'94 대한전기학회 하계학술대회 논문집(1994, 7, 21~ 23)

공진 콘덴서 분할형 유도가열 전원장치

이봉섭, 민병재, 김동희, 노채균, 정성균*, 이복규**
영남대학교 전기공학과, (주)대룩*, 한전기술연구원**

Resonant capacitor with separated Induction heating system

B.S.Lee, B.J.Min, D.H.Kim, C.C.Ro, S.K.Jung*, B.K.Lee**
Dep.of Electrical Eng.YEUNG UNIV, DAERYUK CO.,LTD.*,KEPCO**

Abstract-This paper describes an induction heating system which is full-bribge parallels resonant inverter.
This system consists of current-fed type inverter, and a parallels resonant circuit with a matching transformer. A parallels resonant scheme is employed, and operating range of the proposed circuit with operating frequency and load parameter is demonstrated from the result of steady state. Also, this equipment's testing result introduces, good efficiency and reliability of the system.
Finally, this paper experimental results are given.

1. 서론

최근 전력용 반도체 스윗칭소자의 개발과 더불어 전력전자의 기술은 기간 산업분야를 비롯하여 가전 민생 분야 정보통신 시스템에 이르기 까지 전기에너지를 자유자재로 제어하는 수단으로써 비약한 발전을 하고 있다.(1)(2)

이에 힘입어 부품생산분야, 또한, 급신장하여 점차 소형,경량,고성능화를 꾀하게 되었으며,고주파 응용기술은 산업 각분야에 활용되는 열처리 및 용접,용해등 첨단기술로 주목받고 있다.

종래에는 천연에너지를 직접가열에 이용함으로써 i)가스배출로 인한 공해 발생 및 작업환경의 유해성 ii)보수 관리의 난이성 iii)화재 폭발의 위험성 등의 문제가 대두되었다.(3)이러한 문제점을 해결하기 위하여 고주파 인버어터에 의한 유도가열은 피가열체에 유도된 고주파 전류에 의한 주로 히스테리시스손과 와전류손에 의해 발열된 열을 이용함으로 주파수 선택에 따라 국부 또는 전면 가열이 가능하고 제어특성이 양호할 뿐만 아니라 가열 조건의 재현성의 우수성과 품질의 안정화를 기할 수 있는 등의 장점이 있다. 더우기, 다양한 가열조건에 적용할 수 있고 속응성이 좋아 가열 시스템의 자동화에 최적이고 수십 KHz에서 수백KHz의 높은 주파수로 그동안 국내에서는 진공관 방식을 주로 사용해 왔으며 반도체에 의한 전원장치는 거의 수입하고 있는 실정이어서 기술료가 포함된 고가의 장비구입으로 인한 제품생산 원가의 상승으로 국제경쟁력을 저하시키는 요인이므로 국내자체 연구개발을 착수하기에 이르렀다.

이러한 전원장치를 개발하는 데는 반도체로 대용량의 전력을 고주파 스윗칭에 따른 문제점과 부하변동에 따른 공진주파수의 현저한 변화를 제어하는 기술적 난이도가 높고 국내 기술 자립도, 국제경쟁력 강화는 물론 수입대체 효과도 클것으로 기대된다.

본 논문에서는 타가열 방식에 비해 변환 효율이 높고 에너지 절약효과가 뛰어난 유도가열 전원장치의 시작품을 소개하고 이론적 근거와 타당성을 입증하고 있다.

2. 주 회로 및 제어회로

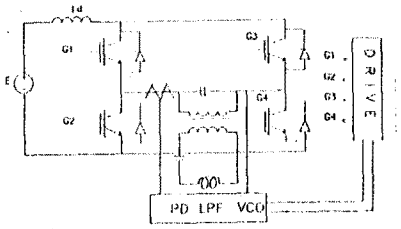


그림 1 주회로의 블록도

그림1은 IGBT를 사용한 Full-Bridge형태의 병렬공진형 고주파 인버어터회로이다. 회로의 동작은 그림에서 G1,G4와 G2,G3가 각각 한조로 상호대각으로 도통해서 부하에 전력을 공급한다. 그리고, G2,G3가 도통상태로 되면 콘덴서에 축적된 전하가 방전해서 부하에 흐르는 전류는 반전한다. (G1,G4)및 (G2,G3)를 상호대각으로 Turn-on,off하면 부하회로에 1/2 Duty Cycle를 갖는 구형파 전류에 의해 병렬공진 즉 전류공진을 일으키고 부하에 대전류가 흐르며 부하단에는 거의 정현파에 가까운 전압을 발생한다.

