4세대 가속기 고정밀 고전압CCPS 개발

문용조*, 박성수*, 김상희*, 권세진*, 장성덕*, 이병준*, 이홍수*, 강홍식*,
황정연*, 김동수**, 이수영**, 신현석***, 장계용***, 노성채****

Development of high-precision high-voltage CCPS

Yong Jo Moon, Soung Soo Park, Sang Hee Kim, S.J. Kwon, S.D. Jang, B.J. Lee, H.S. Lee, H.S. Kang, J.Y. Whaung,
D.S. Kim, S.Y. Lee, H.S. Shin, K.Y. Jang, S.C. Roh
POSTECH, Pohang Accelerator Laboratory, Dawoon Sys. corp., POSCO ICT. corp., Donga Hitech. corp.

ABSTRACT

포항가속기 연구소에서는 4세대 가속기의 전자를 가속시키기 위해서 100ppm(0.01%) 이하의 고전압 안정도를 가진 200 MW 펄스 모듈레이터가 요구된다. 그러므로 본 연구소에서는 고전압 안정도를 가진 고정밀 고전압 CCPS를 일반 CCPS와 병행하여 산업체와 함께 공동 개발을 진행하였다. 개발된 일반 CCPS의 사양은 50 kV, 30 kJ/sec, 600mA, 1000ppm이하이고, 고정밀 CCPS의 사양은 50 kV, 5 kJ/sec, 100mA, 100ppm이하이다. 본 논문에서는 CCPS의 개발 및 실제 모듈레이터에 설치하여 시험한 결과를 발표하고자 한다.

1. 서 론

4세대 가속기에서 필요한 10GeV의 에너지를 얻기 위해서 200MW 펄스 전원공급장치 46set와 80MW 클라이스트론을 사용하여 전자를 가속시킬 예정이다. 0.01%의 PFN 전압 안정도를 달성하기 위하여 기존에 사용중인 Inverter Type의 고전압 전원장치에 추가로 고정밀 고전압 인버터 전원공급장치와 DSP 제어기를 설치하여 필요한 조건에 만족하는 고정밀 고전압 전원장치를 개발하여 테스트를 하였다.

2. 본 론

2.1. 4세대 모듈레이터 시스템

10GeV의 에너지를 가속하기 위한 선형가속기의 RF 전력 공급 장치는 46set의 모듈레이터 클라이스트론 으로 구성 예정이다.

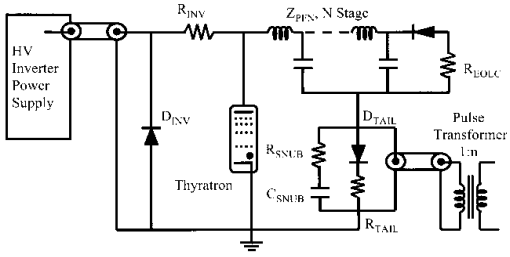


그림 1. 고전압 인버터 전원공급장치를 사용한 펄스 모듈레이터 회로

200MW 모듈레이터는 80MW 급 클라이스트론 증폭기의 전원공급장치로서 직류전원부, 충전부와 방전부로 나눌 수 있으며 첨두출력이 최대 400kV, 500A, 120pps, 펄스폭 8μs (ESW)의 펄스전원을 공급한다. 고전압 인버터 전원공급기로부터 공급받은 에너지를 PFN 캐패시터에 직접 충전시켜서 싸이라트론 스위치를 통하여 부하에 에너지를 전달한다. 80MW용 Toshiba E37320 클라이스트론과 Inverter HVPS를 사용한다. 요구되는 모듈레이터의 PFN 전압의 안정도는 0.01% 이내이다.

2.2. 고정밀 고전압 CCPS

4세대 가속기에서 사용하는 200MW 펄스 모듈레이터에 사용하는 고전압 전원장치의 구성은 30kJ/sec 4대, 5kJ/sec 1대, DSP 제어기 1대로 1set 구성된다.

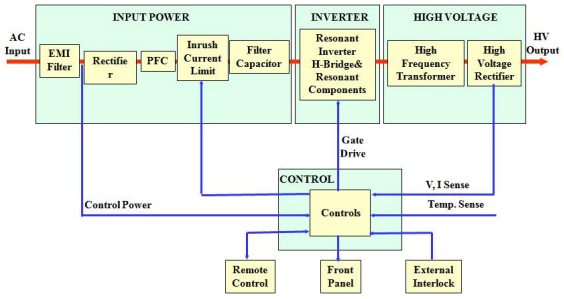


그림 2. 인버터형 고정밀 고전압 전원장치 내부 구성도

고전압 전원장치로부터 PFN 커패시터에 공급되는 전원공급장치의 출력 전력은 아래와 같다. 전원공급 장치의 출력 전력 Po

$$P_o = \frac{1}{2} V_{DC} I_{AV} = \frac{1}{\pi} \frac{V_{DC}^2}{Z} = f_r E_r \qquad (1)$$

이며, I_{AV}, I_P, E_r은 아래와 같다.

$$I_{AV} = \frac{2}{\pi} I_P \ , \ I_P = \frac{V_{DC}}{Z}, \ E_r = \frac{1}{2} C_r (2 V_{DC})^2 \qquad (2)$$

그리고 부하의 최대 전력 Pp, 평균 전력 Pav는 아래와 같다.

$$P_p = E / T_C, \ P_{av} = E / T_P \qquad (3)$$

여기서 T_p는 한 주기이며, T_c는 충전시간, T_D는 머무는 시간, T_d는 Dead time이다.

