

Microwave Oven용 마그네트론의 전력제어에 관한 연구

이성근† · 김윤식* · 김종수**

(원고접수일 : 2003년 6월 10일, 심사완료일 : 2004년 9월 1일)

A Study on the Power Control of a Magnetron for Microwave Oven

Sung-Geun Lee† · Yoon-Sik Kim* · Jong-Soo Kim**

Abstract : This paper describes a output power control of magnetron for microwave oven. Magnetron is used extensively in household microwave oven and industrial microwave heating devices. it is operated by 3000[V]~5000[V] dc high voltage.

Power supply for driving magnetron is consisted of a bridge rectifier, HB(half bridge) inverter, full wave rectifier and gate drive circuit.

In proposed system, we confirm that line input power can be controlled extensively and linearly to 24.56[%] by change of duty ratio of inverter through a experiment.

Key words : Microwave oven(전자렌지), Magnetron(마그네트론)

1. 서 론

전자렌지는 마그네트론(Magnetron, MGT)에서 출력되는 2.45[GHz] 이상의 마이크로웨이브로부터 에너지를 받아 음식물을 가열한다.

마그네트론은 가정용 전자렌지(Microwave oven)는 물론 산업용 마이크로파 유전자열장치에도 광범위하게 적용되고 있으며, 구동전압은 dc 3~5[kV]가 사용된다[1][2].

현재 사용되고 있는 전자렌지용 마그네트론의 전력제어는 일정전력 공급하에서 피가열물의 종류에 따라 on-off 시간제어로 하고 있으며, 전류제한 기능의 기본기능을 가지고 있다. 그러나 피가열물의 종류에 따른 조리 특성을 최대한 살리기

위해서는 피가열물의 종류에 따른 전력제어가 이루어져야하며, 전력 손실을 줄이고 경제적 효과를 거두기 위해서는 회로구성이 간편해야 한다.

본 논문에서는 일정전력하에서 피가열물의 종류에 따라 시간조정에 의하여 전력을 제어하는 기존의 전원장치를 개선하기 위하여, 회로가 간단하면서도 피가열물의 종류에 따라 선형적으로 전력을 제어할 수 있는 마그네트론 구동용 전원장치를 제작하고자 한다.

제안한 전원장치의 주요 장치는 직류를 교류로 변환하는 HB 인버터와 인버터에서 출력된 교류 고전압을 마그네트론의 구동에 적합한 직류 고전압으로 변환하는 배압정류기의 두 회로로 조합된 HB DC-DC 컨버터시스템이며, HB 인버터에 공

† 책임저자(한국해양대학교 전기전자공학부) Email : sglee48@mail.hhu.ac.kr, T : 051)410-4821

* 한국해양대학교 전기전자공학부

** 한국해양대학교 선박전자기계공학부

급되는 게이트 펄스의 듀티비를 가변하여 전력을 제어한다.

2. HB DC-DC 컨버터 시스템

2.1 마그네트론

마그네트론은 전자레인지의 구성하는 핵심부품 중의 하나로서, 다이오드 형태의 진공관으로 구성되어 있으며, 2.45(GHz)의 Microwave를 발생한다. 또한, Cut-off 전압 이상을 인가하여 발진하기 전에는 큰 저항부하와 같으나 양극전류가 흐르면 전압을 클램프하는 기능이 있으므로 전기적으로 제너 다이오드와 등가회로로 볼 수 있다.

Fig. 1은 마그네트론의 내부구조와 전압-전류 특성을 나타낸 것이다. 구성요소로는 양극(Anode), 음극(Cathode), 영구자석 등으로 구성되어 있고, Cathode에 필라멘트(히터)가 접속되어 있다.

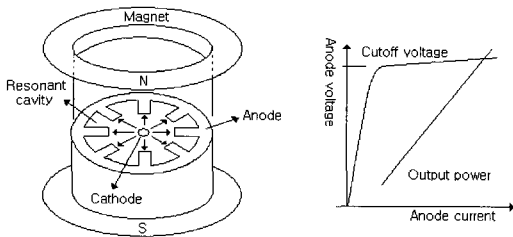


Fig. 1 Internal structure and voltage-current characteristics of Magnetron

히터의 가열에 의해 발생된 전자는 양극과 음극 간에 양극전압(이때, 음극은 양극에 대해 negative 전위를 갖는다)을 가하면, 전자는 음극으로부터 양극으로 방출되고, 방출된 전자는 축방향의 자계와의 상호작용에 의하여 원궤도를 그리며 양극으로 향하게 되며, 양극으로 향하는 전자는 직렬등가 L-C 회로특성을 가지는 양극측의 Resonant cavity에서 Cavity의 공진 주파수로 발진을 하여 마이크로웨이브를 발생시키게 된다.

