

전압 가속이득을 이용한 향상된 단독운전 수동인지법

강진아, 이용석, 최규영, 이병국  
성균관대학교 정보통신공학부

Advanced Passive Anti-Islanding Method Using Voltage Acceleration Gain

Jin-A Kang, Yong-Seok Lee, Gyu-Yeong Choe, Byoung-Kuk Lee  
School of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University

**Abstract** - 본 논문에서는 연계점전압의 변화율과 가속이득을 이용한 향상된 수동적 인지법을 제안하였다. 기존의 수동적 인지법과 비교하여 불검출영역의 감소를 확인하였고 적절한 가속이득 값을 설정하기 위하여 단독운전 검출 소요시간과 시스템 민감도를 분석하였으며 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안한 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

common coupling) 혹은 ‘연계점’이라고 부른다. 이 때 태양광 발전시스템에서 부하로 공급하고 남은 전력은 계통으로 공급되고, 모자란 전력은 계통으로부터 공급받게 된다. 이러한 연계점에서의 전력 관계식은 식 (1), (2)와 같이 표현된다.

$$\Delta P = P_{load} - P_{PV} \tag{1}$$

$$\Delta Q = Q_{load} - Q_{PV} \tag{2}$$

1. 서 론

최근 기후변화와 같은 환경문제와 에너지 고갈문제가 대두됨에 따라 다양한 신재생에너지에 대한 관심이 증가하고 있다. 그 중에서 태양광 발전시스템은 에너지원의 무한정성과 무공해성의 측면에서 경쟁력 있는 에너지원으로 각광 받고 있다. 이런 태양광 발전시스템은 독립형과 계통연계형으로 구분되어지며 그 중 계통연계형 태양광 발전시스템은 상용계통에 연계운전하기 때문에 계통과의 호환성과 선로 유지, 보수자의 안전성 등이 고려되어야 한다. 따라서 태양광 발전시스템이 계통과 차단될 경우 이를 신속하게 감지하여 발전을 중단함으로써 안정적인 계통보호가 가능하도록 하는 단독운전 방지 기법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 [1]-[2].

일반적인 태양광 발전시스템의 인버터 출력은 유효전력 성분  $P_{PV}$ 만 존재하도록 제어되므로  $Q_{PV} = 0$ 이 되고, 부하의 무효전력 성분은 계통이 전부 담당하게 되어  $\Delta Q = Q_{load}$ 인 상태가 된다.

단독운전 인지법에는 연계점의 전압이나 주파수를 측정하여 한계치를 벗어나면 단독운전으로 판단하는 수동적 인지법과 임의로 부하와 태양광 발전시스템 간의 균형을 깨뜨려 연계점 전압 또는 주파수의 변화를 유도하는 능동적 인지법이 있다. 그 중 수동적 인지법은 능동적 인지법에 비해 부하에 공급되는 전력의 품질이 좋은 반면 불검출영역이 넓고 발전량과 부하량이 완전히 동일한 경우나 3상회로 등의 조건에서 인지 감도가 떨어진다는 단점이 있다 [3]-[5].

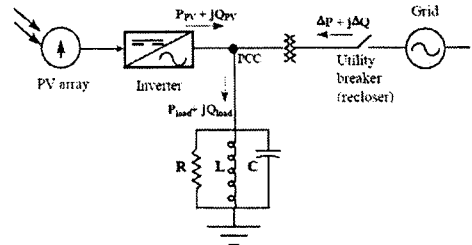


그림 1. 연계점 전력흐름도

본 논문에서는 기존의 수동적 인지법에 전압 가속이득 개념을 도입하여 검출 시간이 빠르고 단독운전 불검출영역이 작은 단독운전 알고리즘을 제안하였으며 시뮬레이션 툴인 PSIM 6.0을 통해 타당성을 검증하였다.

2.2 기존의 수동적 단독운전 검출 알고리즘

일반적인 계통연계형 태양광 발전시스템에서,  $\Delta P \neq 0$ 인 상태인 경우 단독운전 상태가 발생하면, 연계점 전압의 순간적인 상승 혹은 하강이 발생하므로 이 전압의 변동은 전압 보호회로(OVP/UVP)에 의해 인지된다. 또한  $\Delta Q \neq 0$ 인 상태에서 계통과의 연결이 차단되면 연계점 전압 위상의 순간적인 변화가 발생하여 이에 따른 주파수의 변화가 주파수 보호회로(OPF/UFP)에 의해 검출된다.

