

유효전력변동방식을 이용한 새로운 단독운전 검출기법 연구

유병규¹⁾, 정영석¹⁾, 미키히코 마츠이²⁾, 유권종¹⁾
 한국에너지기술연구원¹⁾, 동경공예대²⁾

A Novel Active Anti-islanding Method using Effective Power Variation

Byung-Gyu Yu¹⁾, Young-Seok Jung¹⁾, Mikihiko Matsui²⁾, Gwon-Jong Yu¹⁾
 Korea Institute of Energy Research¹⁾
 Tokyo Polytechnic University²⁾

ABSTRACT

Islanding phenomenon is undesirable because it lead to a safety hazard to utility service personnel and may cause damage to power generation and power supply facilities as a result of unsynchronized reclosure. In order to prevent the phenomenon, various anti-islanding methods have been studied. This paper proposes the variation method of inverter output current magnitude to prevent the islanding phenomenon as a novel method, which causes the large frequency variation of inverter output voltage after islanding. Unlike most active anti-islanding method deteriorating power quality, this novel method will have high performance of islanding detection and good power quality. For the verification of the proposed method, the simulated result and analyses are presented.

1. 서론

현대의 전력계통시스템은 태양광을 비롯한 연료전지, 풍력 등의 분산전원의 출현으로 인해 그 규모는 더 커지고 복잡해 지고 있는 추세이다. 그러나 이러한 분산전원(Distributed Generation)의 출현은 인접한 배전계통에 안정성 혹은 전력품질 측면에서 다양한 문제를 야기시킬 수 있다. 특히 현재까지 분산전원은 각각의 제어시스템을 가지고 독립적으로 운영되기 때문에 계통의 정전과 같은 사고에 대해서 직접적인 제어가 이루어 지지 않는 문제점이 대두되고 있다. 이와 같은 현상을 단독운전현상(Islanding phenomenon)이라고 하는데, 그 정의는 분산전원과 접속된 계통이 정전으로 인하여 차단되어 있음에도 불구하고, 계속해서 독립적으로 발전을 지속하는 행위를 지칭한다. 이와 같은 단독운전은 계통유지요원의 안전성에 문제를 야기시키고, 또한 인접 장비들에 악영향을 끼칠 수 있기 때문에 태양광을 비롯한 분산전원

의 단독운전을 방지하기 위해 다양한 연구가 진행되어 오고 있다. 단독운전검출기법은 크게 오로지 전압, 주파수 계전기만을 이용하는 수동적 검출기법과 출력전류의 크기, 주파수 혹은 위상을 변화시켜 단독운전을 검출하는 능동적 방식이 있다. 수동적 방식만을 사용할 경우에는 그림 1.의 지역부하(Local Load)의 특성에 따라 과도하게 큰 단독운전 비검출영역이 존재한다.[1]

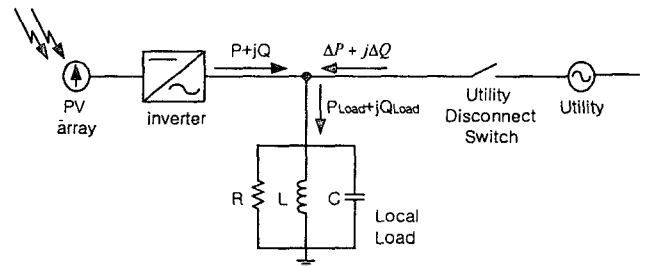


그림 1 태양광 시스템의 기본 구성
 Fig. 1 PV System Overview

따라서 보통의 분산전원 특히 태양광인버터의 경우 수동적 방식 외에 보다 안정한 검출을 위해 능동적 방식을 같이 사용하고 있다. 능동적 방식은 식 (1)에서 AFD(Active Frequency Drift) 기법 등과 같이 주파수(f)를 변동시키는 방식, RPV(Reactive Power Variation) 등과 같이 출력전류의 시작위상(θ)을 바꾸는 방식이 대표적이라 할 것이다.

$$I_{inv} = I_m \sin(2\pi ft + \theta) \tag{1}$$

하지만, 기존의 AFD와 같이 주파수(f)를 바꾸는 경우에는 고조파 성분을 증가시키고, 또한 RPV와 같이 시작위상(θ)을 바꾸는 경우에는 변위역률에 떨어뜨려 결과적으로 전력품질에 악영향을 끼치게 된다.

