

발전기 보호제어를 위한 Bay Controller 설계에 관한 연구

論 文

57P-1-8

A Study on the Design of the Bay Controller for Generator Protection and Control

張 樂 元* · 禹 天 熙** · 李 聖 煥†

(Nak-Won Jang · Chun-Hee Woo · Sung-Hwan Lee)

Abstract - In this paper, we designed the bay control unit that is based on the microprocessors and integrates with the new technology of electrical, electronic, and mechanical fields. Nowadays the customers have required much more integrated multi-protection relay, monitoring, control devices and power management for better and easier maintenance, performance, electrical system analysis and communication according to new trend of switchboard. This bay controller supplies those requirements of customers with easy handling and operation. This bay controller provides a graphic display with rear-lit liquid crystal LCD and push buttons as kinds of HMI(Human Machine Interface). This bay controller provides the parameter setting program, control setting program, various editors and fault recording and analysis program on Windows/95/98/NT/2000/XP for HMI. In addition, this bay controller can be set manually and this manual setting function helps user to interface easily.

Key Words : Bay controller, Protection, Control, Monitoring, Generator

1. 서 론

최근 전력 수요의 증대와 함께 중, 대형 수용가의 전력 시스템이 점차 복잡화, 다양화, 대용량화 되었다. 특히 발전기는 발전소, 대형 플랜트 및 선박 등 전 분야에서 널리 사용되고 있다. 그러나 고장이 발생하였을 때 이를 적시에 발견하지 못한 채 방치하는 경우, 발전기 뿐 아니라 계통의 마비까지도 야기할 수 있으며, 고장에 대비하기 위한 여분의 설비를 준비해야 할 수 있다. 이는 시스템의 전체적인 신뢰도를 떨어뜨리고, 복구를 위한 추가 인력, 재정, 및 시간의 손실을 초래한다. 그러므로 이를 보다 신속하고 신뢰성 있게 운전하며 보호하는 발전기 보호제어 시스템의 개발 및 국산화가 시급히 요구된다. 그리고 보다 효율적이고 신뢰성 있는 발전기 보호제어 시스템을 구현하기 위한 핵심 디바이스인 디지털 보호계전기의 국산화도 필요불가결한 실정이다. 기존의 디지털보호계전기는 인입용(Incoming), 피더(Feeder)용 보호계전기로 분류되어 각각 계통을 보호하는 방식을 취하고 있으나[1-4], 오늘날, 각각의 계전기가 bay 레벨에서 통합되어 가고, bay 레벨의 모니터링과 컨트롤 기능이

첨가되면서 새로운 기능들을 요구하는 현대적인 추세에 병행할 수 있게 개발되어야 한다. 이러한 필요성에 의해 본 논문에서는 기존의 bay controller의 기능에 디지털 보호 계전기의 보호 기능을 접목시켜 계통 보호협조를 원활히 수행하고 기능 연계를 통한 전력 공급의 안정을 도모하도록 하고 특히, 인입용, 피더용, 모터보호용 디지털 계전기는 국산화 되어 상용화 되어 있지만 발전기 보호용 디지털 계전기는 아직 국산화 및 상용화가 미흡한 단계이므로 발전기 보호 제어를 위한 bay controller 설계에 관한 연구를 수행하게 되었다.

2. Bay Controller 기능

2.1 보호계전기 기능

본 논문에서 설계한 Bay controller는 IEC60255-3에 따라 보호계전기 기능을 수행한다. 메모리는 flash memory를 채용하고 있으며, 전자파 등으로부터 매우 안정하다. 이는 또한 저장 및 백업의 효과(Mirror effect of data)가 탁월하다. 표 1에 bay controller에 탑재한 보호계전기 기능을 나타내었다. 보호계전기 기능에 사용되는 반한시 특성곡선은 총 6가지를 탑재하였고 IEC60255-3을 만족한다. 특성 곡선과 특성식은 그림 1과 식 (1)에 나타내었다. 그리고, 각 특성식의 상수 및 지수 값을 표 2에 나타내었다.

$$t = M \frac{K}{\left(\frac{G}{G_s}\right)^a - 1} + C \quad (1)$$

* 正 會 員 : 韓國海洋大 電氣電子工學部 助教授 · 工博

** 正 會 員 : 明知專門大 電氣科 教授 · 工博

† 교신저자 正 會 員 : 威德大 에너지電氣工學部

助教授 · 工博

E-mail: hwaney@uu.ac.kr

接受日字 : 2007年 7月 23日

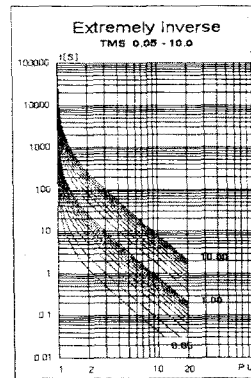
最終完了 : 2008年 2月 5日

여기서, t : 동작시간 계산치 M : 시간설정변수
 K : 계전기 특성상수 α : 특성곡선 지수
 G : 입력치 G_s : 정정치
 C : 상수

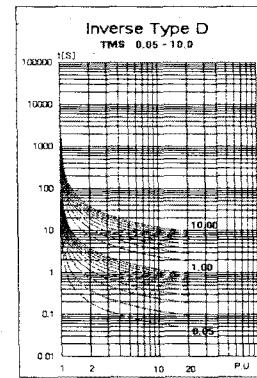
표 1 보호계전기능

Table 1 Protective relay function

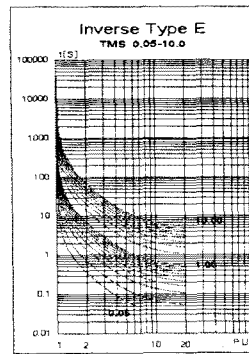
ANSI	Protection Function
25S	3 unit synchro check
27	Under voltage
46	Phase balance current
47	Phase balance voltage
50	Instantaneous overcurrent
50G/N	Instantaneous ground overcurrent
51	Inverse/definite overcurrent
51G/N	Inverse/definite ground overcurrent
59	Inverse/definite overvoltage
59N	Ground overvoltage
67	Directional overcurrent
67GS/GD	Directional ground overcurrent
79	Auto - reclosing
81	Under/over frequency
95i	Inrush blocking



