

# 분산전원의 단독운전 방지 기법에 관한 연구

이현명, 김동규, 이정훈, 김재언

충북대학교

caer0903@naver.com

## A Study on the Technique for Anti-Islanding of Distribution Generator

Lee Hyeon Myeong, Kim Dong Kyu, Lee Jung Hun, Kim Jae Eon

Chungbuk National Univ.

### 요약

본 논문은 분산전원의 단독운전 방지 기법을 제안한다. 태양광, 풍력 등의 신재생 발전시스템은 환경적 요인에 의해 발전량이 간헐적이다. 이 특성으로 인하여 출력을 내지 못하는 경우 에너지 저장 장치(Energy Storage System, ESS)와 같은 분산전원이 발전량을 부담한다. 이와 같은 상황에서 계통이 탈락하게 되는 경우가 발생한다면, ESS는 단독운전 방지에 의하여 탈락하여야 한다. 하지만 ESS 발전량과 부하소비가 비슷하고 부하의 공진 주파수가  $60[Hz]$ 인 경우 단독운전을 검출하지 못할 수 있다. 이러한 경우를 대비한 새로운 단독운전 방지 기법이 필요하다. 본 논문에서는 PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 사용하여 IEC61850을 고려한 분산전원의 단독운전 방지 기법을 제시한다.

### I. 서론

전 세계적으로 신재생에너지 사용이 증가함에 따라 ESS 사용량 또한 증가하고 있다. ESS는 주로 신재생에너지의 발전량을 저장하거나 계통에서의 공급량이 부족할 경우 저장된 에너지를 부하에 공급해주는 역할을 한다. 신재생 발전이 안 되는 경우, 예를 들어 태양광의 경우, 일사량이 없는 저녁 또는 흐린 날에는 ESS가 신재생에너지 발전량을 대신 충당하는 것이다.

본 논문에서는 위와 같이, 신재생 발전시스템의 운영이 제한되는 상황에서, ESS와 같은 분산전원이 부하량을 충당하는 경우에 발생할 수 있는 문제에 대해 고찰하고 해결책을 제시한다. ESS가 부하량을 충당하는 상황에서 고장과 같은 요인으로 인해 계통 탈락 시, 분산전원의 단독 운전 방지를 위해 분산전원 또한 탈락시켜야 한다. 하지만 부하량과 ESS 발전량이 같고, 부하의 공진주파수가  $60[Hz]$ 인 경우, Over/Under Voltage Relay(OVR, UVR), Over/Under Frequency Relay(OFR/UFR)로 단독운전이 검출되지 않는 상황에서는 단독운전 불검출 영역(Non Detection Zone)이 발생하여 분산전원을 탈락시키지 못한다.[1] 본 논문에서는 이러한 경우를 대비하기 위해 IEC 61850 표준을 따르는 단독운전 방지 기법을 제안한다.

### II. 본론

#### 2.1. 단독운전

ESS와 같은 인버터 기반 분산전원이 계통과 연계되어 있는 상황에서 계통이 탈락하게 되는 경우, 계통 탈락 및 고장을 검출하지 못할 수 있다. ESS 발전량과 부하량이 같고, 부하의 공진주파수가  $60[Hz]$ 인 경우 OVR, UVR, OFR, UFR만으로는 완전히 검출할 수 없기 때문이다. 이러한 상황에서 사고 및 고장을 검출하지 못하고, 인버터 기반 분산전원이 부하에 계속 전력을 공급하는 현상을 단독운전이라고 한다. 단독운전이 발생하면 부하와 계통의 보호협조, 인명사고에 대한 문제를 야기할 수 있다. 때문에 단독운전 검출은 단독운전 발생 후 최대 0.5초 이내에 수행되도록 규정하고 있다.[2]

#### 2.1.1. 단독운전 불검출 영역(Non Detection Zone, NDZ)

계통 연계형 분산전원 운전 중, PCC(Point of Common Coupling)단의 전압 또는 주파수가 기준 값을 벗어나는 경우 단독운전 상태를 검출하여 계통으로부터 탈락시켜야 한다. 분산전원으로부터 발생하는 전력은 PCC 단을 통해 연결되어있는 RLC병렬부하에 공급된다. 이 때, PCC에서의 분산전원 발전전력과 RLC병렬부하의 소모 전력 차는 다음과 같이 표현할 수 있다.

