

전력측정을 위한 전자보상 전류센서에 관한 연구

박영태, 권성원, 이진호, 유광민

A Study on An Electronically Compensated Current Sensor for Measurement of Power

Y.T.Park, S.W.Kwon, J.H.Lee, K.M.Yu

요 약

본 연구에서는 전력의 정확한 측정을 위하여 전자적으로 보상된 전류센서에 대하여 기술하였다. 레환권선과 전자보상을 사용하여 전류센서를 개선하는 방법을 제안하였다. 개선된 전류센서와 함께 전력측정에 사용되는 전력트랜스듀서를 제작하고 그 특성을 평가하였다.

Abstract

An electronically compensated current sensor for measurement of power is presented in this paper. An electronic technique which is proposed to design an improved current sensor by means of a feedback winding and an electronic compensation is described. A precision power transducer with a proposed current sensor has been constructed for testing and performance evaluation.

1. 서 론

지금까지 전력측정에 많이 사용되고 있는 유도형, 전류력계형 아날로그 전력계는 점차 전자전력계에 의해 대체되어 가고 있다. 전자전력계의 커다란 장점은 정확도, 직선성, 장기안정도 등이 우수하고 외부자장의 영향이 적으며 주파수 응답성이 우수하다. 또 평균값, 첨두값, 실효값과 같은 측정값에 관한 다양한 정보를 얻을 수 있을 뿐 아니라 출력된 정보를 콘트롤시스템, 혹은 마이크로프로세서에 의해 적절히 처리하고 동시에 연산도 가능한 기능적 장점도 가진다.

전자전력계의 일종인 전력트랜스듀서(power

transducer)는 교류입력전류와 전압을 측정하여 직류형태의 출력을 나타내는 트랜스듀서로서 앞으로 발전소, 변전소 등 전력계통의 자동제어시스템이나 지능형빌딩(intelligent building), 오피스텔, 호텔 등에서 전력원격 검침시스템의 필수적 계기로 활용될 것이다.

시분할 승산방식을 사용하는 전력트랜스듀서는 크게 변류기(CT), 변성기(PT), 펄스폭변조기(PWM), 진폭변조기(AM) 등으로 구성되어지는데 전류, 전압의 두 입력 크기를 펄스폭변조기나 진폭변조기 등의 전자회로 동작에 필요한 작은 신호로 만들기 위하여 전력트랜스듀서의 입력부분은 변류기와 변성기를 사용하게 된다. 이때 변류기와 변성기를 거쳐나온 신호는 변류기와 변성기의 성능에 따라 왜곡될 수 있으며, 이것이 전력트랜스듀서 성능의 대부분을 결정짓는다. 즉, 두 입력 신호가 작을 수록, 역율이 낮을 수록 정확도가 떨어진다. 따라서 이러한 변류기의 성능을 향상시키기 위하여 2 단 코어를 사용한 변류기[1,2], 일반 변류기 권선

한국표준과학연구원
(Korea Research Institute of Standards and Science)
<접수일자 : 1995년 1월 25일>

에 전자 회로를 첨가한 변류기[3], 2 단 코어를 사용한 변류기에 전자회로를 부가한 변류기 등이 활용된다 [4,5]. 변성기의 경우도 전자 보상회로를 사용하여 그 정확도를 향상시키고 있다[6]. 그러나 이들은 성능이 우수한 반면 제작이 용이하지 않으며 특별한 권선 방법이 요구되고있다.

본 연구에서는 정확도가 높은 정밀급 단상 유효전력 측정용 전력트랜스듀서를 개발하기 위하여 전력트랜스듀서의 입력측 전류 측정에 사용되는 변류기를 대신할 수 있고 성능이 향상된 전류측정용 센서를 개발하였다. 이것은 일반 변류기의 형태에 전자 보상회로와 궤환권선(feedback winding)를 사용한 것으로써 제작이 간단하고 성능이 우수한 특성을 가진다. 제안된 전류센서의 이론적 특성이 실험 및 FEM 해석을 통하여 얻은 특성과 동일한 결과를 나타냄을 확인하였다. 그리고 제안된 전류센서와 일반 변류기의 특성과 비교하였다. 또 전자보상용 전류센서의 입력측에 저항을 직렬연결함으로써 입력전압을 측정하는 변성기로 사용할 수 있다. 따라서 입력전류와 전압을 전자보상용 전류센서 만을 사용하여 유효전력측정용 전력트랜스듀서를 제작하고 특성을 시험하였다.

