



# 전력 보호용 디지털 계전기기술의 이해

디이시스 주식회사 부설 연구소

소장 **육 유 경**

Tel. 031-987-9193 / Fax. 031-987-9197

lab@deesys.com

## 서론

경보음이 울리고 적색 램프들이 깜박이고 배전반 감시원들은 계통사고를 수습하느라 한 동안 소란스럽다. 경보음들을 끄고, 경보 표시등에 내용을 확인 기록하고 복귀시킨 후 가장 급한 선로부터 전력을 다시 공급하기 위하여 차단된 차단기를 순서대로 투입하고 고장의 진원 계통만 분리하여 고장구간을 최소화한다. 복잡한 발·변전소에서 종종 일어나는 긴급 작전이다.

계통이 안정화되면 고장분석에 들어가고 자체 변전소에서 분석한 후 타 지역과 연계하여 분석해야 할 부분은 관련 지역과 협력하여 고장을 분석하고 모든 계전기들이 정상적으로 임무를 수행했는지를 우선 점검하게 된다. 이상 현상으로 정전구간이 확대되었다면 원인을 분석하고 오동작이 재발하지 않도록 대책을 강구하게 된다. 발·변전소 등에서는 말할 것도 없고, 크고 작은 공장에서도 계전기 동작 상태에 의하여 회로고장 원인을 확인하고 추정하는데 중요한 역할을 하게 된다.

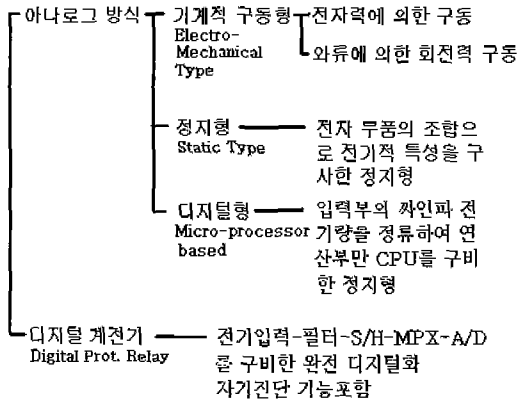
우리나라에서 계전기 산업은 일천하여 90년대 중반까지만 해도 수입에 의존하여 왔다.

계전기가 전력 공급에 미치는 영향이 그만큼

중요하기에 신뢰성이나 안전성이 없으면 절대로 사용 할 수 없기 때문이었다. 최근 까지만 해도 계전기는 기계식이 대부분이었다. 우리나라에 지금까지 설치되어 있는 계전기 수량 통계는 없으나 기존설비의 95%가 아직도 기계식인 것으로 추정된다. 그러나 80년대에 들어서면서부터 전자식 계전기가 도입되고, 90년대에 디지털 기술이 계전기에도 적용/개발되면서 전기 기술자에게도 디지털 계전기라는 말이 거슬리지 않게 되어가고 있다. 재래식 전력 보호 계전기가 단순한 보호 기능을 구사하는데도 상당한 기술이 요구되는데 비하여 디지털 기술을 보호 계전기에 응용하므로써 복잡하고 다양한 기능을 한 계전기 내에서 구사하게 되었다. 예를 들어 기존 보호 계전기반 한 면(전면기준 높이 2300mm x 폭900mm)에 빈 여백 없이 설치되었던 것이 디지털 계전기 1대(높이200mm x 폭400mm)에 모두 수용 할 수 있도록 소형화되었다. 앞으로는 수용가 맞춤형으로 개발 될 것으로 기대된다. 기성 전기 기술자 입장에서 이 새롭고 복잡하고 컴퓨터를 이용해야하는 이러한 계전 기능을 완전하게 이해한다는 것은 어려운 일이지 모른다. 그러나 최소한의 신세대 기술을 이해 할 필요가 있다고 본다.

여기에서는 재래식인 기계식 계전기(아날로그)와 디지털 계전기 차이점 및 그 장단점을 비교하고 디지털 기술이 우리나라에서는 어떻게 받아들여지고 있는지와 그 제품에 대하여 논하고자한다.

