

논문 98-7-6-04

교류-직류 변환오차 자동 측정시스템

權聖遠, 趙鏞明, 金奎泰, 姜銓洪, 朴英泰

An Automatic AC-DC Transfer Error Measurement System

Sung-Won Kwon, Y.M. Cho, K-T. Kim, J.H. Kang, Y.T. Park

요 약

교류전압표준기인 열전형 전압변환기의 교류-직류 변환오차를 비교평가하기 위하여 이중채널방식 자동측정시스템을 개발하였다. 비교측정되는 2대의 변환기출력을 동시에 측정하여 드리프트의 영향을 감소시켰고, 또 저열기전력 이중채널 스캐너를 사용하여 변환기 출력을 순방향-역방향으로 측정하여 그 평균값을 취함으로써 전압 측정기의 오프셋이 제거되도록 하였다. 정격전압이 동일한 4 V인 변환기끼리 비교측정한 결과, 주파수 40 Hz~100 kHz에서는 외국표준기관에서의 측정값과 약 ± 2 ppm 이내에서 일치하였으며, 200 kHz~1 MHz 범위에서는 약 ± 4 ppm 이내에서 일치하였다. 본 시스템의 개발로 변환기의 교류-직류 변환오차의 측정능력을 기존수동방식의 약 ± 15 ppm에서 ± 3 ppm(100 kHz 이하)로 크게 향상시켰으며, 표준유지 및 산업체 지원의 효율을 크게 높일 수 있게 되었다.

Abstract

A dual-channel automatic ac-dc voltage transfer error measurement system in which the output voltages of two thermal voltage converters which are ac voltage standard are directly measured at the same time to reduce the output voltage drift is described. Forward-reverse measurement method by using a two-channel scanner is used to cancel the offset voltage of the voltmeters. The agreements of the 4-V TVC comparison results between other national standards institute and Korea Research Institute of Standards and Science were less than about ± 2 ppm in the frequency range of 40 Hz~100 kHz, and were less than about ± 4 ppm at 200 kHz~1 MHz. Measurement uncertainty is reduced significantly from ± 15 ppm of manual system to ± 3 ppm of new system(up to 100 kHz) typically and great increase in comparison efficiency has been achieved by this system.

1. 서 론

교류전압의 1차표준은 열전형 교류-직류변환기(thermal ac-dc transfer instrument, 이하 교직변환기)를 이용하여 직류전압표준에 소급된다^{1,2)}. 열전형 교직변환기는 대부분 단일접합 열전변환기(single-

junction thermal converter, 이하 SJTC)를 기본소자로 사용하며, 정격입력이 4 V 이하이다. SJTC와 직렬로 배울저항기를 연결하여 열전형 전압변환기(thermal voltage converter, 이하 TVC)를 구성함으로써 1 kV 이하에서의 교류전압표준기로 활용되고 있다³⁾. 최근에는 SJTC에 비해 열전기효과에 의한 오차를 한 단계이상 감소시킨 평면형 다중접합 열전변환기(planar multijunction thermal converter, 이하 MJTC)가 몇몇

* 한국표준과학연구원 (Korea Research Institute of Standards and Science)
<접수일자 : 1998년 8월 5일>

표준기관에서 개발·활용되고 있다.^[4-6]

당 연구원에서는 정격전압 4 V인 MJTC 및 정격 전압 1 V~1 kV인 SJTVC가 주파수 40 Hz~1 MHz에서 각각 교류전압의 1차표준기 및 기준기로 활용되고 있다. TVC의 오차인 교류-직류전압 변환오차(AC-DC Voltage Transfer Error, 이하 교직차)의 정확한 평가는 교류전압표준의 유지, 보급 및 정밀측정의 바탕이 되며, 교직차(δ)는 다음과 같이 정의한다.^[7]

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

여기서 V_a , V_d 는 각각 열전변환기에서 동일한 출력을 얻는데 필요한 교류입력전압 및 직류입력전압을 나타내며, 직류전압은 +, - 양극성의 평균값이다. 이와 같이 TVC는 직류표준과 등가적으로 교류를 정밀측정하기 위한 계측소자로서, 직류 및 교류전압에 의해 가열선 저항에서의 온도상승에 따른 열전대 출력을 비교함으로써 교류실효값의 표준을 실현하게 된다.

