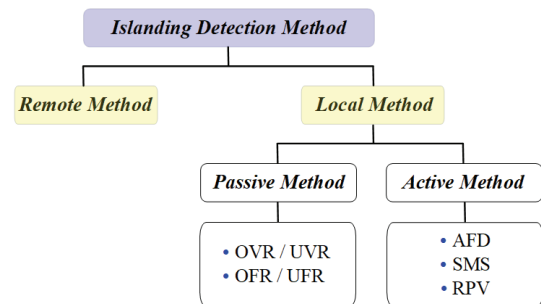


Fig. 1. Islanding detection methods.

Method의 경우는 수동적 검출 방식과 능동적 검출 방식으로 나뉜다.

Remote Method의 경우 분산 전원과 계통간의 통신을 통하여 계통의 차단 여부를 판별한다. 본 방식의 경우에는 단독운전 불검출 영역(Non-Detection Zone)이 존재하지 않는 장점이 있지만 별도의 통신 장비를 설치해야 하므로 추가적인 비용이 발생한다는 단점이 있다.

Local Method의 수동적 검출 방식으로는 OVR(Over Voltage Relay), UVR(Under Voltage Relay), OFR(Over Frequency Relay), UFR(Under Frequency Relay)가 있다. 본 방식의 경우 인버터 출력의 매개 변수인 전압과

Paper number: TKPE-2022-27-5-7

Print ISSN: 1229-2214 Online ISSN: 2288-6281

[†] Corresponding author: schoi@seoultech.ac.kr, Dept. of Electrical & Information Eng., Seoul Nat'l Univ. of Science and Technology

Tel: +82-2-970-6542 Fax: +82-2-972-2866

¹ Dept. of Electrical & Information Eng., Seoul Nat'l Univ. of Science and Technology

Manuscript received Mar. 11, 2022; revised Apr. 20, 2022; accepted Apr. 20, 2022

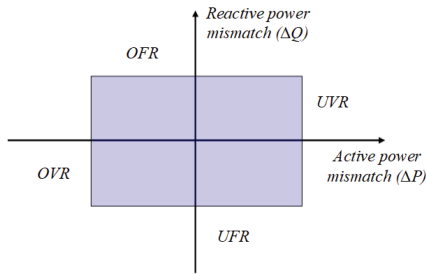


Fig. 2. Non-detection zone of passive detection method.

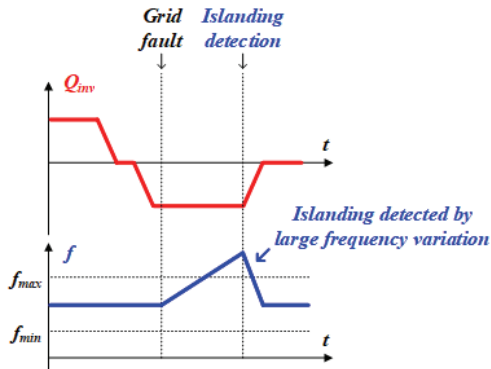


Fig. 3. Conventional reactive power variation islanding detection method.

주파수의 변동이 일정 값 이상 넘어가게 되면 단독운전으로 판단하는 기법이다. 이러한 수동적 검출 방식의 경우, 발전되는 전력과 부하가 평형에 이르게 되면 그림 2와 같이 인버터의 출력이 단독운전 비 검출 영역에 존재하며 단독운전 검출이 불가능하다는 단점이 있다^{[3]-[4]}.

Local Method의 능동적 검출 방식의 경우 Active Frequency Drift 기법, Slip Mode Frequency Shift(SMS)기법, Reactive Power Variation(RPV) 기법 등이 있다. AFD의 경우 인버터 출력 전류의 주파수를 계통의 주파수보다 빠르게 또는 느리게 주입하여 단독운전이 발생하기 전에는 계통의 공칭주파수로 유지되지만 단독운전이 발생하는 경우에는 인버터 출력전압의 주파수가 변동하여 단독운전을 검출하는 기법이다^{[5]-[6]}. 이 방식의 경우 왜곡된 전류를 주입으로 인한 THD 문제를 발생 시킨다. SMS방식의 경우 SMS filter를 사용하여 인버터출력 전류의 위상을 변화시키는 방식으로 단독운전이 발생하기 전의 경우에는 계통 전압에 의해 위상이 고정되지만 단독운전이 발생하는 경우에는 전류의 위상차가 커지는 방향으로 인버터 출력 전류의 위상이 바뀌게 된다^[7]. 이에 따라 인버터 출력전압의 주파수가 변동하여 단독운전을 검출하게 된다. 이 방식의 경우 부하의 quality factor가 큰 경우에 검출까지 변동시켜야 하는 위상이 커서 단독운전 검출에 실패할 가능성이 존재한다는 단점이 있다. 기존 RPV 방식의 경우 그림 3과 같이 무효전력을 일정량 주입하여 단독운전이 발생하기 전에는 계통의 공칭 주파수로 고정되어 있으나 계

