

전압변성기 비교기를 이용한 커패시터와 인덕터의 절대 평가

論 文

57P-3-14

Absolute Evaluation of Capacitor and Inductor Using Voltage Transformer Comparator

韓相吉* · 金潤亨* · 鄭在甲[†] · 金漢俊** · 韓相玉***

(Sang-Gil Han · Yoon-Hyoung Kim · Jae-Kap Jung · Han-Jun Kim · Sang-Ok Han)

Abstract - We have developed the absolute evaluation technique of capacitor and inductor by measuring the phase displacement as a function of resistance of employed resistors in voltage transformer(VT) comparator. The methods were applied to the capacitor with the range of 100 nF - 5 μ F and the inductor with the range of 100 μ H - 1 H. The capacitance values of capacitor obtained using our method are consistent within the expanded uncertainty those obtained using capacitor bridge. The inductance values of inductor obtained using our method are also consistent within the expanded uncertainty those obtained using LCR meter.

Key Words : Capacitor, Inductor, Voltage Transformer Comparator, Absolute Evaluation

1. 서 론

커패시터와 인덕터는 전자회로, 전력회로, 전력 계통 등의 분야에서 사용되고 있으며, 분압기 교정 및 LCR 미터 등의 계측기기의 교정과 같은 정밀함이 요구되는 분야에서도 사용된다. 또한 1 μ F 이상의 고용량 커패시터와 1 H 이상의 고유도 인덕터가 상업화되어 생산되고 있다. 따라서 커패시터와 인덕터의 정확한 측정 기술이 필요하다. 지금까지 교류 60 Hz에서 커패시터와 인덕터의 측정은 LCR 미터와 임피던스 분석기를 이용하여 측정하거나, 커패시터 브리지나 인덕터 브리지를 이용한 측정방법이 사용되어 졌다^[1]. 그러나 LCR 미터 측정은 대상 시료의 정격까지 전압을 가하지 못하고 LCR 미터의 오차에 의해 측정값이 영향을 받는 단점이 있다. 또한 60 Hz에서의 브리지를 이용한 커패시터와 인덕터의 측정은 표준기와의 비교측정을 기본으로 하기 때문에 이미 평가되어 있는 표준기가 필요하여 측정 및 표준 소급에 어려움이 있다^[2].

따라서 본 연구에서는 중전기기 산업체에서 전압변성기를 시험하는데 사용되고 있는 전압변성기 비교기를 이용하여

교류 60 Hz의 정격전압에서 커패시터와 인덕터를 절대 측정할 수 있는 기술을 개발하였다. 이는 등가회로 및 전압벡터도 분석에 의한 전압변성기 비교기에서 저항값의 변화에 따라 위상오차를 측정하여 시료의 커패시턴스와 인덕턴스를 측정할 수 있는 기술이다. 이 방법에 의해 커패시터와 인덕터를 측정하였으며 상대오차와 불확도도 같이 평가하였다. 또한 본 방법에 의해 측정된 커패시턴스와 인덕턴스의 값을 각각 커패시터 브리지를 이용한 측정값과 LCR 미터를 이용한 측정값에 비교하여 상호 일치도를 확인함으로써 본 기술의 유효성을 검증하였다.

2. 평가 기술의 원리

2.1 커패시터 평가 기술의 원리

전압변성기 비교기는 두 전압변성기의 2차측 전압의 크기와 위상을 비교하여 비오차와 위상각 오차를 측정하는 기기이다. 전압변성기 비교기를 이용한 커패시터 평가 원리를 이해하기 위해 그림 1과 같이 저항과 커패시터가 직렬로 연결된 등가회로와 전압의 벡터도를 이용한다.

