

EPICS를 이용한 가속기 RF 제어시스템 개발

윤종철, 박홍집, 이지원, 최진혁, 남상훈
 포항공대 포항가속기 연구소(Tel:0562-279-1410;E-mail:jc0927@postech.ac.kr)

EPICS Based RF Control System for PAL Storage Ring

J. C. Yoon, H. J. Park, J. Y. Lee, J. Y. Choi and S. Y. Nam
 Pohang Accelerator Laboratory, Pohang 790-784, Korea

Abstract - A new RF control system of Pohang Accelerator Laboratory (PAL) storage ring is a subsystem upgraded PAL control system, which is based upon Experimental Physics and Industrial Control System (EPICS). There are 5 control components, Low Level RF System (LRS), Klystron System, Circulator System, Cavity System, Local Cooling Water System (LCW) at the storage ring of PAL. The new RF control system for the storage ring has been under development for one years, first versions of individual VME (Versa Module Europa) Input/Output modules under construction and system integration begun. In this system, VMEbus-based hardware is widely used for front-end controllers (FDS), Input/Output controller (IOC). A number of Programmable Logic Controller (PLC) and SUN workstations are also used for Operator Interfaces (OPI) in the control system. This paper describes the development VME I/O module to the new control system and how the design of this new system.

2. 본 론

2.1 RF 제어시스템 개요

고주파 가속장치에서 제어 및 측정(감시)해야 할 장치는 Cavity, Coaxial Switch, Circulator, Klystron, Low Level RF System(LRS), 진공 Gauge, Local Cooling Water (LCW) 제어장치가 있다. Cavity는 주로 body 온도와 LCW 온도 및 유량, 진공 gauge를 이용하여 cavity 내부의 진공을 측정하고 있다. Coaxial switch는 실험을 위해 RF power를 dummy load로 전환하기 위해 있으며 switch의 위치(cavity, dummy load)를 감시한다. Circulator는 cavity에서 반사되는 RF power로부터 Klystron을 보호하기 위해 있으며, 반사되는 RF power를 Circulator에 설치되어 있는 dummy load로 보낸다. Circulator에서는 내부에서 발생하는 arc를 감시한다. Klystron은 자체 보호를 위한 장치가 있어 RF 제어 시스템에서는 상태를 감시하고 이상이 발생시에는 reset 하는 기능을 수행하며 원격제어는 klystron의 운전상태(off, black heat, standby, transmit)를 제어 한다. LRS는 Klystron, Cavity, beam의 상태에 따라 RF power, phase를 hardware level에서 제어를 하며 Cavity, Klystron, beam의 연동상태를 감시한다. RF 제어 시스템에서는 LRS에서 측정된 장치의 상태와 cavity의 RF power, phase, tuner status, trip status등을 감시하며 LRS의 reference signal을 제어 한다. 현재 LCW 제어장치는 cavity cooling 온도를 일정하게 유지하기 위하여 PLC를 이용하여 제어하며 PC(WIN2K)를 이용하여 원격제어 및 감시를 하고 있다. cavity의 LCW 온도 및 flow rate, cavity body 온도는 HP data logger를 이용하여 RS232c로 RF 제어 시스템에서도 측정하고 있다. 그림 1은 RF 주요 장치와 제어 장치에 대한 구조를 보여 주고 있다.

