

고조파를 이용한 분산전원 고립운전 검출 알고리즘

고철진 권영진 강상희  
 명지대학교 차세대 전력기술연구센터

Islanding Detection Algorithm Based on a Harmonic for Distributed Generators

C.J Ko Y.J Kwon S.H Kang  
 NPTC, Myong -ji University

**Abstract** - This paper presents an islanding detection algorithm based on the second harmonic. When the DG(distributed Generator) was connected with utility supply, for maintenance and repair of equipment, an islanding occurred. So islanding detection algorithm must be developed for safety of human.

Although the DG generating power is similar to power consumption, the proposed algorithm can detect the islanding condition very successfully.

1. 서 론

현대사회에서 전기에너지의 수요는 계속적으로 증가하고 있다. 그러나 한정적인 자원인 화석연료를 사용한 전기에너지의 생산은 한계가 있고 원자력을 이용한 발전 또한 지역 선택문제와 주민문제 그리고 핵폐기물 처리문제로 인하여 발전소의 건설이 어려운 실정이다. 전력수요의 증가에 맞추어 발전설비의 증가가 있어야겠지만 위와 같은 문제로 인해 그 대안으로 분산 전원이 제시되고 있다.

배전 시스템에 연계되는 분산 전원은 그 형태가 태양광, 연료전지, 풍력 그리고 열병합 등 자연환경을 이용한 소규모의 시스템이기 때문에 대용량의 발전시설 건설에서 발생하는 많은 문제점을 해결할 수 있다.

하지만 분산전원을 배전계통에 도입하여 운전할 경우 현재 보호협조의 방법에 재검토가 필요하다. 특히 계통의 유지 보수를 위한 부하절체가 이루어질 경우 분산전원의 출력이 부하용량과 비슷해질 때 분산전원의 고립운전(Islanding)을 검출하기 어렵게 된다. 이때 선로를 유지 보수할 경우 작업인원의 안전성 문제가 대두되고 또 계통과 재 연계 시 동기투입에 악영향을 주게 된다.

이러한 고립운전의 문제점을 해결하기 위하여 능동적인 검출방법과 수동적인 검출방법이 제시 되었다.[1]

본 논문에서는 수동적 고립운전 검출방법에 대한 개선점을 찾고자 하였다.

수동적인 방법은 고립운전 발생 시 부하의 변동에 의한 전압, 주파수, 전류의 변화 관찰을 통해 고립운전을 검출하는 방법으로 주파수 변화를 검출방식, 전압위상 검출 방식 등이 있지만 고립운전 전후에 전압, 전류의 변화가 작을 경우에는 판단이 어렵게 된다.[2]

또한 고조파 왜형률을 이용한 고립운전 검출 방법은 상용전원과 분산전원 측에 비선형 부하가 있을 경우 고조파가 발생하게 되는 데 이 경우 분산전원이 계통과 연계되어 정상 동작할 때도 오동작의 가능성이 있다.[3]

본 논문에서는 차단기 동작에 의해 발생한 과도적인 고조파 중 2고조파 성분을 검출하여 분산전원의 고립운전 시 전류와 전압의 변화가 작은 경우에도 고립운전을 판단할 수 있음을 사례연구를 통하여 검증하였다 .

2. 배전계통의 분산전원 연계 모델링

배전계통을 모의하기 위하여 전력계통 과도현상 해석

프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 계통을 모의하였다.

2.1 배전계통 모델링

그림 1과 같이 대량풍 풍력실증단지과 연계된 황계 변전소 계통을 용량이 45MVA인 변압기와 선간 전압이 22.9kV인 실제 계통 데이터로 구성하였다. 그리고 분산전원 측의 동기발전기와 변압기의 용량은 각각 1MVA, 선간 전압은 22.9kV구성하였다..