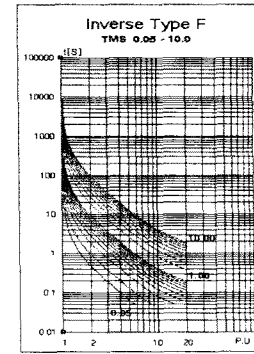
(c) 초반한시 특성



(e) 반한시 Type D



(f) 반한시 Type E



(g) 반한시 Type F

표 2 보호계전기능의 반한시 특성

Table 2 The inverse characteristic of the protective relay function

반한시특성구분	K	α	C
반한시 특성	0.14	0.02	0
강반한시 특성	13.5	1.0	0
초반한시 특성	80.0	2.0	0
Type D	0.0515	0.02	0.114
Type E	19.61	2.0	0.491
Type F	28.2	2.0	0.1217

그림 1 보호계전기능의 반한시 특성곡선

Fig. 1 The inverse characteristic curves of the protective relay function

1) Synchro check(25S) 기능

Synchro check 계전기능은 두 개의 AC Power의 시스템이 서로 연결되어질 때, 연결 가능한 전압과 주파수 밴드를 가지는 가를 확인하는 기능을 가지며, 정한시 특성을 가진 보호 계전기능이다.

2) Under voltage(27) 기능

부족전압계전 기능은 위험스러운 전압강하에 반응하기 위한 기능을 가지며, 정한시 특성을 가진 보호 계전기능이다.

3) Phase balance current(46) 기능

전류 불평형 계전기능은 주로 용량이 큰 발전기의 상 불균형을 검출하기 위한 계전기능이다. 결과적으로 이 계전 기능은 각 상 간의 심각한 위상 불균형, 그리고 정상순이 아니 역상순, CT 오결선, 퓨즈 불량 등을 검출하는 기능을 함께 수행하고 정한시 특성을 가진 보호 계전기능이다.

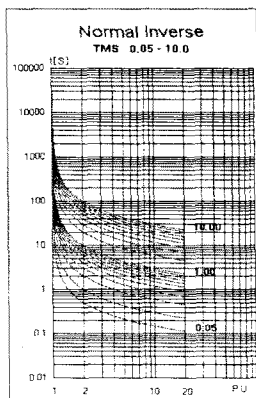
4) Phase balance voltage(47) 기능

전압 불평형 계전기능은 상간 전압 불평형, 그리고 PT 퓨즈 불량, 전압의 역상순, PT 오결선 등을 검출하고, 정한시 특성을 가진 보호 계전기능이다.

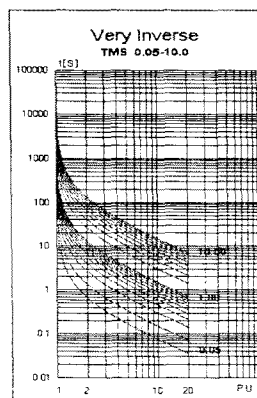
5) Instantaneous overcurrent(50) &

Instantaneous ground overcurrent(50G/N) 기능

순시(지락)과전류계전기능은 시스템에 심각한 과전류가 감지될 때, 차단기를 순시(50mS이하)에 트립(trip)을 일으켜 시스템 상단을 보호하는 계전기능이다.



(a) 반한시 특성



(b) 강반한시 특성

6) Inverse/definite overcurrent(51) &

Inverse/definite ground overcurrent(51G/N) 기능

한시(지락)과전류계전기는 정해진 값 이상의 전류치가 시스템에 흐르는 것을 감지하는 보호 계전 기능이다. 이 계전기능은 시간에 응동하는 특성에 따라 정한시 또는 여섯개의 각각 다른 특성곡선을 갖는 반한시 특성으로 나눌 수 있다. 이 때 반한시 특성은 IEC 규정에 의해 정해진 특성곡선을 갖는다. 그림1.은 51, 51G/N 의 반한시 특성곡선을 나타낸다.

7) Inverse/definite overvoltage(59) 기능

과전압계전기능은 시스템에 정해진 값 이상의 이상전압에 응동하는 계전기능이다. 과전압계전기능은 또한 비정상적인 고압이 발생한 경우 그로 인한 절연파괴를 보호하기 위해 일반적으로 트립을 일으킨다. 이러한 이상 과전압은 시스템에 부하가 상대적으로 적을 때, 상대적으로 긴 송배전선로상에서, 별전기의 전압조정기에 문제가 있는 경우, 전부하에서 갑자기 발전기가 멈추는 경우 등에 발생한다. 정한시 특성과 반한시 특성을 가진다. 반한시 특성곡선은 그림1.의 51, 51G/N 의 반한시 특성곡선 중 Normal Inverse 곡선을 이용하였다.

8) Ground overvoltage(59N) 기능

지락과전압 계전기능은 송배전선이나 전기기계의 고장 중에서도 가장 많은 고장은 1선 지락고장이다. 이 고장을 그대로 방치해 두면, 2선 지락 고장이나 단락, 지락으로 발전하여 피해를 더욱 크게 할 수 있다. 따라서 1선지락 고장은 단락이나 2선 지락 고장에 비하면, 기기에 대한 손해나 시스템 운용면에 미치는 영향이 비교적 가볍기는 해도 지락계전기능으로 확실히 검출할 필요가 있다. 순시 특성과 반한시 특성을 가진다. 반한시 특성곡선은 그림1.의 51, 51G/N 의 반한시 특성곡선 중 Inverse 곡선을 이용하였다.

9) Directional overcurrent(67) 기능

방향성과전류계전기는 시스템에 단락 등이 발생하여 수전단에서 고장지점으로 전력이 역류하는 경우에 대비하여 즉시 차단기 트립을 목적으로 하는 보호계전기능이다. 정한시 특성과 반한시 특성을 가진다. 반한시 특성곡선은 그림1.의 51, 51G/N 의 반한시 특성곡선을 이용하였다.

10) Directional ground overcurrent(67GS/GD) 기능

본 계전기능은 선택성지락계전기능(67GS)와 방향성지락계전기능(67GD) 두 가지의 계전기능을 가지고 있다. 지락계전기능 중 특히 선택성지락계전기능은 여러 feeder 중 하나의 feeder에 지락사고가 발생할 경우, 고장 feeder에 해당하는 지락계전기능만 동작하도록 한 것이다. 방향성지락계전기능에는 방향성을 가진 지락사고를 대비하기 위하여 설정한다. 먼저, 저항접지계통에 있어서, 지락고장 시 고장전류의 방향이 고장점에 의해서 변화하는 계통에서 무방향성지락과전류계전기로는 고장 구간의 선택 차단이 불가능하다. 이 경우 지락방향계전기가 설치된다. 동작특성은 정한시 특성을 가진다.

