

중용량 전동기보호를 위한 전류형 디지털 보호계전기 개발

정종진, 김종표, 신중환, 박장수
LS산전 전력연구소

Development of Current-based Compact Digital Protective Relay for Induction Motor Protection

Jong-Jin Jung, Joong-Pyo Kim, Jong-Han Shin, Jang-Soo Park
ElectroTechnology R&D Center, LS Industrial Systems

Abstract - This paper describes the current-based compact digital motor protective relay for low and high voltage induction motors, which are widely used in industrial and commercial power systems. The existing protective relays for motor protection had only overload, short circuit, reverse phase, open circuit and grounding protective elements, and measurement, start/stop control function. But in present day, for automation system, various functions are required, especially motor management and sequence control function and more. To meet these requirements, we developed an economic current-based compact digital motor protective relay which had various function to control, manage and monitor the induction motor.

1. 서 론

전력계통에서 운전 중인 전동기는 그 선로나 내부 권선의 단락 및 지락 사고에 대해서 반드시 보호해야 한다. 또한 전동기는 열 정격과 그 한계가 있으므로 사고가 아닌 경우에도 과부하에 의해 과열 상태가 되지 않도록 해야 한다.[2] 이를 위해 사용되는 장치는 과거의 bi-metal이나 fuse 등에서부터 최근의 디지털 보호계전기까지 빠르게 발전하여 왔으며 우리나라에서도 90년대부터 디지털 보호계전기의 보급과 적용이 확산되면서 현재는 보다 정확하고 우수한 성능의 계전기로서 전동기 보호를 할 수 있게 되었다. 계전기 자체의 고성능화 외에도 보호계전 분야의 자동화 추세에 따라 계측, 제어, 감시, 원방 통신 등 다양한 기능에 대한 시장 요구가 높아져 왔다[1]. 본 논문에서는 전동기 보호에 필요한 계전 요소들을 설명하고 보다 원활한 기동, 운전, 제어에 요구되는 다양하고 독창적인 기능들을 탑재한 전류형 디지털 전동기 보호계전기를 소개하고자 한다.

2. 본 론

2.1 계측기능

본 계전기의 계측요소로는 각상의 전류 및 영상전류, 영상전압을 포함하는데 각상의 경우 0.05~200[A]까지 영상전류의 경우 NCT 사용시 0.05~40[A], ZCT사용시에는 0.15~30[mA] 그리고 영상전압의 경우 2.2~200[V]까지 넓은 영역에서 정밀한 계측이 가능하다. 또한 전동기의 불평형율을 알 수 있는 역상전류와 선간위상, 열량을(평균/최대열량을 포함) 및 부하율 등의 다양한 계측기능을 갖추고 있을 뿐만 아니라 기동전류 및 기동시간의 평균값과 최대값을 측정하여 전동기 이력 관리의 지표로 사용하고 있다. 그리고 AI(Analog Input)의 경우 4~20[mA] 사이의 값을 기본적으로 계측하며, 이외에도 계전기 관리용 PC 프로그램에서 Engineering value를 적용할 경우 온도, 압력 등의 다양한 계측이 가능하다.

2.2 보호기능

본 계전기는 전동기 보호에 필요한 다양한 보호 기능을 내장하고 있다.[2]

표 1. MPR(Motor Protection Relay)의 계전요소

Device(ANSI Numbers)	보호기능
UCR(37)	저전류 계전기
RTD(38)	온도계전기
NSOCR(46)	역상과전류 계전기
STALL/LOCK(48/51LR)	회전자구속 계전기
THR(49)	열동과부하 계전기
OCR(50/51)	과전류 계전기
OCGR(50/51N)	지락과전류 계전기
NCH(66)	단속계전기
SGR(67G)	선택지락계전기
DGR(67N)	방향성지락계전기

2.2.1 저전류 보호요소

저전류 계전기(37)는 전동기의 갑작스런 부하상실로 인한 무부하 운전을 검출하고 그 때 회로를 차단함으로써 전동기의 과회전을 방지하는 역할을 한다. 이 때의 동작은 정한시 특성을 갖는다.

