

# 자기공진 토폴로지에 의한 고주파 유도가열 시스템

최우석, 이원진, 왕지명, 박성준  
전남대학교

## Self-oscillation topology for high frequency induction heating system

Woo Seok Choi, Won Jin Lee, Wang Zhiming, Sung Jun Park  
Chonnam National University

### ABSTRACT

고주파 유도가열 시스템은 고효율 및 생산의 편의성으로 산업 전반에 걸쳐 다양하게 적용되고 있다. 이러한 고주파 유도가열 시스템은 크게 정류부, 전압조절부, 공진형 인버터로 구분된다. 공진형 인버터는 공진 주파수로 스위칭 시, 순수 실수 어드미턴스만 남게 되어 최대 효율을 얻는다. 공진 주파수는 공진회로의 입력 어드미턴스에 의해 결정되는데, 용융과정에서 피가열체의 저항 값은 시간에 따라 변화한다. 이는 전체 입력 어드미턴스의 변화와 공진 주파수의 변화로 나타나고, 효율이 저하되는 단점이 있다. 본 논문에서는 공진 인버터의 공진 주파수를 스스로 추종하는 자기공진 추종 토폴로지를 제안한다. 제안된 토폴로지는 고주파 유도가열 시스템의 용융과정에서 피가열체의 저항 값이 시변하여 공진 주파수가 이동하더라도 반주기 내에 정확하게 추종 동작을 한다. 본 논문에서는 제안된 자동 공진 추종회로를 기존의 병렬 공진 유도가열 시스템에 적용하여 타당성을 검증하였다.

### 1. 서 론

고주파 유도가열 시스템은 고효율 및 생산의 편의성 때문에 용해, 열처리, 벤딩, 용접 등 산업전반에 걸쳐 다양하게 적용되고 있다.

고주파 유도가열 시스템의 동작은 상용 AC전원을 정류기를 통해 DC전원으로 변환하고, DC/DC 컨버터로 공진형 인버터의 입력전원을 제어한다. 공진형 인버터의 공진 회로는 직렬로 연결된 워킹 코일과 피가열체, 병렬로 연결된 커패시터로 동작화된다.

공진형 인버터가 공진회로에 고주파 전력을 공급하면 워킹 코일에서 와전류(eddy current)가 발생하고, 이는 피가열체에 유기되어 표피 저항에 줄(Joule) 열을 발생 시킨다. 이때 인버터에서 공급하는 고주파 전력은 공진 주파수로 동작 시 공진회로의 어드미턴스가 순수 실수만 남게 되어 최대 효율로 공급할 수 있다. 그러나, 용융 과정에서 피가열체의 저항이 시변하므로 공진회로의 입력 어드미턴스와 공진 주파수 역시 변화한다. 이때, 인버터의 스위칭이 변화하는 공진 주파수에 맞게 변화되지 않으면 효율이 저하된다는 문제점이 있다.

본 논문에서는 용융에 의한 피가열체의 저항 값 변화에도 공진주파수를 자동으로 추종할 수 있는 자기 공진 추종 토폴로지를 제안한다. 제안된 토폴로지는 센서 신호 입력단과 출력단

이 전기적으로 절연되어 있어, 파워단 노이즈에 의한 영향이 비교적 적으며, 하드웨어적인 구현으로 동작 속도가 빠르다. 또한 최소한의 소자 및 소형 변압기를 이용하여 저가 구현의 장점이 있다. 본문에서는 실험에 사용된 고주파 공진형 유도가열 시스템 및 자기 공진 추종 토폴로지의 원리에 대해서 설명하고, 실험을 통해 성능을 검증하였다.<sup>[1][2]</sup>

### 2. 자기 공진 추종 토폴로지

#### 2.1 기존의 고주파 유도가열 시스템

실험에 사용된 기존의 고주파 유도가열 시스템은 그림 1과 같다. 고주파 유도가열 시스템은 정류부, 벅 컨버터부, 전류형 풀브릿지 인버터부, 병렬 공진회로로 구성된다. AC 상용 전원은 브릿지 다이오드를 통해 정류되고, 벅 컨버터 부에서 전류형 풀브릿지의 입력 전원을 형성한다. 직렬로 연결된 워킹 코일과 피가열체, 병렬로 연결된 공진 커패시터가 공진회로를 형성하고, 전류형 인버터의 출력과 연결된다.

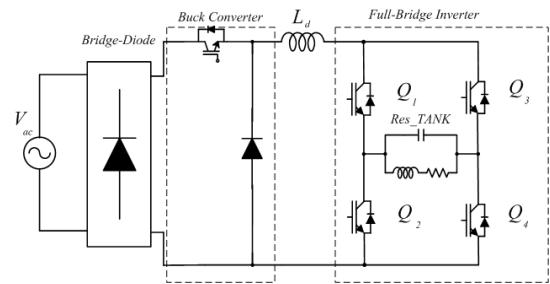


그림 1 유도가열 시스템의 구성  
Fig. 1 Circuit Configuration of Induction Heating System

공진형 인버터가 공진 주파수로 동작 시 입력 어드미턴스의 허수 부분은 0이 되고, 실수 어드미턴스만 남게 된다. 공진 회로의 입력 어드미턴스 및 공진 주파수는 식 (1), 식 (2)로 각각 나타낼 수 있다.

$$Y(j\omega) = \frac{R}{R^2 + \omega^2 L^2} + j\left(\omega C - \frac{\omega L}{R^2 + \omega^2 L^2}\right) \quad (1)$$

$$\omega_r = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2}} \quad (2)$$

## 2.2 제안된 자기 공진 추종 토폴로지의 동작원리

그림 2는 자동공진 추종 회로를 나타낸다.

