

# 전류변성기의 비오차와 위상각오차의 계산값과 실험값의 차에 의한 측정시스템 유용성 검증기술에 관한 연구

論 文  
53C-4-5

## A Study on Usefulness Verification Technique of the Measurement System by the Difference Between Calculated and Experimental Values of Ratio Error/phase Angle Error in Current Transformer

鄭在甲\* · 權聖遠\*\* · 李相和\*\*\* · 朴榮泰\*\*  
(Jae Kap Jung · Sung Won Kwon · Sang Hwa Lee · Young Tae Park)

**Abstract** - A current transformer(CT) used for the establishment of high current national standard, has generally very small ratio error and phase angle error. Both the errors of CT depend critically on the external burden used. When both the ratio and phase angle errors at two different burdens including zero burden are known, those at any other burdens are calculated theoretically. The theoretical values are well consistent with the experimental results within the  $82 \times 10^{-6}$ , implying the measurement system of CT in KRISS is well maintained.

**Key Words** : Current transformer, Ratio error, Phase angle error, Burden, National standard,

### 1. 서 론

대전류 국가표준의 확립을 위해서 계기용 전류 변성기(instrument current transformer)의 비오차(ratio error)와 위상각 오차(phase angle error)의 정밀측정이 요구된다[1-3]. 전류변성기는 2차측에 연결된 부담(burden)의 값에 따라 비오차와 위상각오차는 다르고 ANSI/IEEE 국제규격에 의하면 전류변성기의 2차측에 특정값을 가지는 부담을 연결하여 전류변성기의 비오차와 위상각오차의 측정을 요구한다[4]. 반면 우리나라의 KS C 1706 규격에서 요구하는 부담값은 ANSI/IEEE 국제규격에서 요구하는 그것과는 다르다. 또한 실제 대전류와 관련된 증전기 산업체에서는 전류변성기의 측정시스템이 서로 다르고 이로 인해 다른값의 시스템 내부에 내장된 내부부담에서 전류변성기의 비오차와 위상각 오차를 측정한다. 따라서 국제비교나 산업체간의 비교시험시 서로다른값의 부담에서 측정된 값들의 비교를 위해서 동일한 부담값에서 측정된 값을 사용하여 비교해야 한다.

이러한 의미에서 영부담을 포함한 두 개의 부담에서 비오차와 위상각 오차를 알 때 임의의 부담에서의 비오차와 위상각 오차를 이론적으로 계산할 수 있다면 동일한 부담값에서 비교가 가능하다. 또한 외부부담에 따라 전류변성기의 비오차와 위상각오차의 계산된 이론값을 실험결과와 비교함으로써 한국표준과학연구원의 전류변성기 측정시스템의 유용성을 검증하고 평가하였다.

### 2. 전류변성기

#### 2-1. 전류변성기의 기본원리

전류변성기의 2차측에 부담이 없을 때 즉 영부담(zero burden) 일때의 전류변성기의 등가회로는 그림1 과 같다[5]. 그림 1의  $Z_1$  과  $Z_2$ 는 각각 1차와 2차 누설 임피던스(primary and secondary leakage impedance)이다.  $Z_m$  은 자화임피던스(magnetizing impedance) 이다.

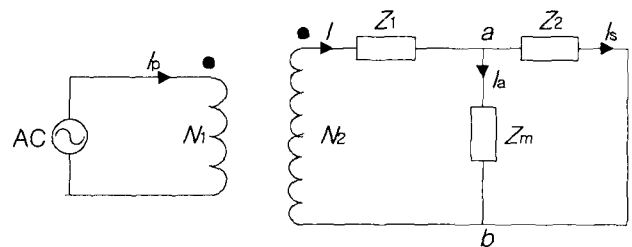


그림 1. 영부담일때의 전류변성기의 등가회로  
Fig. 1. An equivalent circuit for current transformer with zero burden