2. 본 론

2.1 계통 전력흐름 분석

그림 1은 계통 연계형 태양광 발전시스템과 연계점의 전력흐름을 나타낸 것이다. 태양 전지는 그림 1과 같이 직류 전류원으로 등가화 시킬 수 있으며, 태양광 발전시스템은 최대 전력점 추종제어(MPPT)방법을 이용하여 인버터를 통해 발전된 전기를 교류로 변환하여 계통 및 부하에 공급한다. 이 때 태양광 발전용 인버터는 계통전압에서 검출한 위상정보를 이용하여 계통전압과 인버터 출력전류의 위상이 일치하도록 제어하고 단위 역률로 계통과 부하에 전력을 공급한다.

이와 같이 연계점의 전압이나 주파수의 크기를 검출하여 단독운전을 판단하는 방법을 수동적 인지법이라 한다. 이러한 수동적 인지법에는 전압/주파수 인지법, 위상점프 인지법, 고조파 인지법 등이 있다.

그림 1에서 시스템의 출력과 부하, 계통 연결 스위치가 공통으로 연결된 점을 ‘공통 연결점’ (PCC, point of

그러나 일반적인 수동 인지법의 경우 정상상태에서 발생할 수 있는 주파수/전압의 변화에 보호회로가 민감하게 동작하는 것을 방지하기 위해 관련 규정에 의거한 허용범위를 주어야 하고 이러한 불검출영역 내에서 단독운전이 발생하는 경우 사실상  $\Delta P \neq 0, \Delta Q \neq 0$ 인 상태라도 이를 인지하기 어렵게 된다. 특히  $\Delta P = 0, \Delta Q = 0$ 인 상태에서 단독운전이 발생한다면 부하 전압 및 주파수의

변화가 전혀 발생하지 않게 되어 사실상 일반적인 수동적 인지법으로는 검출이 불가능하게 된다 [6].

### 2.3 전압 가속이득을 이용한 단독운전 인지법

기존의 수동적 인지법의 경우 단독운전이 발생하였을 때 연계점에서 전압과 주파수의 변화가 IEEE std.929-2000에서 규정된 허용 변동범위 안에 있게 되면 단독운전을 인지하지 못한다 [7]. 본 논문에서 제안하는 전압 가속이득을 통한 단독운전 인지법은 기존의 OVP/UVP를 이용하는 수동적 인지법에 비해 불검출영역(NDZ: Non Detection Zone)이 전압의 크기와 관련하여 줄어드는 효과가 있다. 이 때 가속이득의 값을 적절히 조절하면 정상상태에서 부하의 변동으로 인한 전압의 일시적인 흔들림이 발생할 때는 시스템을 안정적인 상태로 유지하면서, 실제로 단독운전이 일어났을 때는 부하에 공급되는 전력의 품질에는 영향을 주지 않고 빠른 시간 안에 단독운전을 검출하도록 하는 것이 가능하다.

그림 2는 전압 가속이득을 이용한 단독운전 검출 알고리즘을 보여준다.

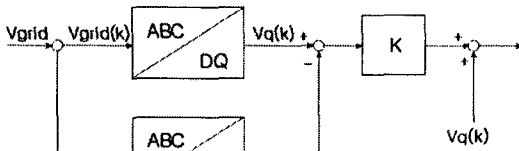


그림 2. 제안된 단독운전 검출 알고리즘 블록도

3상 계통과 태양광 발전 시스템의 연계점으로 부터 검출한 전압은 인버터에서 출력하는 전류의 위상 정보를 얻기 위해 사용된다. 이 위상정보를 얻는 과정에서 3상 전압은 d-q 변환에 의해 직류 항 변수인  $V_q$ 로 변환되고, 정상상태에서 이 직류 항은 계통으로부터 항상 일정한 위상정보를 공급받기 때문에 전압리플을 포함하지 않는 상태로 출력된다.