1. 서 론

포항 가속기 연구소(PAL)의 방사광 제어를 위해서는 가장 중요한 것 중의 하나가 고주파 가속장치(RF)의 제어 및 측정이다. 가속기 RF 제어시스템의 성능개선을 위한 기술적인 검토와 여러 형태의 최신제어 기술에 대한 적용을 고려하여 현재의 가속기 RF 제어를 위한 보다 효율적인 시스템을 고찰하게 되었다. 기존 적용되고 있는 VMEbus 구조에 REAL-TIME Operating System인 OS-9 사용에 대한 다양한 의견과 문제점을 도래하는 경우도 발생하고 있었다. 크기는 빠르게 성능이 좋아지는 CPU의 원활한 교체가 쉽지 않고, 다양한 VME I/O board의 적용 및 응용프로그램 개발이 한정되어 있어 디바이스 변동 시 개발이 쉽지 않는 점등이 발생했다. 가속기 제어시스템은 주로 VMEbus구조에 68K 계열의 CPU를 사용하고 있다. 그래서 기존 VMEbus하드웨어 구조에 CPU는 68K에서 Power PC로 성능 향상된 SBC(Single Board Computer)를 사용하고 기본 OS는 Real-time OS (RTOS)인 VxWorks로 변경하기로 하였다. 또한 RF 각종장치의 제어를 위한 상용 VME I/O board를 고주파 가속장치의 제어 및 측정에 적합한 VME I/O board 및 Signal Condition Units (SCU)를 자체 개발하기로 하였다. 본 논문은 RF 장치에 대한 개요와 RF 제어시스템의 자체 개발한 VMEbus Analog/Digital Board의 기본적인 하드웨어 구조 및 driver 소프트웨어에 대해서 간략하게 서술하고, 또한 RF 제어시스템 구성 대해서 기술한다. 현재 가속기연구소에서는 EPICS를 제어 시스템에 적용하기 위하여 EPICS를 제어시스템에 적용 개발하고 있다. VMEbus 기반의 PowerPC를 Main Board로 적용된 VxWorks RTOS운영체제 하의 EPICS IOC 및 OPI를 개발 적용할 예정이다. 본 논문에서는 개발진행중인 RF EPICS IOC 구성과 개발된 VMEbus I/O board에 대해서 소개하고 개발진행중인 IOC 소프트웨어 구조에 대해서도 기술하고 있다.

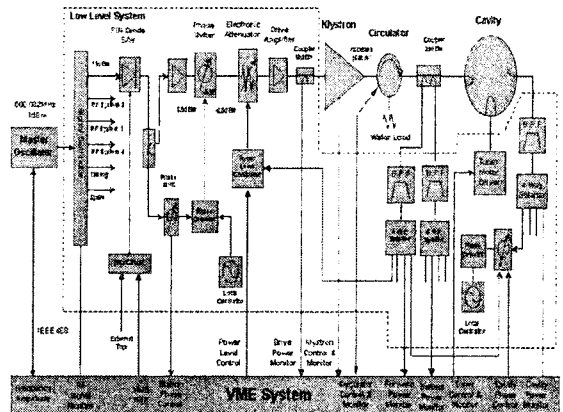


그림 1. RF 시스템 구성도

2.2 제어시스템 하드웨어 구성

그림 2는 RF 제어시스템 구성도를 보여주고 있다. 한대의 SUN workstation은 현장 RF 빌딩에 있는 RF IOC와 100Mbps의 LAN으로 연결되어 RF Control Component & Monitor signal을 윈도우 처리 하는 OPI로 사용된다. 한대의 PC는 현장 RF cavity cooling 온도를 일정하게 유지하기 위하여 PLC를 이용하여 원격제어 및 감시를 하고 있다. SUN은 또한 일정한 간격으로 획득한 데이터의 저장 및 처리를 위한 데이터베이스 매니저와 연동되어 구동되고 있는 서버 역할을 한다.