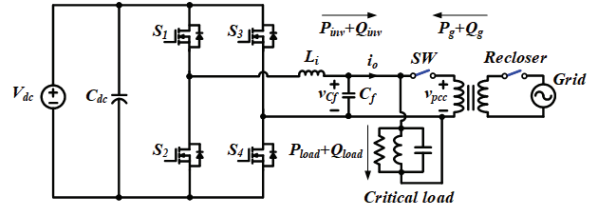


Fig. 4. The scheme of islanding test circuit.

통의 사고로 단독운전이 발생할 경우에 주입해주는 무효 전력의 크기만큼 인버터 출력 주파수의 이탈을 유도하여 단독운전을 검출하는 기법이다^{[8]-[9]}. 하지만 중요 부하를 갖는 분산전원의 경우 항상 부하에 안정적인 전원을 공급하기 위해서 모드 전환 기법을 사용하여 단독운전 발생 시에 부하정격 전압을 공급하고 PLL 출력의 리미터를 사용하여 부하 정격 주파수를 공급하게 된다. 따라서 단독운전이 발생하여도 PCC(Point of common coupling) 지점의 전압 크기와 주파수가 변동하지 않기 때문에 단독운전 검출에 실패할 가능성이 존재하여 기존 RPV 방식은 중요부하를 갖는 시스템에서는 적용이 어렵다는 단점이 있다.

본 논문에서는 positive feedback을 이용한 무효전력 P&O(Perturbation and observation) 단독운전 검출기법을 제안한다. 제안하는 단독운전 검출 기법은 능동적 기법 중 하나인 RPV방식을 기반으로 하여 단독운전 발생 시 최소 주파수 변동을 발생 시키는 최소한의 무효전력을 주입하여 단독운전을 검출하는 기법이다. 기존 무효전력 주입 기법에 비하여 제안된 기법의 경우 단독운전 검출을 위하여 상시 주입하는 무효전류 크기가 감소하여 높은 역률과 효율을 성취할 수 있다. 또한 주파수 이탈 검출을 통한 단독운전 판별이 아닌 무효전력 지령치와 측정된 무효전력 출력의 비교를 통하여 단독운전 상태를 판별하기 때문에 모드 전환 기법을 사용하더라도 정확한 단독운전 상태 판별이 가능하다. 제안된 알고리즘은 3kW 시작품을 제작하여 타당성을 검증 하였다.

2. 단독운전 시스템 특성

IEEE 1547.1의 규정에 따라 제안된 단독운전 검출기법을 검증하기 위하여 단독운전 검출 테스트를 위한 구성을 그림 4와 같이 구성 하였다. 중요 부하를 갖는 분산전원의 구성은 계통 연계 형 인버터, RLC 중요부하, 스위치, 재폐로 그리고 계통으로 구성된다. RLC 부하의 quality factor(Q_f)는 1.0이고 공진주파수(f_{res})는 계통 주파수와 동일하게 설정 하였다.

$$Q_f = R\sqrt{\frac{C}{L}} \quad (1)$$

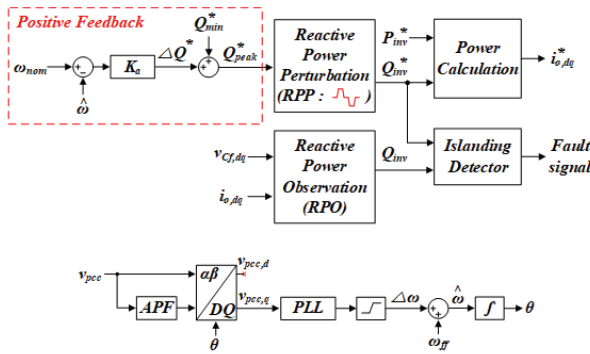


Fig. 5. Proposed reactive P&O anti-islanding method using positive feedback.

