

전자식 과전류 계전기 핵심회로의 주문형 반도체(ASIC)화

김인석

삼화기연(주) 대표이사, 공학박사

1. 개발 동기

산업 현장에서의 최종단 동력수단인 유도전동기를 보호하기 위한 방법은 열동형 계전기에서 출발하여 정지형(일명 아날로그형)을 거쳐 현재는 디지털형 계전기로 넘어와 있는 상태라고 볼 수 있다. 그런데 모터가 구동되는 환경도 과거와는 달리 각종 고주파성 노이즈나 전력변환 기기로부터 유출되는 고조파가 상당한 수준에 이르고 있고 더욱이 모터와 불가분의 관계에 있는 역률 개선용 콘덴서 역시 이들 환경조건으로부터 영향을 받아 콘덴서가 디지털 계전기에 주는 악영향 또한 무시할 수 없는 상황에 이르렀다고 볼 수 있다.

한편 소비자측의 기술의식 향상으로 더욱 정교한 모터보호 계전기가 요구되는 추세인데 예를 들면 정지형 시대에는 과전류, 결상 정도의 보호로 만족하였다면 디지털 시대에는 단락, 지락보호를 포함하여 각종 부가기능을 선호하기에 이르렀다고 할 수 있다.

또한 세계 기술추세로 보더라도 범전기기기 주요 제조회사들도 이제는 전자식, 그것도 디지털 방식의 계전기를 앞다투어 출시하고 있으며 국내시장에도 이들 제품이 아무런 여과 없이 들어오고 있기 때문에 기능은

물론 가격면에서도 이들과 경쟁하지 않을 수 없는 상황이 되었다.

이와 같이 더욱 많은 기능을 구현하면서 동급 국내의 제품과 가격 경쟁에서도 우위를 지키며 미소전류를 취급하는 지락보호 기능과 매우 큰전류를 취급하는 단락보호 기능을 충족하기 위한 회로 내·외부로부터의 유도현상 배제, 제품의 소형 콤팩트화 등의 실현을 위해 주요 회로부를 ASIC(Application Specific Integrated Chip)화 하기에 이른 것이다.

2. ASIC화할 필요성

주문형 반도체(ASIC)는 기존의 복잡한 전자회로를 집약하여 설계, 제작한 것으로서 설계자 누구나 안정된 하드웨어를 구축하기 위해 시도해 보고 싶은 것으로 기술적인 측면에서 이의 필요성을 열거하면 다음과 같다.

- ① 저 소비전력을 구현하기 위해 개별소자로 대응하기에는 곤란
- ② Noise가 많은 사용환경에 대응하기 위한 적정 Filter 회로 구성
- ③ 순간 전류, 전압을 검출하기 위해 정형화된 파형

〈ASIC의 개발 착수에서 응용설계 완성까지의 소요 기간〉

단 계	일 정				개발 진행 상황
	'96 하반기	'97 상반기	'97 하반기	'98 상반기	
Concept	■				하드웨어설계 및 기초사양 결정
Spec. 결정	■				목적사양 결정
실설계 착수		■			Package 및 입력전압 사양 변경
			■		입력신호 검출부분 사양 변경
양 산			■		Prototype 생산, Test 실시
				■	신호입출력 전달부분 사양 변경
				■	2차 Prototype 생산, Test 실시 최종 확정

을 형성할 필요성 대두

- ④ CPU의 연산 기능 부담 경감
 - ⑤ 위상, 미소 전류 등을 검출하는 과정에서 증폭 및 Filtering 기능을 겸비한 정류기의 필요성
- 상기와 같은 기술적인 면 이외에도 간과할 수 없는

