

SCR 제어를 사용한 고전압 제어연구

문용조, 박성수, 김상희, 신승환, 황정연, 남상훈, 이치환*
포항공대 가속기연구소, *위덕대학교

Using a SCR Controller to High-Voltage Control

Yong Jo Moon, Soung Soo Park, Sang Hee Kim, Seung Hwan Shin, Jung Yeon Hwang,
Sang Hoon Nam, Chi Hwan Lee*
POSTECH, Pohang Accelerator Laboratory, *Uiduk University

ABSTRACT

포항가속기연구소에서 성능향상사업으로 2.5 GeV에서 3.0 GeV로 에너지를 증강하는 사업을 추진중에 있다. 선형가속기의 전자를 가속하기 위하여 필요한 에너지 공급 장치로서 RF 증폭기인 80 MW 클라이스트론과 200 MW 펄스 전원공급장치가 필요하다. 성능향상사업으로 전자를 가속하기 위하여 기존의 12set중 4set는 개조하고 4set는 추가하는 방안으로 16set의 200 MW 펄스 전원공급장치를 설치하여 운전 중에 있다. 그중 8set는 3상 AC/AC 위상제어 방식을 사용한 SCR 제어기의 출력을 승압트랜스퍼머 및 정류회로를 이용하여 고전압의 직류를 피드백 받아 일정한 펄스 전원을 공급하기 위해 설치후 시험 중에 있다. 펄스를 부하로 전달시 발생하는 노이즈한 환경에서 SCR Controller의 제어방식과 설치하여 시험한 결과를 검토하고자 한다.

1. 서 론

현재 포항가속기 연구소에서 필요한 200MW 펄스 전원공급장치는 16set중 8set는 새로운 방식의 전원공급장치를 사용하여 설치를 하였으며 8set는 기존 펄스전원공급장치의 SCR 제어기를 개선하였다. 모듈레이터의 내부에 노이즈가 많이 발생하는 환경으로 모듈레이터 폴트가 없는 상태에서 노이즈로 인하여 SCR gate가 hold되어 Turn off 되는 등 기타 이상한 현상을 발생하였다. 따라서 본 장치에서는 이러한 문제점을 개선하기 위하여 노이즈에 대한 대책을 강구한 SCR Controller를 설치하여 상제어 및 노이즈의 영향을 적게 하고자 한다.

2. 본 론

1.1 200 MW 모듈레이터 시스템

200MW 모듈레이터는 80MW 급 클라이스트론 증폭기의 전원공급장치로서 직류전원부, 충전부와 방전부로 나눌 수 있으며 침두출력이 최대 400kV, 500A, 120pps, 펄스폭 7.5 μ s (ESW)의 펄스전원을 공급한다. 직류전원부는 3상 480 Vac를 전원으로 부터 공급받아 SCR 모듈을 통하여 제어된 3상 480V 전압을 승압 트랜스퍼머를 사용하여 승압 후 정류기를 통하여 25kV, 7Adc 직류전원을 공급하는 부분이다. 충전부는 충전 인덕터, PFN용 캐패시터와 역전류 흐름을 방지하는 다이오드로 이루어진다. LC 자동공진충전에 의해서 PFN에 직류전원 전압

의 2배로 충전이 되며 충전된 전압은 대용량 싸이라트론 스위치를 통하여 부하인 80 MW 클라이스트론에 펄스 트랜스포머를 통하여 펄스 전력이 전달된다. 그림 1은 200 MW 모듈레이터의 회로도 이다. [2],[3]