11) Auto - reclosing(79) 기능

자동재폐로 계전기능은 차단기의 재폐로 기능과 lock-out기능을 자동으로 제어한다. 경험적으로 볼 때, 전력 시스템의 고장원인은 대체로 일시적인 자연에 의해 주로 기인한다. 그리고, 이러한 자연적인 고장원인은 스스로 소멸되

기도 한다. 때문에 시스템의 차단기가 트립이 되고 나서 다시 복귀를 시도하게 되는 재폐로 기능을 수행한다. 재폐로 계전기능은 과전류 보호 계전기와 일체형으로 구성할 수 있으며, 그 기능의 사용여부가 과전류계전기의 동작에 영향을 주지 않는다. 또한 재폐로 계전기능의 고장 시 주 계전기의 동작은 정상적으로 동작한다. 재폐로 기능의 동작회수는 정정이 가능하며, 그 동작 시간 또한 정정이 가능하다. 재폐로 기능은 재폐로 시 과전류 보호 계전기의 순시 동작을 저지하는 기능을 가지며, 설정한 재폐로 회수가 지나면, 순시 트립 저지가 복귀된다. 동작특성은 정한시 특성을 가진다.

12) Under/over frequency(81) 기능

주파수 계전기능은 정해진 값 이상의 주파수 변동에 대응하기 위한 기능을 가진다. 일반적으로 주파수는 전압의 진동으로 측정할 수 있다. 즉 교류 전압을 측정하여 그 시스템의 주파수를 결정하는 것이다. 주파수 계전기능은 전력 시스템의 비정상적인 과주파수나 부족주파수를 검출해 낸다. 만약 측정되어진 주파수가 정해진 범위 밖에 있다면, 불필요한 부하를 끊어 주거나, 차단기를 트립 시키는 등 그 양상에 대하여 적절한 조치를 취하게 된다. 동작 특성은 정한시 특성을 갖는다.

13) Inrush blocking 기능

본 기능은 여자돌입전류에 포함된 고조파를 억제요소로 이용하는 방식으로 여자돌입 전류의 파형이 고장전류의 파형과 다르게 고조파 성분(특히 제 2고조파)이 많이 분포되어 있는 점을 착안하여 여자돌입전류에 의해 차동회로에 전류가 인입되면 이를 필터 회로로 나누어 기본파 성분은 동작성분으로 고조파 성분은 억제력을 발생하도록 하여 돌입여자전류에 의해 오동작 되지 않도록 하였다. 동작특성은 정한시 특성을 갖는다.

2.2 차단기 제어 기능

본 논문에서 설계한 bay controller는 각 차단기를 컨트롤 할 수 있는 기능을 가지고 있으며, 그에 따른 로직을 제공하고 있다. 이를 설정하기 위해서는 bay controller의 정정프로그램과 함께 그 전면에 있는 단추들을 가지고 정정할 수 있다. 이 기능은 사용자로 하여금 별도의 노트북이 없어도 쉽게 접근할 수 있는 장점이 있다. 물론 그에 따른 패스워드나 ID확인을 위한 기능들 또한 구비되어 있다. Bay controller는 더블 부스바 시스템(Double busbar system)에 적용할 수 있다. 즉 각 시스템에 따라 각각의 그래픽 모드를 선택할 수 있는 구조로 되어있다.

그림 2는 bay controller에서 제공하는 차단기 제어를 위한 더블 부스바 시스템과 그 제어 화면을 나타낸다. 아래 그림은 시스템 적용에 따른 그래픽을 보여 주고 있다. 차단기, 단로기, 어싱 스위치 등 모든 스위치 종류를 표현할 수 있다. 또한 ACB, VCB, GCB 등 차단기 종류에 구매 받지 않고 적용할 수 있다. 출일 수 있다. 각 알람이나 이벤트를 처리하기 위하여 Active Alarm, Alarm Groups, Active Events, Event History와 같은 기능들을 가지고 있으며, 사용자는 자신의 목적에 맞게 각 알람이나 이벤트를 활성화할 수 있으며, 이는 각 출력의 형태로 나타낼 수 있고, 화면상에서 LED 등을 통하여 텍스트화할 수 있다. 그림 3은 알람/이벤트 제어 화면을 나타낸다.

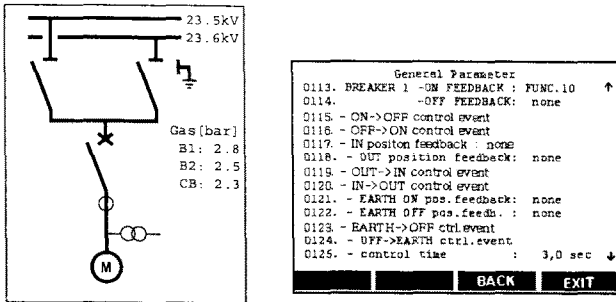


그림 2 더블 부스바 시스템 및 의 제어 화면
 Fig. 2 The graphic screen of the double busbar system and control

2.3 알람/이벤트 제어 기능

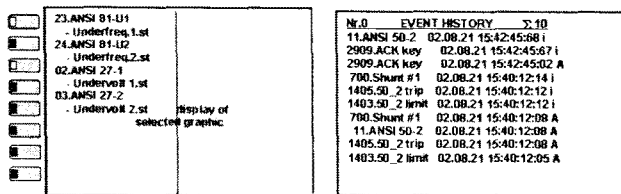


그림 3 알람/이벤트 제어 화면
 Fig. 3 The screen of the alarm/event control

각 알람이나 이벤트를 처리하기 위하여 Active Alarm, Alarm Groups, Active Events, Event History와 같은 기능들을 가지고 있으며, 사용자는 자신의 목적에 맞게 각 알람이나 이벤트를 활성화할 수 있으며, 이는 각 출력의 형태로 나타낼 수 있고, 화면상에서 LED 등을 통하여 텍스트화할 수 있다. 그림 3은 알람/이벤트 제어 화면을 나타낸다.

2.4 Process 모드

그림 4는 시스템의 프로세스를 모니터링할 수 있는 Process 모드 화면이다. 아래 보는 바와 같이 시스템 동기화, 모터의 상태, 차단기, 또한 power management system과 그에 따른 부하 변동 사항, 그리고 각 I/O의 On-Off 상태를 확인할 수 있다.

