

450 kHz 브라운관 제조용 유도가열 전원장치 개발연구

*유동욱, *백주원, *조기연, **김용훈, **전우식
*한국전기연구소 전력전자실, **진영엔지니어링

A Study of 450 kHz Induction Heating System for CRT Manufacturing

*D. W YOO, *J. W BEAK, *K. Y JOE, **Y. H KIM, **W. S JOEN
*P. E. Lab KERI, **JIN YOUNG ENGINEERING CO.

Abstract - This paper describes an induction heating system which is developed for CRT manufacturing. This system consists of a buck chopper, a voltage source full - bridge inverter, and a series resonant circuit with a matching transformer. A series resonant scheme is employed, and operated at the zero phase of the resonant load by PLL. This ensures maximum power transfer, good efficiency and reliability of the system.

Implementation of a prototype rated of 3 kW 450 kHz is described and experimental results are given.

1. 서론

최근 VLSI 기술, Package 기술등 반도체 소자 제작 기술등의 진보에 따라 종래의 Thyristor 대신에 자기소호형 소자 (Power MOSFET, IGBT, SIT, SIThy 등) 들을 사용하므로써 그 주파수 대역이 수십 kHz - 수백 kHz까지의 고출력 스위칭 동작이 안정되게 실현될 뿐만 아니라, 새로운 스위칭 방식(공진형)을 도입하므로써 실제 응용상 장치의 소형경량화, 고효율화, 저 Noise화 및 제어성능 향상등의 장점이 있고 그 운전 동작 영역의 확장도 가능케 하였다.

한편 종래에 CRT제조용으로 주로 사용되어온 고주파 가열 장치는 진공관 방식으로서 다음과 같은 문제점을 갖고있다. i) 작업전에 진공관을 예열하기 위한 예열전원 및 시간을 필요로 하고, ii) 진공관의 열화 및 노화로 인해 장치의 특성 및 효율이 저감될 뿐만 아니라 수시로 교체하여야 하므로 작업환경의 오손 및 보수관리의 난이성이 있고, iii) 진공관을 발전시키기 위한 별도의 고압발생장치가 필요하므로 장치가 커질 뿐만 아니라 항상 위험성이 대두되고 있다. 그러나 앞서 언급한 자기소호형 소자를 사용한 고주파 가열전원장치는 상기의 문제점을 해결할 뿐만 아니라, i) 다양한 가열 작업조건에 적용이 용이하여 스위치 한개로 즉시 기동정지가 수행되므로 예열장치 및 시간이 필요없어 에너지 절감 및 자동화가 용이하고, ii) 회로에 공진방식을 도입하므로써 장치의 에너지 밀도 즉, 소형경량화를 이룩할 수 있으며 효율도 아울러 향상 시킬수 있고, iii) 자유도 높은 출력주파수의 선택으로 부분가열 (표면 혹은

단면) 또는 급속가열이 가능하며, iv) 작업환경이 깨끗하고, 조작성 및 제어특성이 양호하여 제품의 신뢰성 및 안정화를 꾀할 수 있다.

따라서 본 논문은 상기와 같은 관점에서 자기소호형 소자를 사용하여 강압용 초퍼(IGBT) 및 고주파 인버터 (Power MOSFET)로 구성되는 CRT제조용 고주파 유도가열 전원장치의 이론적인 특성을 살펴보았으며, 실제 장치를 구성하여 장치의 속용성 및 신뢰성을 검토하였다.

2. 장치의 개요

그림 1은 본 연구에서 사용한 전원장치의 전체 구성도를 나타내고 있다.

그 구성을 살펴보면 절연 변압기(I.T)를 통하여 들어온 단상 220 [V]는 정류다이오드(D_R) 및 필터리액터(L_F), 캐패시터(C_F)를 거쳐 정류된 직류전원으로 된다. 이 정류된 직류전원은 강압용 스위치로 사용되는 IGBT(Q₁)를 스위칭 주파수 20 [kHz]로 구동하면서 Turn-On시간을 조정하는 초퍼 제어회로 및 구동회로 와 환류 다이오드(D_F)에 의해 강압된 일정 직류전원으로 되어 고주파 인버터부에 공급되게 된다. 고주파 인버터부에 공급된 일정한 직류전원은 Power MOSFET를 사용한 공진형 스위치 (S₁, S₂, S₃, S₄)의 교번적인 스위칭 동작에 의해 400 [kHz]대의 고주파 교류전원을 형성하게 된다. 이 고주파 교류전원은 부하정합 변압기 (M.T) 및 공진용 캐패시터 (C_R)를 통하여 대전류 고주파 교류전원으로 변하게 되고, 이 대전류 고주파 교류전원은 Working Coil (W.C)양단에 교번적으로 흐르게 된다. 이때 CRT관 내에 있는 Getter 부분이 유도전류에 의해 가열하게 되며, 따라서 내부에 존재하는 분진을 태우게 된다. (가열온도 1100 [°C], 가열시간 9 - 11 [Sec])

