

# 간접전류제어 기반의 계통연계형 인버터를 위한 단독운전방지 기법

오형민, 김영우, 최세완  
서울과학기술대학교

## Anti-islanding Method for Indirect Current Control based Utility Interactive Inverter

Hyeongmin Oh, Youngwoo Kim, Sewan Choi  
Seoul National University of Science and Technology

### ABSTRACT

중요부하를 갖는 계통연계 인버터에서 계통이상시 독립운전으로 전환하여 중요부하에 지속적인 전력을 공급하여야 한다. 기존의 제어 방식은 독립운전시 전압제어를 계통연계시 전류제어를 하기 때문에 모드전환시 과도상태가 발생하고 단독운전 검출전에도 부하의 전압과 주파수가 변동하여 중요부하에 심각한 영향을 줄 수 있다. 본 논문에서는 모드 전환시 과도상태를 최소화하면서 단독운전 검출전에도 부하 전압과 주파수가 일정하게 유지하는 간접전류제어 기반의 계통연계 인버터에서 전압 고조파를 주입함으로써 NDZ(Non-Detection Zone)를 갖지 않는 단독운전방지 기법을 제안한다.

### 1. 서 론

중요부하를 갖는 계통연계 인버터는 계통이상시 독립운전으로 전환하여 중요부하에 안정적인 전력을 공급해야 한다. 기존의 계통연계 제어방식은 전류제어에서 전압제어로 모드 전환시 인버터전압에 과도상태가 심하게 발생할 뿐 아니라 단독운전 검출전까지 부하 조건에 따라 부하 전압과 주파수가 변동될 수 있는 문제가 있다. 따라서 모드 전환 시 뿐 아니라 단독운전 검출전에도 인버터는 출력전압의 과도현상을 최소화하는 모드 전환기법이 필요하다. 이러한 과도상태를 최소화하기 위한 다양한 제어 기법들이 제안되었다.<sup>[1][2]</sup> 최근 독립운전 시 뿐 아니라 계통연계 시에도 전압제어를 유지함으로써 모드전환시 과도상태 없고 단독운전 검출전에도 부하 전압과 주파수가 변하지 않는 간접전류제어기법이 제안된 바 있다.<sup>[3]</sup> 하지만 이러한 간접전류제어를 적용할 경우 계통연계 시에도 인버터는 전압제어를 하기 때문에 기존의 전압 변동 등을 이용한 단독운전 검출을 할 수가 없다.

본 논문에서는 독립운전 및 계통연계시 전압제어를 유지함으로써 모드 전환시 과도 상태가 없을 뿐 아니라 단독운전 검출전에도 부하 전압과 주파수가 일정하게 하는 간접전류제어 기반의 계통연계 인버터에서 전압 고조파를 주입함으로써 NDZ를 갖지 않는 단독운전방지 기법을 제안한다.

### 2. 간접전류제어 기반의 단독운전방지 기법

그림 1은 제안한 단독운전 검출을 포함한 계통연계 인버터

구성도이다. 간접전류제어 기법은 인버터 출력전압  $V_{Cf}$ 의 크기와 위상을 제어함으로써 계통측 인덕터 전류  $I_{Lg}$ 를 간접적으로 제어하는데 인버터 출력전압 레퍼런스는 다음과 같이 계산된다.

$$V_{Cf,nom}^d = |V_{Lg}| = I_{Lg}^q \times \omega L_g \quad (1)$$

$$V_{Cf,nom}^q = |V_g| \quad (2)$$

계산된 출력전압 d, q축 레퍼런스와 계통에 주입하고자 하는 유·무효전력  $P^*$ ,  $Q^*$ 으로부터 얻어진 출력 전류의 보상분을 합하여 최종 전압 레퍼런스를 얻는다. 이 전압 레퍼런스로 캐패시터 전압과 비교하여 계통연계시에도 전압제어를 수행한다. 최종적으로 PWM 신호를 만들기 전에 단독운전 검출을 위한 고조파 성분을 주입한다.

