

디지털 전력량계 개발

김요의 조기연 권순만\* 김종수  
한국전기연구소 전력전자연구소

A Study of Digital Watthour Meter

KIM, YO HEE CHO, KI YEON KWON, SOON MAN \* KIM, JONG SOO  
Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)

1. 서론

현재 사용되고 있는 전력량계는 기계식구조로서 크게 보통전력량계와 정밀전력량계로 나누어지는데 보통전력량계는 아라고원판을 이용한 Ferraris형 전력량계로 2%정도의 큰 오차를 갖고 있으며 값이 저렴한 대신 그 구동부분의 마모등이 심해 수명 및 신뢰도가 낮아 정기적으로 검정시험을 해야하는 등 불편이 많다. 정밀전력량계는 0.5-1.0%급으로 오차는 작은 대신 고가이며, 이 또한 구동부분의 마모등이 오차 증가의 원인이 되어 충격에 약하다는 결점이 있다. 또 기계식 구조를 갖는 전력량계는 무효전력량, 차등전력량, 최대수요전력등을 측정하고자 할 때는 각각의 조합으로 구성되어야 하기때문에 구성이 복잡하고 용도가 다양하지 못한 불편이 있다. 이러한 결점을 극복하기위해 외국에서는 전자식전력량계의 개발이 적극적으로 추진되어 실용화가 시도되고 있다.

당 연구소에서도 이러한 기술적인 추세를 고려하여 디지털전력량계의 개발을 추진하여 단상 디지털 전력량계와 유효, 무효, 차등전력량 및 최대수요 전력이 단일기기로 동시계량이 가능한 3상 디지털 전력량계를 개발하게 되었다.

2. 기본원리

디지털 전력량계에서 이용된 기본원리는 다음과 같다. 즉, (그림1)의 (a)에서 보는 바와 같이 전압, 전류를 각각 e, i 라 하면 순시전력 p는 그림 (b)로 표시된다. 이 순시전력 값들을 일정한 주기로 Sampling 하여 누적하면 유효전력량이 된다.

즉,  $e = E_m \sin \omega t$ ,  $i = I_m \sin(\omega t - \varphi)$  라 하면 유효전력  $P_a$  는

$$P_a = \frac{1}{T} \int_0^T e \cdot i \, dt$$

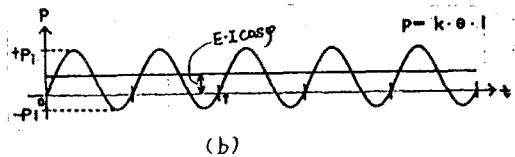
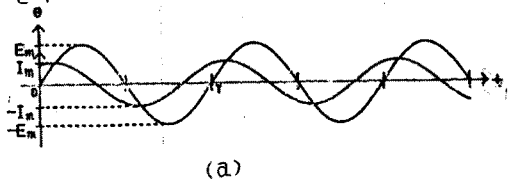
$$= \frac{1}{T} \int_0^T \{ E_m \sin \omega t \cdot I_m \sin(\omega t - \varphi) \} dt$$

$$= E \cdot I \cos \varphi \quad \dots \dots \dots (2-1)$$

( 단  $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$ ,  $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$  ) 가 된다.

따라서 유효전력  $P_a$ 는 그림 (b)에서 나타낸 바와 같이 식(2-1)과 같은 값의 직선으로 표시가능 하다.

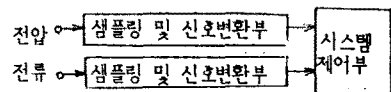
그러므로 그림 (b)에서의 순시전력 p를 일정한 주기로 Sampling 해서 누적하거나 또는 순시전력 p를 평균한 값, 즉 식 (2-1)의 값을 누적하면 전력량이 된다.



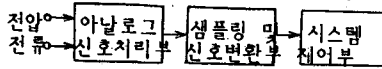
(그림 1) e, i, p 파형

3. 적산 방식

디지털 전력량계에 이용된 전력량 산정방식은 전압과 전류의 처리방식에 따라 Sampling 방식 (그림 2)과 교류-직류 변환방식(그림3)으로 대별할 수 있는데 이 방식들은 다시 전압과 전류의 측정방식에 따라 각각 2가지로 나눌 수 있다. 이것을 (a), (b)로 각각 표시하였다.