기술외적인 사항으로는

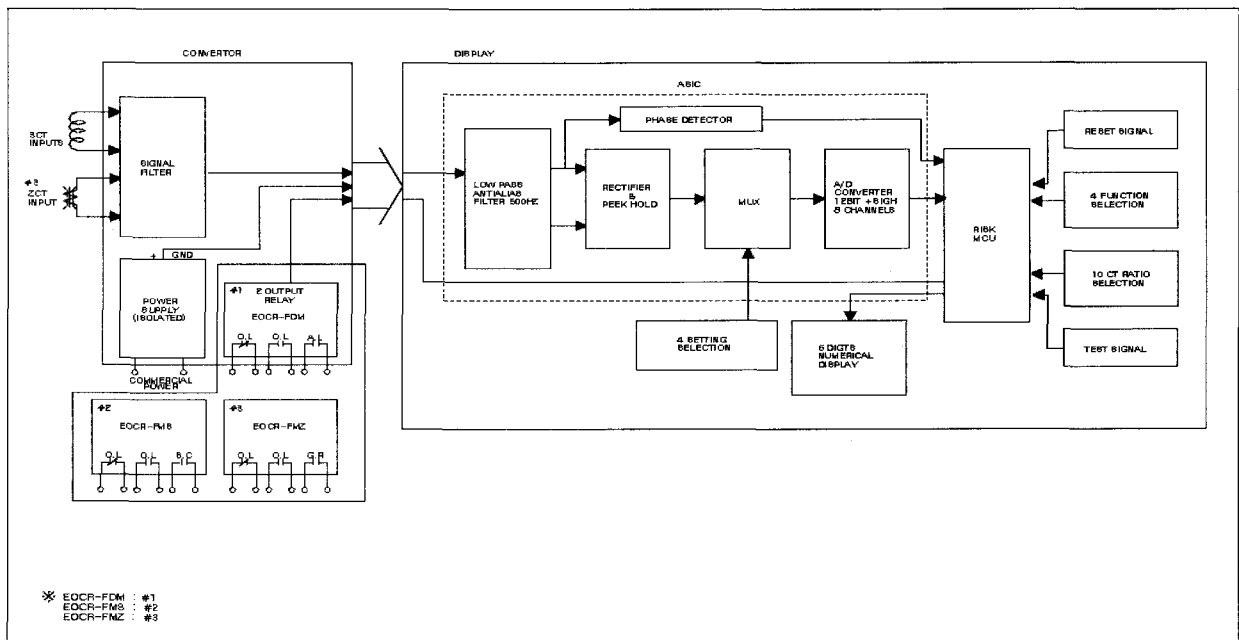
- ① 경쟁사로부터의 회로보호
- ② 원가절감을 통한 제품의 가격 경쟁력 제고
- ③ 고객의 다양한 요구에 대응할 수 있는 다품종 소

량생산 및 대량생산을 동시에 만족

등을 간과할 수 없을 것이다. 참고로 이 칩의 개발 착수에서 응용설계 완성까지의 소요 기간을 열거해본다(위의 표 참조).

3. 전체 하드웨어 중 ASIC화한 범위

전체 하드웨어 중 ASIC화한 범위를 나타낸 Block Diagram은 그림 1과 같다.



〈그림 1〉 EOCR-FDM Family Block Diagram

4. 회로 동작 개념

가. 주요 구성부

- 설정부(Setting Selection): 전류/전압 요소 설정
- 출력부(Output): 기능별 출력 형태(#1,2,3), 출력 Relay, 통신 신호 출력
- 표시 장치부(Display): 부하상태 및 고장원인을 문자/숫자/그래프로 표시
- RISK MCU(Reduced Instruction Set Code Micro-Controller Unit): 보다 적은 양의 명령 Set를 사용함으로써 명령어의 수를 줄이고 처리속도를 높인 개념의 CPU로서
 - 여타 One Chip 마이컴보다 적은 명령 Set
 - 모든 명령이 단일 Word, 단일 사이클 안에서 수행됨
 - 고속 실행이 가능함

등의 특징이 있다.

- 기능선택(Function Selection): 각 보호기능 및 동작특성 선택
- 부하보호 설정범위 선택(Current Range Selection): 모터 용량에 따른 적정 전류 범위 설정
- 테스트 신호(Test Signal): 각 설정치 및 출력상태 확인기능
- 전원공급 장치(Power Supply): SMPS방식
- 외부신호 입력(Input): 변류기(CT), 영상변류기(ZCT)로부터의 신호 입력

나. 동작 원리

CT 및 ZCT로부터의 전류 신호가 Signal Filter를 거쳐 ASIC에 입력되면 ASIC에서는 입력된 전류신호와 설정치를 Digital 신호로 변환하여 RISK MCU가 처리할 수 있는 Data로 만들어준다.

또한 RISK MCU에 내장된 Program에 의해 ASIC을 적절히 제어하여 각종 설정 정보(Setting, Fuction, Current Range)와 입력신호를 연산, 비교 처리하여 적정 정보를 표시하면서 동작 조건이 되었을 경우에는 출력측에 신호를 보내어 최종적인 보호 동작을 하게 되며 이때 Test Signal에 의해 각 설정치와 부하의 운전 시간을 확인할 수 있으며 출력부의 이상 유무를 점검할 수 있다.

다. 적용 기술 분석

(1) 12 Bit ADC

- 12 Bit의 ADC(Step Size: $1/(2N-1)$)는 3상 전류와 접지전류의 전파정류된 최대치(V-Peak: Analog량)를 Digital량으로 변환하고 4개의 DC 입력 값을 모니터링할 수 있으며 이 모든 과정은 Host Microprocessor에 의해서 제어된다.

(2) 전파 정류(Block #2)

- Input- R, S, T, GR(AC Coupled)

(3) 12 Way Multiplex(Block #3)

- 소요 입력신호를 Decording한다.

(4) Peak hold(Block #4)

- 전파 정류된 최대전압을 취한다.