II. 교류-직류 변환오차 측정원리

그림 1은 당 연구원에서 제작·활용중인 수동식 교직차 측정장치^[3]의 회로도이다. SW1은 교류 입력(AC)과 순방향 또는 역방향 직류 입력(DC_F 또는 DC_R)을 선택하기 위한 스위치이고, SW2는 피측정 TVC의 출력을 선택하기 위한 스위치이며, E_H 및 E_L은 TVC 출력을 연결하기 위한 단자이다. 비교측정되는 두 개의 TVC를 동축 T형 커넥터를 이용하여 병렬로 연결한 후, 두 TVC의 정격 입력 전압 중 작은 값의 교류 전압을 공급한 상태에서 nanovoltmeter-2(nVm-2)를 이용하여 두 TVC의 출력전압의 차이가 거의 영이 되도록 분압기(Kelvin-Varley divider)로 평형을 잡고, nVm-1를 이용하여 피측정 TVC의 출력전압(E_a)을 측정한다. 다음에는 입력전압을 직류로 바꾸어 공급하고, 앞에서 얻은 E_a와 직류 입력전압에 의한 출력전압의 차이가 100 nV 이하가 되도록 교류 입력전압을 조정한다. DC(+), AC, DC(-)의 순서에 따라 60초 간격으로 입력전압을 공급하면서, nVm-2로 두 TVC의 출력전압차이(N)를 각각 측정하면, 피측정 TVC의 교직차 δ_T 는 다음과 같이 계산된다.^[8,9]

$$\delta_T = \delta_S + \frac{N_{df} + N_{dr} - 2N_a}{2n_S E_L} \quad (2)$$

여기서 δ_S : 표준 TVC의 교직차,

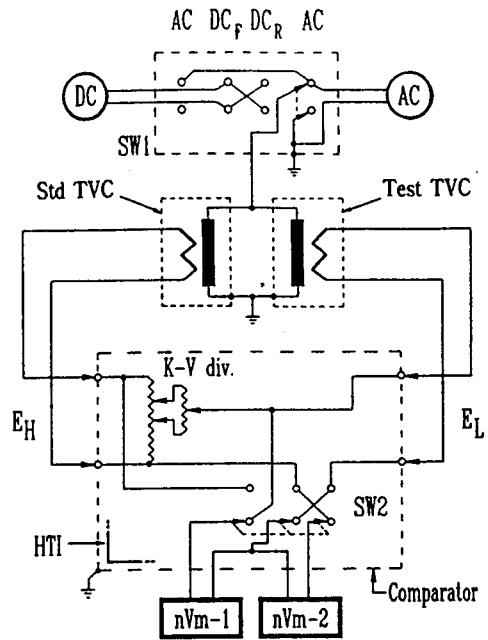
N_{df}, N_{dr} : 각각 +, - 방향의 직류전압 입력에서 측정된 두 TVC의 출력차이,

N_a : 교류전압 입력에서 측정된 두 TVC의 출력차이,

E_L : 두 TVC의 출력중 작은 값,

n_S : 표준 TVC에서, 입력전압의 미소 변화와 출력전압사이의 상관계수 ($n_S = \Delta E \cdot V / E \cdot \Delta V$)

를 각각 나타낸다.



K-V Div. : Kelvin-Varley Divider DC : DC Voltage Standard
nVm-1/2 : Nano Volt Meter-1/2 AC : AC Voltage Source
HTI : Heavy Thermal Insulation

그림 1. 열전형 전압변환기의 교직차 수동측정장치의 기본회로도

Fig. 1. The block diagram of the manual ac-dc voltage transfer error measurement system of the thermal voltage converter.

III. 자동 측정시스템의 구성

지금까지 보고된 TVC의 교직변환오차의 자동 측정장치는 크게 차동 측정 방식과 이중 채널 방식으로 구분할 수 있다. 차동 측정 방식^[9,10]은 앞에서 설명한 수동 비교 측정 장치를 기본으로 하여 자동화한 것으로서, 비교되는 두 TVC의 출력 전압의 차이를 직접 측정하기 때문에 직류 및 교류 전압 발생기에서 드리프트나 미소한 흔들림이 있더라도 측정 결과에 미치는 영향은 무시할 수 있는 장점이 있으나, 측정 전에 비교기의 분할기를 수동 조정하여 평형을 맞추어야 하는 등 불편함이 있다. 이중 채널 방식은 비교기를 사용하지 않고, 각 TVC의 출력과의 평형을 위한 보조 전원을 역극성으로 연결하고 그 차 전압을 각각 증폭, 측정하여 교직차를 계산하거나, 전압계로 두 TVC 출력을 직접 측정하는 방식^[11,12]과, 비교 측정되는 두 TVC의 입력-출력 사이의 특성 곡선을 최소자승법을 사용하여 구한 후 출력에 대응하는 각각의 입력 전압을 구하여 교직차를 계산하는 방식^[13,14] 등이 있다.