2.2.2 과전류 보호요소

과전류 보호요소에는 과전류계전기(50/51), 역상과전류 계전기(46) 그리고 전동기의 기동실패 및 회전자 구속에 의한 과전류를 검출하여 동작하는 회전자구속계전기(48/51LR)가 있다. 과전류 계전기는 기기의 단락고장전류 및 과전류를 검출하여 그 해당기기 및 선로를 보호하는데 사용하는 요소이다. 동작특성은 순시동작(2.5~100[A]/0.5[A])과 한시동작(0.5~20[A]/0.1[A])으로 구분되며 한시동작은 정한시 및 반한시(Standard Inverse(SI), Very Inverse(VI), Extremely Inverse(EI), Long Inverse(LI)) 특성을 갖는다. 특히 순시 요소의 경우 High와 Low 스테이지를 따로 구분하여 동작치 설정을 각각 달리할 수 있기 때문에 순시보호의 동작특성을 다 변화 할 수 있는 장점을 가지고 있으며, 동작치 설정에 있어서도 2.5~100[A]까지 넓은 영역에서의 설정이 가능하다. 역상과전류 계전기는 3상 회로의 결상운전 또는 불평형 운전시 회로에 흐르는 역상전류를 검출하여 회로를 차단하는 요소이다. 전동기의 고정자권선에 흐르는 역상 전류는 동기속도의 2배로 회전자와 쇄교하기 때문에 매우 작은 역상 전류도 과열을 유도하게 되므로 전동기 보호에 있어 필수적인 요소라고 할 수 있다. 이 요소의 동작특성은 순시동작(0.5~5[A]/0.1[A])과 한시동작(0.5~5[A]/0.05[A])으로 구분되며, 한시동작은 정한시와 반한시(SI, VI, EI, LI) 특성을 포함한다. 회전자구속 계전기의 STALL 요소는 운전 중에 정격전류 이상의 전류가 순간적으로 설정치 이상으로 유입될 때 이를 검출하여 동작하며 정한시 동작 특성을 갖는다. 또한 LOCK 요소는 전동기 기동시 회전자가 구속되어 회전하지 못하게 될 경우 큰 구속전류가 흐르게 되는데 이를 보호할 목적

으로 사용되며 정한시 또는 반한시 동작(VI, EI)을 한다.

2.2.3 지락보호요소

지락보호요소로는 지락과전류 계전기(50/51N), 선택지락계전기(67G), 방향성지락계전기(67N)가 있다. 접지계통에서의 지락고장전류를 검출하는 지락과전류 요소의 동작특성은 순시(0.5~40[A]/0.1[A]) 및 한시동작으로 구분되며 한시동작의 경우 0.1~10[A]/0.05[A] 사이의 동작 설정이 가능하므로 저전류 영역에서도 확실한 지락보호가 이루어 질 수 있는 장점을 가지고 있다. 이 때의 동작 특성은 정한시와 반한시(SI, VI, EI, LI)를 포함한다. 선택지락계전기는 비접지계통에서 방향성지락계전기는 저항접지계통 및 유효접지계통에서 영상전류 및 영상전압을 검출하고 지락고장시 고장선로를 선택 차단하여 선로 및 기기를 보호하는데 사용하는 요소이다. 동작 조건은 영상전압/전류의 크기가 설정치 보다 모두 크고 두 요소의 위상관계를 판단하여 위상값이 동작영역으로 들어왔을 경우에 한해서 정한시 동작을 한다.

2.2.4 열동보호요소

전동기에 발생한 열을 감지하여 보호하기 위한 요소로 크게 온도계전기(38)와 열동과부하 계전기(49)가 있다 [3][4]. 온도계전기의 경우 Bearing 으로부터 발생한 열을 RTD(Resistance Temperature Detector)를 통해 감지하여 보호하는 요소이다. 본 계전기에서는 두 채널의 AI 입력과 각 채널별로 스테이지(High, Low)를 구분하였기 때문에 각기 다른 동작설정(20~180℃/1℃)을 할 경우 보호 계전기 동작 특성을 다변화 시킬 수 있는 장점이 있다. 열동과부하 계전기는 지속적인 부하 증가로 전동기에 과부하가 발생할 경우 전동기를 보호하는 요소이다. 이 때 발생한 전동기 열량(Heating, Cooling 상태)에 따라 계전기 동작 시간이 결정되는데 이 동작시간의 산출은 계측된 상전류를 이용하며 그 방법은 식(1)과 같다.