그림 1에서

$$V_{R+C} = |V_{R+C}|e^{j\beta_{R+C}} : \text{저항과 커패시터의 양단 전압벡터}$$

$$V_R = |V_R|e^{j\beta_R} : \text{저항의 양단 전압벡터}$$

$$V_C = |V_C|e^{j\beta_C} : \text{커패시터의 양단 전압벡터}$$

[†] 교신저자, 正會員 : 韓國標準科學研究院 責任研究員 · 理博

E-mail: jkjung@kriss.re.kr

* 學生會員 : 忠南大學校 電氣工學科 碩士課程

** 正會員 : 韓國標準科學研究院 責任研究員 · 工博

*** 正會員 : 忠南大學校 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2008年 5月 3日

最終完了 : 2008年 6月 3日

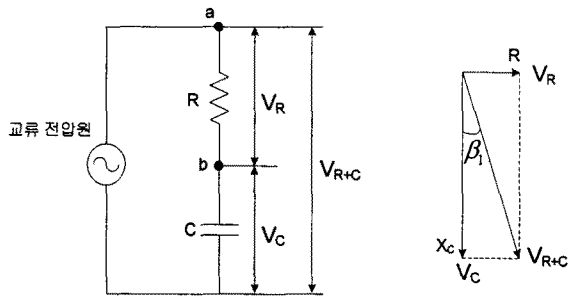


그림 1 커패시터 평가를 위한 등가회로 및 전압벡터도
 Fig. 1 Equivalent circuit and voltage vector diagram for evaluation of capacitor

그림 1의 등가회로에서 a와 b는 각각 전압변성기 비교기의 X와 N 단자에 연결된다. 전압변성기 비교기에서 측정되는 위상각 오차(β_1)는 저항과 커패시터 양단 전압의 위상(β_{R+C})과 커패시터 양단 전압의 위상(β_C)의 차이로 나타낼 수 있다^[3].

$$\beta_1 = \beta_{R+C} - \beta_C = \frac{R}{X_C} \cong \omega CR \quad (1)$$

식 (1)에서 일정한 전압을 가하고 저항(R)을 변화시키면서 위상각 오차를 측정하여 저항 R 의 1차함수로 피팅하면 기울기가 ωC 가 되므로 C 의 값을 얻을 수 있다.

2.2 인덕터 평가 기술의 원리

전압변성기 비교기를 이용한 인덕터 평가 원리를 이해하기 위해 그림 2와 같이 인덕터와 저항이 직렬로 연결된 등가회로와 전압의 벡터도를 이용한다.

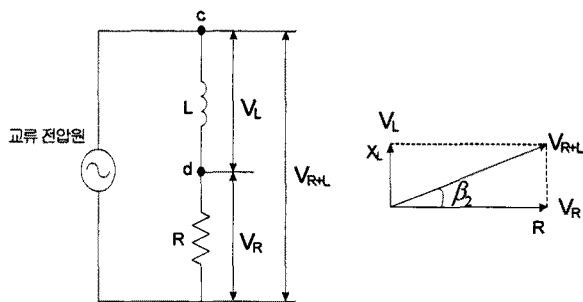


그림 2 인덕터 평가를 위한 등가회로 및 전압벡터도
 Fig. 2 Equivalent circuit and voltage vector diagram for evaluation of inductor

여기서

$V_{R+L} = |V_{R+L}|e^{j\beta_{R+L}}$: 저항과 인덕터의 양단 전압벡터

$V_R = |V_R|e^{j\beta_R}$: 저항의 양단 전압벡터

$V_L = |V_L|e^{j\beta_L}$: 인덕터의 양단 전압벡터

그림 2의 등가회로에서 c와 d는 각각 전압변성기 비교기 X와 N 단자에 연결된다. 전압변성기 비교기에서 측정되는 위상각 오차(β_2)는 저항과 인덕터 양단 전압의 위상(β_{R+L})과 저항 양단 전압의 위상(β_R)의 차이로 나타낼 수 있다.

$$\beta_2 = \beta_{R+L} - \beta_R = \frac{X_L}{R} \cong \frac{\omega L}{R} \quad (2)$$

식 (2)에서 일정한 전압을 가하고 저항(R)을 변화시키면서 위상각 오차를 측정하여 저항의 역수 $\frac{1}{R}$ 의 1차함수로 피팅하면 기울기가 ωL 이 되므로 L 의 값을 얻을 수 있다.