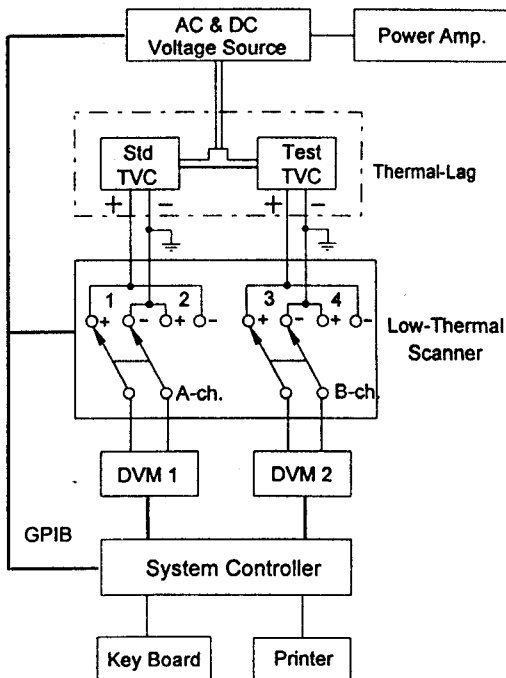


그림 2. 이중 채널 방식 교직차 자동 측정시스템의 구성도
 Fig. 2. The block diagram of the dual channel ac-dc voltage transfer error measurement system.

본 연구에서는 수동식 비교기의 원리를 그대로 적용 하되, 비교기를 채용하지 않아 측정 전 사전 조정이 불필

요하도록 그림 2에서 보는바와 같이 2대의 전압계, 저 열기전력 이중 채널 스캐너, 직류 및 교류 전압 발생기 그리고 시스템 제어기로 구성된 이중 채널 방식 자동 측정 시스템을 구성하였다. 시스템 제어기는 IEEE-488 기능을 갖춘 486 PC이다. TVC 출력선은 저열기전력의 동선 두가닥을 꼬아서 차폐시킨 특수선을 사용하여 잡음에 의한 자체 결합 루프면적을 줄였고, 측정 시스템을 차폐실에서 운용하여 외부 잡음의 결합을 가능한 한 줄이도록 하였다. 또 순간적인 과전압으로부터 TVC를 보호하기 위하여 TVC 출력의 (-) 단자를 스캐너의 입력 단에서 접지하였으며, 전압 발생기의 출력도 시험 전압의 100±5%로 프로그램 상에서 제한하도록 하였다. 비교 측정되는 두 TVC의 출력을 분해능 1 nV인 전압계로 동시에 측정함으로써 TVC 출력의 드리프트에 의한 오차를 감소시킬 수 있고, 또 스캐너를 사용하여 TVC의 출력을 순방향 및 역방향 극성으로 측정하고 그 평균값을 하나의 측정값으로 삼아 전압계 자체의 윤택과 연결 회로의 열기전력이 상쇄되도록 프로그램을 작성하였다. 준비 단계에서 피 측정기의 모델, 일련 번호, 소속, 측정 전압 및 주파수, 예열 시간 등의 자료를 입력시키면, 기타의 조정이 불필요한 전자동 측정 시스템이다.

피 측정 TVC의 교직차 δ_T 를 측정하기 위해서 입력 전압을 DCR(1)-DCF(2)-DCR(3)-DCF(4)-AC(5)-DCR(6)-AC(7)-DCF(8)-AC(9)-DCR(10)-AC(11)-DCF(12)-AC(13)-DCR(14)-AC(15)-DCF(16)의 순서에 따라 약 60초 간격으로 공급하면서 각 입력 전압에 대한 TVC 출력을 측정하되 스캐너로 전압계의 입력 극성을 바꾸어 각각 측정하고 그들의 평균값을 얻는다. 여기서 DCR, DCF 및 AC는 각각 역방향 직류 입력, 순방향 직류 입력 및 교류 입력 전압이다. 입력 전압과 스캐너의 접점이 바뀐 후 TVC 출력과 스캐너 접점이 안정되도록 각각 40초 및 20초를 기다린 후, 표준 TVC의 출력 E_S 와 피 측정 TVC 출력 E_T 를 동시에 측정함으로써 드리프트의 영향을 효과적으로 최소화할 수 있다. 여기서 δ_T 는 3개의 측정 단계(예를 들면 6, 7, 8 또는 8, 9, 10)로부터 다음 식(3)에 의해 계산된다.^[12]

$$\delta_T = \frac{(E_{AS} - E_{DS})}{n_S E_{DS}} - \frac{(E_{AT} - E_{DT})}{n_T E_{DT}} + \delta_S \quad (3)$$

여기서 E_{DS} , E_{AS} , 및 E_{AT} , E_{DT} 는 각각 교류 전압 및 직류 전압을 공급할 때의 표준 및 피 측정 TVC의 출력 전압인데, 직류 입력인 경우에는 DCF와 DCR 입력에

대한 출력전압의 평균값이다. n_S 와 n_T 는 식(1)에서와 같이 표준 TVC 및 피측정 TVC에 대한 입력 및 출력사이의 상관계수이다. 측정단계 1 및 2에서는 직류 입력전압을 시험전압의 99.8 % 만큼 공급하고, 측정단계 3 및 4에서는 시험전압을 공급하여, 이때 측정된 각각의 TVC 출력전압값으로 n_S, n_T 를 계산한다.

