

### 전력용 변압기를 위한 IED 설계에 관한 연구

박철원\*, 구춘서\*\*, 조응익\*\*, 박성완\*\*, 신명철\*\*\*, 박재세\*\*\*\*  
\*원주대학 전기과, \*\*네오피스(주) 기술연구소, \*\*\*성균관대학교, \*\*\*\*인천전문대학

### A Study on Design of Intelligent Electronic Device(IED) for Power Transformer

C.W. Park\*, C.S. Koo\*\*, Y.I. Cho\*\*, S.W. Park\*\*, M.C. Shin\*\*\*, J.S. Park\*\*\*\*  
\*W.J. Nat'l College, \*\*Neopis technology research institute, \*\*\*S.K.K.U., \*\*\*\*Incheon City College

**Abstract** - This paper proposes a software design and hardware implementation of Intelligent Electronic Device(IED) for power transformer. The relaying algorithm is based on DFT. The protection functions implemented include RDR with a second harmonic restraint for magnetizing inrush, OCR, OCGR, OVR, and UVR etc. The main board of IED is based on the TMS32C32 processor. The IED was tested with relaying signals obtained for EMTP simulation package.

특히 전력용변압기 계통을 EMTP로 상세모델링하여 발생 가능한 과도여자돌입현상과 고장현상을 시뮬레이션하였으며, 수집된 데이터를 분석하여 비율차동계전 알고리즘을 개발하였다. 또한, 운전 자동화 시스템을 위한 통신 기능을 탑재하여 원방에서 감시 및 제어가 가능하도록 국제 표준 통신 Protocol인 DNP 3.0을 구현함으로써 IED의 형태로 설계하여 시스템 구성품의 간소화와 동작 신뢰성을 확보하고자 하였다.

### 2. 전력용 변압기를 위한 IED의 설계

#### 2.1 IED의 설계

#### 1. 서 론

대용량 변압기의 사고빈도는 다른 계통요소에 비하여 매우 적으나 일단 사고가 발생하면 장기간의 운전정지에 의한 경제손실과 파급되는 악영향이 매우 크다. 변압기의 보호방식에는 변압기의 내부사고시에 정동작하고, 외부고장이나 과도여자돌입 등에 의한 오동작을 하지 않는 고속의 신뢰성이 있는 보호계전기가 요구된다. 1980년대 후반, 컴퓨터 기술의 발달로 인하여 종래의 아날로그형 계전기는 디지털형 계전기로 교체되면서 성능 개선을 가져왔다. 특히, 직교함수를 기반으로 하는 디지털 필터와 보호계전 알고리즘을 중심으로 연구된 바, 계전기의 동작속도의 향상을 가져왔으며 디지털 계전기의 실용화에 기여하였다[1,2].

한편, 변압기의 철심재료기술의 향상됨에 따라 여자돌입시 제2고조파성분이 상대적으로 감소하는 경향이 있으며, 내부고장시에도 제2고조파성분이 상당히 함유될 수 있다는 연구가 발표되었다. 이에 현재 사용되는 제2고조파 억제방식의 비율차동계전방식에 대한 검토와 보완의 필요성이 제기 되었다. 이런 문제점을 개선을 위하여 소위 인공지능(AI)을 이용한 보호계전기법들이 연구 발표되었다[3,4]. 초창기 디지털 계전기의 하드웨어는 저급 마이크로프로세서를 이용한 설계·구현되었으며, 근래 신호처리전용 DSP 소자를 채택함으로써 하드웨어가 간소화되며 실시간 처리가 가능하도록 발전하고 있다[5,6].