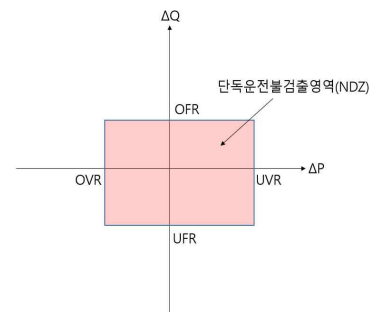
$$\Delta P = P_{load} - P_{DG}$$

$$\Delta Q = Q_{load} - Q_{DG}$$

$P_{load}$  = 부하의 유효전력,  $Q_{load}$  = 부하의 무효전력

$P_{DG}$  = 분산전원이 공급하는 유효전력,  $Q_{DG}$  = 분산전원이 공급하는 무효전력

위 식에서  $\Delta P$ 와  $\Delta Q$ 가 작다면, 단독운전을 검출하지 못하는 경우가 발생한다.[3] 유효전력 및 무효전력 변화량이 작을 경우, 즉 단독운전을 검출하지 못하는 경우의 계전기 동작영역을 시각화하면 <그림1>과 같이 표현할 수 있다.



<그림 1> 단독운전 불검출 영역(NDZ)

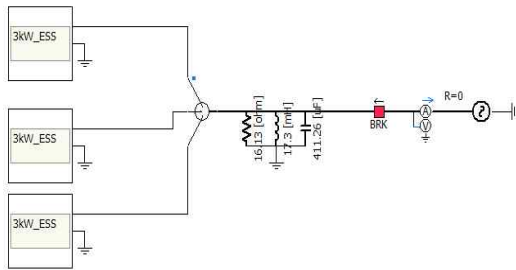
## 2.1.2. 본 논문에서 제안하는 단독운전 방지기법

단독운전 불검출 영역(NDZ)에서 단독운전을 검출해내기 위한 새로운 단독운전 방지기법을 제안한다. 제안하는 단독운전 방지기법은 역률 1제어를 하는 전류제어기의  $I_d$ 의 설정치에 외란을 주어 계통 탈락 시 주파수에 영향을 준다. 계통이 연계되어 있는 정상 운전상태의 경우,  $I_d$  설정치에 일정 오차를 발생시키더라도 연계된 계통이 무한모선의 특성을 지니기 때문에 인버터제어는 안정적으로 수행된다. 하지만 계통이 탈락 된 경우에는 외란에 의한 주파수 오차가 발생하고, 이를 UFR, OFR의 검출을 통해 단독운전을 검출하는 방식이다.

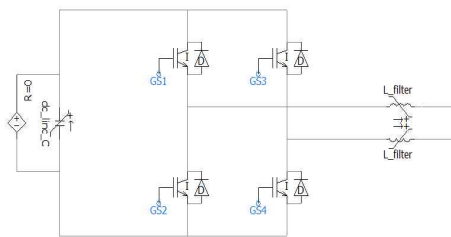
## 2.2. 단독운전 방지기법의 시뮬레이션 모델링

본 논문에서는 PSCAD/EMTDC를 사용하여 단상 3[kW]급 ESS를 모델링하고 단독운전 방지 제어기를 설계하였다. 이를 통해 단독운전을 검출할 수 있음을 보여주고자 한다.

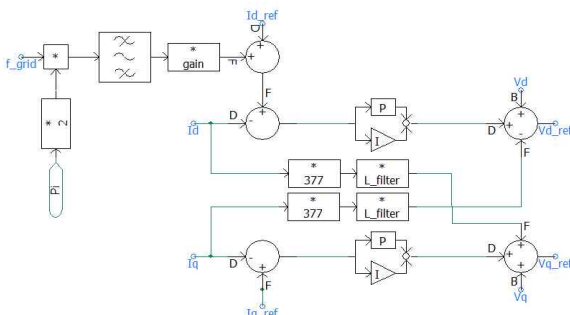
<그림 2>는 단독운전 검출을 위한 시뮬레이션 모델링이다. 단상 3[kW]급 ESS 3대를 0.38[kV] 전압원과 연계하였고, ESS 발전량과 부하소비량을 맞추며, LC공진주파수가 60[Hz]가 되도록 설계하였다. 계통 탈락 및 단독운전 발생시간은 1[s]이다. 이 때, 단상 3[kW]급 ESS의 모델링은 <그림 3>과 같고, 단독운전 방지기법을 추가한 전류 제어기는 <그림 4>와 같다. 단독운전 방지 제어기의 Gain은 전류 총고조파왜율(THD)가 5[%]가 넘지 않도록 적정치로 설정하였다.



