

소켓타입 대용량 전자식 전력량계 개발

김준오 김광의 오재형
한국전력공사

The development of socket type electronic WHM for high current power

Kim Joon Oh Kim Kwang Woe Oh Jae Hyung
KEPCO

1. 서 론

저압 수용가의 전력사용 규모가 증가됨에 따라 120A 급의 단독 전력량계로는 전력거래가 불가능한 설비가 급증하게 되었다. 이러한 수용가에 대해서는 외부에 CT를 별도로 설치하고 입력전류를 5A 이하로 변성하여 계량하는 CT부 전력량계를 사용하여 왔다. 그러나 CT부 전력량계는 결선이 복잡할 뿐만 아니라 도전 우려와 오결선으로 인한 미계량 및 오계량 등의 우려가 상존하여 왔다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 전력회사에서는 전력사용 용량이 71kW 초과 99kW 이하의 설비에 변성기를 부설하지 않고 단독 전력량계로 전력량을 기록할 수 있는 210A급의 정밀급 단독 전력량계의 개발이 필요하게 되었다.

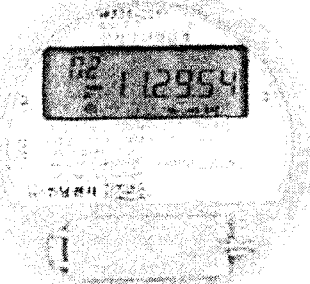
본 논문은 한국전력공사에서 시행하고 있는 중소기업 협력연구개발과제를 통하여 중소기업과 공동으로 개발한 210(35)A, 정밀급 1.0의 저압 전자식 전력량계의 개발에 대한 내용을 기술하였다.

2. 본 론

2.1 개발제품의 규격

본 제품은 3상 4선식 정밀급 저압 전자식 단독전력량계로서 전력량계는 그 오차의 정밀도에 따라 보통전력량계, 정밀전력량계, 특별정밀 전력량계로 구분되는데 정밀전력량계는 수요전력이 500kW 이상 10,000kW 미만의 용량에 사용되는 계량기로 오차의 공칭정밀도 $\pm 1.0\%$ 의 것을 말한다.

또한 본 제품의 기존의 밑면 접속방식 전력량계와는 달리 미국지역에서 많이 사용하는 소켓형으로서 외함의 이면에 Plug를 설치하여 단자의 결선작업 없이 전용 Socket과 직접 결합할 수 있는 외함 구조를 가지고 있다. 소켓형의 장점은 무정전으로 전력량계의 교체작업을 할 수 있다는 이점 외에도 접속시 아크의 방향이 전력량계의 뒷면에 있어 안전사고의 위험을 줄일 수 있는 장점이 있다.

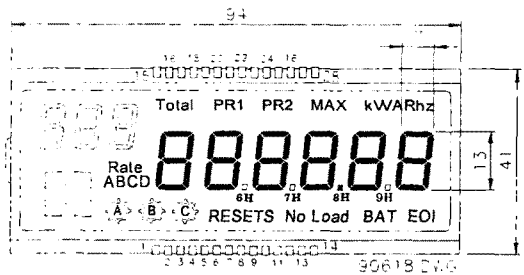


[그림 1] 개발제품의 정면사진

2.2 개발제품의 기능

개발제품은 저압 3상 대용량 수용가에 Peak-Time 요금제도 적용을 위한 3종 요금제 소켓형 전자식 전력량계로서 정격은 3상 4선식 220V 210(35)A 60Hz이다. 오차등급은 IEC 1036에 의한 1.0급이며 시간대별 3종계량과 자동검침일 설정이 가능한 구조이다.

원격검침을 위한 interface 기능과 자기진단 기능, 프로그램 입력을 위한 설정스위치 등을 구비하고 있다. 계량항목은 현월과 전월의 시간대별 유효전력량, 무효전력량, 역률, 최대수요전력 등이며, 표시항목은 현월과 전월의 시간대별 유효전력량, 무효전력량, 역률, 최대수요전력, 자동검침일 등이며 현재 날짜 및 현재시각, 자기진단 결과를 [그림 2]의 LCD를 통하여 6초씩 순차적으로 표시한다.

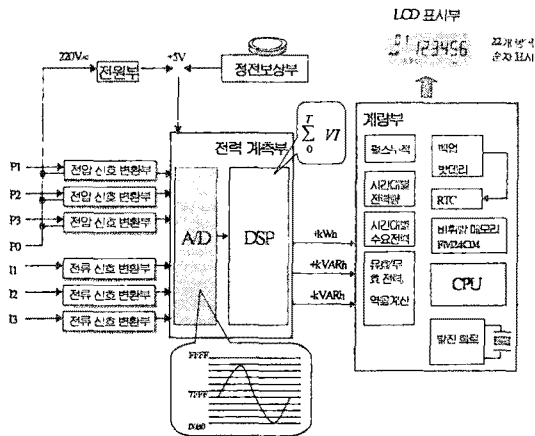


[그림 2] 제품의 LCD

2.3. 제품의 설계

2.3.1 구성도

전체적인 제품의 구성은 [그림 3]의 Block Diagram과 같다.