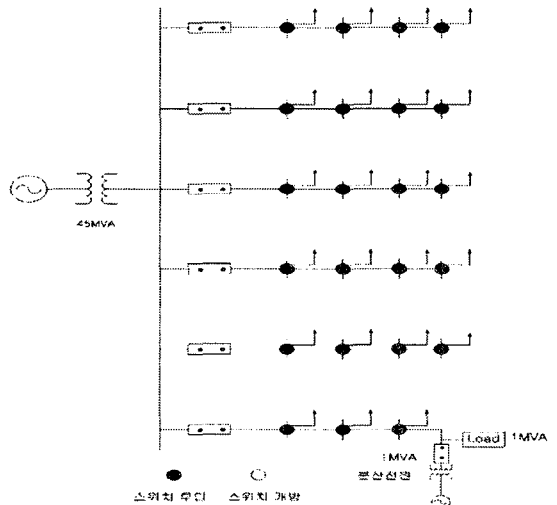


그림 1. 분산전원이 연계된 22.9kV 배전계통 단선도

2.2 분산전원 고립운전

분산전원의 고립운전 상황은 계통의 유지 보수를 위해 분산전원 연계점에서 부하절체가 이루어질 때 발생할 수 있다. 분산전원의 출력과 부하용량이 맞지 않을 경우에는 쉽게 고립운전 상황을 검출 할 수 있으나 분산전원 측의 출력이 부하용량과 비슷한 경우에는 고립운전을 검출하기 어렵다. 계통 고장에 의한 경우는 전류와 전압 그리고 주파수의 변화가 크므로 기존의 과전류, 저전압, 주파수 검출이 가능하므로 본 논문에서 제외하였다.

그림 2에서처럼 유지보수를 위해 스위치가 개방될 때 분산전원의 출력과 부하용량이 비슷한 경우에 분산전원의 고립운전을 모의하였다.

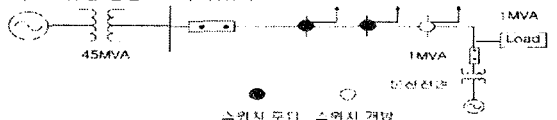
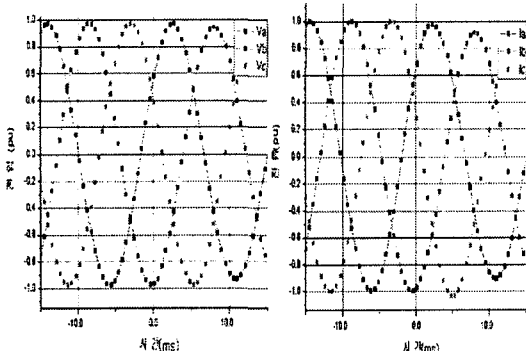


그림 2. 분산전원의 고립운전

**2.2.1 부하변동 및 고립운전에 따른 2고조파의 변화**  
 차단기나 스위치 동작 시 전압, 전류는 왜곡되고, 이때 2고조파를 검출하여 계통의 변화 유무를 판단할 수 있다. 2고조파를 검출하기 위하여 모의계통을 시뮬레이션 후 한 주기 32샘플링을 하였고 중첩에러를 피하기 위하여 차단 주파수가 800Hz인 Butterworth 2차 저역통과 필터를 통과 시킨 후 DFT 기반 직교변환을 통하여 2고조파를 구하였다. 그리고 차단기가 0도에서 개방할 경우 고조파가 발생하지 않을 경우를 대비하여 각 상 전압의 2고조파 성분의 크기를 합하여 고립운전 판단 변수로 사용하였다.

