

# Goertzel 알고리즘을 이용한 새로운 단독운전 방지 기법

원동조\*, 김재형\*, 김준구\*, 원충연\*, 이태원\*\*  
성균관대학교\* 삼성전기\*\*

## A novel anti-islanding method using Goertzel Algorithm

Dong-Jo Won\*, Jae-Hyung Kim\*, Jun-Gu Kim\*, Chung-Yuen Won\*, Tae-Won Lee,  
\*School of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University  
\*\*SAMSUNG Electro-Mechanics CO. LTD.CDS

### ABSTRACT

In this paper, a novel anti-islanding method of DC-AC single phase inverter is proposed. The inverter injects a little harmonic current with the output current of a PCS(Power Conditioning System). When the islanding condition is occurred, the voltage harmonic components appear on the output voltage of the PCS due to the injection of a little harmonic current. So, the PCS detects the voltage harmonic components using the Goertzel algorithm, and then the PCS decides that the islanding condition is occurred. When the PCS recognizes the islanding condition, the PCS are stopped. The proposed a novel anti-islanding method is analyzed, and its validity is proven through simulation.

### 1. 서론

최근에 환경오염과 고유가로 인해 신재생 에너지를 이용하는 분산전원시스템에 대한 연구 개발이 다양하게 이루어지고 있다. 신재생에너지를 이용한 분산전원시스템에서 주요 기능으로는 발전전력의 고품질화, 고효율 운전 및 시스템의 안전성 확보를 들 수 있다. 이중 시스템의 안전성 확보를 위한 기능 중에 단독운전 방지기능(Anti-islanding Method)이 있다. 단독운전방지를 위한 단독운전 검출기법으로는 크게 수동적 검출기법과 능동적 검출기법으로 나누어진다. 수동적 검출 기법으로는 전압 주파수 검출 기법, 주파수 변화율 검출 기법, 전압 고조파 검출기법 등이 있고, 능동적 기법으로는 전력 변동 검출 기법, 고조파 첨가 인지기법, AFD(Active Frequency Drift) 기법, SMS(Slip-Mode Frequency Shift) 기법, SFS(Sandia Frequency Shift) 기법 등이 있다.<sup>[1]</sup> 단독운전을 검출하기 가장 어려운 조건은 PCS(Power Conditioning System)의 출력전력과 수용가의 소비전력이 평형을 이루는 경우이며, 이 때 계통이 상실되어도 연계점(PCC: Point Common Coupling) 전압의 실효값 및 주파수가 변동하지 않기 때문에 PCS가 이를 감지하지 못하게 된다. 이러한 단독운전 불검출영역(NDZ: None Detection Zone)이 기존의 단독운전 검출기법에는 존재하게 된다.

본 논문에서는 PCS의 출력전류에 특정 고조파 전류를 포함시켜 계통에 주입한다. 한전 배전계통 기준에 나타나 있는 전류 THD(Total Harmonic Distortion) 허용기준(11차 고조파 이하, THD = 5% 이내)에 따라 9차 고조파 전류를 주입하도록 한다. 계통 상실시 출력임피던스의 변화에 따라 출력전류에 포함된 고조파 성분이 출력전압에 나타나게 되고, 이것을 Goertzel 알고리즘을 이용하여 추출함으로써 단독운전유무를 판별하게 된다. Goertzel 알고리즘은 원하는 주파수성분의 크기와 위상을 기본파의 한주기만에 검출할 수 있고, 기존의 DFT(Discrete Fourier Transform), FFT(Fast Fourier Transform)보다 연산량이 작다. 그러므로 PCS와 같은 임베디드 시스템에 적합한 알고리즘이다.

본 논문에서는 Goertzel 알고리즘을 이용하는 새로운 단독운전 방지기법을 제안하고, 그 유용성을 검증하기 위해 PSIM 프로그램을 사용하여 제안한 알고리즘이 NDZ가 없음을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

### 2. 분산전원의 단독운전

계통의 사고 발생 시 사고 지점과 부하 사이에 가장 가까운 보호 계전기, 차단기가 동작하여 계통이 분리 된다. 분산형 발전 설비가 연계되어 발전 중일 경우, 이 분산전원은 계통과 분리된 전 부하에 전력을 공급하게 된다. 이 때 분산전원과 부하의 유/무효 전력의 차에 의해 전압의 크기 또는 주파수의 변화가 생겨서 단독운전을 검출하게 되고 분산전원은 운전정지하게 되지만, 분산전원의 출력과 부하의 전력이 평형 상태를 이루는 상황에서는 분산전원이 단독운전임을 인지하지 못하고 계속 부하에 전력을 공급하는 상황을 단독운전이라고 정의 한다.

