

계통 연계형 태양광 발전 시스템의 단독운전 방지를 위한 Positive-feedback을 가지는 주파수 변동 기법의 모델링 및 분석

조영민*, 최주엽*, 최익*, 이동하**

광운대학교*, 대구경북과학기술원**

Frequency Shift Scheme with Positive-feedback for Anti-islanding of Grid-connected PVPCS Modeling and Analysis

Yeong-Min Jo*, Ju-Yeop Choi*, Ick Choy*, Dong-Ha Lee**

Kwangwoon University*, DGIST***

ABSTRACT

본 논문에서는 최악의 상황에서도 계통 연계형 태양광 발전 시스템에서의 단독운전 현상을 신속히 검출하여 시스템을 정지시킬 수 있게 하기 위해 Positive-feedback을 가지는 주파수 변동 기법에 대한 설계와 시뮬레이션을 바탕으로 단독운전 검출 성능 보장과 출력 전력의 품질 보장을 위한 제어기 설계 방법에 대하여 제시하고, 이를 시뮬레이션을 통해 타당성을 검증한다.

1. 서론

계통연계형 인버터의 성능 중 단독운전 검출 기능은 계통과의 보호 협조 및 계통 측 유지 보수 인명의 안전사고 방지 등에 필수 기능으로 계통 연계형 태양광 발전 시스템의 확대 보급으로 인하여 단독운전 발생에 대한 확률이 점점 높아지고 있는 추세이다. 그러므로 단독운전 검출 기법 내지 방지 기법에 대한 연구가 매우 활발한 상태이다. 본 논문에서는 BPF(Band Pass Filter), Gain, Limiter를 포함하는 Positive-feedback을 가지는 주파수 변동 기법에 대한 설계 방법과 결과를 분석하여 단독운전 검출 성능을 보증하기 위한 기초 자료로 제시하고자 한다.

2. 단독운전 검출 알고리즘

그림1과 같이 단독운전을 검출하기 위해서 단상 인버터 출력 전류 값을 D-Q 변환 후 Digital PLL을 이용해 w 를 BPF를 통과시킨 후 Gain으로 증폭 그리고 Limiter로 제한한 후 무효전류 지령치 I_{qref} 에 더해 주어 무효전력을 증가시켜 결국 주파수가 정상

범위를 벗어나게 하여 단독운전을 검출하는 방식이다. 무효전력이 증가함에 따라 주파수가 증가하는 이유는 부하 특성에 따라 무효전력 $Q = (wC - \frac{1}{wL})V^2$ 이기 때문이다.

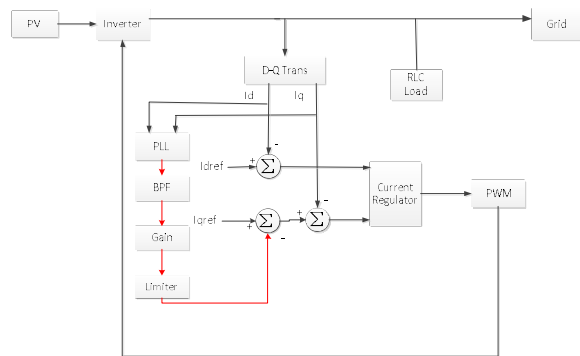


그림 1. Frequency Shift Scheme Algorithm

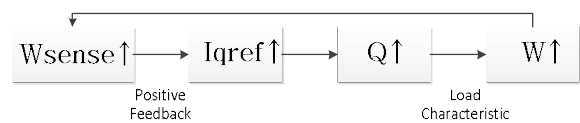


그림 2. 무효전력에 따른 주파수 증가

3. Positive-feedback Loop 설계

3.1 BPF 설계

BPF를 사용하는 이유는 저역대의 노이즈 성분과 고역대의 DC offset을 제거하기 위함이다. 노이즈 성분은 전력품질에 영향을 주고 DC offset은 정상상태 추종에 영향을 준다. 이러한 이유로 두 개의 성분은 대립되므로 이를 상쇄하기 위해 BPF를 사용한다.

이 때, BPF = LPF와 HPF의 결합이므로,

BPF의 전달함수는 $\frac{s}{s+w_{c1}} \cdot \frac{w_{c2}}{s+w_{c2}}$ 가 된다.

이 때 국내 단독운전 검출 기준 상 0.5초 내로 검출해야 하기 때문에 0.2~0.5초의 케환 응답을 얻기 위해서 $w_{c1} = 4[\text{Hz}]$, $w_{c2} = 20[\text{Hz}]$ 로 설계한다.