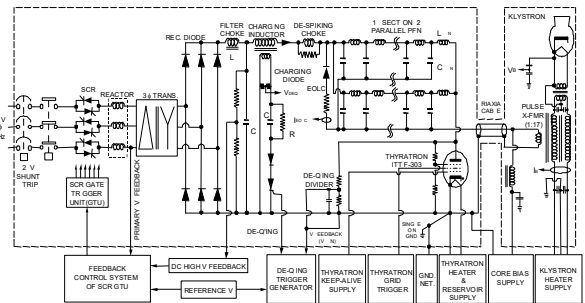


그림 1. 200 MW 모듈레이터 회로

1.1.1 교류 위상제어

3상 480 V 교류의 위상제어를 통하여 교류전압의 가변하여 원하는 고전압을 얻는 장치로 6개의 SCR 모듈, Gate Trigger Unit 및 제어기로 구성된다. SCR 모듈은 전원과 부하 사이에 직렬로 접속하며 요구되는 출력이 되도록 위상제어가 행하여진다. 제어기로부터 생성된 트리거 신호 R, S, T 상에 SCR gate 신호를 공급하고 있다. 전류 CT(400A/0.05A) 신호와 위상제어된 SCR SEC 출력 전압을 PT(600/110V) 을 검출하고 모니터링을 위해 제어기에 연결하였으며 상제어한 전원을 480 Vac/19000 Vac로 승압하는 승압 트랜스퍼머를 통하여 승압후 정류회로를 이용하여 고전압 직류전압을 얻는다.[1]

요구되는 직류 전압과 기준전압을 비교하여 Feedback 제어를 하고 있으며 장치의 이상으로 발생하는 과전류의 값을 설정하여 Gate hold를 하고 있다. 여기에서 요구되는 고전압 안정도가 약 0.5 % 이내이며 60Hz 동기 신호는 R상 전압으로부터 만들어 지고 동기용 광 출력으로 제어기에 전송된다. 그림 2는 AC 위상제어를 위한 SCR 모듈 결선도이며 그림 3은 SCR 제어기의 블록도를 보여준다.

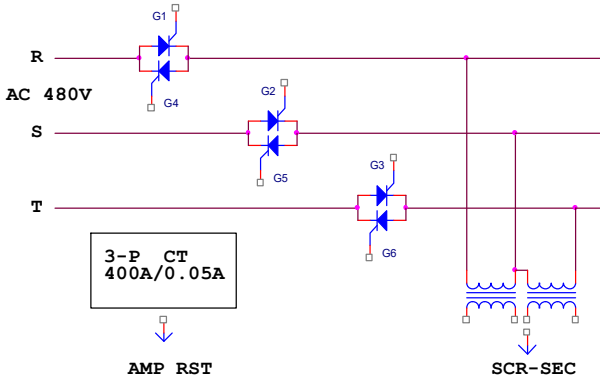


그림 2 AC 위상제어 스위치, SCR 접속도

1.1.2 제어기 블록도

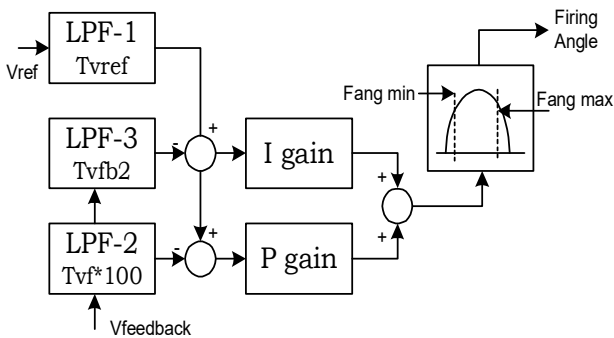


그림 3 제어기 블록도

일반적인 위상제어기는 목표량의 피드백과 비례 적분 PI 제어로 행해지며, 위상 도통각이 출력된다. 3상 교류 위상제어는 도통각이 30~150도 사이로 결정되며, 부하의 L성분에 따라 줄어 들 수도 있다. 본 장치는 피드백 신호를 노이즈가 많이 발생하는 환경에서 약 12M 거리에서 전송 받으므로 큰 노이즈가 유발될 수 있다. PI 제어부는 3개의 LPF를 사용하여 노이즈의 영향을 최소화 유지토록 구성한다.

1.1.3 제어기 파라미터

제어기의 동작을 결정하는 파라미터는 모두 변수로 설정되고, 엔코더 휠로 수정할 수 있다.

a. 기준전압의 잡음을 제거하는 저역통과 필터 LPF 1은 Tv_{ref} (default 65)로 결정된다. $F1 = Tv_{ref} * 0.012$ [Hz]

b. 피드백 전압은 두 단계의 LPF가 적용되며, P제어에 관여하는 LPF 2는 파라미터 $Tv_{fb} * 100$ (default 50)로 결정된다. $F2 = Tv_{fb} * 1.2$ [Hz] 120[Hz]로 최소값이 설정되며 LPF 2 출력은 P제어 입력과 LPF 3 입력으로 사용된다.

