

송전선로용 보호제어유니트의 개발

정병태, 박장수, 장수형, 강승호, 이진
LG산전 전력연구소

Development of a line protection and control unit for transmission lines

Byung-Tae Jung, Jang-Soo Park, Su-Hyeong Jang, Seung-Ho Kang, Jin Lee
LG Electrotechnology R&D Center

Abstract - 송전선의 고장은 다양한 형태를 가지며 전체 계통의 안정적인 운용을 위하여 신속하고 정확한 고장제거가 요구된다. 송전선로용 보호제어유니트는 계측, 감시, 보호, 제어, 통신, 자기진단, 기록 등의 기능을 종합 수행하는 디지털 보호계전장치이다. LG산전에서는 축적된 기술을 바탕으로 장기적인 투자와 시행착오를 거쳐 선진 외국제품과 경쟁할 수 있는 제품을 개발하였다. 개발된 보호제어유니트는 VME BUS를 기반으로 한 프로세서부, 입출력부, 표시조작부, 전원부로 구성되며, 사변형 거리계전요소를 기본으로 과전류요소, 자동재폐요소, 동기탈조 보호요소와 같은 기본기능 외에 많은 기능을 내장하였고, 자기진단기능, 이벤트/고장기록기능 등과 같은 기타기능들로 구비하였다.

1. 서 론

최근의 전력계통은 규모 증대, 복잡한 부하특성, 원거리 전력전송, 설비의 복잡화 등에 따라 고장형태가 다양화되고 전체 계통의 안정적인 운용을 위해서는 신속하고 정확한 고장제거가 요구되고 있다. 또한 사용의 편리성과 네트워크 통신기능 등의 부가적인 기능도 필수적으로 요구되고 있다. 따라서 고장검출과 고장제거에 이용되는 보호제어유니트는 배전선용과는 달리 고도의 기술이 집약된 제품이어야 한다.

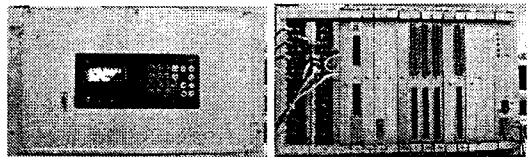
송전선로용 보호제어유니트는 계측, 감시, 보호, 제어, 통신, 자기진단, 기록 등의 기능을 종합 수행하는 디지털 보호계전장치이다. 송전선로에서 발생하는 다양한 고장을 정확히 검출하기 위해서는 고도의 계통해석기술을 필요로 하며, 신속하고 정확한 고장제거를 위해 고정밀, 고신뢰도의 하드웨어 특성을 갖추어야 한다. 그러므로 송전선로용 보호제어유니트의 개발은 단시일내에 이루어지지 않는다. 그 동안 송전선로 보호분야에서는 외국사의 보호제어유니트를 대부분 적용하였으나, LG산전에서는 축적된 기술을 바탕으로 장기적인 투자와 시행착오를 거쳐 외국제품과 경쟁할 수 있는 수준의 제품개발을 이룩하였다.

개발된 보호제어유니트는 표준 VME BUS를 기반으로 한 프로세서부, 입출력부, 표시조작부, 전원부로 나누어 진다. MMI를 위해서 4개의 LED표시장치 외에 VFD(Vacuum Fluorescent Display), 키패드 등과 PC인터페이스를 위한 RS232C포트를 구비하였다. 내장된 보호계전기능은 사변형 거리계전요소를 기본으로 Carrier Scheme, 방향과전류요소, 자동재폐요소, 동기탈조 보호요소와 같은 필수적인 기능들 외에도 다양한 고장형태에 대응하여 선택적으로 사용할 수 있는 보호계전기능을 갖추었다. 이 외의 기타기능으로 이벤트/고장기록기능, 자기진단기능, 네트워크 통신기능 등을 갖추었다.

