

〈고출력 마이크로파 발생장치인 링형태의 세 개의 캐소드를 가진 버카터의 시뮬레이션 연구〉

(이 봉 균)

(홍익대학교 전자전산공학과 석사과정)

〈Simulation Study for the Vircator with three cathodes ring〉

(Lee Bong Kyun)

(The Depart of Electronics & Computer Engineering, Graduate School, Hong-ik Univ.)

**Abstract** - Using the "MAGIC" code, computer simulation is performed to design a cathode structure which provides a radial distribution of electron beam density matching the field distribution of the TM<sub>05</sub> mode. Thus, very narrow band TM<sub>05</sub> mode microwave radiation can be generated in an open end waveguide. The simulation results show that the vircator can indeed be operated at the selected frequency 10.2GHz with a very narrow bandwidth ( $\Delta\omega / \omega < 1\%$ ).

발생되는 초고주파 출력 주파수는  $\omega \approx \frac{\pi w_p}{\sqrt{2} r_0}$  이며

$w_p$ 는 플라즈마 주파수,  $r_0$ 는 상대성 인자이다.

단파장의 출력을 얻기 위하여 외부 자계를 가하여 전자빔을 유도하였는데 이 자계의 세기가 크면 버츄얼 캐소드의 형성이 잘 되지 않아 초고주파의 출력이 약해지고, 자계의 세기가 약하면 버츄얼 캐소드의 영향이 커서 광대역 주파수의 출력이 발생한다. 이런 문제들을 해석적으로 입증하기 어려워 입자 프로그램 (particle-in-cell) 인 'MAGIC'을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션 하였다.

1. 서 론

핵융합의 에너지원 및 고해상도의 레이더에 응용되는 고출력의 초고주파를 발생시키기 위한 연구가 지난 20여 년간 추진되어 왔다. 이런 고출력 초고주파를 발생하는 장치로는 상대성 카이스트론(relativistic Klystron), 상대성 마그네트론(relativistic Magnetron), 자이로트론(Gyrotron), 버카터(Vircator)<sup>1</sup>, BWO(Backward Wave Oscillator) 등이 있는데 그 중에서 공간 전하 임계전류(Space-charge-limiting current)를 초과하는 대전류 상대성 전자빔을 도파관 또는 동공(cavity)에 입사시켜 생기는 버츄얼 캐소드(Virtual Cathode)<sup>2</sup>의 진동으로 고출력 초고주파를 발생시키는 버카터는 비교적 구조가 간단하고 수 백MHz부터 수 십GHz의 주파수 대역의 조절기능을 가지는 장점이 있다. 그러나 광대역의 초고주파가 발생하여 단파장 출력을 얻기가 어렵고 출력 효율 또한 다른 장치들과 비교하여 상대적으로 낮아 본 논문에서는 버카터의 출력 효율을 개선하고, 단일 모드의 출력을 얻기 위하여 세 개의 링 형태의 캐소드들을 사용하여 상호 작용에 의해 단 파장(TM<sub>05</sub> mode)의 1GW 출력과 출력 효율이 약 24%정도로 향상시킬 수 있다는 것을 입자 해석 프로그램 "MAGIC"<sup>3</sup>을 사용하여 입증하였다.

2.2 설계 및 시뮬레이션 결과

버카터 캐소드의 구조는 동심원 형태로 세 개로 구성되며 그 위치들은 각각 TM<sub>05</sub> 모우드의 전계  $E_z = E_0 J_0(14.93r/R) e^{-i\omega t}$  분포에 고려하여 극대값들이 존재하는 곳으로 정하였다.

2. 본 론

2.1 버카터의 원리

도파관이나 동공(cavity)에 강한 전자빔을 흘려줄 때 이 전자빔에 의한 전류가 공간전하 임계 전류

$$I(KA) = \frac{8.5}{\ln(r_0/r_b)} (r_0^{2/3} - 1)^{3/2} \quad [r_0 \text{ 는 도}$$

파관 반경,  $r_b$ 는 전자빔 위치] 보다 크게 되면 전자들의 속도가 줄어들게 되어 전자들이 뭉치(bunching)게 된다. 이를 버츄얼 캐소드(Virtual Cathode)라 하며 이것은 시간에 따라 진동하게 된다. 이런 버츄얼 캐소드가 형성되면 전자 사이의 반발력에 의하여 캐소드로 되돌아가 전자빔의 발생에 영향을 미치게 된다. 즉 전자빔의 운동 에너지가 초고주파 에너지로 변환되는데 이때

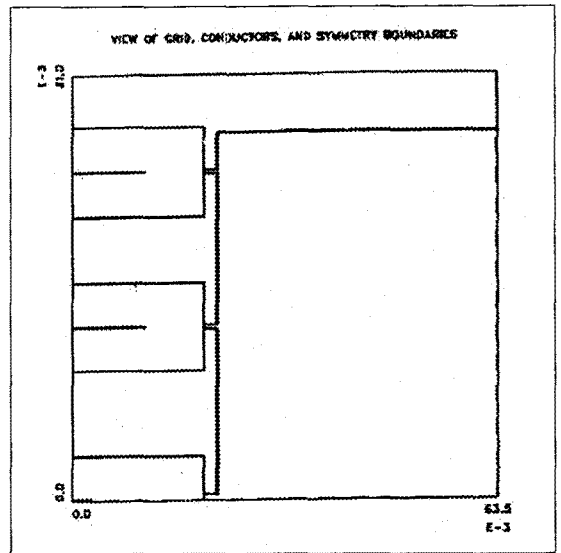


그림1. 버카터의 단면 구조

그림1.에서 버카터의 단면도가 제시되며 반경 7cm인 도파관을 사용하였고, 양극은 판막형태로 전계의 세기를 균일화 시켰다. 200KV-6nsec 전압 필스를 음극과 양극사이에 가하고 전자빔유도 자장을 1.3테슬러로 하였다. 캐소드들에 의해 발생하는 전류들은 각각 15KA, 5KA와 0.3KA 이었으며 이 전류들은 공간 임계 전류들의 약 3배 정도였다. 전류밀도는 각각 같으며 이에 대응하는 플라즈마 주파수는 TM<sub>05</sub> 모우드 주파수(10.2GHz)와 비슷하였다. 출력  $E_z$ 의 시간에 따른 발생현상을 그림2.에서 보여주며 그림3.은 이것의