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2)$$

RLC 부하 값은 식 (1)과 (2)에 의하여 결정 된다. 계통이 정상적으로 동작하여 인버터가 계통 연계 모드로 동작하는 경우에 부하에 공급되는 유효전력과 무효전력은 식 (3)과 같으며

$$\begin{aligned} P_{load} &= P_{\in v} + P_g \\ Q_{load} &= Q_{\in v} + Q_g \end{aligned} \quad (3)$$

단독운전이 발생하여 계통에서 공급되는 전력이 0이 되고 부하의 공급되는 전력은 인버터 출력 전력과 동일하게 되며 따라서 부하의 유효전력 및 무효전력은 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} P_{load} &= P_{\in v}, (P_g = 0) \\ Q_{load} &= Q_{\in v}, (Q_g = 0) \end{aligned} \quad (4)$$

단독운전이 발생한 경우에 부하의 임피던스 크기와 인가되는 PCC전압의 크기를 통하여 부하의 유효전력 및 무효전력 크기를 계산하면 식 (5)와 같다.

$$\begin{aligned} P_{load} &= \frac{V_{pcc}^2}{R} \\ Q_{load} &= \frac{V_{pcc}^2}{2\pi fL} - V_{pcc}^2 \cdot 2\pi fC \end{aligned} \quad (5)$$

식 (1), (2) 및 (5)을 결합 하여 부하의 무효전력을 다시 식 (6)과 같이 나타 낼 수 있다.

$$Q_{load} = P_{load} Q_f \left(\frac{f_{res}}{f} - \frac{f}{f_{res}} \right) \quad (6)$$

따라서 부하의 공진 점이 계통의 주파수가 같고 인버터

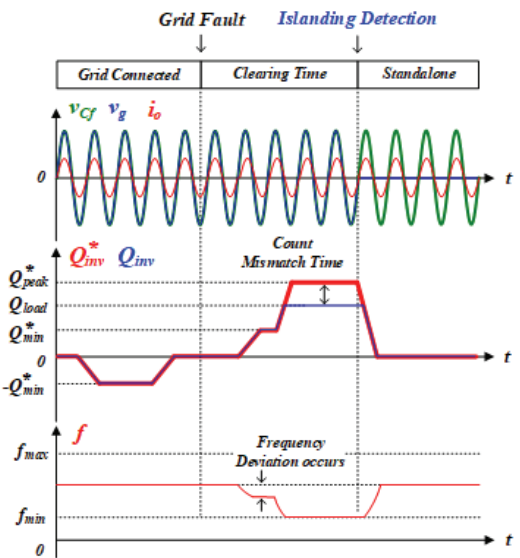


Fig. 6. Operating principle of the proposed anti-islanding method.

출력의 유효전력과 부하의 유효전력 크기가 같은 경우에 단독운전이 발생하게 되면 식 (6)으로부터 RLC 부하의 무효전력은 0이 되고 부하의 주파수 변동이 발생하지 않게 된다. 또한 중요부하를 갖는 시스템의 경우에는 모드 전환 기법을 사용하기 때문에 전압 및 주파수의 변동을 제한하게 되며 이러한 조건은 단독운전 상태를 검출하기 더욱 어렵기 때문에 본 논문에서는 모의실험을 통하여 위와 같은 조건인 RLC 부하의 공진 점과 계통의 주파수가 같은 조건에서 검증을 진행 하였다.