c. 적분 I 제어 입력은 충분히 안정된 피드백 전압을 얻기 위해 LPF 3를 추가하고 파라미터 Tv_{fb2} (default 12)로 결정된다. $F3 = Tv_{fb2} * 0.012$ [Hz]

d. P gain 은 파라미터(13)(default 100)이며 입력전압 10V 기준에 대해 실제로 작용하는 이득은 다음과 같다. $P_{이득} = P_{gain} * 0.122$ 이며 위상각에 따른 비선형을 보상하기 위해 위상각이 108도 보다 작아질 경우 점차적으

로 Pgain 은 증가하여 위상각 53도에서 최대 3배가 된다. Pgain의 변화는 DISP MD=1에서 관측할 수 있다.

e. I gain 은 파라미터(14)(default 5)이며 입력전압 10V 기준 Ti 시정수 = $0.65/I_{gain}$ [s]

f. P+I의 출력값은 SCR 도통각으로 변환된다. 이때 도통각은 파라미터 Fang min(default 230) 및 파라미터 Fang max(default 700)으로 제한된다. $Firing\ angle = 360 * Fang_min / 1666$ [도]

1.1.4 DSP

제어용으로 사용하고 있는 DSP는 32 bit ARM 코어를 사용한 Cortex M3 STM32F103VC 이다.

System Power supply 1.8 V regulator POR/PDR/PVD Xtal oscillators 32 kHz + 3 ~25 MHz Internal RC oscillators 40 kHz + 8 MHz Internal multispeed ULP RC oscillator 64 kHz to 4 MHz PLL Clock control RTC/AWU SysTick timer 2x watchdogs (independent and window) 37/51/80/112 I/Os Cyclic redundancy check (CRC)	ARM Cortex-M CPU 24 to 72 MHz Nested vector interrupt controller (NVIC) JTAG/SW debug	Up to 1-Mbyte Flash memory Up to 96-Kbyte SRAM FSMC/ SRAM/NOR/NAND/CF/ LCD parallel interface 84-byte backup data
Control 2x 16-bit motor control PWM Synchronized AC timer 10x 16-bit timers	AHB bus matrix 12-channel DMA	Connectivity Consumer electronics control (CEC) 2x I ² S 2x I ² C 2x CAN 2.0B USB 2.0 FS/OTG Ethernet MAC 10/100 with IEEE 1588 3x SPI SDIO 5x USART LIN, smartcard, IrDA, modem control
		Analog 2-channel 12-bit DAC 3x 12-bit ADC 21 channels/1 MSPS Temperature sensor

그림 4 DSP 구조

1.2 제어기 제작 및 설치

그림 5와 그림 6은 제작하여 설치한 GTU 보드와 SCR Controller 보드이다. 그림 7은 SCR Controller의 전면판을 보여주고 있다. 노이즈한 환경에서 Gate 펄스를 인가해야 하기 때문에 전기신호를 광신호로 바꿔서 펄스를 제어하고 있으며 바이어스 전원은 절연트랜스퍼머를 이용하여 절연을 하였다. SCR controller는 19" Rack에 설치하였으며 GTU board는 모듈레이터 내부의 SCR module이 가까이 설치되어 있으며 노이즈한 환경에 설치 되었었기 때문에 노이즈에 대한 대책이 요구되어 노이즈 저감용 필터를 사용하였다.

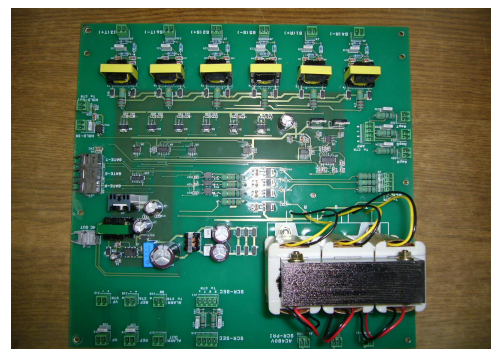


그림 5 GTU board

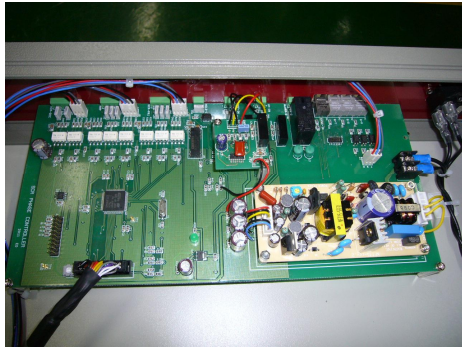


그림 6. SCR controller board



그림 7 제어기 전면부

1.3 SCR Controller 시험

그림 8은 고전압을 19 kV의 기준전압으로 인가 했을 경우의 R, S, T 각상 SCR 출력의 전류 파형이며 환산 비율은 50A/1V 이다. 그림 9는 동일한 고전압 19 kV의 기준전압에서 R상의 전압, 전류, 게이트 신호이다.

