

인버터 고전압 전원공급장치를 이용한 펄스전원공급장치 연구

박성수, 김상희, 황정연, 남상훈, 이경태*, 김홍근**
 포항공대 가속기연구소, (주)동아테크*, 경북대학교**

Study of Pulse Generator used Inverter HV Power Supply

S.S. Park, S.H. Kim, J.Y. Hwang, S.H. Nam, K.T. Lee*, H.G. Kim**
 POSTECH Pohang Accelerator Laboratory, Dong-A Tech. Cop.*, Kyungbook National University**

ABSTRACT

The klystron-modulator(K&M) system of the Pohang Light Source(PLS) had been supplying high power microwaves for the acceleration of 2.5 GeV electron beams since October 2002. There are 12 sets of K&M systems to accelerate electron beams to 2.5GeV nominal beam energy. One module of the K&M system consists of an 80 MW S-band (2856 MHz) klystron tube and the matching 200 MW modulator. In order to obtain electron beam of the consequently stability for linac, the pulse-to-pulse beam voltage regulation is less than +/- 0.5 %. To get the reliable stability of the modulator which is less than +/- 0.5 %, a charging section is improved in a modulator which has been operated with inverter power supply.

1. 서 론

포항공속기연구소에서 전자를 가속하기 위하여 사용하고 있는 200 MW 펄스 모듈레이터는 공진 충전 방식을 사용하고 있다. 공진충전 방식은 교류 전원을 받아 승압 후 정류하여 커패시터 저장장치에 에너지를 저장 한 후 충전 인덕터와 충전 다이오드를 통하여 PFN용 커패시터에 2배로 충전하는 방식을 사용하고 있다. 이 충전 방식은 충전된 에너지를 부하에 전달하기 위하여 사용하는 싸이라트론 스위치에 고전압이 항상 인가되어 있어서 스위치의 자발 방전에 의한 폴트가 발생하고 있다. 이러한 충전 시스템을 보완하고 성능을 높이기 위해서 인버터 고전압 충전 방식을 사용하여 시험을 하였다. 현재 운전중에 있는 펄스 전원공급장치가 안정된 전자를 가속하기 위하여 요구되는 전원공급장치의 펄스 전압 변동율은 +/- 0.5 % 정도이며 현재 SCR 전압제어기를 사용하여 얻고 있다. 본 논문

에서는 새로운 고전압 공급방식을 사용하여 펄스전원공급장치의 전압 변동율을 +/- 0.5 %이하를 얻기 위하여 설치하여 시험중에 있다. 시험에서 얻은 결과를 현재 적용되고 있는 SCR 전압제어기와 비교 검토하고자 한다. [2],[4]

2. 본 론

2.1 200MW 모듈레이터

표 1은 포항공속기 연구소에서 운전중인 모듈레이터의 사양을 나타내었다.

표1. 모듈레이터의 사양

Table 1 Specifications of modulator

Description	Unit	Value
Peak Power	MW max	200
Average Power	kW max	289
	kW normal	48
Repetition Rate	Hz max	180
	Hz normal	30
Peak Output Voltage	kV	400
Peak Output Current	A	500
ESW	μs	7.5
Flat-top Width	μs	4.4
Charging Time	ms	5.76

표 1에 주어진 모듈레이터의 사양처럼 모듈레이터의 최대 펄스 전력은 200 MW이며 최대 평균 전력은 반복횟수가 180 Hz에서 약 290 kW이다. 현재 운전중인 30 Hz에서의 평균 전력은 48 kW이며 클라이스트론 부하에 전달되는 최대 펄스 출력의 전압은 400 kV_{peak}이고 전류는 500 A_{peak} 이다.

그림 1에서 보인 것과 같이 모듈레이터는 4부분으로 나눌 수 있으며 충전부, 방전부, 펄스 트랜스퍼머 탱크, 클라이스트론 부하로 구분된다. 첫째로