그림 2는 제안한 단독운전방지 알고리즘의 순서도이다. 매 샘플링마다 동기좌표계로 변환된 계통 전압의 고조파 성분을 계산하여 센싱받은 계통 전압 고조파의 크기  $V_{g(7th)}$ 와 사용자가 정한 계통 전압 고조파의 크기  $V_{g(7th)}^*$ 를 비교한다. 사용자가 정하는 계통 전압 고조파의 크기는 인버터에서 주입하는 고조파의 크기에 따라 정해질 수 있고 이 값을 너무 크게 선정하면 출력 전류의 THD가 증가하고 너무 작게 선정하면 인버터 스위치의 잦은 트립이 발생할 수 있다. 센싱받은 고조파의 크기가 사용자가 정한 고조파의 크기보다 큰 시간이 일정

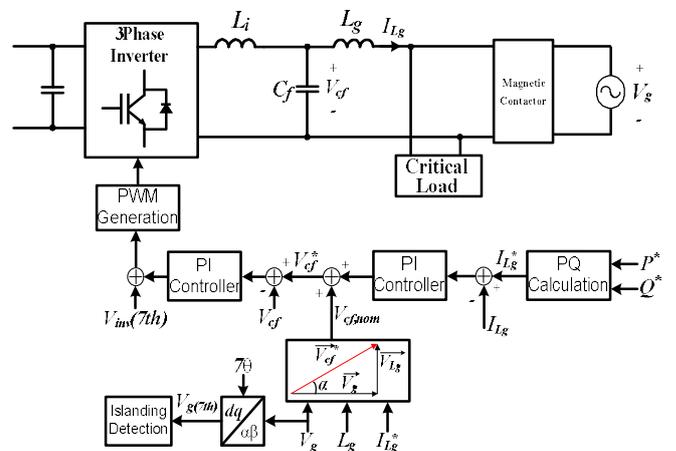


그림 1 제안한 단독운전 검출을 포함한 계통연계 인버터 구성도

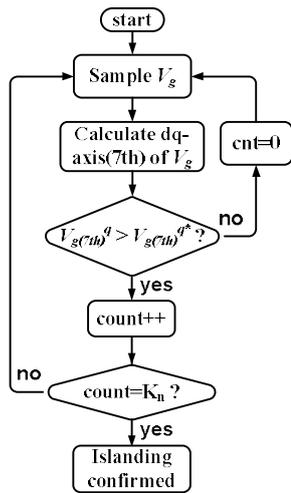


그림 2 제안한 단독운전방지 알고리즘 순서도

시간( $K_n$ ) 지속되면 단독운전 검출이 완료되고 독립운전 모드로 전환된다.

### 3. 실험 결과

표 1 실험 사양

$P$	1kW	$V_{LL}$	110V	$f_s$	10kHz
$L$	1.78mH	$C$	3 $\mu$ F	$L_g$	3mH

제안된 알고리즘을 검증하기 위해 1kW급 시작품을 제작하여 실험하였으며 시작품 실험 사양은 표 1과 같다. 그림 3은 계통연계시 실험파형으로 인버터 출력과 계통 전류가 부하에 전류를 분담하여 공급하고 있는 상황이다. 그림 4는 그림 3을 확대한 파형으로 출력전류에 따라 계통전압과 캐패시터 전압간에 위상 차이가 발생하고 출력전류와 계통전압의 위상은 일치함을 볼 수 있다. 그림 5는 아일랜드 발생시 파형이다. 출력 전류와 계통 전류가 부하에 전류를 분담하여 공급하는 상황으로 단독운전 검출전까지 부하 전압, 주파수가 변동하지 않고 모드 전환시 과도상태가 없는 것을 확인할 수 있고 아일랜드 상황이