2. 보호제어유니트의 구조

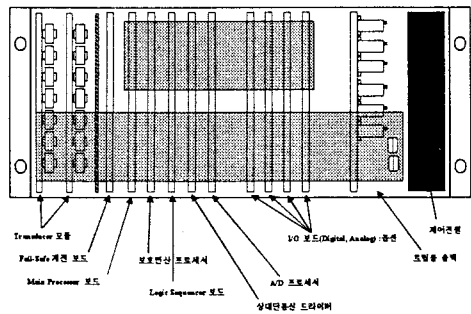
2.1 전체 구조

개발된 보호제어유니트는 계측, 감시, 보호, 제어, 통신, 기록 등의 종합기능을 내장하였으며, 표준 19인치 rack에 장착될 수 있도록 설계되었다. <그림 1>은 개발된 보호제어유니트의 전면부와 후면부 사진이다.



<그림 1> 보호제어유니트의 외관

전체 구조는 표준 VME BUS를 기반으로 한 프로세서부, 입출력부, 표시조작부, 그리고 전원부로 나누어 진다. <그림 2>는 이것의 보드별 배치도를 나타낸 것이다.



<그림 2> 각 보드별 배치도

프로세서부는 다중프로세서 구조를 가지며, Main프로세서, 보호연산 프로세서, 시퀀스 프로세서, 상대단 통신드라이버, A/D프로세서 등이 포함된다. Main프로세서에서는 정정치 관리, 시스템 관리, 자동감시 기능, 시간동기, MMI통신, 휴대용PC통신 및 SU통신, 이벤트/고장 기록기능 등을 수행한다. 시퀀스 프로세서에서는 입출력부 제어감시 및 보호 시퀀스 로직 등의 프로그램들이 수행된다. A/D프로세서에서는 아날로그필터, 샘플 앤홀더, 멀티플렉서, A/D변환기 등을 포함하며 푸리에 변환을 통해 보호연산과 계측에 필요한 데이터를 생성한다. 보호연산 프로세서에서는 모든 보호연산과 보호계전기능이 수행된다. Main프로세서와 시퀀스 프로세서에는 32비트 모듈라 CPU를 채용하였으며, A/D프로세서와 보호연산 프로세서에는 TI의 32비트 DSP를 사용하

여 고속연산이 가능하게 하였다. 프로세서부는 보드단위로 후면부에 착탈이 되게 설계하였고, 필요한 경우 같은 종류의 프로세서를 2개이상 가질 수 있게 하였다.

입출력부는 Transducer모듈은 정격 110V 전압 입력부(PT부)와 정격 5A 전류 입력부(CT부)로 구성되었고, 디지털출력부, 트립출력부, 디지털입력부 등이 포함된다. 전압과 전류는 A/D프로세서에서의 정밀도를 유지하는 입력범위로 전압은 2.5p.u., 전류는 40p.u.까지 받을 수 있게 설계하였다. 디지털 입/출력부와 트립출력부는 보드당 16개의 채널을 갖도록 설계하였고, photo-coupler를 사용하여 절연하였다.

표시조작부는 표시와 정정 및 제어기능 등을 위해 사용되며, 사용자로부터 정정입력과 제어입력 등을 받아들일 수 있는 키패드와 시스템 상태 표시를 위한 LED, 그리고 VFD(Vacuum Fluorescent Display)를 이용한 표시부 등으로 구성된다. 또한 PC인터페이스를 위한 RS232C포트를 전면에 배치하였다.

후면에는 전원부, 통신포트 등을 배치하였는데, 전원부의 제어전원은 변전소의 배터리 전원을 주전원으로 사용하며, 배터리 전압 변동율은 85%~115%를 기준으로 설계되었고, 제어전원 입력범위는 66Vdc~160 Vdc이다. 내부에 필요한 전원으로 DC/DC변환하여 +5V, ±12V, +24V를 제공한다. 네트워크 통신을 위한 포트로서 DNP프로토콜을 위한 RS232C포트나 Modbus 프로토콜을 위한 RS485포트를 선택적으로 쓸 수 있게 하였다.