충전부는 3상 480 Vac의 전원을 받아 SCR 소자를 사용하여 AC-AC 전압 조절을 하고 있으며 조정된 전압은 3상 승압트랜스퍼머와 정류다이오드 및 필터 choke와 필터 커패시터에 의하여 고전압 직류 전압을 공급하고 있다. 필터 커패시터에 충전된 에너지는 PFN(Pulse Forming Network)의 커패시터에 충전 인덕터와 충전 다이오드를 통하여 충전을 한다. PFN 커패시터에 충전된 전압이 일정해야 부하로 전달되는 펄스 전력이 일정하며 펄스의 최대 변동율이 $\pm 0.5\%$ 이내로 유지되어야 한다. 이것을 얻기 위해 De-Q'ing 회로를 사용하였으며 현재는 SCR 제어를 사용하여 얻고 있다. 둘째로 방전부는 PFN 커패시터와 싸이랏론 스위치 그리고 EOLC(End of Line Clipper) 부분으로 구성되어 있으며 PFN 커패시터에 충전된 에너지는 싸이랏론 스위치에 트리거 펄스가 인가되면 펄스 트랜스퍼머를 통하여 클라이스트론 부하에 펄스 전력이 공급되도록 되어 있다. EOLC 회로는 부하의 오동작 또는 단락 현상이 발생했을 경우 PFN 커패시터의 에너지를 제거하는 역할을 하고 있으며 PFN 커패시터에 역전압이 인가되는 것을 방지해 주는 역할을 하고 있다. 에너지를 부하에 전달하는 스위치는 2가지 형태로 ITT사의 F303 튜브와 Littion사의 L4888 튜브를 사용하고 있다. 셋째로 펄스 트랜스퍼머 탱크는 펄스 트랜스퍼머와 펄스 고전압 프로브 절연 인덕터등으로 구성되어 펄스 트랜스퍼머로부터 전달된 펄스 전력은 승압되어 부하인 클라이스트론에 인가되어진다. 펄스 트랜스퍼머의 비율은 1:17 이며 최대 400 kV가 부하에 인가되고 펄스 탱크의 내부는 절연유로 채워져 있다.

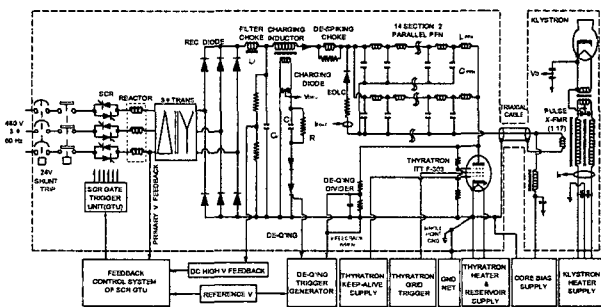


그림 1. 200 MW 모듈레이터 회로
Fig. 1 Circuit of the 200 MW modulator

넷째로 클라이스트론 부하는 클라이스트론과 전자 집속하는 마그넷 그리고 RF를 인가하는 장치와 증폭된 RF 전력을 전달하는 도파관으로 구성된다. 부하로 사용하는 클라이스트론은 Tohsiba E3712와 SLAC 5045를 사용하고 있으며 사용주파수는 2.856 GHz이고 최대 출력 전력은 각각 80 MW와 65 MW이다. 클라이스트론의 임피던스는

800 Ω 이며 펄스 트랜스퍼머의 1차로 환산하여 2.8 이고 PFN의 임피던스 보다 약 5 %정도 크게 하여 운전한다.

2.2 고전압 인버터용 모듈레이터

그림 2는 PFN 커패시터에 기존의 공진 충전 방식과 새로운 방식의 고전압 인버터 충전 방식으로 충전하는 회로와 파형을 보여 주고 있다.

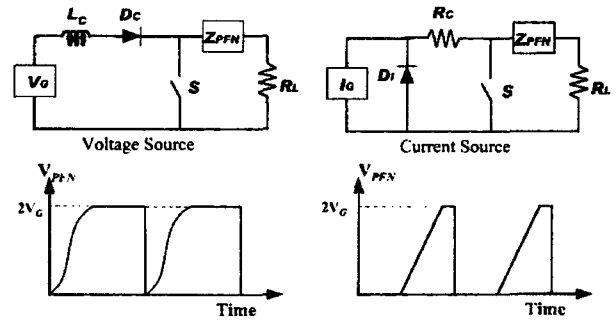


그림 2. 공진 충전 방식과 고전압 인버터 충전방식.
Fig. 2 Resonant charging method and high voltage inverter charging method.

현재 사용중인 모듈레이터의 충전부분을 안정화되고 전압 변동율이 적은 고전압 인버터 전원공급 장치로 구성하여 그림 3과 같이 제작 및 설치하였다.