2-1. 회로의 정상상태 해석

회로의 정상상태 방정식은 다음과 같으며 모드1과 모드2는 전원의 방향만 바꾸면 된다.

[Mode 1]

$$\frac{d}{dt}\begin{vmatrix} e(t) \\ i(t) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & -1/c \\ 1/L & -R/L \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} Id/c \\ 0 \end{vmatrix} \qquad (1)$$

[Mode 2]

$$\frac{d}{dt}\begin{vmatrix} e(t) \\ i(t) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & -1/c \\ 1/L & -R/L \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} Id/c \\ 0 \end{vmatrix} \qquad (2)$$

식(1)(2)의 정상상태의 회로방정식의 해석결과 시뮬레이션 파형은 그림 2와 같다. 그림 2에서 무차원화 주파수 μ<1인 경우 μ>1 그리고 μ=1인 세가지 경우의 파형에서 알수 있듯이 μ≒1인 경우 SW의 역 전압이 거의 발생하지 않으므로 인버어터를 자동추종제어에 의해 운전한다면 역전압 분담용 직렬 다이오드를 사용하지 않아도 됨을 알 수 있다.

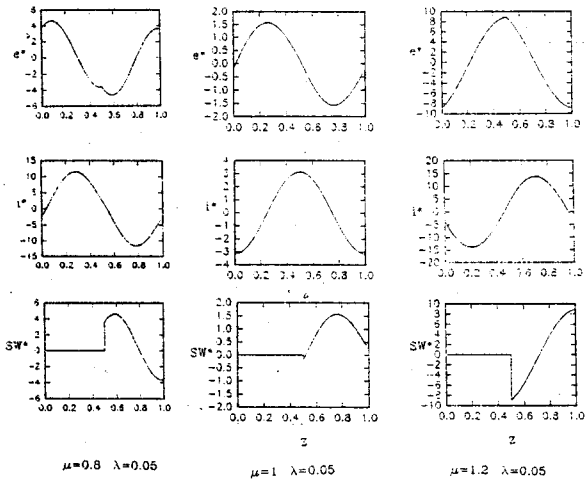


그림 2 회로 시뮬레이션 파형

그림 3은 무차원화 주파수에 대한 입력저항 특성을 나타내고 있다. 입력전류의 무차원화 값의 역수 1/Id*=Rin*는 직류전원측에서 볼때 무차원화 입력저항에 상등한다.

$$Rin^* = \frac{Rin}{\lambda} = \frac{1}{Id^*} \qquad (3)$$

그림에서 보면 μ≒ 1인 부근에서 증부하로 갈수록 Rin^*값은 최대값을 나타내고 있는데 이는 전원과 부하의 임피이던스가 이루고 있어 전력전달이 최대임을 알 수 있다.

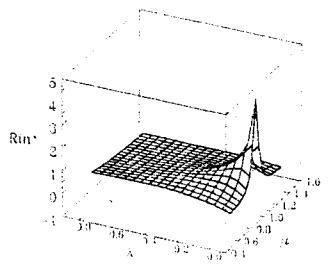
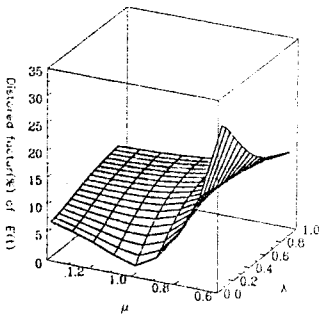
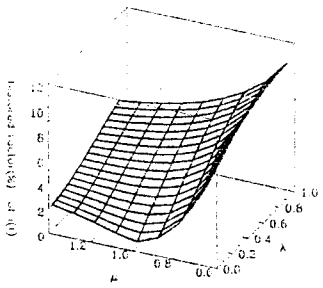


