

# 조리용 인덕션 레인지에서 영전압 스위칭 방법의 개선

홍주희, 윤덕용

공주대학교 대학원 전기전자제어공학과

## Improvement of Zero Voltage Switching for Induction Cooker

Ju-Hee Hong, Duck-Yong Yoon

Kongju National University

### ABSTRACT

공진형 인버터는 스위칭 전압이 0이거나 스위칭 전류가 0인 조건에서 동작할 때 스위칭 손실을 최소로 할 수 있다. 오늘날 조리용 인덕션 레인지에서 폭넓게 사용되고 있는 싱글 스위치 방식의 공진형 인버터는 영전압 스위칭 방법을 주로 사용하는데, 출력 전력을 가변하기 위하여 주파수를 변동시키는 경우에는 종종 영전압 스위칭이 올바르게 수행되지 않는 문제를 가지고 있다. 이는 스위칭 소자가 과열되거나 소손되는 문제를 야기한다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 하드웨어적인 전압 비교기를 사용하여 영전압 스위칭 동작을 개선하는 방법을 제안하고, 이 방법의 유효성을 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 통하여 확인하였다.

### 1. 서 론

오늘날 전력 변환기에 사용되고 있는 MOSFET, IGBT 등과 같은 전력용 반도체 소자는 스위칭 동작을 수행할 때 전력 손실을 발생한다. 스위칭 소자의 전력 손실은 도통 손실과 스위칭 손실로 나눌 수 있는데, 스위칭 손실은 스위치의 턴온, 턴오프 시간이 길수록 증가하고 스위칭 주파수에도 비례하여 증가한다. 그런데 스위치의 전압이나 전류가 0일 때 스위칭 동작을 수행하면 이론적으로 스위칭 손실이 0이 될 수 있다. 공진형 인버터는 공진현상을 이용하여 스위칭 소자의 양단 전압 또는 전류가 0으로 되는 조건에서 스위칭하여 고주파에서도 높은 효율을 갖는다.<sup>[1]</sup> 싱글 스위치 방식의 공진형 인버터는 스위칭 소자의 수가 적어 경제적이므로 현재 조리용 인덕션 레인지에 널리 사용되고 있다. 싱글 스위치 방식의 공진형 인버터는 영전압 스위칭 방법을 사용하는데, 출력을 조절하기 위해 스위칭 주파수를 가변하면 턴온, 턴오프 시 전압이 0이 아닌 경우에 스위칭 동작을 할 수 있다. 그 결과 스위칭 손실이 증가하고 최악의 경우에는 스위칭 소자가 소손되어 제품이 고장날 수도 있다. 본 논문에서는 반도체 소자가 과열되거나 소손되는 문제를 방지할 수 있는 개선된 영전압 스위칭 방법을 제안한다. 전압 비교기로 공진 부하 양단의 스위칭 조건을 검출하고 이를 MCU에서 출력하는 게이트 신호와 결합하여 만들어진 최종 게이트 신호를 IGBT에 입력함으로써 영전압 조건에서만 스위칭 동작을 수행할 수 있도록 한다. 제안한 영전압 스위칭 방법의 유효성을 검증하기 위하여 이를 2[kW]급의 싱글 스위치 방식 공진형 인버터에 적용하는 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 실시한다.

### 2. 공진형 인버터의 영전압 스위칭

#### 2.1 공진형 인버터의 영전압 스위칭

그림 1에 스위칭 방식에 따른 스위치 양단의 전압 및 전류 파형을 보였다. 하드 스위칭 방식의 경우 스위치 양단의 전압과 전류가 존재할 때 스위칭하므로 그로 인한 스위칭 손실이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 소프트 스위칭 방식을 사용하는데, 이 방식은 스위치에 인덕터나 커패시터로 구성되는 공진 소자를 추가하여 스위치 양단의 전압이나 전류가 0인 조건에서 스위칭 동작을 수행하므로 손실이 0이 되도록 할 수 있다. 그림 1에서 소프트 스위칭 파형을 살펴보면 스위치 턴온 시에는 전압이 0이고 턴오프 시에는 전류가 0이므로 스위칭으로 인한 손실은 최소화된다.<sup>[2]</sup>

싱글 스위치 방식의 공진형 인버터는 턴온 및 턴오프 시에 모두 영전압 스위칭을 사용하는데, 출력 전력을 가변하기 위해 스위칭 주파수를 변동시키면 영전압 조건이 충족되지 않은 상태에서 스위칭 동작을 수행할 수 있다. 이는 스위칭 손실을 증가시켜 소자가 과열되거나 소손될 수 있다.