마그네트론의 양극 cut-off 전압 이상을 양극과 음극 사이에 걸게 되면 전자 방출에 의한 전류가 흐를 때까지 마그네트론은 큰 저항 부하로 동작하

며, 마이크로파 발진 후에는 순수 저항 부하가 된다[3][4].

2.2 HB DC-DC 컨버터

Fig. 2는 마그네트론의 제어 블록도로서, 주회로는 브리지 정류기, HB 인버터와 배압정류회로가 조합된 HB DC-DC 컨버터로 구성되고, 그 외에 PWM 펄스발생기, 게이트 드라이버 및 +5(V)와 +15(V)의 전원을 공급하기 위한 SMPS(Switch mode power supply)가 있다[5][6].

PWM 발생기는 PIC16F874 마이크로프로세서를 사용하였고, 게이트 드라이버는 IR2113을 사용하였으며, SMPS는 Flyback converter형으로 제작하였다. PIC 칩에 내장된 A/D 컨버터에서 MGT 입력전류를 검출하여 과도한 전류가 흐를 때에 게이트 펄스를 차단시키게 된다.

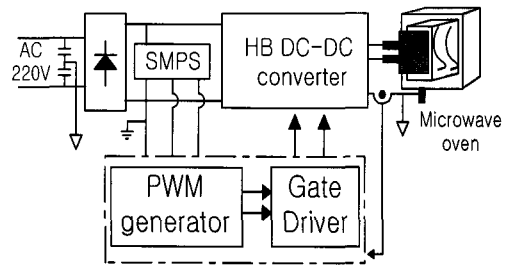


Fig. 2 Magnetron control block diagram

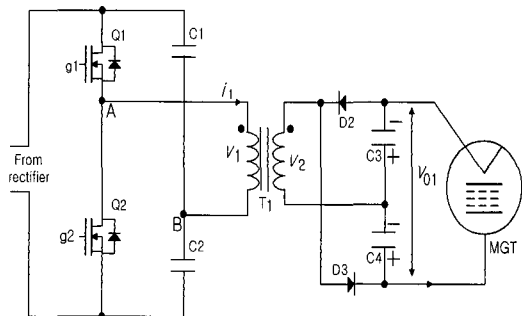


Fig. 3 HB DC-DC converter

Fig. 3은 마그네트론에 접속된 HB DC-DC 컨버터 회로를 나타내며, 입력 전압 분할용 캐패시터 C1 및 C2, 게이트 스위칭용 반도체 소자인

Q1, Q2 및 고전압의 승압용 변압기 T1으로 구성된 HB 인버터에 마그네트론의 양극전압인 직류 고전압을 만들기 위한 배압 정류회로로 구성된다.

승압용 변압기의 1차측 인덕턴스가 650uH, 1차 및 2차측 권수비는 1:10, 게이트 드라이브용 소자는 IRF450A를 사용하였다(7)(8).

Fig. 4는 Fig. 3의 HB DC-DC 컨버터에 대하여 전력전자 전용 시뮬레이션 tool인 PSIM을 이용하여 시뮬레이션한 결과파형이다. 변압기 T1의 1차측 전류 i_1 과 전압 v_1 , 캐패시터 C1 및 C2의 양단전압, MGT 양극전압 v_{01} 의 순서로 되어 있으며, 양극전압은 DC 3.5(kV)를 나타내고 있다.