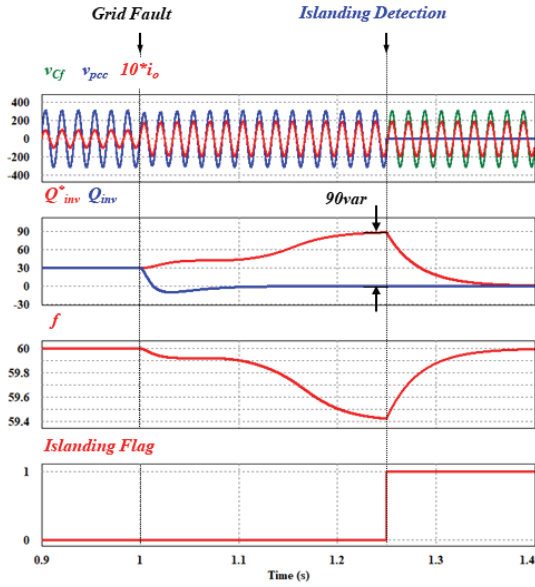
3. 제안하는 단독운전 검출 기법

이전에 연구된 무효전력 P&O 단독운전 검출 기법은 인버터 출력의 무효전력을 변동하여 단독운전이 발생할 때 인버터 출력의 무효전력 지령 치와 측정된 무효전력 출력이 다른 경우에 단독운전으로 판별하는 기법으로 높은 역률성취와 인버터 출력 왜곡이 적다는 장점이 있다. 또한 부하 전압의 크기 및 주파수 이탈을 통하여 단독운전 검출을 하지 않기 때문에 모드전환 기법^{[10]-[11]}을 적용하여도 단독운전 검출에 문제가 없다는 장점이 있다^{[12]-[13]}. 그러나 단독운전 검출을 위해 상시 변동시키는 무효전력의 크기가 커서 효율문제를 야기할 가능성이 있다.

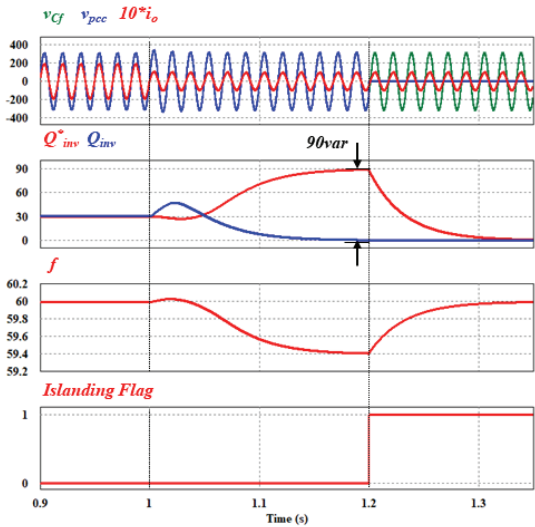
본 논문에서는 positive feedback을 이용하여 상시로 변동시키는 무효전력의 크기를 감소하여도 신속한 단독운전 검출이 가능하며 높은 효율 및 역률 성취가 가능한 단독운전 검출 기법을 제안하였다. 그림 5는 본 논문에서 제안하는 positive feedback 기법을 적용한 무효전력 P&O 단독운전 검출 기법의 알고리즘으로 단독운전이 발생하지 않은 경우에 계통의 공칭 주파수(ω_{nom})와

TABLE I
THE SYSTEM SPECIFICATION

P	3kW	V_g	220V	f_{grid}	60Hz
L_i	500 μ H	C_f	2 μ F	f_{sw}	30kHz



(a)



(b)

Fig. 7. Simulation waveforms under resistive load.

(a) $P_{inv} = 1.5kW$, $P_{load} = 3kW$, (b) $P_{inv} = 3kW$, $P_{load} = 1.5kW$

PLL 제어기 출력에서 측정되는 주파수($\hat{\omega}$)간의 차이가 없어 ΔQ^* 가 0이지만 단독운전이 발생할 경우에는 상시 공급하는 최소 공급 무효전력(Q_{min}^*)에 의하여 PCC 지점의 주파수의 변동이 발생하게 되고 이때 ΔQ^* 는 식 (7)과 같이 무효전력 지령치의 첨두값(Q_{peak}^*)을 증가 또는 감소하는 방향으로 보상하게 한다.

$$Q_{peak}^* = Q_{min}^* + k_a \cdot (\omega_{nom} - \hat{\omega}) \quad (7)$$

RLC 부하의 quality factor(Q_f)를 1.0로 설정하고 주파수 변동을 공칭주파수의 1% 이내로 제한한다면 식 (8)에 따라 최대 부하 무효전력의 크기는 유효전력의 2%이다.

$$\begin{aligned} P_{load} Q_f \left(\frac{f_{res}}{f_{max}} - \frac{f_{max}}{f_{res}} \right) &\leq Q_{load} (= Q_{\in v}) \\ &\leq P_{load} Q_f \left(\frac{f_{res}}{f_{min}} - \frac{f_{min}}{f_{res}} \right) \end{aligned} \quad (8)$$

따라서 본 시스템에서는 최대 부하 무효전력의 크기보다 큰 최대 무효전력 크기(Q_{peak}^*)를 유효전력의 3%크기로 제한한다.