보호제어유니트의 정격은 전류(In) 5A, 선간전압(Vn) 110V, 정격주파수(fn) 60Hz, 제어전원은 DC 110/125V, 최대허용 전류입력은 2In에서 연속, 20In에서 2초, 40In에서 1초이며, 최대허용 전압입력은 1.15Vn에서 연속이다. 변성기의 정격부담은 PT는 상당 0.5VA이하, CT는 상당 3.0VA 이하이다.

2.2 MMI

전면부에 배치한 표시조작부는 4개의 LED, 12개의 입력키, 9개의 제어키, 그리고 4x20 VFD로 구성되어 있으며, PC인터페이스를 위한 RS232C포트를 가지고 있다. 4개의 LED는 운전상태와 동작상태를 표시하기 위한 것으로 <표 1>과 같은 정보를 표시한다.

LED	표시 정보
RUN	운전 중
TRIP	트립신호 출력
ALARM	일반적인 경보신호
SYS ERROR	치명적인 시스템내부 이상상태

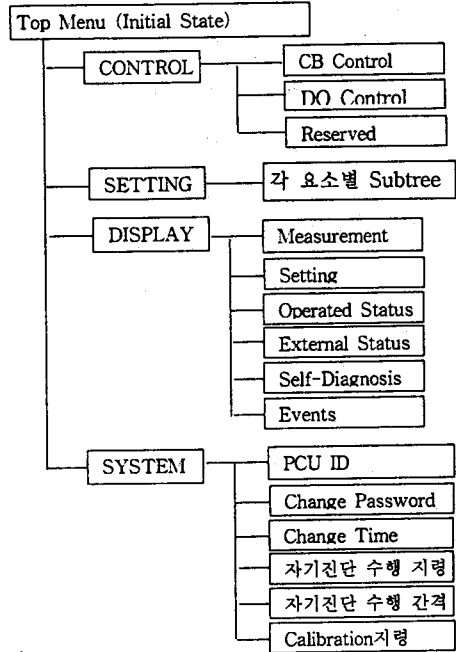
<표 1> LED 표시 정보

정정과 동작상태 표시를 위한 표시장치로 VFD를 이용하였다. VFD에 표시되는 정보는 초기메뉴에서 상위 4부류로 분류할 수 있으며 각각 하위부류를 가지고 있다. 상위 4부류를 <표 2>에 정리하였다.

상위 메뉴	표시 정보 또는 용도
CONTROL	CB/LS/DO제어정보
SETTING	각 기능 정정치 설정
DISPLAY	계측, 정정, 동작상태, 외부입력, 자기진단, 이벤트 정보 표시
SYSTEM	암호, 시간, 자기진단설정 변경시 사용

<표 2> 상위 메뉴

위의 상위메뉴는 다시 3 ~ 23개의 하위메뉴를 가지며, 이 하위메뉴는 다시 하위메뉴를 가지는 것도 있다. <그림 3>는 메뉴트리의 구조를 표현한 것이다.



<그림 3> 메뉴트리의 구조

2.3. 보호계전기능

CT/PT에서 입력된 전압, 전류 정보를 A/D프로세서에서 주기당 24샘플을 취한 후, 실효치와 위상각 계산 등의 간단한 계산을 하면, 보호연산프로세서에서 이 결과를 이용하여 고장검출과 고장상 구분과 같은 기본적인 연산이 이루어진 후 각 보호계전요소로 동작하게 된다.

