

# 분산전원의 Anti-islanding용 수정된 zero-crossing 방식 주파수 검출기법

배병열, 백승택, 이진희, 서인영  
(주)효성 중공업연구소

## A frequency measurement based on modified zero-crossing method for anti-islanding detection of distributed generation

Byung-Yeol Bae, Seung-Taek Baek, Jin-Hee Lee, In-Young Suh  
Power & Industrial Systems R&D Center of Hyosung Corporation

### ABSTRACT

This paper proposes a frequency detection method based on an advanced zero-crossing technique. Zero-crossing method for detecting frequency is one of the most widely used methods today. Although it is simple to apply, it requires extra hardware in implementation due to its limitations in accuracy. The proposed method models the error generated during zero crossing linearization and compensated for it in real time which makes it simple and accurate. The validity of the method and its applicability in anti-islanding detection of distributed generators was confirmed through simulation.

### 1. 서 론

최근 여러 가지 산-재생에너지를 이용한 분산전원에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중 태양광 발전, 풍력발전, 연료전지 발전, 소수력 등은 대표적인 산-재생 에너지로 각광 받고 있으며 세계 에너지 시장의 산-재생에너지 점유율이 점진적으로 증가하고 있는 추세이다. 특히 기존의 태양광 발전은 독립적으로 부하에 전력을 공급하는 독립형으로 사용되다가 최근에는 계통연계형으로 적용이 되어 발전효율을 증가시키고 있는 추세이다. 이러한 시스템이 전력계통에 연결되었을 때 발생할 수 있는 가장 큰 문제점은 전력계통이 어떤 외란에 의해 차단된 상태에서 분산전원이 지역 계통망에 계속해서 연결되어 있는 단독운전이다. 이러한 단독운전은 계통 및 분산전원에 악영향을 끼치게 되므로 계통연계형 분산전원에서 단독운전을 방지하는 기법이 필수적이다. 단독운전을 검출하는 방식 중 태양광 발전용 인버터에서 채택하고 있는 기법은 능동기법으로서 계통파라미터 중 주파수를 이용하는 방식이 주류를 이루고 있다.

지금까지 제안된 주파수 측정에 관한 대표적인 연구로는 영점검출(zero-crossing) 방법이 있다<sup>[1]</sup>. 이 방법은 구현은 간단하지만 정밀성을 확보하기 위해서 추가적인 회로가 필요하다는 단점을 가지고 있다. DFT(Discrete Fourier Transform)필터를 기반으로 샘플링 주기를 조절하여 시스템 주파수를 찾아가는 방법도 제안되었지만 샘플링 주파수를 무한히 나눌 수 없기 때문에 연산오차가 발생한다. 또한 분산전원용 전력변환기의 제어에 적용하기에는 구현이 너무 복잡하고 샘플링 주기의 가변

으로 인해서 전력변환기의 성능 악화를 야기하게 된다.

본 연구에서는 영점검출 기법에서 선형화의 에러를 보정하는 새로운 알고리즘을 적용하였다. 또한 주파수 변동 신호에 대한 검출 오차가 허용 범위 내에서 동작함을 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

### 2. 본 론

분산전원용 계통연계형 인버터는 제어를 위해 연계지점의 전압을 검출한다. 이는 일정한 주기로 이루어지는 작업으로서 일반적으로 이 전압을 이용하여 주파수를 검출하며 분산전원의 능동적인 단독운전 판별 기법에 사용된다.

#### 2.1 zero-crossing 방식의 주파수 검출 기법

zero-crossing 방식의 주파수 검출 기법은 다음의 두 가지 방식이 제안되었다<sup>[1]</sup>.

- 1) 일정한 시간 내에 전압이 음에서 양으로 또는 그 반대로 영점을 교차한 수를 이용하여 주파수를 검출하는 방법
- 2) 영점 교차 후 그 다음의 영점교차 시까지의 시간을 측정하는 방법

위의 방법 중 2)의 방법이 적용이 용이할 뿐만 아니라 전력계통의 주파수 검출용으로 적합하여 계통연계형 전력변환기에 많이 적용되어 사용되어왔다.

하지만 이 방식은 외부에 아날로그 비교기, 펄스 발생기, 펄스 카운터 등의 추가적인 회로가 필요하다. 즉 기존 시스템의 제어기를 재설계해야하는 문제점을 안게 된다. 또한 펄스 발생기의 주파수가 충분히 높아야만 배전 또는 송전계통에서 요구하는 주파수 검출 오차 범위에서 주파수를 검출할 수 있게 된다.

#### 2.2 수정된 zero-crossing 방식의 주파수 검출 기법

전 절에서 나타낸 zero-crossing 방식의 주파수 검출 기법의 부정확성의 원인은 펄스 발생기의 주파수를 무한대로 증가시킬 수 없다는 것이고, 이 기법의 부정확성을 보완하기 위해서는 소프트웨어적인 보완이 필요하다.