2. 전자보상 전류센서

변류기는 대 전류를 안전하고 취급이 용이한 소전류로 바꾸어 주는 변압기의 일종이다. 그러나 소전류로 바꾸어 줄 때 1차전류의 일 부분은 자성체 코어를 여자시키는데 필요하게 되어 2차전류는 1차에 공급된 양보다 적은 값이 출력되어 오차를 발생 시킨다.

변류기의 오차 원인은 대부분 여자전류와 정전용량에 의한 전류 때문인 것으로 알려져있다. 특히 낮은 전력주파수에서는 여자전류에 의해서 발생되고, 높은 주파수에서는 정전용량 전류에 의해서 발생된다. 여자전류를 줄이기 위하여 투자율이 크고 면적이 큰 자성체코어의 코어를 사용하거나 권선 수를 많이 하면 된다. 그러나 이러한 것은 권선 면적과 정전용량을 증가시켜 정전용량에 의한 전류가 흐르게 된다. 낮은 전력주파수에서는 정전용량 전류에 의한 오차보다 여자전류에 의한 오차가 주 원인이 된다. 또한 경제적, 실용적인 면과 소형 변류기가 요구되는 곳에서 코어의 크기를 크게 할 수 없는 경우가 많다. 그림 1은 일반 변류기의 간단한 등가회로를 나타낸 것이다. 코어분로 손실저항

R_c 와 코어분로 손실인덕턴스 L_c 에 의해 여자전류 I_m 이 흐르게 되어 손실을 발생시키게 된다.

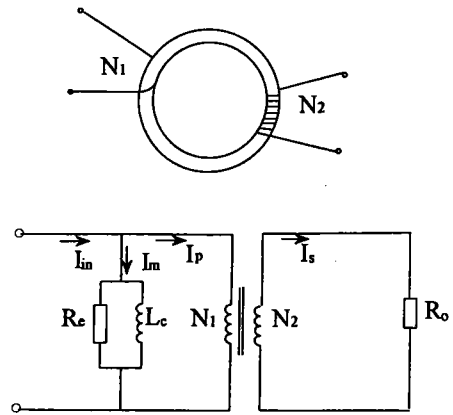


그림 1. 변류기의 간단한 등가회로

(a) 변류기 (b) 등가회로

Fig. 1. An equivalent circuit for a current transformer

(a) a current transformer

(b) It's equivalent circuit

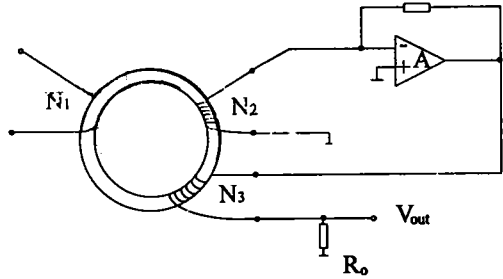


그림 2. 궤환권선과 전자보상을 가진 제안된 전류센서

Fig. 2. The proposed current sensor with a feedback winding and electronic compensation

winding and electronic compensation

이러한 손실에 의한 오차를 제거 하거나 최소한으로 줄이기 위하여 특별한 권선방법을 사용하거나 자성체코어 형상을 다르게 하는 방법을 사용하기도 한다. 그러나 그림 1에서 입력측에 공급되는 전류 I_m 는

$$I_{in} = I_m + I_p \tag{1}$$

로 나타낼 수 있다. 따라서 1차전류 I_p 는

$$I_p = I_m - I_m = I_m - \left(\frac{R_o'}{Z_e + R_o'} \right) I_m = \left(1 - \frac{R_o'}{Z_e + R_o'} \right) I_m \quad (2)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 $R_o' = (N_1/N_2)^2 R_o$ 로서 1차측에서 본 등가부하저항을 나타내고 R_o 는 부하저항을, Z_e 는 코어분로손실임피던스를 나타낸다. 그리고 그림 1을 전기적 등가회로로 나타내면

$$N_1 \left(1 - \frac{R_o'}{Z_e + R_o'} \right) I_m - I_s N_2 = 0 \quad (3)$$

로 나타낼 수 있다. 식(3)은 다시 2차전류 I_s 로 표시하면 식(4)와 같이 표현된다.