따라서 본 논문에서는 기존의 능동적 단독운전 검출방식과 접근을 달리하여 개념적으로 전류명령의 크기를 주기적으로 변화시켜 단독운전 발생시 주파수 변동을 일으

키고 이를 이용하여 단독운전을 검출하는 새로운 방식을 제안 하고자 한다. 제안된 기법은 주파수(f)와 시작위상(θ)는 변화시키지 않고, 전류명령의 크기만을 변화시킴으로 인해 고조파나 변위역률에 영향을 끼치지 않아 전력 품질은 높게 하게 하면서, 높은 단독운전 검출성능을 가지는 장점이 있다. 이를 검증하기 위해 시뮬레이션으로 제안된 기법의 타당성을 알아보고, 분석을 수행한다.

2. 제안된 기법의 기본 동작

현재 태양광인버터의 단독운전 검출 성능을 평가하기 위한 관련 국제기준은 IEEE Standard 1547[4](과거 IEEE Standard 929-2000)과 IEC 62116 으로 나누어 볼 수 있다. 양 기준 모두 지역부하에서 L, C 병렬 부하의 공진 정도를 나타내는 quality factor(Qf)에 차이가 있을 뿐, 시험하는 조건은 그림 1의 조류 유효전력(ΔP)과 조류 무효전력(ΔQ)을 거의 0으로 하는 것에 기반하고 있다. 즉, 지역부하의 LC 부하를 공진 상태로 만드는 것이다. 따라서 본 기법의 동작설명을 위한 조건은 이와 같이 LC 공진에 기반을 두고, 제안된 기법의 기본 동작을 설명한다.

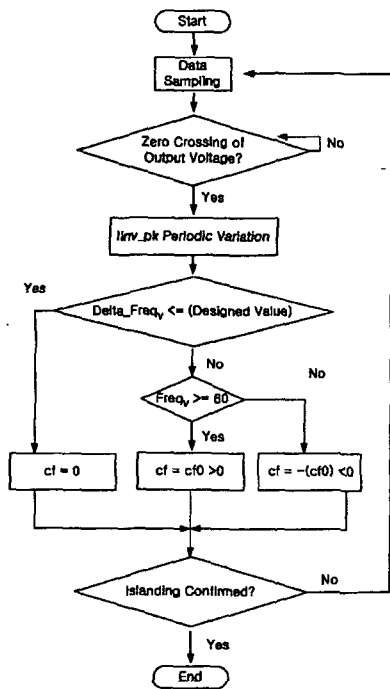


그림 2 제안된 기법의 구현을 위한 계통도
Fig. 2 Flow Chart of the Proposed Method

제안된 기법은 그림 2와 그림 3에서와 같이 한 라인주기에 대해서 일정비율로 정격전류에 비해서 크게 하고, 그 다음 주기에서 이전과 같은 비율로 전류명령을 줄이는 것으로 구성되고 이를 주기적으로 수행하는 것으로 요약된다. 만약 이전 라인주기와 이 후 라인주기의 차이가 클 경우 그림 2에서처럼 기존의 능동적 단독운전검출 기법을 투입시키는 것이다. 즉 그림 4와 같이 구조의 태양광인버터에서 인버터 단이 DC 링크전압 일정제어를

하고, DC/DC 컨버터 단에서 최대출력추종제어를 한다고 할 때, 제안된 기법에서 출력 전류 크기를 크게 하면 이는 DC 링크커패시터의 방전으로 나타나 링크전압이 약간 떨어지게 되지만 다음 주기에서 출력 전류를 크게 작게 하면 DC 링크 커패시터의 충전으로 이어져서 두 주기 결과 DC 링크전압은 유지되게 되고, 출력전력의 2주기 평균은 정격 출력전력으로 나타날 수 있게 된다. 다시 말하면 단독운전이 발생하기 전 정상상태에서는 출력전력의 변동으로만 나타나고, 고조파의 증가나 변위역률의 변화는 나타나지 않으므로 높은 전력 품질을 유지할 수 있다.