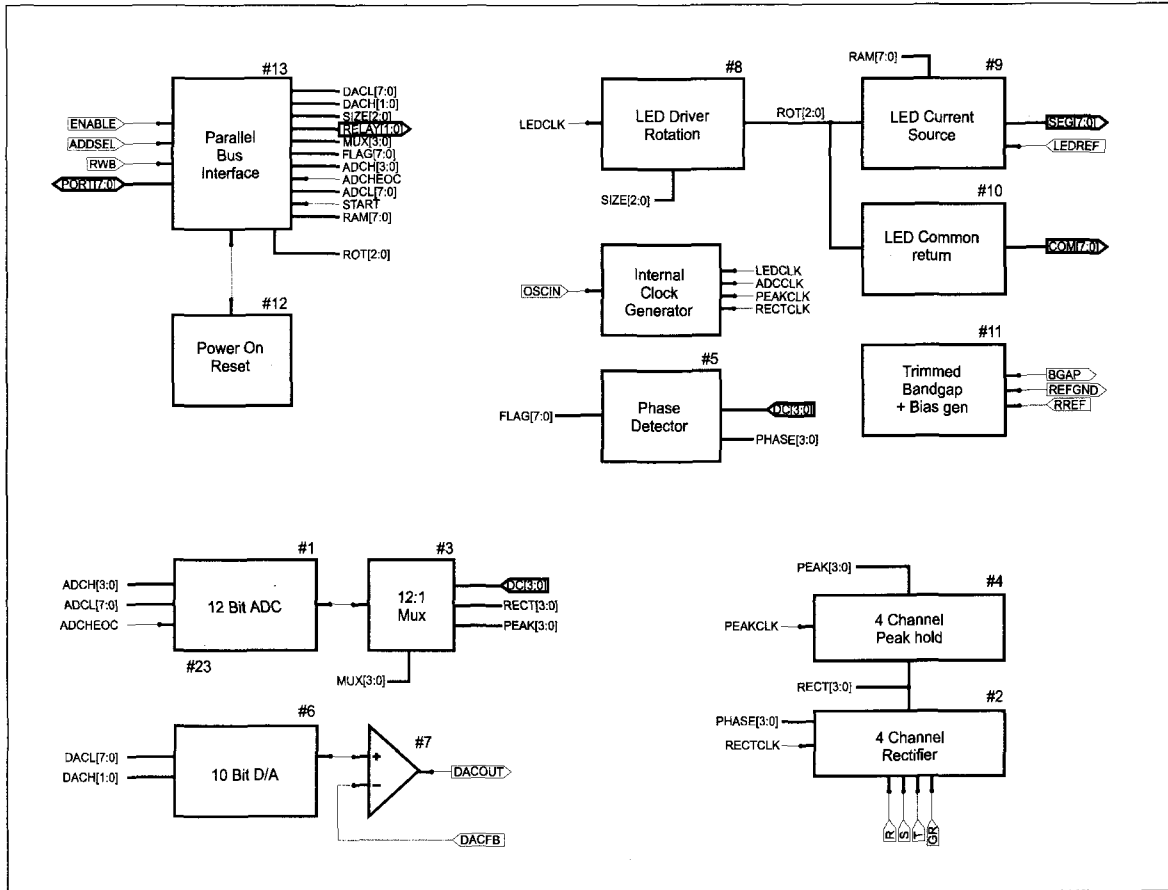
(5) Flag Register + Phase Comparator (Block #5)

(6) 10 Bit DAC + Loop Amplifier (Block #6 & #7)

- DAC는 10Bit의 분해기능을 가지며, 그 출력은 외부 NPN 트랜지스터와 저항으로 구성된 Loop 증폭기를 통해 DC 4-20mA의 전류로 출력할 수 있도록 구성되어 있다.

(7) Display Rotation(Block #8)

- LED Driver는 1에서 8까지의 수를 사용하여



〈그림 2〉 ASIC Block Diagram

- (8) 8 Way Current Source Output(Block #9)
 - LED 구동 전류원
- (9) 8 Way Grounding Switch(Block #10)
 - LED Panel상에 Display되는 1에서 8자리의 문자 선택
- (10) Bias 전류 Generation(Block #11)
 - ADC, DAC, 정류기를 위한 Reference Voltage (2.5V) 출력
- (12) Power on Reset(Block #12)
- (13) Relay 출력(Block #13)
- (14) Host Processor Parallel Interface(Block #13)
- (15) Process기술
 - 1.2 μ m Double Poly Double Metal N-Well CMOS로 설계

5. ASIC응용

이번에 개발된 Chip을 적용하여 여러 다양한 기능의 EOCR을 제작할 수 있었는데, 우선 기능 면에서는 모터가 필요로 하는 모든 기능, 예컨대 과전류, 부족전류, 결상, 역상, 지락, 단락, 구속보호와 같은 기본기능 이외에 다양한 전류 범위(1~600A) 대응, 모터 부하율 측정, 표시제어, 고장 원인 표시, 사전·사후 경보, 경보 신호의 다양화, 한시동작 특성의 반한시/정한시 동시 내장, 순시 동작 시간 구현, 운전시간 기록, 모터 재기동 횟수, 간격 조정 등 실로 다양한 기능을 충족시킬 수 있을 뿐 아니라 동급 외국 제품과의 경쟁 면에서도 초소형화를 통한 패널 공간 절약 및 가격 경쟁력을 확보할 수 있게 되었다.