그림 3 무차원화 주파수에 대한 입력저항

그림 4는 부하전압.전류의 파형 왜형률과 고조파 스펙트럼을 나타내고 있는데 그림 4(a)는 R-L-C공진을 이용하고 있으므로 상당히 왜율이 적음을 알 수 있다. 특히, μ≒1인 부근에서는 λ가 작으면 D는 정현파에 접근하고 있음을 알 수 있다. 그림 4(b)에서는 λ를 일정하게 할때 μ가 1일 경우 제안회로의 출력이 정현파로 주어지므로 우수고조파는 나타나지 않고 기수고조파만 발생하나 그 크기는 대단히 적음을 나타내고 있다.

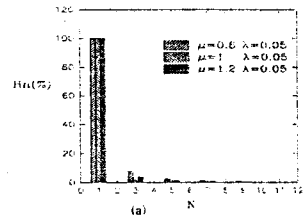


출력전압

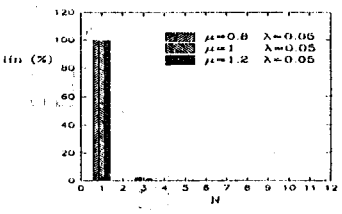


출력전류

그림 4(a) 출력전압.전류 파형 왜형률



출력전압



출력전류

그림 4(b)출력전압.전류의 고조파 함유율

2-2. 제어회로

그림 5의 AC/DC 변환부는 3상 Full-Bridge형태로 SCR을 이용한 위상제어방식이다. 그림에서 SCR을 위상 제어하여 출력 전력을 제어하도록 하였으며, 또 단락사고에 대비하여 보호기능회로를 부가하였다.

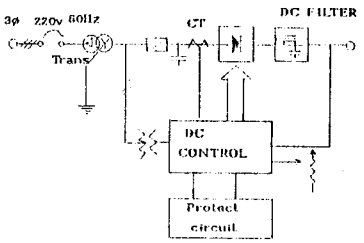


그림 5 AC/DC 변환부

그림 6은 고주파출력의 파형을 검출한 후 구형파로 파형을 정형한후 위상 Feed-back신호로 사용하여 VCO에서 Time-delay회로를 거쳐 지연된 펄스파형을 만들어 2분주기로 하여 위상검출기를 기준 신호로 사용하였다. 위상검출기로 부터 출력되는 구형파는 LPF를 거쳐 VCO의 제어전압으로 하였다. 여기서 출력전압과 내부신호와는 공진시 90°의 위상차를 갖게 하여 공진에 이르게 한다.

따라서, 부하의 변화에 따라 출력은 PWM제어된 펄스파와 같으며 LPF를 거치면 용이하게 위상차-전압 변환이 이루어져 이 전압을 적절히 조정된 VCO의 제어 입력에 인가하여 출력 주파수를 제어하고 부하가 항상 공진상태에 도달 하도록 한다.

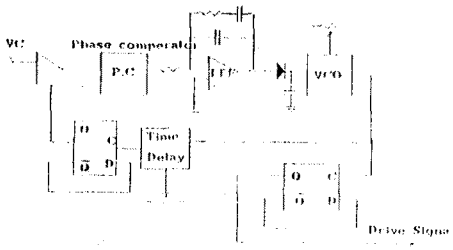


그림 6 주파수 자동추종제어회로

회로의 스윗칭소자는 IGBT로 하였으며 스윗칭 속도를 빠르게 하기 위하여 정(+),부(-)전원을 사용하여 Turn-on시에는 정전압을 Turn-off시에는 부전압을 Gate에 인가하도록 드라이브 회로를 구성하였다.

3. 실험결과

본 시작품의 시험결과 주파수의 선택에 따라 국부 또는 전면 가열이 가능하고 또한 제어특성이 양호하고 가열조건의 재현성의 우수하여 품질의 안정성을 향상시켰다.

사진 1은 시작품의 유도가열 전원장치이다.