하지만 계통과의 연결이 차단되어 단독운전 상태로 진입하면 부하에서 요구하는 전력을 인버터에서 모두 공급하게 되므로 인버터 출력전류가 포함하는 전압리플에 의해 d-q 변환 과정에서 출력되는 전압에 변화가 발생하게 된다. 이러한 변화로 인해 생기는  $V_q$ 와 전 주기에서 계산된  $V_q$ 의 차를 오차 성분으로 하여 이 오차 성분에 가속이득을 곱한 것을  $V_q$ 에 누적하여 적용시켜줌으로써  $V_q$ 의 변화폭은 지속적으로 상승하게 되고, 그러한 변화폭의 상승은 연계점에서의 전압크기를 규정된 허용범위 밖으로 발산시키게 된다. 이러한 알고리즘은 식(3)과 같이 표현된다.

$$V_q(k) = V_q(k) + K(V_q(k) - V_q(k-1)) \quad (3)$$

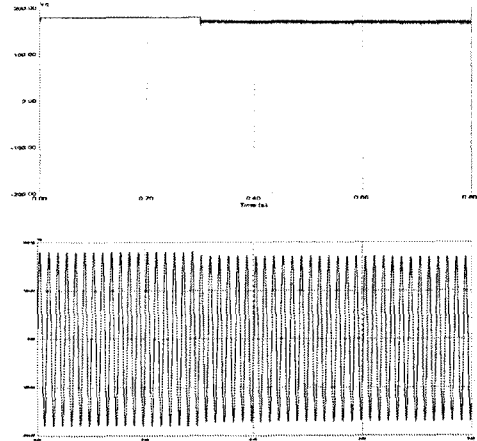
이러한 일련의 과정을 통해 기존의 수동적 인지법에서는 단독운전 검출이 불가능한 조건인 부하에서 요구하는 유효전력성분과 계통이 공급하는 유효전력성분이 비슷한 불검출영역에서도 효과적인 단독운전 인지가 가능하도록 하였다.

또한 정상상태에서 부하의 변동이나 계통의 불안정성에 의해 연계점에서 검출되는 전압의 순간적인 변화가 생길 수 있으므로, 제안한 단독운전 인지법에서는 d-q 변환에 의해 계산된 전 주기와 현재 주기에서의  $V_q$  오차 성분이 일정 주기 동안 미소한 값으로 유지될 경우, 이 누적된 오차 성분을 0으로 초기화시켜줌으로써 정상상태에서 이를 단독운전으로 인지하는 오동작의 가능성을 줄였다.

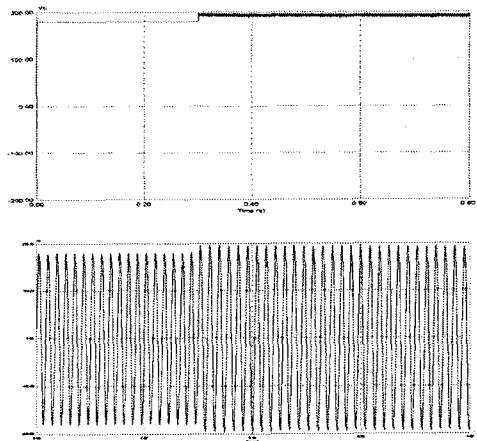
### 2.4 시뮬레이션

PSIM을 이용하여 IEEE std. 929-2000에 규정되어 있는 전압 허용범위(전압 실효치의 88%~110%) 조건 하에서  $\Delta P > 0$ 와  $\Delta P < 0$ 인 경우에 대하여 3상 계통 연계형 태양광 발전시스템을 도대로 하여, 3상 계통의 정격을 선간전압 220Vrms, 60Hz, 약 3kW로 시뮬레이션 하였다.

그림 3은  $\Delta P \neq 0$ 인 경우로서 부하 저항이 각각 (a)R=8.3Ω (b)R=9.46Ω인 조건에서 단독운전이 발생했을 때 전압 변화를 나타낸 것으로 (a)의 경우 단독운전이 발생하면 연계점 전압의 크기(진폭)가 작아지고 (b)의 경우 연계점 전압의 크기가 커짐을 알 수 있다. 즉, 기존의 수동적 인지법에서는 전압 변화가 허용범위 안에 있게 될 경우, 단독운전을 인지하지 못하는 것을 보여준다.