최근, 변압기 보호 업무는 전력 운전 자동화 시스템에 포함되어 무인화, 자동화됨에 따라 상위 시스템과의 데이터 통신이 필수적으로 요구되고 있으며, 변전소내 감시 및 제어기능을 포함한 변전소 종합자동화시스템(substation automation system : SAS)으로 발전하고 있다. 이에 따라 과거의 보호기능이외에 전체 시스템을 네트워크로 엮는 통신기술, 자기진단기술, 이벤트 및 고장데이터 저장기능과 관리기능을 포함하는 소위 차세대(next generation) 통합보호제어장치(IED)에 대한 필요성이 급증하고 있다[7~10].

본 논문에서는, 전력용 변압기의 이론적인 유도과 상세모델링으로부터 DFT 기반 비율차동 알고리즘을 개발하였으며, 전력용 변압기를 위한 IED를 위하여 TMS320C32 소자를 이용하여 하드웨어를 설계하였다.

#### 2.1.1 복합계전기능

○RDR(Ratio Differential Relay : 87T) : 변압기 내부사고시 1차와 2차간의 차전류를 동작요소로 하는 변압기보호에 있어서 주보호계전기로 변압기의 여자특성이나 돌입에 발생할 수 있는 오동작에 충분한 대책을 필요하다.

○OCR(Over Current Relay : 50/51) : 단락사고 혹은 과부하 시 순시나 한시로 동작하며 변압기 외부사고시의 후비보호용으로 사용된다.

○OCGR(Over Current Ground Relay : 50/51N) : 지락사고시 순시나 한시로 동작하며 변압기 외부사고시의 후비보호용으로 사용된다.

○OVR(Over Voltage Relay : 59) : 동작 설정치 이상의 과전압이 검출될 경우 동작하는 후비보호용 계전기이다.

○UVR(Under Voltage Relay : 27) : 동작 설정치 이하의 부족전압이 검출될 경우 동작하는 후비보호용 계전기이다.

이외 계측기능, 통신기능, 기록기능, 사용자인터페이스 기능, 감시기능, 제어기능이 있다.

#### 2.1.2 RDR의 동작특성

RDR은 보호구간에 유입되는 전류(변압기 1차 전류)와 유출되는 전류(변압기 2차 전류)의 차에 응동하는 계전기인데, 다음과 같은 문제점이 있다.

○위상각 보정 : 변압기 결선이 Delta-star는 위상각차가 30도 지연되므로 차전류계산에 고려되어야 한다.

○전류차 보정 : 변압기의 전압비와 CT의 2차 전류를 일치시켜 차동회로의 평형을 취해야 한다.

○CT특성의 불일치 : 각 회로의 CT는 형식,정격 및 전류정수가 틀리는 것이 보통이며, 외부고장에 대해서는 불평형 전류가 검출될 수 있다. 불평형전류에 의한 오동작 방지를 위해 억제력을 주는 가변비율차동계전기를 필요로 하게된다. 그림 1은 RDR의 동작특성곡선이다.

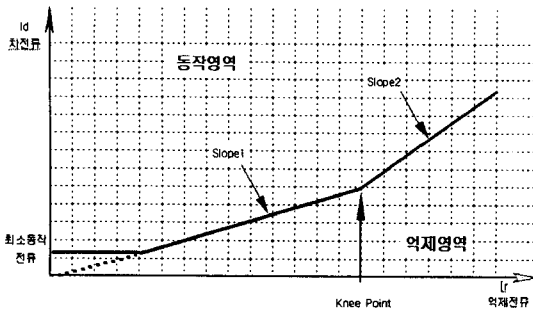


그림 1 비율차동계전기의 동작특성곡선

## 2.2 전력용 변압기 모델링과 시뮬레이션

### 2.2.1 모델 전력계통

그림 2는 모델전력계통이다. 송전선은 ACSR의 데이터를 이용하였고, 변압기는 3상 2권선으로, 45/60MVA, 154kV/22.9kV,  $\Delta$ -Y 결선이다. IED 설계와 성능시험을 위해 EMTP 소프트웨어를 이용하여 여자돌입과 내부고장을 시뮬레이션하여 데이터를 수집하였다.

