

L-band 산업용 가속기 RF 증폭기의 전원장치를 위한 제어기 개발

권세진¹, 손윤규¹, 장성덕¹, 오종석¹, 조무현², 남궁원², 정기형³, 이경태⁴, 박상욱⁴
¹포항가속기연구소, ²포항공과대학교, ³물리기술연구소, ⁴(주)엠엔드케이

Klystron and Modulator Controller for L-band Industrial Accelerator System

S. J. Kwon¹, Y. G. Son¹, S. D. Jang¹, J. S. Oh¹, M. H. Cho², W. Namkung², K. H. Jung³, K. T. Lee⁴, S. W. Park⁴
 PAL¹, POSTECH², KAPRA PTL³, M&K⁴

Abstract - 포항가속기 연구소에서는 RIS 프로젝트 사업과제의 일환인 L-band 산업용 전자빔 가속기의 제작 및 기술개발 연구를 철원물리기술연구소 주관으로 수행하고 있다. L-band 산업용 전자빔 가속기는 전자빔에 의한 고분자개질 공정, 농수산물의 멸균 및 의료기기의 멸균 등에 적용이 가능하다. 포항가속기연구소에서는 10 MeV급 산업용 전자빔 조사장치에 적용되는 RF증폭기용 펄스 전원장치인 모듈레이터를 설계, 제작을 하였다. 펄스 전원장치인 이 모듈레이터 시스템은 평균 출력 60 kW, 펄스폭 7 us, 펄스반복율 300 Hz의 L-band 산업용 RF 증폭기 전원장치이며, RF 증폭기로 사용되는 클라이스트론은 Thales사의 TV2022D를 사용하였다. 본 논문에서는 펄스 전원장치인 모듈레이터의 운전과 인터록을 위한 제어장치의 개발과 제작에 대하여 논하고자 한다.

PFN 커패시터로 된다. 방전부는 에너지 저장 커패시터를 방전시키는 사이라트론 스위치와 펄스 변압기 1차회로가 된다. PFN 커패시터를 충전하기 위해 고주파 스위칭 방식의 정전류 전원을 사용하면 장치의 크기를 크게 줄일 수 있고, 고전압 스위치인 사이라트론의 안정적인 동작을 확보하며 별도의 제어회로 없이도 높은 전압 안정도를 얻을 수 있어 기존의 정전압 전원을 사용하는 공진 충전방식보다 유리하다. 인버터 전원의 한 대 용량은 30 kW로 8대를 병렬로 접속하였다. 인버터 전원은 부하의 개방이나 과전류, 과전압으로부터 장치를 보호하기 위한 보호기능을 가지고 있다. 표 2는 인버터 전원장치의 사양을 나타내었다.[1][2]

1. 서 론

산업용 전자빔 조사장치의 사용은 많은 부분에서 활용이 가능하다. 하지만 국내에서는 대부분의 장치가 외국에 의존하고 있는 실정이다. 철원물리기술연구소에 설치된 10 MeV 전자빔 가속기를 산업적으로 이용하기 위하여 전자빔 조사기를 개발하였다. 전자빔 조사 서비스는 식품 및 의류기구 살균, 반도체 제조, 고분자 재료 특성 개선 (전선, 타이어, 열수축튜브 제조 등), 신소재 개발, 폐수 및 토양 오염 제거 등 광범위한 산업분야에 활용되고 있다. 의료용 장비의 살균, 항공기나 스포츠 용품 등의 첨단 소재 개발, 토양 오염 제거 등에 이 조사시설을 활용하고 있고 전자빔 조사설비는 곡물 살충 및 발아억제, 식품 저장, 위생용품 살균, 의약품 및 의료용구 살균, 전력반도체 생산 등의 분야에 전자빔 조사설비를 응용할 수 있다. 이러한 산업용 전자빔 조사장치를 위한 RF 증폭기인 클라이스트론을 위한 전원장치인 설계된 모듈레이터의 소개와 이를 제어하는 장치에 대하여 논하고자 한다.

2. 본 론

2.1 모듈레이터의 설계

L-band 산업용 전자빔 가속기 RF 증폭기의 전원장치인 모듈레이터 시스템의 설계사양은 표 1 과 같다. 시스템의 설계요구 조건은 2 us 펄스폭의 평탄부를 가져지기 위하여 10단의 콘덴서와 인덕터로 조합된 PFN을 구성하였다. 부하로 전달되는 에너지의 양은 607 J, 최대운전 주파수는 350 Hz이다.

