# DSP를 이용한 학습용 계전기 보드 개발

안 용 진, 최 영 우
유호전기공업(주)

# Development of Learning Board for the Digital Relay Using DSP

Yong-Jin Ahn, Young-Woo Choi
Youho Elec. Ind. Co., LTD.

**Abstract** - A relaying board is developed for the study of digital relay, which is based on Digital Signal Processor(DSP). The present development is capable of understanding and application for digital relay hardware. To support the design of relaying hardware, first A/D convertor, MMI and serial port for communication are embedded, and next a booting cables of three types are supplied. More particularly the relaying board that is convinient to test digital relaying algorithm. This paper concludes by implementing the distance relaying algorithm into a relaying board. the hardware test results show practically high performance.

## 1. 서 론

보호 계전기는 20세기 초 기계식 계전기가 출연한 이래 눈부신 발전을 거듭하여 왔으며, 마이크로 프로세서 분야의 비약적인 발전에 힘입어 디지털 계전기의 시대가 도래하였다. 디지털 계전기는 아날로그 계전기보다 신뢰성이 높고, 장치의 소형화가 가능할 뿐만 아니라, 보수점검이 용이하며, 계통의 상태 분석이 편리한 장점을 갖고 있기에 국내에도 80년대 후반부터 디지털 계전기가 채택되기 시작하였으며, 90년대 말에는 국산 계전기가 선보여 현재 운용중에 있다.

전력계통, 특히, 보호 분야를 공부하는 기술자에게 있어서 디지털 계전기에 대한 이해는 필수적이라 생각한다. 하지만, 상용 계전기는 개발자가 아니면 계전기 하드웨어를 이해와 응용이 어렵고, 시판되는 하드웨어 학습용 보드는 계전기에 적용된 것이 전무하기에 계전기 하드웨어에 대한 학습에 커다란 도움이 되지 않고 있다.

이에, 본 논문에서는 디지털 계전기의 하드웨어 및 소프트웨어에 대한 이해를 돕고 응용이 가능하도록 설계된 DSP를 이용한 학습용 계전기 보드를 소개하고자 한다. 학습용 계전기 보드에 대한 성능은 EMTP에서 모의된 디지털 신호를 아날로그 신호발생기(PCL727 D/A 보드)를 통과하여 학습용 계전기 보드에 입력한 후, 거리계전 알고리즘의 수행 결과를 LCD · LED와 PC에 출력하여 검증하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 학습용 계전기 보드

오늘날의 마이크로 프로세서를 응용분야에 따라 크게 분류하면 범용 마이크로프로세서, 마이크로콘트롤러, DSP의 3가지로 나눌 수 있다. 범용 마이크로프로세서는 연산 및 데이터 처리용으로 사용되고, 마이크로콘트롤러는 기기 제어용으로 이용되며, DSP는 실시간 디지털 신호 처리용으로 사용되고 있다. DSP를 이용한 학습용 계전기 보드는 32비트 부동소숫점 DSP인 TMS320C32를 사용하여 디지털 계전기의 하드웨어 및 소프트웨어 학습용으로 설계된 단일 보드 컴퓨터 시스템으로서 그림 1에 보인 바와 같이 입력부, 연산 · 제어부, 출력 · MMI부와 통신부로 구성되어 있다.

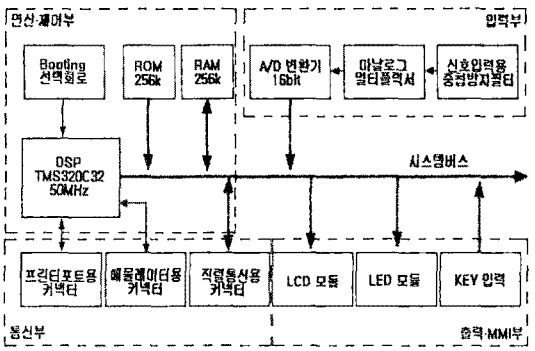


그림 1. 학습용 계전기 보드의 구성도

기본적인 설계 개념으로는 TMS320C32를 중앙처리장치로 사용하여 ROM, RAM 등의 주 기억장치와 디지털 계전기를 익히는데 필수적인 A/D 변환기, MMI와 통신 포트용 커넥터 등 다양한 입 · 출력장치를 장착하였으며, 사용자 프로그램의 입력과 실행을 위하여 프린터 포트를 이용한 직렬 부팅용 커넥터 및 에뮬레이터용 커넥터를 장착하여 다양한 프로그램의 연습 및 응용이 가능하도록 하였다.