2차측에 대한 1차측의 전류비는 1차측과 2차측의 권선의 수의 비에 반비례하므로 식 (1)과 같다.

$$\frac{I_p}{I} = \frac{N_2}{N_1} = n \quad (1)$$

\* 正 會 員 : 한국표준과학연구원 선임연구원  
\*\* 正 會 員 : 한국표준과학연구원 책임연구원  
\*\*\* 正 會 員 : 한국표준과학연구원 선임기술기능원  
接受日字 : 2003年 9月 30日  
最終完了 : 2004年 2月 5日

식 (1)에서  $n$ 은 이상적인 전류변성기의 권선비(turn ratio of the ideal current transformer)이다. 2차측에 흐르는 전류  $I$ 는  $I_a$  와  $I_s$ 의 합이고  $a$  와  $b$  에서 전압강하가 동일하므로 식 (2)와 같다.

$$I = I_s + I_a = I_s + I_s \left( \frac{Z_2}{Z_m} \right) = I_s \left( 1 + \frac{Z_2}{Z_m} \right) \quad (2)$$

식 (2)를 이용하여 식 (1)을 다시 쓰면 식 (3)과 같다.

$$\frac{I_p}{I} = \frac{I_p}{I_s \left( 1 + \frac{Z_2}{Z_m} \right)} = n \quad \text{또는}$$

$$\frac{I_p}{I_s} = n \left( 1 + \frac{Z_2}{Z_m} \right) \quad (3)$$

전류 변성기의 1차측( $I_p$ )과 2차측( $I_s$ )의 전류벡터는 식 (4)와 (5)와 같이 복소수로 표시 가능하다.

$$I_p = |I_p| e^{j\Gamma_p} \quad (4)$$

$$I_s = |I_s| e^{j\Gamma_s} \quad (5)$$

여기서  $\Gamma_p$  와  $\Gamma_s$  는 각각 1차측과 2차측의 전류벡터의 위상이다. 전류변성기의 2차측에 대한 1차측의 복소비는 식 (3)과 (4), (5) 를 이용하여 정리하면 식 (6)과 같다.

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{|I_p|}{|I_s|} e^{-j(\Gamma_p - \Gamma_s)} = \frac{|I_p|}{|I_s|} e^{-j\Gamma_0}$$

$$= nRCF_0 e^{-j\Gamma_0} = n \left( 1 + \frac{Z_2}{Z_m} \right) \quad (6)$$

식 (6)에서  $\Gamma_0$  는 영부담일 때의  $\Gamma_0 \equiv \Gamma_s - \Gamma_p$  로 정의되는 2차측에 대한 1차측의 위상각의 차이 혹은 오차이고, 2차측 전류의 위상이 1차측 전류의 위상보다 빠를 때 정(+: lead) 이고 반대일 때 부(-: lag) 이다.  $RCF_0$  는 영부담 일때의 비보정인자(ratio correction factor)로서 전류변성기의 실제비 변환인자(true ratio correction factor) 이다. 비오차를 정의하면 식 (7)과 같다[6].

$$\text{비오차}(\%) \equiv 100 \cdot \left[ \frac{(nI_s - I_p)}{I_p} \right] \quad (7)$$

비보정인자와 비오차와의 관계는 식 (8)과 같다.

$$RCF_0 = 1 - [\text{비오차}(\%)/100] \quad (8)$$

임피던스  $Z_2$  와  $Z_m$  은 식 (9) 와 (10)과 같이 쓸 수 있다.

$$Z_2 = R_2 + jX_2 = |Z_2| e^{j\theta_2} \quad (9)$$

$$Z_m = R_m + jX_m = |Z_m| e^{j\theta_m} \quad (10)$$

식 (9) 와 (10)을 이용하여 식 (6)을 다시 쓰면 식 (11)과 같다.

$$nRCF_0 e^{-j\Gamma_0} = n \left[ 1 + \frac{|Z_2|}{|Z_m|} e^{-j(\theta_m - \theta_2)} \right] \quad (11)$$

