

주파수 추종과 정전력 제어가 가능한 고주파 유도가열기의 병렬 공진형 인버터에 대한 연구

김 남 수, *김 태 언, *김 승 철, **임 영 도
동아대학교 전자공학과 석사과정, *박사과정, **동아대학교 전기·전자·컴퓨터 공학부 교수
전화 : 051-200-6733 / 핸드폰 : 017-853-0922

Study on the Parallel Resonant Inverter of an High Frequency Induction Heating System which the Frequency Tracking and the Power Regulation is possible

Nam-Soo Kim, *Tae-Eon Kim, *Seung-Cheol Kim, **Young-Do Lim
Dept. of Electronics Engineering Graduate School, Dong-A University
E-mail : dauera@chollian.net

Abstract

This paper has been studied the parallel resonant inverter which controlling the constant power and tracking the load resonant frequency with PLL is possible, in order to minimize switching losses. The current-fed full-bridge type parallel resonant inverter of an induction heating system was composed of IGBT in switching device. For regulating the output power of an induction heating system, the Fuzzy controller is used. The Fuzzy controller makes the control signal for a stable power regulating control and when reference is changed, it is superior to adaptability. It has been evaluated a stable behavior for a noise with switching and a load disturbance.

I. 서론

유도가열기는 물체의 전기가열을 위해, 근래에 와서는 반도체식 고주파 발생기가 대부분을 이루며, 생산 설비의 자동화, 품질향상, 전력의 절감을 위해 전자, 가전, 금속, 자동차 공업등 여러 분야에 이용되고 있다. 최근에는 새로운 고속 대전력 반도체 전력 소자들의 개발에 의해 가능한 고주파 스위칭 범위가 20kHz~수

백kHz인 공진형 전력 인버터와 컨버터의 설계가 가능해졌다. 인버터는 DC전원을 교류전원으로 변환하는 장치로서 대전력을 얻기에 가장 적합한 full Bridge 인버터를 이용한다. 인버터 방식은 부하 정함에 따라 정전압원인 직렬공진 방식과 정전류원인 병렬공진 방식으로 구분된다.

본 논문에서는 퍼지를 이용한 디지털식 제어를 사용하여 유도 가열기의 시변 부하에 대한 정전력 제어를 하고, 부하를 병렬 공진으로 하는 전류원 인버터 방식으로 설계하여 제어를 한다.

본 논문에서는 부하의 공진 주파수를 추종하면서 정전력 조절이 가능한 병렬 공진형 인버터를 설계함으로써 보다 효과적이고 효율적인 유도 가열을 행할 수 있도록 한다.

II. 고주파 유도가열의 개요

고주파를 이용한 응용분야는 주로 열을 얻는데 쓰여지며 그 방법은 발열원리 및 용도에 의해 구분되어진다. 일반적으로 고주파 가열에서는 유도가열 및 유전가열로 나눌 수 있다. 유도가열이란 금속과 같은 도전 물체에 고주파 자장을 가할 때 도체내에 생기는 맴돌이 전류에 의하여 물체를 가열하는 방법이며, 유전가열이란 유전체에 고주파 전장을 가할 때 생기는 유전손에 의하여 유전체를 가열하는 방법을 말한다.

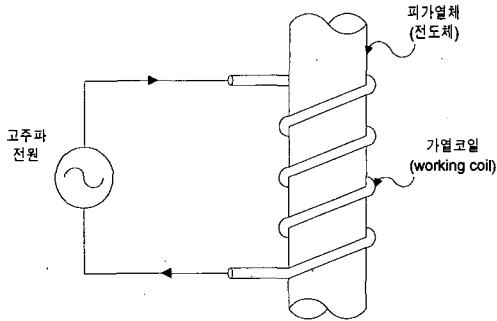


Fig. 1. Principle of induction-heating

고주파 유도가열 원리는 Fig. 1.과 같이 가열하고자 하는 도체에 코일을 감고, 이 코일에 고주파 전류가 흐르면 도체 내에는 고주파 자속이 통과한다. 그리고 이 도체 내에는 전자유도 작용에 의하여 맴돌이 전류(Eddy current)가 흐르게 된다. 이 맴돌이 전류는 고주파 자장의 자속 변화에 의하여 생긴 것이므로 일종의 고주파 전류이며, 그 주파수는 고주파 전원의 주파수와 같게 된다. 도체 내에 흐르는 맴돌이 전류에 의하여 주열 발생으로 도체는 가열되고, 전력손실을 가져오는데 이것을 맴돌이 전류손이라 한다. 또한 고주파 가열에 사용되는 고주파 전원의 주파수는 범위가 넓기 때문에 용도에 따른 주파수의 크기에 따라 침투 깊이가 많이 달라진다.

