

보호 계전기 오동작 방지용 실시간 제어전원 감시 방법

이돈시, 정순영, 홍정기
(주)효성, 중공업연구소

A Surveillance Method of Real-Time Power Control Malfunction-Proof For Protection Relay

Don-Sea Lee, Soon-Young Jung, Jung-Ki Hong
HYOSUNG Corporation, Power & Industrial R&D Center

Abstract - 전력계통 구성의 복잡함에 따라 보다 다양한 기능이 요구되는 디지털 보호 계전기는 구성 모듈이 점점 다양해지고, 상호 복합적으로 설계된다. 그러한 결과로 개발 시, 공인 인증된 디지털 보호 계전기의 외란에 대한 신뢰성은 예상치 못한 오류 등으로 인하여 신뢰를 상실하는 경우가 있고, 최악의 경우 오동작을 유발하여 전체 전력 계통의 정전을 초래할 수 있다. 특히 디지털 보호 계전기의 시스템 이상 감시에만 그치던 자기 감시 기능은 반복되는 잘못된 이상 감지 판단으로 관리자 및 실무자의 계통 보호에 대한 신뢰의 혼동을 가져올 수 있으며, 일반적인 자기 감시 주기인 1~2초는 그 순환 주기 시간이 너무 길어서 제대로 된 시스템 감시를 행하지 못할 수 있다. 물론 고속의 자기 감시가 필요한 부분은 특별히 존재하지 않지만, 이는 오동작 시 전체 시스템에 미치는 영향을 고려하면, 고속 감시 항목을 미리 지정하여 자기 감시의 신뢰도를 높이는 것도 매우 중요하다. 그렇지만 일반적으로 그 주기를 고속으로 매우 짧게 가져간다면 전체적인 시스템에 무리한 부담을 유발하여 기본 기능에 대한 안정성을 악화시킬 수 있다. 그러나 가장 위험한 현상은 자기 감시 실패 시 디지털 보호 계전기 뿐 아니라 전체 계통에 막대한 피해를 유발하는 것이다. 본 논문에서는 이러한 경우 오동작을 사전에 예방할 수 있는 추가 상시 감시 Tool을 제시한다.

1. 서 론

현재 디지털 보호 계전기는 기본적인 자기 감시 기능을 가지고 있지만, 디지털 보호 계전기의 기능 상 우선순위의 보호 및 계속 연산 부분 때문에 고속 실시간 감시가 어렵고, 또한 부분적인 자기 감시 기능의 효과와 내부 시스템 이상 검출에만 사용되고 있다. 그러나 위의 자기 감시 기능은 주 기능이 아니기 때문에 계속된 관심을 받지 못하고 있고, 오히려 하드웨어적인 EMC 등의 내력에 큰 관심이 집중되고 있다. 물론 “자기 감시의 실패가 계통에 큰 영향을 미치지 못한다” 라는 인식이 있을 수 있으나, 이것은 잘못된 상식이며, 내부 감시 오류로 인하여 파급될 수 있는 영향력을 고려해 보면, 저속으로 처리되어도 관계없는 자기 감시 항목과 고속으로 처리되어야 할 자기 감시 항목 등으로 나눌 수 있으며, 특히 위의 일반적인 List 외에 추가되는 항목으로써 계전요소와 관계된 아날로그 전원 변화에 의한 자기 감시 항목이 추가 되어야 한다. 이는 고속 검출되어야 하며, 순시 계전요소 (약 50msec 이내 동작) 보다 더 빠르게 계전요소의 Trip Signal을 Blocking 시켜서 디지털 보호 계전기 이상현상이 계통으로 확대되지 않도록 방지함으로써 디지털 보호 계전기의 신뢰성을 한 층 더 향상시킬 수 있다.

2. 본 론

2.1 일반적인 디지털 보호 계전기의 상시감시 항목

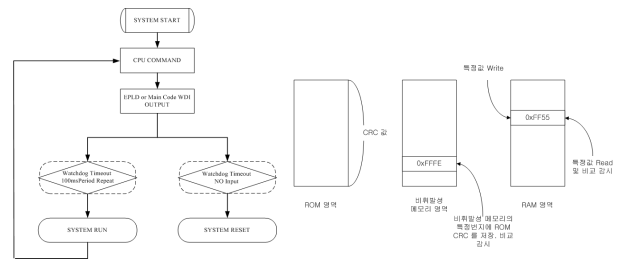
자체 기능으로서의 디지털 보호 계전기는 그동안 문제시 되어졌던 보호 맹점 및 오동작 등에 대한 많은 오류 등은 거의 해결책을 찾아 개량되었다. 또한 위에서 언급한 다양한 자기 감시 기능은 모듈 식으로 구성되어 있는 디지털 보호 계전기의 유지 보수 및 확장성에 대한 많은 문제를 해결하였다.