식 (11)를 급수로 전개하면 식 (12)와 같다.

$$RCF_0(1 - j\Gamma_0) = \left[ 1 + \frac{|Z_2|}{|Z_m|} \left[ 1 - j(\theta_m - \theta_2) - \frac{(\theta_m - \theta_2)^2}{2} + \frac{j(\theta_m - \theta_2)^3}{6} + \dots \right] \right] \quad (12)$$

식 (12)에서  $\Gamma_0$  는 매우 작으므로 급수전개식 (12)의 좌변에서 2차항 이상은 무시할 수 있다. 식 (12)에서 실수부분과 허수부분을 분리하면 영부담에서 비보정인자와 위상각의 오차는 식 (13)과 (14)와 같다.

$$RCF_0 = 1 + \frac{|Z_2|}{|Z_m|} \left[ 1 - \frac{(\theta_m - \theta_2)^2}{2} + \dots \right] \quad (13)$$

$$\Gamma_0 = \frac{\frac{|Z_2|}{|Z_m|} \left[ (\theta_m - \theta_2) - \frac{(\theta_m - \theta_2)^3}{6} + \dots \right]}{RCF_0}$$

$$= \frac{\frac{|Z_2|}{|Z_m|} \left[ (\theta_m - \theta_2) - \frac{(\theta_m - \theta_2)^3}{6} + \dots \right]}{1 + \frac{|Z_2|}{|Z_m|} \left[ 1 - \frac{(\theta_m - \theta_2)^2}{2} + \dots \right]} \quad (14)$$

## 2-2. 외부부담이 전류변성기의 비오차와 위상각오차에 미치는 영향의 이론적 고찰

전류변성기의 외부 부담  $Z_b$  가 있을 때의 비보정인자와 위상각에 대한 부담효과를 살펴보자. 등가회로는 그림 2와 같다.

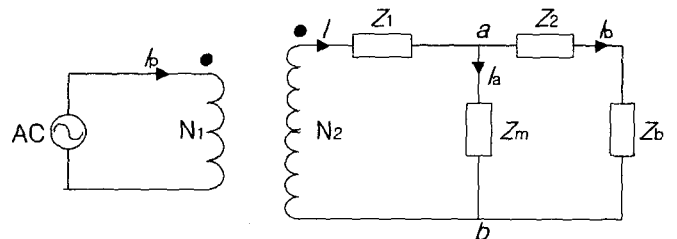


그림 2. 외부부담  $Z_b$  가 있을때의 전류변성기의 등가회로  
Fig. 2. An equivalent circuit for current transformer with burden  $Z_b$

2차측에 흐르는 전류 I는 Ia 와 Ib의 합이고 a 와 b 에서 전압강하가 동일하므로 (15)와 같다.

$$I = I_b + I_a = I_b + I_b \left( \frac{Z_2 + Z_b}{Z_m} \right) = I_b \left( 1 + \frac{Z_2 + Z_b}{Z_m} \right) \quad (15)$$

2차측에 대한 1차측의 전류비는 식 (15)를 이용하여 정리하면 식 (16)과 같다.

$$\frac{I_p}{I} = \frac{I_p}{I_b \left( 1 + \frac{Z_2 + Z_b}{Z_m} \right)} = n \quad \text{또는}$$

$$\frac{I_p}{I_b} = n \left( 1 + \frac{Z_2 + Z_b}{Z_m} \right) \quad (16)$$

외부 부담 Zb 가 있을 때의 전류 변성기의 1차측(Ip)과 2차측(Ib)의 전류벡터는 식 (17)과 (18)와 같이 복소수로 표시 가능하다.

$$I_p = |I_p| e^{j\Gamma_p} \quad (17)$$

$$I_b = |I_b| e^{j\Gamma_b} \quad (18)$$

식 (17) 과 (18)을 이용하여 식 (16)을 다시 쓰면 식 (19)과 같다.