[그림 3] 개발제품의 Block Diagram

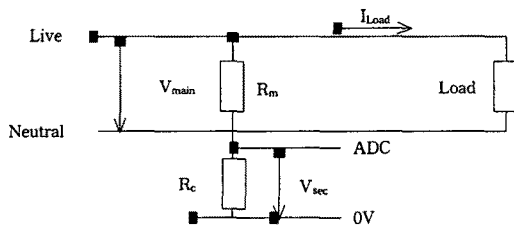
2.3.2 전원회로

전원회로는 전원트랜스, 정류회로, 정전보상회로로 구성된다. 전원트랜스는 교류전원을 입력받아 전류회로에 출력하며 정류회로는 입력된 교류전압을 정류하여 전자 부품의 동작전원인 직류 5V 전원을 만든다. 정전보상회로는 정전시에 전력량계의 각종 데이터 및 내부시계 동작을 유지하기 위해 공급되는 보조 동작전원이다.

2.3.3 전압변환회로

전력계산을 실행하는 DSP의 ADC (Analog Digital Converter)에서 전압신호와 전류신호를 송산할 수 있도록 220V의 전압을 이에 비례한 소정의 미소전압으로 변환하여 주는 회로이다. 전압신호는 부하의 크기에 관계없이 일정한 값을 가지므로 저항분압회로와 전압 transformer를 사용하는 방식이 사용된다. 본 제품은 [그림 4]와 같이 저항분압 회로를 이용하였으며 전압선과 중성선 사이에 인가된 전압 V_{main} 은 저항분압회로 R_m 과 R_c 회로에 의해 분압된 V_{sec} 을 얻는다. V_{sec} 은 ADC에 입력되어 전류신호와 함께 전력을 계산하는데 사용되어진다.

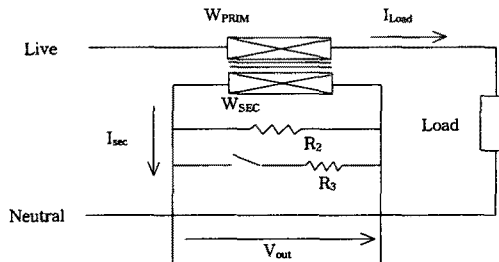
$$V_{sec} = \frac{RC}{R_m + R_c} \times V_{mains} \quad (식 1)$$



[그림 4] 저항분압회로의 원리

2.3.4 전류변환회로

전력계산을 실행하는 DSP의 ADC에서 처리할 수 있도록 부하전류에 비례하는 소정의 미소전압으로 변환하는 회로이다. 전력량계에서 사용하는 전류변환회로는 Shunt 저항을 이용하는 방법, CT를 이용하는 방법, 홀 소자를 이용하는 방법 등 여러종류가 있으나 본 제품의 전류변환은 CT를 이용하였다. 일반적으로 많이 사용하는 전류 sensing 방법중의 하나이며 전력량계의 오차동급을 좌우하는 부품이므로 전력량계의 정밀도에 합당한 CT를 사용해야 한다. CT는 비오차(ratio error)와 위상각 오차(phase angle error) 2종류의 error 발생요인이 있으며 전력량계의 오차는 이 2가지 error 요소의 결합으로 나타난다. [그림 5]는 CT를 사용한 전류회로를 나타낸 회로도이다. 부하전류 I_{Load} 가 흐르면 CT 2차측에 I_{sec} 가 유기된다.



[그림 5] CT를 사용한 전류변환회로

I_{sec} 은 CT의 1차측, 2차측 권수비와 관계가 있으며 (식 2)에 의해 구할 수 있으며 ADC에 입력되는 전압신호는 V_{out} 은 (식 3)에 의하여 계산된다.

$$I_{sec} = \frac{W_{prim}}{W_{sec}} \times I_{Load} \quad (식 2)$$

따라서 종단저항 R_2 양단전압 V_{out} 은 다음의 식에 의해 구할 수 있다.

$$V_{out} = \frac{W_{prim}}{W_{sec}} \times I_{Load} \times R_2 \quad (식 3)$$

소전류일 경우는 스위치를 off하여 R_2 양단의 전압을 이용하고 대전류일 경우는 스위치를 on하여 R_2, R_3 의 병렬합성 저항의 전압을 이용한다.