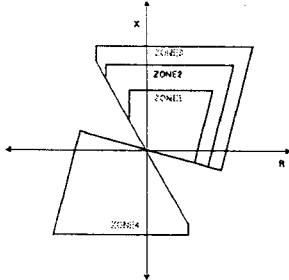
개발된 보호제어유니트는 송전선로에서 발생할 수 있는 다양한 고장형태에 대응하는 상별 측정요소를 기반으로 방향요소와 임피던스 측정요소를 조합한 사변형 거리계전요소를 기본으로 한다. 거리계전요소의 사변형특성은 선로의 저항분과 리액턴스분에 따라 정밀한 정정이 가능하도록 하였고, 신속한 트립이 가능하도록 Carrier Scheme을 추가하였다. 또한 임피던스 측정요소의 보조기능으로 사용할 수 있도록 과전류요소를 갖추었다. 과전류요소는 방향요소를 선택적으로 사용할 수 있게 하였고, 이의 결과를 타 요소의 입력요소로도 사용할 수 있게 하였다.

내장된 보호계전요소는 다음과 같다.

- 지락/단락 거리계전요소
- 방향과전류/방향지락과전류요소
- Carrier Scheme(Pilot Relaying Scheme)
- 동기탈조 보호요소
- 자동재폐로요소
- 차단실패보호요소
- 전압변성기고장 검출요소
- 전류변성기개방 검출요소
- 선로 가압시 보호요소
- 저전압/과전류 보호요소
- 선로개방 검출요소
- 약단보호요소
- 경보용 저주파수 검출요소

이 기능들을 간략히 기술하면,

거리계전요소는 외부방향요소를 포함하는 4개의 보호영역을 가지며, 자회선 및 타회선 영상전류에 의한 상호결합을 보상할 수 있게 하였고, 지근단 고장에도 오동작하지 않도록 하기 위하여 오셋 보호영역을 추가하였다. (그림 3)은 거리계전요소의 사변형 특성을 보이고 있다. 2사분면과 4사분면의 보호영역을 줄여 오동작을 방지하였다.



(그림 3) 거리계전요소의 사변형 특성

방향과전류/방향지락과전류요소는 방향요소를 선택적으로 사용할 수 있게 하였고, 정한시와 순시 기능을 갖도록 하였다.

Carrier Scheme은 신속한 고장제거를 위해 제공되는 기능으로 Blocking Scheme, PUTT Scheme, 그리고 HYBRID Scheme을 갖추었다.

동기탈조 보호요소에는 Power Swing 보호영역과 Out-of-Step보호영역을 구비하였고, Out-of-Step보호 방식은 사용자가 선택적으로 사용할 수 있게 하였다. 자동재폐로요소는 3상 일팔트립방식으로 3회까지 할 수 있게 하였다.

차단실패보호요소는 트립출력 후 차단기의 부동작을 검출하여 고장이 지속되는 것을 방지하는 역할을 한다.

전압변성기고장 검출요소는 전압변성기(PT)의 퓨즈이상으로 인한 오동작을 방지하기 위한 기능이다.

전류변성기개방 검출요소는 전류변성기(CT) 2차측의 개방을 검출하여 오동작을 방지하는 기능이다.

선로 가압시 보호요소는 선로 유지보수 등으로 인한 정전상태에서 선로를 가압하는 경우에 다른 보호계전요소에 우선하여 동작하는 요소이다.

선로개방 검출요소는 단선사고 등으로 인해 선로가 개방된 경우를 검출하는 보호계전요소이다.

저전압/과전압 보호요소는 송전선로에서는 보통 경보용이나 다른 보호요소의 입력요소로 사용된다.

기타 보호계전기능 들은 다른 보호요소의 입력요소로 사용되거나 경보용으로 사용되며, 저주파수 검출요소는 정밀도 $\pm 0.02\text{Hz}$ 의 정밀도를 가지며, 경보용으로 사용할 수 있게 구비하였다.

2.4 기타 기능

기타 기능들은 고장검출과 고장제거라는 본래의 용도 외에 사용의 편의성이나 기기의 신뢰도 향상 등의 목적으로 구비된 기능들로 다음과 같은 기능들이 있다.

