

정밀전압, 전류, 전력, 역률측정 전력계

박영태, 유광민, 유권상, 김한준, *장석명
한국표준과학연구원, *국립충남대학교

Wattmeter for Voltage, Current, Power and Power Factor Measurement

Y.T.Park, K.M.Yu, K.S.Ryu, H.J.Kim, *S.M.Jang, **
KRISS, *Chungnam University

Abstract - High precision voltages, currents, power factor and electrical power measurements wide range of frequency can be achieved by using the thermo-elements(thermal converters). This paper describes the development wattmeter, based on a thermal principle. The instrument has been performed measurement in the range of currents from 0 to 50 A, voltages up to 600 V, power factor 0.5, 1 and frequencies from 45 Hz to 3 kHz. The thermal converters with two heater are used in the functional element of the wattmeter.

1. 서 론

시간에 따라 변하는 AC 전기량을 정밀하게 측정하는 방법은 크게 기계식 방법과 전자식 방법이 있지만 근래에는 대부분 전자식으로 바뀌어가고 있다. 기계식과 달리 전자식은 전자소자의 발달로 연산이 가능하며 간단하고 여러 기능을 동시에 수행할 수 있는 장점을 가지고 있다.

전자식일 경우라도 사용하는 전자소자의 종류에 따라 정확도, 측정범위, 기능 등이 다르다. A/D변환기의 고속화와 분해능의 개선으로 AC 전기량의 측정에 많이 활용되고 있다. 그러나 아직까지 전기량 측정의 정확도와 기기의 성능과는 아직 미흡한 점이 있다.

AC 전기량을 정밀 정확하게 측정하기 위하여 교류를 열기전력으로 변환하는 기능을 가진 서미스터와 같은 열전형변환기(Thermal converter)를 사용한다. 열전형변환기를 사용하여 제작한 AC 전기량 측정기는 대부분 고정도의 성능을 가진 전력계를 교정해주는 표준기급 전력계로 사용한다[1-4]. 그런데 열전형변환기를 이용하여 전압, 전류, 전력, 역률 등을 측정할 경우 제작이 까다롭고 열전형변환기의 특성을 보상해 주어야하는 기술적인 어려움이 있다. 그리고 측정 주파수가 전원 주파수 로 한정되어 있는 단점을 가지고 있다[5].

본 연구에서는 열전형변환기를 기본으로 하고 전력의 경우 측정 주파수 범위를 1 kHz까지 측정이 가능하며 정확도 0.1 %의 성능을 가진 전력계를 교정해줄 수 있는 전력계를 제작하였다. 전력 이외에 전압, 전류, 역률도 측정할 수 있으며 주파수 범위도 3 kHz까지 측정이 가능하다.

2. 본 론

2.1 열전형변환기

열전달 소자로 사용되는 열전형변환기는 교류를 측정하기 위한 소자로 활용되며 히터와 열전대로 구성되어 있고 그림 1에 구조와 동작 원리를 나타내었다. 열전형변환기의 입력으로부터 공급되는 전류는 고 저항선으로

구성된 히터에서 열이 발생된다. 히터에 발생된 열은 중간 지점에 전기적 절연을 유지하면서 부착된 열전대에 열기전력이 발생된다. 이 발생된 기전력을 그림 1(a)에 나타낸바와 같이 DVM(전압계)로 이 값을 읽는다.

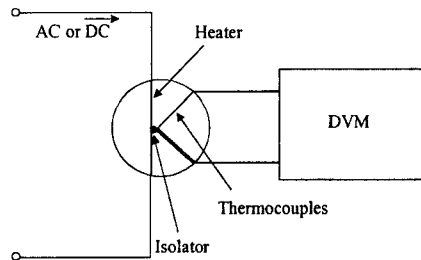


그림 2(a). 열전형변환기의 구성

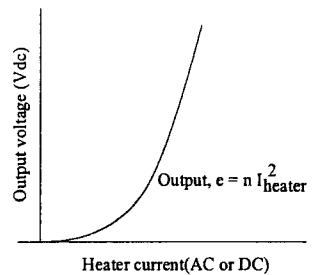


그림 1(b). 열전형변환기의 출력

그림 1(b)는 히터에 공급되는 전류에 의해 출력되어지는 열전형변환기의 출력 형태를 나타내었다. 열전형변환기 출력 e 는

$$e = n^2 I_{heater}^2 \quad (1)$$

로 나타낸다. 여기서 n 은 열전형변환기의 열 변환 상수이고 I_{heater} 는 히터에 흐르는 전류를 나타낸다. 따라서 열전형변환기의 출력은 히터 전류의 제곱에 비례하는 특성을 가지고 있다.

한 개의 열전대를 이용하는 단일점합 열전형변환기는 많은 수의 열전대를 사용하는 다중점합 열전형변환기에 비해 출력 열기전력이 작고 열 전달 오차가 크기 때문에 본 연구에서는 다중점합 열전형변환기를 사용하였다. 다

중점합 열전형변환기는 러시아의 표준기관으로부터 구입한 TEM-6을 사용하였다.