분산전원이 단독운전을 계속할 경우 사고 선로의 점검, 복구 작업자가 위험에 노출된다. 또한 분산전원의 전력 품질이 전력회사에서 공급되던 전력에 비해 떨어지는 경우 부하에 악영향을 끼친다. 그리고 사고 복구를 위해 일정 시간 후 차단기 및 개폐기를 재투입하려 할 때, 비동기 투입이 이루어져서 사고가 확대되어 오히려 사고복구가 느려질 수도 있다. 따라서 분산전원 시스템에서는 단

독 운전시 이를 신속히 검출하여 출력을 정지시키는 것이 매우 중요하다.

그림 1은 PCS 단독운전 시 분산전원의 전력흐름도를 나타낸다.  $\Delta P$ 와  $\Delta Q$ 는 분산전원과 부하의 유/무효 전력 불평형성분,  $P_{LOAD}$ 와  $Q_{LOAD}$ 는 부하의 유/무효 소비전력,  $P_I + jQ_I$ 는 분산전원에서 계통으로 공급하는 전력을 나타낸다.

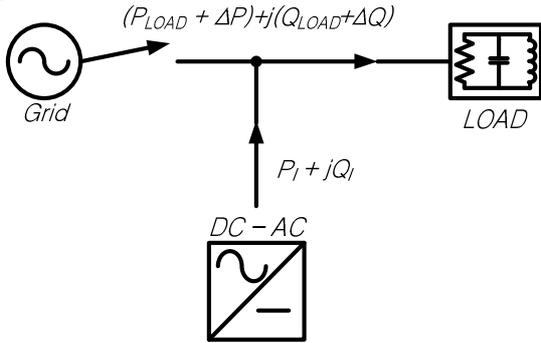


그림 1 단독운전 시 분산전원의 전력흐름도  
Fig.1 Power flow diagram of distributed generation when the islanding condition

PCS가 단독운전으로 동작할 때, 분산전원의 출력과 부하의 유효/무효전력이 같지 않을 경우 인버터 단자전압이나 주파수에 현저한 변화가 일어나게 된다. ( $\Delta P, \Delta Q \neq 0$ ) 그러나 인버터 출력이 부하의 소비전력과 같을 경우 계통이 분리되어도 단자전압이나 주파수에 변화가 거의 없게 된다. ( $\Delta P, \Delta Q = 0$ ) 이 경우 단독운전 검출이 가장 힘든 조건이다.<sup>[2]</sup>

IEEE Standard 929-2000에 따르면 인버터 동작전압은  $193.6 \leq V \leq 242[V]$  범위 안에 있어야 하며 만약 인버터 동작전압의 이 범위를 넘어버린다면 단독운전 상태를 효과적으로 검출하여 인버터 출력을 정지시켜야 한다. 단독운전시 IEEE Standard 929-2000에서는 주파수 변동의 허용 범위를  $59.3[Hz]$ 에서  $60.5[Hz]$ 범위로 설정해놓고 분산전원의 주파수는 제한치 내에 있어야 하기 때문에 범위를 벗어나는 경우 신속히 차단되어야 한다. 그렇기 때문에 만약 단독운전상황이 발생하더라도 위에 나타난 범위 안에서 전력 변동이 발생하면 기존의 출력전압이나 주파수 변동을 검출하는 기법의 경우 단독운전 검출에 실패하게 된다.

본 논문에서 제안하는 단독운전 검출기법은 계통연계시와 상 실시 계통 임피던스 변화를 이용한다. 제안된 시스템에서는 인버터 출력전류에 9차 고조파를 주입한다. 계통 연계시 무한대 모션인 계통의 영향으로 주입한 9차 고조파 전류의 영향이 인버터 출력전압에 나타나지 않는다. 계통 상실시 계통 임피던스가 커지게 되고 이에 따라 주입한 9차 고조파 전류의 영향이 인버터 출력전압에 9차 고조파 전압 성분으로 나타나게 된다. 인버터 출력전압에 포함된 9차 고조파 성분의 유무를 Goertzel 알고리즘을 이용하여 모니터링하고 검출시 출력을 차단하여 단독운전방지 기능을 수행하게 된다. 그러므로 출력전압이나 주파수 변동을 이용하는 기존의 검출기법에서 나타나는 NDZ가 없어지게 된다.