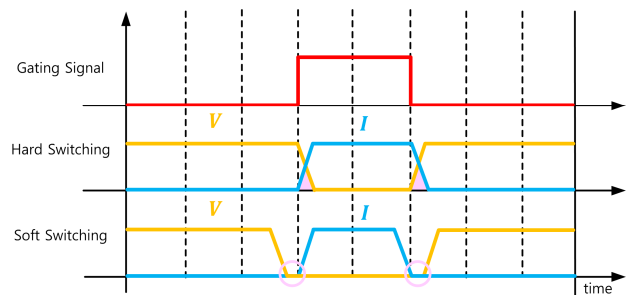


그림 1 스위칭 방식에 따른 스위치 전압 및 전류 파형  
Fig. 1 Switch voltage and current waveforms according to switching method

#### 2.2 제안된 공진형 인버터의 영전압 스위칭 방법

하드웨어적으로 영전압 조건을 확인하여 안전하게 영전압 스위칭 동작을 수행하도록 본 논문에서 제안한 싱글 스위치 방식의 공진형 인버터 시스템 구성도를 그림 2에 보였는데, 이것은 정류기, LC필터, 공진 인덕턴스  $L_r$ 과 등가 저항  $R_{eq}$  성분을 갖는 유도 코일과 공진 커패시터  $C_r$ 로 구성된다. 공진 부하 양단의 전압을 비교기로 검출하고 이를 게이트 신호와 AND 게이트로 결합한 파형이 최종적으로 IGBT에 입력된다.

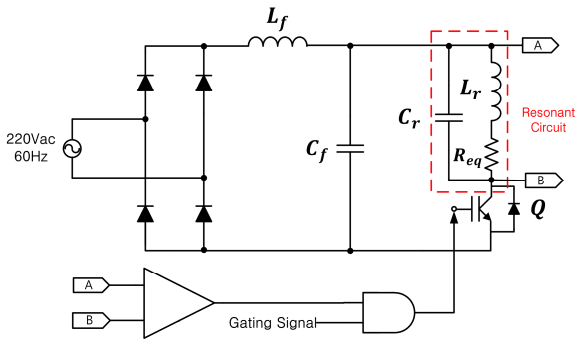


그림 2 제안한 싱글 스위치 방식의 공진형 인버터 시스템 구성도  
Fig.2 Proposed single switch resonant inverter

그림 3은 본 논문에서 제안한 방법으로 비교기 출력과 게이트 신호 그리고 이것들을 결합한 최종 IGBT의 게이트 파형을 나타낸다. 이와 같이 IGBT 스위치 양단의 전압을 검출하여 안전하게 영전압 스위칭을 수행하면 모든 동작영역에서 스위칭 손실을 저감하고 소자의 과열을 줄일 수 있다.

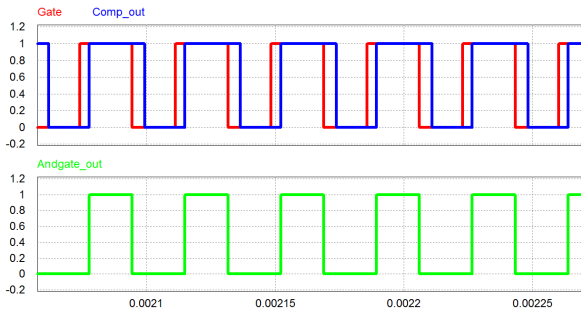
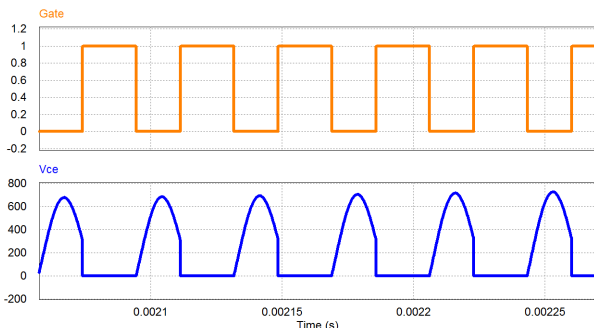