즉, $H(s) = \frac{25.13s}{s^2+150.8s+3158}$ 가 된다.

3.2 Gain 설계

Gain을 사용하는 이유는 단독운전 발생 시, 미소한 주파수의 변화를 더욱 증가시켜 단독운전 검출 성능을 향상시키기 위해 사용한다. Gain 값이 클수록 단독운전 검출 성능은 우수해지지만 시스템의 안정성을 위해서 단독운전 검출 성능이 보장되는 한 최소값으로 설계하여야 한다.

3.3 Limiter 설계

Limiter를 사용하는 이유는 단독운전 검출을 위해 주입하는 무효전류 때문에 전력품질에 악영향을 끼치는 것을 막기 위해 사용한다. 그래서 정상상태 전류의 peak 값에 150% 값에 역률 0.8을 가지도록 Limiter 값을 설계한다.

4. 시뮬레이션

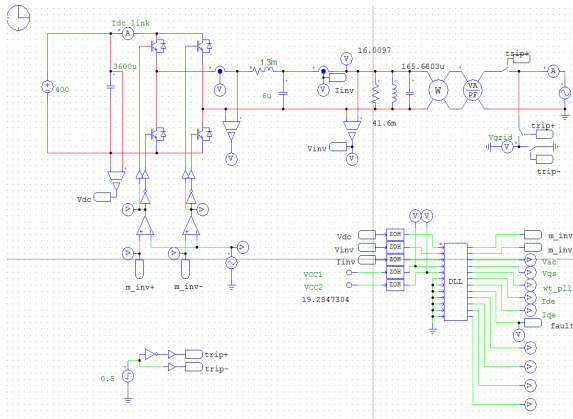


그림 3. PSIM 회로도

Vdc	400V
Frequency	60Hz
Fs(sampling frequency)	18000Hz
R	16.0097Ω
L	41.6mH
C	165.6803uF
Qf(load quality factor)	1.01

표 1. 시뮬레이션 상의 파라미터

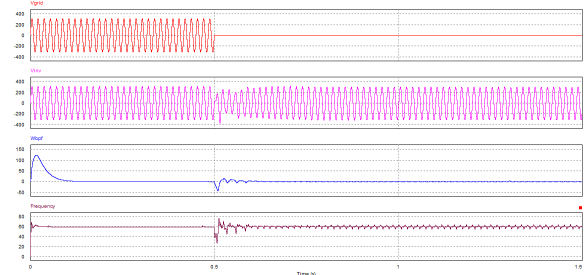


그림 4. BPF 4 - 20Hz, Gain = 1.2

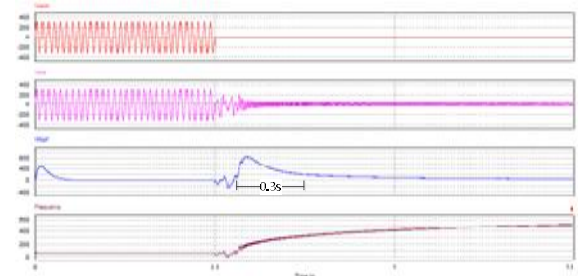


그림 5. BPF 4 - 20Hz, Gain = 1.5

시뮬레이션 결과 0.5초에 계통이 차단되어 PVPCS의 단독운전 현상이 일어나는데, 이때 발생하는 주파수의 미소한 변화를 앞서 설계한 Positive-feedback을 통해 주파수 변동을 더욱 증가시켜 단독운전을 인지하여 출력을 차단시키는 것을 확인할 수 있다. 또한 BPF를 4-20Hz로 설계하였을 경우 0.3초의 케환 응답을 가지고, 단독운전을 검출하기 위한 최소 Gain 값은 1.5인 것을 시뮬레이션 결과로 검증하였다.

3. 결론

본 논문에서는 주파수 변동을 증폭시키기 위해 설계한 Positive-feedback의 단독운전 검출 시뮬레이션을 PSIM을 사용하여 수행하였으며, 시뮬레이션 결과 국내 기준인 0.5초 이내에 확실하게 단독운전을 검출하여 출력을 차단하는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구는 교육과학기술부 대구경북과학기술원 일반사업(14-BD-01)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] Z. Ye, R. Walling, L. Garces, R. Zhou, L. Li, and T. Wang, "Study and Development of anti-islanding control for grid-connected inverters" General Electric Global Research Center Niskayuna, New York, May, 2004.
- [2] Ward Bower and Michael Ropp, "Evaluation of islanding detection methods for photovoltaic utility-interactive power systems" IEA-PVPCS Reports, IEA-PVPCS, 2002, T5-09