(1) 고장 원인 및 고장치 표시

다음과 같이 고장원인, Phase, 전류치를 동시에 표시하여 사용자가 고장 상황을 파악하기 용이하도록 설계되었다.

기능	FND 표시	동작원인
과전류		R상에서 최대전류 5.5A를 감지해 동작
결상		S상결상으로 동작
역상		역상으로 동작
불평형		R상에서 최소불평형전류 2.1A를 감지해 동작
구속		T상에서 최대구속전류 9.5A를 감지해 동작

(2) 정한시/반한시 동시 보유 : 사용자 임의 선택 적용

- 한시 특성(Time-Current Characteristics): 반한시/정한시

〈IEC947-4-1/EN60947-4-2 Time-Current 특성〉

Class	Multiples of Current Setting (40°C)			
	A (1.0)	B(1.2)	C(1.5)	D(7.2)
10A	2시간 이상	2시간 이내	2분 이내	2~10sec
10	"	"	4분 이내	4~10sec
20	"	"	8분 이내	6~20sec
30	"	"	12분 이내	9~30sec

- 국제규격 IEC의 한시 특성을 적용하여 설계
- 선택스위치로 정/반한시 특성을 선택
- 사용자가 모터 운전특성에 따라 한시 특성을 선택

(3) 디지털 전류계형 패널내장/매입형 계전기

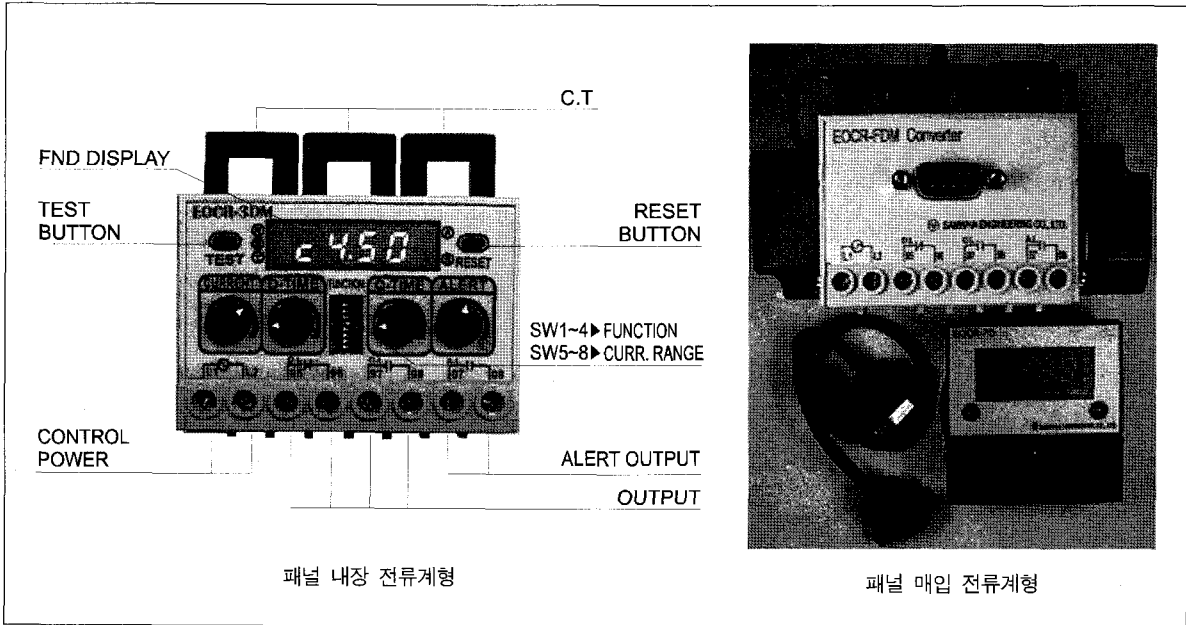
(사진 1 참조)