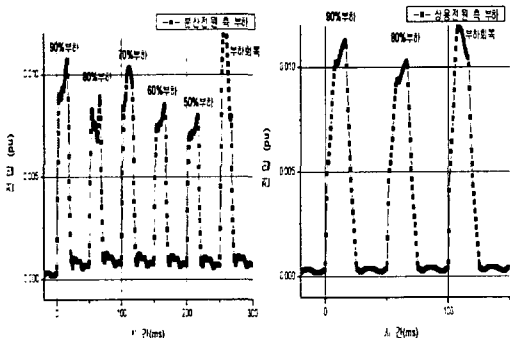


(a) 전압 (b) 전류  
 그림 3. 고립운전 전후의 분산전원 전압, 전류

그림 3은 분산 전원이 담당할 수 있는 최대 부하에서 고립운전 되었을 경우 분산전원의 전압과 전류의 파형이다. 고립운전 전후 분산전원의 전압과 전류 변화가 미소함을 볼 수 있지만 3상 전압의 2조파 성분의 크기 합은 분산전원의 고립운전 시 크게 나타남을 그림 5에서 확인할 수 있다. 그림에서 스위치 동작 시간을 시간기준 0으로 하였다.

분산전원이 배전계통과 연계되어 정상 운전 시 분산전원과 상용전원 측 부하들에 의한 고조파의 영향을 고려하기 위하여 그림 4와 같이 스위치 조작을 통한 부하변동을 주었다. 분산전원이 담당하는 최대부하 중 10%씩 감소시키면서 최대 부하의 50%까지 변화를 주었다. 그리고 상용전원 측 부하에서는 전체 부하량의 10%, 20%까지 감소시킨 후 다시 증가시켰다. 또 고립운전 시 전후의 영향을 분석하기 위하여 그림 6과 같이 분산전원이 담당할 수 있는 최대부하에서 10%씩 최대부하의 50%까지 감소시킨 상황에서 분산전원의 고립운전을 모의했다.

위 세 가지 상황 모두 3상 전압의 2고조파 성분의 합이 스위치 동작 시 크게 증가함을 볼 수 있다.



(a) 분산전원 측 부하변동 (b) 상용전원 측 부하변동  
 그림 4. 분산전원 계통연계 운전 시 부하 변동에 따른 3상 전압의 2고조파의 합

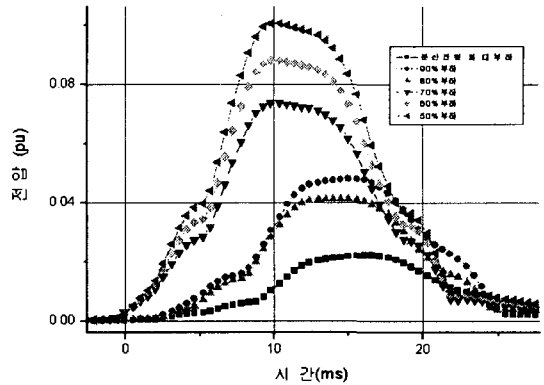


그림 5. 고립운전 시 담당부하에 따른 3상 전압의 2고조파의 크기 합

계통연계 운전					고립운전			
시간 (s)	분산전원 측 부하량	3상 전압 2고조파 크기 합(pu)	시간 (s)	상용전원 측 부하량	3상 전압 2고조파 크기 합(pu)	시간 (s)	분산전원 측 부하량	3상 전압 2고조파 크기 합(pu)
0	90%	0.0107	0	90%	0.0112	0	최대부하	0.0222
50m	80%	0.0089	50m	80%	0.0103	50m	90%	0.0414
100m	70%	0.0103	100m	최대부하 회복	0.0120	100m	80%	0.0481
150m	60%	0.0082				150m	70%	0.0736
200m	50%	0.0080				200m	60%	0.0881
250m	최대부하 회복	0.0132				250m	50%	0.1006

표 1. 분산전원의 부하 변동에 따른 제 2조파의 크기

표 1은 그림 4에서의 분산전원 계통연계 운전 시 부하변동에 따른 3상 전압의 2고조파 성분의 크기의 합 중 가장 큰 값과 그림 5에서의 분산전원 고립운전 시 분산전원이 담당하는 부하에 따른 3상 전압의 크기의 합 중 가장 큰 값을 각각 표시 하였다. 표 1에서 확인하는 바와 같이 분산전원 고립운전 시 3상 전압의 2고조파 성분의 크기 합은 계통이 연계된 상태에서 부하가 변동할 때 3상 전압의 2고조파 성분의 크기 합보다 큼을 볼 수 있다.