스펙트럼도이다. 출력 주파수는 약 10.2GHz의 단일 모우드이고 그의 주파수 대역 폭은 약 1% 미만이었다.

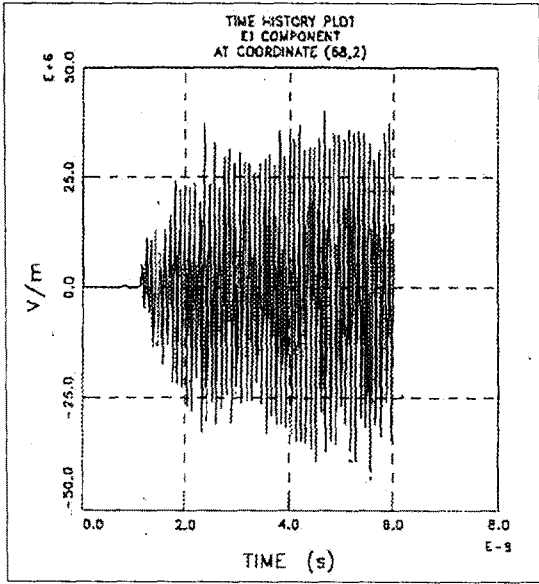


그림2. 전계  $E_z$ 의 시간적 변화도

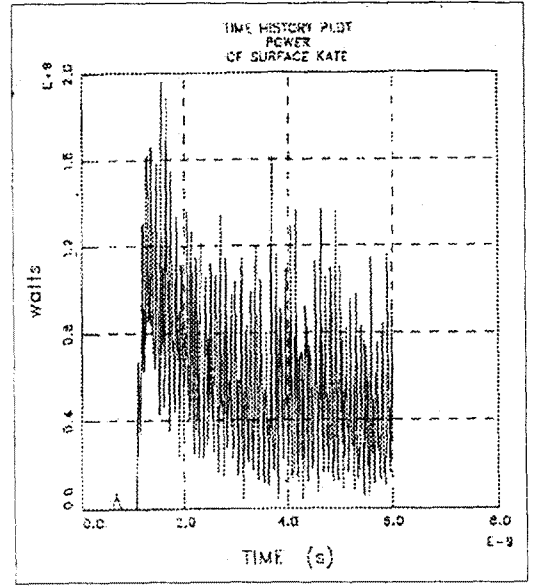


그림4. 버카터의 출력 전달도

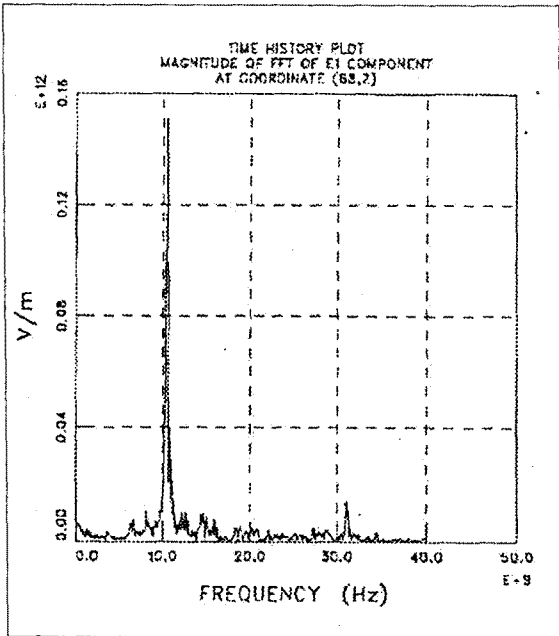


그림3. 전계  $E_z$ 의 스펙트럼도

또한 출력 전력은 그림4.이며 평균출력은 약 1GW이었다. 입력 전력을 계산하여 출력 효율을 계산하면 약 24%정도로 향상되었다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 고출력 초고주파 발생장치인 버카터를 "MAGIC" 프로그램을 이용하여 연구하였는데 세 개의 전자빔을 발생시키는 음극들을 설계하여 시뮬레이션을 통하여 출력이 약 1GW 정도이며, 출력 효율이 약 24%로 향상시킬 수 있었고 또한, TM<sub>05</sub> 모우드의 대역폭 ( $\Delta\omega < 1\%$ ) 단파장의 출력을 얻을 수 있다는 것을 보였다. 버카터는 구조가 간단한 고출력 초고주파 발생장치로 핵융합의 에너지원 등의 여러 분야에 응용되리라 기대한다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] T.J.T Kwan, Phys. Rev. Lett. 57, 1895(1986)
- [2] A.N. Didenko, et.al., Sov. Tech. Phys. Lett. 9, 647(1983)
- [3] B.Goplen, et.al., MAGIC & POSTER User's Manual (Mission Research Coporation, Newington, 1998 and 1995)