

XFEL을 위한 기존의 펄스전원공급장치 개선 연구

박성수, 김상희, 김성철, 황정연, 한영진, 최진혁, 김흥근**
 포항공대 가속기연구소, 경북대학교**

Study of Pulse Generator used Inverter HV Power Supply

S.S. Park, S.H. Kim, S.C. Kim, J.Y. Hwang, Y.J. Han, J.H. Chio, H.G. Kim**
 POSTECH Pohang Accelerator Laboratory, Dong-A Tech. Cop., Kyungbook National University**

ABSTRACT

The 2.5 GeV linac of the Pohang Light Source(PLS) is planed to be converted to a XFEL. The PAL XFEL requires a new 1.2-GeV linac that will be combined to the existing linac to increase a beam energy upto 3.7 GeV. This stability is mainly determined by a low level RF drive system and klystron-modulators. The stability level of the modulator has to be improved 10 times better to meet the pulse stability of 0.02 %. The regulation methods such as traditional de-Q'ing and precision inverter charging technology are reviewed to find out suitable upgrade scheme of the modulators. In order to obtain electron beam of the consequently stability for XFEL 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 +/- 0.2 %, a charging section is improved in a modulator which has been operated with inverter power supply and de-Q'ing.

1. 서론

포항가속기연구소에서 XFEL을 건설하는 계획을 갖고 있다. XFEL을 위하여 기존의 전자 가속기를 성능개선하기 위한 방안으로 시험을 하고 있다. XFEL에 적용되는 에너지는 3.7 GeV로 계획하고 있으며 기존에 운전중인 전자빔의 안정도가 현재 값보다 더 높은 안정도를 요구 하고 있으며 K-linac에서 RF 시스템의 안정도는 약0.2%가 요구 된다. 이 RF 시스템의 안정도를 얻기 위해서는 현재 운용중인 방식을 개선해야 한다. 따라서 현재 운용되는 방식과 앞으로 적용해야 하는 방식을 비교 검토하고 인버터 전원공급방식과 de-Q'ing 방식으로 시험한 결과를 보인다.

2. 본론

2.1 기존의 200MW 모듈레이터

표 1은 포항가속기 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 반복 횟수가 180 Hz에서 약 290 kW이다. 현재 운전중인 30 Hz에서의 평균 전력은 48 kW이며 클라이스트론 부하에 전달되는 최대 펄스 출력의 전압은 400 kVpeak이고 전류는 500 Apeak 이다.

그림 2에서 보인 것과 같이 모듈레이터는 4부분으로 나눌 수 있으며 충전부, 방전부, 펄스 트랜스퍼머 탱크, 클라이스트론 부하로 구분된다. K-linac의 모듈레이터는 현재 SCR 제어기를 사용하여 PFN에 충전되는 전압을 제어하고 있으며 펄스의 RMS 변동율이 ± 0.5 % 이내로 유지되고 있다. 이러한 RF시스템을 XFEL용으로 성능개선하기 위해서는 De-Q'ing 또는 정밀 인버터 전원공급장치를 이용하여 성능 개선하는 방법이 있다.

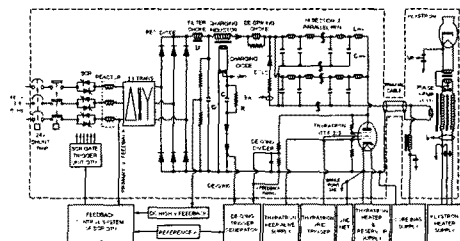


그림 1. 200 MW 모듈레이터 회로

Fig. 1 Circuit of the 200 MW modulator

2.1.2 De-Q'ing을 사용한 모듈레이터

그림 2에서 충전인덕터의 2차에 구성되어 있는 회로가 De-Q'ing 이다.[4] De-Q'ing은 충전 인덕터의 2차에 회로를 구성하여 PFN 커패시터에 충전되는 전압을 일정하

게 한다. PFN에 충전되는 전압이 주어진 기준전압 이상이 인가될 경우 충전 전압을 충전 인덕터의 2차로 에너지를 소진해서 PFN에 더 이상 전압이 충전하지 못하게 하는 방식이다.

2.1.3 K-linac용 고전압 인버터용 모듈레이터

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

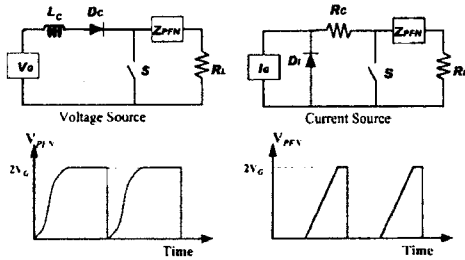


그림 2. 공진 충전 방식과 고전압 인버터 충전방식.
Fig. 2 Resonant charging method and high voltage inverter charging method.

현재 사용중인 모듈레이터의 충전부분을 안정화 되고 전압 변동율이 적은 고전압 인버터 전원공급장치로 구성하여 그림 4와 같이 구성할 수 있다.

그림 3은 K-linac 모듈레이터의 PFN에 고전압 인버터 전원공급장치로부터 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 태일 크리퍼(Tail Clipper)와 RC 스너버를 사용하고 있다.