### 2.2 입력부

입력부는 아날로그 필터부, 샘플 · 홀드부, 멀티플렉서부, A/D 변환부로 구성되어 있다.

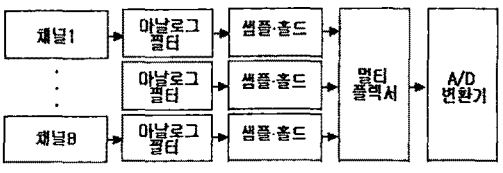


그림 2. 입력부 구성도

아날로그 필터부는 전압·전류에 포함되어 있는 불필요한 주파수 성분을 제거한다. 아날로그/디지털 변환시에 입력신호에 샘플링 주파수의 1/2 이상의 주파수 성분이 포함되어 있으면 아날로그/디지털 변환 후에 오차로써 검출된다. 이러한 현상을 중첩오차라 하는데 이 영향을 적게하기 위해 A/D 변환기에 입력되는 신호의 고조파 성분을 충분히 감쇄시켜줄 필요가 있다.

샘플·홀드부는 아날로그 필터부를 통과한 신호를 일정시간 간격으로 샘플링하고 A/D 변환이 종료되기까지 그 샘플치를 보전한다. 멀티플랙스부는 샘플·홀드부의 출력을 순차적으로 선택하여 A/D 변환기에 입력하기 위한 부분이며 8채널 입력형을 장착하였다. A/D 변환기부는 전압·전류의 순시치 데이터를 프로세서가 연산이 가능한 디지털량으로 변환하며, 16비트 A/D 변환기를 장착하여 분해능을 높였다.

### 2.3 연산·제어부

연산·제어부는 연산처리부, 데이터 기억부(RAM), 프로그램 기억부(ROM), 정정치 기억부(EPROM), 출력 제어부로 구성되어 있다.

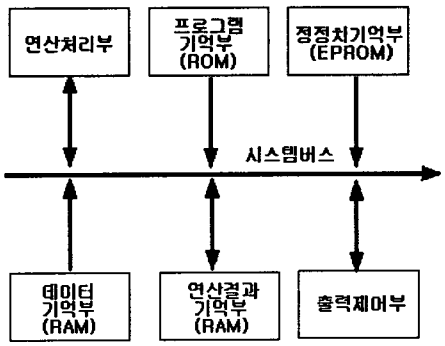


그림 3. 연산·제어부 구성도

연산처리부는 전압·전류 데이터를 이용하여 계전알고리즘을 수행하며, 데이터 기억부(RAM)는 A/D 변환기를 통하여 들어오는 전압·전류 데이터를 저장한다. 프로그램 기억부(ROM)는 계전 알고리즘을 기억하며, 정정치 기억부(EPROM)는 초기 설정값을 기억한다. 또한, 출력부로 데이터를 내보내기 위한 LCD·LED 인터페이스 부분과 외부 기기와의 통신을 지원하는 부분으로 구성된 출력제어부로 구성되어 있다. 이외에 샘플링 동기를 맞추기 위하여 주기적인 인터럽트를 수행하는 소프트웨어 타이머 인터럽트 수행부분이 있다.

### 2.4 출력·MMI부

출력부·MMI부는 LCD 모듈, LED 모듈과 KEY 모듈로 구성되어 있다. DSP-LCD는 병렬 입출력 인터페이스 소자를 이용하여 접속되어 있으며, DSP-LED와 DSP-KEY는 래치를 사용하여 접속되어 있으므로 모듈이라 칭하였다. 연산·제어부에서 수행된 결과를 표시하는 LCD 모듈은 16자 2행, 백 라이트 가능형을 장착하였으며, LED 모듈은 동작확인 및 알람용으로 8채널을 장착하였고, 설정값 입력 및 조작 등에 사용하기 위한 KEY는 8채널을 장착하였다.