<그림 2> 단독운전 검출을 위한 시뮬레이션 모델링



<그림 3> 단상3[kW]급 ESS 모델링

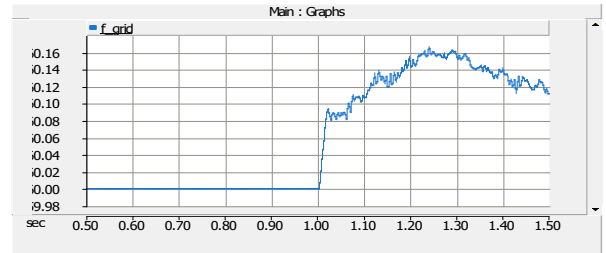


<그림 4> 단독운전 방지기법을 추가한 전류제어기

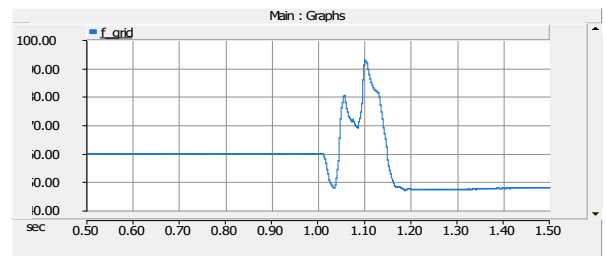
## 2.2.1. 시뮬레이션 결과

<그림 5>는 단독운전 방지 제어기가 없을 때의 주파수 변동을 나타낸다. 단독운전 방지 제어기가 없는 경우, 계통 탈락 후 0.5[s]지점까지의 최대 주파수 변동이 공칭 주파수 60[Hz]의 0.3[%] 정도이다. 이는 정상 주파수 유지 범위에 해당하여 단독운전을 검출하지 못하는 상태를 나타낸다.

<그림 6>은 단독운전 방지 제어기를 추가했을 때의 주파수 변동을 나타낸다. 단독운전 방지 제어기를 추가한 경우, 계통 탈락 후 0.5[s]지점까지의 최대 주파수 변동은 공칭 주파수 60[Hz]의 약 50[%]이다. 계통 탈락 후 주파수는 0.02[s]내에 60[Hz]에서 50[Hz]까지 감소하여 UFR의 빠른 동작을 확보할 수 있다.



<그림 5> 단독운전 방지 제어기 적용 전 주파수 변동



<그림 6> 단독운전 방지 제어기 적용 후 주파수 변동

## III. 결론

본 논문에서는 신재생 발전시스템이 동작하지 않는 상황에서 부하량을 분산전원이 충족할 때 발생할 수 있는 단독운전 상황을 모의하고, 이를 해결하기 위한 단독운전 방지 기법을 제안하였다. <그림 5>의 경우, 계통이 탈락하여 단독운전 중임에도 불구하고 주파수 변동이 매우 작아 주파수 계전기의 동작범위에 들지 않는다. 따라서 단독운전 검출이 불가능했지만, <그림 6>의 단독운전 방지 기법 적용 후 주파수 변동은 60[Hz]에서 충분히 벗어나며, UFR 또는 OFR의 동작을 확보할 수 있다. 결과적으로 단독운전 불검출 영역(NDZ)를 줄여 단독운전을 검출할 수 있었다.

이 기법을, 변전자동화 표준인 IEC 61850을 고려하여 적용한다면 전력 유틸리티 자동화 시스템 실현에 일조할 수 있을 것이다.

## ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2020RIA6A1A12047945).

## 참 고 문 헌

- [1] Z. Ye, R. Walling, N. Miller, P. Du, K. Nelson, "Facility Microgrids", National Renewable Energy Laboratory, 2005
- [2] "송배전용 전기설비 이용규정", 한국전력공사, 2020
- [3] Youngseok Jung, Jaeho Choi, "Optimal Desing of Active Anti-islanding Method Using Digital PLL for Grid-connected Inverters", Proc of IEEE PESC, pp.18-22, 2006