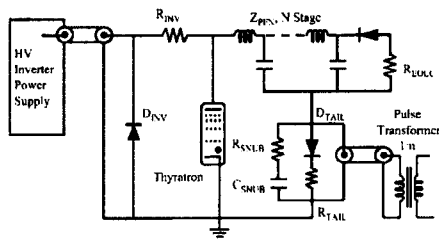


그림 3. 고전압 인버터 전원공급장치를 사용한 펄스 모듈레이터 회로
Fig. 3 Pulse modulator circuit used high voltage inverter power supply

그림 4는 고전압 인버터 전원공급장치를 설치한 모듈레이터 사진이다. 랙의 왼쪽 부분은 모듈레이터 제어기를 보여 주고 있으며 랙의 오른쪽은 고전압 인버터 전원공급장치와 인터페이스 판넬 그리고 오른쪽의 판넬은 PFN 부분과, 싸이랏론 스위치, EOLC, 보호회로가 있는 모듈레이터 케비닛이다. 고전압 인버터 전원공급장치는 General Atomic 사에서 제작한 것으로 10 kJ, 50 kVdc, 200 mAdc를 사용하여 운전하고 있다. 여기에 부

하는 펄스 트랜스퍼머의 2차측에 물부하를 사용하여 시험을 하였다.

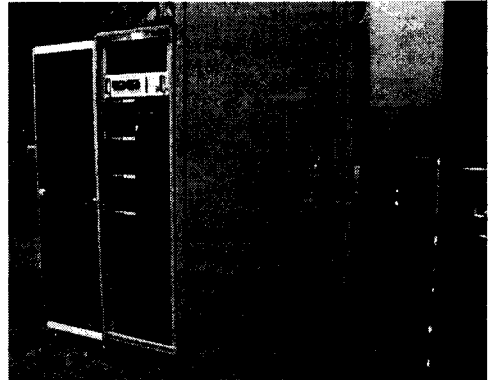


그림 4 고전압 인버터 전원공급장치를 이용한 모듈레이터 사진
Fig. 4 Photograph of modulator used HV inverter power supply

2.2 시험 결과

그림 5는 기존의 모듈레이터에서 PFN에 충전되는 전압 파형으로 고전압 18 kVdc를 인가 할 경우 PFN 커패시터에 2배로 충전된 전압이 약 36 kV이다. 싸이랏론 스위치가 트리거에 의하여 방전되는 순간에 PFN의 충전 전압 위쪽을 확대해서 누적모드도 누적시켜서 변동되는 폭을 측정하였다. 여기에서 측정된 PFN 전압의 변동폭이 약 1.425%이었다.

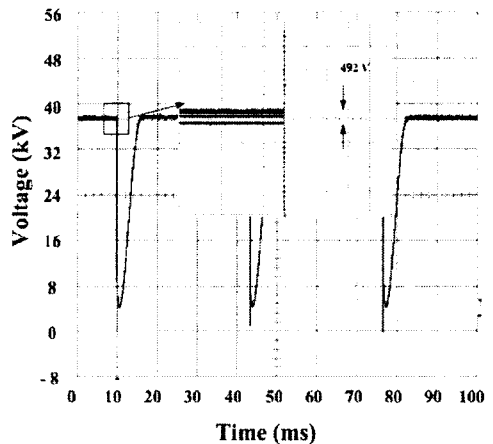


그림 5 기존의 모듈레이터에서 측정된 PFN 충전전압 파형 및 전압 변동크기
Fig. 5 PFN Voltage and Voltage Regulation Value of Old Modulator

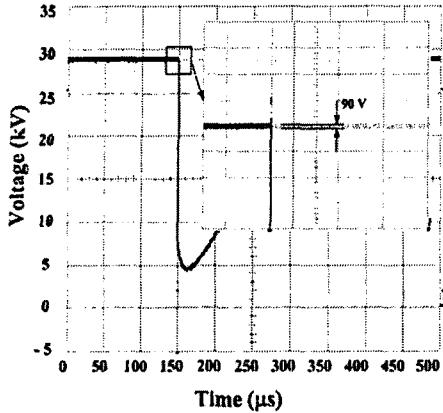


그림 6 고전압 인버터 전원공급장치를 사용할 경우의 PFN 전압 및 전압 변동폭

Fig. 6 PFN Voltage and Voltage Regulation Value of New Modulator

그림 6은 고전압 인버터 전원공급장치를 사용한 새로운 형태의 모듈레이터로부터 얻은 시험 결과이다. 고전압 인버터 전원공급장치로부터 고전압을 인가하여 PFN에 충전된 전압이 약 29 kV이었다. 싸이르트론의 방전이 발생하는 부분의 위부분을 확대하여 누적모드로 누적시켜서 변동되는폭을 측정하였다. 여기에서 측정된 변동폭은 0.31%이었다. 그림 5와 그림 6에서 측정된 전압 변동폭을 비교하면 기존의 모듈레이터 시스템보다 고전압 인버터 전원공급장치를 사용한 새로운 모듈레이터의 시스템이 전압변동율이 4.6배 이상 적다는 것을 알 수 있다.

3. 결론

포항가속기연구소에서 XFEL을 위한 K-linac 성능개선을 계획하고 있다. 전자를 가속하기 위하여 사용하고 있는 200 MW 펄스 모듈레이터를 기존의 방식에서 더 향상된 안정도를 얻기 위하여 고전압 인버터 전원공급장치를 도입하여 시험을 하였다. 시험 결과 기존의 전압 변동율은 1.425 %이었으며 고전압 인버터 전원공급장치를 이용하여 구현한 새로운 형태의 모듈레이터에서 얻은 전압 변동율은 0.31 %이었다. 기존의 모듈레이터 시스템보다 고전압 인버터 전원공급장치를 사용한 새로운 모듈레이터의 시스템이 전압변동율이 4.6배 이상 적다는 것을 알 수 있었다. 앞으로 실제 부하를 사용하여 시험 할 예정이다.

참고 문헌

- [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.