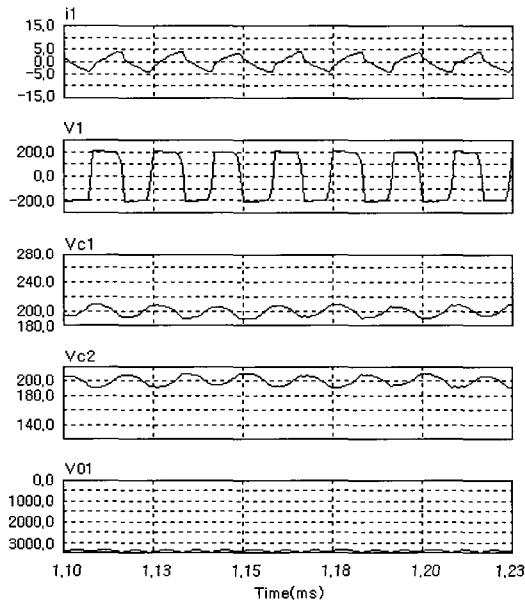


Fig. 4 Waveforms of HB DC-DC converter

3. 실험 및 고찰

Table 1은 본 논문에서 사용된 마그네트론 사양이다. 출력주파수와 출력은 각각 3.46[GHz], 176[W]이고, 히터전압 및 전류는 각각 3.1[V]와 8.7[A]이며, 발진개시시의 양극전압은 3.84[kV]이다.

Table 1 Magnetron specifications

항 목	정 격
Frequency	3.46[GHz]
Output Power	176[W]
Filament Current	8.7[A]
Anode Voltage	3.84[kV]
Efficiency	70[%]

Fig. 5는 전자렌지 구동용 실험장치이다.

부하실험에 사용한 마그네트론은 LG전자 제품인 2M213이며, 사용 장비로는 고전압 프로브(N2771A, DC30kVp-p), 전류 프로브(TM503A), 오실로스코프(LT344) 등이 있다.

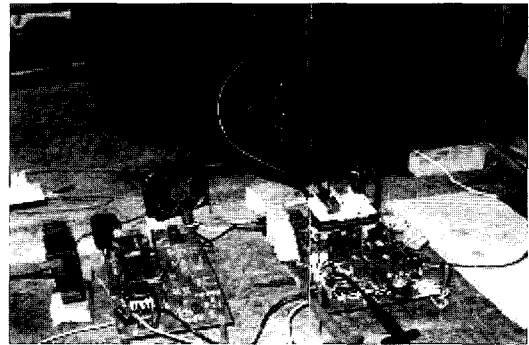


Fig. 5 Experimental devices

Fig. 6은 전력제어용 순서도이다. 외부에 장착한 스위치를 이용하여 원하는 전력에 맞는 초기주파수를 설정하고, 인터럽터 백터를 세트하면 인버터가 기동되고, 이어서 초기점화전류를 검출하여 발진을 체크한다. 그 후 전류를 일정간격으로 검출하고 원하는 전력에 맞는 듀티비를 제어하게 된다. 만약 운전중에 과전류가 검출되면 게이트 신호가 차단되고 시스템이 정지된다.

Fig. 7은 마그네트론의 기동부터 발진까지의 양극전압 및 전류에 대한 실험파형을 나타내고 있다. 기동 후 약 5초간 예열기간을 거친 후 발진을 개시하고 있으며, 발진이 시작되면 양극전압은 약 -3900[V]로 클램프 된다.

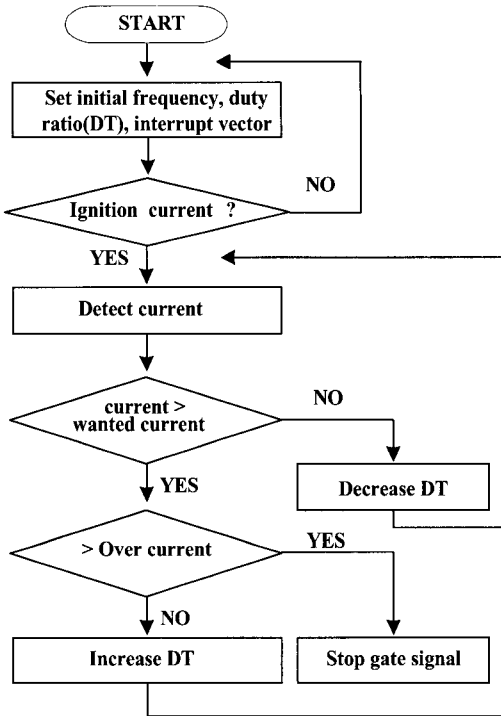


Fig. 6 Power control flowchart

본 논문에서 사용한 인버터 제어용 주파수 범위는 변압기 권수와 콘덴서 용량을 적게하여 부피를 최소화할 수 있도록 선택하여야 하나, 구매가 용이하고, 가격이 비교적 저렴한 반도체 소자를 고려하여 50-60[kHz] 범위를 사용하였으며, 최대 전력의 범위는 듀티비 39[%]에서 주파수 58[kHz]로 나타났다.