### 3. Goertzel 알고리즘

#### 3.1 DFT와 Goertzel 알고리즘

DFT는 샘플링(N-point)의 이산신호  $X[n]$  ( $n=0,1,\dots,N-1$ )이 주어질 때 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} X[n] W_N^{nk}, \quad (W_N = e^{-j\frac{2\pi}{N}nk}) \quad (1)$$

$k$ 는 이산상수이고,  $W_N^{nk}$ 는 복소평면의 단위원의 원주상을  $\frac{1}{N}$  원주만큼 이동한 점을 의미한다.

그림 2는 복소평면의 단위원과 추출 주파수 스펙트럼을 나타낸다.

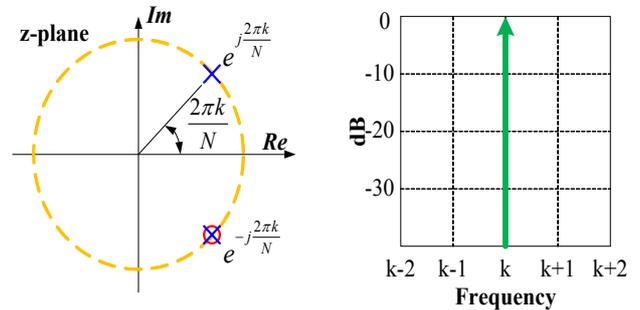


그림 2. 복소평면의 단위원과 추출 주파수 스펙트럼  
Fig. 2 Circle of complex plane and detection frequency spectrum

Goertzel 알고리즘은  $z$ -영역에서  $z = e^{-j\frac{2\pi k}{N}}$ 에 위치에서 영점과 극점이 상쇄되고  $z = e^{j\frac{2\pi k}{N}}$ 에서 순환주파수  $f = \frac{kf_{sample}}{N}[Hz]$ 가 표준 주파수와 일치할 때 공명이 집중되게 된다.<sup>[3]</sup> 그림 3은 Goertzel 알고리즘 블록도와 구현 타이밍도를 나타낸다.

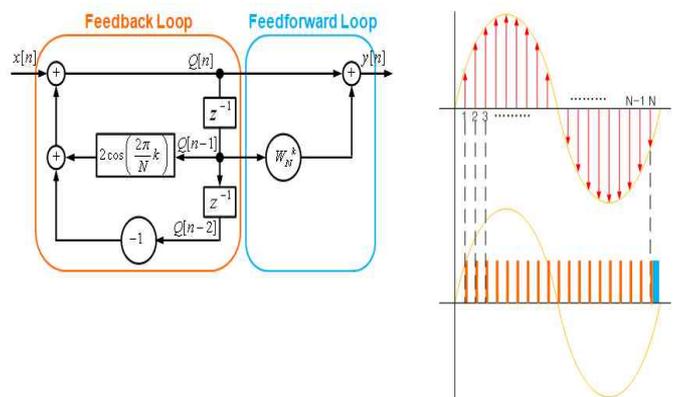


그림3. Goertzel 알고리즘의 전체적인 구현 타이밍  
Fig. 3 Over all embodiment timing of Goertzel algorithm

Feedback loop와 feedforward loop로 구성되어 구현 타 이밍도와 같은 loop를 구성하게 된다. Goertzel 알고리즘의 결과는 아래 식(2), (3)에 따라 추출한 주파수 성분의 크기와 위상을 계산할 수 있다.<sup>[4-5]</sup>

$$\begin{aligned} \text{크기} : |y_k(n)|^2 &= Q_k^2(n-1) + Q_k^2(n-2) \\ &\quad - 2\cos\left(\frac{2\pi k}{N}\right) \cdot Q_k(n-1) \cdot Q_k(n-2) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{위상} : \angle y_k(n) = \tan^{-1} \left\{ \frac{\sin\left(\frac{2\pi k}{N}\right) \cdot Q_k(N-2)}{Q_k(N-1) - \cos\left(\frac{2\pi k}{N}\right) Q_k(N-2)} \right\} \quad (3)$$

### 3. 시뮬레이션 결과

제안한 단독운전 방지기법의 유용성을 검증하기 위해 PSIM 프로그래밍으로 시뮬레이션을 행하였다. 표 1은 시뮬레이션에 적용된 시스템 파라미터 값을 나타내며, 부하는 저항부하를 사용하였다.