(4) 하나의 모델로 0.1에서 600A까지 보호

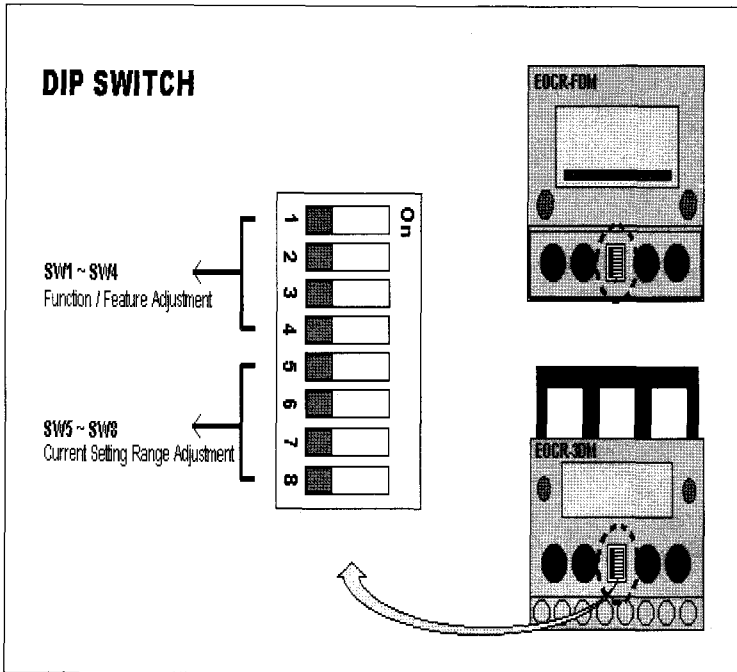
기능선택 스위치(Function Switch)를 이용하여 하나의 모델로 기능 및 부하범위를 취사 선택할 수 있도록 설계하여 부하의 기동/운전 보호 및 설비에 대한 보호·제어·감시기능을 부하의 종류 및 상황에 따라 사용자가 선택할 수 있다(그림 3 참조).

Type	External CT Current Ratio	Current Range	Selection			
			SW5	SW6	SW7	SW8
05	-	1~ 5A	-	-	-	-
01	-	0.1~1.2A	-	-	-	on
50	50 : 5	5~ 50A	-	-	on	-
100	100 : 5	20~100A	-	-	on	on
150	150 : 5	30~150A	-	on	-	-
200	200 : 5	40~200A	-	on	-	on
300	300 : 5	60~300A	-	on	on	-
400	400 : 5	80~400A	-	on	on	on
500	500 : 5	100~500A	on	-	-	-
600	600 : 5	120~600A	on	-	-	on

- 하나의 Model로 0.1에서 600A까지 보호



〈사진 1〉 디지털 전류계형 패널내장/매입형 계전기



〈그림 3〉 Function Setting DIP Switch

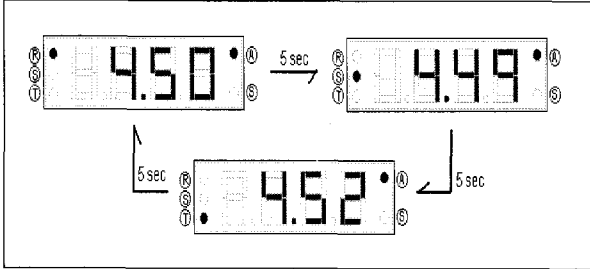
(5) 경보출력-부하율 측정-운전 표시 및 감시-고장예고기능

(6) 전류의 크기에 응동

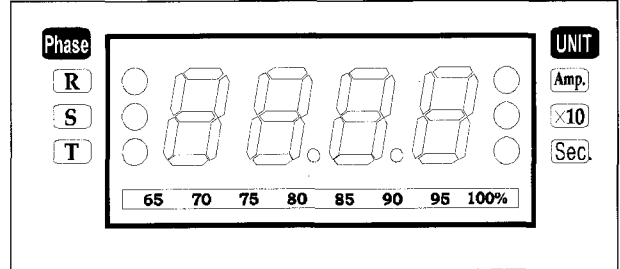
기존의 과전류, 부족전류 기능을 하나로 통합한 계전기, 설정치 이상(이하)에서 동작하는 過(不足)電流 계전기이다.

(7) 3상 전류 연속 순환표시 : Digital Ammeter(각상 5초 간격)

정상운전시 실부하 전류를 R-S-T 상의 순서로 연속 순환 표시가 가능하다(그림 4 참조).



〈그림 4〉 전류 연속 순환표시



〈그림 5〉 BAR GRAPH 표시 - FDM

(8) 모터 운전중 부하율 표시 : Bar Graph

Bar Graph는 $\text{실전류} \div \text{설정전류} \times 100\%$ 로 표시된다(그림 5 참조).