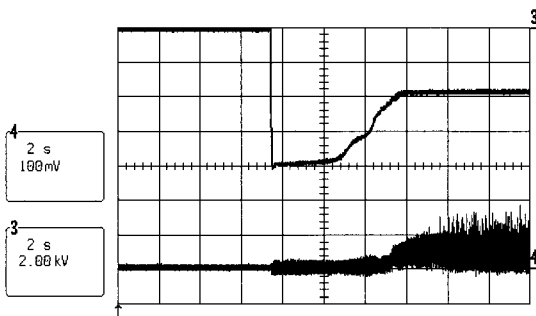
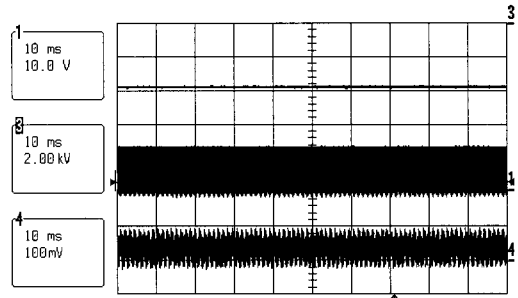


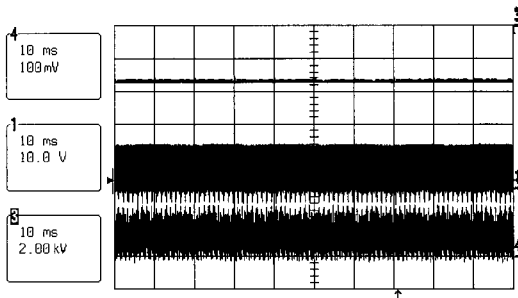
Fig. 7 Starting characteristics of MGT(Upper: MGT anode voltage(2kV/div), lower: MGT anode current(100mA/div))

Fig. 8은 주파수 58[kHz]하에서 듀티비 제어에 의한 전력제어 특성을 알아보기 위하여 MGT 입력전압 및 전류파형을 관측한 것이다.

위로부터 MGT 양극전압, 게이트 펄스, MGT 양극전류를 나타낸다.



(a) D=37.0[%]



(b) D=39[%]

Fig. 8 Power control characteristics

Fig. 8(a)는 듀티비 37.0[%]일 때의 파형으로서 MGT의 양극전압 및 전류는 각각 -3.710[V], 45.15[mA]이다.

Fig. 8(b)는 듀티비 39.0[%]일 때의 파형으로서 MGT의 양극전압 및 전류는 각각 -3.400[V], 70.3[mA]이다.

본 논문에서는 스위칭 펄스의 듀티비를 변화시킴으로서 최대 라인입력전력 285[W]에서 최소 라인입력전력 215[W]까지, 최대 라인입력전력을 기준으로 24.56[%]의 광범위한 전력제어를 행할 수 있어 피가열물의 조리특성에 알맞은 제어장치를 구성할 수 있다.

Table 2는 주파수 58[kHz]에서 듀티비 변화에 따른 전력제어 특성을 표로 정리한 것이다.

Table 2 Power control characteristics

듀티비 [%]	라인입력 전력[W]	MGT 입력			
		전압 [V]	전류 [mA]	전력 [W]	효율 [%]
39.0	285	-3400	70.30	263.90	92.6
38.5	267	-3485	63.60	245.64	92.0
38.0	250	-3560	57.12	228.25	91.3
37.5	230	-3640	50.22	207.69	90.3
37.0	215	-3710	45.15	192.43	89.5

Table 2에서 MGT 입력전력은 MGT 히터전력인 24.9[W]를 포함한 전력을 나타내며, MGT 입력전압이 8.4[%] 범위에서 변동할 때 MGT 입력전류를 33.9[%]까지 제어할 수 있어 MGT 입력전력을 27.09[%]까지 광범위하게 제어할 수 있음을 알 수 있다.

