

마그네트론 구동용 BOOST 입력형 능동클램프 AC-DC 컨버터의 개발에 관한 연구

강 경 남
한양대학교 전자전기제어공학과

오덕진
한양대학교 전기공학과

김희준
한양대학교 전자컴퓨터공학부

Development of Boost input type active clamp AC-DC Converter for driving magnetron

Kyung-Nam Kang

Duck-Jin Oh
Hanyang Univ.

Hee-Jun Kim

Abstract - HVT(High Voltage Transformer) has been used to drive a magnetron in a microwave oven. This has some problems which are heavy weight, low efficiency and limit of output. To overcome these problems, this paper proposes a boost input type active clamp AC-DC converter for magnetron driving featuring the high efficiency and improved EMI characteristics. To verify the validity of the proposed converter operation, the prototype converter of 700W was built and tested.

1. 서 론

현재 일반적으로 사용되는 Micro wave oven의 마그네트론 구동을 위한 전원장치는 성층철심형 HVT(High Voltage Transformer)를 이용하고 있으며, 이것은 상용 전원 전압을 HVT로 승압하고 배전압 회로로 마그네트론의 Cutoff 전압까지 승압하여 마이크로파를 발생시키는 방법이다. 그러나 이러한 방식은 무게와 비중이 큰 성층 철심형 HVT와 고압 콘덴서로 인하여 고중량, 저효율, 출력 한계성 등의 문제를 가지고 있다. 따라서 이러한 문제를 극복하기 위해서 스위칭 방식의 AC-DC 컨버터의 적용이 검토되기 시작하였고 현재 부분적으로 실용화 되어 Micro oven에 적용되고 있는 실정이다. 그러나 현재 실용화 되고 있는 AC-DC 컨버터는 하드스위칭 방식이 대부분이고 공진형 방식의 컨버터가 제안되고 있으나 노이즈 발생의 문제 또는 높은 전압 스트레스등의 문제로 인하여 적용에 한계를 초래하고 있다. 본 논문에서는 마그네트론 구동용 AC-DC 컨버터의 문제점을 극복하기 위하여, 저노이즈, 소프트스위칭, 및 저전압 스트레스의 특징을 갖는 Boost 입력형 능동클램프 AC-DC컨버터를 제안하였다. 제안된 컨버터는 한 주기의 동작을 6개의 동작 모드로 나누어 해석하였으며, 이 결과를 통하여 제안된 컨버터의 동작특성을 확인하였다. 또한 이 동작 특성의 타당성을 입증하기 위하여 700W급 컨버터를 제작실험 하였으며, 실제 마이크로 오븐에 적용시킴으로써 이 컨버터에 의한 마그네트론 구동의 타당성을 입증하였다.

2. 본 론

2.1 마그네트론의 구조 와 특성

마그네트론은 다음 그림1에 보인 것과 같은 구조로 되어있다. 마그네트론은 음극(Cathode)과 양극(Anode)으로 된 2극관과 또 이 Cathode와 Anode 사이의 자계가 직각이 되게 장치된 영구자석 그리고 필라멘트로 구성되어 있다. 마그네트론은 동축 방사상의 전계에 직각으로 작용한 자계에 의해서 전자를 제어하도록 하는 전자관이 다. 외측의 양극에는 원주를 따라서 짝수의 공진공동(Resonant cavity)을 가지고 이 공동에 발생하는 마이크로파 전계와 중앙부의 음극으로부터 방출되는 전자가 에너지를 받음으로 인해서 2450MHz의 마이크로파를 발생

한다. 그림 2는 마그네트론의 특성을 나타내었다. 여기서 마그네트론의 출력은 양극 전류에 의해 결정되는 것을 알 수 있다. 필라멘트/음극에 인가되는 전압을 제어하여 양극 전류를 제어할 수 있다. 즉 필라멘트/음극에 인가되는 전압을 제어하여 마그네트론의 출력을 제어한다.