$$t = \tau \ln \frac{I^2 - I_p^2}{I_b^2 - I_p^2} \quad (1)$$

여기서, τ : 열시정수
 I : 고장전류
 I_p : 고장전부하전류
 I_b : 정격부하전류

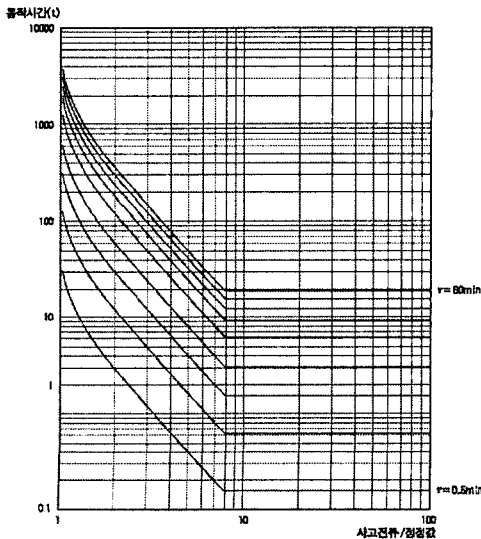


그림 1. Thermal Curve(Hot 동작특성)

2.2.5 전동기 기동 감시요소

전동기 기동시 기동전류로 인한 Thermal stress는 전동기 가열의 원인이 되기 때문에 기동횟수를 감시하여 이를 제한해 줄 필요가 있다. [3] 단속계전기(66)는 일정 기간동안 전동기의 과도한 재시동을 막기 위해 사용하는 기동회수 제한 장치로 여기에는 기동전 전동기의 열량에 따라 동작하는 잔류열량요소, 일정시간동안 기동을 제한하는 기동횟수 제한요소 그리고 전동기 기동과 기동 사이의 시간을 제한하는 재기동 제한시간 요소 등이 독립적으로 구성되어 동작한다.

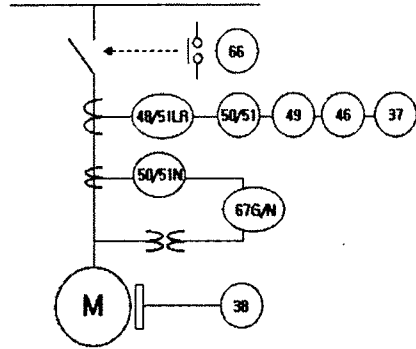


그림 2. 전동기 보호를 위한 보호계전방식

2.3 부가기능

개발된 전동기 보호용 계전기는 계전 요소 동작 후 고장 전후의 상황 분석이 용이하도록 여러 가지 Recording 기능(Event, Fault, Wave)을 구비하고 있으며, 계전기 자체 고장으로 인한 오동작을 미연에 방지 할 수 있도록 자기진단 기능과 차단기회로에 대한 자동점검기능인 TCS/TRS 기능을 갖추고 있다. 이 외에도 다양한 통신 프로토콜을 지원하는 통신기능과 Programmable Logic 기능 등을 갖추고 있다.