또 앞절의 수동식 측정장치에서와 같이, 직류 및 교류입력에 의한 피측정 TVC의 출력이 100 nV 이내에서 일치하도록 교류입력전압을 자동조정(측정단계 7)하기 위하여, TVC의 입력전압-출력전압 특성곡선의 미소구간에 대한 기울기도 이 과정에서 계산, 적용된다. δ_T 는 각 측정주파수마다 측정단계 8, 10, 12, 14, 16에서 5번 결정되고, 이들의 평균값을 한 개의 측정값으로 삼는다. 또 모든 과정의 TVC 출력전압측정에서 5회의 측정값의 최대편차가 500 nV 이하일때만 측정이 계속되도록 시험단계를 설정하여 측정장치 또는 TVC 출력의 안정도를 점검할 수 있도록 하였다.

IV. 유효 전압을 상쇄시키기 위한 측정방법

본 시스템에서 사용된 전압계의 유효 드리프트를 측정하기 위하여, 입력을 단락시키고 1분 간격으로 24시간동안 측정한 결과 그림 3에서 보는바와 같이 약 32 ± 10 nV의 드리프트를 보였다. 이 때의 주위온도는 23 ± 0.3 °C/day로 유지되었으며, 여기서 보는바와 같이 유효 전압은 실험실의 환경변화와 기기자체의 작동상태 등에 따라서 일정한 값을 갖지않고 변화한다. DCF-AC-DCR의 측정과정에서 유효변화는 그리 크지 않으므로 식(3)의 분자항에는 큰 영향을 주지 않을 것이나, 만약 직류 및 교류입력상태에 따라 유효 전압이 달라진다면 측정오차를 유발하게 된다. 이러한 유효를 상쇄시키고 순수한 측정값만을 얻을 수 있도록 측정장치를 구성하였다.

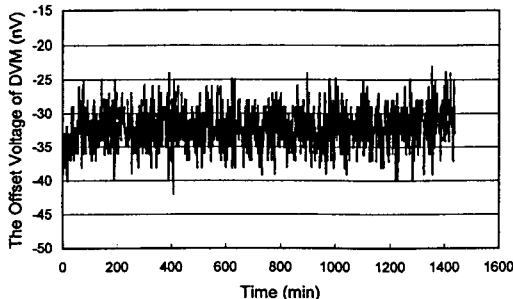


그림 3. 계수식 전압계의 유효전압 드리프트
Fig. 3. The drift of the offset voltage of the DVM.

단일접합 TVC의 정격출력전압은 약 7~12 mV 이하지만, 이러한 미소전압의 정밀측정에서 반드시 고려해야 하는 전압계의 유효 또는 TVC 출력연결회로의 열기 전력을 상쇄시키고, 순수한 TVC의 출력만을 측정하기 위해서 전압계의 입력전압이 순방향과 역방향으로 연결되도록 스캐너를 사용하였다. 그림 4 (A)와 같이 순방향으로 표준 TVC 출력전압 E_S 를 연결한 상태에서 측정된 전압을 V_F 라 하고, 또 그림 4 (B)와 같이 역방향으로 연결된 상태의 측정값을 V_R 이라고 하면 식 (4)와 같이 측정회로의 유효전압 E_{offset} 과 DVM_{offset} 이 제거된 순수한 측정값만을 얻을 수 있다.

$$V_F = E_S + E_{offset} + DVM_{offset},$$

$$V_R = -E_S + E_{offset} + DVM_{offset}$$

위의 두 식에서

$$E_S = (V_F - V_R) / 2 \tag{4}$$

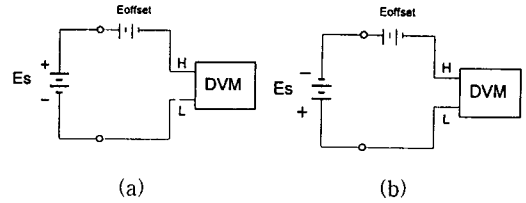


그림 4. 미소전압 측정시 유효전압을 상쇄하기 위한 측정방법

Fig. 4. The measurement method for cancelation of the offset voltage in the low level measurement.

V. 프로그램 적용을 위한 TVC의 특성조사

1. TVC의 입력-출력 특성

TVC의 입력-출력 특성을 조사하기 위하여, 정격 1 V인 TVC (JRL 102, S/N : 39)를 항온조 속에 담고, 직류입력전압을 바꾸면서 출력을 측정하였다. 사용된 항온조(oil bath)의 온도는 24.7 ± 0.002 °C 로 유지하였으며, 직류전압발생기의 단기안정도는 11 V 이하의 출력에서 $\pm(0.3$ ppm of output + $3 \mu V)$ /day 이다.