- 자기진단기능
- 계측표시기능
- 이벤트/고장 기록기능
- 인터록/로직시퀀스를 위한 로직프로그램 톨 (IEC 1131-3언어 적용)
- 네트워크 통신기능
- 계측치 오실로그래피

자기진단기능은 보호제어유니트의 신뢰도 향상을 목적으로 제공되는 기능으로 보호제어유니트가 디지털형으로 발전하면서 가지게된 기능이다.

계측표시기능은 A/D프로세서에서 계산된 전압, 전류의 실효치와 전력 등을 표시하는 기능이다.

이벤트는 최대 128개까지의 이벤트를 순차적으로 비휘발성 메모리에 저장한다. 그리고, 고장기록은 트립출력으로 트리거되며, 기록되는 데이터는 트립 전후 100주기이며 주기당 24샘플씩 총 2400샘플이 기록된다. 고장은 4개까지 순차적으로 휘발성 메모리에 저장된다.

사용자가 인터록이나 트립로직과 같은 로직의 내부를 변경하고자 하는 경우 PC인터페이스를 통하여 쉽게 변경할 수 있게 하기 위해서 로직프로그램 톨을 갖추었다.

네트워크 통신기능은 상위의 SCADA 및 RTU와의 통신을 용이하게 하기 위하여 제공되는 기능으로 DNP 프로토콜을 쓰는 경우에는 RS232C포트를 설치하고, Modbus프로토콜을 위해서는 RS485를 설치할 수 있게 하였다.

2.5 시험규격

보호제어유니트의 일반성능시험 항목 중 동작 온도시험, 내결연특성시험, 내서지특성시험, EMI시험, Fast Transient특성시험은 IEC 255.5, IEC255-22, IEC1000-4, EN61000-4, EN50081-2 등의 국제표준을 기준으로 하였다.

각 보호계전요소별 특성시험은 일본의 디지털보호계전기 규격인 B402를 기반으로 작성된 시험규격을 기준으로 실시하였으며, 시험장비로는 정특성시험을 위해서 Programma사의 FREJA와 Multi Amp사의 PULSAR를 이용하여 실시하였다. 또한 각 보호계전요소의 과도특성을 시험하기 위하여 캐나다 RTI사의 RTDS를 이용하여 시험을 실시하였다.

3. 결 론

LG산전에서는 축적된 기술을 바탕으로 장기적인 투자와 시행착오를 거쳐 선진 외국제품과 경쟁이 가능한 보호제어유니트를 개발하였다. 전제구조는 프로세서부, 입출력부, 표시조작부, 전원부로 나뉘어지며, MMI를 위하여 전면부에 4개의 LED, 12개의 숫자키패드, 9개의 제어키패드, 4x20 VFD와 PC인터페이스를 위한 RS232C포트를 배치하였다. 후면부에는 전원부와 네트워크 통신포트를 배치하였다. 내장된 보호계전기능은 사변형 거리계전요소를 기본으로 Carrier Scheme, 방향과전류요소, 방향지락과전류요소, 자동재폐로요소, 차단실패보호요소, 전압변성기 고장검출요소, 전류변성기 개방검출요소, 동기탈조 보호요소, 선로 가압시 보호요소, 저전압/과전압요소, 선로개방 검출요소, 약단보호요소 등을 갖추었고, 경보용으로 저주파검출요소를 구비하였다. 이외의 기능으로 제어기능, 감시 및 계측기능, 이벤트/고장 기록기능, 자기진단기능, 통신기능 등을 갖추었다.

향후 추가모듈로 GPS수신기를 이용하여 IRIG-B신호를 입력으로 한 PCM계전기를 단시일 내에 개발할 예정이다.

(참 고 문 헌)

- [1] Computer Relaying for Power Systems, Arun G. Phadke, James S. Thorp, Research Studies Press Ltd., 1988
- [2] 변전소 종합보호제어 시스템 설계 및 제작기술 개발, 최종보고서, 한국전력공사, 1997