<표 1> 모듈레이터 설계사양

Peak voltage, kV	264
Peak current, A	230
Load impedance, Ω	1147.8
HV pulse length, us	10
Pulse energy, J	607
Repetition rate, kHz_max	350
Step-up ratio	13
PFN charging voltage, kV	45
PFN impedance, Ω	6.5
PFN section number	15
Charging resistance, Ω	100

2.1.1 모듈레이터

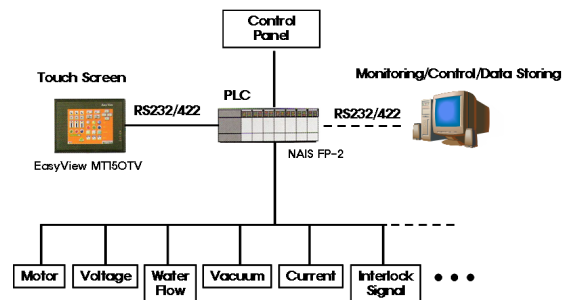
제작된 모듈레이터는 고전압 방식에 의해 직류전원을 얻는 방식이 아닌 고전압 인버터 전원을 채용함으로써 모듈레이터의 부피가 작아진 콤팩트한 사이드로 제작이 되었다. 모듈레이터의 펄스전원은 충전부와 방전부로 구분할 수 있고 충전부는 충전저항과 펄스 에너지를 저장하는

<표 2> 인버터 전원장치의 사양

Peak charging rate, kJ/sec	33
Maximum output voltage, kV	50
Average output current, A	1.5
Maximum duty, %	90
Average output power, kW	30
Resonant frequency, kHz	56
Resonant capacitance, uF	1.5
Resonant inductance, uF	5.3
Resonant impedance, Ω	1.8
DC bank voltage, V	520
Efficiency, %	>90

2.2 모듈레이터 제어 시스템

모듈레이터의 제어를 위한 제어시스템의 구성은 모듈레이터의 인터록 및 각종 데이터를 처리하는 PLC 부분과 이를 제어하거나 운전을 위한 명령과 각종 운전상태와 데이터를 표시하는 터치스크린으로 구성되어 있다. 또한 전체적인 운전 상황 등을 감시하거나 PLC로부터 데이터를 수집하여 데이터 베이스화 하는 제어용 컴퓨터로 구성되어 있다. 모듈레이터 제어를 위한 개략적인 구성도는 그림 1과 같다.

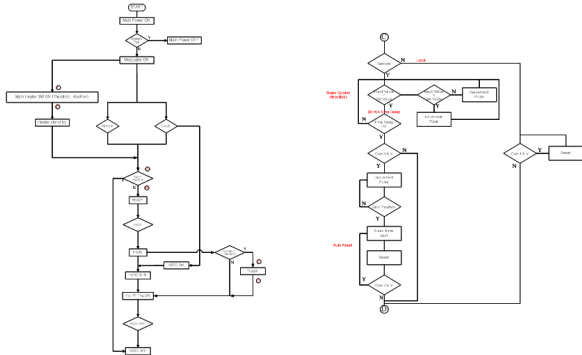


<그림 1> 모듈레이터 제어시스템의 구성도

2.2.1 제어용 PLC

제어용 PLC는 모듈레이터 운전에서 필요한 전체적인 인터록을 감시 및 처리도 수행함과 동시에 클라이스트론 히터, 사이라트론 히터 및 reservoir를 모터제어에 의해 자동조정이 가능하도록 프로그램 되어있다. 히터의 전류 설정값은 터치스크린에서 명령을 받아 상한값과 하한값을 계산하여 설정값이 될 때까지 정방향 및 역방향 펄스를 이용하여 모터구동에 의한 히터 전류값을 자동 조정한다. 또한 프로그램에서 과전류값을 검출하여 히터값을

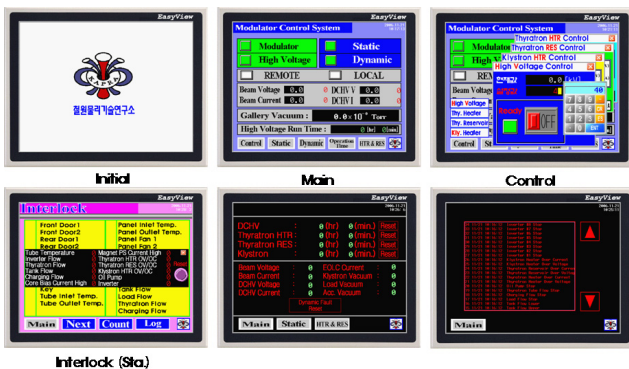
빠른 시간내에 0 A 로 낮춘다. 0 A 가 된 후 인터록이 해제 가 되면 다시 설정값에 도달할 때까지 자동조정이 되며, 과전류 및 과전압이 3번이상 검출이 되면 클라이스트론 히터의 운전 을 정지 시켜 운전자가 인터록을 직접해제 하도록 프로그램 되어있다. 이 제어 프로그램은 사이라트론 히터 및 reservoir 제어에도 동일하게 운전된다. 그림 2 는 모터를 이용한 제어기의 flowchart를 나타내었다.