$$\frac{I_p}{I_b} = \frac{|I_p|}{|I_b|} e^{-j(\Gamma_b - \Gamma_p)} = \frac{|I_p|}{|I_b|} e^{-j\Gamma_b} = n RCF_b e^{-j\Gamma_b} = n \left( 1 + \frac{Z_2}{Z_m} + \frac{Z_b}{Z_m} \right) \quad (19)$$

여기서  $\Gamma_b$  는 외부부담 Zb 가 있을 때의  $\Gamma_b = \Gamma_b - \Gamma_p$  로 정의되는 2차측에 대한 1차측의 위상각의 오차이고, RCFb 는 외부부담 Zb 가 있을 때의 비보정인자이다. 임피던스 Zb 는 식 (20)과 같다.

$$Z_b = R_b + jX_b = |Z_b| e^{j\theta_b} \quad (20)$$

결과적으로 외부부담이 있을 때 전류변성기 자화임피던스의 크기와 위상각,  $|Z_m|$  와  $\theta_m$  는 식 (21)와 (22)와 같이 쓸 수 있다. 자세한 계산과정은 부록 2 에 정리하였다.

$$|Z_m| \cong \frac{|Z_b|}{(RCF_b - RCF_0)} \quad (21)$$

$$\theta_m \cong \frac{|Z_m|}{|Z_b|} (RCF_b \Gamma_b - RCF_0 \Gamma_0) + \theta_b \quad (22)$$

식 (21) 와 (22) 에서  $|Z_b|$  와  $\theta_b$  은 측정할 수 있고, 영부담과 부담 b 에서의 비보정인자(RCF0, RCFb)와 위상각 오

차( $\Gamma_0, \Gamma_b$ )를 실험적으로 얻음으로써 미지의  $|Z_m|$  와  $\theta_m$  을 식 (21)과 (22)에 의해 계산하여 구할 수 있다. 이렇게 얻어진  $|Z_m|$  와  $\theta_m$  으로부터 제 3의 임의의 부담 t 에서의 비보정인자(RCFt)와 위상각 오차( $\Gamma_t$ )는 부록1의 식 (20-c)와 (20-d)에서 첨자 b 대신 t로 바꾸어 쓰면 식 (23)과 (24)와 같다.

$$RCF_t = RCF_0 + \frac{|Z_t|}{|Z_m|} \left[ 1 - \frac{(\theta_m - \theta_t)^2}{2} + \dots \right] \quad (23)$$

$$\Gamma_t = \frac{RCF_0 \Gamma_0 + \frac{|Z_t|}{|Z_m|} \left[ (\theta_m - \theta_t) - \frac{(\theta_m - \theta_t)^3}{6} + \dots \right]}{RCF_0 + \frac{|Z_t|}{|Z_m|} \left[ 1 - \frac{(\theta_m - \theta_t)^2}{2} + \dots \right]} \quad (24)$$

결론적으로 영부담을 포함한 두 개의 부담에서의 비오차와 위상각오차를 알면 임의의 다른 부담에서의 비오차와 위상각 오차를 식(23)과 (24)를 이용하여 이론적으로 얻을 수 있고, 이론적인 결과와 실험결과를 비교함으로써 현재의 표준과학 연구원의 전류변성기 측정시스템을 검증할 수 있다.

### 2-3. 이론값과 실험결과와의 비교

한국표준과학연구원의 전류변성기 측정시스템은 기준 전류 변성기(reference current transformer)와 피측정 전류변성기(test current transformer)에 동일한 전류를 1차측에 가하고 두 전류변성기의 2차측 전류를 비교함으로써 피측정 전류 변성기의 비보정인자와 위상각 오차를 측정하는 comparative null method를 사용한다[7].