2.2 AC RMS 전압과 전류 측정 원리

변압기와 변류기를 통하여 변환된 전압과 전류 신호 (V_{ac})는 그림 2에 나타낸 바와 같이 증폭기 A1, A2, A3와 TC1, TC2로 표시한 열전형변환기로 구성되어 있다. 증폭기 A1은 열전형변환기와 변압기와 변류기 사이의 버퍼 구실을 하면서 광대역 특성을 가져야 한다. 증폭기 A2는 직류증폭기이지만 전력측정을 위하여 증폭기 A1과 같은 성능을 가져야 한다. 두 증폭기 모두 게인을 1로 하여 열전형변환기 TC1과 TC2의 출력 조절을 편리하게 한다. 증폭기 A3은 저 드리프트 특성을 가지면서 성능이 우수한 직류 증폭특성을 요구하며 게인은 10^6 이상이 되어야 한다.

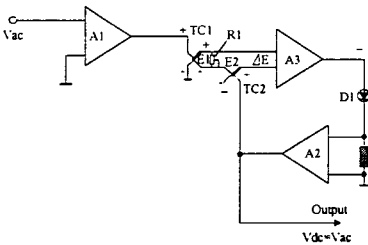


그림 2. AC RMS 전압과 전류 측정 원리

증폭기 A1을 통과한 변환된 전압과 전류 신호 (V_{ac})는 열전형변환기 TC1과 TC2에서 다음과 같은 출력을 가진다.

$$E_1 = n_1 V_{ac}^2 \quad (2)$$

$$E_2 = n_2 V_{dc}^2$$

만약 증폭기 A3의 게인이 매우 높다면

$$\Delta E = E_1 - E_2 \rightarrow 0 \quad (3)$$

으로 되며 이 과정에서

$$V_{ac}^2 = V_{dc}^2 \frac{n_2}{n_1}, \quad V_{ac} = V_{dc} \sqrt{\frac{n_2}{n_1}} \quad \text{만약}$$

$n_2 \neq n_1$ 가 되지 않으면 R1를 조정함으로써 이를 수 있다. 피드백은 TC 히터를 통하여 이루어진다. 이때 신호의 극성이 (+), 혹은 (-)인지 구분이 되지 않는다. 피드백이 negative인 경우와 positive인 경우가 있지만 여기에서 구분은 어렵다. 만약 positive인 경우에는 심각한 문제를 일으키지만 negative인 경우는 만족한 결과를 얻을 수 있으며 다이오드 D1은 negative인 경우에 만 접합하도록 한다. 전압과 전류의 경우는 동일한 측정 원리를 나타내며 입력변환시의 사용 소자인 변압기와 변류기의 사용이 다를 뿐이다.

2.3 전력 측정 원리

수학적으로 합과 차는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$4AB = (A+B)^2 - (A-B)^2 \quad (4)$$

$$U_u U_i = \frac{1}{4} (U_u + U_i)^2 - (U_u - U_i)^2$$

여기서 $A=U_u$, $B=U_i$ 로 대치하여 나타낼 수 있는데

U_u 는 전압 v , U_i 는 전류신호 i 를 나타낸다. 이 신호를 전력측정으로 변환하는 회로를 그림 3에 나타내었다.

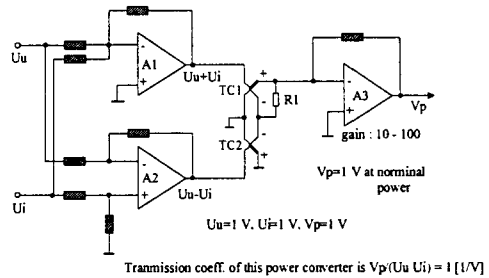


그림 3. 전력 측정의 원리

증폭기 A1, A2의 출력신호 U_u+U_i , U_u-U_i 의 신호가 열전형 변환기의 히터에 공급된다. 만약 2개의 열전형 변환기 TC1, TC2가 동일한 특성을 가진다면 각각의 출력은

$$E_1 = n I_{heater}^2, \quad E_2 = n I_{heater}^2 \quad (5)$$

로 되며 식(4)에 따라 전력 p 는

$$p = v i = V_p = \frac{1}{4} (E_1 - E_2) \quad (6)$$

으로 실현된다.

2.4 전압, 전류, 전력 측정회로의 실현

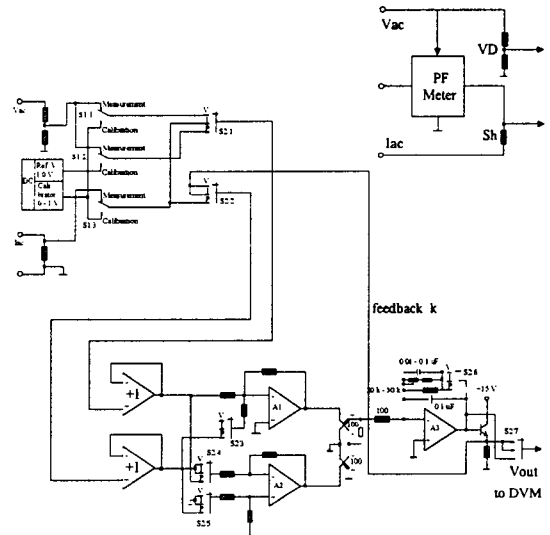


그림 4. 전압, 전류, 전력의 실현

그림 4는 전압, 전류, 전력을 실현한 회로를 나타내었다.