2.3.1 Recording 기능

Event Recording은 계전기와 관련된 각종 동작 또는 상태의 변화가 있을 때 발생한 시간과 함께 비휘발성 메모리에 기록하는 기능으로 최근 128개까지 저장할 수 있다. Event 정보에는 계전요소의 pickup/operation, DI/DO의 open/close, 계전요소 설정 이력, 계전기 설정 이력, 각종 제어 동작을 포함한다. Event는 1ms단위로 기록하여 Event 분석을 용이하게 한다. 또한 계전요소가 동작하여 실제 차단기를 개방하는 동작이 발생했을 때를 Fault 라고 정의하며 최근 32개까지 Fault record를 기록할 수 있다. Fault record에는 사고 당시 동작한 계전요소와 동일시각의 상전류, 영상전류, 온도 등을 기록한다. Wave Recording 기능은 사용자가 지정한 특정 event 발생시 동작하여 일정 기간의 analog wave와 접점 상태를 메모리에 저장하는 기능이다. 1sec 동안의 wave를 최대 4회까지 저장할 수 있고 60Hz당 sample회수와 기록 주기에 따라 그 회수는 최대 32회까지 가능하다. Wave record에 저장하는 정보로는 모든 Analog channel(Ir, Is, It, Io, Vo, AI1, AI2)의 데이터와 모든 접점(DI 7개, DO 9개)의 상태를 기록한다. Wave record를 동작시키는 event로는 계전요소의 pickup 및 operation, DI/DO의 open/close event들이며 이것들을 조합하여 사용할 수 있다. 또한 저장된 파형은 관리용 PC 프로그램을 통해 Comtrade 파일로 변환하여 저장할 수 있어서 사고 전후의 계통 데이터 분석에 유용하게 사용 할 수 있다.

2.3.2 자기진단 및 자동점검기능

디지털 보호계전기의 장점 중에 하나인 자기진단 기능

은 계전기 자체를 스스로 점검하여 이상 유무를 판단하고 사용자에게 알리는 기능이다. 이를 통해 보호 계전기 자체에 이상 발생시 계전기의 오부동작 또는 건전시 오동작을 미연에 방지 할 수 있어 계전기의 동작 신뢰도를 높일 수 있는 중요한 기능이다. 자기진단은 중고장(Memory, Sub Processor, A/D Converter, UART, Power Fail)과 그렇지 않은 경고장(Backup전원이상, Serial 통신 이상, Calibration 실시유무, Logic program 저장 유무 등)으로 구분하여 감시한다. 중고장이 발생하는 경우에는 즉시 계전기의 동작을 멈추고 이상이 발생한 부분을 사용자에게 알림으로써 신속한 보완조치를 가능하게 한다. 또한 경고장이 발생하게 되면 서비스 LED를 점멸하여 사용자의 주의를 환기시키고 진단 메뉴에서 이상상황을 제시하여 사용자가 해야 할 조치를 취할 수 있게 유도한다. 자동점검 기능으로는 TCS(Trip Circuit Supervision)와 TRS(Trip Relay Supervision)가 있다. TCS는 차단기 트립코일과 제어전원, Trip Relay로 구성된 Trip 회로에 미세전류를 흐르게 하여 회로 구성여부를 판단함으로써 Trip회로의 이상 유무를 검출하는 기능이다. TRS는 계전기의 Trip접점을 점검하는 기능으로서 차단기의 동작없이 Trip 접점을 시험하여 정동작 여부를 판단한다. TCS, TRS 기능으로 사고 시 신속히 동작해야하는 차단기 관련 회로를 상시 감시할 수 있어 계전기와 더불어 차단기까지 그 동작 신뢰도를 더욱 높여준다.

2.3.3 Programmable Logic 기능

보호계전기를 운용하기 위해서는 현장에 적합한 Trip Logic 등이 필요하다. 본 계전기는 자체적으로 프로그램 가능한 로직 기능을 구현하여 별도의 추가비용, 추가공간 등을 들이지 않고 사용자 환경에 적합한 다양한 트립 로직을 구현할 수 있다. 로직 프로그램은 관리용 PC 프로그램을 이용하여 ladder방식의 사용자 로직 프로그램을 작성하고[그림 3] 계전기의 적외선 시리얼 포트를 통해 메모리에 저장할 수 있다. 또한 작성된 사용자 로직은 관리용 PC 프로그램에서 모의할 수 있어서 실제 적용하기 전 로직의 정확성을 검증하여 신뢰도를 높일 수 있도록 하였다. 입력 로직으로 구성할 수 있는 요소는 각종 계전요소 동작 상태, DI/DO 상태, 접점 제어 명령, 계전기의 고장 상태 등이 있다. 출력 로직으로 구성할 수 있는 요소는 DO, 가상 접점(virtual output), 보조 LED 등이 있다. 특히 본 로직에는 기본적인 입출력 접점 외에 10ms, 100ms, 1000ms 단위로 On/Off Delay Timer와 100ms의 Pulse Timer를 각각 8개씩 구비하여 외부에 추가적인 시간 지연 타이머를 사용하지 않게끔 사용자의 편의성을 극대화하였다. 참고로 본 기능으로 2004년도 4/4분기 국산신기술인증(KT마크)을 인증 받았다.