한편 Getter 부분이 가열됨에 따라 회로의 등가 임피던스가 현저히 변화하게 되어 회로의 공진주파수도 함께 변하게 된다. 이렇게 변화되는 회로의 공진주파수(Resonant Frequency)에 회로를 스위칭하는 동작주파수(Switching Frequency)가 거의 일치되도록 제어하지 못하면 장치의 입력역율이 현저히 저하하게 되고 시스템 전체 효율이 나빠지게 된다. 따라서 회로의 공진주파수와 스위칭주파수를 동조되도록 제어하기 위해서 부하단의 전압과 전류를 계기용 변압기 (P.T)와 계기용 변류기 (C.T)를 이용하여 검출하고, 이 검출된 값은 히스테리시

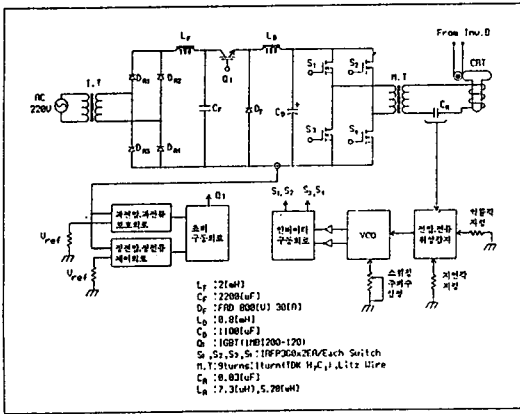


그림 1. CRT 제조용 전원장치 전체 구성도

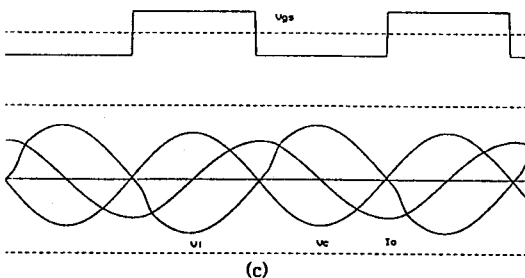
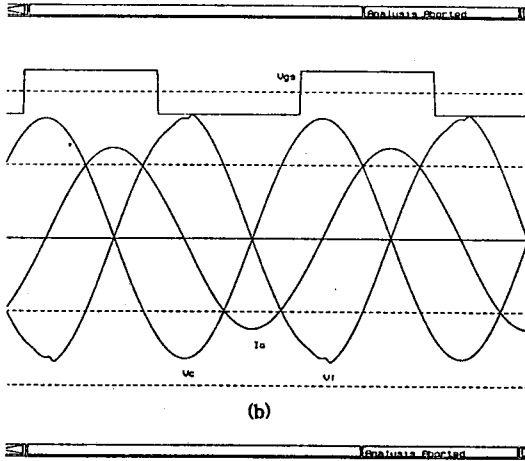
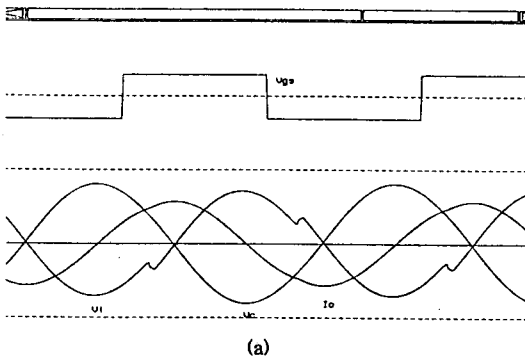


그림 2. 각부 이론적인 정상상태 파형
(a) 유도성부하 상태, (b) 동조 상태, (c) 용량성부하 상태

스 콤파레이터를 통하여 파형을 정형하고 위상감지기 (P.D)에서 그 위상차를 항상 검출하여 저역필터 (L.P.F) 및 발진기 (VCO)에 의해 자동추종이 되게 한다. 그림 2는 피가열 물체가 가열됨에 따라 변동되는 탱크부하 상태의 이론적인 정상상태 파형을 보여주고 있다. 각 부의 파형에서 알 수 있듯이 회로의 공진주파수와 스위칭 주파수가 일치되는 지점 ($F_r \approx F_{sw}$)에서 최대 출력을 발생시킴을 알 수 있다.

