

고주파 직렬 공진형 인버터를 이용한 유도가열 시스템의 안정화에 관한 연구

박상민, 우형균, 신대철
호서대학교

A Study on the Stabilization of Induction Heating System for Using High-Frequency Series Resonant Inverter

Sang-min Park, Hyoung-gyun Woo, Dae-Chul Shin
Hoseo Univ.

ABSTRACT

유도가열용 공진형 인버터는 부하에 전류가 흐르면 전자유도 작용에 의해서 와전류가 발생된다. 이 와전류에 의해 발열체가 가열되는 시스템이다. 그러나 유도가열용 인버터에 사용되는 IGBT나 MOSFET와 같은 스위칭 소자들은 스위칭 시 순간 과전류의 발생이나 외부의 이상과전류로 인해서 소자가 파괴되거나 오작동을 일으키게 되어 전기기기의 손상을 가져올 수 있다. 이를 방지하기 위하여 공급 전원에 비교기를 사용하여 전류의 변화를 감지하고 전류를 차단하는 고주파 직렬 공진형 인버터를 이용한 유도가열 시스템의 안정화에 관한 연구를 하고자 한다.

1. 서론

유도가열용 공진형 인버터 기술의 원리는 패러데이에 의해서 발생된 전자기 유도 현상으로 전자기유도의 잠재적 응용성을 인식한 많은 사람들은 수십 년에 걸쳐 고주파의 교류 전류를 발생 시키는 장치를 개발하는데 몰두하였다. 요즘에는 전압구동 제어소자로 구동 회로의 전력 소모가 적고 스위칭 속도가 빠른 중·대용량 스위칭 소자 (GTO, MOSFET, IGBT)가 개발되어 수백 [kHz]대 또는 그 이상의 고속 스위칭이 가능해짐에 따라 전력변환 장치의 응용 기술이 날로 발전 하고 있다.^[1]

본 논문에서는 외부로부터 유입되는 이상 과전류로부터 발생할 수 있는 소자의 파괴 및 오작동을 방지하기 위하여 공급 전원에 보호회로를 사용하여 전류의 변화를 감지하는 고주파 직렬 공진형 인버터를 이용한 유도가열 시스템의 안정화에 대해 도모코자 한다.

2. 유도가열

2.1 유도가열 시스템의 원리

유도가열은 패러데이의 전자기유도작용을 기본적으로 이용한 것이다. 그림 2.1과 같이 코일에 고주파전류가 흐르게 되면 암페어의 법칙에 의해서 자속이 발생한다. 이 자속은 전도성금속 물질을 통과하면서 렌츠의 법칙에 의해서 반대 방향으로 자속이 유도 된다. 이 자속이 시간에 따라 변하므로 패러데이의 법칙에 의하여 전압이 양단에 걸리게 된다. 옴의 법칙에 의해 이 전압을 발열체의 고유저항으로 나눈 만큼의 와전류가 흐르게 된다. 이렇게 발생한 와전류는 식 (1)과 같이 Joule 열로 발생

하게 된다.

$$P_e = i_{erms}^2 \cdot R_{path} \quad (1)$$

위 (1) 식에서 P_e 는 발열체에서 발생한 와전류손이고, i_{erms} 는 와전류의 실효치이며 R_{path} 는 와전류경로 상의 저항이다.^{[2][3]}

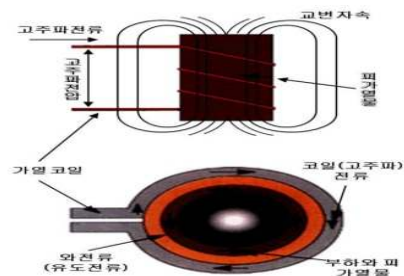


그림 2.1. 유도가열의 원리
Fig 2.1. Principle of induction heating

2.2 하프-브릿지 공진형인버터

그림 2.2는 하프-브릿지 직렬부하 고주파 공진형 인버터를 나타낸다.