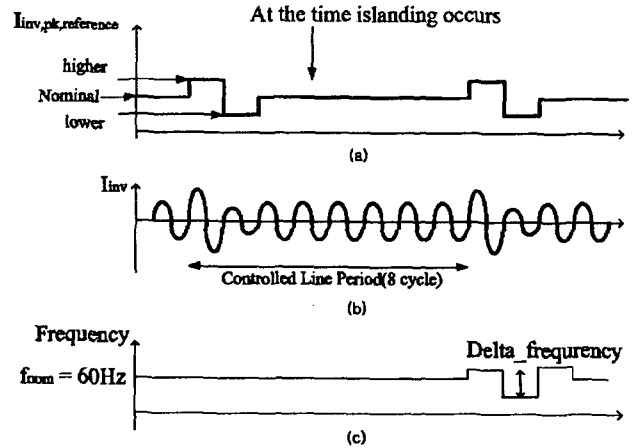


그림 3 제안된 기법을 적용한 기본 출력파형 : (a) 인버터 출력 크기명령, (b) 인버터 출력전류 파형, (c) 출력전압의 주파수

Fig. 3 Basic Output Waveform using proposed method : (a) Inverter Output Magnitude Reference, (b) Inverter Output Current Waveform, (c) Frequency of Output Voltage

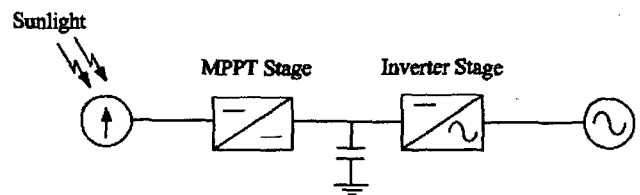


그림 4 전형적인 태양광인버터의 기본구조(무변압기 형)
Fig. 4 Typical PV inverter Structure

또한 단독운전이 발생했을 경우는 전류 크기의 증감에 의해 LC 공진이 깨어짐으로 인해 그 기간 동안 그림 3.(c)에서와 같이 주파수 변동으로 나타나게 된다. 이를 검출하여 그림 2에서와 같이 기존의 능동적 방식, 본 논문에서는 5%의 chopping fraction 을 갖는 AFD 기법을 투입하게 된다.

3. 시뮬레이션 결과

제안된 기법의 단독운전 검출 성능의 타당성을 검증하

기 위해서, 그림 5의 인버터 단만을 사용하여 본 기법을 투입한 결과를 살펴본다. 시뮬레이션 조건은 IEEE Std. 1547에서 요구하는 부하설정 조건에서 3kW 태양광인버터를 기준하여 시행한다.

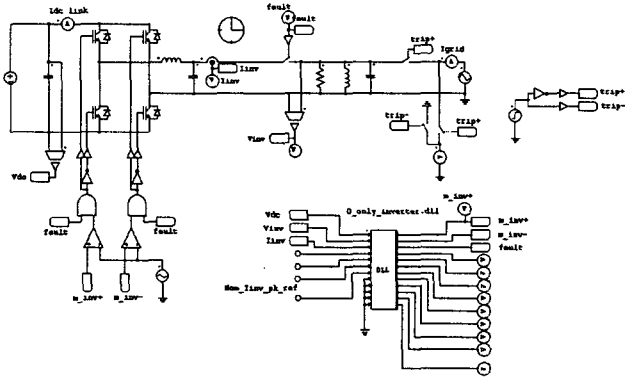
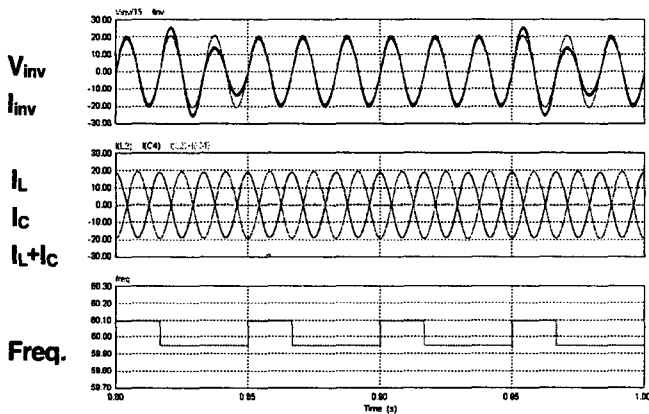
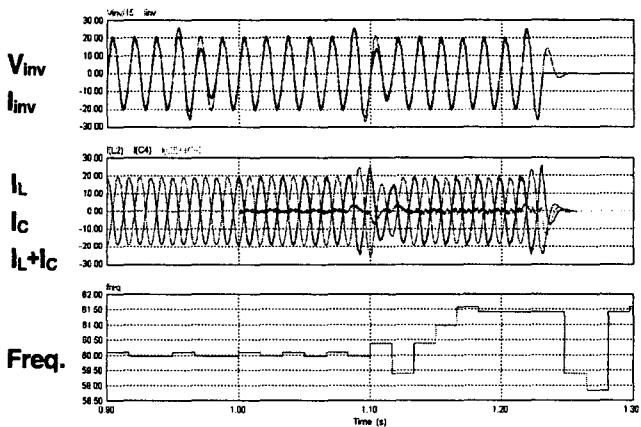