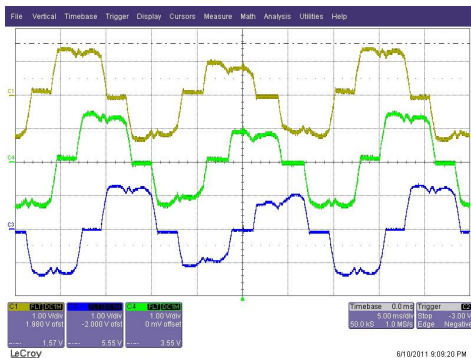


그림 8 19 kV 기준전압에서 SCR R,S,T 출력 전류

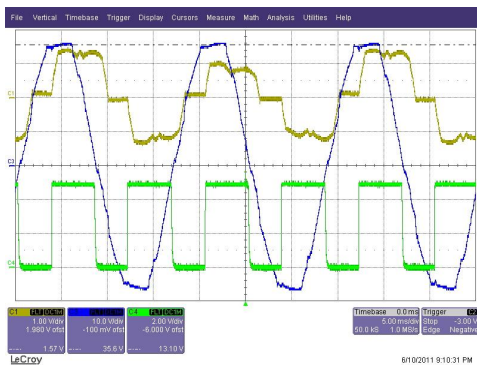


그림 9. 기준전압 19 kV에서 R상 전압, 전류, 게이트 파형

그림 10은 고전압 19 kV에서 3상 제어기의 출력을 정류한 후 펄스 성형회로의 커패시터에 충전된 전압의 출력 안정도를 측정된 파형으로 약 0.15 %를 얻었다.

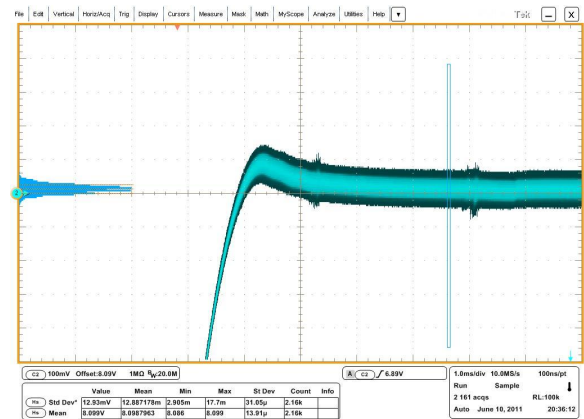


그림 10. 19 kV 기준전압 인가시 펄스 성형 저장장치에 충전된 전원의 전압 안정도(rms 12.93 mV, rms 값 8.099V, 0.1596%)

3. 결 론

포항가속기 연구소에서는 성능향상사업으로 전자를 가속하기 위하여 사용하는 모듈레이터의 성능향상을 위하여 기존의 SCR controller를 DSP제어기를 사용하여 제작하여 시험을 하였다. 시험 결과에서 본 것과 같이 요구되는 전압에 따라서 제어기가 잘 동작하였으며 특별히 요구되는 전압 안전도가 0.5% 이내보다 좋은 0.159 %를 얻었다.

이 논문은 포항제철과 교육과학기술부의 부분적인 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] N.G. Hingorani, "Power Electronics in Electric Utilities : Role of Power Electronics in Future Power System", Proceedings of the IEEE, Vol. 76, No. 4, pp. 481-482, 1988, April.
- [2] S. H. Nam, S. S. Park, S. W. park and Y. J. Han, "Klystron Modulator System Performance in PLS 2 GeV Electron Linac", IEEE Conf. Proc. 12th International Pulsed Power Conference, 1999
- [3] R. B. Neal, ed., *TheStanfordTwo MileAccelerator*, Q.A. Benjamin, New York, 1968.