각 모듈에 대한 주기적인 자기 감시 명령을 하달함으로써 비교적 짧은 주기인 1~2 초 간격으로 각 부분 모듈 및 주요 기능 Chip 등의 상태를 감시하고 이상이 판단될 경우 외부 알람 등을 통하여 관리자에게 보다 빠르게 전달될 수 있고, 그만큼 기기 이상으로부터 보호가 불가능한 시간이 점점 줄어들고 있다. <표 1>은 일반적인 디지털 보호 계전기가 하고 있는 주기적인 자기 감시 List 이다.

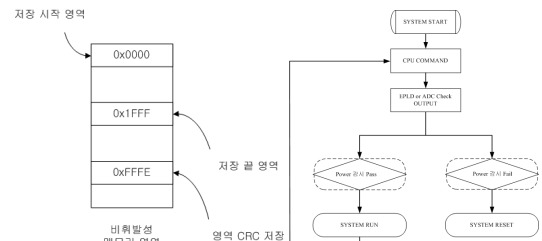
그리고 <그림 1 ~ 4> 은 감시 List 항목에 대한 일반적인 감시 방법을 나타내고 있다. 이들의 수행 시간을 길게 하면 할수록 감시 시간은 길어지겠지만, 좀더 다양한 자기 감시를 하면서 시스템에 부담을 주지는 않는다.

순번	시스템 감시 대상
1	CPU
2	RAM 및 ROM
3	Setting Data
4	제어 전원 Module
5	디지털 입력 부
6	디지털 출력부
7	아날로그 입력 변환 부

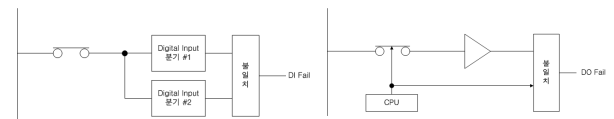
<표 1> 일반적인 디지털 보호 계전기의 상시 감시 List



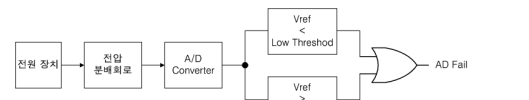
<그림 1> 일반적인 디지털 보호 계전기의 CPU 및 메모리 감시



<그림 2> 일반적인 디지털 보호 계전기의 정정 및 제어전원 감시



<그림 3> 일반적인 디지털 보호 계전기의 DI 및 DO 감시



<그림 4> 일반적인 디지털 보호 계전기의 AD Converter 감시

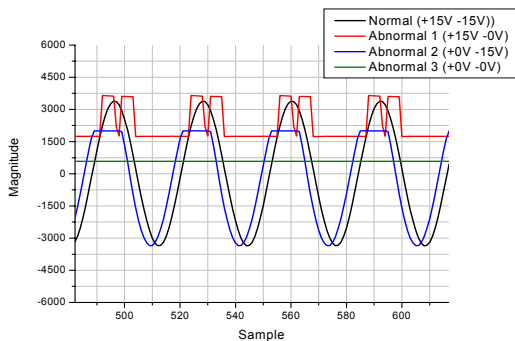
2.2 OP-Amp 전원 감시의 필요성

CPU 에 대한 상시감시는 고유 기능인 Watchdog을 이용하여 검출할 수 있다. 또한 메모리 부 (ROM, RAM, 비 휘발성 메모리 류) 는 자체 감시 Address 의 데이터를 비교함으로써 감시 가능하다. CPU와 메모리 류는 다른 부분의 IC와 비교하여 상대적으로 고가이며 이미 일반적인 모든 부품에 상당한 내구성을 가지고 있어서 동작 중에 자체 오류의 가능성이 미미하다. 또한 제어전원부도 자체 모듈의 내구성이 시스템 내구성 이상의 특성을 가지고 있다. 만일 위에서 언급한 감시 부분의 오류가 체크되었을 경우 자체 기능이 완전 정지하거나 다시 Reboot 될 수 있다

록 설계한다. DI 및 DO 모듈의 자기 감시도 이와 일맥상통한다. 그러므로 전체 시스템이 손상되지 않는 한 부분적인 오류에서는 디지털 보호 계전기의 고유기능인 "계통 이상 시 차단기 Open"이라는 관점에서 보면 그 가능성이 희박하다.

