

역상분 전류 주입을 적용한 3상 인버터 기반 BESS의 단독 운전 검출 방법

김현준, 신은석, 유승영, 한병문
명지대학교 전력전자연구소

Anti-islanding Detection Method for BESS Based on 3 Phase Inverter Using Negative-Sequence Current Injection

Hyun Jun Kim, Eun Suk Shin, Seung Yeong Yu, 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. 계통 전압의 불평형에서도 안정적으로 위상을 추종할 수 있는 DDSRF_PLL(Decoupled Double Synchronous Reference Frame_PLL)방식을 적용 하였으며, 검출된 위상각 정보를 통해 정상분 전류 제어기와 역상분 전류 제어기를 독립적으로 제어할 수 있게 된다. 이를 위해 IEEE 1547과 UL1741에서 제시하는 단독 운전 기준 시험 회로를 구성하여 PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 통한 시뮬레이션과 5kW 프로토타입 하드웨어 장치를 통해 제안된 단독 운전 검출 방법을 검증하였다.

1. 서 론

분산전원에서 단독 운전은 전력계통 작업자에게 인명 피해를 유발하고 국부적으로 주파수 상승 또는 하강을 초래하여 품질 저하를 야기한다.

BESS의 경우 특히 부하의 안정적인 전력 공급을 위해 대부분 단독 운전 발생시 계통과 분리 되어 전류제어에서 전압제어의 모드전환이 신속히 이뤄져야 한다. 하지만 확실한 단독운전 검출이 이루어지지 않는다면 연계된 부하와 배터리에 심각한 손상을 초래할 수 있다.

분산전원의 단독 운전을 판별하는 방법에는 수동기법과 능동기법이 존재한다. 분산전원이 연계된 지점의 계통정보만을 이용하여 단독운전 여부를 판단하는 수동기법은 분산전원의 출력이 부하의 크기와 유사한 경우 판별이 어렵다. 그 이유는 수동기법은 계통조건에 대한 의존도가 크기 때문이다. 따라서 전압, 전류, 무효전력 등을 불연속 적으로 계통에 주입하여 주파수 편이를 측정하여 판별하는 능동 기법에 대한 연구가 다양하게 진행되어왔다.^[1]

대부분의 수동 기법들은 구현이 용이하지만 계통 조건에 대한 의존도가 상당히 크기 때문에 검출 불가능한 영역인 NDZ(Non Detection Zone)이 능동기법에 비해 상대적으로 넓다. 따라서 대부분 능동 기법이 적용되어 사용 된다. 능동 기법들은 임피던스 측정기법, 고조파 검출 기법, 주파수 바이어스 기법, SFS(Sandia Frequency Shift)기법, SVS(Sandia Voltage Shift)기법, 주파수 점프 기법 등이 있다.^[2]

본 논문에서는 계통에 연계된 3상 전압원 인버터 기반 BESS를 통한 능동 단독 운전 검출 방법을 제안한다. 약 2~3%의

역상분 전류를 주입하여 단독 운전 발생시 계통과의 접속점 PCC(Point of Common Coupling)에서 역상분 전압의 크기 변화를 측정하여 검출하는 방법이다. 기존의 고조파 주입 방식에서 문제시 되었던 공진주파수 문제를 해결할 수 있으며, DDSRF_PLL을 적용하여 계통전압의 불평형에서도 빠르게 단독운전을 검출할 수 있다. 제안된 단독운전 검출 방법은 UL1741 및 IEEE1547의 시험 조건하에서 PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 통한 모의실험과 5kW 프로토타입 하드웨어 장치를 통해 검증하였다.

2. 제안된 단독 운전 검출 방법

2.1 단독 운전 검출 시험 장치

단독 운전 검출 시험 장치의 경우 UL1741또는 IEEE1547에서 기준 시험 장치를 제시한다. 이러한 기준 시험 장치는 서로 매우 유사하기 때문에 본 논문에서는 UL1741의 시험 요구 조건을 적용했다. 그림 1은 UL1741 단독운전시험에 대한 도식을 보여준다. 그림1 에서 보이는 것처럼 계통과 분산전원 그리고 부하는 RLC병렬 구성을 이용한 집중 정수 모델(Lumped parameter model)로 가정한다.

R_f 와 L_f 는 직렬 고조파 필터를 나타내며 변압기는 PCC단에서 분산전원을 계통과 연계한다. 각 규정에서는 부하의 공진 주파수를 계통 주파수인 60Hz로 명시한다. 이때 RLC부하는 유도성 무효전력과 용량성 무효전력이 동일하게 되어 순수 저항성 부하로 보이게 된다.

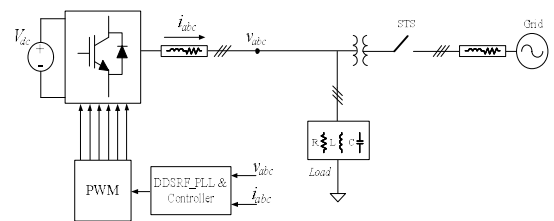


그림. 1 UL1741 기준 시험 회로

Fig. 1 Schematic diagram of UL1741 standard test

2.2 역상분 전류를 통한 단독 운전 검출 방법

그림2는 본 논문에서 제안된 계통연계형 BESS와 고조파 필터를 거쳐 변압기를 통해 계통과 연결된 시스템의 도식을 나

타낸 것이다.^[3]

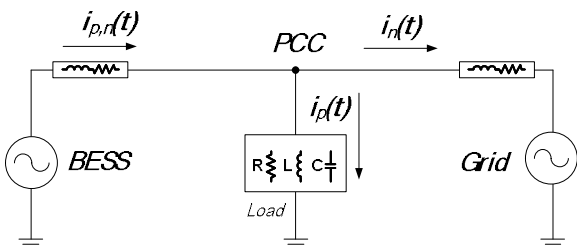


그림 2 정상분,역상분 전류 주입 등가회로
Fig. 2 Schematic diagram of the test system illustrating positive and negative sequence current injection

$i_p(t)$ 는 60Hz의 정상분 전류를 나타내고 $i_n(t)$ 는 역상분 전류를 나타낸다. BESS를 통해 역상분 전류를 주입할시 계통의 임피던스는 부하의 임피던스보다 상대적으로 적게 보이기 때문에 역상분 전류 $i_n(t)$ 는 모두 계통으로 흐른다.