2.3.5 CPU 및 주변회로

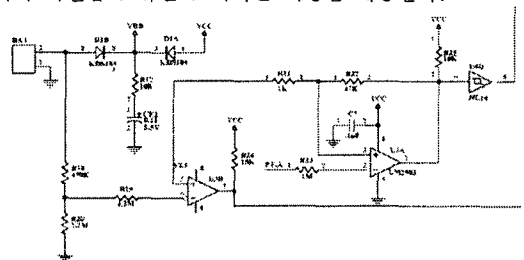
CPU는 전자식 전력량계의 동작에 중추적인 역할을 하는 부품으로서 CPU를 선택할 때는 다음의 사항을 고려하여야 한다. CPU의 bit, 메모리 용량, 입출력 포트의 수, 동작속도 및 소모전력, 범용성과 경제성 및 적합성 등이다. 본 제품에 사용된 CPU는 다음과 같은 하드웨어적인 특징을 가지고 있다.

- 16 bit microprocessor
- 4.2nW/instruction의 초절전형
- 300ns/instruction의 고속동작
- 27개의 명령어로 제어
- FLL을 내장하여 1개의 X-tal만 소요
- LCD driver, 14 bit ADC, ROM, RAM 내장

CPU가 수행하는 주요한 동작은 첫째, ADC 기능으로서 CPU 내부에 별개의 6채널 ADC를 내장하고 있어 전압신호 변환회로와 전류신호 변환회로부터 입력된 아날로그 신호를 14bit의 ADC를 통해 디지털 신호로 변환한다. 둘째, 전압과 전류의 디지털 신호를 송산하고 전력을 산출한다. 계산된 전력은 이에 비례한 주파수를 가진 펄스형태로 변환되어 15초마다 펄스 수를 저장된다. 전력량은 15초마다 기록된 펄스수를 누적하고 계기정수를 적용하여 표시한다. 셋째, firmware를 저장하기 위한 32kbyte 내장 ROM과 계량데이터 저장을 위한 1024Byte의 외부 RAM을 가지고 있다. 넷째, 모듈형 LCD를 사용하지 않았으므로 데이터를 표시하기 위한 LCD를 구동한다. 다섯째, 시계를 구동시키기 위해서는 전원주파수를 이용하는 방법, RTC(Real Time Clock)를 사용하는 방법, CPU에서 분주하여 시계기능을 구현하는 방법이 있다. 본 제품은 CPU에서 분주하여 시간을 생성하는 방법을 사용하도록 설계하였다. 시계의 정확도를 좌우하는 기본요인은 크리스털의 정밀도로서 온도 의존성과 전압변동 의존성이 높아 10PPM의 X-tal을 채용하고 시간보상 프로그램을 적용하였다.

2.3.6 정전보상용 배터리 감시회로

정전이 발생하여도 자료의 보존 및 시계기능을 유지할 수 있는 정전보상회로가 필요하다. 보상회로는 보상기간이 100일 이상 되도록 저소비전력의 회로로 설계한다. 배터리 감시회로는 전압이 일정수준 이하로 떨어지는 경우 CPU에 저전압 신호를 전달하여 CPU가 LCD에 배터리 저전압 오류를 표시하는 기능을 제공한다.



[그림 6] 정전 보상 및 배터리 감시회로

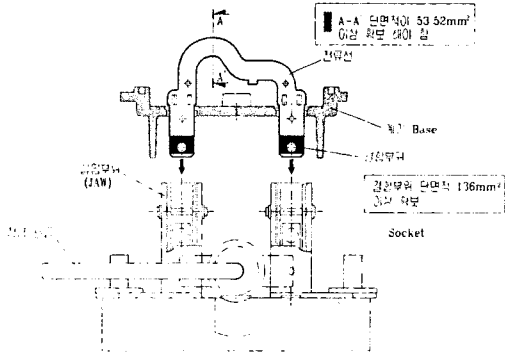
2.3.7 대용량 CT의 개발

본 제품을 위하여 210A급 변류비 2,500:1의 CT를 개발하였다. CT의 정밀급은 0.2급이며 동작보증범위는 $0.025I_n \sim I_n(5.25 \sim 210A)$ 이다.

2.3.8 도체 단면적과 허용전류

국제 전기 코드(NEC: National Electrical Code)에서 정의하는 허용전류의 정의는 "도체가 사용조건 하에서 정격이상의 온도상승 없이 연속으로 흘릴 수 있는 전류"이다. 일반적으로 600V 이하의 전기기기는 도체의 연결부위의 온도특성을 고려하여 NEC의 테이블 310-16을 토대로 적절한 허용전류를 가진 도체를 사용할 것을 권장하고 있다. 제작상 주의할 것은 기준치 이상의 규격을 사용하되 어느 한 부분의 단면적도 기준치 이하로 되는 부분이 없어야하며 특히, 단자(terminal)와 전류선 연결부위의 단면적 및 접촉면적이 너무 적지 않도록 주의하여야 한다. 본 제품의 정격전류는 210A이므로 NEC Table 310-16 및 301-17의 기준을 적용하면 단면적 53.52mm² 이상이어야 한다.