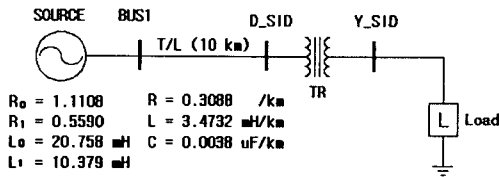


그림 2 모델 전력계통

### 2.2.2 여자돌입과 내부고장 시뮬레이션

변압기의 여자돌입을 모의하기 위해서는 포화 변압기 모델을 이용하였으며, 변압기의 내부고장 시뮬레이션은 BCTRAN에 의해 얻어지는 변압기의 임피던스 행렬을 이용하였는데, 고장 발생 권선을 나누어 모델링하는 기법을 이용하였다.

그림 3,4는 0.044초 후에 변압기를 계통에 투입한 경우의 여자돌입전류이다. 그림 5,6은 변압기 1차측 4결선의 B,C상권선의 5:80:15인 부분에서 내부권선단락 고장이 0.048초 후에 발생된 경우이다.

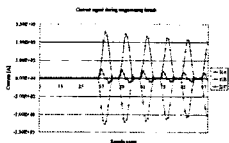


그림 3 1차측 전류신호

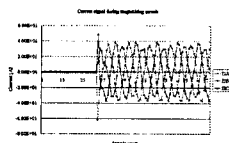


그림 4 2차측 전류신호

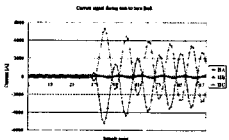


그림 5 1차측 전류신호

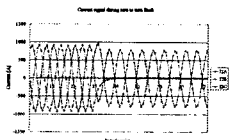


그림 6 2차측 전류신호

## 2.3 하드웨어 설계

### 2.3.1 Hardware 사양

MPU : 32 bit floating point DSP,  
32 bit RISC CPU  
A/D converter : 12 bit resolution  
Input channel : 16 channels  
Rating : AC 110V 5A 60Hz  
Sampling rate : 12 S/C 이상  
MMI : Wide temperature character module LCD,  
Function keypad  
Accuracy :  $\pm 5\%$  이내  
Relaying time :  $\pm 5\%$  이내 혹은 35(ms) 이내  
DI/DO 입출력부 : Opto-isolated  
Anti-aliasing LPF  
Isolated RS485 serial transceiver  
내장 Aux. relay, Fault annunciation LEDs

### 2.3.2 Hardware 개요

그림 7은 전력용변압기용 IED의 블럭다이어그램이다. 연산기능을 처리하는 CPU부, 사용자 인터페이스에 의한 정보의 입력 및 표시기능을 처리하기 위한 MMI부, 상태입력신호를 가공처리하는 DI 입력부, 제어출력신호를 발생하는 DO 출력부, 프로그램과 데이터의 저장을 위한 Memory부, 전압, 전압 등의 아날로그 신호의 변성을 위한 변성기부와 LPT, MUX, A/D Converter 등으로 구성되는 아날로그 신호처리부, 그리고 동작전원을 공급하기 위한 전원부 등으로 구성되어있다. 각 부분의 세부 블럭다이어그램은 2.3.3이하와 같다.

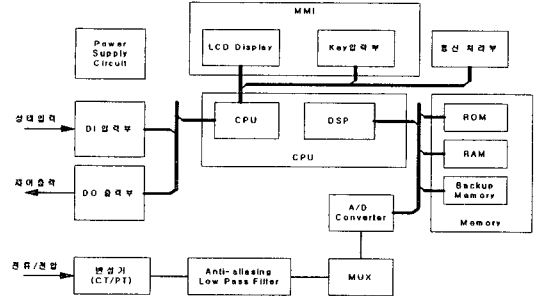


그림 7 IED의 블럭다이어그램

### 2.3.3 DSP Module 블럭다이어그램

변압기 보호에 관련한 보호계전기능 및 각종 고장처리의 데이터 수집과 관리기능을 처리하기 위한 DSP Module의 블럭다이어그램은 그림 8과 같다.