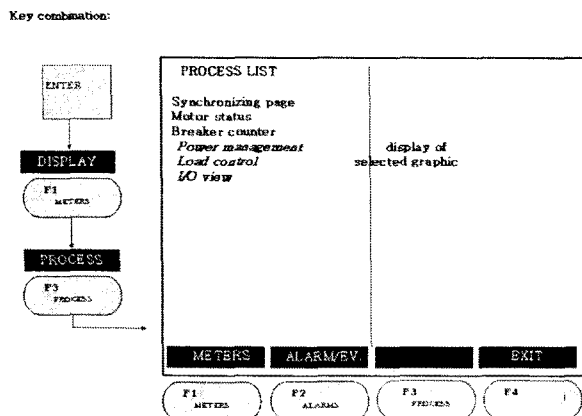


그림 4 Process mode 메인 화면
 Fig. 4 The main screen of the process mode

2.5 Fault Recording 모드

보호계전기와 연계하여 설치 운전하고 있는 고장기록장치 (Fault Recording)는 전력계통에서 고장이 발생한 경우, 전압, 전류 등 전기적 현상과 보호계전기들의 동작사항을 기록하게 하여 고장현상을 해석하며, 보호계전기 동작 사항과 비교 분석하여 전력계통 고장원인을 규명하기 위한 장치이다. 사용자는 창에서 아래와 같이 고장기록 장치의 사용 여부를 쉽게 설정할 수 있다. 이 별도의 프로그램으로 사용자는 쉽게 고장 현상을 이해하고 그 파형 등을 분석하여, 차 후 사고에 대비한 적절한 조치를 취할 수 있도록 도와준다. 이 프로그램은 SCADA나 각 모니터링 시스템과 연계하여 매우 유용한 기능이 될 수 있다. 그림 5는 Fault recording 설정 및 파형 화면이다.

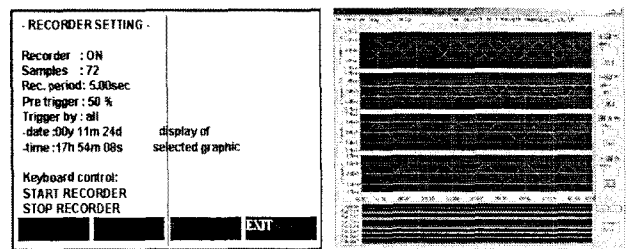


그림 5 Fault recording 설정 및 파형 화면
 Fig. 5 The setting screen of the fault recording and wave

2.6 파라메타 설정 모드

파라미터 설정 프로그램은 몇 개의 독립된 카테고리로 나누어져 있으며, 사용자가 쉽게 그 사용 방법을 습득할 수 있도록 되어있어 매뉴얼 설정과 더불어 매우 유용한 도구로 쓰인다. 아래에는 설정화면을 볼 수 있다. 그림 6은 파라메타 설정 화면이다.

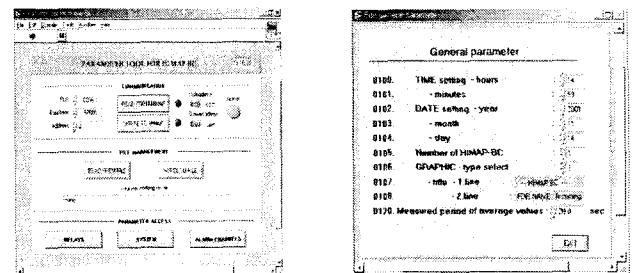


그림 6 파라메타 설정 화면
 Fig. 6 The screen of the parameter setting

3. Bay Controller H/W 설계

환경이 열악한 발전 및 변전 계통에서 오동작을 방지하기 위하여 하드웨어는 내 노이즈성 내환경성을 갖는 회로 및 구조설계가 이루어져야 한다. 또한 실시간의 계측 및 계전 동작을 수행하고, 계측의 정교도를 높이기 위하여 고성능 마이크로프로세서, 변성기, 변류기의 설정 및 설계가 이루어져야 한다. 본 연구에서는 위의 요건에 맞는 H/W를 단위 모듈별로 설계하였으며 각각의 특징은 다음과 같다.

3.1 Main CPU 보드

계전, 계측 및 로직기능을 실시간 수행하기 위하여, 고성능의 DSP CPU를 사용하고 사고파형을 저장할 수 있는 대용량의 비휘발성 메모리를 사용하였다.

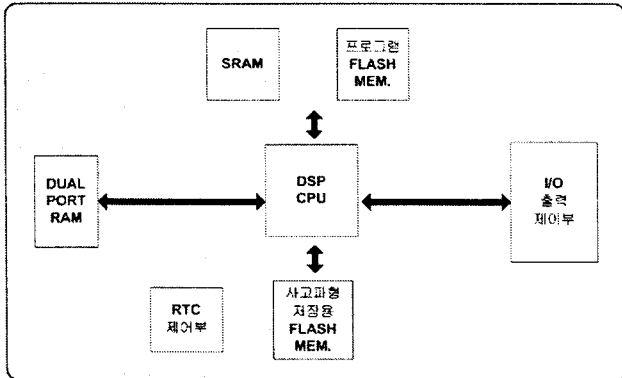


그림 7 Main CPU 보드 H/W 블록도
Fig. 7 The H/W block diagram of main CPU board

3.2 CT/PT 보드

발전기의 전류 및 전압 계측하기 위하여 내부에 전용의 고정밀도를 갖는 CT와 PT를 사용하였다. 계통과 직접 연결되므로 과전압 및 과전류 방지용 보호회로 장착하였다.

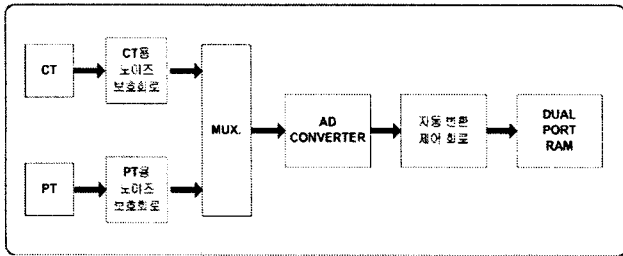


그림 8 CT/PT보드 H/W 블록도
Fig. 8 The H/W block diagram of CT/PT board

3.3 Trip 제어 보드

TRIP 제어 보드는 계통 사고 시 차단기를 제어하고, 각종 출력을 제어하는 보드로, 오 출력을 방지하기 위한 로직 회로를 구성하였다. 또한 차단기 코일을 감시하기 위하여 TCS(Trip Coil Supervision)기능을 장착하였다.