3. 커패시터와 인덕터의 측정 결과

3.1 커패시터의 측정 결과

그림 3은 전압변성기 비교기를 이용한 커패시터 평가 시스템의 구성도이다. 전압변성기 비교기는 tettext사의 정확도 0.003 %의 비교기를 사용하였고, X 쪽의 내부 저항은 r_X 이고, N쪽의 내부 저항은 r_N 이다. 저항 R 은 위상각 오차가 0.01 % 이하 즉 $\frac{X_b}{R_b} \leq 10^{-4}$ 인 Vishay 사의 저항을 사용하였다^[4]. 피측정 커패시터는 정격값이 100 nF, 200 nF, 300 nF, 500 nF, 1 uF, 2 uF, 5 uF인 러시아 IMM사의 ceramic 커패시터를 사용하였다.

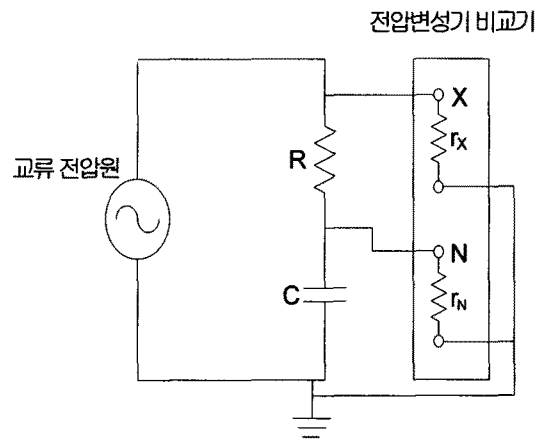


그림 3 전압변성기 비교기를 이용한 커패시터 평가 시스템의 구성도

Fig. 3 Constitution of evaluation system of capacitor using VT comparator

직렬로 연결된 저항(R)의 값을 커패시터의 약 1/100 ~ 1/1000 정도의 범위에서 임의 선정하여 저항을 변화시키면서 위상각 오차(β_1)를 측정하였다. 그림 4는 피측정 커패시터가 500 nF일 때의 저항값에 대한 위상각 오차의 측정 결과를 나타낸 것이다. 여기서 측정시 가한 전압은 100 V이다.

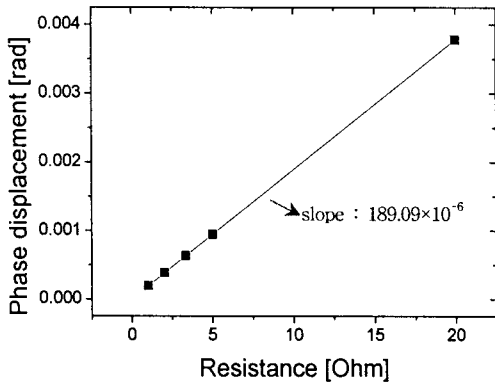


그림 4 커패시터의 정격이 500 nF 인 경우의 직렬 저항의 저항값의 변화에 따른 전압변성기 비교기에서의 위상각 오차의 측정 및 피팅결과

Fig. 4 Measurement and fitting results of phase displacement in VT comparator as a function of resistance of series resistors for rated capacitance of 500 nF

그림 4와 같이 커패시터가 500 nF일 때의 저항값에 대한 위상각 오차를 피팅하여 기울기를 구하면 189.09×10^{-6} 이다. 위와 동일한 방법으로 100 nF ~ 5000 nF 범위의 커패시터 값에서의 기울기 값을 4회 반복 측정하여 평균값을 표 1의 두번째 열에 나타내었다. 또한 구한 기울기를 이용하여 커패시터 값을 계산하여 표 1의 세번째 열에 나타내었다.