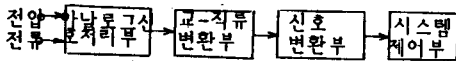


(a) Separated e, i Method

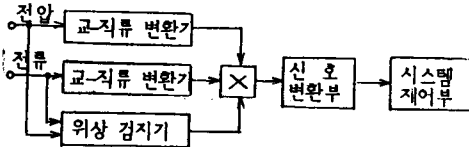


(b) Combined e,i Method  
(그림2) Sampling 방식

이 그림에 나타낸 Sampling 방식은 정밀도를 높이기 위해서 정해진 시간 내에 보다 많은 Sampling 회수가 요구되나 Sampling 회수는 시스템 제어부의 전체 시스템 제어 수행 시간과 밀접한 관계가 있어 그에 따라 회수에 제한을 받게된다. (그림2)의 (b)에 나타낸 방식은 시스템 제어부의 부담을 어느정도 줄여서 Sampling 회수를 보다 늘려 정밀도를 높이기 위하여 시스템제어부가 수행할 일들 중 일부를 아나로그단에서 처리하게 한 방식인 데 이 때 아나로그신호 처리부의 고정도화가 필수적이다.



(a) Combined e,i Method



(b) Phase detecting method

(그림3) 직류 - 교류 변환방식

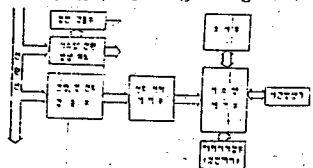
(그림3)의 직류-교류 변환방식은 시스템 제어부의 부담이 훨씬 경감되어 입력부와와의 정확한 타이밍동작등의 필요가 없기 때문에 전력량계의 주 기능인 전력량 산정 외에, 예컨대 외부와의 송수신, 부하제어등의 여러가지 다른 제어동작을 행할 수 있는 장점이 있어 본 디지털 전력량계에서는 주로 이 방식을 채용하고 있다.

4. 디지털 전력량계의 구성

디지털 전력량계는 무효전력량, 최대수요전력, 차단전력량산정등의 기능을 부가하여 기존 기계식 3종계기의 기능까지 조합한 다기능화를 실현하였다.

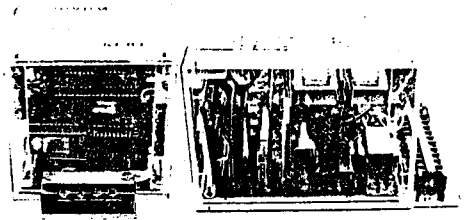
4-1 기본 시스템 구성

개략적인 기본시스템 블록도는 다음 (그림4)와 같다



(그림4) 디지털 전력량계의 기본시스템 블록도

또, 본연구실에서 제작한 단상 및 3상 디지털전력량계의 실제 외관이 (사진1)에 나타내져 있다.



(사진1) 디지털전력량계 외관

4-2. 기계의 다기능화

기계식전력량계를 용도별로 나누어 보면 무효전력량계, 무효전력량계, 최대수요전력량계, 3종계기로 나눌 수 있다. 기계식전력량계는 용도에 따라 각각 설치되어야 하는 불편이 있어 이를 소형, 경량화하여 설치공간을 줄이고 기계의 가격을 저렴화하기 위하여 디지털무효전력량계에 무효전력량계, 전자식 Timer 를 내장시켜, 단일계기로 무효전력량, 무효전력량, 최대수요전력, 차단전력량을 계량할 수 있도록 하였다. 각각의 기능부가에 대한 사항은 다음과 같다.

4-2-1 무효전력량계

무효전력  $P_a$  는 식 (2-1)에 의해

$$P_a = \frac{1}{T} \int_0^T e \cdot i \, dt = E \cdot I \cos \phi \quad \text{----- (4-1)}$$

이며 무효전력  $P_r$  는

$$P_r = E \cdot I \sin \phi \quad \text{----- (4-2)}$$

이다. 이때 식 (4-1)에 전압, 또는 전류를 소숫만큼 이상시켜 대입하면

$$P'_a = \frac{1}{T} \int_0^T e' \cdot i \, dt \quad \text{또는} \quad P'_a = \frac{1}{T} \int_0^T e \cdot i' \, dt \quad \text{--- (4-3)}$$

으로 되어  $P'_a = \pm E \cdot I \sin \phi = \pm P_r$  -----(4-4)가 된다. 따라서 전압 또는 전류 이상외도를 이용하면 무효전력량계를 구성할 수 있다.