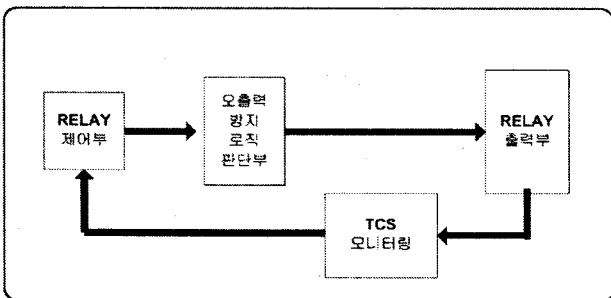


그림 9 TRIP 제어 보드 H/W 블록도
Fig. 9 The H/W block diagram of Trip control board

4. 시험 결과

이 장에서는 bay controller의 보호기능과 로직기능을 이용한 발전기 제어 기능을 시험 한 결과를 나타내었다. 그림 10은 보호기능을 시험하기 위한 시험장치 세트를 나타내었다.

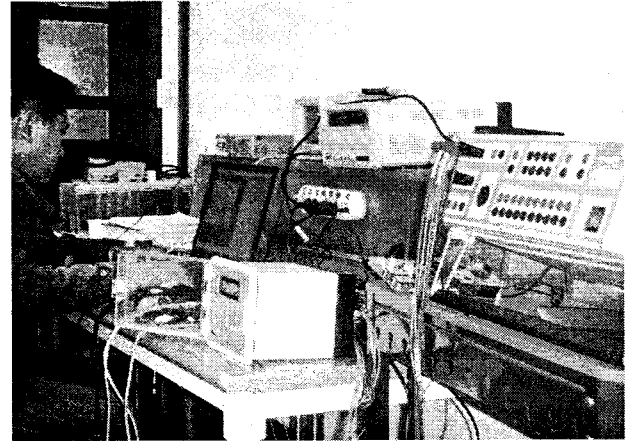


그림 10 시험장치 사진
Fig. 10 Photo of test equipment

발전기 보호계전요소의 성능을 검증하기 위하여 실제 시험에서는 3상전류·전압 값이 필요하므로 그림 10과 같이 계전기 시험 장비인 OMICRON을 사용하였다.

1) Synchro check(25S) 기능

Synchro check 계전 기능의 특성 시험조건은 정격전압을 110V로 세팅한 상태에서 동작치 정정인 3상 전압의 벡터차를 최소(55V)로 놓고 동작시간 정정은 동작시간 특성이 정한 시 이므로 최소(0.1S)일 때와 최대(10S)일 때로 나누어 실험을 하였다. 인가전압은 3상 전압의 벡터차가 동작정정치의 0%, 50%, 70%를 인가한다. 이때 동작시간의 허용오차는 공칭동작시간의 $\pm 5\%$ 또는 35ms 이내 범위를 만족하고 있음을 표 3.에서 나타내었다.

표 3 Synchro check 계전 기능의 동작시간오차
Table 3 The operation time error of a synchro check relay function

구분	동작치 정정	동작 시간 정정	입력 전압 (%)	공칭동작시간 [S]	허용 오차	실측동작시간 [S]	오차
정 한 시	최소 (55V)	최소	0	0.100	$\pm 35\text{ms}$	0.112	12ms
			50	0.100	$\pm 35\text{ms}$	0.125	25ms
			70	0.100	$\pm 35\text{ms}$	0.117	17ms
		최대	0	10.00	$\pm 5\%$	9.907	0.9%
			50	10.00	$\pm 5\%$	9.895	1.1%
			70	10.00	$\pm 5\%$	9.887	1.1%

2) Under voltage(27) 기능

저전압 계전 기능의 특성 시험조건은 정격전압의 20%~50%의 범위에서 동작 정정치를 세팅한 후 동작 정정치의

0%, 50% 및 70%의 전압을 인가한다. 동작시간 정정은 동작시간 특성이 정한시 이므로 최소(0.1S)일 때와 최대(10S)일 때로 나누어 실험을 하였다. 이때 동작시간의 허용오차는 공칭동작시간의 ±5% 또는 35ms 이내 범위를 만족하고 있음을 표 4에서 나타내었다.

표 4 저전압 계전 기능의 동작시간오차

Table 4 The operation time error of a under voltage relay function

구분	동작치 정정	동작시간 정정	입력전압 (%)	공칭동작시간 [S]	허용오차	실측동작시간 [S]		오차
						R상	R상	
정한시	최소 (22V)	최대	0	10.0	±5%	9.992	0.1%	
			50	10.0	±5%	9.991	0.1%	
			70	10.0	±5%	9.995	0.1%	
		최소	0	0.10	±35ms	0.120	20ms	
			50	0.10	±35ms	0.121	21ms	
			70	0.10	±35ms	0.119	19ms	

3) Phase balance current(46) 기능

상불평형 과전류 계전 기능의 특성 시험조건은 정격전류를 5A로 세팅한 상태에서 동작치 정정은 최소(0.5A)로 놓고 동작시간 정정은 동작시간 특성이 정한시 이므로 최소(0.1S)일 때와 최대(10S)일 때로 나누어 실험을 하였다. 인가전류는 동작정정치의 200%, 500%, 1000%를 인가한다. 이때 동작시간의 허용오차는 공칭동작시간의 ±5% 또는 35ms 이내 범위를 만족하고 있음을 표 5에서 나타내었다.

표 5 불평형 과전류 계전기의 동작시간 오차

Table 5 The operation time error of a phase balance current relay function

구분	동작치 정정	동작시간 정정	입력전류 (%)	공칭동작시간 [S]	허용오차	실측동작시간 [S]	오차
500	0.10	±35ms	0.123	23ms			
1000	0.10	±35ms	0.117	17ms			
최대	200	10.0	±5%	9.995	0.1%		
	500	10.0	±5%	9.987	0.1%		
	1000	10.0	±5%	9.983	0.2%		

4) Phase balance voltage(47) 기능

상불평형 과전압 계전 기능의 특성 시험조건은 정격전류를 110V로 세팅한 상태에서 동작치 정정은 최소(1V)로 놓고 동작시간 정정은 동작시간 특성이 정한시 이므로 최소(0.1S)일 때와 최대(10S)일 때로 나누어 실험을 하였다. 인가전류는 동작정정치의 200%, 500%, 1000%를 인가한다. 이때 동작시간의 허용오차는 공칭동작시간의 ±5% 또는 35ms 이내 범위를 만족하고 있음을 표 6에서 나타내었다.