$$I_s = \frac{N_1 \left(1 - \frac{R_o'}{Z_e + R_o'} \right) I_m}{N_2} \quad (4)$$

따라서 2차측 출력은 부하저항 R_o 양단전압이므로 출력전압 $V = I_s R_o$ 이므로 출력전압 V 는

$$V = \frac{N_1 R_o I_m}{N_2} \left(1 - \frac{R_o'}{Z_e + R_o'} \right) \quad (5)$$

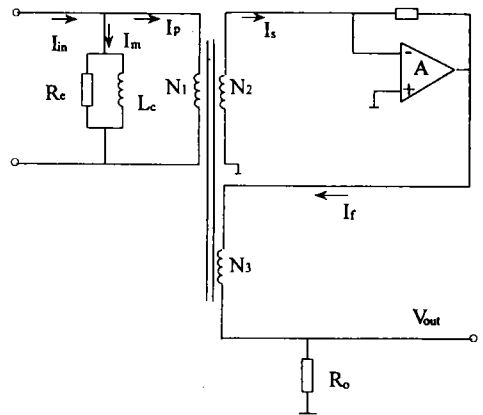
로 나타낼 수 있다. 식(5)의 두번째 항은 코어분로손실 임피던스와 부하저항의 크기에 따라 2차측의 출력전압은 입력전류에 비례한 값을 얻지 못한다. 만약 이상적 변류기의 경우에는 $Z_e \gg R_o'$ 로서 식(5)의 두번째 항은 거의 0에 가까워 지기때문에 출력전압 V 는

$$V = \frac{N_1 R_o I_m}{N_2} \quad (6)$$

로 나타낼 수 있으며 1차권선 수와 2차권선 수의 비에 따라 출력전압이 입력전류에 비례하여 나타난다. 그러나 일반 변류기의 경우 자성체코어의 손실 때문에 식(5)와 같은 출력을 가지게 된다.

본 연구에서는 I_m 에 의한 손실을 줄이기 위하여 그림 2와 같이 케환권선을 이용하고 전자적 보상기술을 사용한 전류센서를 제안하였다. 제안된 전류센서는 1회(turn)의 1차권선 N_1 , 2차측 감지권선 N_2 , 케환권선 N_3 , 그리고 감지권선 N_2 에서 감지된 신호를 증폭하여 케환권선 N_3 에 공급해 주는 증폭기로 구성되어 있으며

부하저항 R_o 양단에 걸리는 전압이 전류센서의 출력이 된다. 이러한 구성을 가진 전류센서의 등가회로를 그림 3에 나타내었다.



- I_m : Input complex current
- I_p : Primary complex current
- I_m : Excitation complex current
- I_s : Secondary complex current
- I_f : Feedback complex current
- R_o : Load
- R_e : Core-loss shunt resistance
- L_e : Core-loss shunt inductance
- A: Gain of OP Amp
- V_{out} : Output voltage
- N_1 : Primary winding
- N_2 : Secondary winding
- N_3 : Feedback winding

그림 3. 케환권선과 전자보상을 가진 전류센서의 등가회로

Fig. 3. The equivalent circuit of the current sensor with a feedback winding and electronic compensation

그림 3에 나타낸 바와같이 전자보상전류센서를 전기적 등가회로로 나타내면

$$N_1 \left(1 - \frac{R_o'}{Z_e + R_o'} \right) I_m - N_2 I_s + N_3 I_f = 0 \quad (7)$$

로 표시할 수 있다. 왜냐하면 I_m 에 의한 손실과 함께 1차전류에 의해 감지된 감지전류 I_s 는 전자증폭기를 통하여 손실만큼 증가시켜 반전된 케환 전류 I_f 가 N_3 에 공급되어 부하에 흐른다. 여기서 케환전류 $I_f = -A I_s$ 의 관계가 있으므로 식(7)를 I_f 로 나타내면

$$I_f = - \frac{N_1 I_m}{\frac{N_2}{A} + N_3} \left(1 - \frac{R_o'}{Z_e + R_o'} \right) \quad (8)$$