그림 1에 나타낸 바와 같이 0점을 기준으로 A점과 B점을 선형화한 후 0점에서 B점까지의 시간을 계산함으로써 zero-crossing 방식의 주파수 검출 정확성을 향상시키는 것이 가능하다. 하지만 1차 함수로의 선형화는 오차가 분명히 존재하며

이 오차는 디지털 제어기에서 샘플링 주파수에 의존하는 함수로 표현된다. 여기에서 0점과 B지점까지 시간을 1차 선형화에 의해 연산된 값인  $dT$ 로 표현했을 때 그림 2는 2520Hz의 샘플링 주파수 시  $dT$ 의 연산 에러를 나타낸 것이다.

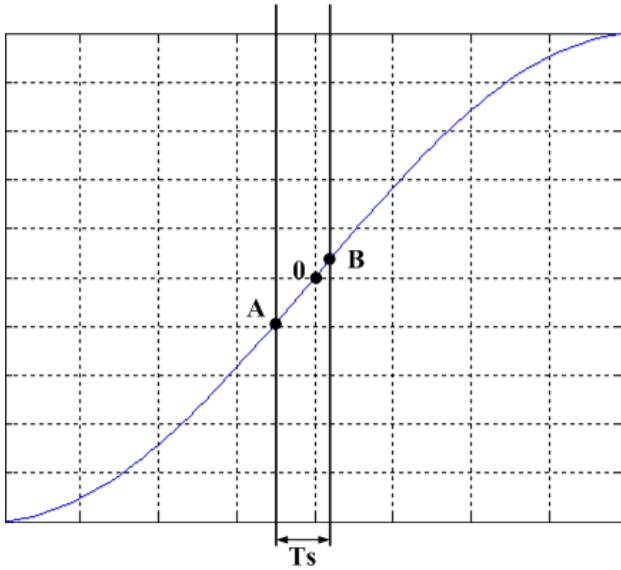


그림 1. zero-crossing 검출  
Fig. 1 zero-crossing point detection

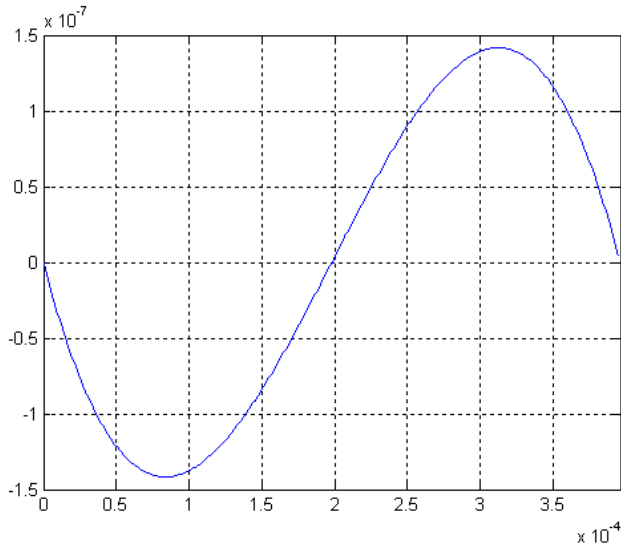


그림 2.  $dT$ 에 따른 에러 곡선  
Fig. 2 Error curve for  $dT$

그림 2의 에러 곡선의 반주기는 식 (1)과 같이 모델링된다.

$$dT_{error} = k_1 \frac{1 + a_0(a_1 - t) + a_2(a_1 - t)^2}{b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3} \sin(2\pi f_s t) \quad (1)$$

여기서,  $t$ 는  $dT$ ,  $k_1$ 은 에러곡선의 최대값,  $f_s$ 는 샘플링 주파수이다. 그리고  $a_0, a_1, b_0, b_1, b_2, b_3$ 는 튜닝값이다.

이렇게 모델링된 곡형을 그림 2와 같이 그림 3에 도시하였

다.

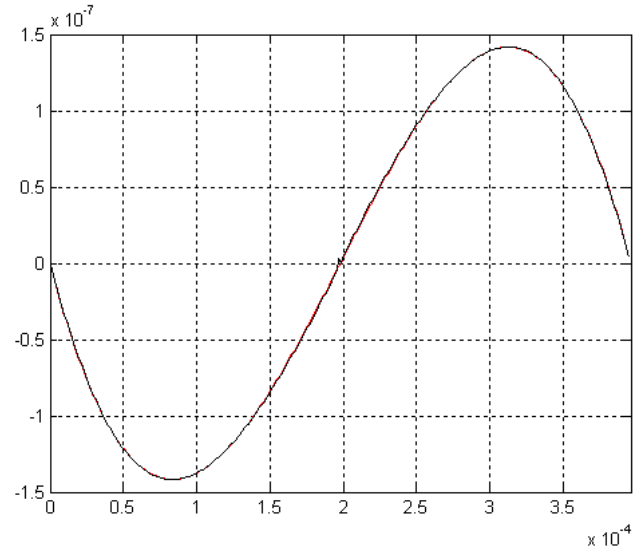


그림 3.  $dT$ 에 따른 에러 곡선과 식(1)에 의해 생성한 곡선  
Fig. 3 Error curve for  $dT$  and generated curve by eq. (1)

그림 4는 에러 보정이 적용된 주파수 검출 연산 블록도이다.