표 1 계통연계 인버터의 시뮬레이션 파라미터(R 부하)

인버터 출력 파워(P)	3[kW]
인버터 입력 DC 전압	380[V]
인버터 출력과 주파수	220[V], 60[Hz]
저항 부하(R)	15.5 [Ω]
주입 고조파 (f <sub>s</sub> )	0.1A, 540[Hz]

그림 4는 제안된 알고리즘을 이용한 단독운전방지 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다.

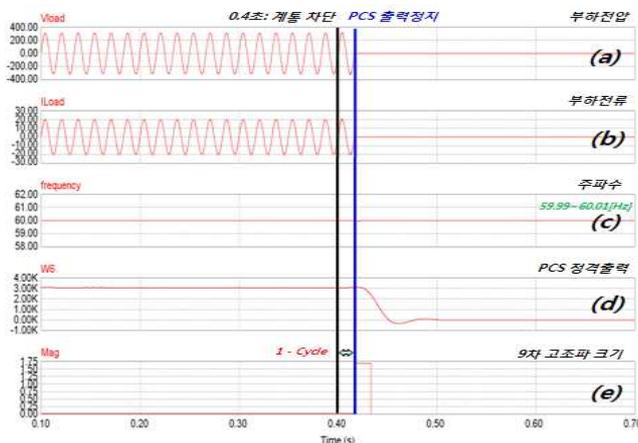


그림 4 Goertzel 알고리즘을 이용한 단독운전 기법 시뮬레이션 파형  
Fig. 4 Anti-islanding method simulation waveform using Goertzel algorithm.

0.4[sec]에서 계통 상실이 발생한다. (e)에서 계통 기본파 1주기 동안 Goertzel 알고리즘이 연산되고, 그 후 계통전압의 9차 고조파 성분의 크기가 1.66[V]로 검출 되었다. 그 후 (a), (b), (c), (d)에서 인버터 출력이 차단되는 파형이 나타나 있다. 계통연계기준에 의해 단독운전방지는 0.5[sec] 이내에 수행되어야 하며 제안된 시스템은 단독운전 발생 후 0.017[sec] 후에 수행되므로 계통연계기준을 만족한다.

### 4. 결론

본 논문에서는 Goertzel 알고리즘을 이용한 단독운전 방지 기법을 제안하였다. 인버터 전류에 9차 고조파 전류를 주입하고, 계통 상실시 인버터 출력전압에 나타나는 9차 고조파 전압의 크기를 Goertzel 알고리즘을 이용하여 검출하고 단독운전방지기능을 수행하였다. 출력전압이나 주파수를 이용하지 않으므로 NDZ가 없고 0.017[sec]에 빠르게 단독운전을 검출함을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 추후에 실험을 수행하여 Simulation 결과를 확인할 것이다.

본 과제(결과물)는 지식경제부의 출연금으로 수행한 특성화 대학원 사업의 연구결과입니다.

### 참고문헌

- [1] 김홍성, 김한구, 최규하, 김재철, 최영호 “IEEE 929-2000 단독운전 시험조건 하에서 단상 계통연계형 PV 시스템의 Anti-Islanding을 위한 RPV 방식 및 AFD방식의 해석 및 설계” 전력전자학회 논문지 제12권 2007. 2, pp. 37 - 49
- [2] 황인호 “분산전원시스템의 계통연계를 위한 새로운 단독운전 방지기법” 전력전자학회 논문지 제9권 제6호, 2004. 12, pp. 568 - 576
- [3] 김재형, 지용혁, 원충연, 정용채 “개선된 DFT를 이용한 위상추종방법” 전력전자학회, 전력전자학회 2008년도 학술대회 논문집, 2008. 6, pp. 91 - 93
- [4] Gonzalez, S.A., Garcia-Retegui, R., Benedetti, M “Harmonic Computation Technique Suitable for Active Power Filters” IEEE Transactions on Volume 54, Issue 5, Page(s): 2791 - 2796 Oct. 2007
- [5] K. P. Sozański, “Sliding DFT Control Algorithm for Three-Phase Active Power Filter”, Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2006. APEC '06. Twenty-First Annual IEEE 19-23, March 2006, pp. 1223 - 1229