

전기철도용 실시간 급전시뮬레이터 제작

Manufacture of Real-time Power Simulator for Electric Railway

장동욱† 정상기* 김형철**
Jang, Dong-Uk Chung, Sang-Gi Kim, Hyol-Chul

ABSTRACT

Recently, the high speed train was operated and then the train system's reliability requirements are growing more and more. The exact prediction simulation is necessary in the design of power feeding system by the increase of railway electrification. In order to develop the AC feeding system analysis technology, real-time power simulator was manufactured. It is composed to eight channels analog input, forty channels analog output and forty-eight channels digital I/O. The size of simulator rack is 19 " and the two I/O boards are installed the PXI chassis built into the real time OS. The signal I/O is possible through BNC connector. The test results of manufactured simulator are obtained that the error range of analog I/O signal is below 1 % and simulation condition is set to 1 ms and the simulation output of the analog output compares the results of the simulator.

1. 서론

고속전철의 등장으로 열차의 동력원을 제공하는 급전시스템의 신뢰성 요구가 점점 높아지고 있고, 전철화 구간의 확장으로 급전시스템의 설계에도 정확한 예측계산이 필요하게 되었다. 계통의 운영 중 단락 사고 등의 신속한 해석 및 대처가 미비한 실정이고 전력기기의 개발과 그 제어방법의 발달로 최신 기기들의 적용이 급전시스템에서 이루어지고 있으나 이를 실계통에 적용하여 실증시험을 하기에는 열차 운영에 지장을 초래할 수 있어 어려운 실정이다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 실제 급전시스템과 동일하게 모의할 수 있는 실시간 시뮬레이터의 구축이 필요하다. 시뮬레이터의 요구 사양은 국내 전형적인 전력공급시스템 구성과 실시간 시뮬레이션 응용시 최대한 빠른 응답을 요구하는 보호계전시스템 특성을 고려하여 32 node 시스템에서 1 ms의 실시간 시뮬레이션이 가능한 사양을 최소요구사양으로 구성하였다. 전기철도 시스템의 급전계통을 실시간으로 시뮬레이션 하여, 계전기의 성능을 측정하기 위한 것으로 LabVIEW real time OS을 이용하여 analog input 8채널, analog output 40채널, digital I/O 48채널을 제어·계측할 수 있도록 제작하였다. 급전시뮬레이터의 패널의 하드웨어는 전체 랙크기는 19 " 으로 제작하였으며, 실시간 시뮬레이션을 하기위해서 PXI 샴시에 real time OS가 내장되어 있는 하드웨어를 장착하였다. 각 종 신호입출력용 I/O 보드가 사용되었으며, 신호입출력은 BNC 컨넥터를 통하여 이루어진다. 제작한 급전시뮬레이터의 성능을 확인하기 위해서, 아날로그신호 입력 및 출력신호를 확인하여 입출력 값이 1 %의 오차범위 이내인 것을 확인하였다. 또한, MATLAB SIMULINK를 이용하

† 책임저자 : 정희원, 한국철도기술연구원, 집전전력연구실, 선임
E-mail : dujang@krii.re.kr

TEL : (031)460-5412 FAX : (031)460-5459

* 정희원, 한국철도기술연구원, 집전전력연구실, 수석

** 정희원, 한국철도기술연구원, 집전전력연구실장

여 구성한 교류급전시스템에 대해서, 시뮬레이션 조건을 1 ms로 설정하여 시뮬레이션 출력결과와 실시간 급전시뮬레이터의 아날로그 출력결과를 비교하였다.

2. 본론

급전시뮬레이터는 전기철도 시스템의 급전계통을 실시간으로 시뮬레이션 하여, 계전기의 성능을 측정하기 위한 것으로 LabVIEW real time OS을 이용하여 analog input 8채널, analog output 40채널, digital I/O 48채널을 제어·계측할 수 있도록 제작하였다.

2.1 소프트웨어 및 하드웨어 구성

실시간 급전시뮬레이터에 사용한 소프트웨어 및 하드웨어는 제작된 시뮬레이터 랙의 PXI 시스템에 설치된다. 아날로그 신호 입출력과 디지털 신호 입출력을 위해서 2개의 I/O 보드를 사용하였으며, 이 보드는 PXI용 컴퓨터에 설치된다. 사용한 소프트웨어는 LabVIEW 및 MATLAB simulink를 이용하였다.