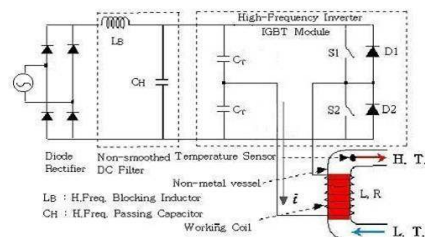


그림 2.2. 하프-브릿지 공진형 인버터
Fig 2.2. Half-bridge resonant inverter

기본 회로의 동작 해석에서 입력전압은 상용 전원을 정류하고 평활 시킨 전압이고, L_B 와 C_H 는 필터 부분이다. 그리고, C_H 은 공진콘덴서로 직렬 합성용량이며, L_B 은 공진리액턴스로 가열코일에 연결한 것이다. 또한, IGBT 구동 펄스 신호의 시간 구간에 대한 동작해석은 다음과 같다.

그림 2.3은 IGBT의 구동 펄스 신호를 나타낸다. 그림에서 t_0 에서 t_1 시간 구간은 IGBT가 오프상태에서 공진콘덴서 C_H 에서 V_{CC} 가 공급된다. V_{CC} 의 전원으로부터 가열코일의 인덕턴스

L_B 과 고주파 저항 r 의 직렬 임피던스를 통해 흐르는 정상 상태의 전류가 구해지고, IGBT 컬렉터에 흐르는 전류값을 구한다. t_1 에서 t_2 시간의 구간은 IGBT가 구동 신호 펄스가 0[V]되어 IGBT가 턴오프되는 구간이며, 이때 IGBT의 컬렉터 전류는 정지되고, 가열코일 L_B 과 공진콘덴서 C_H 에 의한 공진 전류가 흐르게 된다. 이 공진전류는 가열코일에 축적된 에너지가 공진콘덴서 C_H 로 이동하면서 흐르는 충전전류와 반대로 공진콘덴서 C_H 에 축적된 에너지가 다시 가열코일로 이동하면서 흐르는 방전전류가 순차적으로 흐르는 전류이다.

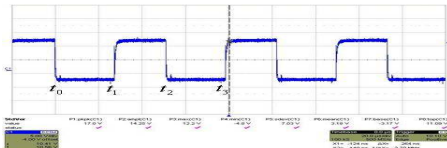


그림 2.3. IGBT의 구동 펄스 신호
Fig 2.3. IGBT driving pulse signal

t_2 에서 t_3 시간 구간은 구동신호 펄스가 다시 인가되어 IGBT가 턴온되는 구간으로써, 이때에는 공진콘덴서 C_H 의 전압은 거의 0[V]가 되므로 IGBT의 단락전류는 흐르지 않고 정상 상태 전류가 IGBT에 흐르게 된다.^[4]

3. 보호회로 설계

3.1 보호 회로

본 회로에서 사용된 보호회로의 기능은 과전류 발생 시 CT를 사용하여 직류전압으로 정류 한 후 SMPS 전압과 비교하여 인버터의 온·오프를 제어한다.

비교 전압을 공급하려면 우선 공급 전류를 CT로 저전류로 변환시킨 다음 변환된 저전류를 직류 전압으로 정류하여 SMPS 출력 전압과 비교하여 실험을 하였다. 이 두 전압을 KA741로 비교하여 과전류의 흐름을 판단하여 신호를 보내면 릴레이가 ON-OFF 동작을 하게 된다. 이 때 과전류가 발생하게 되면 CT에서 출력되는 전류 역시 상승하고 정류된 전압 역시 상승하게 된다. 비교기에서 이 상승된 정류 전압과 SMPS전압을 비교하여 릴레이로 신호를 보내면 릴레이가 OFF 동작을 하게 된다.

