

# 2고조파 전류 주입을 적용한 분산전원 인버터 기반의 단독운전 검출 방법

김현준, 양원모, 한병문  
명지대학교 전력전자 연구실

## Islanding Detection Method by Injecting Second Order Harmonic Current for Inverter-Based Distributed Generators

Hyun-Jun Kim, Won-Mo Yang, Byung-Moon Han  
Power Electronic Lab Myongji Univ.

### ABSTRACT

본 논문은 계통과 연계된 3상 전압원 인버터를 기반으로 한 BESS의 능동 단독 운전 검출 방법을 제안한다. 제안하는 기법은 PR제어기와 필터를 가지고 기본파 전류와 2차 고조파 전류를 이용해 수행하였다. 단독운전은 BESS로부터 정격전류의 1% 2차 고조파를 주입하기 때문에 PCC점에서의 2차 고조파 전압 변화량을 검출 할 수 있다. 제안하는 기법은 모든 조건하에 정확하고 빠르게 검출 할 수 있다. IEEE와 UL1741에서 제시하는 단독 운전 기준 시험 회로를 구성하여 PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 통한 시뮬레이션과 5kW 하드웨어 장치를 통해 제안된 단독 운전 검출 방법을 검증하였다.

### 1. 서론

계통으로부터 분산전원의 단독운전과 분리의 빠른 검출은 사고로부터 보호하는데 매우 중요하다. 특히 부하에 안정적으로 전력을 공급하기 위해 분산전원은 단독운전이 발생했을 때 계통으로부터 분리를 시켜야 한다. 그리고 전류제어 모드는 빠르게 전압제어 모드로 전환되어야 한다. 한국전력 기준 조건은 0.5초 이내에 단독운전 검출이 요구되고 UL1741과 IEEE1541은 2초 이내에 단독운전 검출이 이루어져야 한다.

분산전원의 단독운전을 판별하는 방법에는 수동기법과 능동 기법이 존재한다. 안정된 (OVP/UVF)와 (OFP/UFP) 보호 기법과 상 점프 검출 기법(PJD)가 수동기법으로써 일반적으로 사용되고 있다.<sup>[1-2]</sup> 하지만 수동기법은 구현이 용이 하지만 계통 조건에 대한 의존도가 상당히 크기 때문에 검출 불가능한 영역인 NDZ(Non Detection Zone)이 능동기법에 비해 상대적으로 넓다. 능동 기법들은 주파수 바이어스 기법, SFS(Sandia Frequency Shift)기법, SVS(Sandia Voltage Shift)기법, 주파수 점프 기법들이 있다.<sup>[3]</sup>

본 논문에서는 기존의 active anti-islanding methods의 단점을 모두 보완할 수 있는 새로운 단독운전 검출방법을 제안한다. 제안하는 방법은 BESS를 통해 소량의 2고조파 전류를 주입함으로써, STS개방시 발생하는 PCC단의 기본파와 2고조파 전압 크기비를 통해서 단독운전 검출을 수행한다. 또한 정확한 2고조파 전류 주입과 PCC단에서의 측정된 60HZ 기본파 전압과 2고조파 전압의 정확한 크기를 추출하기 위해, 계통 연계형 인버터에 적합한 PR제어기와 PR필터를 사용하였다. 2고조파 전압 / 기본파 전류의 크기는 전압 불평형,

부하 불평형과 같은 조건에서 항상 동일하게 나타난다. 따라서 제안하는 단독운전 검출 방식은 다양한 실조건 상황에서 최소 10ms에서 최대 60ms에 정확하고 빠른 단독운전 검출을 수행한다. 이는 국제 규정에서 단독운전 검출 판단은 2.0s 이내에 수행해야 하는 조건에 충분히 만족하는 성능을 보였다. 제안된 단독운전 검출 방법은 UL1741, IEEE1547의 시험조건에서 PSCAD/EMTDC소프트웨어를 통한 모의실험과 5kW 프로토타입 하드웨어 장치를 통해 검증하였다.