표 1 전압변성기 비교기를 이용하여 측정한 커패시터의 측정값

Table 1 Capacitance value measured using VT comparator

rated value [nF]	Slope(ωC)	measured value (Slope/ ω) [nF]
100	0.000 0379	100.6
200	0.000 0759	201.2
300	0.000 1135	301.1
500	0.000 1890	501.3
1000	0.000 3776	1002
2000	0.000 7549	2002
5000	0.001 8875	5007

3.2 인덕터의 측정 결과

그림 5는 전압변성기 비교기를 이용한 인덕터 평가 시스템의 구성도이다. 저항 R 은 위상각 오차가 0.01 % 이하인 즉 $\frac{X_L}{R} \leq 10^{-4}$ 인 Vishay 사의 저항을 사용하였으며, 피측정 인덕터는 정격이 0.1 mH, 1 mH, 10 mH, 100 mH, 1 H인 GR(General Radio)사의 디케이드 인덕터를 사용하였다.

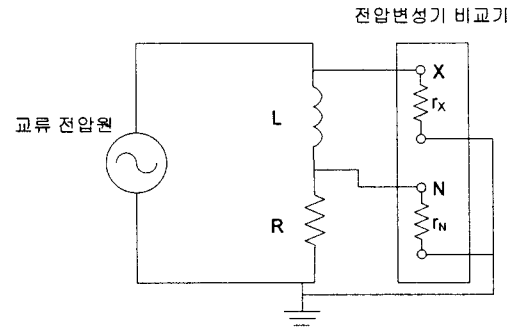


그림 5 전압변성기 비교기를 이용한 인덕터 평가시스템의 구성도

Fig. 5 Constitution of evaluation system of inductor using VT comparator

그림 5와 같이 직렬 연결된 저항(R)과 전압변성기 비교기의 내부 임피던스(r_N)가 병렬로 연결되고 인덕터 내부 저항(R_L)이 직렬로 연결된다. 따라서 실제 인덕터와 직렬로 연결되는 저항의 크기는 직렬 저항(R)과 전압변성기 비교기의 내부 임피던스의 병렬 합성 저항(R_T)과 인덕터 내부 저항(R_L)의 합으로 나타내어지고 위상각 오차(β_2)는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\beta_2 = \frac{\omega L}{R} = \omega L \left(\frac{1}{R_T + R_L} \right) \quad (3)$$

이때 전압변성기 비교기의 내부 임피던스(r_N)의 크기는 13 k Ω 이다.

직렬로 연결된 저항의 값을 인덕터의 약 100 배에서 1000 배 정도의 범위에서 임의 선정하여 저항값을 변화시키면서 위상각 오차(β_2)를 측정하였다.

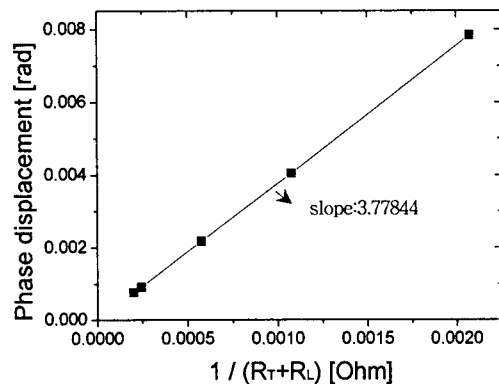


그림 6 인덕터의 정격이 10 mH 인 경우의 $\left(\frac{1}{R_T + R_L} \right)$ 의 변화에 따른 전압변성기 비교기에서의 위상각 오차의 측정 및 피팅결과

Fig. 6 Measurement and fitting results of phase displacement in VT comparator as a function of $\left(\frac{1}{R_T + R_L} \right)$ for rated inductance of 10 mH

그림 6은 피측정 인덕터가 10 mH일 때 $\left(\frac{1}{R_T+R_L}\right)$ 의 값에 대한 위상각 오차의 측정 결과를 나타낸 것이다.