III. Fuzzy 제어기 설계

퍼지 제어는 퍼지논리에 기초를 두고 있는데 퍼지는 리는 인간의 사고에 바탕을 두고 있기 때문에 실제계의 근사적이고 불확실한 현상을 기술하는데 유용하게 이용될 수 있다.

퍼지 제어기의 구성은 입력변수를 받아 양자화 하는 입력부분, 규칙을 추론하는 추론부분, 추론된 값을 비퍼지화하는 출력부분으로 나눈다. Fig. 2.에 퍼지 제어기의 구성도를 나타내었다. 퍼지 제어기의 입력은 변환되는 출력과 기준 입력과의 오차(e : error) 와 오차의 변화량(ce : change in error)으로 나타낸다.

$$e = R - Y \quad (1)$$

$$ce = e(n) - e(n-1) \quad (2)$$

여기서, Y : 프로세서 출력 R : 기준 입력

e : 현재의 오차 ce : 오차의 변화량

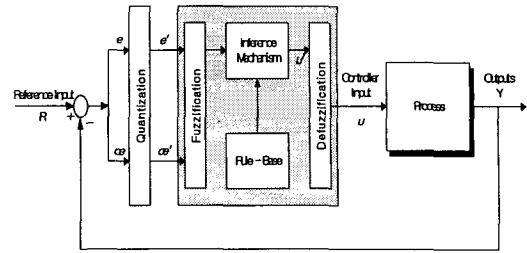


Fig. 2. Design of fuzzy controller

여기서 제어기의 역할은 오차(e), 오차의 변화량(ce)을 입력받아서 제어출력(u)를 계산하는 것이다.

퍼지제어기는 애매한 오차입력으로부터 출력을 얻어내는 작업을 해야하는데, 일반적으로 Fig. 3.과 같은 형태로 구성된다.

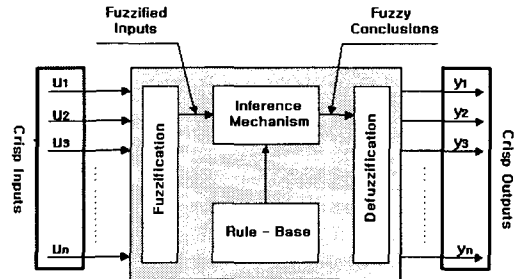


Fig. 3. The structure of fuzzy controller

퍼지화부에서는 입력변수 값의 영역(range)을 이에 대응되는 전체집합으로 사상(mapping)시키고, 입력 값의 퍼지화를 수행한다. 본 논문에서의 멤버쉽 함수는 triangle form을 사용하였고 A/D변환값을 -1000에서 1000으로 mapping 시켰다.

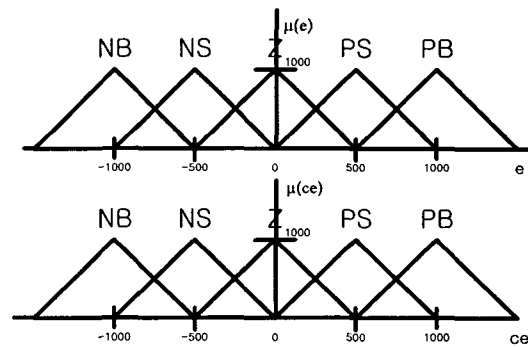


Fig. 6. Membership functions(e, ce)

퍼지 제어기의 지식 베이스는 "If ~ Then" 형식의 언어적 규칙으로 표현되며 또한 복수개의 규칙들이 모여서 제어규칙 집합을 이루고 각각의 규칙들 사이에

는 서로 "also"라는 연관성을 가진다.

Ce e	NB	NS	Z	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NS	Z
NS	NB	NS	NS	Z	PS
Z	NB	PS	Z	PS	PB
PS	NS	Z	PS	PS	PB
PB	Z	PS	PB	PB	PB

Fig. 7. Control rule of fuzzy

Fig. 5.는 유도가열기의 퍼지 제어규칙이다. FLC에서 언어적인 형태로 기술된 퍼지 제어규칙을 적용하기 위해서는 논리적인 실행과정이 필요하고 이는 퍼지 추론 과정이며, 퍼지논리와 근사추론이 바탕이 된다. 본 논문에서의 퍼지화 추론방법은 Mamdani의 Max-Min 방법을 사용하였고 비퍼지화는 무게 중심법을 사용하였다.