제안하는 기법에서는 RLC 부하를 갖는 시스템에서 단독운전이 발생하게 되면 PCC 지점의 주파수가 변동하여 positive feedback에 의해 무효전력 지령치의 첨두값(Q_{peak}^*)이 최대값인 유효전력 출력의 3%까지 증가하게 되고 인버터 출력의 무효전력 지령치($Q_{\in v}^*$)와 측정된 인버터의 무효전력 출력($Q_{\in v}$)간의 유효전력크기의 1%만큼 차이가 발생하게 되며 단독운전이 검출되게 된다.

그림 6은 앞서 제안하는 단독운전 검출 기법을 RLC 부하 조건에서 동작원리를 나타낸 것 이다. 제안하는 단독운전 검출 방법은 단독운전이 발생하는 경우에 주파수 변동을 야기하는 최소한의 무효전력을 공급한다. 계통이 정상적으로 운용되고 있는 상황에서는 인버터 출력의 무효전력 지령치($Q_{\in v}^*$)와 측정된 인버터 무효전력($Q_{\in v}$) 크기가 일치한다. 이후 단독운전이 발생하면 최소 공급 무효전력(Q_{min}^*)으로 인하여 주파수 변동이 발생하게 되며 positive feedback을 통하여 주파수의 변동이 인버터 무효전력 지령치의 크기를 증가 또는 감소시키는 방향으로 보상하게 하여 무효전력 지령치의 첨두값(Q_{peak}^*)까지 증가 또는 감소하게 되며 인버터 무효전력 지령치($Q_{\in v}^*$)와 인버터의 무효전력 출력($Q_{\in v}$)간의 불일치를 검출하여 일정 시간동안 오차가 누적되면 단독운전으로 판단하여 인버터와 계통간의 연결을 차단한다.

4. 시뮬레이션 결과

제안하는 단독운전 알고리즘을 검증하기 위해 모의실험의 구성을 표 1의 사양을 갖는 단상 인버터를 사용하였다. 부하의 구성은 R 부하 그리고 RLC 부하(quality factor = 1.0)에서 모의실험을 진행 하였다. 그림 7은 R

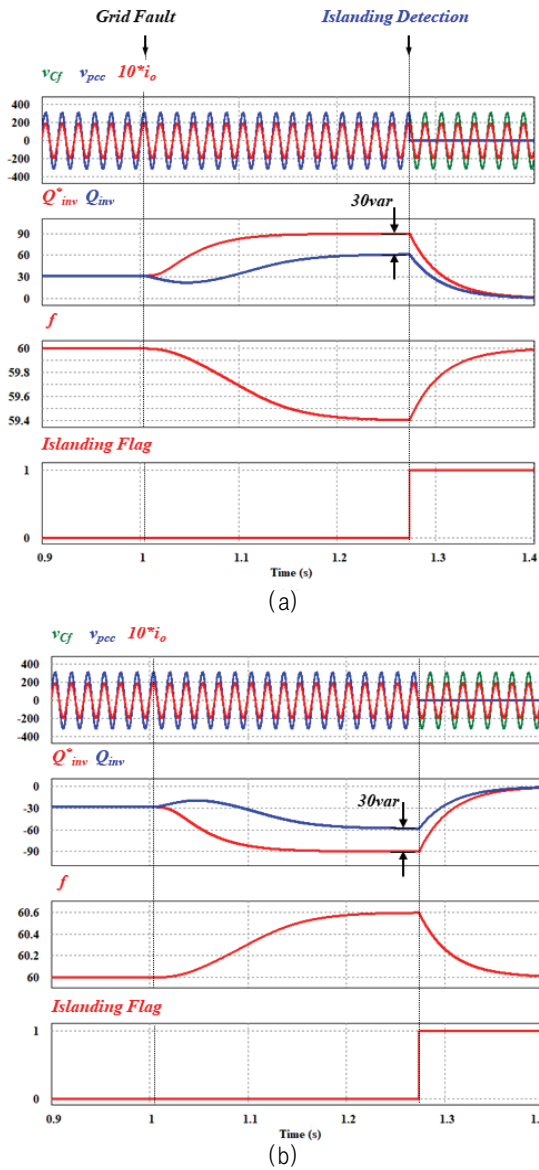


Fig. 8. Simulation waveforms under RLC load. (quality factor = 1.0, $P_{inv} = 3\text{kW}$),
 (a) $Q_{inv} = 30\text{var}$, (b) $Q_{inv} = -30\text{var}$