4-2-2. 최대수요전력계와 차단전력량계

최대수요전력계는 Timer 로 부터 입력된 단위시간을 Program에 의해 산정하여 이 시간 동안 평균전력을 계산하여 전시간 동안 계산된 평균전력과 비교하여 보다 큰 값을 표시하게 되는데 기계식 최대수요전력량계에 비해 간단하고 저렴하게 구성할 수 있었다. 또, 차단전력량계는 Program 에 의해 경.중.최대부하 시 관대로 분리시켜 각 시간대의 전력량을 누적시켜 그 값을 표시하게 하였다.

5. 전력량계의 특성시험 결과

디지털전력량계의 신뢰도를 확보하기 위하여 특성 시험을 행하였다. 그러나 디지털전력량계에 대한 시험 규격이 없어 기계식전력량계의 KSC1208 을 주로 참고

하였으며 그 외에 ANSI/IEEE C37.90a - 1974, JEC-184-1971. 일본 전자식전력량계 연구위원회의 전자식 전력량계류의 성능·구조기준을 참고하여 시험하였다. 이 때 시험에 사용된 피시험품은 단상2선식 110V/15A, 60Hz의 정격으로 설계제작하였다.

5-1. 오차 시험

피시험품을 0-5A 범위내에서 오차를 측정한 결과 다음(표1)과 같이 나타나 양호한 특성을 나타내고 있다. 또(표2)에 실측 데이터를 제시하였다.

(표1) 오차시험결과

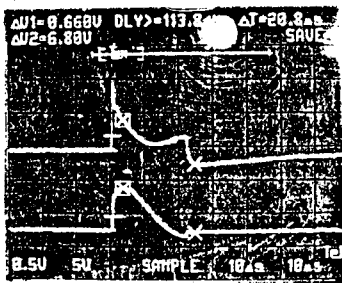
전압[V]	전류[A]	오차
105.3	4.95	+0.15%
106.3	4.35	+0.20%
106.7	3.75	+0.23%
105.8	3.11	+0.36%
105.8	2.48	+0.37%
105.9	1.87	+0.21%
105.2	1.24	+0.35%
105.9	0.61	+0.21%

(표2) 실측 data 예

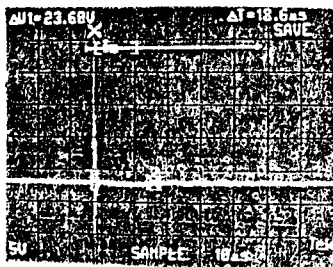
번호	전압[V]	전류[A]	오차[%]
1	1994		+0.30%
2	1995		+0.25%
3	1995		+0.25%
4	1994		+0.30%
5	1994		+0.30%
6	1995		+0.25%
7	1997		+0.15%
8	1995		+0.25%
9	1996		+0.20%
10	1995		+0.25%
평균	1995.0		+0.25%
표준편차			+0.25%
표준오차			+0.20%

5-2. 충격파 내전압 시험

충격파 내전압시험은 6,000V / 1.2x50 US를 인가하여 행하게 되는데 이 표준충격파를 기계에 수회 가하여 기기 내부의 주요점의 영향을 체크한 결과 이상이 없었다. 충격파 인가치의 피시험품내에서의 유기전압·전류파형과 피시험품내부 +5Vdc Source에서의 유기전압파형이 (사진2, 3)에 각각 나타내져 있다.



(사진2) 표준충격파인가시의 유기파형(피시험품인력측)



(사진3) +5Vdc line측 유기 파형

5-3. 상용주파 내전압시험

(표3)의 조건으로 각 전압을 1분간 3회씩 인가한 결과 기기에는 전역 이상이 있었다.

(표3) 상용주파내전압시험

구분	단위: V
전압 회로와 배이스타의 사이	2000
전류 회로와 배이스타의 사이	
시험용 단자에 접속된 전압 회로 및 전류 회로와 2S-2L 단자와의 사이(2S-2L 단자는 접속된 전압 회로 접속선 을 게로 한다)	
전류 회로 상호간(1)(시험용 단자를 게로 한다)	600
전압 회로와 전류 회로와의 사이(시험용 단자를 게로한다)	

주: 1) 다소자 계기만에 대하여 한다.