그림 6과 같이 인덕터가 10 mH일 때의 $\left(\frac{1}{R_T+R_L}\right)$ 에 대한 위상각 오차(β_2)를 피팅하여 기울기를 구하면 3.77844이다. 위와 동일한 방법으로 0.1 mH ~ 1000 mH 인덕터 값에서의 기울기 값을 4회 반복 측정하여 평균값을 표 2의 두 번째 열에 나타내었다. 또한 구해진 기울기를 이용하여 인덕터 값을 계산하여 표 2의 세 번째 열에 나타내었다.

표 2 전압변성기 비교기를 이용하여 측정한 인덕터의 측정값

Table 2 Inductance value measured using VT comparator

rated value [mH]	Slope(ωL)	measured value (Slope/ ω) [mH]
0.1	0.03802	0.1009
1	0.3817	1.013
10	3.778	10.02
100	37.74	100.1
1000	378.8	994.2

4. 커패시터와 인덕터의 측정 기술의 불확도 분석

불확도의 평가는 불확도 요인을 찾아 요인별 표준불확도와 자유도를 구하고 이로부터 상대 합성 표준불확도와 유효 자유도를 구하여 상대 확장불확도를 구하였다. 전압변성기 비교기를 이용한 커패시터와 인덕터의 측정에서 표준불확도의 요인은 A형 표준불확도인 반복측정에 의한 표준불확도(u_A)와 수식의 피팅에 의한 표준불확도(u_{B1}), 직렬 저항 측정에 의한 표준불확도(u_{B2}), 직-교류 변환오차에 의한 표준불확도(u_{B3}), 수식 근사에 의한 표준불확도(u_{B4}), 전압변성기 비교기의 표준불확도(u_{B5})를 고려하였다. 전압변성기 비교기를 이용한 커패시터와 인덕터의 측정은 각각 4회 반복 측정하였고, 반복측정에 의한 표준 불확도(u_A)는 식 (4)를 이용하여 구할 수 있다.

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_i (\delta_i - \bar{\delta})^2}{n(n-1)}} \tag{4}$$

여기서 δ_i 는 각각의 측정값이고, $\bar{\delta}$ 는 측정값의 평균값이며 n 은 측정 횟수이다.

측정유효 자유도와 신뢰수준에 따른 포함인자를 찾아 상대 합성 표준불확도에 곱하면 상대 확장불확도(U)가 된다^[5,6]. 여기서 포함인자(k)는 2 이므로 상대 확장불확도(U)는 식 (5)와 같이 표현된다^[7].

$$U = 2 \cdot \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + \dots} \tag{5}$$

전압변성기 비교기를 이용한 커패시터와 인덕터의 측정 기술의 불확도 요인을 정리하여 각각 표 3과 표 4에 나타내었다. 상대 합성 표준불확도와 상대 확장불확도는 각각 표 3과 표 4의 마지막 두 행에 나타내었다. 전압변성기를 이용한 커패시터 측정값에 대한 상대 확장불확도는 1.01 % ~ 1.04 %, 인덕터 측정값에 대한 상대 확장불확도는 1.01 % ~ 1.90 % 이었다.