부하를 갖는 계통 연계 형 인버터에서 PSIM 모의실험 결과를 나타낸 것이다. 그림 7의 (a)는 인버터의 유효전력 출력이 3kW이고 부하의 유효전력 크기는 1.5kW로 단독운전이 발생하게 되면 유효전력 변화량이 -1.5kW인 조건이고 그림 7의 (b)는 인버터의 유효전력 출력이 1.5kW이고 부하의 유효전력 크기는 3kW로 단독운전이 발생하게 되면 유효전력 변화량이 1.5kW인 조건이다. 단독운전이 발생하기 이전에는 인버터 무효전력 출력 ($Q_{\in v}$)과 지령치($Q_{\in v}^*$)가 동일하고 PCC지점의 주파수 변동이 없지만 단독운전이 발생하는 경우에는 인버터의 무효전력 출력은 0이 되고 무효전력 지령치($Q_{\in v}^*$)는 positive feedback에 의해 점점 증가하여 최대 무효전력 출력까지 도달하게 된다. 이후 불일치 시간을 측정하여

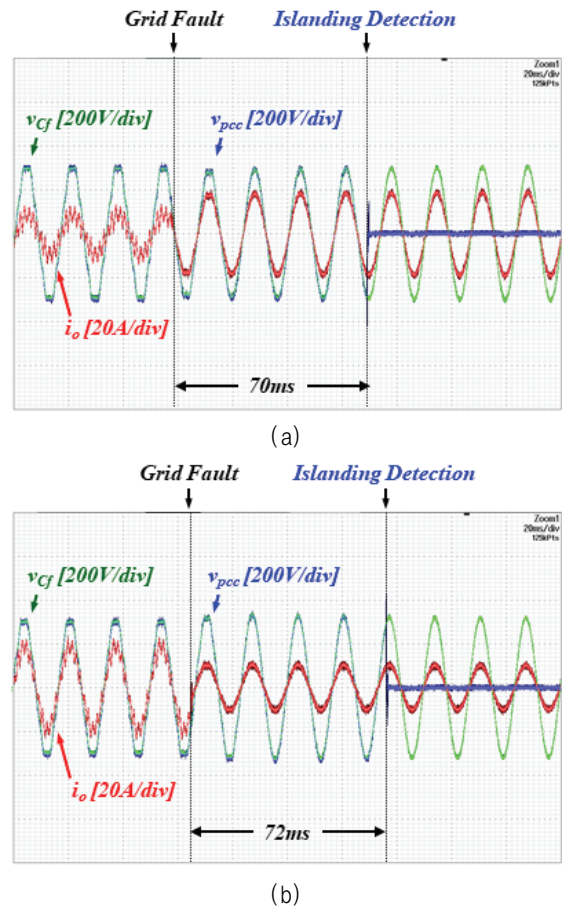


Fig. 9. Experiment result under resistive load condition.
 (a) $P_{inv} = 1.5\text{kW}$, $P_{load} = 3\text{kW}$, (b) $P_{inv} = 3\text{kW}$, $P_{load} = 1.5\text{kW}$

단독운전으로 판단하고 계통과의 연결을 끊어주게 된다.