표 6 상 불평형 과전압 계전기의 동작시간 오차

Table 6 The operation time error of a phase balance voltage relay function

구분	동작치 정정	동작시간 정정	입력전압 (%)	공칭동작시간 [S]	허용오차	실측동작시간 [S]	오차
500	0.10	±35ms	0.120	20ms			
1000	0.10	±35ms	0.113	13ms			
최대	200	10.00	±5%	9.995	0.1%		
	500	10.00	±5%	9.990	0.1%		
	1000	10.00	±5%	9.980	0.2%		

5) Instantaneous overcurrent(50)

순시 과전류 계전 기능은 순시특성을 요구하기 때문에 동 표 7의 결과에서 보는 바와 같이 입력전류에 따라 과전류를 인가하였을 경우 50ms이하의 시간에 정확히 계전기 동작이 이루어져야 한다.

표 7 순시 과전류 계전 기능의 동작시간 오차

Table 7 The operation time error of an instantaneous over current relay function

구분	동작치 정정	동작시간 정정	입력전류	공칭동작시간	허용오차	실측동작시간 [mS]		오차
						R상	R상	
순시	최소 (5A)	-	200% (10A)	50ms 이하	-	46	-	

6) Inverse/definite overcurrent(51)

한시 과전류 계전 기능은 정한시 특성과 반한시, 강반한시, 초반한시 특성을 모두 요구한다. 인가전류에 따른 시간특성과 그 오차에 관한 결과를 표 8. ~ 9에 나타내었다. 정정치의 200%, 500% 및 1000%의 입력전류를 인가하고, 이때 동작시간의 허용오차는 공칭동작시간의 ±5% 또는 35ms이내 범위를 만족하고 있음을 알 수 있다.

표 8 정한시 과전류 계전 기능의 동작시간 오차

Table 8 The operation time error of a definite over current relay function

구분	동작치 정정	동작시간 정정	입력전류 (%)	공칭동작시간 [S]	허용오차	실측동작시간[S]		오차
						R상	R상	
정한시	최소 (5A)	최대	200	10.0	±5%	9.993	0.1%	
			500	10.0	±5%	9.993	0.1%	
			1000	10.0	±5%	9.990	0.1%	
		최소	200	0.10	±35ms	0.126	26ms	
			500	0.10	±35ms	0.121	21ms	
			1000	0.10	±35ms	0.118	18ms	

표 9 반한시 과전류 계전기의 동작시간 오차

Table 9 The operation time error of an inverse over current relay function

구분	동작치 정정	동작 시간 정정	입력 전류 (%)	공칭동작시간 [S]	허용 오차	실측 동작시간[S]		오차
						R상	R상	
반한시	최소 (1A)	최소 (0.05)	200	0.501	±35ms	0.513	12ms	
			500	0.214	±35ms	0.226	12ms	
			1,000	0.149	±35ms	0.160	11ms	
		최대 (10.0)	200	100.29	±5%	98.225	2.1%	
			500	42.797	±5%	42.625	0.4%	
			1,000	29.706	±5%	29.591	0.4%	
강반한시	최소 (1A)	최소 (0.05)	200	0.675	±35ms	0.676	1ms	
			500	0.169	±35ms	0.180	11ms	
			1,000	0.075	±35ms	0.086	11ms	
		최대 (10.0)	200	135.00	±5%	131.044	2.9%	
			500	33.750	±5%	33.584	0.5%	
			1,000	15.000	±5%	14.942	0.4%	
초반한시	최소 (1A)	최소 (0.05)	200	1.333	±35ms	1.309	24ms	
			500	0.167	±35ms	0.178	11ms	
			1,000	0.040	±35ms	0.053	13ms	
		최대 (10.0)	200	266.667	±5%	256.322	3.7%	
			500	33.333	±5%	33.092	0.7%	
			1,000	8.081	±5%	8.042	0.5%	

7) Inverse/definite overvoltage(59) 기능

과전압 계전 기능은 정한시 특성과 반한시 특성을 요구한다. 인가전압에 따른 시간특성과 그 오차에 관한 결과를 표 10에 나타내었다. 정정치의 130%, 150% 및 200%의 입력 전압을 인가하고, 이때 동작시간의 허용오차는 공칭동작시간의 ±5% 또는 35ms 이내 범위를 만족하고 있음을 알 수 있다.

표 10 과전압 계전 기능의 동작시간 오차

Table 10 The operation time error of an inverse over voltage relay function

구분	동작치 정정	동작 시간 정정	입력 전압 (%)	공칭 동작 시간 [S]	허용 오차	실측 동작시간[S]		오차
						RS상	RS상	
정한시	최소 (120V)	최소 (0.1)	130	0.100	±35ms	0.122	22ms	
			150	0.100	±35ms	0.121	21ms	
			200	0.100	±35ms	0.119	19ms	
		최대 (10.0)	130	10.00	±5%	9.989	0.1%	
			150	10.00	±5%	9.987	0.1%	
			200	10.00	±5%	9.986	0.1%	
반한시	최소 (120V)	최소 (0.05)	130	1.331	±35ms	1.342	11ms	
			150	0.860	±35ms	0.874	14ms	
			200	0.501	±35ms	0.517	16ms	
		최대 (10.0)	130	266.10	±5%	256.60	3.6%	
			150	171.94	±5%	166.17	3.4%	
			200	100.29	±5%	96.94	3.3%	

8) Ground overvoltage(59N) 기능

지락과전압 계전 기능은 순시 특성과 반한시 특성을 모두

요구한다. 인가전압에 따른 시간특성과 그 오차에 관한 결과를 표 11에 나타내었다. 순시 특성의 경우 정정치의 110%의 입력전압을 인가하여 이때 동작시간이 50ms이하를 만족하고, 반한시 특성의 경우 정정치의 130%, 150% 및 200%의 입력 전압을 인가하고, 이때 동작시간의 허용오차는 공칭동작시간의 ±5% 또는 35ms 이내 범위를 만족하고 있음을 알 수 있다.