먼저 전류변성기의 1차측 전류 150 A, 750 A 와 1500 A 인 경우 영부담에서 비보정인자와 위상각 오차에 대한 실험 결과들을 정리하여 표 1에 나타내었다. 또한 부담 b에서의 비보정인자, 위상각 오차,  $|Z_b|$  와  $\theta_b$ 에 대한 실험결과들을 표 1에 정리해 놓았다. 표 1의 부담 b 에서의  $|Z_b|$  와  $\theta_b$  는 전력계(Yokogawa 모델 2531)로 역률(PF=cos $\theta_b$ )과 부담 상자 b에 흐르는 전류(I), 전압(V)을 측정함으로써 구해진다. 이들 사이의 관계는 식 (25)와 같다.

$$|Z_b| = \frac{|V|}{|I|}, \quad \theta_b = \cos^{-1}(PF) \quad (25)$$

영부담과 부담 b에 대해 실험으로 구한 값들로부터 전류 변성기의 미지의  $|Z_m|$  와  $\theta_m$  을 식 (21)과 (22)에 의해 계산하여 구할 수 있다. 이렇게 얻어진  $|Z_m|$  와  $\theta_m$  으로부터 임의의 부담 t 에서의 비보정인자와 위상각 오차는 식 (23)과 (24)에 의해 이론적으로 계산하여 표 1에 나타내었다. 또 부담 t 에서의 비보정인자와 위상각 오차의 실험값을 표 1에 나타내었다. 표 2에서 실험치와 이론치의 차이를 나타내었다.

또한 전류범위가 낮은 다른 종류의 전류변성기에 대해서도 앞의 경우와 동일하게 실험결과와 이론값을 비교하여 표 2에 나타내었다.

표 1. 1차측전류에 따른 비보정인자와 위상각오차의 실험 값과 이론값의 비교

Table 1. Comparison of experimental and theoretical values for ratio correction factor and phase angle error according to the primary currents

부담	측정 파라미터	1 차측 전류 (A)		
		150	750	1500
영부담 (실험값)	$RCF_0$	1.000 140	1.000 150	1.000 200
	$\Gamma_0$	0.000 291	0.000 204	0.000 000
b 부담 (실험값)	$RCF_b$	1.000 550	1.000 530	1.000 590
	$\Gamma_b$	0.000 436	0.000 364	0.000 145
	$ Z_b ^*$	0.601 2	0.601 2	0.601 2
	$\theta_b^*$	0.606 6	0.606 6	0.606 6
t 부담 (실험값)	$RCF_t$	1.000 420	1.000 420	1.000 480
	$\Gamma_t$	0.000 436	0.000 320	0.000 145
	$ Z_t ^*$	0.500 0	0.500 0	0.500 0
t 부담 (이론값)	$\theta_t^*$	0.450 0	0.450 0	0.450 0
	$RCF_t$	1.000 460	1.000 440	1.000 500
t 부담 (실험치-이론치)	$\Gamma_t$	0.000 458	0.000 376	0.000 164
	$\Delta RCF_t^*$	-0.000 040	-0.000 020	-0.000 020
	$\Delta \Gamma_t^*$	-0.000 022	-0.000 056	-0.000 019

- 1) 사용된 피측정 전류변성기는 제작회사와 모델은 경보전기 CTS-4 이다.
- 2) +는 식 (25)에 의해 구한 값이고 \*는 전류변성기의 메뉴얼의 사양서에서 취한값이다.
- 3) # 는 실험치-이론치이다.

표 2. 1차측전류에 따른 비보정인자와 위상각오차의 실험 값과 이론값의 비교

Table 2. Comparison of experimental and theoretical values for ratio correction factor and phase angle error according to the primary currents