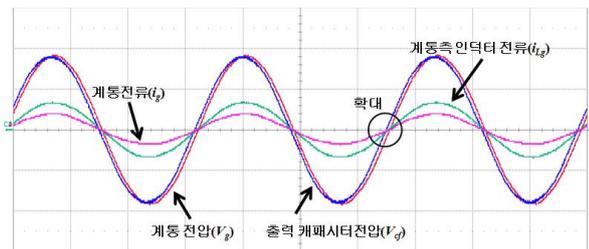


그림 3 간접전류제어 방식의 계통연계 실험파형

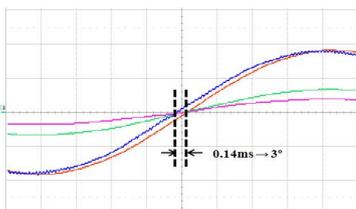


그림 4 그림 3의 확대 파형

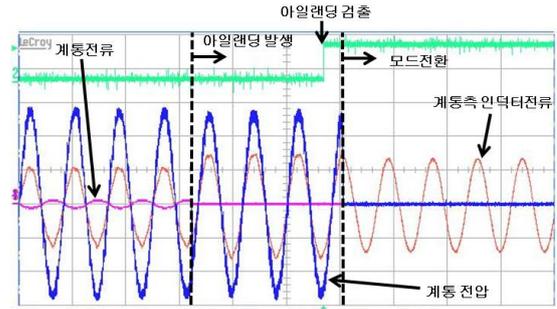


그림 5 NDZ가 아닌 상황에서 단독운전 검출 실험

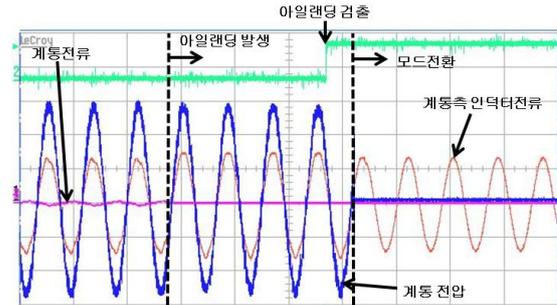


그림 6 NDZ상황에서 단독운전 검출 실험

약 25ms 내외로 검출되었다. 그림 6은 인버터가 부하에 모든 전류를 공급하고 계통으로는 주입되지 않는 상황으로 전압과 전류의 크기와 주파수가 변하지 않아 NDZ가 발생할 수 있는 상황이다. 이 상황에서도 아일랜드 상황이 약 27ms 내외로 검출된 것을 확인할 수 있다.

### 4. 결론

본 논문에서는 중요부하를 갖는 분산발전 시스템에서 모드 전환에 따른 전압의 과도상태를 최소화하고 단독운전 검출 전에도 부하의 전압, 주파수가 변동하지 않으면서 고조파 주입을 이용하여 단독운전을 검출할 수 있는 제어기법을 제안하였다. 실험결과 약 2.5%의 전류 THD를 달성하였으며, 계통이상 발생시 모드 전환시 중요부하전압에 과도상태가 없고 단독운전 검출 전에도 전압, 주파수가 변동되지 않으며 제안한 단독운전 검출 기법이 NDZ를 갖지 않음을 실험으로 검증하였다.

### 참고 문헌

- [1] Tai-Sik Hwang, Kwang-Seob Kim, Byung-Ki Kwon, "Control strategy of 600kW E-BOP for molten carbonate fuel cell generation system", ICEMS 2008, pp. 2366-2371
- [2] Guoqiao Shen, Dehong Xu, Xiaoming Yuan, "Instantaneous Voltage Regulated Seamless Transfer Control Strategy for Utility-interconnected Fuel cell Inverters with an LCL-filter", IPENC 2006, pp. 1-5
- [3] J. Kwon, S. Yoon, S. Choi, "Indirect Current Control for Seamless Transfer of Three-Phase Utility Interactive Inverters", accepted for future publication in *IEEE Trans. Power Electronics*.