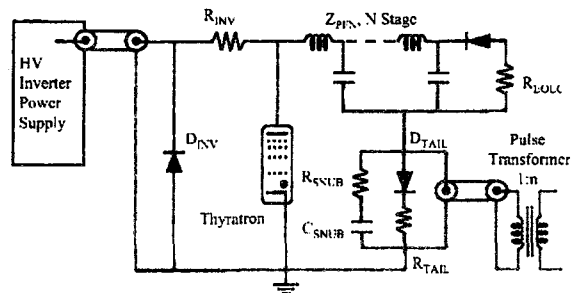


그림 3. 고전압 인버터 전원공급장치를 사용한 펄스 모듈레이터 회로
Fig. 3 Pulse modulator circuit used high voltage inverter power supply

그림 3은 고전압 인버터 전원공급장치로부터 공급받은 에너지를 PFN 커패시터에 직접 충전시켜서 싸이랏론 스위치를 통하여 부하에 에너지를 전달하는 방식을 취하고 있다. 인버터 전원공급장치를 보호하기 위한 보호회로가 첨부되어 있으며 스위칭시 부하에 발생하는 역전압과 노이즈를 저감하기 위하여 테일 크리퍼(Tail Clipper)와 RC 스너버를 사용하고 있다.

그림 4는 고전압 인버터 전원공급장치를 설치한 모듈레이터 사진이다. 랙의 왼쪽 부분은 모듈레이터 제어기를 보여 주고 있으며 랙의 오른쪽은 고전압 인버터 전원공급장치와 인터페이스 패널 그리고 오른쪽의 판넬은 PFN 부분과, 싸이라트론 스위치, EOLC, 보호회로가 있는 모듈레이터 캐비닛이다. 고전압 인버터 전원공급장치는 General Atomic사에서 제작한 것으로 10 kJ, 50 kVdc, 200 mAdc를 사용하여 운전하고 있다. 여기에 부하는 펄스 트랜스퍼머의 2차측에 물부하를 사용하여 시험을 하였다.

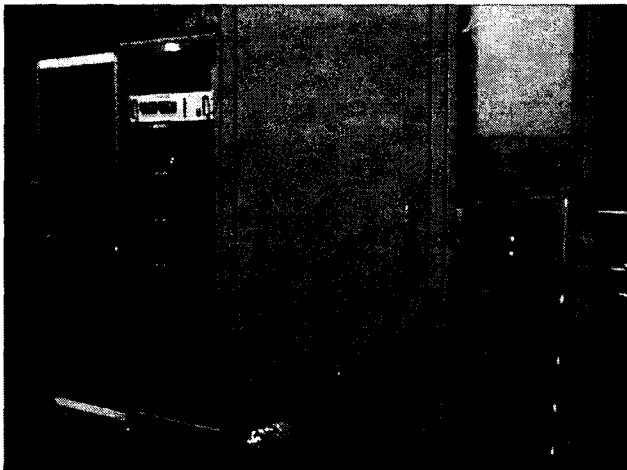


그림 4 고전압 인버터 전원공급장치를 이용한 모듈레이터 사진
Fig. 4 Photograph of modulator used HV inverter power supply

2.3 시험 결과

그림 5는 기존의 모듈레이터에서 PFN에 충전되는 전압 파형으로 고전압 18 kVdc를 인가 할 경우 PFN 커패시터에 2배로 충전된 전압이 약 34 kV이다. 싸이라트론 스위치가 트리거에 의하여 방전되는 순간에 PFN의 충전전압 위쪽을 확대해서 누적모드로 누적시켜서 변동되는 폭을 측정하였다. 여기에서 측정된 PFN 전압의 변동폭이 약 1.425%이었다.

그림 6은 고전압 인버터 전원공급장치를 사용한 새로운 형태의 모듈레이터로부터 얻은 시험 결과이다. 고전압 인버터 전원공급장치로부터 약 14 kV를 인가하여 PFN에 충전된 전압이 약 13.5 kV이었다. 싸이라트론의 방전이 발생하는 부분의 위부분을 확대하여 누적모드로 누적시켜서 변동되는 폭을 측정하였다. 여기에서 측정된 변동폭은 0.522%이었다. 그림 5와 그림 6에서 측정된 전압 변동폭을 비교하면 기존의 모듈레이터 시스템보다 고전압 인버터 전원공급장치를 사용한 새로운 모듈

레이터의 시스템이 전압변동율이 2배 이상 적다는 것을 알 수 있다.