그림 8은 RLC 부하 조건(quality factor = 1.0)에서의 모의실험 결과를 나타낸다. R부하의 크기는 인버터의 유효전력 출력과 동일하게 3kW로 구성 하였고 RLC 부하의 공진 주파수와 계통의 공칭주파수가 동일하여 인버터에서 출력하는 무효전력은 모두 계통으로 주입되게 된다. 그림 8의 (a)는 무효전력을 양으로 주입하고 있는 상황에서 단독운전이 발생한 상황을 나타낸 것이다. 같은 상황에서 단독운전이 발생하게 되면 주파수의 변동으로 인하여 인버터 무효전력 출력 지령치($Q_{\in v}^*$)가 점점 증가하여 유효전력의 3%인 90var까지 증가하게 되고 주파수 제한으로 인하여 인버터 출력 무효전력($Q_{\in v}$)의 크기는 최대 부하 무효전력인 유효전력의 2%인 60var까지 증가하게 된다. 따라서 무효전력 지령치($Q_{\in v}^*$)와 인버터 무효전력($Q_{\in v}$) 출력간의 불일치의 크기는 유효전력 크기의 1%인 30var로 단독운전이 검출된다. 그림 8의 (b)는 무효전력을 음으로 주입하고 있는 상황에서 단독운전이 발생한 상황을 나타낸 것이다. 단독운전이 발생하게 되면 인버터 무효전력 출력 지령치($Q_{\in v}^*$)는

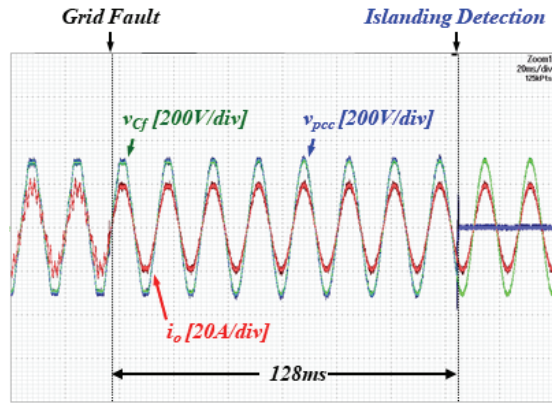


Fig. 10. Experiment result under R load condition. ($P_{inv} = P_{load}$)

-90var까지 감소하게 되고 인버터 무효전력($Q_{\in v}$) 출력간의 불일치를 검출하여 단독운전 상태로 판단하고 계통과의 연결을 차단한다.

5. 실험 결과

제안하는 알고리즘 검증을 위해서 표 1의 사양과 같은 3kW 단상 인버터 시작품이 사용되었다. 그림 9는 R 부하로 구성된 시스템에서 제안하는 단독운전 알고리즘의 실험결과를 나타낸다. 그림 9(a)는 부하의 유효전력이 인버터의 유효전력 출력보다 큰 상황에서 단독운전이 발생하는 조건으로 그림 7 (a)와 동일한 경우이고 그림 9(b)는 부하의 유효전력보다 인버터의 유효전력 출력이 큰 조건으로 그림 7 (b)와 같은 조건이다. 그림 9 (a)와 (b)는 각각 단독운전 검출까지 약 70ms 그리고 72ms가 소요되었으며 이후에 계통과의 연결을 차단해 독립운전으로 전환하였다.

그림 10은 R부하 조건에서 부하의 유효전력 크기와 인버터 출력의 유효전력이 3kW로 동일한 조건으로 실험한 결과를 나타낸다. 단독운전을 발생하고 검출 시간까지 128ms가 소요되었으며 위와 같은 실험을 통하여 IEEE 1547.1 규정에서 요구하는 2s 이내로 규정을 만족함을 확인하였다.

6. 결 론

본 논문에서는 중요 부하를 갖는 분산전원 시스템에서 모드 전환 기법을 사용하더라도 단독운전이 발생하였을 때 신속하게 계통과의 연결을 차단할 수 있는 positive feedback을 이용한 무효전력 P&O 단독운전 검출기법을 제안하였다. 제안된 방식은 최소 무효전력을 계통에 공급하여 단독운전이 발생한 경우 PCC지점의 주파수 변동을 야기한다. 이후 positive feedback을 통하여 주파수 변동을 가속화 하는 방향으로 무효전력 공급

최댓값을 증가 또는 감소시켜 무효전력 지령치와 측정된 무효전력의 불일치가 발생하는 경우에 단독운전으로 판단한다. 모드 전환 기법을 통하여 단독운전 발생 시 PCC 전압 변동이 제한되는 상황에서도 약 28ms내에 단독운전 검출을 통하여 계통과의 차단함을 시뮬레이션을 통하여 검증 하였고 불검출 영역 내에 있는 부하 조건에도 릴레이 동작시간을 포함하여 최대 128ms 내에 단독운전을 검출하는 것을 실험 결과를 통해 검증하였다.

