

마이크로포텐시오미터를 이용한 저전압 교류-직류 변환기의 평가기술

권성원, 정재갑, 이상화, 김한준, 김문석
한국표준과학연구원

Evaluation Technique of the Low Voltage AC-DC Transfer Standard using Micropotentiometer

Sung-Won Kwon, Jae Kap Jung, Sang Hwa Lee, Han Jun Kim, Mun-Seog Kim
Korea Research Institute of Standards and Science

Abstract - A step-down procedure employing low voltage thermal transfer standard(LVTS) and micropotentiometer is described for the establishing the ac low voltage standards in the range of 2 mV to 200 mV below 1 MHz. Techniques are given for measuring input impedance with insertion method and calculating the loading error for the ac-dc transfer difference of the LVTS.

1. 서 론

주파수 10 Hz ~ 1 MHz 에서의 교류전압 1차 표준은 정확도가 높은 직류전압으로부터 유도되며, 이를 위해서는 교류전압을 직류전압과 등가적으로 동일하게 변환시키기 위한 교류-직류 변환기가 필요하다. 여러 가지 방식의 변환기중에서 최근에는 사용전압 및 주파수 범위가 넓고 교류-직류 변환차이가 작은 열전형 전압변환기(thermal voltage converter, 이하 TVC)를 활용하여 1차 표준을 확립하고 산업체에 그 표준값을 보급한다[1, 2]. 일반적으로 TVC를 표준기로 사용할 경우 정격전압 및 주파수의 범위는 0.5 V ~ 1000 V 및 10 Hz ~ 1 MHz 이하이다. 그러나 산업체에서 실효치 교류전압을 정밀측정하기 위해서 사용되는 상용의 교류-직류 변환기(F792A)는 2 mV~1000 V 범위에서 활용된다. 그러나 TVC는 200 mV 미만에서 출력감도가 낮기 때문에 F792A의 mV 범위(이하 저전압 변환기, LVTS)에 대한 교정용 표준기로 사용할 수 없다. 따라서 정격전압범위가 2 mV ~ 200 mV 인 micropotentiometer(이하 μ Pot)가 mV 범위의 교류 저전압 표준기로 활용되고 있다[3-5]. 본 논문에서는 교류전압 표준기인 TVC의 측정원리, μ Pot 및 LVTS를 활용한 교류 저전압 표준의 실현 및 응용에 대해서 논의한다.

2. 교류-직류 변환측정 및 마이크로포텐시오미터

2.1 교류전압 표준용 TVC의 교류-직류 변환차이 및 측정원리

TVC의 오차인 교류-직류 변환차이(ac-dc transfer difference, δ , 이하 교직차)의 정확한 평가는 교류전압표준의 실현 및 정밀측정의 기본으로써 다음과 같이 정의한다[6].

$$\delta = \frac{V_a - V_d}{V_d} \quad (1)$$

여기서 V_a , V_d 는 각각 TVC에서 동일한 출력 EMF를 얻는데 필요한 교류전압 및 직류전압을 가리키며, 직류전압은 +, - 양극성 전압의 평균값이다.

TVC를 이용한 교류전압의 정밀측정은 교류전압에 의해 TVC의 가열선에서 발생하는 주열 열과 동일한 열효과를 내는 직류전압을 검출함으로써 교류전압의 실효치를 구한다. 이와 같이 등가적으로 구한 직류전압을 표준값으로 하여 TVC의 교직차를 보정하면 식(2)와 같이 교류전압의 정확한 값을 얻게 된다.

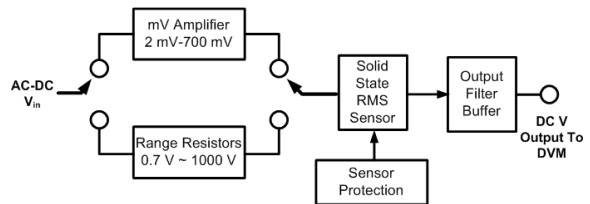
$$V_a = V_d(1 + \delta) \quad (2)$$

한국표준과학연구원에서도 여러 전압범위의 TVC를 활용하여 0.5 V ~ 1000 V, 1 MHz 이하 범위의 교류전압 1차 표준을 확립하여 활용 중이다[7-8].