급전시뮬레이터는 AC 220 V(50~60 Hz)를 사용전압으로 하며, 사용온도는 0~50 ℃, 습도조건은 5~90 %이다.

2.2 하드웨어 구성도

급전시뮬레이터의 패널의 하드웨어는 그림 1과 같이 구성되어 있으며, 전체 랙크기는 19"로 제작되었다. 실시간 시뮬레이션을 하기위해서 PXI 샷시에 real time OS가 내장되어 있는 하드웨어를 장착하였으며, 각 종 신호입출력을 위한 I/O 보드가 그림 2와 같이 설치되어 있다.

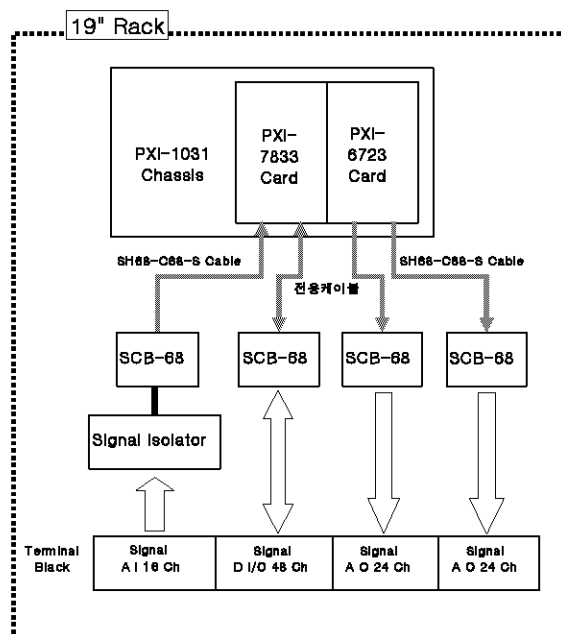


그림 1. 급전시뮬레이터 구성도

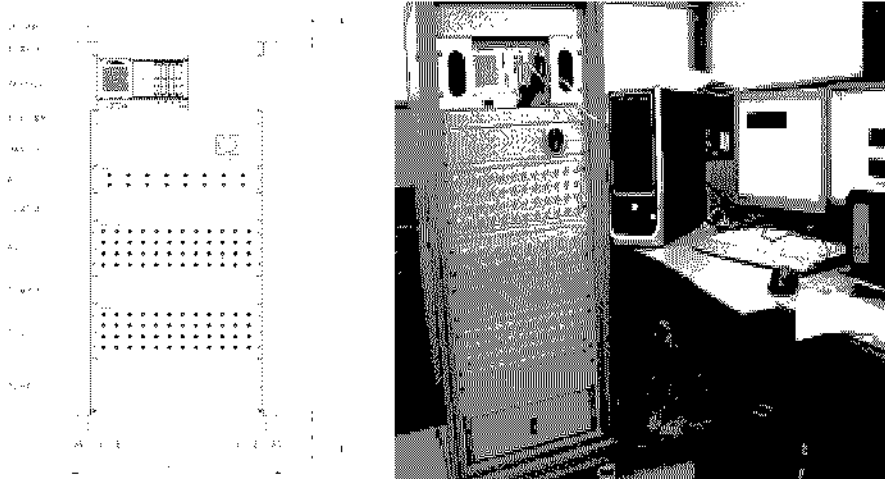


그림 2. 19"rack 단면도(정면) 및 제작된 급전시뮬레이터

2.3 입출력 구성

2.3.1 Analog Input

아날로그 입력 채널은 총 8개이며, 신호입력 범위는 ± 10 V이다. 장비보호 및 신호의 안정을 위해 Signal Isolator를 설치하였다. 단자는 BNC 타입 컨넥터를 사용하며 (-)단자가 별도 인 것을 사용하였다. 향후 Analog Input 8채널이 추가 설치될 수 있도록 BNC 출력, 터미널 블록 및 Isolator에 대한 여유의 공간을 마련하였다.