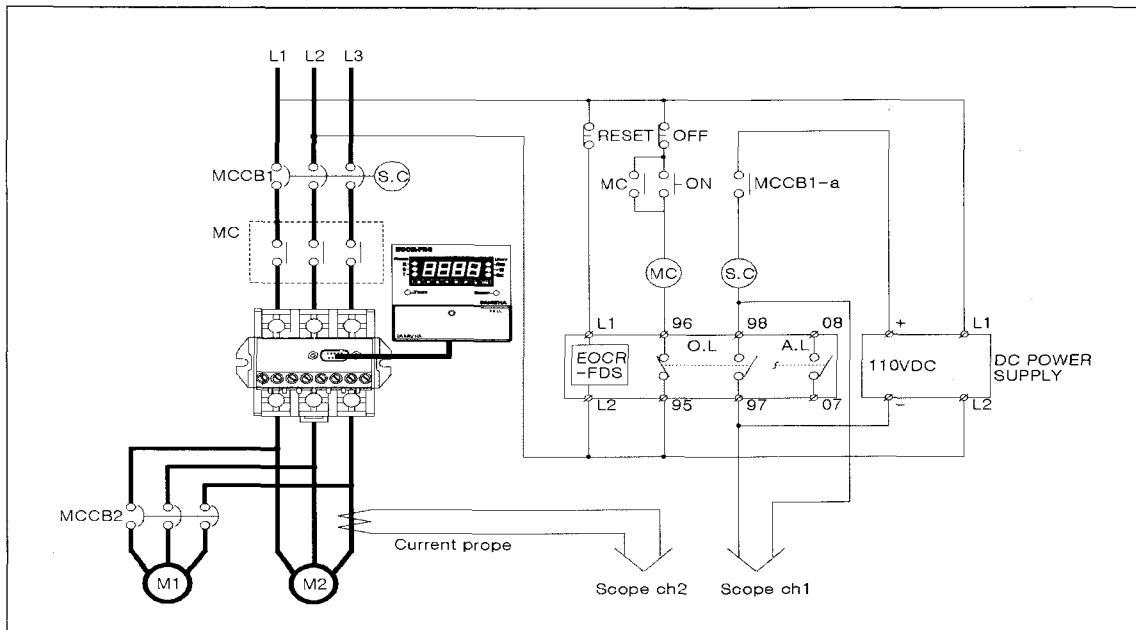
6. 제품 평가

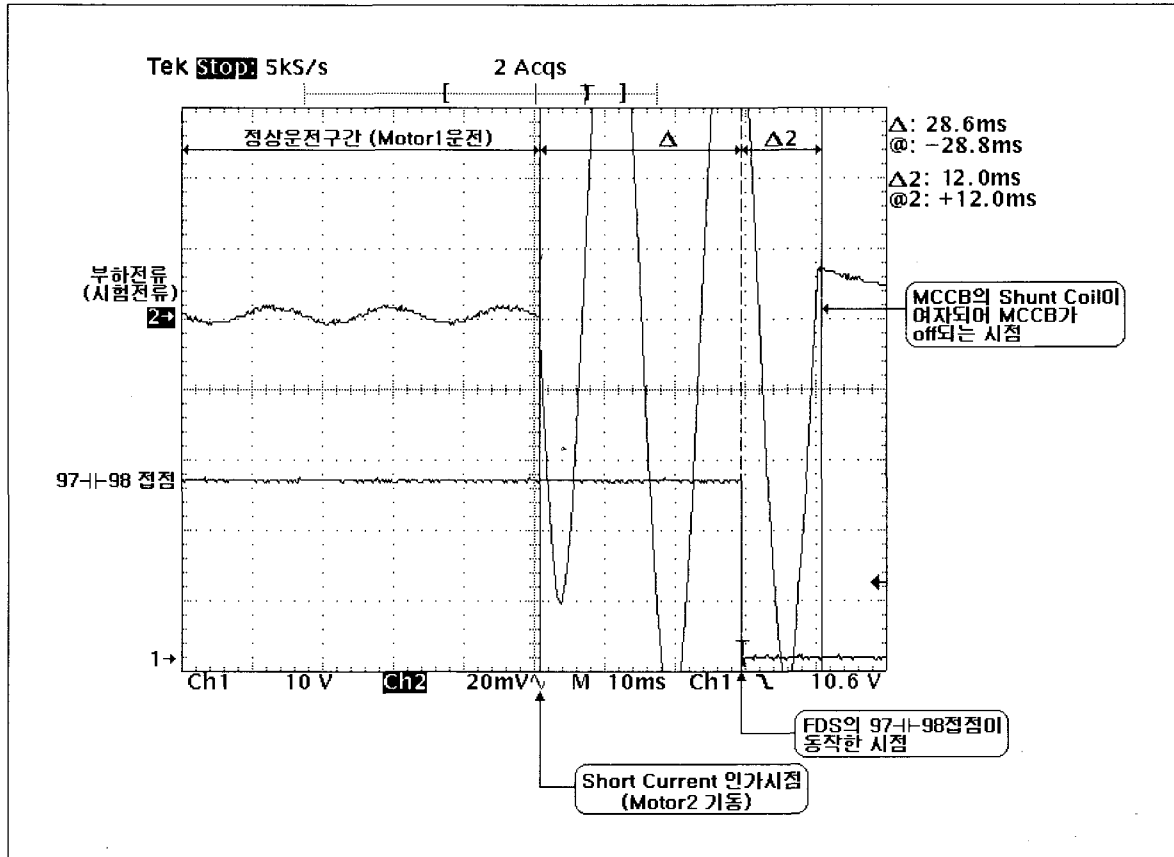
**가. Short Current Protection
순시 동작 시간 실증 : 28.6ms**

- 정상 운전구간 : 2대의 모터(M1, M2) 중 모터

M1이 운전중이다.