■ 계전기 동작 구성에 의한 분류

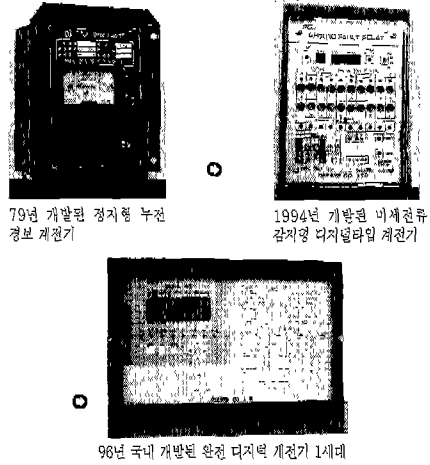


위의 분류에서 아날로그형 또는 정지형 계전기는 이미 구형으로 생산량이 급감하고 있어 여기에서는 제외하고 디지털 방식에 대해서만 논하고자한다.

■ 사진으로 본 계전기 분류 및 역사



■ 미세전류 감지형 누전 경보 계전기 국산화 역사



■ 보호 계전기의 일반적인 정의와 차세대 계전기

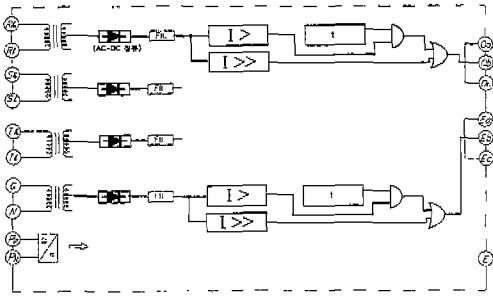
재래식 보호 계전기는 단순히 전기기기가 전기에 의하여 손상되지 않게 하고 제3의 재산에 2차적 손상을 미치지 않게 할 목적과 인명이나 동물 등의 피해 방지 목적으로 사용되는 감지 장치였다. 사용 목적에 따른 분류로서 기기보호용으로 과/소전류, 과/저전압, 과전력, 부족전력, 역율, 주파수, 임피던스형 계전기 등과 인축 피해 및 화재를 방지 할 목적으로 위한 미세전류 누전을 조기에 감지하여 경보해 주는 감지 목적에 적용된다.

그러나 최근 디지털 기술의 획기적인 발전으로 계전기의 재래식 보호기능 외에 감시기능과 제어기능을 추가 시켜 배전반의 구성을 단순화/축소화하는데 기여하고 있다. 즉 전류, 전압 등 계측 기능과 복잡한 인터록킹 기능에다 차단기/개폐기 투입/개폐 기능, 사고 파형 기록, 사고 내용 시간별 기록 등, 그 기능의 범위는 가히 끝이 없다 하겠다. 여기에 통신 기능을 구비하여 한 쌍의 통신 케이블만 연결하면 원거리에서도 쉽게 위에 열거한 기능들을

수행 할 수 있도록 발전되어 가고 있어 공사비 절감 효과도 있다. 따라서 앞으로의 계전기는 배전반에 구비해야 할 모든 기능을 통합한 집합형으로 개발될 전망이다.



### ■ 정지형(Static Type Protective Relay) 계전기 :



가. 입력부가 정류형이다. 즉 AC전류나 AC 전압을 받게되면 이 값을 DC로 정류한다.

나. 이 정류된 값의 크기를 OP Amp., 저항, 콘덴서 등 전자 부품으로 구성된 소자의 특성을 적절히 조합하여 특성을 구성하고 설정된 값에 해당하는 입력이 발생 할 때 출력 점점을 통하여 그 결과를 출력한다.

다. 전자 부품 소자를 이용하여 복잡한 회로를 구성해야 하므로 다기능화/축소화에 한계가 있다.

라. 고조파에 의한 값까지도 정류하기 때문에 고조파가 많이 실려 있는 계통에서는 동작 오차가 크다.

마. 개발 초기부터 전기적 환경에 취약한 부분이 많다.

바. 보수성에 한계가 있다.