3. 실험의 결과

3.1 전압

입력전압을 15, 30, 60, 120, 240, 480 V에서 주파수 60, 100, 400, 1000, 3000 Hz를 공급하여 각각을 측정하였다. 입력전압은 정밀전압변압기(변환비 오차: 0.005%)를 사용하여 저전압으로 변환하였다. 전압 공급원은 ROTEC 8000를 사용하였으며 출력은 Keithley 182로 읽었다. 출력의 상대오차는 전 범위의 주파수에 걸쳐 상대오차가 $\pm 0.05\%$ 보다 좋은 특성을

얻었다. 그 결과를 그림 5에 나타내었다.

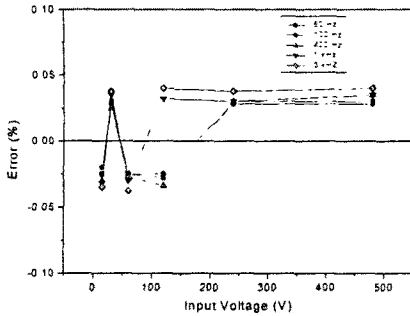


그림 5. 전압측정의 결과

3.2 전류

측정 전류는 0 A에서 50 A 까지 측정하였으며 0.5, 1, 2, 2.5, 5, 10, 25, 50 A에서 측정되었다. 그리고 주파수는 전압과 동일하게 60, 100, 400, 1000, 3000 Hz을 공급하여 각각을 측정하였다. 전류는 전자적으로 보상된 정밀 변류기(precision current transformer : 변류비 오차 : $\pm 0.005\%$)를 사용하였다. 측정의 결과를 그림 6에 나타내었다.

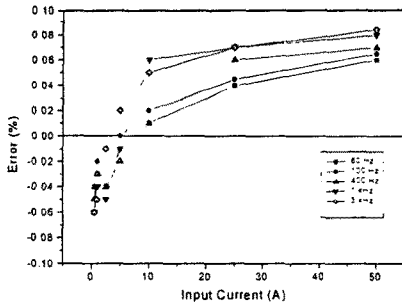


그림 6. 전류측정의 결과

3.3 전력

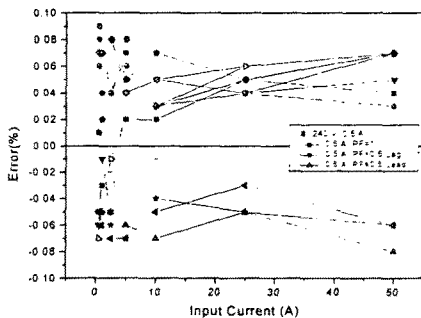


그림 7. 전력측정의 결과

그림 7은 전력 측정의 결과 중 입력전압을 240 V, 전류 0.5 A에서 측정된 결과 만 나타내었다. 그리고 역률은 1, 0.5(지상), 0.5(진상)에서 측정하였다. 그리고 주파수는 전압과 동일하게 60, 100, 400, 1000 Hz을 공급하여 각각을 측정하였다. 측정의 결과를 보면 역률 1, 0.5(지상), 0.5(진상)과 1 kHz 까지에서 상대오차가 $\pm 0.1\%$ 보다 좋은 결과를 얻었다. 그림 8은 제작한 전력계를 나타내었다.

4. 결 론

열전형변환기를 기본으로 하고 전력의 경우 측정 주파수 범위를 1 kHz까지 측정이 가능하며 정확도 0.1%의 성능을 가진 전력계를 교정해줄 수 있는 전력계를 제작하였다. 전력 이외에 전압, 전류, 역률도 측정할 수 있으며 주파수 범위가 3 kHz까지 측정이 가능하다.

(참 고 문 헌)

- [1] G.Schuster, "Thermal measurement of AC power in comparison with the electrodynamic method", IEEE Trans. Instrum. Meas., vol.IM-25, pp.529-533, 1976.
- [2] L.G.Cox and N.L.Kunsters, "A differential thermal wattmeter for the AC/DC transfer of power", IEEE Trans. Instrum. Meas., vol.IM-25, pp.553-557, 1976.
- [3] N.L.Kunsters and L.G.Cox, "The development of an automatic reversing differential thermal wattmeter", IEEE Trans. Instrum. Meas., vol.IM-29, pp.426-431, 1980.
- [4] G.O.Tong, Z.T.Qian, X.Y.Xu and L.X.Liu, "A device for audio-frequency power measurement", IEEE Trans. Instrum. Meas., vol.IM-39, no.3, pp.540-544, 1990.
- [5] G.Schuster, "Thermal instrument for measurement of voltage, current, power, and energy at power frequency", IEEE Trans. Instrum. Meas., vol.IM-29, pp.153-157, 1980.