그림 5 (A)는 정격전압 1 V인 TVC의 입력전압 0.1 V ~ 1.05 V 에 대한 출력의 측정결과이며, 그림 5 (B)는 정격입력의 미소부근에서의 입력변화에 대한 출력을 측정한 것이다. 입력을 10 ppm 증가시킬 경우 출력은 약 216 nV 증가하며, 정격입력의 미소부근에서는

직선성이 우수하였다. 그러나 이러한 입력-출력 특성은 개개의 TVC 마다 서로 다르므로 측정할 때 마다 측정 전압에서 직류전압을 0.2 % 감소시켜 출력변화를 측정하여 입력-출력 특성곡선의 미소범위에 대한 기술품을 구하고, 피측정 TVC의 출력이 직류 및 교류입력에서 동일하도록 교류입력전압을 계산하여, 그 전압으로 교류출력전압이 다시 설정되도록 측정프로그램을 작성하였다.

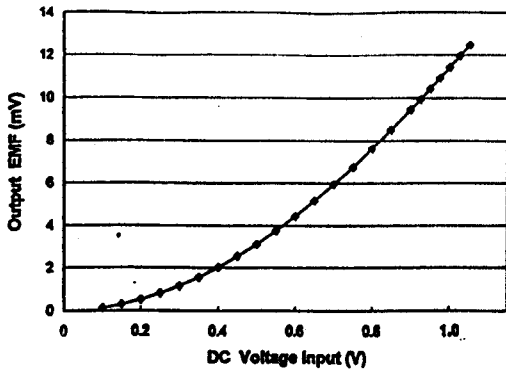


그림 5 (A). 1-V TVC의 입력-출력특성
Fig. 5 (A). The input-output characteristics of the 1-V TVC.

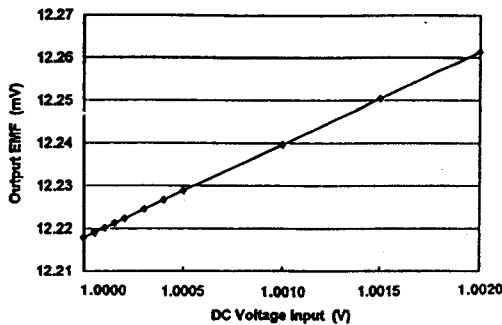


그림 5 (B). 1-V TVC의 입력-출력특성(정격전압근처).
Fig. 5 (B). The input-output characteristics of the 1-V TVC(near rated input voltage).

2. TVC의 감응시간

TVC 출력의 감응시간(response time)을 조사하기 위하여 1-V TVC를 항온조속에 담고 2 시간동안 온도를 안정화시킨 다음, 정격전압 1 V를 공급하여 30분 이상 예열시켰다. 이렇게 준비된 상태에서 순간적으로 입력을 끊었다가 다시 공급한 직후 5초 간격으로 TVC의 출력을 측정하였다. 그림 6에서 보는 바와 같이 약 30~40 초 이후에는 안정된 값을 보이고 있으며, 교직

차의 수동측정에서의 경험에 비추어 보면 대부분의 TVC의 경우 45 초 이후에는 ± 10 nV 이내에서 안정된다. 자동측정 프로그램에서는 입력전압을 바꾼 후 TVC 출력의 안정화시간을 60초로 설정하였으며, 필요에 따라 그 시간을 변경할 수 있도록 하였다.

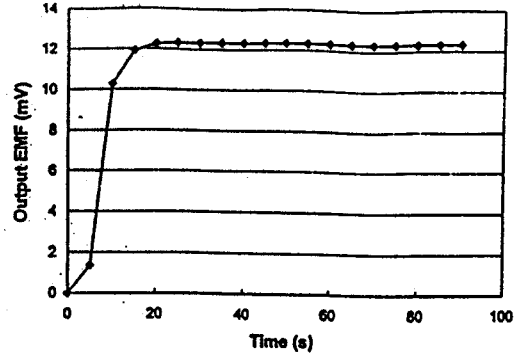


그림 6. 1-V TVC의 감응시간(JRL 102 ; 39A)
Fig. 6. The response time of the 1-V TVC(JRL 102 ; 39A).

3. 스캐너 점점이동시 TVC 출력의 안정도

비교측정되는 2대의 TVC 출력을 측정할 때 전압계의 움직임을 상쇄시키기 위하여 스캐너의 점점을 바꾸면서 순방향 및 역방향 측정을 하였다. 스캐너의 점점이동 후 TVC출력이 안정되기까지의 시간을 조사하기 위하여 정격입력 4 V인 TVC에 직류 3 V를 공급하고 약 15분이상 예열시킨 후, 점점을 이동시킨 직후부터 1초 간격으로 TVC 출력전압을 측정하였다.