### 3 분산전원 고립운전 검출

본 논문에서는 분산전원 고립운전 판단을 위해 분산전원이 고립운전 될 때 발생하는 3상 전압의 2고조파 성분의 크기 합이 정상운전 때 부하변동에 따라 발생하는 2고조파 성분의 크기보다 크다는 것을 이용하였다.

고립운전 판단 설정 값은 그림 5에서 상용전원 측 부하 변동 시 3상 전압의 2고조파 성분의 크기 합이 가장 큰 값에서 50%마진을 둔 값으로 설정했다.

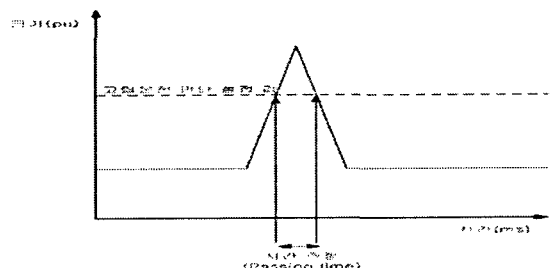


그림 6. trip 조건 시간 측정

그림 6과 같이 고립운전을 판단하기 위하여 3상 전압의 2고조파 성분의 크기 합이 고립운전 판단 설정값보다 클 경우 바로 트립신호를 보내게 되면 부하변동이 클 경우 3상 전압의 2고조파 성분의 크기 합이 순간적으로 고립운전 판단 설정값 보다 커질 때 오동작할 수 있다. 이때 아래의 조건(1)을 이용하여 3상 전압의 2고조파 성분의 크기 합이 고립운전 판단 설정값보다 크면 고립운전 판단 설정값보다 작아질 때까지 시간을 측정하여 계전기의 오동작을 억제할 수 있다.

$$(최소통과시간) < (계전기 측정시간) <= (최대통과시간) \quad (1)$$

정정시간은 분산전원 고립운전 시 최대부하일 때 최소값(최소통과시간)으로 설정했으며 최대부하의 50%감소되었을 경우 최대값(최대통과시간)으로 설정했다.

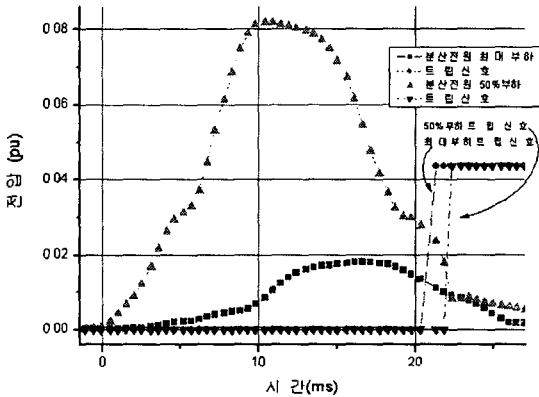


그림 7. 고립운전 시 담당부하에 따른 분산전원 고립운전 검출

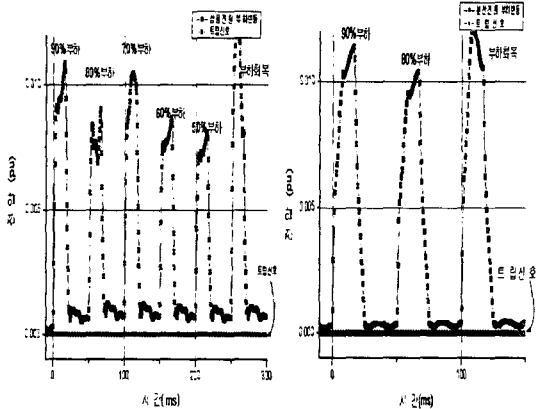


그림 8. 분산전원이 계통과 연계 시 부하변동에 따른 오동작 억제

그림 7은 분산전원이 고립운전 되었을 경우에 분산전원 담당부하가 최대일 경우와 50%일 경우 고립운전 상황을 검출할 수 있음을 보여준다. 그리고 그림 8은 분산전원이 계통과 연계 운전할 경우 분산전원 측 부하변동과 상용전원 측 부하변동에 의한 오동작을 하지 않음을 볼 수 있다.