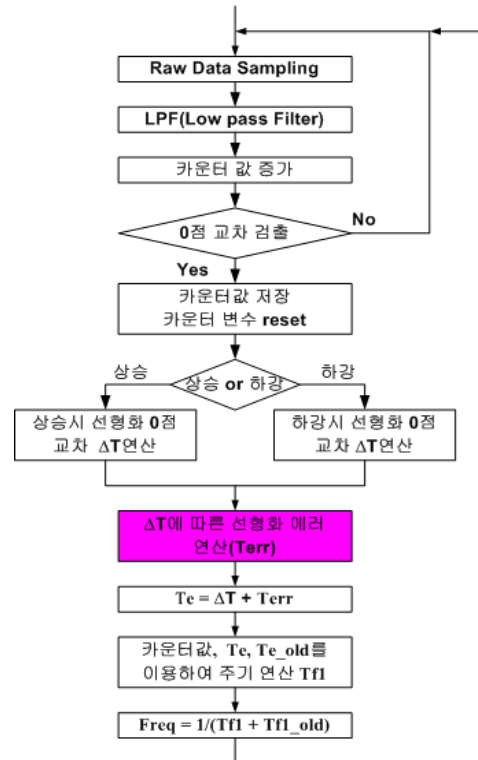


그림 4. 주파수 검출 블록도  
Fig. 4 Frequency Detection Block Diagram

그림 4는 0점 부근의 전후 두 점을 선형화 한 후 0점과 샘플링한 점과의 시간을 계산하고 그 시간의 에러를 보정함으로써 기존 zero-crossing 방식의 주파수 검출 기법의 단점을 보완하였다. 초기부분 전압을 샘플링하여 샘플링에 따른 손실을

보완할 목적으로 저역통과 필터를 통과시킨다. 그리고 0점간의 시간 연산을 위해 카운터를 통과하게 되고 과거의 전압과 현재의 전압값을 비교하여 0점을 지났다고 판단되면 카운터값을 저장하고 0점 교차점이 상승점인지 하강점인지 구분한 뒤 1차 선형화에 의해 0점과 현재 전압 지점과의 시간을 연산한다. 그리고 연산된 시간과 식 (1)을 이용하여 0점과 현재 전압지점과의 시간예러를 보정한 후 보정시간과 카운터값 등을 이용해서 주파수를 연산하게 된다.

### 2.3 시뮬레이션 검증

제한하는 방식의 타당성을 검증하기 위해 PSCAD/EMTDC 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션은 C-인터페이스를 적용해서 모든 연산이 디지털로 수행되게 함으로써 실제 시스템과 유사하도록 하였다.

주파수는 45Hz에서 75Hz까지 1초마다 2.5Hz씩 증가시키면서 시뮬레이션을 실시하였다.

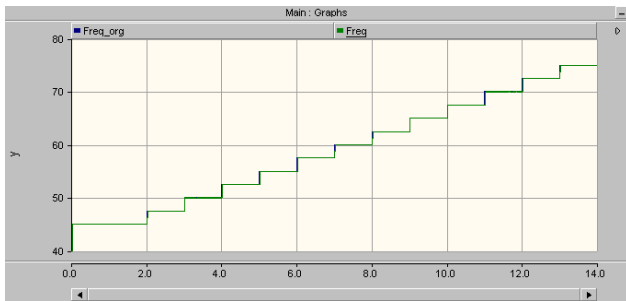


그림 5. 시뮬레이션 결과  
Fig. 5 Simulation result

그림 5는 시뮬레이션 결과 파형이다. 최대 예러는 0.0047Hz로서 주파수 계전기에 적용이 가능할 정도의 오차범위이다.

## 3. 결 론

본 논문은 수정된 zero-crossing 방식의 주파수 검출기를 제안하였고 시뮬레이션을 통해 그 타당성을 검증하였다.

제한하는 수정된 zero-crossing 방식의 주파수 검출기는 기존의 DFT기반의 주파수 검출기법보다 연산량이 적고 정밀도가 높기 때문에 인버터 방식의 분산전원 계통연계 시스템에 적용이 가능할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- [1] MALIK, O.P., HOPE, G.S., HANCOCK, G.C., ZHAOHUI LLUING, Y., AND SHOUPING, W., "Frequency measurement for use with a microprocessor-based tyrbine governor", Paper No. 91WM 140-4EC, IEEE PES Winter meeting, New York, Feb. 1991.
- [2] T.S. Sidhu and M.S. Sachdev, "An Iterative Technique for Fast and Accurate Measurement of Power System Frequency", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 13, No. 1, Jan. 1998.
- [3] P J Moore and A T Johns, "A New Approach to Digital

Measurement of Power System Frequency", IEEE Conf. on Advances in Power-System Control, Operation and Management, pp. 341-346. Nov. 1991

- [4] 방종찬, 김병진, "고속의 주파수 계측 알고리즘을 갖는 자 주파 계전기 설계", Trans. KIEE. Vol. 55P, No. 1. MAR. 2006.