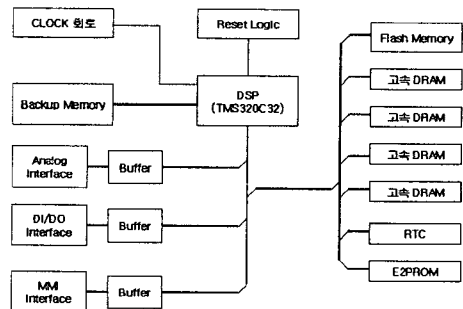


그림 8 DSP Module의 블럭다이어그램

### 2.3.4 통신 및 I/O처리부 블럭다이어그램

현장 설치되어 운영되는 모든 상황은 중앙감시반에서 원격으로 감시·제어되기 위해서는 디지털 데이터 통신에 관한 기능 모듈이 탑재되어 있어야 한다. 본 논문에서는 중앙 시스템과의 인터페이스를 위한 통신의 물리계층으로 표준규약인 RS485를, 현장 유지보수용 터미널과의 인터페이스를 위한 물리계층으로 표준규약인 RS232를 채택하였다.

이와 같은 통신에 의한 감시 혹은 제어를 위해서 I/O처리부로 명명되는 추가적인 H/W가 탑재되며 외부 노이즈나 서지 등에 의해서 발생할 수 있는 오동작을 방지하기 위해서 Optic-isolation 구조를 채택하여 신뢰성을 확보하였다. 그림 9는 통신 및 I/O처리부의 블럭다이어그램이다.

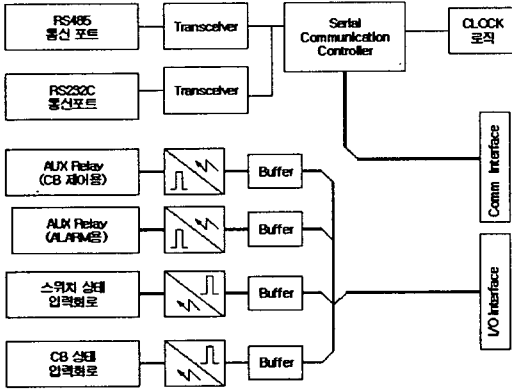


그림 9 통신 및 I/O처리부의 블럭다이어그램

### 2.2.5 Analog 입력처리부 블럭다이어그램

IED는 계통보호와 전기량 계측기능을 중요한 기능요소로서 처리하는 장치이므로 계통의 아날로그 입력신호로 전류와 전압을 수용하고 있다. 여기서 실제계의 전압과 전류신호는 대전류, 고전압의 형태이므로 외부에 CT와 PT를 통해서 장치가 처리하기에 적절한 크기로 변성하여 입력받게 된다. 변성기 거친 입력신호는 저역통과필터(LPT)와 AMP에 의한 안정으로 신호처리가 되어 비로소 A/D 변환기로 인가되어진다. 그림 10은 아날로그 입력처리부의 블럭다이어그램이다.

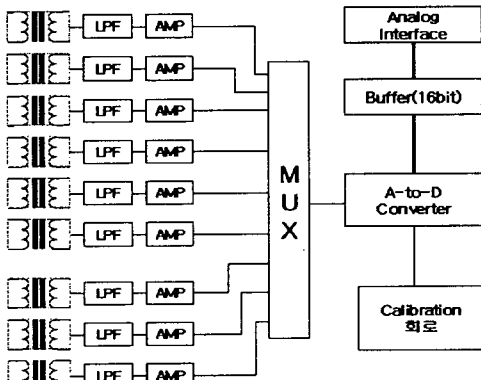


그림 10 아날로그 입력처리부의 블럭다이어그램

### 2.2.6 MMI부 블럭다이어그램

원격으로 운전이 가능함과 동시에 현장에서 직접 조작이 가능하므로 별도의 MMI부를 갖추고 있다. MMI부는

Character Module LCD와 annunciation LED 등의 표시장치와 Function Key의 조작 버튼으로 구성된다. 그림 11은 MMI부의 블럭다이어그램이다.