RF IOC는 현재는 4개의 FDS RF 시스템으로 구성되어 운영되고 있으며, 향후 1 시스템이 더 추가 되어 5개의 시스템으로 구성될 예정이다. RF IOC는 기본적으로 VMEbus 하드웨어 구조로 구성되어 있으며, 하드웨어 구성은 그림과 같이 VME Crate (21 Slots VME Create, Remote Power Control & Monitor) : 1 EA, Power PC Main Board (MVME5110) : 1 EA, Analog Input Board (16bits,32Ch) : 5EA, Analog Output Board(12bits,32ch) : 2 EA, Digital Input Board (HVMEDIO64T,64bits, TTL I/O) : 5 EA, Digital Output Board (HVMEDIO64T, 64bits, TTL I/O) : 2 EA, VME GPIB Board : 1 EA, VME Serial Communication Board (8 Channel) : 1 EA, 해당 VMEbus Board 별 Signal Condition Module : 8 EA, 해당 VMEbus Board 별 Transition Module : 8 EA로 구성되어 있다. 상위의 Console의 OPI 및 Automatic gain control loop의 자체 프로그램에 의해서 상시Cavity Level, Phase 등을 측정하고, 그에 알맞은 feedback 알고리즘으로 제어 되고 있다. RF Control System은 Local에 의한 제어가 불가능하고, 항상 상위의 모든 알고리즘 프로그램 및 모니터 프로그램이 VME의 Data Acquisition을 거쳐야 하기에 VME System의 이상 시 전체 RF System의 운영 또한 불가능 하다. 그러므로 안정된 RF 제어 System의 구성은 무척이나 중요한 일이다. 그래서 VMEbus analog/digital I/O board를 가속기 FDS RF장치에 가장 적합하게 자체 개발하였고 RF IOC에 적용할 계획이다. 서버용 SUN에는 솔라리스 OS하에 다른 저장링 장치 제어시스템 서버와 LAN 통하여 연결되어 있으며, RTOS인 VxWorks기반의 EPICS BASE IOC가 설치되어 있으며, IPC(Inter Processor Communication)에 의하여 IOC Server 및 TCP/IP MODBUS Server 역할을 한다.

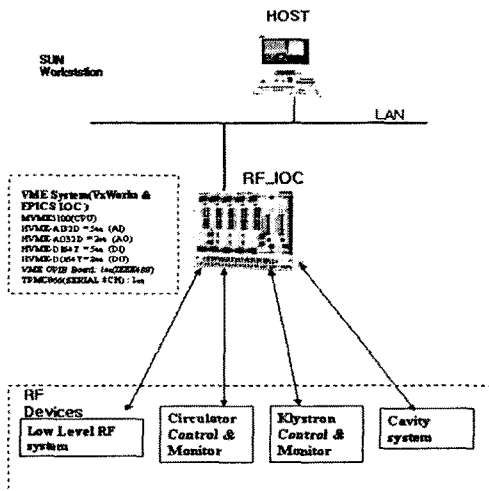


그림 2. 저장링 RF 제어시스템 구성도

2.3 Digital In/Output Board 구조

본 장치 (보드)는 VMEbus 인터페이스 규격의 Digital Input 및 Output 신호 처리용 보드로 8 비트 단위로 Input 또는 Output으로 설정하여, 전체 64 비트의 TTL 신호를 VMEbus를 통하여 상태를 읽어들이거나 개별로 출력을 제어할 수 있도록 구성되었다. 장치 사양 및 주요 기능으로 입출력 신호 채널 수는 64 채널 (비트)이며 입출력 설정 방법은 8 채널 (비트) 단위로 보드 내부 핀 점퍼에 의한 설정(총 8 블록 구성)가능하다. VMEbus 인터페이스는 A16/D16 또는 A16/D08(EO) Slave Read/Write Data Transfer 모드가 가능하고 보드 Address 사이즈는 256 Bytes (실제로는 8 Bytes 만 사용)이다. 개별 신호 입출력용 콘넥터는 64핀 DIN41612 Male 콘넥터 (전면판) 2 개로 구성되어 있다. VME DIO board용 SCU(Signal Condition Units)는 표준의 VMEbus DIO 보드를 가속기연구소에 현재 설치된 LRS 시스템을 비롯한 전체 저장링 RF용 신호와 원활하게 접속할 수 있도록 신호의 전단 처리를 해주기 위한 용도로 개발된 모듈이다. 제어용 신호는 VMEbus DIO 보드에서 받아들이는 동일한 사양의 TTL 신호를 각 Field 제어 신호가 요구하는 형태 (접점 신호, 12V 승압 신호 등)로 변환해주는 기능을 주로 하게 된다. 감시용 (모니터링) 신호는 각기 다른 형태로 입력되는 Field 신호를 전처리한 다음, 동일한 사양의 TTL 신호로 변환하여 VMEbus DIO 보드에 전달해주는 기능을 하게 된다. 그러므로, 모든 Field 신호의 사양이 확인된 다음 이에 맞추어 SCU 모듈을 각 신호에 최적화된 형태로 구성하여 제작하게 된다.