같이 나타낼 수 있다. 여기서 A는 증폭기의 이득을 나타낸다. 또 $I_f = V_{out} / R_o$ 가 되므로 출력전압에 관한 식은 다음과 같이 표현된다.

$$V_{out} = - \frac{R_o N_1 I_{in}}{\frac{N_2}{A} + N_3} \left(1 - \frac{R_o}{Z_c + R_o} \right) \quad (9)$$

입력전류가 전류센서코어 분로손실임피던스에 의하여 2차측으로 충분히 전달되지 못하고 손실을 발생시키지만 케환권선과 증폭기를 사용하여 이득을 적절히 보상코일을 통하여 손실 만큼 보상하여 공급하게 한다. 이렇게 하므로해서 전류센서 내부에 자기적 평형을 이루게 되어 분로손실임피던스에 의한 손실을 보상할 수 있으며 부하저항에 따라 발생하는 전압감소를 개선할 수 있다. 식(9)의 두번째 항을 k로 대치하여 다시 쓰면

$$V_{out} = - \frac{R_o N_1 I_{in}}{\frac{N_2}{A} + N_3} (1 - k) = - \frac{R_o N_1 I_{in}}{N_3 \left(1 + \frac{N_2}{AN_3} \right)} (1 - k) \quad (10)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 $k = R_o / (Z_c + R_o)$ 로 나타낸다. 식(10)에서 $N_2 / (AN_3) = -k$ 가 되도록 전자증폭기 이득 A를 조절하면 V_{out} 는

$$I_f R_o (N_3 + N_2/A) = - R_o N_1 I_{in} + R_o N_1 k I_{in}$$

$$V_{out} = - \frac{R_o N_1 I_{in}}{N_3} \quad (11)$$

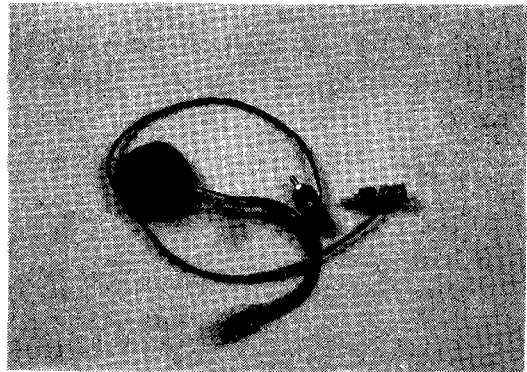
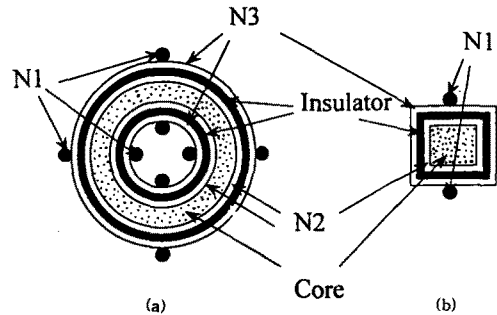
로 표현된다. 즉 전자증폭기의 이득 A가 Z_c 와 R_o 에 따라서 조절되면 센서분로임피던스에 의해 발생하는 손실전류 만큼 케환보상권선에 전류를 더 공급하게 되어 이를 보상할 수 있다.

3.전자보상 전류센서의 제작 및 특성분석

3.1 전류센서의 구조 및 제작

전류센서의 특성시험을 위하여 그림 4(a),(b)와 같

은 구조로 권선하였다. N_1 은 1차권선으로 자성체코어의 내부와 외부에 표시된 각각 4 개의 권선을 병렬처리하여 1 회 권선이 되도록 하였다. 이렇게 하는 이유는 1차권선의 비 대칭을 개선하고 이에 따른 표류정전용량에 의한 전류를 최소화하고 높은 전류에 요구되는 권선의 굵기를 분배할 수 있는 효과를 가져오기 때문이다. 자성체코어는 투자율이 매우 높은 μ (mu)메탈코어를 사용하였으며 투자율은 100,000이다. 2차감지권선 N_2 와 케환권선 N_3 은 실험을 위하여 각각 같은 수의 권선을 하였으며 N_2 와 N_3 층 사이에 절연테이프를 감아서 이 두 권선을 절연 시켰다. 그리고 N_2 와 N_3 사이, N_3 과 N_1 사이에 전기적 차폐를 사용하면 더욱 더 특성이 개선된다. 그림 4(c)는 제작된 전자보상 전류센서를 나타내었다.