### 2. 제안된 단독 운전 검출 방법

#### 2.1 단독 운전 검출 시험 장치

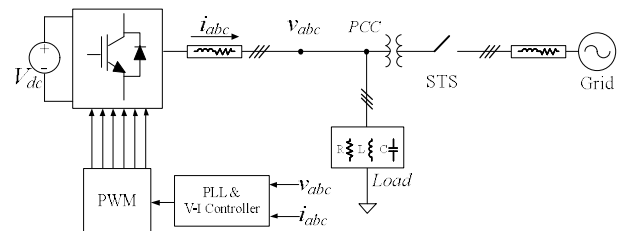


그림. 1 UL1741 기준 단독 운전 회로

Fig.1 UL1741 Standard Islanding Detection Circuit

단독 운전 검출 시험 장치의 경우 UL1741 또는 IEEE1547에서 기준 시험 장치를 제시한다. 이러한 기준 시험 장치는 서로 매우 유사하기 때문에 UL1741의 시험 요구 조건을 적용했다. 그림 1은 UL1741 단독운전시험에 대한 도식을 보여준다.

그림 1에서 보이는 것처럼 계통과 분산전원 그리고 부하는 RLC병렬 구성을 이용한 집중 정수 모델로 가정한다.

#### 2.2 2고조파 전류를 통한 단독 운전 검출 방법

그림 2는 본 논문에서 계통연계형 BESS의 등가회로를 나타낸다. 계통은 고조파 필터와 변압기를 통해서 BESS에 연결된다. 등가회로 내에서, I1st는 60Hz의 기본파 전류를 나타내고 I2nd는 2고조파 전류를 나타낸다. 2고조파 전류는 BESS로부터 주입되며 2고조파를 주입할시 계통의 임피던스는 부하의 임피던스보다 상대적으로 적게 보이기 때문에 2고조파 전류는 모두 계통으로 흐른다.

하지만 단독운전이 발생된다면 2고조파 전류는 모두 부하로 흐르기 때문에 단독운전발생시 PCC단에 2고조파 전압이 급격히 상승한다. 따라서 제안된 단독운전 검출 방법은 2고조파 / 기본파 전압 크기 비를 이용하여 1%를 넘게 된다면 단독운전이 발생 되었다고 판단한다.

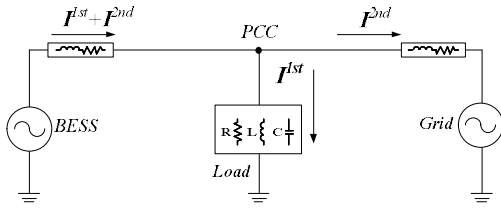


그림. 2 계통연계형 BESS의 등가회로  
Fig.2 Circuit Diagram for Grid-tied BESS

### 3. 시뮬레이션 및 실험

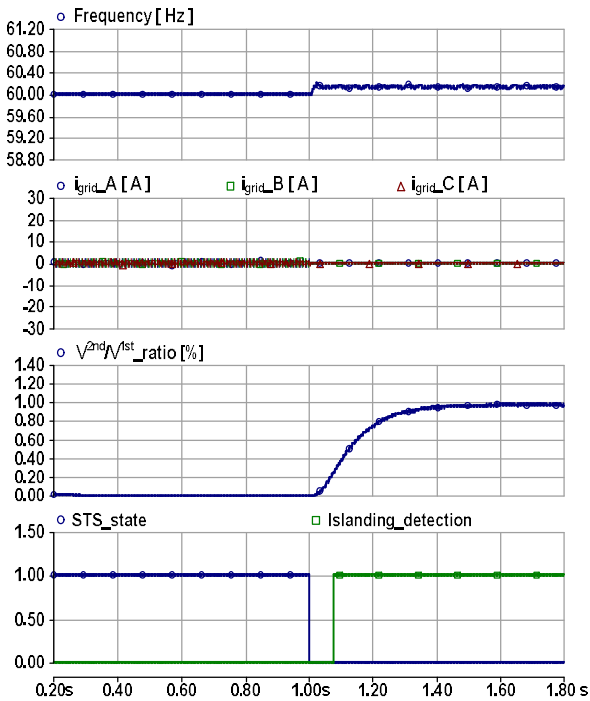


그림. 3 UL1741 Test 조건의 시뮬레이션 결과  
Fig.3 Simulation Result under UL1741 Test Conditions