- Short Current 인가 시점 : M1이 운전중 M2를 기동시켜 과전류 보호 설정치의 200% 이상 전류를 발생시킨다.
- FDS의 97-98 점점 동작 시점 : 점점 동작전 97-98 점점 양단에 DC 110V가 인가되어 있어 97-98이 Close(동작)되면 DC전압이 갑자기 Zero로 떨어진다.
- MCCB가 트립되는 시점 : 오실로스코프의 Channel 2에서 모터 M2에 흐르는 전류를 감지하





고 있다가 97-98 접점이 동작한 후 $\Delta 2$ (ms)가 경과한 시점에서 정현파가 갑자기 Exponential Curve로 감소되는 시점, 다시 말해서 DC 성분이 방전되는 시점이 MCCB가 차단됐음을 확인할 수 있다.

나. 기술 인증

- 디지털 과전류 계전기의 기술 : 특허 제140033호
- IENA98 독일 국제 아이디어 발명 신제품 전시회 : 금상 수상
- '98 대한민국 특허기술대전 : WIPO상 수상
- 전력기술 관리법에 의한 신기술 지정

(제5호, '99. 2. 6)고시 : 산자부

- CE(유럽 안전마크) : 1998. 4. 28
- 독일TUV 형식 승인 : 1999. 2. 22
- 관련 시험 규격

a) EMC(전자기 적합성 : Electromagnetic Compatibility)규격

- EN 50081-1 : 1993/EN 55011 : 1991
- EN 55082-2 : 1995/EN 60947-1/ALL : 1994

b) Safety(저전압 지침 : Low Voltage Directive) 규격

- EN 60947-4-1 : 1992+A1+A2/EN 60947-4-2 : 1996+A1

• EN 60947-5-1 : 1997+A11/EN 60947-1 : 1997+A1+A2

다. 국제 경쟁력

국의 동급 제품과 비교해 보면 다음과 같다.

제 품	EOCR-3D/FD 시리즈	SYMCOM 777	A/B SMP-3
기능	과전류 Over Current	◎	◎
	부족전류 Under Current	◎	-
	결상 Phase Loss	◎	◎
	역상 Phase Reversal	◎	-
	지락 Ground Fault	◎	◎
	구속 Locked Rotor(Jam)	-	◎
	불평형 Unbalance	◎	-
	단락 Short circuit	-	-
경보 Alert	-	-	
가격비	1	2	1.7

7. 전력시설물 공사에서의 활용 및 시장성 전망

가. 활용 전망

제조산업 설비에서부터 가정에 이르기까지의 전체 소비전력의 약 70%는 동력, 곧 각종 전동기(모터)를 구동하는데 소비된다고 알려져 있고 특히 산업현장에서 단 1대의 모터 소손 사고가 발생했을 때는 모든 연관 생산설비가 정지되어야 하고 이로 인한 생산손실도 막대한 실정이다.

이 계전기는 지금까지 주로 사용되어온 열동형 계전기에 비해서 월등한 보호기능 구현은 물론 소비전력 저감으로 인한 막대한 에너지 절감효과를 기할 수 있어 현재의 제조 성장률, 생산 설비에서의 안정적인 핵심 구동력 확보, 전력절감 등의 차원에서 디지털 모터보호 과전류계전기의 활용도가 점차 증대할 것으로 전망되며, 다시 한번 계전기의 전자화에 따른 효과를 요약

하면 다음과 같다.

- ① 확실한 모터 보호로 유지·보수 시간 및 비용의 절감
- ② 사전 경보기능과 정확한 보호기능으로 공정중단 사전 대비 및 생산성 향상
- ③ 고장 발생시 원인을 파악하여 문자, 숫자 및 그래프로 표시
- ④ 전문 기술자가 상주하지 않는 장소일수록 고장 복구시간 단축에 기여할 수 있음
- ⑤ 한 가지 모델로 적용 가능한 전류설정 범위가 넓어 전류 범위별로 예비품을 준비할 필요가 없어 재고 관리가 용이함.
- ⑥ 열동형에 비해 낮은 전력소모, 특히 중용량 이상인 경우에는 전력소비 차이가 현저하므로 에너지 절약에 기여하게 됨.

나. 전자화 MCC에 대한 전망

전자화 MCC에 대한 정의가 명확하게 규정된 바는 없으나 중단 유닛에 설치되는 전자식 모터보호 계전기를 중심으로 현재 실제 통용되는 사례를 종합해서 기술해 보면

- 최종단 단말장치로서 모든 보호, 감시, 경보 기능을 자주적으로 수행
- 중앙 통제점과의 양방향 디지털 통신 수행
- 필요 최소한도의 운전기록 보존 가능

등으로서, 이외에도 중앙 통제점에서 필요한 사항은 단말점과의 통신을 위한 공통신 방식(Full Duplex 방식 기준) 설치 규정, 양방향 통신규정(통신 Protocol) 등이 결정되어야 하는데 현재 여러 가지 방법이 적용되고 있으므로 국가적인 통일된 포맷이 확정되어야 할 것으로 본다.