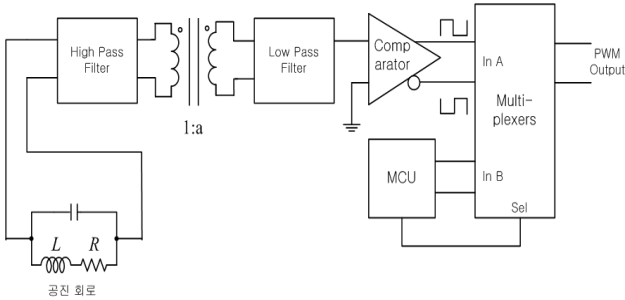


그림 2 제안된 자동공진 추종 회로

Fig. 2 A proposed self-oscillation topology

그림 2에서 워킹 코일을 포함한 공진회로에서 양단의 전압은 1차 Passive High Pass Filter의 입·출력을 통해 1:a의 비를 가지는 트랜스를 거쳐 신호레벨로 변환된다. 2차 Active Low Pass Filter를 통과한 신호는 비교기의 입력으로 GND와 비교하여 High, Low의 구형파 출력을 가진다. 비교기는 비교된 출력 신호와 부 출력 신호를 동시에 가지며, 인버터의 풀브릿지 스위치 PWM 입력으로 사용된다. Multiplexer는 MCU의 PWM과 비교기의 출력 PWM이 입력으로 들어오고, MCU의 Sel 신호에 의해서 선택 출력한다.

동작 순서는 공진회로의 양단 전압을 형성하기 위한 초기 구동 PWM을 MCU에서 출력하고, 공진회로의 양단 전압이 정격의 10%가 되면 변압기를 거친 비교기 출력 PWM을 공진 인버터의 입력으로 사용한다.

## 3. 실험 결과

제안된 자동공진 추종 회로의 실험 조건은 표 1과 같다.

그림 3은 워킹 코일에서 발생한 와전류가 피가열체의 표피 저항에 열을 발생시켜 용융하는 과정이다. 그림 4는 공진 주파수 변경 시, 공진 추종 파형으로 그림에서 보는 바와 같이 공진 주파수의 추종은 약 4.8 $\mu$ [sec]내인 반주기 안에 추종함을 알 수 있다. 제안된 방식은 초기 기동 시에 MCU에서 임의 설정된 주파수로 스위칭을 통해 양단 공진 전압을 발생시키고, 초기 기동 후 정격의 10%가 되면 자기 공진 추종 방식으로 전환하게 된다.



그림 3 피가열체의 용융 과정

Fig. 3 Melting process of the heated material

표 1 제안된 자동공진 추종 회로의 실험 조건

입력전압	AC 220 [V]
스위칭 주파수	73 [kHz]
입력측 인덕터	3 [mH]
부하단 인덕터	2.87 [ $\mu$ H]
부하단 커패시터	1.65 [ $\mu$ H]

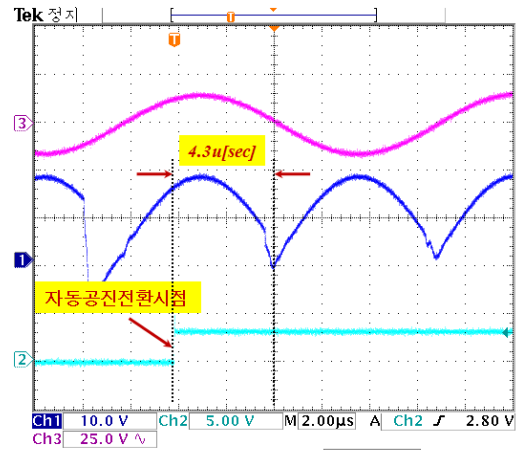


그림 4 공진 주파수 변경 시 공진추종 파형

Fig. 1 Simulation Result

## 4. 결 론

본 논문에서는 피가열체의 저항이 공진회로의 전체 입력 어드미턴스에 미치는 영향을 수식으로 나타내었으며, 제안된 자기 공진 추종 토폴로지를 실제 공진형 고주파 유도가열 시스템에 적용하여 피가열체 저항 값 변화에 의한 공진 주파수 변화 시에 약 반주기 안에 공진 주파수를 추종함을 실험으로 검증하였다.

이 논문은 생산기술사업화 지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

## 참 고 문 헌

- [1] 임상길, 김승률, 김광현, 박성준, “단위역률을 위한 전류형 유도가열 시스템”, pp. 220 221, 전력전자학회, 2010.
- [2] 임영도, “주파수 추종기능을 갖는 고주파유도가열조리기의 구현,” 한국정보기술학회논문지, vol. 6, no. 6, pp. 180 186, 12, 2008.