5-4. 과전류 시험

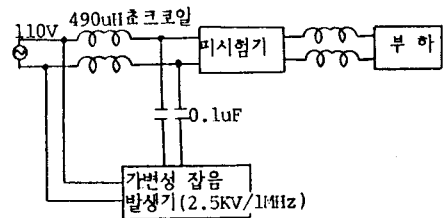
22.5A (15A x 1.5배) 전류를 20분간, 다시 300A (15A x 20배)를 0.5초간 인가한 후 오차를 측정한 결과 0.24%의 오차변화가 나타났으므로 과전류에 의한 문제는 없는 것으로 나타났다.

5-5. 온도 특성 시험

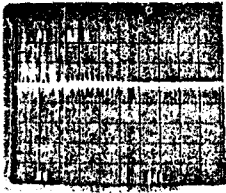
온도특성시험은 KSC 1208 에 준한 온도변화의 영향 시험과 일본 기준을 참고로한 온도 Cycle 시험으로 나누어 지는데 현재 진행중에 있다.

5-6. 충격성 잡음시험

충격성 잡음시험은 기기가 동작상태에서 저락사고등의 영향으로 ANSI/IEEE C 37.90a - 1974 에서 규정한 2.5KV/1MHz 이상의 잡음이 수초간 기계에 인가되었을 때 기기내의 디지털 회로등에 이상이 발생되지 않도록 하기 위한 시험인 데 다음(그림5)에 시험 회로도가 표시되어 있다. 그리고 (사진4)에 그 때의 피시험품내부 +5Vdc line 에 유기되는 파형을 나타내었다. 이 시험에서 첫 시험에서는 수십회 인가시 1-2회정도의 오동작이 발생하였으나 H/W 및 S/W보정 후 재시험을 수차 행한 결과 수백회 인가 시에도 오동작이 발생하지 않아 양호한 특성을 나타내었다.



(그림5) 충격성 잡음시험 회로도



(사진수) 충격성 잠음인가시 미시봉 내부  $\pm 5V_{dc}$  line에서의 유기전압파형

7. 결 론

디지털전력량계 개발에서 가장 중요한 변수는 경제성과 신뢰성 확보이다. 경제성은 결국 가격의 저렴화로 접근 되는데 상상의 경우 다기능화가 용이하므로 경제성이 충분하다고 볼 수 있으며 또한 단상인 경우도 배전자동화 시스템, H.A 등에서 기존 수용기 전력량계의 개념이 재검립될 경우 그 경제성은 더욱 크다고 본다.

그리고 이 디지털 전력량계는 국민생활에 직결되므로 신뢰성확보는 경제성 못지 않게 중요한 문제가 되는데 앞에서 설명한 바와 같이 기계식과 동일한 규격의 여러 시험을 행한 결과 모두 충분한 신뢰성을 나타내었으며 또한 전자식가격의 중요한 문제점중의 하나인 충격성 잠음에 의한 오동작문제도 여러 번의 시험 및 보완을 통해 신뢰성을 확보하였으므로 양호하다고 하겠다.

디지털 전력량계의 내구성 시험하기 위한 Field Test 도 곧 실시예정인 데 먼저 디지털전력량계의 고유한 특성을 고려한 전자식 전력량계에 대한 새로운 관련 규격등의 착상이 시급한 문제로 나타나고 있다.

참 고 문 헌

- 1) Intel Microcontroller Handbook, 1984-6
- 2) STEPHEN J. HRINYA and CHENMING HU. "Residential Time-of-Use Kilowatt-hour Meter" ESPR, pp13-23. 1986. 11.
- 3) Landis & Gyr Catalog.
- 4) "配電自動化方式" 電気協同研究 第36卷 第5號.
- 5) J. J. HILL and W.E. ALDERSON, "Design of a microprocessor based digital wattmeter" IEEE Trans. on IECEI, Vol-28, Aug. 1981.
- 6) K. BALASUBRAMANIAN, S. GUNASEKARAN, "Power factor measurement Using a microprocessor" IEEE on Vol-31, FEB. 1984.
- 7) Crompton Instruments, "PALADIN transducers and transmitters"