### ■ 디지털형 계전기(Digital Type Protective Relay) :

우리나라에서는 디지털형 계전기(Microprocessor based Relay)로 알려진 구조로서 정지형에서 연산 기능만 Microprocessor IC를 구비한 계전기이다.

가. 입력부가 정지형에서와 같이 정류형이다. 즉 AC전류나 AC전압을 받게되면 이 값을 DC로 정류한다.

나. 입력 부에서 정류된 AC 량을 마이크로 프로세서를 이용하여 정확히 연산하여 감지 및 출

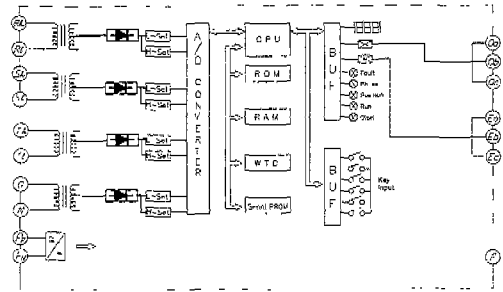
력 값을 결정하므로 정지형에 비하여 정확하고, 안정성이 있다.

다. 마이크로 프로세서를 이용하므로 서 전자 부품 수를 대폭 줄일 수 있어 내부 고장이 대폭 감소한다.

라. 마이크로 프로세서를 자기 진단 하여 내부 고장시 즉시 고장 신호를 송출한다..

마. 정류된 값으로 연산하기 때문에 연산 기능에 한계가 있다.

바. 고조파에 의한 값까지도 정류하기 때문에 고조파가 많이 실려 있는 계통에서는 동작 오차가 크다.



### ■ 디지털 계전기 :

위에서 설명한 디지털형에서 채택한 입력부 정류 방식을 사용하지 않고 Sampling Holder 와 Multiplexor라는 소자를 이용하여 입력 값을 바로 0, 1이라는 디지털로 변환하여 CPU에서 연산 할 수 있도록 하는 완전 디지털 계전기를 말한다.

위의 디지털형에 비하여,

가. 고조파에 영향을 받지 않고 다만 연산된 RMS 값에 의해서 동작한다.

나. 마이크로 프로세서에 의하여 고속 연산되기 때문에 정확하다.

다. 자기 진단 기능을 원활히 구성 할 수가 있어 A/S 기간의 연장이 가능하다. 기계식은 년 1회, 디지털은 최소 5년마다 점검하고 있다.

라. 고장시 고장 값 및 고장 시간 등을 기억하고 있어 고장 분석이 용이하다.

마. 정정을 Dip 스위치 또는 키로 정정할 수 있기 때문에 측정장비 없이도 정확히 정정할 수 있다.

바. 프로그램(소프트웨어)의 변경으로 많은 부분을 수용가에 맞도록 공급 할 수 있다. 맞춤형으로 적당하다.

사. 부가 기능으로 RS485/RS232를 내장하여 원격리에서도 자유롭게 계전기에 접근 할 수 있어 변전소 무인화에 적절하다.

도 마다 변화되는 입력(3상 전압 + 3상 전류 + 접지 전압 + 접지 전류)의 전기 크기들을 한 순간에 기억해 둔다.

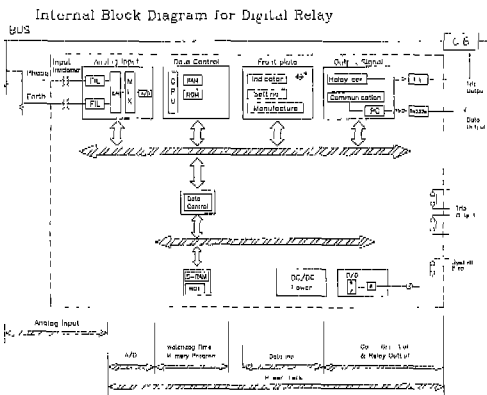
-멀티플렉서 : 위에서 잡아둔 순간 정지 값을 순차적으로 정돈하여 A/D 변환기로 보낸다.