표 3 전압변성기 비교기를 이용한 커패시터 측정값에 대한 불확도 총괄표

Table 3 Uncertainty budget of capacitance value measured using VT comparator

(단위 : %)

불확도 요인	100nF	200nF	300nF	500nF	1uF	2uF	5 uF
반복측정(u_A)	0.10	0.03	0.07	0.06	0.06	0.09	0.13
수식의 피팅(u_{B1})	0.03	0.10	0.08	0.02	0.03	0.03	0.04
직렬저항측정(u_{B2})	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
직-교류 변환(u_{B3})	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
수식 근사(u_{B4})	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
VT 비교기(u_{B5})	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
상대 합성표준불확도	0.51	0.51	0.51	0.50	0.50	0.51	0.52
상대 확장불확도 $U (k=2)$	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.02	1.04

표 4 전압변성기 비교기를 이용한 인덕터 측정값에 대한 불확도 총괄표

Table 4 Uncertainty budget of inductance value measured using VT comparator

(단위 : %)

불확도 요인	0.1mH	1mH	10mH	100mH	1 H
반복측정(u_A)	0.33	0.06	0.07	0.09	0.00
수식의 피팅(u_{B1})	0.04	0.04	0.02	0.02	0.81
직렬저항측정(u_{B2})	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
직-교류 변환(u_{B3})	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
수식 근사(u_{B4})	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
VT 비교기(u_{B5})	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
상대 합성표준불확도	0.60	0.50	0.50	0.51	0.95
상대 확장불확도 $U (k=2)$	1.20	1.01	1.01	1.02	1.90

5. 측정 결과의 유효성 검증

5.1 커패시터 측정기술의 유효성 검증

전압변성기 비교기를 이용한 커패시터 측정기술의 유효성 검증을 위해 동일한 피측정 커패시터에 대해 러시아 IMM사에서 커패시터 브리지를 이용하여 측정한 결과와 본 논문의 측정 결과를 표 5의 두 번째 열과 다섯째 열에 나타내었다. 각각의 측정값의 상대오차는 아래 식 (6)과 같이 계산된다.

$$\text{상대오차} = \frac{\text{measured value} - \text{rated value}}{\text{rated value}} \times 100[\%] \quad (6)$$

두 방법에서 계산된 상대오차는 표 5의 세 번째와 여섯 번째 열에 나타내었다. 전압변성기 비교기를 이용한 커패시터 측정의 상대오차의 값은 +0.12 % ~ +0.62 %였으며, 커패시터 브리지를 이용한 커패시터 측정의 상대오차의 값은 -0.037 % ~ +0.004 % 이었다.

표 5 전압변성기 비교기와 커패시터 브리지를 이용한 커패시터 측정값의 비교

Table 5 Comparison of capacitance values measured using VT comparator and capacitor bridge

rated value [nF]	전압변성기 비교기			커패시터 브리지		
	측정값 (nF)	상대오차 (%)	불확도 (%)	측정값 (nF)	상대오차 (%)	불확도 (%)
100	100.6	+0.58	1.02	99.99	-0.015	0.02
200	201.2	+0.62	1.02	199.93	-0.037	0.02
300	301.1	+0.37	1.02	299.96	-0.015	0.02
500	501.3	+0.25	1.01	499.98	-0.004	0.02
1000	1002	+0.17	1.01	1000.04	+0.004	0.03
2000	2002	+0.12	1.02	1999.30	-0.035	0.05
5000	5007	+0.14	1.04	4999.30	-0.014	0.05

그림 7은 전압변성기 비교기를 이용한 커패시터 측정값과 커패시터 브리지를 이용한 커패시터 측정값의 상대오차 값과 불확도를 비교한 것이다. 그림 7과 같이 전압변성기 비교기를 이용한 측정 방법이 커패시터 브리지를 이용한 측정 방법에 비해 불확도가 크지만 서로의 불확도 내에서 측정 결과가 일치하고 있고, 표준기와의 비교측정이 아닌 절대평가가 가능하고 정격 전압까지 전압을 가할 수 있다는 장점이 있으므로 본 측정 기술의 적용이 가능하다고 판단된다.