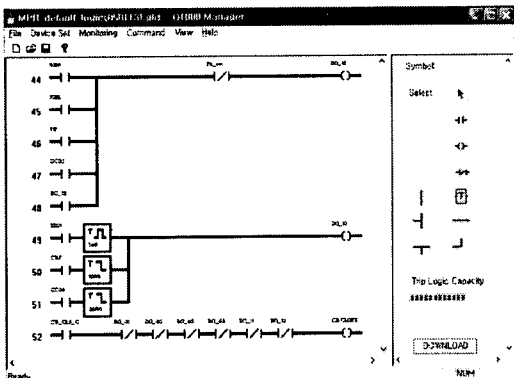


그림 3. PC 프로그램을 이용한 로직작성

2.3.4 통신 기능

본 계전기는 MODBUS와 DNP 프로토콜 등을 지원하여 현장의 다양한 자동화 및 감시 시스템에 적용 가능하다.

2.3.5 전동기 운전 이력

본 계전기는 전동기의 운전 상태를 표시하여 사용자에게 전동기의 상황을 판단할 수 있도록 하였다. 관련 계측 값들은 부하율(FLC%), 열량율, 기동전류, 기동시간 등이 있고 각각 최근 5분간 평균값, 운전 중 각각의 계측 최대값을 메모리에 저장하고 사용자에게 제공한다.

2.3.6 관리용 PC 프로그램

관리용 PC 프로그램을 통해 on-line 또는 off-line으로 보호계전요소들의 설정과 전동기에 대한 정격 및 변성비 등을 편집하여 다운로드할 수 있고 전동기의 운전 이력과 사고 이력 및 현재의 상태를 감시할 수 있다.

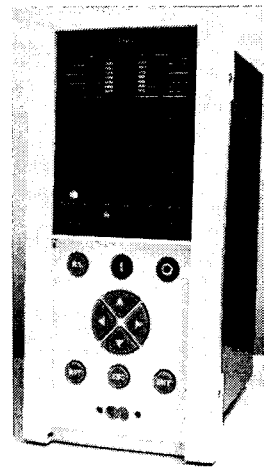


그림 4. 전동기 보호계전기

3. 결 론

본 논문에서는 중용량 전동기 보호 및 모니터링을 위한 다기능 디지털 보호계전기에 대해서 설명을 하였다. 개발한 보호계전기의 특징은 광범위한 계전, 계측 기능을 구비하고 있으며, 특히 전동기 운전 이력관리를 위한 각종 데이터와 이벤트 정보는 전동기를 사용하는데 있어 효율적인 운영계획을 세우는 지표로 활용이 가능하다. 또한 다양한 부가기능 중에서도 자기진단 및 자동점검 기능은 계전기 동작에 있어 보다 높은 신뢰성을 제공해주고 있으며, 자체적으로 프로그램이 가능한 로직 기능은 현장 상황이 적합하도록 사용자가 자유로이 프로그램할 수 있는 유연성을 갖추고 있다. 이외에도 다양한 프로토콜을 지원하는 통신기능 등을 통해서 자동화 시스템에 적용할 수 있도록 하였다. 본 논문에서 소개한 보호계전기는 앞서 설명한 다양한 기능을 통해 전동기 보호 제어 분야에 널리 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

[참고 문헌]

- [1] N.Kent Haggerty, "Trends in Advanced Motor Protection and Monitoring", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.40, NO. 3, May/June 2004
- [2] ANSI/IEEE C37.96-1988, "IEEE Guide for AC Motor Protection", IEEE, New York, 1988
- [3] IEEE Std 620-1996, "IEEE Guide for the Presentation of Thermal Limit Curves for Squirrel Cage Induction Machines", IEEE, New York, 1996
- [4] Stanley E. Zocholl, "AC Motor Protection", Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.