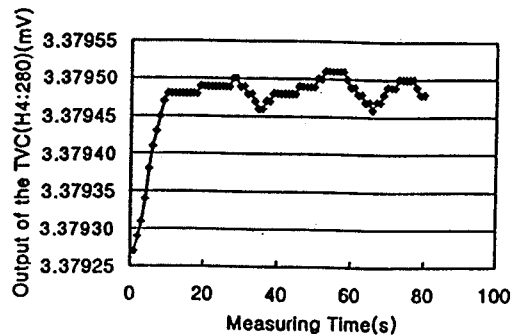


그림 7(A). 스캐너 점점이동후 TVC 출력의 안정화 시간(H4:280)
Fig. 7(A). The stabilization time of the TVC output after changing of scanner position(H4:280).

그림 7 (A)와 (B)는 4-V TVC의 출력전압을 80초

동안 측정된 결과인데, 그림 (A)는 일련번호 280의 결과로서, 접점을 바꾸고 10초 경과후 출력이 3.379 485 mV \pm 25 nV 범위에서 안정되며, 그림 (B)는 일련번호 283의 결과로서 9초 경과후 3.781 390 mV \pm 30 nV 범위에서 안정되었다. 이들 측정결과를 참조하여 측정프로그램에서는 스캐너의 접점을 바꾼 후 20초를 기다렸다가 5회 샘플링측정한 평균값을 한 개의 측정값으로 삼도록 하였으며, 이 측정값들의 최대편차가 500 nV 이하일 경우에만 다음 측정이 계속되도록 하였다.

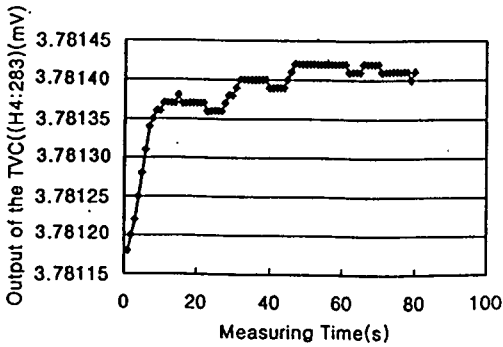


그림 7 (B). 스캐너 접점 이동후 TVC 출력의 안정화 시간(H4:283)

Fig. 7 (B). The stabilization time of the TVC output after changing of scanner position(H4:283).

VI. 비교측정 결과 및 불확도 분석

당 연구원(KRISS)의 교류전압 및 전류의 1차 표준기는 정격 4 V인 MJTC이다. 독일 표준기관인 PBT가 주관기관이 되어 KRISS, 미국의 NIST, 호주의 NML, 영국의 NPL, 네델란드의 VSL, 불란서의 LCIE, 중국의 NIM 등 20개 표준기관이 참여한 MJTC의 국제비교측정에서, 1995년 9월 KRISS의 측정결과(수동식 측정장치이용)와 참여국가 전체평균값과는 1 kHz에서는 +0.03 ppm, 20 kHz에서는 -0.27 ppm, 100 kHz에서는 +0.55 ppm, 1 MHz에서는 +1.7 ppm의 차이가 나타나 우수한 일치도를 보였다.^[15] 본 비교측정 결과에서 보는바와 같이 KRISS의 MJTC에 의한 교직차 측정능력이 국제적 수준임이 확인되었다.

교직차 자동측정시스템의 성능을 평가하기 위하여 상기의 MJTC를 표준기로 삼고, 4-V SJTVC(Holt 모델 11)를 피측정기로 하여 4 V에서 비교측정하였다. 아래의 각 측정결과는 측정일자가 서로 다른 3회 측정값의 평균값이며, 매회의 측정은 5번 측정된 결과의 평균값이다.

그림 8에서 보는바와 같이 4-V TVC를 비교측정한 결과, 주파수 40 Hz~100 kHz 범위에서는 PTB 측정결과와 약 ± 2 ppm 이내에서 일치하고 있으며(그림 범례의 괄호속 K-P), 200 kHz 이상에서는 전체적으로 약 ± 10 ppm 이내에서 일치하였다. 반면 200 kHz 이상의 주파수에서 NPL 측정결과와 약 ± 3 ppm 이내에서 일치(그림 범례의 괄호속 K-N)하였으며, 최근 네델란드의 표준기관인 VSL과의 4-V TVC 비교측정에서 40 Hz~100 kHz 범위에서는 ± 2.8 ppm 이하, 그 이상의 주파수에서는 약 ± 4 ppm 이내에서 일치하였다.^[16] 또한 주파수 10 kHz 이하에서 변환오차를 불확도 1 ppm 이하로 직접 측정할 수 있는 Fast Reversed DC source^[17]로 확인한 결과 자동측정결과와의 일치도(그림 범례의 괄호속 K-FR)는 약 ± 1.5 ppm이내이었다. 이상의 측정결과에서 보는 바와같이, 4-V 비교측정에 대한 자동측정시스템의 정확도는 40 Hz~100 kHz에서는 약 ± 2 ppm 이하, 200 kHz~1 MHz에서는 약 ± 4 ppm 이하로 판단된다.