하지만 단독운전이 발생된다면 역상분 전류는 모두 부하로 흐르기 때문에 단독운전발생시 PCC단에 역상분 전압이 급격히 상승한다. 따라서 제안된 단독 운전 검출 방법은 주입된 역상분 전류 만큼의 정해진 불평형율을 넘게 된다면 단독운전이 발생 되었다고 판단한다.

3. 시뮬레이션 및 실험

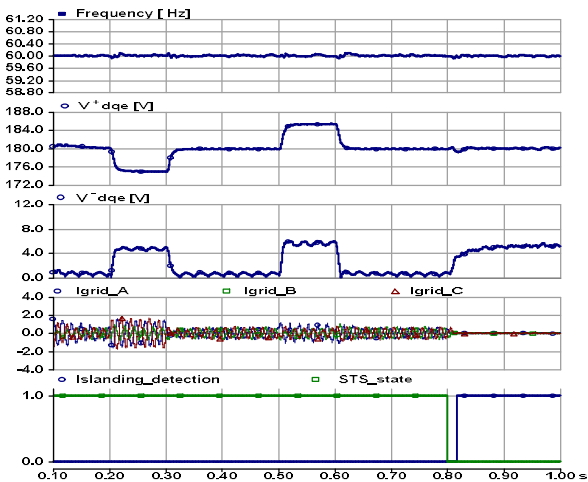


그림 3 계통 불평형 조건하에서 시뮬레이션 파형
Fig. 3 Simulation under grid imbalance conditions

그림3 은 계통의 불평형이 발생한 경우의 단독운전 검출 모의 실험 파형이다. t= 0.2s 일 때 1상 전압을 임의로 5Cycle정도 sag를 발생시켜 역상분 전압이 PCC단에서 약 3%가 되도록 하였다. 그리고 t=0.5s일 때 1상 전압을 임의로 5Cycle정도 swell을 발생시킨다.

1상 전압의 순간 sag와 swell발생시 PCC단의 정상분 전압의 크기는 역상분 전압의 변동분과 거의 동일하게 변하게 된다. 하지만 단독운전 검출이 발생하는 t=0.8s에서는 역상분 전압 크기만 변하게 되고 BESS에서 정상분 전류 제어기로 인해 총 방전 제어를 수행하기 때문에 부하에 걸리는 전압은 기본과 1상의 최대치인 180V가 된다. 이를 통해 계통 전압의 순간적인

불평형이 발생할 지라도 이를 정확하게 BESS에서 판단하여 단독 운전 검출을 수행할 수 있음을 확인 하였다.

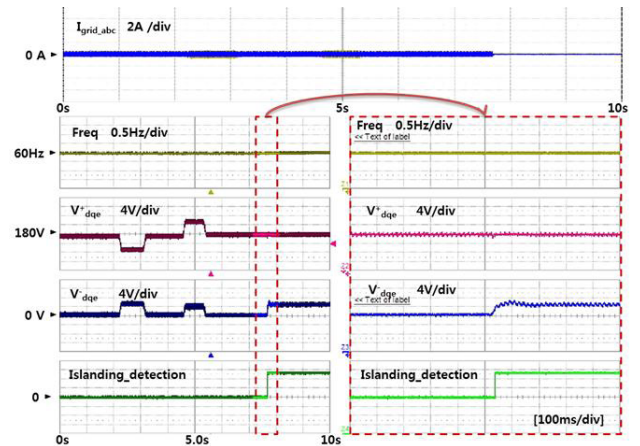


그림 4 불평형 계통 조건에서의 단독 운전 방지 실험 결과
Fig. 4 Anti-Islanding test results under grid imbalance conditions

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

4. 결론

본 논문에서는 역상분 전류 주입을 통해 BESS의 단독 운전을 안정적이고 신속하게 검출할 수 있는 방법을 제안하였다. BESS에서 약 3% 역상분 전류를 계통에 주입함으로써 단독 운전 발생시 PCC단에 걸리는 역상분 전압의 크기를 측정 하여 단독 운전 발생 여부를 판단 한다.

이를 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모의실험을 하였으며 또 한 5kw 프로토타입 하드웨어 장치를 통해 타당성을 검증 하였다.

본 연구는 2013년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No. 20132010101880)입니다.

참고 문헌

- [1] Sung Il Jang and Kwang Ho Kim, "Development of a Logical Rule Based Islanding Detection Method for Distributed Resources," IEEE Power Engineering Society 2002 Winter Meeting, New York USA, January 27 31, 2002.
- [2] 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.
- [3] H. Karimi, A. Yazdani and R. Iravani, "Negative Sequence Current Injection for Fast Islanding Detection of a Distributed Resources," IEEE Trans. Power Electron, Vol. 23, No. 1, Jan. 2008.