(c)

그림 4. 케환권선을 가진 전류센서의 구조

(a)평면도 (b)단면도 (c)전류센서

Fig. 4. Structure of the current transformer with feedback winding

(a)Top view (b)Cross section

(c)Current sensor

3.2 FEM에 의한 자속분포 특성해석

그림 4에 나타난 전류센서에서 입력전류 10 A 일 때 보상케환전류의 유 무에 따른 자속 분포 상태를 알기 위하여 FEM에 의한 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션은 Maxwell 2D FEM package를 사용하였다.

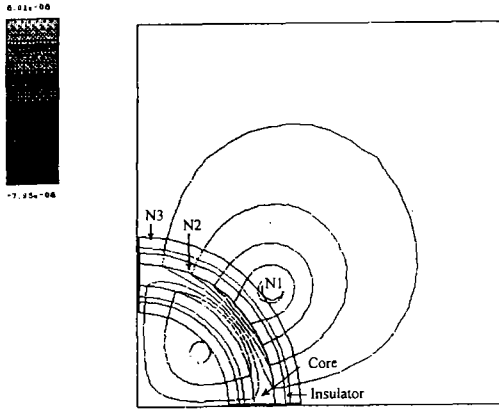


그림 5. 보상케환전류가 없는 전류센서의 1/4 부분에서의 자속분포

Fig. 5. One quadrant showing flux distribution of the current sensor without compensation feedback current

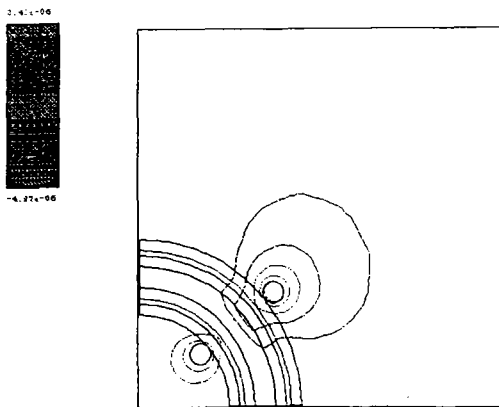


그림 6. 보상케환전류가 있는 전류센서의 1/4 부분에서의 자속분포

Fig. 6. One quadrant showing flux distribution of the current sensor with compensation feedback current

그림 5는 보상케환전류가 없을 때 보상케환 전류센서를 4 등분하여 그 한 부분을 시뮬레이션한 것이다.

그림과 같이 입력 10 암페어 턴의 기자력이 가해졌을 때 코어 내부에 자속이 밀집하여 분포됨을 알 수 있다. 그러나 그림 6에 나타난 바와 같이 보상케환전류가 가해지는 경우 코어 내부에서의 자속은 거의 존재하지 않는다. 이것은 입력의 기자력과 케환전류에 의한 기자력이 자기적 평형을 이루어 자성체코어 내부의 자속은 거의 0 (영) 상태가 되었음을 나타낸다. 이것을 더 자세히 검토하기 위하여 그림 7과 그림 8의 결과를 비교해 보면 알 수 있다. 보상케환전류가 없는 경우의 그림 7은 자성체코어 내부에서 자속밀도 B 벡터 방향이 한 방향으로 일정함을 나타내지만 보상케환전류가 있는 경우의 그림 8은 자성체코어 내부에서의 자속밀도 B 벡터 방향이 서로 반대를 나타냄을 알 수 있다.