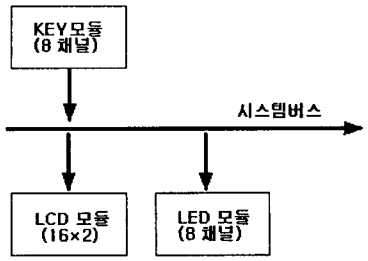


그림 4. 출력·MMI부 구성도

### 2.5 통신부

통신부는 직렬 부팅용 커넥터(9 핀) 및 에뮬레이터용 커넥터(12 핀)과 RS232C 통신포트용 커넥터(9 핀)로 구성되어 있다.

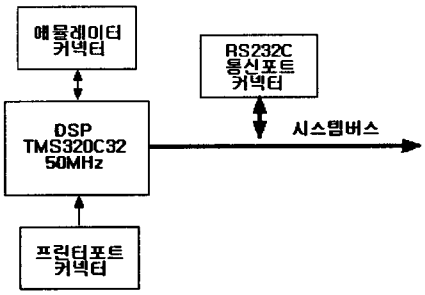


그림 5. 통신부 구성도

학습용 계전기 보드에서는 사용자 프로그램의 입력과 실행을 위하여 3가지 방법을 제공하고 있으며, 이를 위한 커넥터를 장착하였다. 첫째, 계전기 보드에 내장된 EPROM으로 부터 프로그램을 RAM에 부팅하여 사용하는 방법, 둘째, 에뮬레이터를 사용하는 방법, 셋째, 프린터 포트를 이용하여 사용자 프로그램을 다운로드하는 방법이다. TMS320C32 DSP에는 1개의 직렬통신 포트가 내장되어 있으나, 학습용 계전기 보드에서는 이를 직렬 부팅용으로 사용하므로 외부와의 비동기 직렬통신 기능을 수행하기 위하여 범용 직렬 통신용 소자를 사용하였으며, RS232C 통신용 버퍼 소자를 9핀 커넥터에 접속하여 외부와의 통신이 가능하도록 하였다.

## 3. 사례 연구

본 논문에서는 학습용 계전기 보드의 성능을 검증하기 위하여 거리계전 알고리즘을 탑재하여 그림 6의 시험계통에서 1선 지락고장을 모의하여 시험하였으며, 계전기의 보호구간은 전체선로의 80[%]로 하였다.

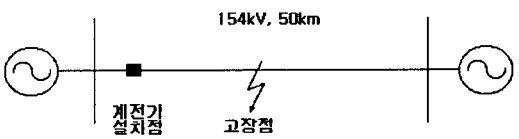


그림 6. 시험 계통

그림 7은 성능 시험 구성도를 도시하였다. 전압·전류

데이터는 EMTP를 이용하여 주기당 384회로 생성하였으며, PCL727 D/A 변환 보드를 통하여 아날로그 신호로 변환되어 학습용 계전기 보드에 입력되었다. 거리계전 알고리즘의 수행결과는 LCD·LED와 PC에서 확인하였다.

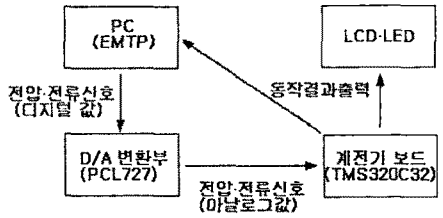


그림 7. 성능 시험 구성도

전압·전류의 페이져 값은 주기당 16 샘플링하여 한 주기 이산푸리에 변환으로 추출하였으며, 전류신호의 직류 성분을 제거하기 위하여 식 (1)의 FIR 필터를 사용하였으며, $x_k$는 현재 샘플 값이다.

$$y_k = x_k - x_{k-1} \tag{1}$$

시험 계통에서 1선 지락고장이 발생하였을 때, 학습용 계전기 보드에서 수행한 결과를 그림 8~10에 도시하였다. 그림 8은 계전기 보드에 저장된 전압·전류의 순시값을 도시한 것으로 주기당 16 샘플링 되었음을 확인할 수 있다.