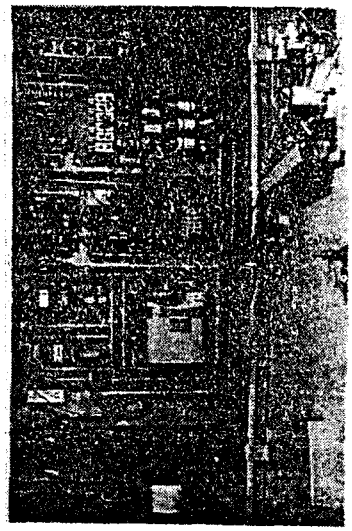


사진 1 본 시작품의 유도가열 전원 장치부
(100KW급 주파수 20-30KHz)

사진 2는 실제 시험한 Work-coil내의 시료의 유도 가열 상태를 보여준다.

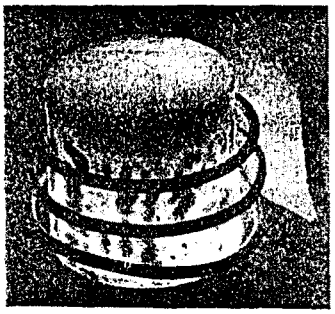


사진 2 시료의 유도가열 상태
(시료 직경 230㎜ 높이 180㎜의 철)

사진 3은 출력 전압.전류의 파형을 측정한 것이다.

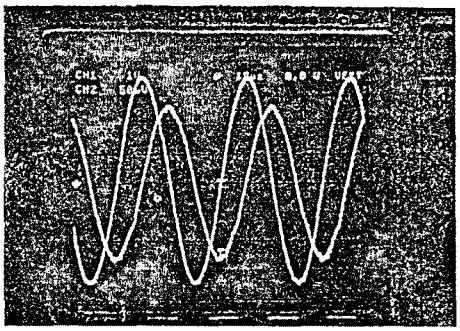


사진 3 출력전압 전류 파형

4. 결론

본 논문은 종래에 사용되어온 진공관 방식을 반도체 고속 스윗칭 반도체 방식으로 대체하여 장치의 소형, 경량, 고효율화하여 제품의 신뢰성을 확보하였고 향후 세계적인 우수한 품질의 장치를 개발 생산하기 위해서는 관련된 기초기술과 응용기술이 더욱 연구하여야 할 것으로 판단되며, 다음과 같은 결과로 요약할 수 있다.

1)공진 주파수 자동 추종제어 기술 개발
2)시작품을 제작 및 시험을 통하여 본 시작품의 타당성과 안정성을 입증
3)광대역 드라이브 회로 개발과 대용량화

본 연구는 한국전력공사의 지원에 의해 수행되었음.

참고 문헌

[1]B.Bedford and R.Hoft,Principles of Inverter Circuits,New York:Wiley,1964
[2]S.B.Dewan and A.Straughen,Power Semiconductor Circuits, New York:Wiley-Interscience,1975.
[3]B.R.Pelly," Latest developments in static high frequency power sources for induction heating," IEEE Trans.I.E.C.I vol.I.E.C.I.17, p.297-312, June 1970.
[4]W.E.Frank,"New Development in High-Frequency Power Sources",IEEE Trans.on Ind.Appl.vol.IGA-6 p.29-35 Jan/Feb.1970.
[5]G.N.Revankar and S.A.Gadag,"Analysis of a high-frequency inverter circuit,"IEEETrans.I.E.C.I.20.p.178-182, Aug.1973.
[6]D.Wallstein,"Medium Frequency inverter for induction heating and meltingplan," Brownoveri Review,no.11-12,1969.
[7]K.W.Kanngieser," Oscilator-circuit inverter for induction heating."BBC Nachrichten,no.12/1969 p.637-647.
[8]Rudy severns:"MOSFET Application Handbook",Siliconix, 1984
[9]Hiroaki Ikeda:"Developement of a solid state Radio Transmitter with MOSFET", IEEE Vol. BC-26, No.4 December 1980
[10]李 奉 雙:"전압원 구동시의 전류형 인버어터의 특성해석",1991년 하계 학술대회 논문집
[11]이 봉섭 :"분할 공진 Capacitor를 갖는 전류형 고주파 인버어터의 특성해석에 관한 연구",1993,석사학위 논문집