(a)  $\Delta P > 0$  (위:  $V_g$  아래:  $V_q$ )



(b)  $\Delta P < 0$  (위:  $V_g$  아래:  $V_q$ )

그림 3. 기존의 수동적 인지법에서  $\Delta P \neq 0$ 인 경우

그림 4는 제안된 단독운전 인지법을 적용하였을 경우  $\Delta P \neq 0$ 인 상황에서 계통과의 연결을 차단시켰을 때 부하 저항이 각각 (a)R=8.3Ω (b)R=9.46Ω인 조건에서 시뮬레이션 한 것이다. 기존의 수동적 인지법에서와는 달리 일정 시간이 지나면 적용된 알고리즘에 의해  $V_q$ 가 전압 허용범위를 벗어나게 되므로 시스템이 단독운전 상태임

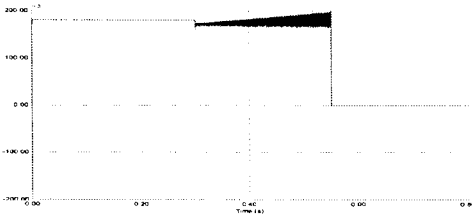
을 인지하여 동작을 멈춘다. 따라서 불검출 영역 이내의 전압 변화에서도 제한한 수동적 인지법을 이용하면 전력 품질저하 없이 손쉽게 단독운전 검출이 가능하다.

### 3. 결 론

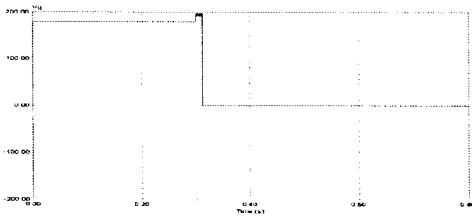
본 논문에서는 연계점전압의 오차에 가속이득을 적용하여 구현이 간단하고 불검출영역이 작은 단독운전 인지법을 제안하였다. 이에 타당성을 검증하기 위해 유효전력 변화에 따른 단독운전 인지법의 성능을 평가하였으며 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 본 논문은 계통연계형 태양광 발전시스템의 단독운전 인지법 성능향상에 활용 가능하다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 정진범, 최봉주, 김희준, 안강순, “무효전력 제어를 통한 새로운 독립운전 검출법”, 전기학회논문지 54B권 4호 pp. 208-216, 2005. 4
- [2] 윤중혁, 김홍근, 최종우, 전태원, 이흥희, “계통연계형 PV 인버터의 자동 위상 이동법에 의한 고립운전 검출”, 전력전자학회 논문집 pp. 591-594, 2005. 7
- [3] 은석준, 최종우, 김홍근, “계통연계형 PV시스템의 주파수 변동에 의한 새로운 단독운전 검출기”, 전력전자학회 추계 학술대회 논문집 pp. 133-137, 2004. 11
- [4] 황인호, “분산전원시스템의 계통연계를 위한 새로운 단독운전 방지기법”, 전력전자학회 논문집 제9권 6호 pp. 568-576, 2004. 12
- [5] 윤중혁, 김홍근, 최종우, 소정훈, 유권종, “자동 위상 이동을 이용한 계통연계형 태양광 발전시스템의 고립운전 검출기법”, 전력전자학회논문집 제12권 2호 pp. 107-112, 2007. 4
- [6] 황인호, 안교상, “분산형 태양광발전시스템의 단독운전 검출기법”, 전력전자학회 논문집 pp. 64-67 2005. 7
- [7] IEEE, Std. 929-2000 “IEEE Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic(PV) Systems”, April. 3. 2000



(a)  $\Delta P > 0$  (위:  $V_q$  아래:  $V_a$ )



(b)  $\Delta P < 0$  (위:  $V_q$  아래:  $V_a$ )

그림 4. 제안된 단독운전 인지법에서  $\Delta P \neq 0$ 인 경우