부담	측정 파라미터	1 차측 전류 (A)		
		30	50	100
영부담 (실험값)	$RCF_0$	1.000 270	1.000 230	1.000 240
	$\Gamma_0$	0.000 233	0.000 349	0.000 233
부담 b (실험값)	$RCF_b$	1.001 040	1.001 020	1.001 030
	$\Gamma_b$	0.000 451	0.000 524	0.000 407
	$ Z_b ^*$	0.601 2	0.601 2	0.601 2
	$\theta_b^*$	0.606 6	0.606 6	0.606 6
부담 t (실험값)	$RCF_t$	1.000 820	1.000 800	1.000 800
	$\Gamma_t$	0.000 436	0.000 509	0.000 407
	$ Z_t ^*$	0.500 0	0.500 0	0.500 0
부담 t (이론값)	$\theta_t^*$	0.450 0	0.450 0	0.450 0
	$RCF_t$	1.000 885	1.000 871	1.000 881
부담 t (실험치-이론치)	$\Gamma_t$	0.000 505	0.000 591	0.000 475
	$\Delta RCF_t^*$	-0.000 065	-0.000 071	-0.000 081
	$\Delta \Gamma_t^*$	-0.000 069	-0.000 082	-0.000 068

- 1) 사용된 피측정 전류변성기는 Yokogawa 모델 2241 이다.

2) +는 식 (25)에 의해 구한값이고 \*는 전류변성기의 메뉴얼의 사양서에서 취한값이다.

3) # 는 실험치 - 이론치이다.

표 1과 2에서의 부담 t에서 실험치와 이론치의 차이는 비보정인자의 경우 최대  $8.1 \times 10^{-5}$  (0.0081 %)이내이고, 위상각 오차의 경우 최대  $8.2 \times 10^{-5}$  (0.0082 %)이내의 차이를 보인다. 이는 비보정인자와 위상각 오차의 실험의 불확도가 0.01 % 정도이므로 실험결과와 이론치가 불확도 내에서 서로 일치한다는 것을 의미한다.

### 3. 결 론

전류 변성기의 영부담을 포함한 두 개의 부담에서 비보정인자와 위상각오차를 실험적으로 알때 임의의 부담에서의 비보정인자와 위상각오차를 실험없이 이론적으로 알수 있다. 이 방법을 이용하게 되면 국제비교나 산업체간의 비교시험시 동일한 부담값에서 측정된 값을 서로 비교할 수 있다. 또한 이론값과 실험결과가 비보정인자의 경우 최대 0.0081 %, 위상각 오차의 경우 0.0082 % 이내에서 일치한다. 이는 외국선진표준기관의 측정정밀도와 대등한 일치도이다. 결론적으로 한국표준과학연구원의 전류변성기 측정시스템이 잘 유지되었고, 0.1 급 이하의 전류변성기의 표준보급과지원에는 문제가 없는 것으로 판단된다. 향후 국제비교에 대비하기 위해서 전류변성기의 비오차와 위상각 오차를 절대평가 할 수 있는 표준비교기의 확보가 요구된다.

### 참 고 문 헌

- [1] W. J. M. Moore and N. L. Kusters, "Direct reading ratio-error sets for the calibration of current transformers" IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol. IM-19, No. 3, p161, 1970.
- [2] W. J. M. Moore, P. N. Miljanic "The current comparator", Peter Peregrinus Ltd., London, United Kingdom, 1988.
- [3] 정재갑 등, "고전압 비율 국가표준확립", KRISS 보고서, 2003.
- [4] "American National Standard Requirements for Instrument Transformers", American National Standards Institute, ANSI/IEEE C57.13, 1986.
- [5] John D. Ramboz and O. Petersons, "A Calibration Service for Current Transformers" NIST Special Publication, vol. 250, No. 36, p66, 1991.
- [6] G. Jones, "Current Transformer Measurement" NPL Special Publication, 1994.
- [7] 권성원 등, "교류전압 전류의 정밀측정과 계기용 변성기", KRISS-99-091-ET, 1999.