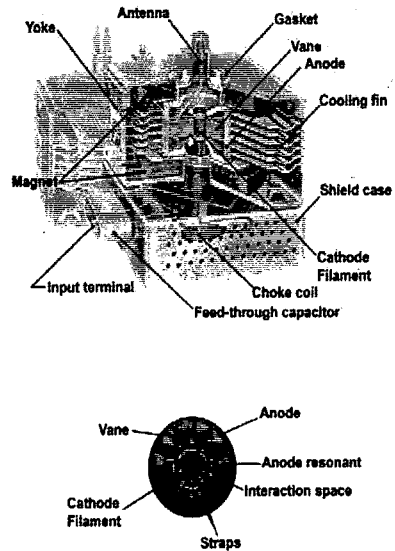


그림 1 마그네트론의 단면

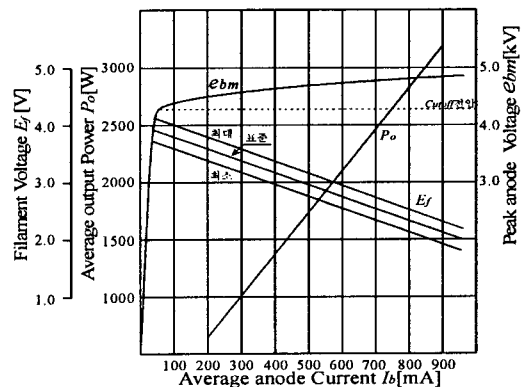


그림 2 마그네트론의 특성

2.2 마그네트론의 등가회로

그림 3은 마그네트론의 전기적 등가회로를 나타낸다. 마그네트론의 음극에 Cutoff 전압이상의 고전압을 인가하여 발진하기 전까지는 큰 저항부하(R_0)로 취급하고 발진 후에는 Cutoff 전압을 가지며 한 방향으로 전류가 흐르는 저항부하(R_1)로 표시할 수 있다.

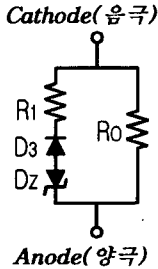


그림 3 마그네트론의 등가회로

2.3 회로구성

그림 4는 본 논문에서 제안한 마그네트론 구동용 Boost 입력형 능동 클램프 AC-DC 컨버터의 회로도를 나타낸다. 정류 브릿지 다이오드, 입력평활 커패시터, 3선성 고주파 트랜스포머, 배전압 회로, 마그네트론의 필라멘트 온도를 가열시키기 위한 가열용 전원회로로 구성된다. L_{in} 및 주스위치 Q_1 은 Boost 컨버터의 입력측 회로가 되고, Q_2 와 C_1 는 능동 클램프 회로를 구성한다. L_m 은 트랜스 포머의 자화 인덕턴스 L 은 누설 인덕턴스 비교적 큰 용량의 C_2 는 트랜스포머의 L_m 및 L 과 공진을 하며 주스위치 Q_1 이 도통할 때 출력측으로 에너지를 공급하는 전압원으로 동작한다. 이외에 C_{Q1} 과 C_{Q2} 는 스위치의 기생 커패시턴스, D_{Q1}, D_{Q2} 는 역병렬 다이오드를 나타낸다. 본 회로의 고주파 출력제어는 PWM(Pulse Width Modulation)에 의하여 제어된다.

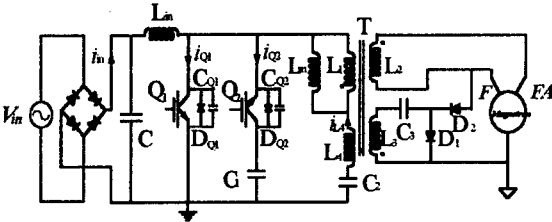


그림 4 전체 주 회로도

2.4 회로 동작

다음 그림 5는 제안된 컨버터의 각 시구간에 대한 이론적 파형을 나타내고, 그림 6은 각 시구간에 대한 이론적 파형의 등가회로를 나타낸다. 필라멘트는 저항(R_H)와 인덕터(L_H)의 직렬회로로 등가화 하였으며, 각 구간에 대한 동작은 다음과 같이 발생할 수 있다.

1) Mode 1($t_1 \sim t_2$): Q_1 (turn off), Q_2 (off)

t_1 의 시점에서 Q_1 이 turn off 되면 L_m, L_4 및 C_{Q1}, C_{Q2} 의 공진에 의하여 순간적으로 C_{Q1} 은 충전 C_{Q2} 는 방전을 하는데 충전의 완료시점에서 C_{Q1} 의 양단의 전압 V_{ce1} 은 $V_i/(1-D)$ 가 되고 C_{Q2} 의 양단의 전압 V_{ce2} 는 영전압이 된다. C_{Q2} 가 방전이 완료된 후에도 L_m 및 L_4 의 여분의 에너지에 의하여 Q_2 의 전류 i_{Q2} 가 계속 역병렬 다이오드

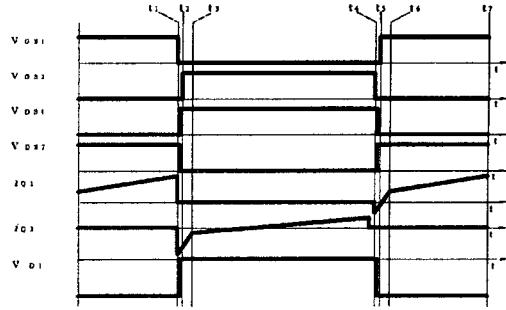


그림 5 컨버터의 이론적 파형

turn off된다. D_1 은 turn on되어 배압커패시터 C_3 의 충전을 시작한다.