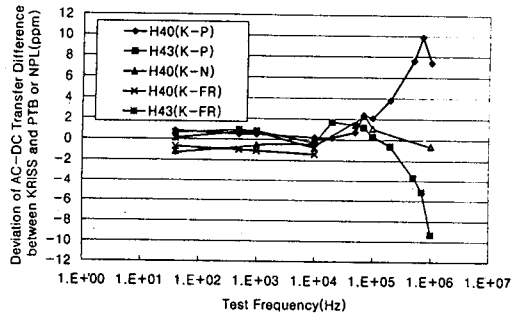


그림 8. MJTC와 4-V TVC 비교측정의 일치도

Fig. 8. The agreement of the comparison between MJTC and 4-V TVC.

본 시스템을 이용하여 4-V TVC 비교측정에 대한 불확도 요인은 표 1과 같다. 표준기로 사용된 MJTC의 불확도는 국제비교결과에서 나타난 참가국 전체의 불일치도를 적용하였으며, 1 kHz에서는 0.5 ppm 이하, 20 kHz에서는 0.6 ppm 이하, 100 kHz에서는 1.4 ppm 이하, 그리고 1 MHz에서는 15 ppm 이하이다. 측정시스템의 불확도요인중 스캐너의 thermal offset은 IV 절에서 설명한 방법으로 상쇄되며, 전압계의 정확도는 직류 및 교류 입력전압에 의한 TVC의 출력을 동일한 조건으로 수분동안에 측정하고 식(3)에서와 같이 측정전압의 차이로 교직차가 결정되므로 측정값의 불확도에 영향을 미치지 않지만, 전압계의 단기안정도와 직류전압표준기는 불확도요인으로 고려해야한다.

Table 1은 4-V TVC 비교측정에 대한 불확도 분석 결과이다.^[20]

표 1. 자동측정장치를 이용한 4-V 열전압변환기의 비교측정불확도

Table 1. The uncertainty of the 4-V TVC comparison by using the automatic measurement system.

기호	불확도 요인	불확도(ppm)					형 /분포
		40Hz	1kHz	20kHz	100kHz	1MHz	
U_A	평균 표준편차	0.4	0.3	0.3	0.3	0.5	A/정규분포
U_{B1}	표준 TVC	0.5	0.5	0.6	1.4	15	B/정규분포
U_{B2}	전압계의 단기안정도	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	B/직각분포
U_{B3}	직류전압 표준기	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	B/정규분포
U_C	합성불확도	0.9	0.8	0.9	1.5	15.0	-
U	확장불확도	1.8	1.6	1.8	3.0	30.0	(k=2)

VII. 결 론

교류전압의 표준기로 사용되는 열전형 전압변환기(thermal voltage converter, TVC)의 교류-직류변환오차(교직차)의 정밀측정은 교류전압의 표준유지 및 산업체보급에서 가장 중요하다.

이 교직차를 평가하기 위한 이중채널방식 자동측정 시스템을 개발하였다. 비교측정되는 두 TVC의 출력을 2대의 전압계로 동시에 측정하여 TVC출력의 드리프트에 의한 오차를 줄였고, 스캐너를 이용, 순방향-역방향 측정법으로 전압계의 유펜이 제거되도록 시스템을 구성하였다. 기존의 수동측정 비교기에 비하여 측정시간을 약 반으로 줄였으며, 야간측정을 통하여 주간 중부하시에 가끔씩 발생하는 전원 주파수 잡음문제도 해결되었으며, 또 수동측정에서 나타날 수 있는 측정자에 의한 개인오차를 제거할 수 있게 되었다.

결론적으로, 본 시스템을 개발함으로써 4-V TVC 비교측정시 측정불확도를 기존의 수동방식^[3,19]의 ± 15 ppm에서 ± 3 ppm 이하(100 kHz 이하)로 크게 감소시켰으며, 교류전압의 표준유지 및 산업체지원의 효율을 크게 향상시켰다.