2.2 열전형 교류-직류 변환기

TVC는 측정전압이 고정되어 있기 때문에 산업현장에서 실용적으로 활용하기에는 불편하다. 측정전압범위가 2 mV ~ 1000 V 인 교류-직류 변환기가 산업현장에서 유용하게 활용되고 있으며, 그림 1과 같이 범위 확장 저항(range resistor, RR) 및 증폭기, 반도체형 실효치 센서, 보호회로 및 출력 안정회로로 구성되어 있다. 입력전압의 실효치 변환은

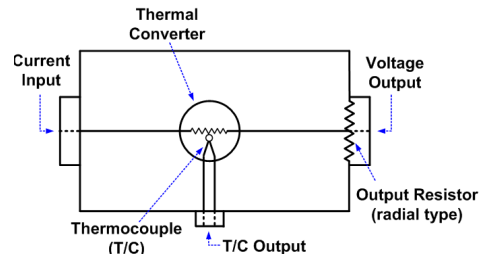
실효치 센서에 의해서 이루어지며[9], 실효치 센서의 최대입력전압은 2.2 V로써 700 mV ~ 2.2 V 미만의 전압은 센서에 직접 입력된다. 그러나 2.2 V 이상은 RR을 통해서 분압된 전압이, 그리고 2 mV ~ 700 mV의 전압은 증폭기에서 증폭된 전압이 실효치 센서에 입력된다.



<그림 1> 열전형 교류-직류 변환기의 블록선도

식(2)에서 보는 바와 같이 교류전압을 정밀측정하기 위해서는 직류전압 표준값에 교류-직류 변환기의 오차인 교직차 만큼 보정해야 하는데, 0.25 V 이상의 전압범위에 대해서는 TVC를 표준으로 삼아 교정함으로써 교직차를 정확히 평가할 수 있다[8]. 그러나 단일접합 TVC의 최소사용 전압범위가 정격의 50 % 로써 200 mV 이하에서는 TVC를 표준으로 사용할 수 없다. 이를 해결하기 위하여 μ Pot 및 LVTS를 이용하여 step-down 방법으로 저전압을 평가한다.

2.3 마이크로포텐시오미터 교류 저전압 표준기의 구조



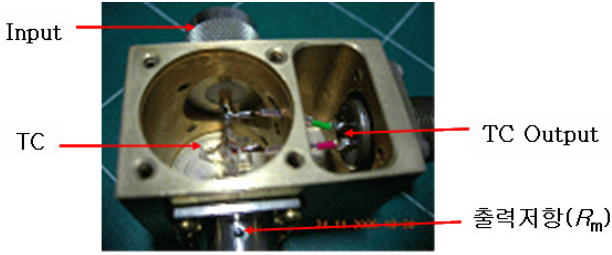
<그림 2> 마이크로포텐시오미터 교류 저전압 표준기

그림 2는 200 mV 이하의 교류 저전압 표준기인 μ Pot의 구조로써, 10 mA 이하의 전류를 입력받아 무유도성 출력저항(R_m)에서 발생된 전압강하를 mV 표준으로 활용한다. 여기서 전류는 열전변환기(thermal converter, TC)로 정밀측정하며, R_m 는 가열선 저항이고, 가열선의 온도상승을 감지하기 위한 열전대 및 절연구와 열전대 출력단자(T/C output)가 있다. TC의 정격전류는 5 mA 또는 10 mA인 것이 사용되며, 출력저항 R_m 은 0.4 Ω , 1 Ω , 2 Ω , 4 Ω , 10 Ω , 20 Ω , 40 Ω 으로써 교류-직류 차이가 작은 무유도성 Ni-Cr 박막저항을 사용되는데, 정격 5 mA인 TC를 사용할 경우 μ Pot의 정격전압은 2 mV ~ 200 mV가 된다.