이것은 보상케환전류에 의하여 자성체코어 내부에 자기적 평형이 이루어졌음을 알 수 있다. 따라서 변류기의 입력기자력과 출력기자력이 평형을 이룬다는 것은 여자전류에 의한 손실이 보상되어 입력의 양이 모두 출력으로 변환되어 나타남을 의미 한다

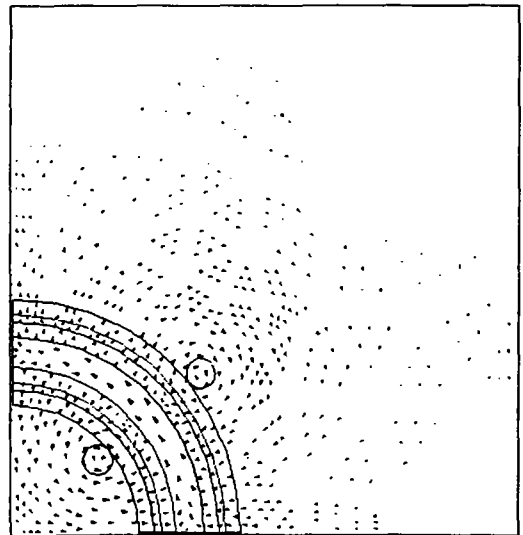


그림 7. 보상케환전류가 없는 전류센서의 1/4 부분에서의 자속밀도 벡터

Fig. 7. One quadrant showing B vector of the current sensor without compensation feedback current

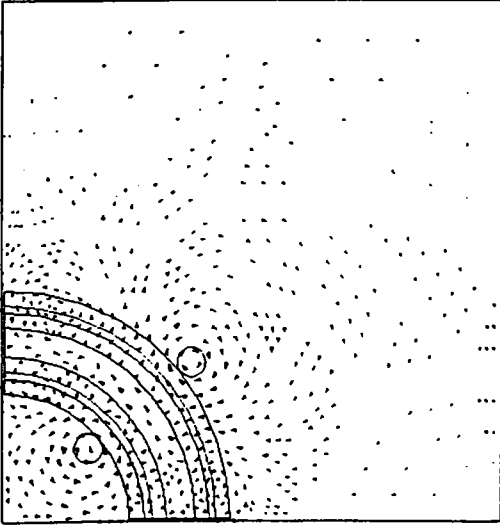


그림 8. 보상케환전류가 있는 전류센서의 1/4 부분에서의 자속밀도 벡터

Fig. 8. One quadrant showing B vector of the current sensor with compensation feedback current

3.3 전류센서의 시험 결과

전류센서의 특성을 시험하기 위하여 안정도가 10 ppm의 성능을 가진 전류공급원(SWE-1, ZERA)을 사용하여 변류기의 1차측에 공급하였고 1차측에 공급되는 전류의 크기를 연속해서 감지할 수 있는 정확도 0.01 %의 정밀급 전류측정장치(K2004, HEG)를 사용하였다. 그리고 케환권선의 출력에서 나오는 전류의 값이 부하저항에 의하여 전압으로 변환되는데 이때 정밀급 전압계(8506A, FLUKE)를 사용하여 측정의 정확도를 높였다.

측정범위는 전력트랜스듀서의 일반적 사용범위를 고려하여 0.05 A에서 10 A로 정하고 전류센서의 1차 권선 수 1회, 감지권선수 1,000회, 케환권선 수 1,000회, 증폭기 이득 50, 부하저항 102 Ω으로하여 실험 하였다. 그 측정결과를 표1에 나타내었으며 이론적 출력전압에 의한 값과 일반 변류기와 전자보상 전류센서의 출력특성을 비교하여 나타내었다. 그림 9는 표1의 결과를 이론적 결과와 비교하여 그 정확도의 정도를 그래프로 나타내었다.

측정결과에 의하면 보상케환권선을 사용한 전류센서는 일반 변류기 보다 특성이 더 우수함을 나타내었

표 1 전류센서의 이론적 출력과 실험적 출력 결과의 비교

Table 1. Comparison of results between theoretical output and experimental output of current sensor

Input Current (A)	Theoretical Output Voltage (Vrms)	Output Voltage of a Current Transformer (Vrms)	Output Voltage of the Compensated Current Sensor(Vrms)
10	1.0	0.99678	0.99957
5	0.5	0.49838	0.49980
2.5	0.25	0.24926	0.24991
1.0	0.10	0.09976	0.10003
0.5	0.05	0.04991	0.05005
0.25	0.025	0.02496	0.02504
0.10	0.010	0.00999	0.01000
0.05	0.005	0.00501	0.00500