참고문헌

- [1] B.D. English, "AC-DC Transfer Standards- Present Status and Future Directions", *IEEE Trans. Instrum. Meas.* IM-34, 285-290, 1985.
- [2] —, "Standards for AC-DC Transfer", *Metrologia* 29(2), 91~199, 1992.
- [3] 권성원 등, "교류전압 국가표준용 열전형 전압변환기의 교직차 평가", *응용물리*, 제7권, 제1호, 65~70, 1994.
- [4] 권성원 등, "평면형 다중접합 열전변환기의 제작", *센서학회지*, 제5권 제4호, 17~24, 1996.
- [5] M. Klonz et al., "Accurate Thin Film Thermal Converter on a Silicon Chip", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, IM-38, 335~337, 1989.
- [6] J.R. Kinard, "Performance of Multilayer Thin-film Multijunction Thermal Converter", *IEEE Trans. Instrum. Meas.* IM-44, 383~386, 1995.
- [7] F.L. Hermach and E.S. Williams, "Thermal converters for audio-frequency voltage measurements of high accuracy", *IEEE Trans. Instrum. Meas.* IM-15, 260~268, 1966.
- [8] E.S. Williams, "Thermal Voltage Converters and Comparator for Very Accurate AC Voltage Measurements", *J. Res. of NBS*, 75C, 145~154, 1971.
- [9] T. Matsumura, R.F. Clark, "AC-DC Difference Measurements on Thermal Voltage Converters at NRC", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, IM-36, 333~336, 1987.
- [10] E.S. Williams, "A Thermoelement Comparator for Automatic AC-DC Difference Measurements", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, IM-29, 405~409, 1980.
- [11] K.J. Lentner et al., "An automatic System for AC/DC Calibration", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, IM-32, 51~56, 1983.
- [12] E.S. Williams et al. "A Dual-Channel Automated Comparator for AC-DC Difference Measurements", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, IM-34, 290~294, 1985.
- [13] Chu-Min Fu et al., "Test results of an Automatic Calibration System for AC-DC

- Thermal Voltage converters and AC Voltage Sources", IEEE Trans. Instrum. Meas., IM-35, 396~403, 1986.
- [14] R.D.B. Knight et al., "Digital Bridge for Comparison of AC-DC Transfer Instruments", IEEE Proc.-A., 138(3), 169~175, 1991.
- [15] M. Klonz, "CCE Comparison of AC-DC Voltage Transfer Standards at the Lowest Attainable Level of Uncertainty", IEEE Trans. Instrum. Meas., IM-46, 342~346, 1997.
- [16] Sung-Won Kwon, C.J. van Mullem, Intercomparison Results of the TVC between KRIS and VSL, Private communication, June, 1998.
- [17] M. Klonz et al., "Measuring Thermoelectric effects in Thermal Converters with a Fast Reversed DC Source", IEEE Trans. Instrum. Meas., 44(2), pp. 379~382, 1995.
- [18] ISO/IEC/OIML/BIPM, "Guide to the expression of uncertainty in measurement," (1993(E)).
- [19] Sung-Won Kwon *et al.*, "AC-DC Difference Measurement on Thermal Voltage Converter at KSRI," Proceedings of the 12th IMEKO Conference, pp. 1084-1087, Beijing, China, Sept. 1991.

著 者 紹 介

權 聖 遠(권 성 원)

"센서학회지 제1권 제1호" 논문 92-09, p.77 참조.

1978년~현재 한국표준과학연구원 전자기연구부
전기그룹 근무.

주관심분야 : 교류전압/전류의 정밀측정기술개발, 센서,
초정밀 기전소자(MEMS) 등 .

趙 鏞 明(조 용 명)

"센서학회지 제5권 4호" 논문 96-5-4-03, p.24 참조

1976년~현재 한국표준과학연구원 전자기연구부
전기그룹 근무.

주관심분야 : 직류전압정밀측정, 측정자동화, 센서 등.

金 奎 泰(김 규 태)

1960년 4월 5일생.

1983 인하대학교 응용물리학과(이학사)

1985년 한국과학기술원 물리학과(이학석사)

1989년 한국과학기술원 물리학과(이학박사)

1989~현재 : 한국표준과학연구원 전기그룹 근무.

주관심분야 : 조셉슨효과 및 단전자효과를 이용한 정밀
측정기술, 조셉슨 디지털기술을 이용한 초
고속 계측 및 응용기술.

姜 銓 洪(강 전 홍)

1963년 2월생, 1988년 대전산업대학교 전기공학과 졸업
(공학사)

1998년 대전산업대학교 전기공학과 졸업 (공학석사)

1990년~현재 한국표준과학연구원 전자기연구부
전기그룹 근무.

주관심분야 : 센서, 박막재료 특성연구.

朴 英 泰(박 영 태)

1952년 10월 31일생

1981년 울산대학교 공대 전자공학과 졸업(공학사),

1983년 부산대 전자공학과 졸업(공학석사),

1997년 충남대 전기공학과 졸업(공학박사)

주관심분야 : 전류센서, 전력측정, 전자기센서/액츄에이터