4개의 30 kJ/sec 및 1개의 5 kJ/sec의 전원공급장치를 T1까지는 30 kJ/sec 의 일반 전원장치와 5kJ/sec의 정밀 전원장치 모두 공급을 하고 T1 T2까지는 정밀 전원장치로 를 PWM 제어를 하고 T2 T3까지는 Regulation mode로 운전한다.

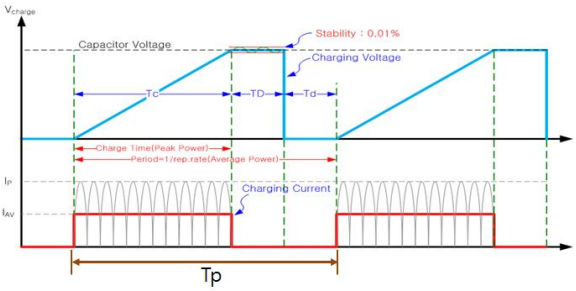
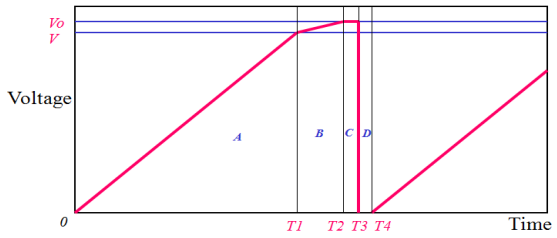


그림 3. 인버터형 고정밀 고전압 전원장치 충전 파형



Region A [0-T1]: coarse charging
Region B [T1-T2]: precision charging
Region C [T2-T3]: fine regulation
Region D [T3-T4]: dwell time for a switch recovery

그림 4. 고정밀 고전압 전원장치 충전 제어방법

2.3 고정밀 고전압 전원장치 시험

인버터형 고정밀 고전압 전원장치를 시험하기 위해서 기존의 200MW 모듈레이터 시스템과 동일하게 구성하였다.

그림 5. 인버터형 고정밀 고전압 전원장치 시험 설비

2.3.1 고정밀 고전압 안정도 측정

모듈레이터의 PFN전압의 안정도 측정을 하기 위하여 다음과 같이 측정장치를 구성 하였다.

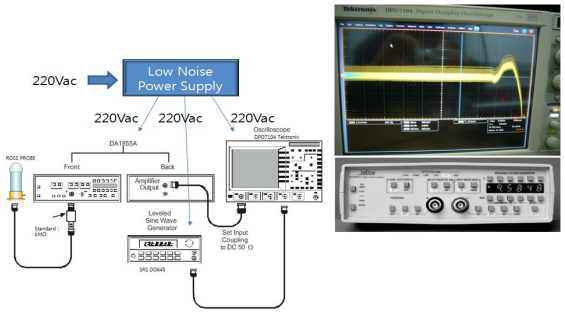


그림 6. PFN전압 안정도 측정 장치

그림 7은 약10분정도 PFN Capacitor에 충전되는 전압의 Stability를 측정한 결과이며 rms값으로 약 26ppm 정도로 측정 되었다.

그림 8은 PFN Capacitor 충전전압의 안정도를 10분씩 누적하여 20분 간격으로 7회 가량 측정하여 안정도가 비슷한 값이 나오는 것을 확인할 수 있었다.

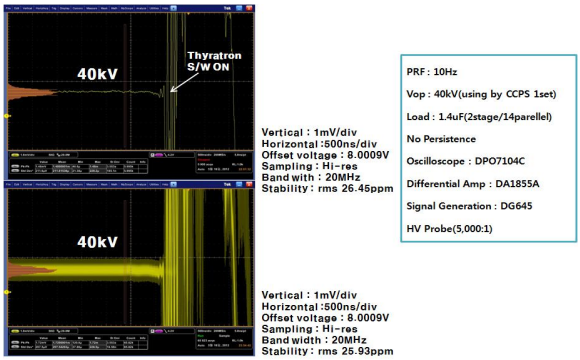


그림 7. PFN 전압 Stability 측정 파형

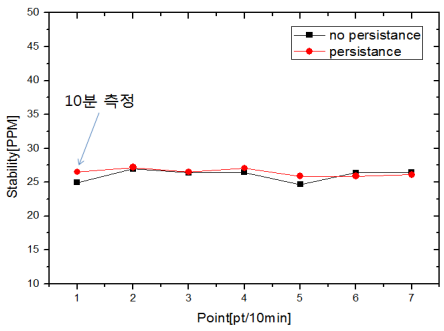


그림 8. 10분씩 누적하여 PFN 전압 Stability를 측정 (약 20분간격으로 측정함)

3. 결 론

포항가속기 연구소에서는 4세대의 전자를 가속하기 위해서 사용하는 모듈레이터의 성능향상을 위하여 고정밀 고전압 전원장치와 DSP 제어기를 개발 후에 기존 200MW 모듈레이터 시스템에 적용하여 성능시험을 하였다. 그 결과 PFN Capacitor의 충전전압 안정도는 4세대 가속기에서 요구되는 전압 안정도 100PPM(0.01%) 이내보다 좋은 30ppm 이하를 얻었다.

이 논문은 포항제철과 교육과학기술부의 부분적인 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

[1] J.S. Oh, S.S. Park, Y.J. Han, I.S. Ko, W. Namkung, "Design considerations for the stability improvement of klystron modulator for pal xfel," Proceeding of 2005 Particle Accelerator Conference, Knoxville, Tennessee, 2005, pp. 1165 1167.

[2] T. Shintake, T. Inagaki, K. Shirasawa, C. Kondo, T. Sakurai, "Compact klystron modulator for xfel/spring 8," Proceedings of IPAC'10, Kyoto, Japan, 2010, pp. 3287 3289.