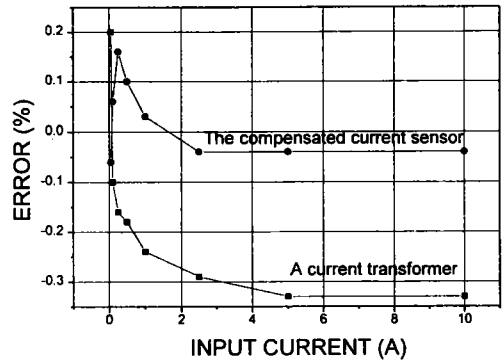


그림 9. 변류기와 보상케환 전류센서의 정확도

Fig. 9. Accuracy of the current sensor with compensation feedback winding and a current transformer

으며 1 A에서 10 A 범위 내에서 보상케환전류가 있는 경우 정확도가 ±0.05 % 내에 있음을 알 수 있다. 이와같이 일반 변류기에 전자보상 케환권선을 사용함으로써 여자전류에 의한 손실을 보상할 수 있다. 또 증폭기의 이득을 높이고 감지권선과 케환권선을 적게 권선하여도 동일한 출력을 얻을 수 있다. 이 경우 자성체코어의 크기를 줄일 수 있는 장점을 가진다.

3.4 전력 트랜스듀서

전력트랜스듀서는 고전압과 고전류를 변성기와 변

류기를 통하여 얻어진 작은 두 신호전압을 전자회로적으로 승산하여 전력으로 환산하여 주는 트랜스듀서로서 이것의 성능은 입력전류를 감지하는 변류기와 입력전압을 감지하는 변성기의 성능에 의해 대부분 그 특성이 좌우된다. 왜냐하면 전력을 측정하는데는 전류와 전압 이외에도 이들 사이의 위상 차가 관계되기 때문이다.

따라서 이러한 문제점을 개선한 보상개환 전류센서를 개발하고 이것을 사용하여 전력트랜스듀서를 제작하였으며 그 특성을 측정함으로써 보상개환 전류센서의 우수함을 예로 나타내었다. 그림 10에 나타낸바와 같이 전력트랜스듀서의 두 입력은 모두 보상개환 전류센서를 사용하였다. 두 입력 중 전압을 측정하는 전류센서의 앞단에 저항을 사용하여 입력전압을 작은 전류의 양으로 변환하였다. 이때 전류센서의 기차력을 1 암페어 턴으로 하였다. 전류센서 출력 이후는 시분할방식(TDM)을 이용한 전력변환회로를 제작하여 사용하였다. 증폭기 A1의 출력에서 나온 신호와 증폭기 A2에서 나온 신호의 위상은 전류센서의 특성에 따라 차이가 심하지만 여기에서의 위상차는 커지않다. 그러나 이들 신호의 위상차를 조절하기 위하여 위상조절회로가 필요하다. 위상조절회로는 저항과 캐패시터를 증폭기의 입력단에 설치하여 캐패시터를 조절하여 위상을 조절하게 하였다. 전력변환회로는 본 연구를 통하여 개발한 것으로 보상개환 전류센서와 함께 그 특성측정을 통하여 우수한 성능을 가짐을 그림 11에서 알 수 있다.

그림 10은 전력트랜스듀서의 전체 블록 다이어그램을 나타내었다. 그림 11은 주파수 60 Hz, 입력전압을 110 V에 고정 시키고 전류를 0.05 A에서 10 A 까지 변화 시켜가면서 전력트랜스듀서의 출력을 측정하