2.3.2 Signal Isolator

아날로그입력 채널마다 signal isolator를 설치하여 I/O보드를 보호할 수 있도록 하였다. isolator는 1,500 V까지 절연이 가능하며, 입력 신호대역폭은 10 kHz 이고, 입출력 전압 범위는 10 VDC이다. 실시간 시뮬레이션을 위해서 최소 isolator의 시간지연은 1 ms이내인 것으로 하였다.

isolator의 입출력 신호는 전 신호 구간에서 0.1% 이내의 정확도를 갖도록 하였으며, 다음 식(1)에 의해서 정확도를 계산하여 정확도를 평가하였다.

$$\frac{\text{입력} - \text{출력}}{\text{입력}} \times 100 \leq 0.1\% \quad \text{식(1)}$$

2.3.3 analog output

아날로그 출력 채널수는 40개 이며, 신호범위는 ± 10 V출력이다. 출력단자는 입력단자와 마찬가지로 BNC 단자를 사용하며 (-)단자가 별도 인 것을 사용하였다. 향후 Analog Output 8Ch이 추가로 설치될 수 있도록 터미널 블록을 설계하였다.

2.3.4 Digital I/O

- 채널수 : 40 Ch
- 신호범위 : 0 ~ 5 V DC , TTL
- 단자 : BNC 단자를 사용하며 (-)단자가 별도 인 것을 사용

2.4 입출력 신호 확인

제작된 실시간 급전시뮬레이터의 성능을 확인하기 위해서 아날로그 신호의 입출력을 측정하여 확인하였다.

2.4.1 Analogue input channel 확인

아날로그 신호출력은 PXI-7833R 보드를 통하여 입력되어 측정된다. 입력 신호를 확인하기 위해서 calibrator(FIUKKE 741B)를 이용하여 각 채널마다 DC 5 V 및 10 V를 A/I단자에 연결하여 입력전압을 랩뷰프로그램을 이용하여 측정하였으며, 그 결과는 표 1과 같다.

표 1 아날로그 입력전압 확인

입력전압 채널	5 V	10V	10 V %오차	5 V % 오차
1	4.9949	9.9969	0.03	0.10
2	4.9968	9.994	0.06	0.06
3	4.993	9.9909	0.09	0.14
4	4.9956	9.9967	0.03	0.09
5	4.9963	10.001	-0.01	0.07
6	4.9951	9.9943	0.06	0.10
7	4.9962	9.996	0.04	0.08
8	4.9964	9.9983	0.02	0.07

표 1에서 볼 수 있듯이 0.1 %이내의 정확도를 갖는 것을 확인할 수 있었다. 다만 채널 3의 경우 0.1 %를 넘는 것으로 확인되어 결선 및 calibration 작업을 실시하여 오차를 기준 이내로 조정하여 수정할 필요가 있다.

2.4.2 Analogue output channel 확인

아날로그 출력은 PXI-6723 보드를 통하여 A/O채널로 출력된다. 출력전압 확인을 위해서 DC 0, 5, 10 V를 각각 채널에서 전압측정기를 이용하여 확인하였다. 측정결과 모든 채널에서 0.1 % 이내의 오차인 것을 확인하였다. A/O 채널에서 출력되는 아날로그 출력파형은 그림 3 및 4와 같이 출력된다.

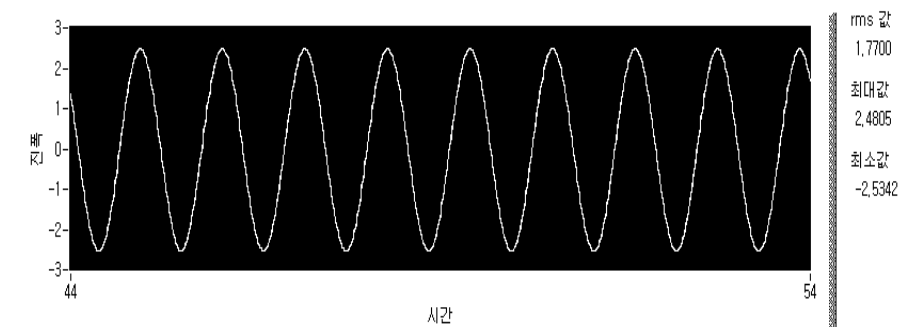


그림 3. sine wave, 10 Hz, ± 5 V(p-p)