AD 변환부의 감시는 이와는 달리 자체 오류 시 상당히 심각한 상황을 유발할 수 있다. 이는 대부분의 보호 계전 요소들 동작시키는 전압, 전류 Source를 공급하기 때문이다. 그리하여 Main CPU 다음으로 고성능 칩을 요구하는 부분이다. AD Converter는 뛰어난 내구성과 성능으로 거의 자체오류를 일으키는 경우가 없고, 또한 자체 Reference 수치 비교로서 자기 감시가 가능하다. 그렇다면 여기에서 보호계전요소를 위한 전압, 전류 Source가 얻어지는 과정을 살펴볼 필요가 있다. 보통 디지털 보호 계전기 입력 단으로 들어온 아날로그 파형은 계전기 내부의 PT, CT로서 다시 시스템 Level 로 바뀌며, 이를 AD 변환하여 얻어진다. 시스템 Level 즉 Scaling 은 아날로그 신호에 대한 처리이며, 이를 관장하는 회로 소자가 OP-Amp이다. OP-Amp 는 외부 아날로그 신호를 내부적으로 처리 가능한 아날로그 신호로 Scaling 해주며, 부품 자체는 일반적으로 ± 15 Vdc 전원 입력을 받는다. 이러한 전원은 보통 SMPS (Switching Mode Power Supply) 전원 모듈에서 분배되어지며, OP-Amp 의 증폭특성은 전원에 많은 영향을 받는다.

OP-Amp 는 그 정밀도에 따라서 가격도 극과 극이다. 일반적인 디지털 보호 계전기는 아날로그 채널에 따라 다수의 OP-Amp를 사용하고 있으며, 경제성을 고려하여 설계한다. 그러나 대부분의 경우 OP-Amp 의 자체 오류 시 과급되는 현상을 인지하지 못하고 있고, 이에 대한 상시감시를 고려하지 않고 있다. 특히 Op-Amp 의 제어전원 이상 시, 아날로그 전압, 전류 파형은 예측하지 못한 크기로 증폭될 수 있고, 이에 따라 정상적인 디지털 보호 계전기의 보호 요소가 동작할 수도 있으며, 실제로 이러한 경우에는 전력계통에 큰 손실을 유발할 가능성이 농후하다. 그러므로 OP-Amp 의 제어전원 상시감시는 항상 가장 빠른 보호 계전 요소보다 빨리 체크되어야 하며, (일반적인 순시 보호 요소는 약 50msec 이내 동작이지만, 대 전류에 대한 반 한시 보호 요소는 25msec 의 공칭 동작시간을 가지는 것도 있다), 실제 OP-Amp 이상 시 보호 요소를 Blocking 하는 고속 Process가 필요하다. <그림 5>는 OP-Amp 전원 이상을 모의하였을 때 입력 파형의 왜곡 정도를 나타낸다.



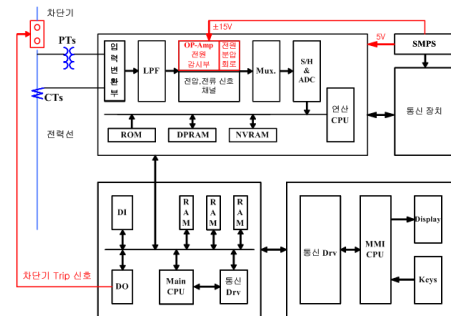
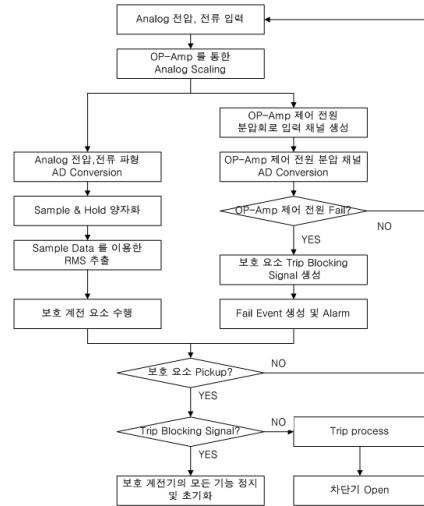
<그림 5> OP-Amp 전원 이상 시 입력 파형의 왜곡