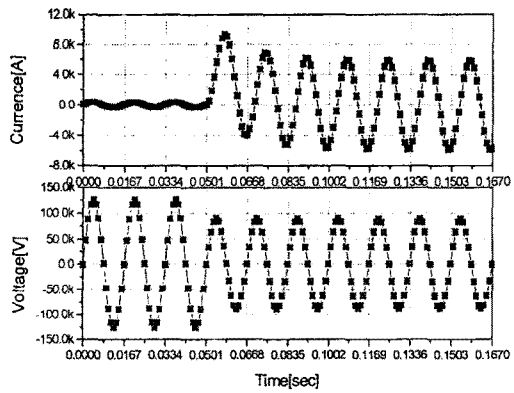


그림 8. 전압·전류 순시값
(고장점:25[km], 고장저항:0[Ω], 고장위상각:0[° ])

1선 지락 고장시에 추정임피던스는 식 (2)를 이용하였으며, 그림 9는 시간에 따른 저항과 리액턴스의 수렴을 보인 것으로 계전기의 추정값이 고장 후 반주기에 실제값에 안정적으로 수렴하는 것을 볼 수 있다.

$$Z_1 = R_1 + jX_1 = \frac{V_a}{I_a + \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} I_0} \tag{2}$$

그림 10은 거리 계전기의 모타입 동작 특성 곡선으로 학습용 계전기 보드는 고장 전에는 부하점에 수렴하고 있으며, 모특성 보호구간 내의 고장에 대하여 고장 후 8.3[ms]의 시간에 정동작하였음을 알 수 있다.

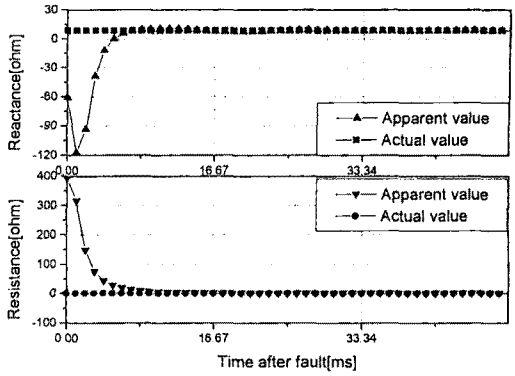


그림 9. 저항·리액턴스 수렴 특성
(고장점:25[km], 고장저항:0[Ω], 고장위상각:0[° ])

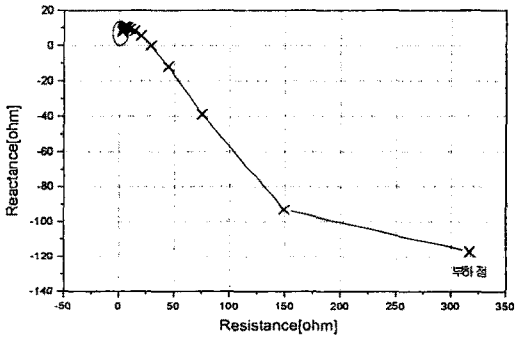


그림 10. 거리계전기 동작 특성
(고장점:25[km], 고장저항:0[Ω], 고장위상각:0[° ])

## 3. 결 론

본 논문에서는 DSP를 이용한 학습용 계전기 보드를 소개하였다. 학습용 계전기 보드의 특징으로는 디지털 계전기 하드웨어를 입력부, 연산·제어부, 출력·MMI부 및 통신부 등 구성요소별로 설명함으로써 하드웨어 흐름의 이해를 도왔고, 이를 바탕으로 디지털 계전기의 하드웨어 설계에 응용할 수 있도록 하였으며, 다양한 계전 알고리즘의 시험에 이용할 수 있도록 구성하여 소프트웨어의 성능 검증에 적극 활용될 수 있다.

학습용 계전기 보드는 사례 연구에서 보인 바와 같이 계전 알고리즘을 탑재하여 빠른 동작 시간과 정동작하는 성능을 검증하였으므로, 디지털 계전기를 처음 접하는 학습자나 계전기 하드웨어를 설계하고자 하는 기술자에 커다란 도움이 되리라 사료된다.

[참 고 문 헌]


[1] "TMS320C32 마스터", Ohm사
[2] "154kV 송전선보호반 운전지침서", 유호전기공업주식회사
[3] "Digital Relay 실무 독본", 선도전기주식회사