-A/D 변환부 : 순서에 따라 받은 순간 값을 디지털화(0, 1) 한다.

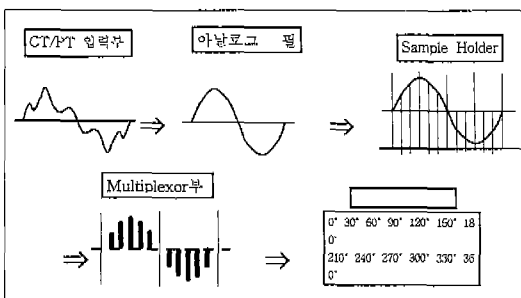
■ 디지털 계전기의 정밀도(1 bit의 크기)

위의 Sample Holder에서 30° (60Hz 계통 일 때, 1.39ms)마다 읽어드린 전압 또는 전류 크기는 12bit A/D 변환기의 경우 =2048로 나눈 만큼의 작은 값을 1bit로 한다.

예를 들어 위의 싸인파가 전압이라 할 때 정격이 110V이면 최대치는  $110 \times \sqrt{2} = 155.54V$  이고, 계통에 최고 전압을 150V까지 필요로 할 경우  $150 \times \sqrt{2} = 212.1V$ 이다.  $212.1/2048 = 0.1V$ 의 누적에 의하여 연산된다. 위 싸인파에서 90°에서는  $155.54/0.1 = 1555bit$ (10진법)가 되며, 180°에서는 -1555bit가 된다. 30°에서는  $1555 \times \sin 30^\circ = 1346bit$ 가 된다. 한 bit가 0.1V이므로 역산하면  $1346 \times 0.1 = 134.6V_{pick}$ 가 된다. 즉 최소 입자가 0.1V이하로는 나누어 질 수 없다는 뜻이다. 이보다 더 정밀한 량이 요구되면 14bit(=8192bit) 또는 그 이상의 A/D 변환기를 채택해야한다. 이 수치가 디지털 계전기에서는 정밀도를 나타내는 기준이 된다.



■ 신호 형태로 본 디지털 계전기의 입력부의 입력신호 처리

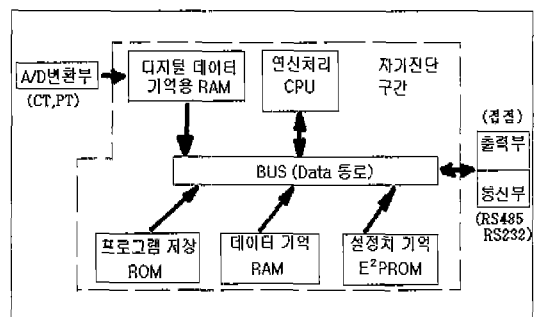


-CT/PT 입력부 : 전력 계통의 CT나 PT에서 싸인파 입력을 받는다.

-아날로그 필터 : 싸인파 입력에 함유된 고조파를 제거한다.

-샘플링홀더 부 A/D 변환 부 : 싸인파를 30

■ 연산에서 출력까지(마이크로 프로세서 부)





A/D변환부에서 양자화(수량화)된 수치를 데이터 기억용 RAM에 보관하였다가 CPU에서 프로그램의 순서에 따라 연산하고 결과를 설정치와 비교한다. 비교된 값이 설정치에 못 미치면 다음 데이터로 연산을 반복한다. 설정치에 도달한 값이 연산되면 즉시 출력부 와/또는 통신부를 통하여 출력을 내보내게된다.

### ■ 자기진단 기능

디지털 계전기의 큰 장점 중의 하나는 스스로 내부의 이상유무를 판단하는 기능을 갖고 있다는 것이다. 입력부, 출력부 등 하드웨어 부를 제외한 소프트웨어 부분을 상시 감시하여 이상시 출력접점 또는 통신기능을 이용하여 감시원에게 즉시 통보해 주므로 불량으로 인한 장시간 불량으로 방치하는 사례를 대폭 줄일 수 있어 그 만큼 보수성이 용이하다 할 수 있다.