그림 3은 계통 주파수, 계통전류, 기본파 전압과 2고조파의 전압 비율, STS상태와 단독운전 검출 신호를 PSCAD/EMTDC를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. BESS에 의해 공급되는 전력은 부하에 의해 소비되는 전력과 같고 STS는 1.0s일 때 발생 한다.

1.0s에서 주파수의 변화가 없기 때문에, 오직 주파수를 가지고 단독운전 상태를 판단 할 수 없다.

2고조파 전류의 1%를 계통에 주입하여도 계통의 임피던스는 부하 임피던스보다 매우 작기 때문에 PCC에서 2고조파 전압의 크기는 1.0s까지 나타나지 않는다. 하지만 1.0s이후 2고조파 전류의 1%는 부하로 흐르기 때문에 2고조파의 전압 크기는

빠르게 증가한다. 그러므로 2고조파 전압/ 기본파 전압 크기가 주입된 2고조파 전류 / 기본파 전류 크기 비와 동일하게 된다.

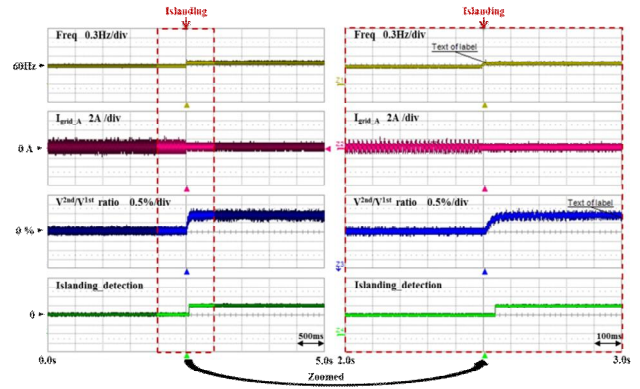


그림. 4 평형 계통 조건하에 단독운전 실험 결과  
Fig.4 Islanding Test Results under Balanced Grid Voltage

그림 4는 5kW급 프로토타입 시스템을 가지고 진행한 실험 파형을 나타 낸다. 시뮬레이션 결과와 모든 조건을 동일하며 이를 통해 타당성으로 검증 하였다.

### 4. 결론

본 논문에서는 2고조파 전류 주입을 통해 새로운 단독 운전 검출을 제안하였다. BESS에서 2고조파의 1%를 계통에 주입함으로써 2고조파 전압의 크기를 측정하고 단독 운전 발생 전후의 2고조파 전압/ 기본파 전압 크기 비를 이용하여 판별한다.

제안하는 방법은 계통과 부하의 불평형 상황에서도 정확한 단독 운전 검출을 수행할 수 있다. 이는 국제 규정에서 단독운전 검출 판단은 2.0s이내에 수행해야 하는 조건에 충분히 만족하는 성능을 보였다.

이를 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모의실험을 하였으며 또한 5kW 프로토타입 하드웨어 장치를 통해 타당성을 검증 하였다.

### 참고 문헌

- [1] Liu Furong, Kang Yong, Duan Shanxu, et al. Boundary Conditions of Voltage Shift Techniques for Islanding Detection[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(3): 247–251.(in Chinese)
- [2] Liu F, Kang Y, Zhang Y, et al. Improved SMS islanding detection method for grid-connected converters[J]. Renewable Power Generation, 2010, 4(1): 36–42.
- [3] L. A. C. Lopes and H. Sun, Performance assessment of active frequency drifting islanding detection methods, IEEE Trans. Energy Convers., vol. 21, no. 1, pp. 171–180, Mar. 2006.