IV. 실험결과

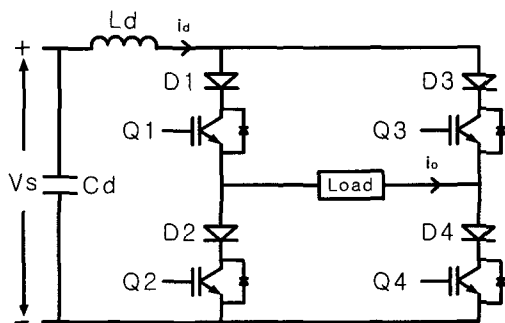


Fig. 6. Inverter circuit

Fig. 6.은 인버터 부분을 나타낸다. 직류전원에는 SCR을 이용한 3상 위상제어 회로를 이용하였고, 직류 리액터 Ld를 접속하여 직류전원을 정전류원으로 한다. 인버터는 IGBT를 2개 병렬 접속한 단상전파 인버터이다. Diode D1, D2, D3, D4는 IGBT의 역전압 파괴를 보호하기 위해 각 암에 직렬로 접속하고 있다. 부하에 있는 유도가열장치는 LC 병렬공진 회로를 사용하고 있다. Ld와 병렬로 접속한 콘덴서 Cd는 유도가열 동작시에 생기는 전기적 잡음을 억제하는 필터이다. Fig. 7.(a)는 인버터 게이트 신호, Fig. 7.(b)는 인버터 출력

전류 io, Fig. 7.(c)는 인버터 각 암에 흐르는 전류, Fig. 7.(d)는 인버터 출력전압 vo의 파형을 표시하였다. 여기서 인버터는 이상적인 상태라고 가정한다. 인버터는 전류형이므로 전류시에 직류전류 id의 연속성을 보존하도록 인버터회로에 있어서 상부암 IGBT의 게이트 신호(Q1, Q3)와 하부암 게이트 신호(Q2, Q4)가 동시에 점호하는 중첩된 시간 to를 설정하고 있다. 중첩 기간 중 각 암에 흐르는 전류는 직류전류 id의 1/2정도이고, 인버터 출력 전류 io, 전압 vo는 0으로 된다.

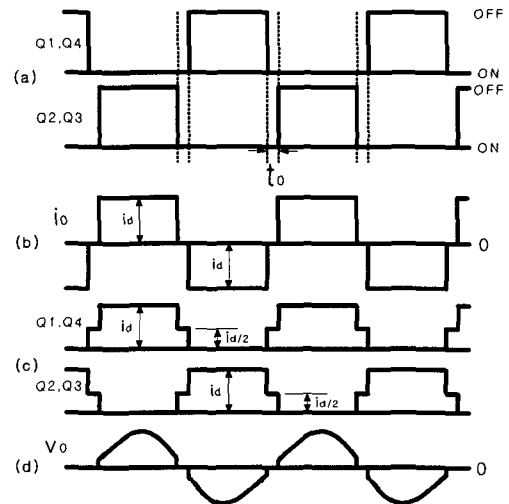


Fig. 7. Signal and waveform of Inverter system

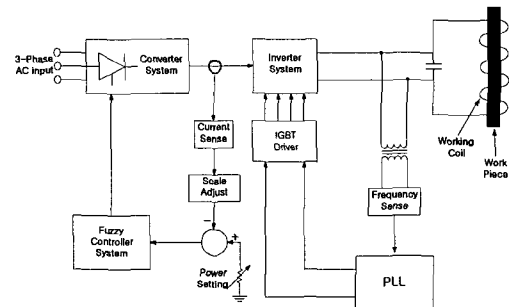


Fig. 8. Block diagram of induction heating system

Fig. 8.에 유도가열기 시스템의 전체 구성도를 표시하였다. 금속에 따라 전기적인 임피던스가 다르고 가열된 온도가 변화함에 따라 부하특성이 서로 달라지므로 공진 주파수 또한 달라져야하는데, 이를 위한 가장 효과적인 방법이 PLL에 의한 공진 주파수 추종을 하는 FTPM(Frequency Tracking Pulse Modulation)방식을 채택하였다. Fig. 9.에서 인버터의 출력주파수는 부하

공진 주파수에 항상 추종되어야만 부하의 전력효율을 늘릴 수 있으므로 PD의 입력을 시변부하 공진 주파수를 검출하여 궤환시키고 PD의 입력 f_n 는 부하의 임피던스를 고려하여 VCO의 출력주파수를 위상지연 시킨다.