여기에 고급기종의 경우 자동점검 기능이 부가되는데 이 기능은 입/출력 하드웨어의 이상유무를 정기적으로 점검하도록 한 기능을 말한다.

### ■ 통신기능

계전기들에서 두 선만 병렬로 배선하여 감시반에 있는 PC에 연결하면 어느 계전기 내에 포함된 데이터나 상태 또는 제어까지도 배선반에서 감시/제어 할 수 있는 기능이다.

### ■ 디지털 계전기 개발

기능이나 특성, 장치의 축소화 등 많은 장점이 있다하더라도 경제적인 면을 고려하지 않을 수 없다. 80년대에 들어서면서부터 GE, WH, Mitsubishi, Toshiba, 등 세계의 계전기 시장을 주도하고 있던 회사들이 계전기의 디지털화 연구에 착수한 분야는 154KV, 345KV급 선로에 적용되는 복잡하고 연구기간도 짧지 않은 고성능 계전기 이었다. 투자비도 당연히 많이 드는 시기였기 때문에 위의 제조사들의 전유물처럼

되어 있었다. 그러나 디지털 기술이 일반화되면서 기계식이나 정지형보다, 특성이나 신뢰성이 월등하며 복합적인 기능을 수행하도록 할 수 있고 24KV 급 이하에서도 경제성이 있게되어 유럽 권에서부터 확대되기 시작하였다.

우리나라에서는 1994년부터 국산화 개발이 시작되어 1997년 최초로 실용화되었다.

### ■ 신규 설비에서의 보호계전기 선택시 유의 사항

전기 설비에 있어 초기 부품의 선택은 중요하다. 특히 계전기에 있어서는 한번의 선택으로 적어도 10년 이상 전기 설비 보호에 지장이 초래 되면 그 피해는 적지 않다. 계전기의 선택은 설비를 가장 안전하게 사용 할 수 있도록하는 장치이기 때문에 그 중요도는 가격에 비할 수 없다. 계전기 선택시 최소한 고려해야 할 사항을 열거하면 아래와 같다.

- 보호 기능이 그 전기 설비에 적절하냐는 것이다. 전력회사와 연계된 부분의 보호협조, 전원측의 접지, 보호 기기의 종류 등을 종합하여 검토한다.

- 전문 제작자에 의하여 제작되고 신뢰성이 검증 되었는지 확인한다. 계전기는 차단기나 배전반과 그 기술이 전혀 다르다. 전문 기술이란 전자 기술에 생산 기술이 접목되어 이론으로 설명이 불가능한 강력한 설계/생산 능력의 Know-How가 포함된 기술을 말한다. 수많은 시험과 수정을 거쳐 생산되는 제품이란 뜻이다.

- A/S를 손쉽게 받을 수 있는가를 검토한다. 계전기 한 대의 값이 불과 100만원 대라는 것은 다 아는 일이다. 한 대의 A/S를 받기 위하여 외국의 기술자를 초청 할 수도 없는 일 이다. 아무리 외국어에 능한 기술자라도 외국의 제품을 사용한다는 것은 A/S 받기를 포기 하는것과 같다. 국내 개발 제품을 사용하면 설계에서부터 상용상의 애로 사항까지 언제든지 지원을 받을 수 있다. A/S란 설계시에는 기초 자료를 제공하고, 설치시에는 시운전을 돕고, 완공 후에는 사용자의 편에서 애로 사항 없이 수명이 다 할 때까지 사용하는데 따른 기술지원과 고장 수리

까지 책임 지는 것을 말한다.

- 그 제품 가격이 적절한가를 검토한다. 요즘 국내 디지털 계전기가 개발 되면서 외국제 가격이 절반 이하로 낮아지긴 했지만 아직도 국산 제품에 비하면 싸지 않은 편이다. 제품의 국산화 개발이 국내 시장에서 수입품의 가격까지도 적정 수준으로 내리게 할 수 있다는 것은 놀라운 일이다. 다기능의 계전기를 설치하여 그 중에 한두개의 기능만 사용한다면 나머지 기능은 그 계전기의 일생 동안 사장되고 마는 것이다. 차라리 단순 기능의 저가품을 선정하는 것이 유리하다.