표 11 지락과전압 계전 기능의 동작시간 오차

Table 11 The operation time error of a ground over voltage relay function

구분	동작치 정정	동작시간 정정	입력 전압 (%)	공칭동작시간 [S]	허용 오차	실측 동작시간 [S]	오차
순시	최소 (20V)	-	110	50ms 이하	-	47ms	-
반한시	최소 (20V)	최소 (0.05)	130	1.331	±35ms	1.338	7ms
			150	0.860	±35ms	0.877	17ms
			200	0.501	±35ms	0.521	20ms
		최대 (10.0)	130	266.10	±5%	254.69	4.3%
			150	171.94	±5%	166.40	3.2%
			200	100.29	±5%	97.66	2.6%

9) Directional overcurrent(67) 기능

방향성 과전류 계전 기능은 정한시 특성과 반한시, 강반한시, 초반한시 특성을 요구한다. 인가전압에 따른 시간특성과 그 오차에 관한 결과를 표 12에 나타내었다. 동작각 정정치를 최소, 동작전압 정정치를 정격전압, 동작 정정치를 최소로 설정하고, 동작 정정치의 200%, 500% 및 1000%의 입력 전류를 인가하고, 이때 동작시간의 허용오차는 공칭동작시간의 ±5% 또는 35ms 이내 범위를 만족하고 있음을 알 수 있다.

10) Directional ground overcurrent(67GS/GD) 기능

방향성 지락 과전류 계전 기능은 정한시 특성을 가지고, 선택 방향성 지락과전류 계전기능(67GS)과 방향성 지락과전류 계전기능(67GD)으로 나뉜다. 인가전압에 따른 시간특성과 그 오차에 관한 결과를 표 13과 14에 나타내었다. 동작각 정정치를 최소, 동작전압 정정치를 정격전압, 동작 정정치를 최소로 설정하고, 동작 정정치의 200%, 500% 및 1000%의 입력 전류를 인가하고, 이때 동작시간의 허용오차는 공칭동작시간의 ±5% 또는 35ms 이내 범위를 만족하고 있음을 알 수 있다.

11) Auto - reclosing(79) 기능

자동재폐로 계전 기능의 특성 시험조건은 동작회수 정정값을 최소로 설정하고, 동작시간 정정은 동작시간 특성이 정한시 이므로 최소(0.2S)일 때와 최대(180.0S)일 때로 나누어 실험을 하였다. 이때 동작시간의 허용오차는 공칭동작시간의 ±5% 또는 35ms이내 범위를 만족하고 있음을 표 15에 나타내었다.

표 12 방향성 과전류 계전 기능의 동작시간 오차
Table 12 The operation time error of a directional over current relay function

구분	동작각정정	동작치정정	동작전압정정	동작시간정정 [S]	입력전류 (%)	공칭동작시간 [S]	허용오차	실측동작시간					
								R상	R상				
정한시	최소 (10°)	최소 (2A)	정격 (190V)	최소 (0.1)	200	0.100	±35 ms	0.126	26ms				
					500	0.100	±35 ms	0.123	23ms				
					1000	0.100	±35 ms	0.120	20ms				
				최대 (10.0)	200	10.00	±5 %	9.986	0.1%				
					500	10.00	±5 %	9.987	0.1%				
					1000	10.00	±5 %	9.989	0.1%				
				반한시	최소 (10°)	(2A)	정격 (190V)	최소 (0.05)	200	0.501	±35 ms	0.523	22ms
									500	0.214	±35 ms	0.231	17ms
									1000	0.149	±35 ms	0.168	19ms
최대 (10.0)	200	100.29	±5 %					102.88	2.6%				
	500	42.797	±5 %					42.845	0.1%				
	1000	29.706	±5 %					29.201	1.7%				
강반한시	최소 (10°)	(2A)	정격 (190V)					최소 (0.05)	200	0.675	±35 ms	0.653	22ms
									500	0.169	±35 ms	0.171	2ms
									1000	0.075	±35 ms	0.093	18ms
				최대 (10.0)	200	135.00	±5 %	139.37	3.2%				
					500	33.750	±5 %	33.335	1.2%				
					1000	15.000	±5 %	15.490	3.3%				
				초반한시	최소 (10°)	(2A)	정격 (190V)	최소 (0.05)	200	1.333	±35 ms	1.302	31ms
									500	0.167	±35 ms	0.188	21ms
									1000	0.040	±35 ms	0.037	3ms
최대 (10.0)	200	266.66	±5 %					262.59	1.5%				
	500	33.333	±5 %					33.059	0.8%				
	1000	8.081	±5 %					8.097	0.2%				

표 13 선택 방향성 지락 과전류 계전 기능의 동작시간 오차
Table 13 The operation time error of a selective directional ground over current relay function

구분	동작각정정	동작치정정	동작전압정정	동작시간정정 [S]	입력전류 (%)	공칭동작시간 [S]	허용오차	실측동작시간	
								R상	R상
정한시	최소 (45°)	최소 (1.0mA)	정격 (190V)	최소 (0.1)	200	0.1	±35 ms	0.111	11 ms
					500	0.1	±35 ms	0.113	13 ms
					1000	0.1	±35 ms	0.111	11 ms
				최대 (10.0)	200	10.0	±5 %	9.978	0.2 %
					500	10.0	±5 %	9.979	0.2 %
					1000	10.0	±5 %	9.977	0.2 %

표 14 방향성 지락 과전류 계전 기능의 동작시간 오차
Table 14 The operation time error of a directional ground over current relay function

구분	동작각정정	동작치정정	동작전압정정	동작시간정정 [S]	입력전류 (%)	공칭동작시간 [S]	허용오차	실측동작시간	
								R상	R상
정한시	최소 (10°)	최소 (0.2A)	정격 (190V)	최소 (0.1)	200	0.1	±35 ms	0.112	12ms
					500	0.1	±35 ms	0.113	13ms
					1000	0.1	±35 ms	0.110	10ms
				최대 (10.0)	200	10.0	±5%	9.977	0.2%
					500	10.0	±5%	9.979	0.2%
					1000	10.0	±5%	9.977	0.2%

표 15 자동재폐로 계전 기능의 동작시간 오차
Table 15 The operation time error of a auto-reclosing relay function

구분	동작회수정정	동작시간정정 [S]	공칭동작시간 [S]	허용오차	실측동작시간	
					R상	R상
정한시	최소 (1회)	최소 (0.2)	0.200	±35ms	0.227	27ms
		최대 (180.0)	180.00	±5%	186.71	3.7%

12) Under/over frequency(81) 기능

주파수 계전 기능의 특성 시험조건은 동작전압 정정 값을 정격으로 설정하고, 동작시간 정정은 동작시간 특성이 정한시이므로 최소(0.1S)일 때와 최대(20.0S)일 때로 나누어 실험을 하였다. 동작 정정치를 정격 주파수로 설정한 후 정격 주파수의 90%와 110%를 입력 주파수로 인가하여, 이때 동작시간의 허용오차는 공칭동작시간의 ±5% 또는 35ms이내 범위를 만족하고 있음을 표 16에서 나타내었다.