2.4 마이크로포텐시오미터의 제작 및 특성평가

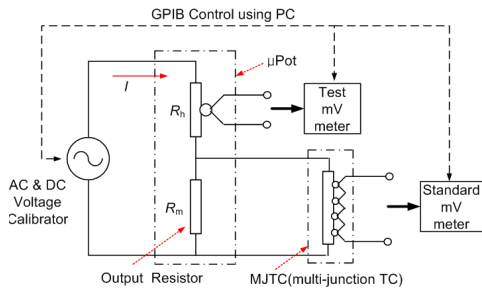
그림 3에서 보는 바와 같이, 정격전류 10 mA이고 가열선 저항이 25 Ω 인 TC와 출력저항 11.8 Ω 을 사용하여 μ Pot을 제작하였다. 출력저항은 47 Ω 의 칩 저항 4개를 N(m)코백터의 심선과 외부도체사이에 방사형으로 납땀하여 11.8 Ω 이 되도록 하였으며, 입력단자는 N(m) 코백터를 사용하였다. 정격전류 10 mA를 공급한 결과 TC 출력은 약 6.4 mV 이었으며, μ Pot의 출력전압은 약 118 mV이었다. 사용 전압범위가 넓은 다중접합

열전변환기



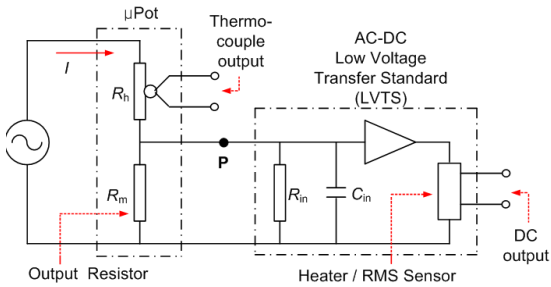
〈그림 3〉 제작된 110 mV μPot의 사진

(MJTC)[10]를 표준기로 삼아 100 mV, 주파수 20 Hz ~ 1 MHz 에서 μPot의 교직차를 자동측정시스템[8](그림 4 참조)으로 평가한 결과 + 12.5 ppm ~ - 874 ppm 으로 나타났다.



〈그림 4〉 μPot의 교류-직류 차이 자동평가시스템 구성도

2.5 Step-down 비교측정 및 저전압 교직변환기의 부하오차



〈그림 5〉 μPot에 의한 저전압 교직변환기의 부하효과

2 mV ~ 200 mV의 저전압 변환기(LVTS)의 교직차를 평가하기 위해서는 먼저 200 mV 범위에서 TVC를 표준으로 삼아 LVTS를 교정한 후, 그 값을 μPot의 100 mV 범위를 교정하기 위한 표준으로 삼는다. 이번에는 μPot의 100 mV 범위의 교직차를 LVTS 50 mV 범위의 교정용 표준값으로 삼는다. 이와 같은 step-down 과정을 반복하여 LVTS의 2 mV 범위까지의 교직차를 평가할 수 있다.

두 대의 TVC를 병렬로 연결하여 교직차를 비교 평가할 때는 동일한 전압이 동시에 공급되며, 교직차는 교류 및 직류 입력전압의 비로 정의되므로 측정된 교직차이는 입력전압의 크기에 영향을 받지 않는다[8]. 그러나 그림 5와 같이 μPot과 LVTS를 비교측정 할 때는 LVTS는 전압모드로 작동하지만 μPot는 전류모드로 작동한다. R_m 은 무유도성인 저항을 사용하므로 주파수와 무관하게 직류 및 교류전류에 의한 전압이 동일하다고 할 수 있다. 그러나 LVTS의 입력저항(R_{in})이 100 kHz 이상에서는 크게 변하며[4,5], R_0 과 R_m 이 병렬로 연결되어 있기 때문에 LVTS의 입력전압이 주파수에 따라 달라진다. 따라서 동일한 전압이 병렬로 공급된 조건에서 정의된 교직차가 아래와 같이 부하오차만큼 달라진다[3].

$$\delta_L = \left(\frac{1}{R_{in}} - \frac{1}{R_0} \right) \cdot R_m + \frac{1}{2} (2\pi f C_m)^2 \quad (3)$$

여기서 f 는 시험주파수이고, R_0 , R_m , C_m 각각 직류 입력저항, 교류

입력저항 및 입력용량이다. 이 식은 직류 및 교류에서 각각의 전압식을 구하고 이 식을 식(1)에 적용하여 구한다.