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구 재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2020R1A2C200630113)

References

- [1] H. B. Puttgen, P. R. MacGregor and F. C. Lambert, "Distributed generation: semantic hype or the dawn of a new era?," in *IEEE Power and Energy Magazine*, Vol. 1, No. 1, pp. 22-29, Jan.-Feb. 2003
- [2] D. E. Olivares et al., "Trends in microgrid control," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol. 5, No. 4, pp. 1905-1919, Jul. 2014.
- [3] D. Velasco, C.L. Trujillo, G. Garcerá, E. Figueres, *Review of anti-islanding techniques in distributed generators*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 14, Issue 6, 2010.
- [4] Z. Ye, A. Kolwalkar, Y. Zhang, P. Du and R. Walling, "Evaluation of anti-islanding schemes based on nondetection zone concept," *IEEE 34th Annual Conference on Power Electronics Specialist*, 2003. PESC '03, 2003.
- [5] Y. Jung, J. Choi, B. Yu, J. So, and G. Yu, "A novel active frequency drift method of islanding prevention for the grid-connected photovoltaic inverter," in *Proc. IEEE 36th PESC*, 2005.
- [6] Byunggyu Yu, Mikihiko Matsui, Youngseok Jung, Gwonjong Yu, "A combined active anti-islanding method for photovoltaic systems," *Renewable Energy*, Vol. 33, Issue 5, 2008.
- [7] D. Kim and S. Kim, "Anti-islanding detection method using phase-shifted feed-forward voltage in grid-connected inverter," in *IEEE Access*, Vol. 7, pp. 147179-147190, 2019.
- [8] Y. Zhu et al., "A novel RPV (Reactive-Power-Variation) anti-islanding method based on adapted reactive power perturbation," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 28, No. 11, pp. 4998-5012, Nov. 2013.
- [9] J. B. Jeong, H. J. Kim, K. S. Ahn and C. H. Kang, "A novel method for anti-islanding using reactive power," *INTELEC 05 - Twenty-Seventh International Telecommunications Conference*, 2005.

- [10] S. Yoon, J. Kwon, J. Park and S. Choi, "Indirect current control for seamless transfer of three-phase utility interactive inverters," *2011 Twenty-Sixth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, 2011.
- [11] S. Y. Park, M. H. Kwon, S. W. Choi, "A seamless and autonomous mode transfer method of grid-connected inverter in microgrid," *The Transactions of Korean Institute of Power Electronics*, Vol. 24, No. 5, pp. 349-355, Oct. 2019.
- [12] S. Y. Park, M. H. Kwon and S. Choi, "A new anti-islanding method for indirect current control of grid connected inverter," *2017 IEEE 3rd International Future Energy Electronics Conference and ECCE Asia (IFEEC 2017 - ECCE Asia)*, 2017.
- [13] S. Park, M. Kwon, and S. Choi, "Reactive power P&O anti-islanding method for a grid-connected inverter with critical load," *IEEE Transactions on Power Electronics, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, Vol. 34, No. 1, pp. 204 - 212, Jan. 2019.



이종원(李鐘元)

1995년 8월 19일생. 2020년 명지대 전기공학과 졸업. 2020년~현재 서울과학기술대 전기정보공학과 석사과정.



박성열(朴成烈)

1988년 10월 3일생. 2014년 서울과학기술대 전기정보공학과 졸업. 2016년 동 대학원 전기정보공학과 졸업(석사). 2021년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 2021년~현재 (주)한화 솔루션 근무.



이재연(李宰淵)

1991년 10월 22일생. 2014년 서울과학기술대 전기정보 공학과 졸업. 2016년 동 대학원 전기정보공학과 졸업(석사). 2016년~2019년 (주)다쓰테크 대리. 2019년~현재 서울과학기술대 전기정보공학과 박사과정.



최세완(崔世琿)

1963년 3월 3일생. 1985년 인하대 전자공학과 졸업. 1992년 Texas A&M Univ. 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1985년~1990년 대우중공업 중앙연구소 대리. 1996년~1997년 삼성전기 종합연구소 수석연구원. 1997년~현재 서울과학기술대 전기정보공학과 교수. 당 학회 명예회장.