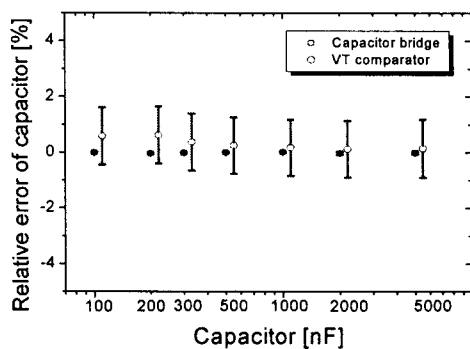


그림 7 전압변성기 비교기와 커패시터 브리지를 이용한 커패시터 측정값의 상대오차 비교

Fig. 7 Comparison of relative errors of capacitance value measured using VT comparator and capacitor bridge

5.2 인덕터 측정기술의 유효성 검증

전압변성기 비교기를 이용한 인덕터 측정기술의 유효성 검증을 위해 동일한 피측정 인덕터에 대해 LCR 미터(Fluke PM6306)를 이용하여 측정한 결과와 본 논문의 측정 결과를 표 6의 두 번째 열과 다섯 번째 열에 나타내었으며, 식 (6)을 이용하여 각각의 결과값의 상대오차를 계산하여 표 6의 세 번째 열과 여섯 번째 열에 나타내었다.

전압변성기 비교기를 이용한 인덕터 측정의 상대오차의 값은 -0.58 % ~ +1.26 %였으며, LCR 미터를 이용한 인덕터 측정의 상대오차의 값은 -1.30 % ~ +0.13 %였다.

표 6 전압변성기 비교기와 LCR 미터를 이용한 인덕터 측정값의 비교

Table 6 Comparison of inductance values measured using VT comparator and LCR meter

rated value [mH]	전압변성기 비교기			LCR 미터		
	측정값 (mH)	상대오차 (%)	불확도 (%)	측정값 (mH)	상대오차 (%)	불확도 (%)
0.1	0.1009	+0.86	1.20	0.0987	-1.30	0.67
1	1.013	+1.26	1.01	1.0013	+0.13	0.41
10	10.03	+0.33	1.01	9.9277	-0.72	0.40
100	100.1	+0.11	1.02	99.239	-0.76	0.41
1000	994.2	-0.58	1.90	996.13	-0.39	0.40

그림 8은 전압변성기 비교기를 이용한 인덕터 측정값과 LCR 미터를 이용한 인덕터 측정값의 상대오차 값과 불확도를 비교한 것이다. 그림 8과 같이 전압변성기 비교기를 이용한 측정 방법이 LCR 미터를 이용한 측정 방법에 비해 불확도가 크지만, 서로의 불확도 내에서 측정 결과가 일치하고 있고 LCR 미터와는 달리 대상 시료의 정격 전압까지 전압을 가할 수 있다는 장점이 있으므로 본 측정 기술의 적용이 가능하다고 판단된다.

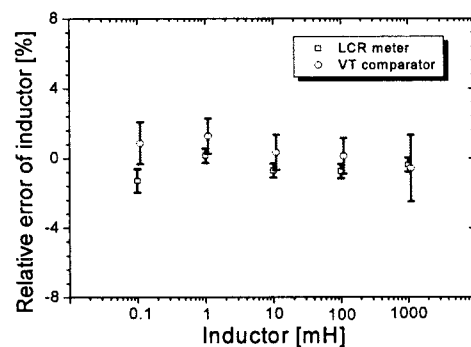


그림 8 전압변성기 비교기와 LCR 미터를 이용한 인덕터 측정값의 상대오차 비교

Fig. 8 Comparison of relative errors of inductance value measured using VT comparator and LCR meter