표 16 주파수 계전 기능의 동작시간 오차
Table 16 The operation time error of a frequency relay function

구분	동작전압정정	동작치정정	동작시간정정 [S]	입력주파수(%)	공칭동작시간 [S]	허용오차	실측동작시간 [S]	오차
정한시	정격 (190V)	정격 (60Hz)	최소 (0.1)	90	0.1	±35 ms	0.125	25 ms
				110	0.1	±35 ms	0.117	17 ms
			최대 (20.0)	90	20.0	±5 %	20.177	0.9 %
				110	20.0	±5 %	19.883	0.6 %

4.1 로직 기능을 이용한 발전기 제어 기능

그림 11은 2장에서 설명한 프로세스 모드를 통해 발전기 제어기능 중의 하나인 자동 synchronizing 로직을 구현하기 위한 제어 시퀀스 로직을 나타내었다. bay controller에서 자동 synchronizing은 육상의 전원과 선박의 서로 다른 전원을 전압, 주파수, 위상을 자동으로 맞추어 사고 없이 연결하여 병렬로 운전하게 하는 것이다. 이 때 중요한 요소는 여러 개의 발전기가 운전 중일 때에도 육전과 선박의 전원이 연결될 수 있도록 제어하는 것이다. 선박의 발전설비들은 주로 디젤엔진을 사용, 발전기의 회전력을 얻는다. 회전하면서, 발전기로부터 전압이 생성이 되고, 이 전압을 이용 선박의 발전에 사용하고 있다. 만약 선박과 육상의 전원 중 전압이 서로 일치하지 않을 경우, 발전기의 voltage regulator에 신호를 보내, 원하는 전압에 맞추도록 제어해야 하며, 주파수의 경우는 엔진의 조속기에 신호를 보내, 원하는 주파수에 맞추도록 제어해야 한다. 이 과정을 오차 없이 계속하고 신속하게 제어하여 다시 계속하는 연산이 충분히 빨라야 한다. 이러한 제어로직을 bay controller의 power management system의 프로세스 모드를 통해 구현할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 마이크로프로세서를 장착하고 전기, 전자, 기계 등 각 분야의 새로운 기술들이 접목되어진 새로운 개념의 bay controller의 설계 관한 연구를 수행하였다. 이 bay controller는 오늘 날, 각각의 계전기가 bay 레벨에서 통합되어 가고, bay 레벨의 모니터링과 컨트롤 기능이 첨가

되면서 새로운 기능들을 요구하는 현대적인 추세에 병행하기 적합하다. 아울러 손쉬운 유지보수, 관리 및 시스템 분석을 가능하게 하고 있으며, 기존의 bay controller보다 사용자로 하여금 보다 손쉽게 접근할 수 있도록 하고 있다. 즉 사용자에게 알맞은 HMI(human Machine Interface)를 검토하고 연구하고 실험하여 설계를 수행하였다. 또한 디지털 보호 계전 기능을 한국전기협동조합에서 제정한 KEMC 1120에 의거하여 실험을 수행한 결과 계전 동작시간이 모두 ±5% 및 35ms 이내로 동작하여 실험 기준을 만족함으로써 bay controller의 보호 제어 기능의 타당성을 검증할 수 있었다.

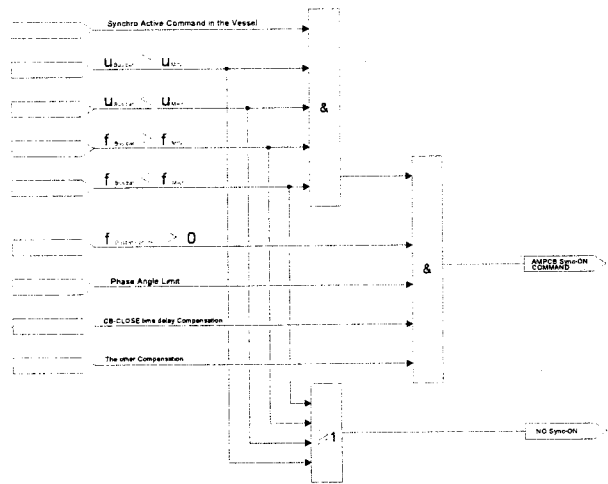


그림 11 자동 synchronizing 로직 구성도
Fig. 11 Auto synchronizing logic diagram

감사의 글

이 논문은 2007년도 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력공학공동연구소(R-2005-7-068) 주관으로 수행된 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] J. Lewis Blackburn, "Protective Relaying: Principles and Application", Marcel Dekker, INC. 1987.
[2] Walter A. Elmore, "Protective Relaying Theory and Applications", Marcel Dekker, INC. 1987.
[3] Protective Relays Application Guide, GEC ALSTHOM MEASUREMENTS LIMITED, 1987
[4] SYMAP Users Manual, Stuke Electronik

저 자 소 개



장 낙 원 (張樂元)

1967년 11월 7일생. 1990년 연세대학교 전기공학과 졸업, 1999년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학), 1992~1995년 삼성전자 AMLCD 사업부. 1999~2003년 삼성전자 반도체연구소. 2003년 9월~현재 한국해양대학교 전기전자공학부 조교수

Tel : 051-410-4413

Fax : 051-404-3986

E-mail : nwjang@hhu.ac.kr



우 천 희 (禹天熙)

1961년 6월 5일생. 1985년 2월 연세대학교 전기과 졸업. 2000년 2월 동 대학원 전기컴퓨터공학(공학). 1985년-1995년 현대중공업(주) 선임연구원. 1995년-현재 명지전문대학 전기과 정교수

Tel : 02-300-1266

Fax : 02-300-1093

E-mail : chwoo@mail.mjc.ac.kr



이 성 환 (李聖煥)

1966년 8월 10일생. 1990년 연세대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1995~2001 현대중공업(주) 선임연구원. 2001~현재 워덕대 에너지전기공학부조교수

Tel : 054-760-1625

Fax : 054-760-1669

E-mail : hwaney@uu.ac.kr