3. 제어회로 및 구동회로

3.1. 강압 초퍼 제어회로 및 구동회로

그림 3은 본 연구에서 제안한 강압 초퍼 제어회로의 블록도를 보여주고 있으며, 그 구성은 다음과 같다. 직류 출력단에서 검출한 출력 전압 및 전류는 정전압 (혹은 정전류)회로를 거쳐 PWM 신호발생기 (TL494)에 신호를 보내고, 신호발생기에서 나온 출력신호는 IGBT의 Gate를 구동시켜 일정한 출력을 유지시킨다. 한편 과전압 및 과전류 검출회로에서는 전압 및 전류가 설정치 (여기서는 사용자 정격의 2배)보다 크게 되었을 때 PWM 신호발생기에 차단 지령신호를 발생시켜 사용소자를 보호한다. 한편 IGBT 구동회로는 Photo-Coupler와 과전류 보호회로를 내장하고 있는 IGBT 구동소자 [EXB 841 (FUJI)]을 이용하여 동작주파수 20 [kHz]로 구동시켰다.

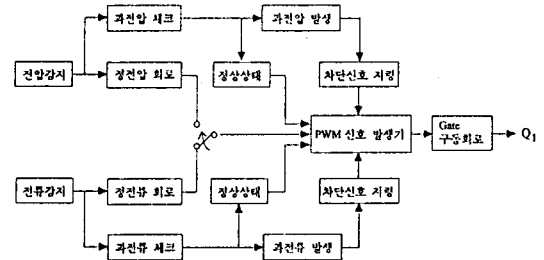


그림 3. 제안한 제어회로 블록도

3.2. 인버터 제어회로 및 구동회로

그림 4는 본 연구에서 제안한 PLL(Phase Locked Loop, 90° Locked)방식의 공진주파수 추종제어 회로도도를 보여주고 있다. 탱크부하단의 출력 전압 및 전류를 PT 및 CT로서 그 위상을 검출하고 히스테리시스 콤파레이터에서 파형을 정형한 다음 정형된 신호를 위상 비교기에 입력시킨다. 한편 위상 비교기에서 나온 출력신호는 저역필터(Low Pass Filter)내부에 있는 차동적분기에서 반전되고, Voltage Limit를 거쳐 VCO에 입력된다. 따라서 VCO에서는 공진주파수와 동등한 신호를 Gate 구동회로에 출력시킨다. 또한 본 제어회로에서 사용한 위상 비교기의 출력은 3가지 상태 (동조상태, 유도성 부하상태, 용량성 부하상태)로 되기 때문에 R-C 필터는 단순히 저역필터로 작동되고 High Impedance로 일정 전압을 유지시킨다. 그림 5는 보조 MOSFET 및 펄스 트랜스를 사용하여 인버터 주 사용소자인 Power MOSFET (IRFP 360) 2개를 450[kHz]로 병렬 구동했을 때의 $V_{CS} - I_G$ 실측 파형을 보여주고 있다.

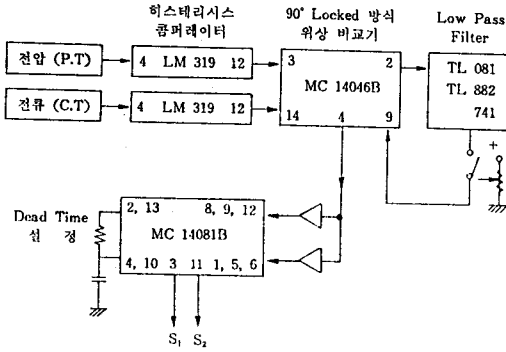


그림 4. PLL방식의 공진주파수 추종제어 회로도

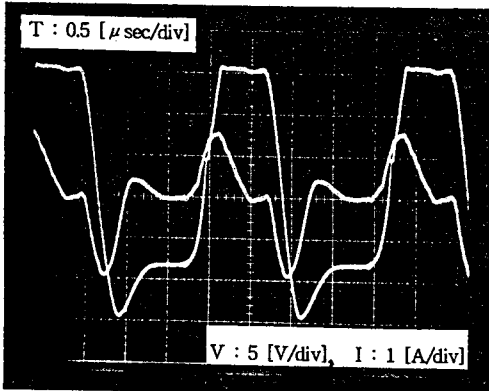


그림 5. Power MOSFET 병렬 구동시 $V_{CS} - I_C$ 실측 파형
(IRFP 360 × 2 ea, $F_{sw} = 450$ [kHz])