그러나 현재 국내 각 플랜트나 건물 등에 이미 설치된 MCC는 오래전에 설치된 관계로 전자화, 배전반화

하는데는 해결되어야 할 선행 요소가 너무 많을 뿐 아니라 신규로 설치되는 MCC 중 극히 일부분만 명실공히 전자화 MCC로 꾸며지고 있고 대부분은 단순히 전자식 모터보호 계전기가 적용되거나 여기에 전자 접촉기의 기계적인 접점 상태를 중앙 통제점으로 유선을 통해 표시하는 정도의 시스템, 이를테면 전자화 MCC의 전단계 형태가 적용되고 있는 실정이다.

따라서 노후된 전체 MCC를 새로 개체하는 단계에서나 전자화 MCC가 가능할 것이나 여기에는 경제성이 뒷받침되어야 한다. 다시 말해서 관리 인건비, 생산공정의 효율 제고 성과, 건물내 입주자들에게 제공되는 서비스 만족도 등을 종합평가한 효과 대 시설 투자비의 비교에서 경제성이 입증되어야 하므로 바로 이러한 사정 때문에 선진국에서도 전자화 MCC로의 이행 속도가 대단히 느리게 진행되고 있다. 전자화 MCC 시스템을 개발 생산하는 입장에서는 이런 점을 감안할 필요가 있으며 국내 일부 업체들이 전자화 MCC가 마치 모든 모터보호 문제를 다 해결하는 만능 시스템으로 보는 시각은 재고되어야 할 것으로 사료되는 사안이다.

다. 시장성

최근 2~3년 내 기존의 열동형 계전기가 전자식으로 대체되는 추세가 빨라지고 있으며 특히 주목할 대목은 국내·외 주요 변전기기 메이커들도 앞다투어 전자식을 개발, 출시하고 있다는 것이다. 이와 같은 전환 추세와 기존 설비 시스템의 실정 등을 참고해 볼 때 전자식 과전류계전기의 급격한 수요 증대는 기대하기 어려울 것으로 보며 다만 적용되는 전자식 모터보호 계전기 자체의 소형, 다기능화에 대한 수요자의 욕구는 급격히 증대할 것으로 전망된다. 일찍이 본인은 이러한 전후 상황을 나름대로 전망한 결과 3년 전부터 이에 대비하는 개발에 착수하였고 그 결실로 전력 기술관리법에 규정된 신기술 제품으로 지정 받기에 이르렀다.

8. 맺음말

전력기술 관리법 시행규칙 제5조에는 신기술 개발자는 신기술을 사용하는 자에 대하여 사용료의 지급청구가 가능하며 동시에 전력시설물 공사의 발주자는 이 신기술이 현장적용에 타당성이 있다고 인정되는 경우 특별한 사유가 없는 한 이를 전력시설물 공사의 설계에 반영하도록 하고 신기술 개발자로 하여금 신기술과 관련된 공정에 참여하게 할 수 있다고 명시되어 있다.

이 전력기술관리법의 취지는 기업이 기술개발을 할 수 있도록 적극 유도하여 결과적으로 국가 기술경쟁력 제고에 기여하는데 있을 것이므로 신기술로 지정된 제품은 타당성이 있으면 과감하게 적용해야 한다.

지금은 국·내외를 가리지 않는 무한 기술경쟁시대이며 지금까지 기업들이 기술개발 없이도 성장할 수 있게 한 일부 보호규정이 점차 폐지되고 있는 상황에서 다른 나라 기술에 예속되지 않기 위해서라도 기업은 더욱 열심히 기술개발에 몰두하는 사명감을 가져야 할 것이다. 그러나 기술 개발된 제품의 안정적인 국내수요 뒷받침이 없다면 기업으로서도 개발비용을 감당하기에는 역부족일 것이고 기술개발을 소홀히 한 나머지 마침내는 외국에서 기술을 사와야 하는 상황도 발생하게 되는 것을 배제할 수 없어, 이 법의 취지가 퇴색할 수밖에 없음은 자명한 사실이다. 그런데 현실은 법을 가장 모범적으로 지켜주어야 할 공공기관, 지자체 등의 관련 전기분야 종사자들의 의식이 국가적인 기술경쟁력 확보 차원과는 상당한 거리감이 있는 것을 부인할 수 없다. 우리가 외국의 기술에 종속되지 않기 위해서는 전문 중소기업체가 안심하고 기술개발에 전념할 수 있도록 법에서 규정하고 있는 취지를 충분히 이해하는 전기인들의 의식이 확고하여야 하며 이러한 필요성을 우리 모두가 자각할 때 이 신기술 지정 취지에 따른 우수한 신기술 제품이 지속적으로 탄생될 것이므로 전기 동호인 여러분의 적극적인 동참을 기대하는 바이다.■