4. 실험 및 고찰

이 실험에 쓰인 소자 CT는 JS31W로 권수비는 1000/1이고 전류 측정범위는 100mA~80A이다. 공급 전원의 전류를 저전류로 변환시킨 후 다시 저전압으로 정류하였다. 이 변환된 정류전압과 SMPS 출력전압을 비교하기 위하여 KA741사용 하였다. KA741에서 발생하는 출력 신호를 사용하여 공급 전원을 ON-OFF 위해서 릴레이를 사용하였다.

그림 4.1은 정류전압과 SMPS 전압을 비교하여 출력하는 보호회로의 회로이다.

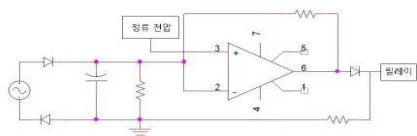
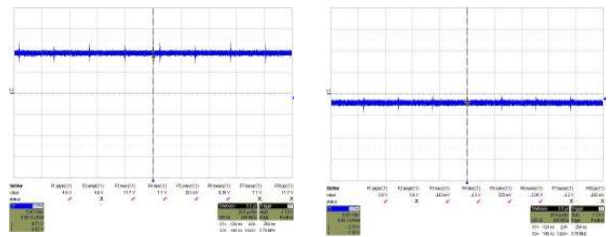


그림 4.1. 비교기 회로
Fig 4.1. Comparator circuit

그림 4.2는 정류전압과 SMPS 전압의 비교기 출력 파형을 나

타낸 것이다.

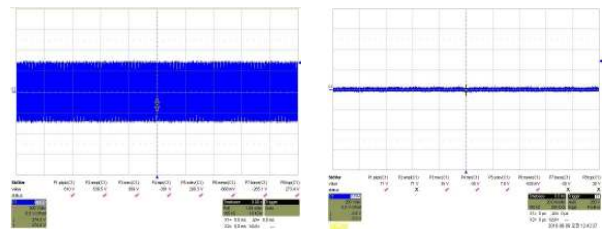


(a) 비교기 high 신호 (b) 비교기 low 신호
(a) Comparator high signal (b) Comparator low signal

그림 4.2.비교기 전압 파형

Fig 4.2. Comparator voltage waveform

그리고, 그림 4.3은 릴레이 ON-OFF 시 공급 전압 출력 파형을 나타낸 것이다.



(a) 릴레이 ON (b) 릴레이 OFF
(a) Relay ON (b) Relay OFF

그림 4.3. 공급 전압 파형

Fig 4.3. Service voltage waveform

5. 결론

본 논문에서는 외부에 의해서 발생할 수 있는 과전류에 대한 보호회로를 구성하여 유도가열용 공진형 인버터의 안정화를 실험 하였다.

1. 전원 전원을 임의적으로 과전류를 발생 시키면 보호회로에 의해서 릴레이 ON-OFF 동작을 확인 할 수 있었다.
2. 보호회로를 임의적으로 단락을 시키면 릴레이 역시 작동되지 않아 인버터 회로가 동작하지 않음을 확인 할 수 있었다.

앞으로 유도가열용 공진형 인버터의 IGBT의 스위칭 시 발생할 수 있는 노이즈 및 과전류의 안정화를 위한 연구가 필요하다. 또한 외부 과전류에 의한 보호 회로에 대한 연구가 지속적으로 진행되어져야 한다.

참고 문헌

- [1] 우형균, 유재훈, 권혁민, 신대철 “공진형 인버터를 이용한 유도가열 시스템의 주파수 제어에 관한 연구” 전력전자학술대회 논문집 2007.7 pp. 83~85.
- [2] 서은숙, 정경수, 임세현, 금동민, 양준혁, 정인환 “유도가열 시스템의 설계 및 구현” 대한전기학회 논문집 2006 pp. 1683~1684
- [3] Robert W.Erickson, etc "Fundamentals of power Electronics, Second Edition", Chapter 19, 1999.
- [4] 박근수 “하프 브리지 공진형 인버터를 이용한 유도 가열 시스템에 관한 연구” 2003 pp.8~10.