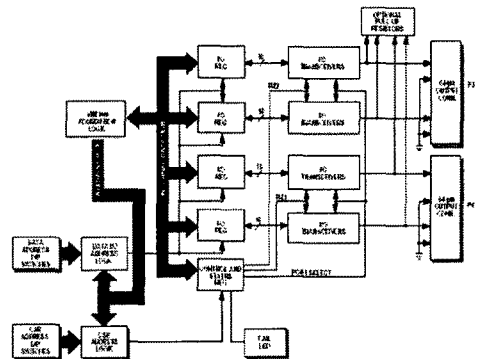


그림 3. Digital In/Output VMEbus Board 구성도

2.4 Analog Input Board 구조

본 장치는 VMEbus와 전기적으로 Isolation된 32 채널 16비트급의 정밀도를 갖는 Analog Input 보드로 +10 ~ -10V의 차동 입력형 전압 신호를 인가 할수 있다. 그리고, 모든 출력용 변환 데이터와 제어용 데이터가 VMEbus Master와 RS422 통신 Master에 동시에 접속 가능한 이중화 구조로 설계되어 고신뢰성이 요구되는 가속기 RF 시스템에 적합하도록 설계되었다. 장치의 사양 및 주요기능으로 아나로그 입력채널수는 32 채널 (차동입력), 입력범위는 0 ~ +10V, 변환정밀도는 2 LSB max @ 16 비트 ADC, 신호변환 속도는 2.73 ms @ 32 채널변환 (366 Hz 주기)을 가진다. 보드 내부의 정밀 클럭에 의하여 전체채널의 신호가 일정 주기로 자동적으로 A/D 변환되어 8 비트급의 프로세스에 의하여 VMEbus와 별도로 변환된 데이터를 RS485 직렬 통신성을 통하여 읽어 들일수 있다. 직렬 통신(UART)의 최대 전송속도는 460.8kbps인 Full Duplex RS485포토가 설치되어 있다. 고속의 Photocoupler와 DC/DC converter를 이용하여 보드의 Logic 처리부(VMEbus 포함)와 전체 아나로그 블록간의 Galvanic Isolation을 실현 하였다. 그림 4.는 이보드의 장치 구성 블록도를 보여 주고 있다.

2.5 시스템 소프트웨어 개요

EPICS는 BASE와 Extension 부분으로 구분된다. Base는 Target hardware에서 실행되는 하나의 응용 프로그램이며, IOC (Input/Output Controllers) 소프트웨어라 칭한다. IOC EPICS의 기본이 되는 것은 Software Component들의 집합이라 할수 있다. Channel Access, Sequence, Monitors, Database, Record Support, Device Support, Device Driver 등의 Component Software Layer로 구성 되어진다. 각 Component들이 모여서 IOC를 구성하며 해당 IOC에 record, device support, device driver를 link시켜 하나의 EPICS IOC 응용프로그램이 생성 되는 것이다.