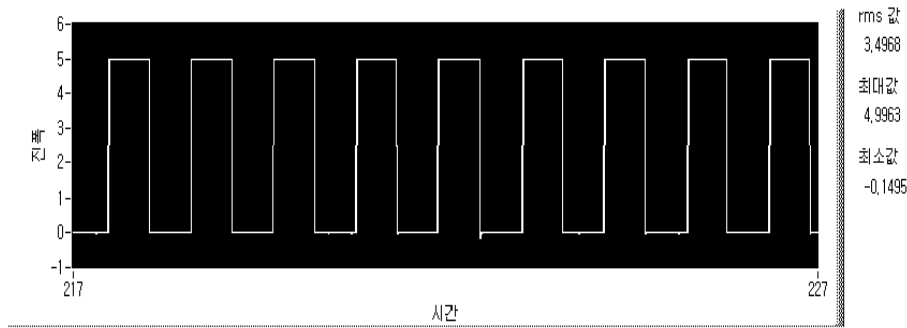


그림 4. square wave, 10 Hz, ± 5 V(p-p)

2.5 MATLAB SIMULINK와 LabVIEW를 이용한 신호 확인

이번 절에서는 구축된 급전 시뮬레이터를 이용하여 교류전기철도 급전시스템에 대한 급전시뮬레이션을 실시하였다. 그림 5는 MATLAB SIMULINK를 이용하여 구성한 교류급전시스템을 나타내고 있다. 그림 5를 보면, MATLAB SIMULINK SimPowerSystems에서 Three Phase Faults 모델을 적용하여 레일과 전차선 사이에 5.2/60~9.5/60[s]만큼 단락사고가 발생했을 경우를 모의한 것이다. MATLAB SIMULINK의 시뮬레이션 조건은 time step은 1[ms]로 하여 실시한 결과가 그림 6에 나타내었다. 그림 6을 보면 Three Phase Faults 모델에서 모의한 고장이 5.2/60~9.5/60[s]에서 나타나고 있음을 확인할 수 있었다.

MATLAB SimPowerSystems에서 그림 5와 같이 만들어진 모델은 real time 시뮬레이션을 수행하기 위해서 NI의 SIT tool box를 이용하여 dll 파일을 생성한다. 생성한 dll파일을 이용하여 그림 7과 같이 랩뷰로 프로그램하여 실시간 전력시뮬레이션을 실시한다. 시뮬레이션 결과는 그림 2와 같이 제작한 19 인치 랙에서 출력파형을 확인한 결과가 그림 8과 같다. 그림 8의 아날로그 출력파형과 그림 6의 MATLAB시뮬레이션 출력결과 파형을 비교해보면 동일한 시간에서 지락사고가 발생한 것을 확인할 수 있다.