6. 결 론

본 연구에서는 전압변성기 비교기를 이용하여 커패시터와 인덕터를 측정하는 기술을 개발하였다. 이 방법에 의해 커패시터와 인덕터를 측정한 결과 정격값에 대해 각각 +0.12% ~ +0.62%, -0.58% ~ +1.26%의 오차범위 내에서 일치하였다. 또한 불확도 분석결과 커패시터와 인덕터의 상대 확장불확도는 각각 1.01% ~ 1.04%, 인덕터 측정의 상대 확장불확도는 1.01% ~ 1.90%이었다. 측정된 커패시터 값과 커패시터 브리지에 의해 측정된 값의 상대오차의 값을 비교한 결과 두 측정의 불확도 내에서 일치하였으며, 인덕터 값은 LCR 미터를 이용하여 측정된 값과 비교한 결과 0.1mH를 제외하고 불확도 내에서 일치하였다. 따라서 전압변성기 비교기를 이용한 커패시터와 인덕터의 측정 기술은 적용 가능한 기술임을 확인할 수 있었다.

본 연구에서 개발한 기술은 측정이 간단하고 표준기가 필요 없는 절대 측정방법이다. 폭넓은 전압과 상용주파수 60Hz에서 측정할 수 있고, 커패시터의 경우 1uF 이상의 고용량 커패시터와 인덕터의 경우도 1H 이상의 고유도 인덕터 측정이 가능하다는 장점이 있다. 따라서 산업체 또는 연구기관의 커패시터와 인덕터 평가에 새로운 기술로서 적용 가능할 것으로 판단되어 진다.

참 고 문 헌

- [1] 김한준, 강전홍, 한상옥 "전기용량 국가표준 소급범위 확장을 위한 직/병렬 연결구조의 전기용량 표준기 개발", 대한전기학회지, vol 55B, No. 8, pp.403-407, 2006.
- [2] 김한준, 강전홍, 한상옥 "유도형 전압 분할기의 비 교정용 브리지 개발", 대한전기학회지, vol 54B, No. 5, pp. 217-221, 2005.
- [3] Jae Kap Jung, Jeon Hong Kang, Sang Hwa Lee, Myungsoo Kim "A new method for calibrating standard current transformers up to 20 kA", Meas. Sci. Techno. 18, pp. 3309-3315, 2007.
- [4] www.vishay.com
- [5] 한국표준협회, "계기용변성기(표준용 및 일반계기용)", KS C 1706, 1982.
- [6] 한국계량측정협회, "전압변성기의 표준교정절차", KASTO 06, 2006.
- [7] KRIS-99-070-SP, "측정불확도 표현 지침", 1999.

저 자 소 개



한 상 길 (韓 相 吉)

1981년 11월 23일생. 2007년 충남대학교 전기공학과 졸업. 2007년~현재 동 대학원 전기공학과 석사 과정.
Tel : 042-821-7604
Fax : 042-821-8895
E-mail : sanggilhan@cnu.ac.kr



김 윤 형 (金 潤 亨)

1981년 10월 15일생. 2007년 충남대학교 전기공학과 졸업. 2007년~현재 동 대학원 전기공학과 석사 과정.
Tel : 042-821-7604
Fax : 042-821-8895
E-mail : yoonhyoung@cnu.ac.kr



정 재 갑 (鄭 在 甲)

1965년 7월 4일생. 1998년 고려대 물리학과 졸업 박사. 2001년~현재 한국표준과학연구원 기반표준부 전자기센터 책임연구원
Tel : 042-868-5759
Fax : 042-868-5018
E-mail : jkjung@kriss.re.kr



김 한 준 (金 漢 俊)

1959년 1월 10일생. 1984년 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 2007년 충남대학교 공학박사 졸업. 1987~현재 한국표준과학연구원 기반표준본부 전자기센터, 책임연구원
Tel : 042-821-5655
Fax : 042-821-8895
E-mail : sohan@cnu.ac.kr



한 상 옥 (韓 相 玉)

1974년 충남대학교 공업교육과(전기)졸업. 1986년 인하대학교 전기공학과 졸업(공학박사). 1985년 독일 하노버대 객원교수. 1989년 일본 나고야대 객원교수. 현 충남대학교 전기공학과 교수
Tel : 042-821-5655
Fax : 042-821-8895
E-mail : sohan@cnu.ac.kr