부록 1

식 (9) 와 (10), (11), (20) 을 이용하여 식 (19)를 정리하여 쓰면 식 (20-a) 와 같다.

$$\begin{aligned}
 nRCF_b e^{-j\theta_b} &= n \left[ 1 + \frac{|Z_m|}{|Z_m|} e^{-j(\theta_m - \theta_b)} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{|Z_b|}{|Z_m|} e^{-j(\theta_m - \theta_b)} \right] \\
 &= n \left[ RCF_0 e^{-j\theta_0} + \frac{|Z_b|}{|Z_m|} e^{-j(\theta_m - \theta_b)} \right] \quad (20-a)
 \end{aligned}$$

식 (20-a)에서  $\Gamma_0$  와  $\Gamma_b$  가 매우 작으므로 지수함수의 급수전개에서 2차항 이상은 무시할 수 있으므로 식 (20-b)와 같다.

$$\begin{aligned}
 RCF_b(1 - j\Gamma_b) &= \left[ RCF_0(1 - j\Gamma_0) + \frac{|Z_b|}{|Z_m|} \right. \\
 &\quad \left[ 1 - j(\theta_m - \theta_b) - \frac{(\theta_m - \theta_b)^2}{2} \right. \\
 &\quad \left. \left. + \frac{j(\theta_m - \theta_b)^3}{6} + \dots \right] \right] \quad (20-b)
 \end{aligned}$$

식 (13)과 (14)를 이용하여 식 (20-b)를 실수부와 허수부로 분리하여 정리하면 외부부담이 있을때의 비보정인자와 위상각오차는 식 (20-c)와 (20-d)와 같다.

$$\begin{aligned}
 RCF_b &= RCF_0 + \frac{|Z_b|}{|Z_m|} \left[ 1 - \frac{(\theta_m - \theta_b)^2}{2} + \dots \right] \quad (20-c) \\
 \Gamma_b &= \frac{RCF_0 \Gamma_0 + \frac{|Z_b|}{|Z_m|} \left[ (\theta_m - \theta_b) - \frac{(\theta_m - \theta_b)^3}{6} + \dots \right]}{RCF_0 + \frac{|Z_b|}{|Z_m|} \left[ 1 - \frac{(\theta_m - \theta_b)^2}{2} + \dots \right]} \quad (20-d)
 \end{aligned}$$

식 (20-c)와 (20-d)에서  $\theta_m - \theta_b$  가 작게  $\theta_b$  를 임의로 선택할 수 있으므로 지수함수 전개에서 2차항 이상은 무시할 수 있다. 따라서 식 (20-c)와 (20-b)는 식 (21)와 (22)와 같이 비교적 간단히 쓸 수 있다.

$$|Z_m| \cong \frac{|Z_b|}{(RCF_b - RCF_0)} \quad (21)$$

$$\theta_m \cong \frac{|Z_m|}{|Z_b|} (RCF_b \Gamma_b - RCF_0 \Gamma_0) + \theta_b \quad (22)$$

저 자 소 개



정재갑 (鄭在甲)

1965년 7월 4일생. 1998년 고려대 물리학과 졸업 박사. 2001년~현재 한국표준과학연구원 전자기표준부 전기자기그룹 선임연구원  
Tel : 042-868-5152, Fax : 042-868-5018  
E-mail: jkjung@kriss.re.kr



권성원 (權聖遠)

1952년 1월 19일생. 1974년 한국항공대 전자공학과  
1978년~현재 한국표준과학연구원 전자기표준부 전기자기그룹 책임연구원  
Tel : 042-868-5155, Fax : 042-868-5018  
E-mail : swkwon@kriss.re.kr



이상화 (李相和)

1967년 1월 26일생. 1994년 한밭대 전자공학과  
1986년~현재 한국표준과학연구원 전자기표준부 전기자기그룹 선임기술기능원  
Tel : 042-868-5151, Fax : 042-868-5018  
E-mail : shlee@kriss.re.kr



박영태 (朴榮泰)

1952년 10월 31일생. 1997년 국립충남대학교 전기공학과 졸업 박사.  
1983년 ~ 현재 한국표준과학연구원 전자기표준부 전기자기그룹 책임연구원  
Tel : 042-868-5158, Fax : 042-868-5018  
E-mail : pyt@kriss.re.kr