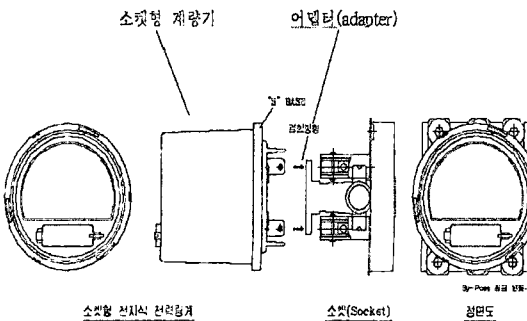
본 제품은 전류동대를 폭 22mm, 두께 2.5mm인 동판(copper plate)를 사용하여 최소 단면적 55mm² 이상을 유지도록 설계하였으며 전류단자와 어댑터가 연결되는 접촉부위(overlapped surfaces)는 발열을 방지하기 위하여 접촉면적이 136mm²(1,000A당 645mm² 소요) 이상 되도록 설계하였다.



[그림 7] 도체의 단면적 설계

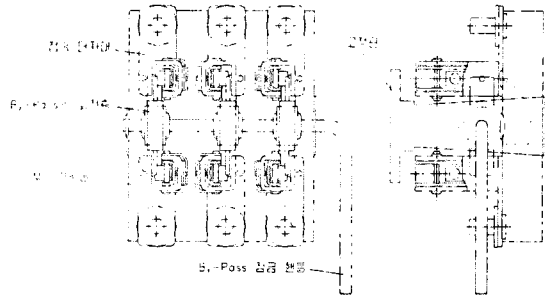
2.3.9 어댑터

어댑터는 소켓형 전력량계와 결합되어 전력량계를 지지해 주는 역할을 하는 부분으로서 전력선이 결선되어 있다. 어댑터에는 잠금핸들을 설치하여 무정전 교체, 결합의 견고함, 작업자의 안전성 등을 위하여 잠금핸들과 조임편을 설치하였다.



[그림 8] 전력량계와 어댑터의 연결도

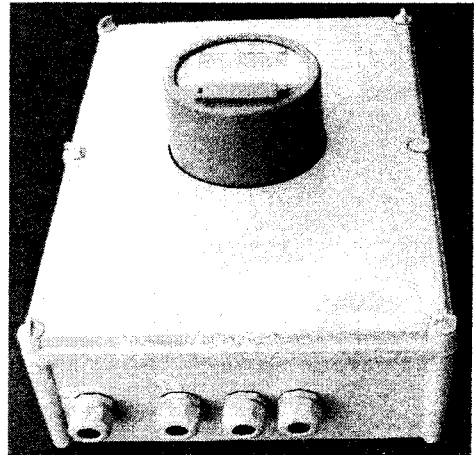
먼저 전력량계 부설위치에 외함을 설치한 후 어댑터를 부설하고 전력선의 전원측과 부하측을 결선한다. 전력선의 결선은 어댑터의 상부단자가 전원측, 하부단자가 부하측에 연결된다. 결선이 완료되면 By-Pass 잠금핸들을 By-Pass시킨 다음 소켓타입 계기를 삽입한다. 완전한 결합을 확인하고 By-Pass 잠금핸들을 내려 봉인하면 설치가 완료된다.



[그림 9] 어댑터의 구성도

2.3.10 외함

외함은 철제함과 Hi Box 중 절연의 효과가 있고 대량생산의 이점이 있는 전면 노출형 Hi Box를 채택하였다.



[그림 10] 전면 노출형 Hi Box 외함

3. 결론

본 논문에서는 우리나라에서 최초로 개발된 소켓타입 210A급 저압 전자식 전력량계의 개발에 대하여 기술하였다. 본 전력량계는 대용량으로서 CT부 전력량계가 가지는 오결선의 우려와 넓은 부설공간을 대폭 축소할 수 있으며 정밀급의 향상과 함께 동작범위의 광범위화로 대용량 전력량계가 가질 수 있는 한계를 극복한 것으로 평가되고 있다. 또한, 본 개발품은 향후 다른 형식의 소켓타입 전력량계 개발과 규격의 제정에 큰 기여를 할 것으로 기대된다.

[참고 문헌]

- [1] 한국전력공사, 남전사 "소켓타입 대용량 전자식 전력량계 개발 최종보고서", 2002.
- [2] 김준오, "전자식 및 IV형 전력량계의 경년특성과 수명예측에 관한 연구 중간보고서", 한국전력공사, 2001.