그림 10은 3상 전압 크기의 2고조파 성분의 크기 합을 이용한 분산전원의 고립운전 검출 알고리즘 순서도이다.

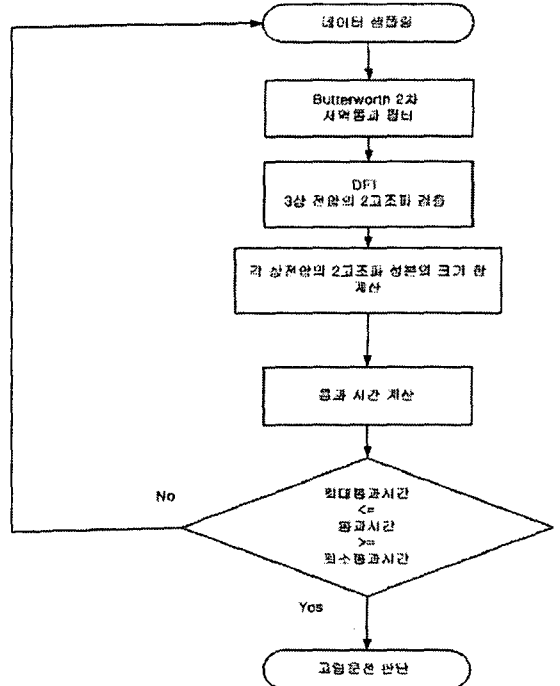


그림 10. 분산전원의 고립운전 검출 알고리즘 순서도

#### 4. 결 론

본 논문에서는 PSCAD/EMTDC를 이용하여 고립운전 시 과도 현상을 분석하였으며 전압과 전류의 미소변화에도 고립운전을 검출할 수 있는 3상 전압의 2고조파 성분의 크기 합을 이용한 알고리즘을 제안하였다.

이 알고리즘은 차단기 동작에 의해 생기는 고조파를 이용하여 분산전원의 고립운전 전후에 부하 변동이 비슷하여 전류와 전압의 변화가 미소할지라도 3상 전압의 2고조파 성분의 크기 합은 고립운전 시점에서 커지므로 분산전원의 고립운전을 검출할 수 있다. 그리고 분산전원이 계통연계 운전 중일 경우에 부하의 변동에 따른 3상 전압의 2고조파 성분의 크기 합이 고립운전 판단 설정값보다 큰 값이 발생하더라도 고립운전 판단 설정값 통과 시간을 통한 오동작을 막아 신뢰성을 높였다.

본 논문에서 제안된 알고리즘은 향후 분산전원의 고립운전 검출에 사용될 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구는 과학기술부 및 한국과학재단의 ERC 프로그램을 통한 지원으로 이루어졌으며 이에 감사를 드립니다.

#### [참고 문헌]

- [1] 황진수, 김재연, "분산형전원이 도입된 배전계통에 대한 ISLANDING DETECTION METHOD" 2000년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2000.7.17-20
- [2] Woyte, A.; Belmans, R.; Nijts, J., "Testing the islanding protection function of photovoltaic inverters" Energy Conversion, IEEE Transactions on, Volume: 18, Issue: 1, Pages:157 - 162, March 2003
- [3] Jang, S.-I.; Kim, K.-H., "An Islanding Detection Method for Distributed Generations Using Voltage Unbalance and Total Harmonic Distortion of Current" Power Delivery, IEEE Transactions on, Volume 19, Issue 2, Pages 745 - 752, April 2004