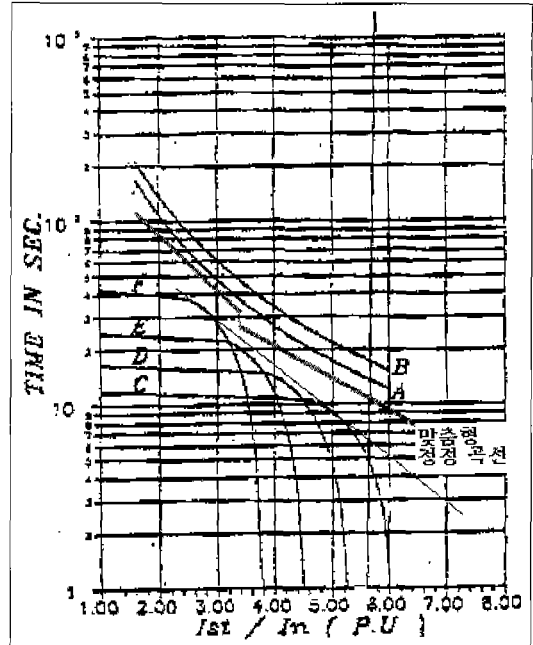
- 통신 기능 적용 여부를 확인한다. 변전소 무인화를 목표로 설계한다면 그 마스터 플랜에 합다하는 프로토콜을 선택해야한다. 각 제품 생산자 마다 서로다른 언어를 사용하기 때문이다. 예를 든다면 영어만 아는 사람과 한국어만 하는 사람이 대화 할 수 없듯이 말이다.

### 결론

디지털 계전기의 제일 중요한 부분은 융통성이 있다는 것이다. 최종 사용자의 특수 특성을 손쉽게 제공 할 수 있다. 제작사에서 배포된 카탈로그에는 아래 예들이 없다. 설계시나 시공시 디지털 계전기 제작사와 협의하면 항상 최선의 기술지원을 받을 수 있으리라 사료된다. 설계자가 선택하기에 편리하고 수용가측에서는 경제적이고 편리하게 사용 할 수 있도록 무한히 발전 할 수 있는 기술이 바로 디지털 기술이라고 생각된다. 수용가 측에서 발생하는 계전기에 대한 애로사항을 최대한 수용 할 수 있는 기술이 디지털 기술이라는 것을 이해하고 한번쯤 제작자에게 애로사항을 확인하여 최선의 보호 계전기를 선정해야 하겠다. 제작자 측에서도 가능한 한 수용가측의 주문 사양에 대응하고자 노력하고 있다.

수용가에서 발생한 애로 사항에 대한 대책 몇 가지로 글을 맺는다.

예 1.



이 모터 특성에 만족하는 계전기의 특성 곡선은 A곡선과 F-C의 접선을 연결한 사이를 통과하는 곡선이어야한다. 그러나 일반 계전기에 내장한 특성 중에서는 이러한 곡선을 갖는 계전기는 찾기가 어렵다. 이 때 디지털 계전기는 수용가의 요청에 따라 손쉽게 출력 특성을 공급할 수 있다. 특히 국개발된 디지털 계전기는 국내에서 손쉽게 기술지원을 받을수 있는 장점이 있다.

예 2.

디지털 과전류 계전기는 그 이전 재래식에 비하여 정정 범위가 넓은 장점을 갖고 있다. 그러나 그 범위를 벗어나면 디지털 계전기도 동일하다. 다만 디지털 계전기는 그 정정 범위도 수용가 맞춤이 가능하다. 아래 표에서와 같이 주문에 의하여 손쉽 변경이 가능하다.

	표준 정정 범위 (카탈로그)	대안 1(허한)	대안 2	기타 대안 3
Phase	2~12A	0.2~2.0A	10~20A	수용가 맞춤형
Ground	0.5~2.0A	0.1~1.5A	1.5~5A	수용가 맞춤형