2) Mode 2($t_2 \sim t_3$): Q_1 (off), Q_2 (turn on)

t_2 시점에서 Q_2 를 turn on 시켜도 Q_2 의 역병렬 다이오드가 계속 도통되어 V_{ce2} 는 영전압 상태가 되므로 영전압 turn-on 되지만 아직 채널로는 전류가 흐르지 않는다. 출력단은 C_3 가 충전을 계속한다.

3) Mode 3($t_3 \sim t_4$): Q_1 (off), Q_2 (on)

어느기간 역병렬 다이오드의 도통이 계속되다가 전류의 극성이 바뀌면서 Q_2 의 채널에 전류가 흐르기 시작한다. 이때 출력측의 배압커패시터는 충전을 계속하는데 이때의 에너지는 입력측으로부터 공급받는다.

4) Mode 4($t_4 \sim t_5$): Q_1 (off), Q_2 (turn off)

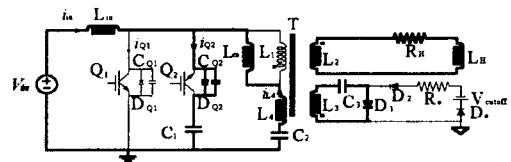
t_4 시점에서 Q_2 가 turn off 되면 L_m, L_4 및 C_{Q1}, C_{Q2} 의 공진에 의하여 순간적으로 C_{Q1} 은 방전을 하고 C_{Q2} 는 충전을 한다. 충전의 완료시점에서 V_{ce1} 이 0이 되고 V_{ce2} 는 $V_{c3}(=V_i/(1-d))$ 와 같게 된다. C_{Q1} 이 방전이 완료된 후에도 L_m 및 L_4 의 여분의 에너지에 의하여 Q_1 의 전류 i_{Q1} 이 계속 역병렬 다이오드를 통하여 흐르므로 V_{ce1} 은 영전압 상태를 유지하게 된다. 출력측에서는 C_3 의 충전전류가 감소하여 0에 이르게 된다.

5) Mode 5($t_5 \sim t_6$): Q_1 (turn on), Q_2 (off)

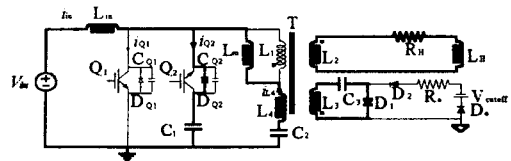
t_5 시점에서 Q_1 을 turn on 시킴으로써 영전압 스위칭이 이루어지고 역병렬 다이오드로 흐르던 전류가 채널로 흐르게 된다.

6) Mode 6($t_6 \sim t_7$): Q_1 (on), Q_2 (off)

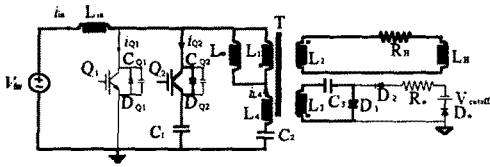
출력측에서는 배압 커패시터의 전압과 음의 트랜스포머 2차측 전압의 합이 마그네트론에 인가되어 마그네트론을 동작시킨다.