2.3 OP-Amp 전원 감시의 동작

기본적으로 디지털 보호 계전기는 전압, 전류에 대한 아날로그 파형을 입력받는다. 이 파형은 AD 변환을 통하여 디지털 신호로 양자화되며, 이러한 교번 형태의 데이터는 RMS 추출 알고리즘을 통하여 크기와 위상을 생성한다. 여기서 생성된 크기와 위상은 과전류 계전요소 및 과/부족전압 계전요소, 기타 전력형 계전요소 등의 기본 Source로 이용된다. 이것이 디지털 보호 계전기의 주기능이지만, 디지털 장치의 외란에 대한 오류 가능성을 배제할 수 없기 때문에 각 주요한 부분 장치에 대한 주기적인 상시 감시를 수행하고 있으며, 이는 고속으로 동작하는 주기능 수행부에 부담이 가지 않을 정도의 시간적인 주기로서 수행된다. 디지털 IC 등의 발달로 인하여 각 개체들이 외란에 대한 내구성을 지닌 덕분에이다. 또한 경험적으로 보아도 메모리 류나 AD Converter 등은 산업용으로 제작되어 일반적인 소자의 특성보다 더 강인하다.

그러나 아날로그 관련 회로 설계 상의 다수가 설치되는 Scale 증폭용 OP-Amp 는 이러한 중요 부품에서 제외되는 것이 현실이며, 실제 오류 가능성이 있는 부품임을 간과할 수 있다. 더불어, 아날로그 파형 증폭부에 오류가 발생하면 전체 데이터 Scale이 예상하지 못할 정도로 커져서 과전류, 과전압 등의 계전요소를 오동작 시킬 수 있고, 반대로 예상밖의 Scale 감소는 부족 전류, 부족 전압등의 요소를 오동작 시킬 가능성이 매우 크다. 그리하여 이에 대한 대책으로 OP-Amp 의 전원 감시를 통하여 OP-Amp 건전성을 고속으로 판단하는 Process가 필요하며, 이는 계전요소 연산보다 더 빨리 판단을 종료하고 이상 여부에 따라 계전요소의 최종 출력을 Blocking 시키는 기능을 갖는다.

먼저, OP-Amp 의 동작 특성을 파악한 후, Threshold를 정하는 것이 중요하다. OP-Amp 의 직류 전원에 대한 AD 변환 후 데이터는 일반적으로 전원의 크기를 나타낼 것이며, 이 OP-Amp 의 동작 특성이 정격치의 $\pm 20\%$ 이내이면 그 오차를 1차 Threshold 에 그대로 반영한다. 또한 직류이기 때문에 $\pm 20\%$ 오차 내에 있더라도 일정한 데이터가 아닌 리플을 가지는 데이터이면, 리플의 각을 Backup Threshold 로 하여 이 각도로서 2차 감시를 시행하게 된다. 만일 1차 및 2차 Threshold 판단 이상 값으로 추정되면, 모든 계전요소를 Blocking 하여 출력이 나가지 않도록 명령을 하달하며, 시스템은 최종 Fail을 Event 로 발생함으로써 관리자에게 그 정보를 송달한다.



<그림 6> OP-Amp 전원 감시 흐름도 및 Block Diagram

3. 결론

디지털 기기는 기능의 다양화 및 확장성 등의 이유로 여러 모듈이 결합되어 있는 상태로 개발된다. 이 때 MCU 는 각 모듈 및 주요 부품 등의 오류를 주기적으로 감시하여 이상 유무를 판단해야 전체 시스템적인 감시가 가능하다. 일반적으로 현재의 디지털 보호 계전기는 CPU, 메모리 류, AD 변환기, I/O 모듈 등에 대한 지속 자기 감시를 하는 것이 통상적이었으나, 본 논문에서 제시하듯 아날로그 입력 신호의 잘못된 Scaling 이 보호 계전기 오동작을 유발하여 계통에 큰 영향을 미칠 가능성이 농후하므로, 이에 대한 OP-Amp 의 전원감시등을 고속으로 수행함으로써 미연에 오동작을 예방할 수 있다. 또한 공인 인증된 환경규격을 만족한다고 하더라도, 이처럼 미세하지만 실제 영향이 큰 부분의 시험은 존재하지 않고, 더불어 디지털 보호 계전기에서는 그동안 등한시되었으나, 자기 감시의 종류를 확장하여 시스템에 부담이 없는 한계에서 다양한 자기 감시는 디지털 보호 계전기 뿐만 아니라 다른 디지털 기기의 신뢰성을 높이고, 점점 다양하고 확장이 필요한 기기 특성 면에서도 일조하여 전력 계통의 안정성을 더욱 더 향상시킬 것이다.

[참고 문헌]

[1] (주)효성 중공업PG 전력PU "(주)효성 디지털 보호계전기 ProPACII-FD Manual", 2003
 [2] Robert F. Coughlin, Frederick F. Driscoll "Operational Amplifiers and Linear Integrated Circuits-6th Ed", 2001