식(3)에서 보는 바와 같이 부하오차에 의한 교직차를 구하기 위해서는 측정주파수에서의 R_{in} 및 C_m 를 각각 구해야 한다. R_m 및 C_m 을 구하는 방법은 첫째 주파수 1 MHz 까지 사용할 수 있는 RLC 미터로 직접 측정하거나, 두 번째는 insertion 방법으로 그림 5의 LVTS의 입력측 P 위치에 50 Ω, 150 Ω 저항을 직렬로 연결하여 측정된 교직차 값들과 저항을 연결하지 않은 상태의 교직차로부터 구할 수 있다[3]. 두 번째 방법으로 100 mV에서 측정된 LVTS의 R_{in} 및 C_m 는 표 1의 2열 및 3열과 같고, 이로 인한 교직차의 부하오차 δ_L 은 마지막 열과 같다. 따라서 μPot과 LVTS를 이용하여 step-down 비교측정에서는 각 단계마다 부하오차를 계산하여 보정해 주어야 한다.

〈표 1〉 주파수에 따른 입력 저항 및 입력 용량

Test Freq.(kHz)	R_{in} (MΩ)	C_m (pF)	δ_L (ppm)
100	1.67	34.8	+ 4.9
200	1.17	38.8	+ 7.6
300	0.89	39.0	+ 10.3
500	0.59	40.9	+ 16.4
700	0.43	41.7	+ 23.7
1000	0.29	42.1	+ 37.0

3. 결 론

2 mV ~ 200 mV 범위의 교류전압을 정밀측정하기 위하여 상용의 저전압 교류-직류 변환기(LVTS)가 활용된다. 이 전압범위에 대한 교류전압표준을 확립하고, LVTS를 교정하기 위해서 2 mV ~ 200 mV 범위의 마이크로포텐시오미터(μPot)를 사용한다. 저전압표준 확립의 첫 단계로 100 mV μPot을 제작하고 성능을 평가하였다. μPot과 LVTS를 이용하여 step-down 비교측정에서 반드시 보정해야 되는 LVTS의 입력임피던스 변화에 따른 부하오차를 평가하였다. 100 mV에서 평가한 LVTS의 부하오차는 1 MHz에서 최대 + 37 ppm으로써 이 만큼 보정해야 정확한 측정결과를 얻을 수 있다. 본 연구결과는 앞으로 200 mV 이하의 교류저전압 표준 연구의 기초 자료로 유용할 것이다.

〈참 고 문 헌〉

- [1] B. D. Inglis, "Standards for AC-DC Transfer", Metrologia 29, pp. 191-199, 1992.
- [2] M. Klönz, "Current Developments in Accurate AC-DC Transfer Measurements", IEEE Instrum. Meas. IM-44, no. 2, pp. 363-366, 1995.
- [3] I. Budovsky, "A micropotentiometer-based system for low voltage calibration of alternating voltage measurement standards", IEEE Instrum. Meas. IM-46, no. 2, pp. 356-360, 1997.
- [4] N. Oldham, M. Parker, B. C. Waltrip, "Low-voltage standards in the 10 Hz to 1 MHz range", IEEE Instrum. Meas. IM-46, no. 2, pp. 395-398, 1997.
- [5] P. Filipiński, "Calibration of a low voltage ac-dc transfer standard", IEEE Instrum. Meas. IM-47, no. 5, pp.1067-1071, 1998.
- [6] F.L. Hermach, E.S. William, "Thermal converters for audio-frequency voltage measurements of high accuracy", IEEE Instrum. Meas. IM-15, no. 4, pp. 260-268, 1966.
- [7] 권성원 등, "교류전압 국가표준용 열전형전압변환기의 교직차 평가", 응용물리, 제7권, 제1호, pp.65-70, 1994.
- [8] 권성원 등, "교류-직류 변환차이 자동측정시스템", 센서학회지, 제7권, 제6호, pp. 401-408, 1998.
- [9] L.L. Szepesi, "Recent developments on solid state thermal voltage converters", Proc. 1986 Measurement Science Conf., pp. 9-13, Anaheim, CA, Jan. 1986.
- [10] 권성원 등, "평면형 다중접합 열전변환기의 제작", 센서학회지, 제5권, 제4호, pp. 17-24, 1996.