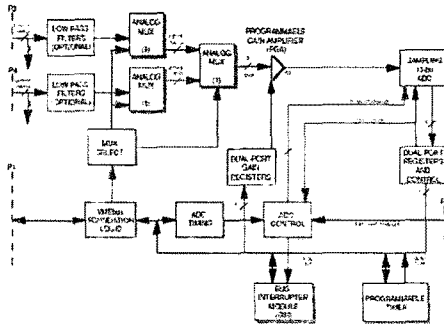


그림 4. Analog Input VMEbus Board 구성도

2.6 RF EPIC IOC

그림 5은 RF 시스템에 적용된 IOC 소프트웨어 및 응용 프로그램을 보여주고 있다. EPICS base는 IOC 응용 프로그램들의 모음으로서 IOC 하드웨어를 직접 제어 하기위하여 device driver software가 필요하다. 일반적인 VMEbus I/O Board에 대한 EPICS Device support Driver는 해당 사이트에 공개되어 있다. 가속기 RF 제어 시스템으로 개발된 VMEbus I/O board에 대한 vxWorks5.4 device driver software 및 EPICS Device support Driver는 업체와 공동 개발하여 사용할 예정이다. EPICS software 구조는 독립적으로 데이터를 저장할수 있는 client/server 구조이다. 이 구조에서 channel access server가 IOC가 되고 channel access client가 OPI가 된다. 그래서 RF IOC processor의 EPICS OPI client access 뿐만아니라 일반 산업용 OPC(OLE for process control)가 제공되는 산업용 HMI(Human machine Interface) tool를 이용하여 사용자 환경에 맞게 데이터를 처리할 수 있도록 MODBUS TCP Server가 지원되도록 하였다. Object oriented 구조인 MODBUS TCP object를 사용하면 Client에서는 프로그래밍 코딩을 할 필요 없이 필요로 하는 Tag선언만으로 쉽게 응용프로그램을 구현할 수 있다. 그리고 IOC processor는 EPICS 표준 record인 AI(Analog Input), DI(Digital Input), DO(Digital Output) record를 사용하여 RF 제어 componet에 일치하도록 구현 하였다.

2.7 RF OPI

EPICS는 OPI base tool을 제공하며, OPI 파일은 extension 파일이라 한다. OPI는 크게 두 개의 그룹으로 나뉘지며 channel access를 하는 channel access tool group과 channel access를 하지 않고 데이터 베이스를 설정하여 디스플레이 화면을 에디터하는 그룹으로 나뉘진다. channel access tool은 IOC를 실시간 감시하고 제어 하는 real-time tool로서 MEDM, DM, ALH, SEQUENCE등이 있다. RF OPI는 SUN Workstation의 Solaris OS하의 EPICS OPI tool인 MEDM를 사용하여 RF IOC에서 channel access 한 여러형태의 제어 및 모니터 신호를 화면에 구성 하도록 할 것이다.

3. 결 론

EPICS를 이용한 새로운 RF 제어 시스템을 개발 하기 위하여 EPICS 개발환경인 EPICS IOC Base 및 OPI Extension 소프트웨어 설치 완료되었다. 주 메인 보드인 PowerPC의 vxWorks BSP(Board Support Package)의 설치, 그리고 자체 개발한 VMEbus I/O board의 시제품이 개발 완료되어 device support 및 device drive 프로그램을 개발 진행중이다. 현재 가속기 RF 제어시스템으로 운영중인 기존 시스템에서 요구되는 성능향상을 위한 개선사항이 하드웨어 및 응용 프로그램에 적용될 것이다. EPICS를 이용한 새로운 RF 제어시스템의 개발을 위한 전용 VMEbus I/O board의 적용등은 당 연구소의 범 운전 개선의 일확이 될것으로 보며, 유사한 연구소의 EPICS 적용 사례에 기술적인 도움이 될것으로 본다. 향후 개발 진행중인 하드웨어의 현장 설치 및 EPICS RF IOC 응용소프트웨어의 개선 적용은 계속 될것이며, 현장 운영 설치 및 연동시험은 하반기에 적용 할것이다.

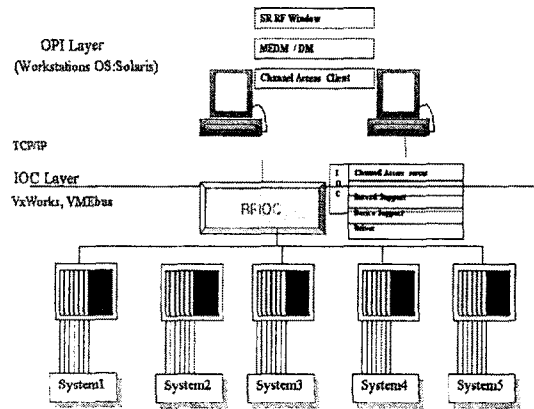


그림 5. RF 제어시스템의 소프트웨어 구성도

[참 고 문 헌]

- [1] Weimin Li, Jingyi Li, Gongfa Liu, and Caozheng Diao, "The Control System of HLS", Proceeding of the 2001 Particle Accelerator Conference, Chicago
- [2] Marty Kraimer, "EPICS Input/Output Controoler(IOC) Application Developer's Guide",
- [3] 윤종철, 이진원, 황정연, 남상훈, "EPICS를 이용한 가속기 진공장치 감시 시스템 개발" 2002하계전기학회, D-권, pp 2344, July 10-12, 2002