이 때 효율은 최대전력에서 92.6[%], 최소전력에서 89.5[%], 평균 효율은 91.14[%]를 나타내고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 전자렌지 구동용 마그네트론의 전력제어를 위하여 HB DC-DC 컨버터를 시제작하였고, HB 인버터 제어용 게이트 드라이브에 인가되는 PWM 펄스의 듀티비를 조정하여 전력제어를 수행한 결과 다음과 같은 특성을 얻었다.

(1) 입력전력을 on-off 시간제어 방식에 의해 전력을 제어하는 기존의 제어방식과는 달리 인버터의 스위칭 펄스의 듀티비 변화에 의해 라인입력전력을 24.56[%]까지 제어할 수 있어 다양한 종류의 피가열물에 대해 조리특성의 효과를 거둘 수 있다.

(2) 인버터에 입력되는 전압의 절반만이 스위칭 소자에 걸리는 HB 인버터를 사용하였기 때문에,

소자가 받는 전압스트레스를 입력전압의 절반으로 줄일 수 있어 저가형의 부품구매가 용이하다. 또한 손실을 줄일 수 있는 간소한 주변회로의 구성으로 평균 91.14[%]의 효율이 유지될 수 있었다.

참고 문헌

- [1] 김일권, 한주섭, 조성훈, 이성근, 길경석, "마그네트론 구동용 전원장치 설계에 관한 연구", 한국 해양정보 통신학회 추계학술대회 Vol. 6, NO.2, pp. 744~746, 2002. 11.
- [2] 오택진, 김희준, "MICRO WAVE OVEN용 마그네트론 구동을 위한 전원장치 개발에 관한 연구", 전력전자학회 논문지 Vol.5 NO.3 pp. 300~302, 2002.6
- [3] 정용채, 한성진, "배터리 구동 전자레인지에 의한 직렬공진형 풀브릿지 인버터", 전력전자학회 논문지, 제7권, pp.165~170, 2002. 4.
- [4] E. Miyata, S. hishikawa, K. Matsumoto, M. Nakaoka, D. Bessyo, K. Yasui, I. Hirota and H. Omon, "Quasi-resonant ZVS-PWM Inverter fed DC-DC Converter for Microwave Oven and Its Input Harmonic Current Evaluations", IEEE IECON Rec., Vol 2, pp. 773~778, 1999.
- [5] 최태영, 류동균, 이우석, 안정준, 원충연, 김수석, "능동 클램프 ZVS 플라이백 컨버터의 역율개선에 관한 연구", 조명·전기설비학회 논문지, 제15권 제6호, pp. 49~57, 2001.11.
- [6] Semiconductor Component Industries, LLC, datasheet, pp. 1~20, 2001.
- [7] 김희준, "SMPS 기본설계, 공진형 컨버터", Technical series, EP&C, pp. 96~106, 2000.
- [8] 김희준, "스위치 모드 파워 서플라이", 성안당, pp. 35~36, 2000. 8.

저 자 소 개



이성근 (李成根)

1959년 1월생, 1983년 한국해양대학교 기관공학과 졸업, 1990년 동 대학원 졸업(석사), 1998년 동 대학원 졸업(박사), 1992년 3월-1998년 8월 대덕대학 제어계측과 조교수, 1998년 9월-현재 한국해양대학교 전기전자공학부 부교수



김윤식 (金潤植)

1955년 4월생, 1977년 한국해양대학교 기관공학과 졸업, 1979년 동 대학원 졸업(석사), 1986년 동경공업대학 대학원 졸업(석사), 1989년 동 대학원 졸업(박사), 1999년 12월-2001년 2월 미국 University of Colorado 방문교수, 현재 한국해양대학교 전기전자공학부 교수



김종수 (金宗洙)

1970년 4월생, 1994년 한국해양대학교 기관공학과 졸업, 1998년 동 대학원 졸업(석사), 2002년 동대학원 졸업(박사), 2002년-2004년 8월 한국해양대학교 전임연구교수, 2004년 9월-현재 한국해양대학교 선박전자기계공학부 전임강사