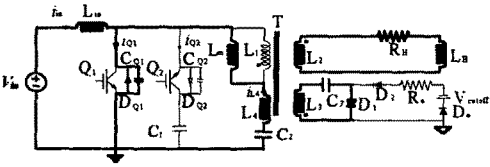
(a) Mode 1



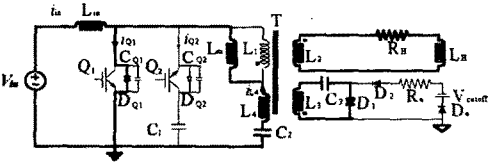
(2) Mode 2



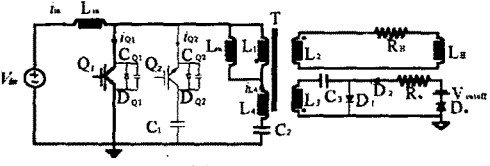
(3) Mode 3



(4) Mode 4



(5) Mode 5



(6) Mode 6

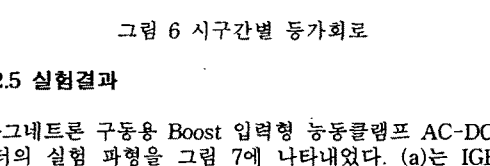


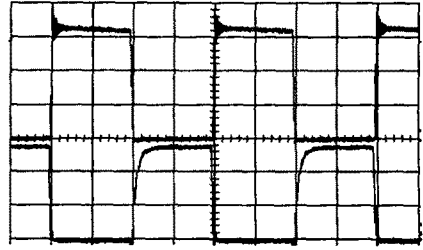
그림 6 시구간별 등가회로

2.5 실험결과

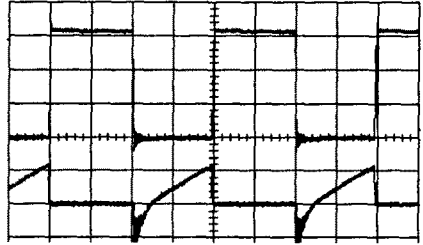
마그네트론 구동용 Boost 입력형 능동클램프 AC-DC 컨버터의 실험 파형을 그림 7에 나타내었다. (a)는 IGBT Q₁의 게이트-이미터사이의 전압(V_{ge})과 컬렉터-이미터사이의 전압(V_{ce}), (b)는 Q₂의 V_{ce} 전압과 컬렉터 전류 i_{o2}를 나타낸다. (c)는 D₁의 전압을 나타낸다. 이 실험 결과로부터 이 컨버터의 특징인 소프트 스위칭 동작이 잘 이루어지고 있음을 확인할 수 있고, 스위치 Q₁ 및 Q₂의 전압스트레스는 공히 V_i/(1-D)의 값인 320V에 클램프 되고 있음을 알 수 있다. 또한 4.4kV로 클램프 되는 다이오드 전압을 통하여 마그네트론 구동이 잘 이루어지고 있음을 확인할 수 있다.

3. 결 론

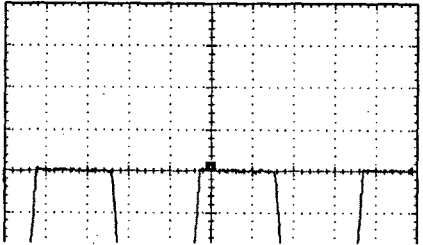
마그네트론 구동용 전원장치로서 노이즈 발생의 저감, 스위치 전압의 저 전압 스트레스, 소프트 스위칭 등의 큰 장점을 갖는 Boost 입력형 능동클램프 AC-DC 컨버터를 제안하였다. 정상상태에 있어서 이 컨버터의 동작을 해석 하였고, 영전압 스위칭의 동작 특성 및 클램프 회로에 의한 스위치의 전압스트레스 저감의 특성을 확인 하였다. 끝으로 입력 120VAC, 출력 700W, 스위칭 주파수 60kHz의 컨버터를 제작하여 실제 마그네트론의 구동에 적용함으로써 제안된 컨버터의 동작의 타당성을 입증 하였다.



(a)주스위치의 Q₁의 V_{ce}(100V/div, 5μ)(위)
주스위치의 Q₁의 V_{ge}(5V/div, 5μ)(아래)



(b)보조스위치 Q₂의 V_{ce}(100V/div, 5μ)
보조스위치 Q₂의 IQ₂(10A/Div, 5μ)



(c)다이오드 D₁의 양단의 전압파형(2kV/div, 5μ)

그림 7 실험 파형

를 흐르므로 V_{ce2}는 영전압 상태를 그대로 유지하게 된다. 출력측에서는 트랜스 포머 2차측 전압이 양의 방향으로 전환되어 마그네트론은

[참 고 문 헌]

[1] M.yasumasa, W.Masaki, T.Yasuo, S.Katsunori "Inverter Power supply for a Magnetron," Report of IEICE, PE95-19,pp. 17-22,1995,7

[2] Claudio M.C.Duarte and Ivo Barbi, "A new family of AVS-PWM active clamping DC-DC boost converters:analysis, design, and experimentation",IEEE INTELEC, pp.305~312,1996