4. 실험 결과 및 고찰

CRT 제조용 고주파 유도가열 전원장치는 관중, 가열면적, 열침투 깊이 (Skin Depth) 등에 따라 그 사양 (스위칭 주파수, 출력, Work-Coil 길이 및 폭, 공정시간 등)이 정해진다. 한편 본 연구에서는 부하로서 16 [inch] CRT 관을 채택하여 측면과 하단을 동시에 가열하였고, 실험조건은 표.1과 같다. 그림 6 과 그림 7은 실제 가열상태 중에 측면과 하단의 부하 탱크에 흐르는 $V_L - I$ 의 실험파형을 보여주고 있다.

5. 결론

본 논문은 CRT제조시 최종 공정과정인 CRT내부의 Getter 처리와 진공도를 높이는 과정에 널리 사용되어 오던 진공관 방식을 반도체 방식으로 대체하여 장치의 소형경량화, 고효율화, 제품의 신뢰성 및 안정성을 꾀하는 목적으로 수행하였으며 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 340 [kHz] - 450 [kHz], 3 [kW] 주 전원 장치 및 고속구동 회로 제작
- 2) 회로 Topology에 L, C 공진 특성을 도입함으로써 장치의 소형경량화 및 고효율화 실현
- 3) PLL 전자용용 기술 도입으로 장치의 속도성 및 신뢰성 구축

표 1. 실험 조건

	입력전압 [V _{ac}]	입력전류 [A]	C _r [μF]	L _r [μH]	가열시간 [Sec]
측면	100	6.4	0.03	7.3	9-11
하단	180	8.2	0.03	5.28	30

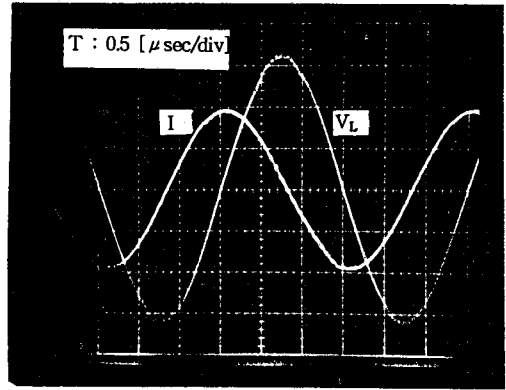


그림 6. CRT관 측면 가열시 부하탱크회로 $V_L - I$ 실험파형
($F_{sw} = 340$ [kHz], $V : 200$ [V/div], $I : 50$ [A/div])

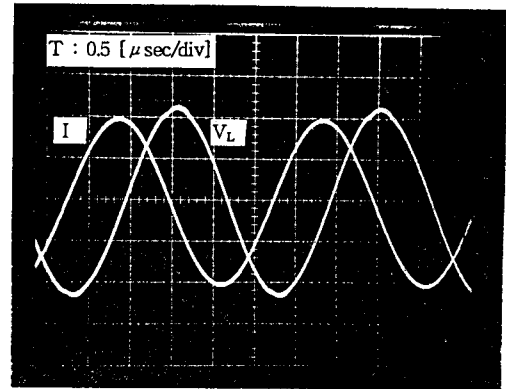


그림 7. CRT관 하단 가열시 부하탱크회로 $V_L - I$ 실험파형
($F_{sw} = 410$ [kHz], $V : 100$ [V/div], $I : 10$ [A/div])

참고문헌

- [1] H. Akagi et al., " A 1 kW 450 kHz induction heating system consisting of a series resonant circuit fed by a voltage-source inverter using Power MOSFET's", T.IEE Japan, Vol.110-D, No.11, 1990, pp.1177-1183.
- [2] F.Z. Peng et al., "High frequency current-source inverters using SI Thyristors for induction heating applications", IEEE Trans. IAS. Vol.25, No.1,1989, pp.172-180.
- [3] M. Nakaoka et al., "resonant current vector control based VVVF HF sinusoidal inverter using new power semiconductor power devices", Proc. 3rd international macroelectronics conf., 1984, pp.256.