그림 5 시뮬레이션 회로도
Fig. 5 Simulation Circuit



(a)



(b)

그림 6 제안된 기법을 적용한 출력 특성 파형 : (a) 단독운전 발생전, (b) 단독운전 발생 후
Fig. 6 Output Waveform using proposed method : (a) Before Islanding, (b) After Islanding

본 시뮬레이션은 그림 3에서처럼 제어 라인 주기를 8 주기를 하고, 그 중 2주기를 전류명령을 키웠다, 줄이도록 하였다. 그림 6. (a)에서 단독운전이 발생하기 전의 출력전압, 전류, 그리고 지역부하의 L,C 전류 파형을 나타내고 있다. 단독운전이 발생하기 전의 전력품질은 고조파와 변위역을 관점에서 대단히 우수함을 알 수 있다. 그림 6. (b)에서는 1초 시점에서 단독운전이 발생한 후의 주요파형을 나타내고 있다. 단독운전이 발생한 후 전류크기 변동이 발생한 시점에서 공진 LC 전류의 크기가 변동하면서 공진이 깨어지는 것을 확인할 수 있다. 이 때를 전후로 해서 주파수가 흔들리는 시점을 검출하여 AFD기법을 투입하여 주파수 계전기 동작범위를 벗어나는 6주기를 검출한 이후 인버터가 정지하면서 단독운전을 검출함을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문은 새로운 능동적 단독운전 검출방법으로써 전류크기 명령의 주기적 변동, 즉 유효전력의 주기적 변동으로 단독운전 발생 시 주파수 변화를 야기시켜 단독운전을 검출하는 방식을 제한한다. 제안된 단독운전 검출 방식은 기존의 전류명령의 주파수, 혹은 시작위상의 변화로 나타나는 전력품질의 손상을 발생시키지 않고, 우수한 전력품질을 가지면서, 동등한 단독운전 검출 성능을 갖는 장점이 있다.

REFERENCES

- [1] M. Ropp, "design issues for grid-connected photovoltaic systems," Ph.D. dissertation, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, December 1998.
- [2] Jun Yin, Liuchen Chang, and Diduch, C., "Recent developments in islanding detection for distributed power generation," 2004 Large Engineering systems Conference of Power Engineering, pp. 124-128, July 2004.
- [3] Zhihong Ye, Amol Kolwalkar, Yu Zhang, Pengwei Du, Reigh Walling "Evaluation of Anti-Islanding Schemes Based on Nondetection Zone Concept" IEEE Transactions on Power Electronics, VOL. 19, NO. 5, September 2004-12-01.
- [4] IEEE 1547 Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems, June 2003.
- [5] G.A. Smith, P.A. Onions, D.G. Infield " Predicting islanding operation of grid connected PV inverters" IEE Proc.-Electr. Power Appl, Vol. 147, No, 1, January 2000.
- [6] G.K. Hung, C.C. Chang, C.L. Chen "Automatic Phase-Shift Method for Islanding Detection of Grid-Connected Photovoltaic Inverters" IEEE Transactions on Energy Conversion, VOL. 18, NO. 1, March 2003.