그림 3 비교기 출력과 게이트 신호를 결합한 IGBT 입력 파형  
Fig.3 IGBT input waveform made by combining comparator output and gating signal

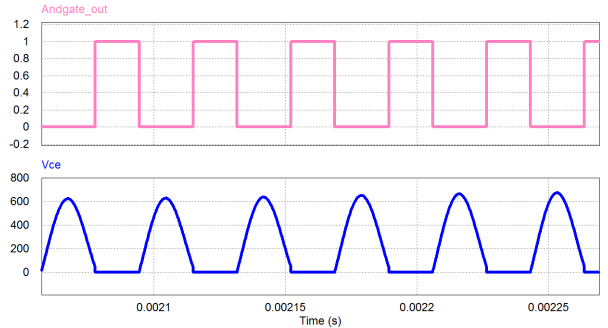
### 3. 컴퓨터 시뮬레이션 및 실험 결과

#### 3.1 컴퓨터 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 영전압 스위칭 방법의 유효성을 검증하기 위해 이를 싱글 스위치 방식의 공진형 인버터에 적용하여 PSIM 소프트웨어로 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 유도코일의 공진 인덕턴스와 등가 저항은 각각  $L_r = 83\mu\text{H}$ ,  $R_{eq} = 1.31\Omega$ , 공진 커패시터는  $C_r = 0.3\mu\text{F}$ 을 사용하였다. 영전압 스위칭이 잘못된 경우와 제안한 영전압 스위칭 방법의 비교 시뮬레이션 파형을 그림 4에 보였다.



(a) 영전압 스위칭이 올바르게 수행되지 않는 경우



(b) 제안한 영전압 스위칭 방법의 경우  
그림 4 영전압 스위칭 방법의 비교 시뮬레이션 결과  
Fig. 4 Simulation results of zero voltage switching

#### 3.2 실험 결과

시뮬레이션과 동일한 방법으로 2[kW]급의 싱글 스위치 방식 공진형 인버터를 제작하여 실험하였다. 본 논문에서 제안한 영전압 스위칭 동작 파형을 그림 5에 보였는데, 노란색으로 표시된 IGBT 게이트 파형이 IGBT의 양단 전압인 녹색 파형의 영전압 조건에서 안전하게 스위칭 동작을 수행하는 것을 확인할 수 있다.

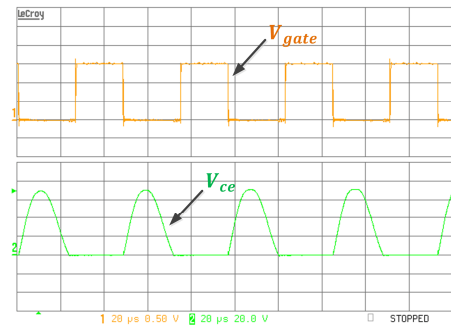


그림 5 제안한 영전압 스위칭 방법의 실험 결과  
Fig. 5 Experimental results of proposed zero voltage switching

### 4. 결론

공진형 인버터는 스위치의 손실을 최소화하기 위해 영전압 또는 영전류에서 스위칭하여 고주파에서도 높은 효율을 갖는다. 싱글 스위치 방식의 공진형 인버터는 출력을 가변하기 위해 스위칭 주파수를 변동할 때 턴온, 턴오프 시 전압이 0이 아닌 경우에 스위칭이 수행될 수 있다. 본 논문에서는 조리용 인덕션 레인지에 사용되는 공진형 인버터에서 발생하는 잘못된 영전압 스위칭을 개선하기 위해 하드웨어 비교기를 사용한 안전한 영전압 스위칭 방법을 제안하였다. 제안한 방법을 2[kW]급 싱글 스위치 방식의 공진형 인버터에 적용하는 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 통하여 유효성을 확인하였다. 기존의 소프트웨어만을 사용한 제어방식에 비하여 하드웨어 방식으로 영전압 스위칭의 안정성을 개선한 본 논문의 방식을 적용하면 인덕션 레인지 제품의 성능 및 신뢰성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참고 문헌 ( wiset 충남지역사립대학원 논문 )

- [1] 노의철, 정규범, 최남섭, 전력전자공학, 문운당, p. 425, 2002.
- [2] 김상언, "고효율 Induction Heating Cooker를 위한 공진형 인버터", 국민대학교 석사학위논문, pp. 5-8, 2013.