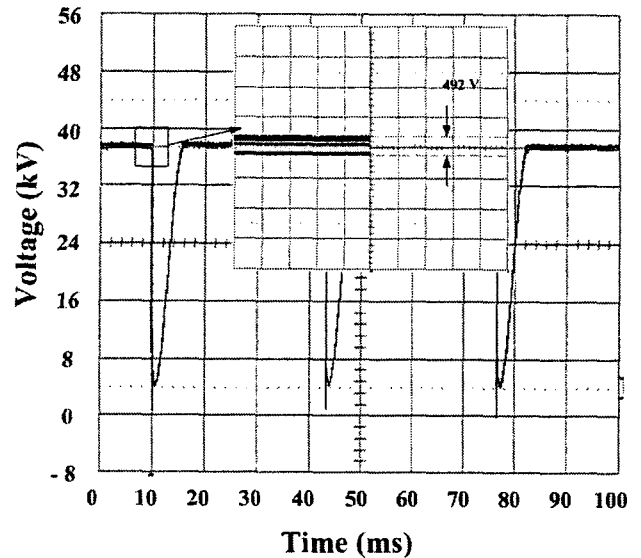


그림 5 기존의 모듈레이터에서 측정된 PFN 충전전압 파형 및 전압 변동크기
Fig. 5 PFN Voltage and Voltage Regulation Value of Old Modulator

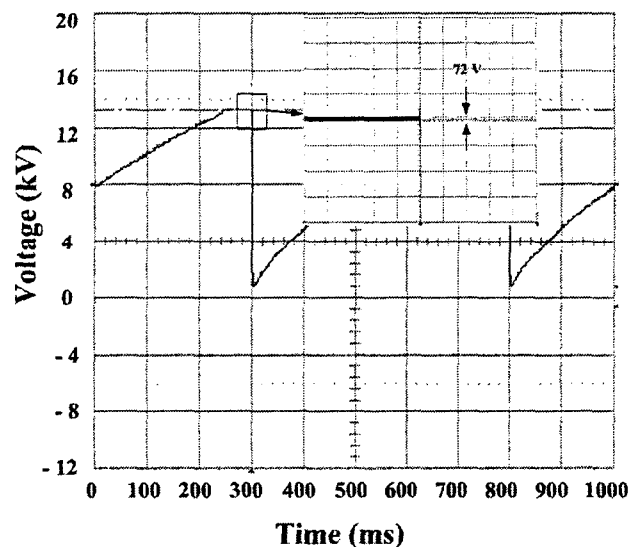


그림 6 고전압 인버터 전원공급장치를 사용할 경우의 PFN 전압 및 전압 변동폭
Fig. 6 PFN Voltage and Voltage Regulation Value of New Modulator

3. 결 론

포항가속기연구소에서 전자를 가속하기 위하여 사용하고 있는 200 MW 펄스 모듈레이터를 기존의 방식에서 더 향상된 전압 변동율을 얻기 위하여 고전

압 인버터 전원공급장치를 도입하여 시험을 하였다. 시험 결과 기존의 전압 변동율은 1.425 %이었으며 고전압 인버터 전원공급장치를 이용하여 구현한 새로운 형태의 모듈레이터에서 얻은 전압 변동율은 0.522 %이었다. 기존의 모듈레이터 시스템보다 고전압 인버터 전원공급장치를 사용한 새로운 모듈레이터의 시스템이 전압변동율이 2배 이상 적다는 것을 알 수 있었다. 앞으로 실제 부하를 사용하여 시험 할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] Z. D. Farkas et al., "SLED: A Method for Doubling SLAC's Energy," Proc. Of 9th Int. Conf. On High Energy Accelerators, SLAC, 1974, p. 576.
- [2] W. Namkung et al., " PLS 2 GeV Linac," Proc. of 17th Int'l Linac Conf., Tsukuba, Japan, Aug. 21-26, 1994, pp. 14-16.
- [3] G. N. Glasoe and J. V. Lebacqz, *Pulse Generators*, McGraw-Hill, 1948, Chapter 6.
- [4] S. H. Nam, J. S. Oh, M. H. Cho, and W. Namkung, "Prototype Pulse Modulator for High Power Klystron in PLS Linac," IEEE Conf. Records of the 20th Power Modulator Symp., Myrtle Beach, SC, 1992, pp. 96-99.
- [5] R. B. Neal, ed., *The Stanford Two-Mile Accelerator*, Q. A. Benjamin, New York, 1968.