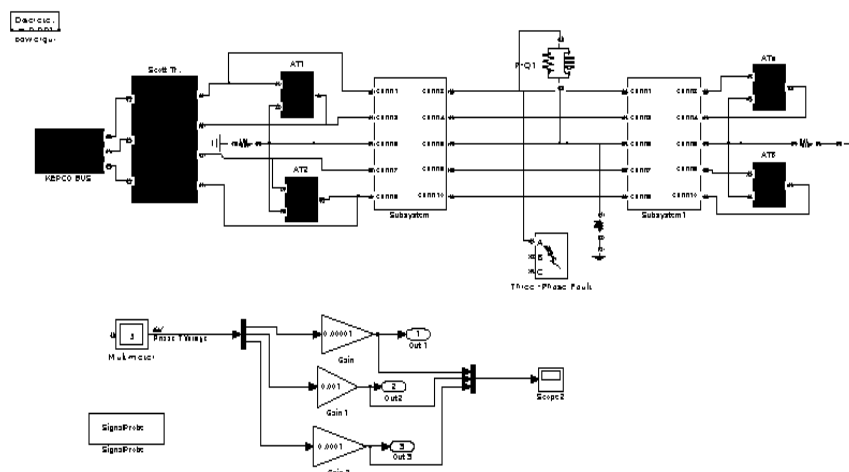


그림 5. 간략한 교류급전시스템 모델



그림 6. MATLAB 출력 과정

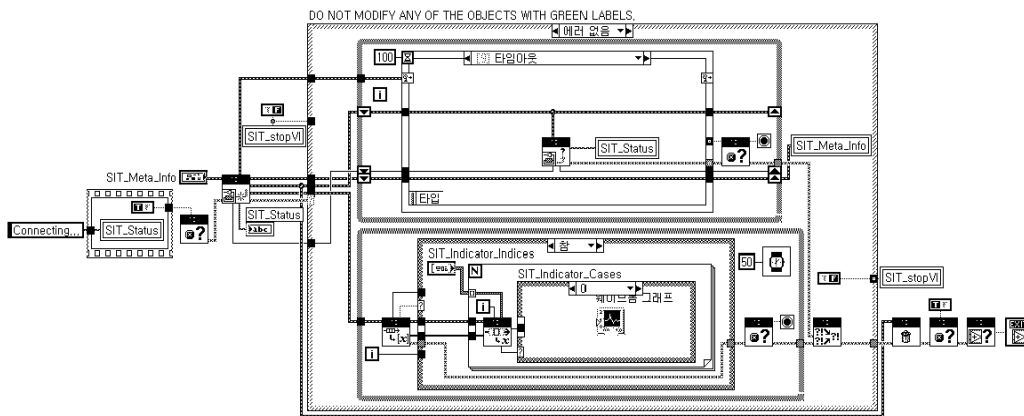


그림 7. 랩뷰 실시간 시뮬레이션 프로그램(block diagram)

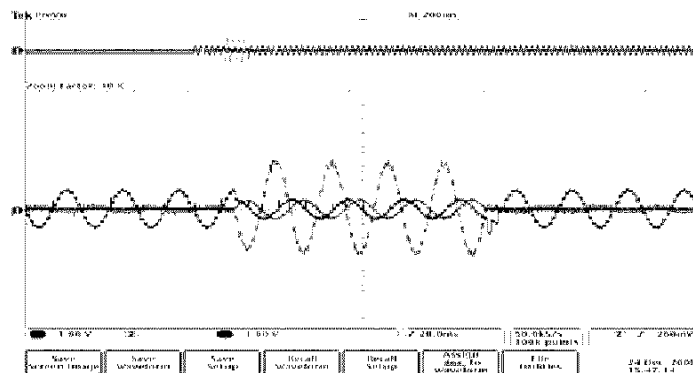


그림 8. 실시간 시뮬레이터 아날로그 출력 과정

3. 결론

본 논문은 전기철도 급전 시스템 실시간 시뮬레이터를 제작하여 그 성능 확인하였다. 제작한 급전시뮬레이터는 2개의 신호입출력용 I/O 보드가 사용되었으며, 신호입출력은 BNC 컨넥터를 통하여 이루어진다. 아날로그신호 입력 및 출력신호를 확인하여 입출력 값이 1%의 오차범위 이내인 것을 확인하였다. 또한, MATLAB SIMULINK를 이용하여 구성한 교류급전시스템에 대해서, 시뮬레이션 조건을 1ms로 설정하여 시뮬레이션 출력결과와 실시간 급전시뮬레이터의 아날로그 출력결과를 비교한 결과 동일하

계 출력되고 있음을 확인하였다. 추후에는 차량 및 급전선로에 대해 모델링하여 실시간 시뮬레이터의 성능검증과 현장시험을 비교하여 시뮬레이터 성능을 검증할 것이다.

참고문헌

1. 정상기 (2008), “전력시스템 성능향상 기술개발”보고서, 한국철도기술연구원
2. 정상기, 홍재승(2000), “전기철도의 DC 급전시스템 시뮬레이터”, 한국철도학회 추계학술대회 논문집
3. 오광해 (1999), “전류 MAP을 이용한 전차선로 관리시스템 구축 연구”, 한국철도기술연구원