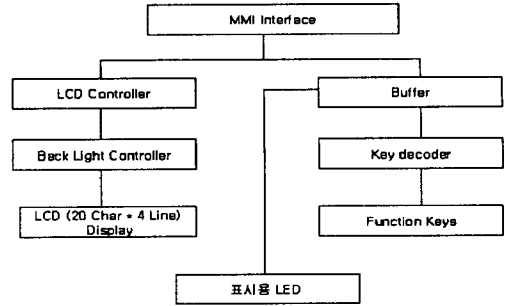


그림 11 MMI부의 블럭다이어그램

## 3. 결 론

본 논문에서는, EMTP를 이용한 변압기의 상세모델링을 통하여 여자돌입과 내부고장시플레이션을 수행하였다. 수집된 EMTP 출력데이터를 활용하여 전력용변압기를 위한 주보호인 가변비율자동계전기법과 OCR, UVR 등 후비보호기능을 구현하였다. TMS320C32 DSP 소자를 기반으로 IED 하드웨어를 설계하였으며, 통신기능과 MMI를 구현하였다. 이는 변전소 자동화시스템의 변압기의 운전 자동화를 위한 시스템 구축이 가능할 것이며, 전력계통 보호의 기술력 제고와 신뢰성 향상에 크게 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사, "보호제어 유니트의 소프트웨어", 변전소 종합보호제어 시스템설계 및 제작기술 개발 최종보고서 부록, pp. 1~87, 1997.2.
- [2] S.H. Horowitz, A.G. Phadke and J.S. Throp, "Adaptive Transmission System Relaying", IEEE Trans. on PWRD, Vol.3, No.4, pp. 1436~1445, October, 1998.
- [3] 박철원, 신명철, 권명현, "도버시 웨이브렛변환을 이용한 변압기의 여자돌입과 내부고장 판별논리기법", 대한전기학회 논문지, 50A권 5호, pp. 211~217, May, 2001.
- [4] C.W. Park, M.C. Shin, "Digital Relaying Algorithm for Power Transformer Protection using Fuzzy Logic Approach, KIEE International Transactions on Power Engineering, Vol.2-A, No.4, pp. 153~159, Dec. 2002.
- [5] Y.V.V.S Murty, M.A. Rahman, "A Stand-Alone Digital Protective Relay for Power Transformers", IEEE Trans. on PWRD, Vol.6, No.1, pp. 85~95, Jan. 1991.
- [6] M.A. Rahman, B. So, M.R. Zaman and M.A. Hoque, "Testing of Algorithms for a Stand-Alone Digital Relay for Power Transformer", IEEE Trans. on PWRD, Vol.13, No.2, pp. 374~385, April, 1998.
- [7] Alexander, R.L., "Intelligent electronic device (IED) technology SCADA and 3Ø metering", Rural Electric Power Conference, 2002, pp. C6~C6\_3, IEEE 2002.
- [8] 중소기업청, "Flux 억제기법을 이용한 대용량변압기용 통합보호감시제어장치의 개발", 중소기업 기술혁신개발사업 최종보고서, pp. 1~102, March 2003.
- [9] 박철원, "전력용 변압기 보호용 IED를 위한 적응형 알고리즘 기술 개발", 산자부지원, EESRI 전력산업연구개발 사업계획서(R-2003-B-069-02) pp. 1~42, May 2003.
- [10] 명지대학교 차세대전력기술센터(NPTC), "Next-Generation Protection Technology", pp. 1~214 Feb. 2002.