〈그림 2〉 자동제어를 위한 Flowchart

2.2.2 운전용 터치스크린

모듈레이터 제어를 위한 PLC의 제어 프로그램은 모듈레이터 운전을 위하여 운전정지를 명령하고 운전자가 직접 확인후 인터록을 해제하는 static interlock 부분, DCHV 운전 시 진공 안전 등을 위한 dynamic interlock, 싸이러트론, 클라이스트론 히터의 제어를 위한 부분 등과 같이 크게 3 부분으로 나눌 수 있다. 터치스크린은 필드에서 전송되어진 data와 운전상황을 표시하고, DCHV 및 히터 제어의 명령값을 입력 및 운전의 시작과 멈춤, static interlock 등 각종 정보를 표시해 준다. 그림 3는 주화면, 제어, 인터록, 카운터 등 터치스크린 구성을 보여주고 있다.



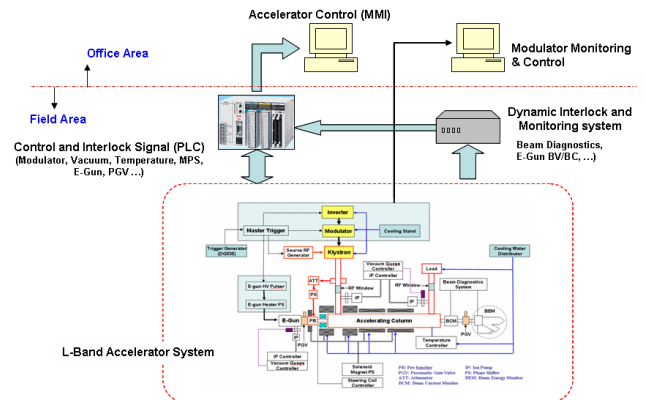
〈그림 3〉 터치스크린

감시용 컴퓨터는 PLC와 RS-232통신을 통하여 제어 상황과 데이터를 주고 받을수 있도록 되어 있다. 감시용 컴퓨터는 LabView를 이용하여 프로그램되어 있다. 제어용 컴퓨터의 LabView를 이용하여 모듈레이터의 운전 상황과 데이터를 감시할 수 있도록 프로그램화 되었다. 모니터상에 나타나는 데이터의 값들은 터치 스크린 값과 동일하게 표시되며, Static 인터록이 발생하였을 경우 운전자가 쉽게 인터록의 상태를 파악할 수 있도록 실시간으로 표시된다. 또한 제어용 컴퓨터에서는 모듈레이터의 DCHV를 ON/OFF할 수 있도록 하였으며, MySQL을 사용한 Database를 구축하여 수집된 데이터를 보다 쉽게 관리할 수 있도록 구성된다. 차후 철원물리 연구소 현장에 설치될 때는 PLC와 제어용 컴퓨터의 거리가 멀기 때문에 현재의 RS-232에서 RS-422 통신으로 교체할 예정이다.

2.2.2 가속기 운전을 위한 제어장치

가속기 전체 운전 제어는 모듈레이터 제어용 PLC와 동일한 PLC를 사용하여 모듈레이터 제어용 PLC를 하위 PLC로 사용하고 전체 운전 제어용 PLC를 상위 PLC로 구성할 예정이다. 상위 PLC는 다시 제어 및 감시용 컴퓨터를 사용하여 가속기 운전 에 필요한 모든 운전 및 데이터를 수집 및 저장이 가능하도록 구성한다. 그림 4 는 가속기 운전 제어를 위한 구성도를 나타내었다.

그림에서 dynamic 인터록 및 감시 시스템은 PLC에서 처리가 곤란한 신호들(Beam diagnostics, E-gun의 빔전압/전류 등)을 위한 것이다. 상위 PLC는 직접 모듈레이터 제어용 PLC의 데이터를 수집하거나, 제어할 수 있도록 구성된다. 이 상위 제어기는 모듈레이터 제어뿐만 아니라 E-gun의 고전압 펄서 및 히터 원장치, 가속관의 진공, 온도제어, 전자석의 전원 등을 감시 및 제어를 수행하며, 빔 조사를 위한 컨베어 벨트, 방사선 안전등의 인터록을 입력받아 가속기 운전 에 연동시킨다. 가속기 운전의 상황 및 운전이력은 가속기 제어용 컴퓨터를 통하여 감시하거나 저장시킨다.



〈그림 4〉 가속기운전을 위한 제어시스템

3. 결 론

L-band 산업용 전자빔 가속장치를 위한 RF 증폭기의 전원장치로 사용되는 모듈레이터의 설계와 제작 후 이를 운전하기 위한 제어시스템을 구성하여 운전하였다. 현재 모듈레이터의 시험을 진행 중에 있으며, 이러한 시험은 제작된 제어시스템의 운용에 의해 이루어진다. 가속장치를 위한 제어 시스템은 설계 제작 중에 있으며, 일부 프로그램은 진행중에 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 손운규 외, "대출력 고전압 35 kW, 50 kV, 인버터 전원장치 개발에 관한 연구," 대한전기학회 논문집 Vol.51B, No.11,NOV.pp628-634, 2002
- [2] 손운규 외, "대출력 고전압 35 kW, 50 kV, 인버터 전원장치 개발에 관한 연구," 대한전기학회, 하계학술대회 논문집 B, pp992-995, 2001