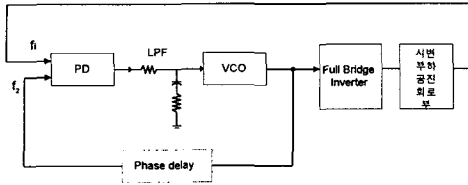


Fig. 9. Block diagram of FTPM

가열기의 출력 전력조절을 위해서 Fuzzy 알고리즘을 이용한 디지털 제어를 사용하여 제어신호(u)를 만든다.

$$u = u + \Delta u \quad (3)$$

부하전류는 인버터의 입력단 직류전류와 거의 같으므로 홀센서를 사용하여 현재의 부하전류에 비례하는 전압을 얻고 이 전압을 설정치와 비교하여 Δu 인 에러신호를 제어기에 인가하여 부하전력을 조절하였다.

Fig. 10.는 인버터 출력 전류를 나타낸 것이다.

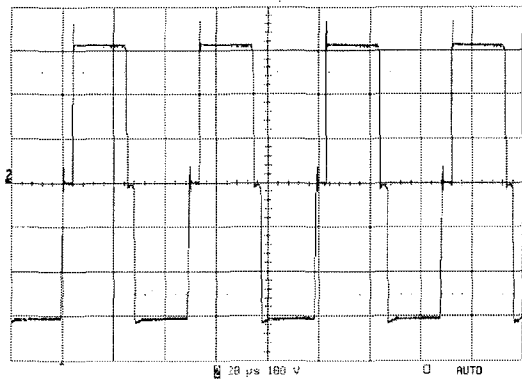


Fig. 12. Waveform of output current(Inverter)

Fig. 11.은 부하를 가열하면서 프로세서로부터 받은 값을 PC상에서 Display한 것이다. 부하 공진 주파수가 처음엔 완전히 감소되다가 중간이후 부근에서는 급격히 변화하고, 이후부터는 일정해짐을 알 수 있다. 그 이유는 철(Iron)이 서서히 가열되면서 큐리점 온도 부근에서는 임피던스가 급격히 변화되고, 이후부터는 그 성질이 비철로 변화되어 임피던스 변동이 거의 없기 때문이다.

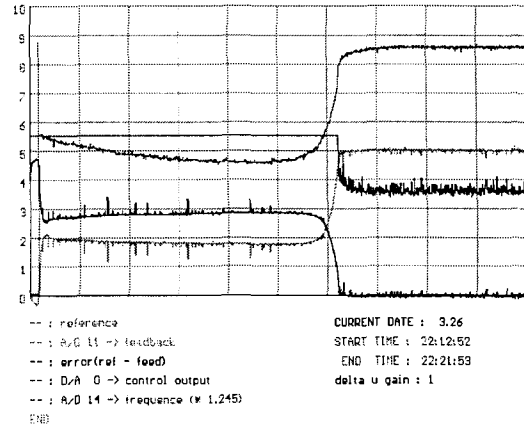


Fig. 11. Output waveform (Reference, Feedback, Error, Control Output)

V. 결론

금속물체의 가열이 서서히 이루어지므로 Fuzzy제어기는 부하의 전력조절이 안정적이었다. 기존 유도 가열기의 문제점인, 철 금속의 큐리점 부근에서의 전력조절이 불가하였으나, Fig. 11.에서 보는 바와 같이 큐리점 부근에서 규정 전력 조절이 잘 되고 있음을 확인할 수 있다. 또한 본 장치는 IGBT를 사용한 전류형 인버터 병렬공진 회로 방식에 특징이 있고, 유도 가열중에 생기는 용해된 금속으로 인한 공진회로 L의 단락이나, 정전동의 사고에 대한 보호는 전압형 인버터에 비해서 간단하다. 금후 과제로서는 장치의 효율의 향상, 보다 높은 주파수로서 대전력의 가능성 추구 및 다양한 부하에 대한 실험이 필요하다.

참고문헌

- [1] Dr, Roland E. Best "PLL Theory, Design, and Applications"
- [2] Muhammad H. Rashid "Power Electronics Circuits, Device, and Applications" Second Edition, Prentice Hall
- [3] L. A. Zadeh, "Fuzzy logic", IEEE Computer Mag., pp. 83-93, Apr. 1988.
- [4] L. A. Zadeh, "Fuzzy Sets", Informt. Control. 8, pp. 338-353, 1965.
- [5] Denkishoin, "Bipolar Transistor 應用技術", 電氣書院, 1981
- [6] FUJI 社, IGBT Data Sheets, 1994