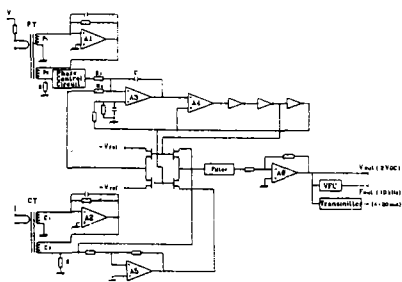


그림 10. 전력트랜스듀서의 블록 다이어그램
Fig. 10. Block diagram of the power transducer

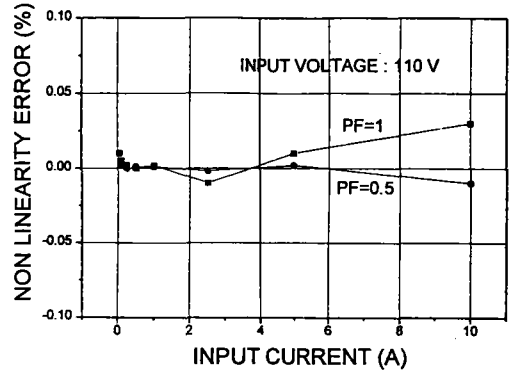


그림 11. 입력 110 V에서 전력트랜스듀서의 비직선성 오차
Fig. 11. Nonlinearity error of the power transducer at 110 V, 0.05 - 20 A

고 결과를 최소자승법을 사용하여 역률 1과 0.5 일때 출력전력의 비직선성 오차를 각각 나타내었다. 결과에 의하면 비직선성 오차가 $\pm 0.03\%$ 를 나타내어 매우 우수한 특성을 가짐을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 정확도가 높은 정밀급 단상유효전력 측정용 전력트랜스듀서를 개발하기 위하여 입력측 전류 측정에 사용되는 변류기를 대신할 수 있고 성능이 향상된 전류측정용 센서를 개발하였다. 그리고 정밀도가 높은 전류측정을 위하여 이러한 전류감지 방법을 제안하고 이 방법에 의하여 전류센서를 제작하여 성능을 시험하였다. 이것은 전자적 보상회로와 캐환권선을 사용한 것으로써 제작이 간단하고 성능이 우수한 특성을 나타내었다. 또 제안된 전류센서의 특성은 이론적 결과와 실험적 결과 및 FEM 해석을 통하여 동일한 특성을 나타냄을 확인 하였다. 그리고 전압을 측정하는 변성기 대신 전자보상개환 전류센서를 사용하여 입력전압 측정을 대신하고 이 변류기들을 이용하여 단상유효전력측정용 전력트랜스듀서를 제작하여 그 특성을 시험하였다. 전자보상 개환 전류센서는 측정전류 1 A에서 10 A 범위까지 정확도가 $\pm 0.05\%$, 전력트랜스듀서의 직선성은 $\pm 0.03\%$ 의 특성을 나타내었다.

참고 문헌

- [1] H. B. Brooks and F. C. Holtz, "The Two-Stage Current Transformer," AIEE Trans., Vol.41, pp 382-391, 1922
- [2] T. Michanel Souders, "Wide-Band Two-Stage Current Transformers of High Accuracy," IEEE Trans. Instrum., Vol. IM-21, No.4, pp 340-345, 1972
- [3] G. E. Beard, "Single-Stage Amplifier-Aided Current Transformers Possessing Small Ratio Errors at 60 Hz," IEEE Trans. Instrum., Vol. IM-28, No.2, pp 141-146, 1979
- [4] P. N. Miljanic, E. So and W. J. M. Moore, "An Electronically Enhanced Magnetic Core for Current Transformers," IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol. 40. No.2, pp 410-414, 1991
- [5] E. So, S. Ren and A. Bennett, "High-Current High-Precision Openable-Core AC and AC/DC Current Transformers," IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol. 42, No.2, pp 571-576, 1993
- [6] D. Slomovitz, "Electronic Compensation of Voltage Transformers," IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol. 37, No. 4 pp 652-654, 1988

 著 者 紹 介

**박 영 태**

1952년 10월 31일생. 1981년 울산대 공대 전자공학과 졸업. 1983년 부산대 대학원 전자공학과 졸업(석사). 현재 한국표준과학연구원 전자기연구부 선임연구원. 주관심 분야 : 전류센서, 전력측정

권 성 원

『센서학회지 제1권 제1호』 논문92-09, p77 참조.
현재 한국표준과학연구원 전자기연구부 책임기술원

**이 진 호**

1940년 7월 9일생. 현재 한국표준과학연구원 전자기연구부 책임기술기능원

유 광 민

1983년 부산대 물리학과 졸업
1985년 부산대 대학원 물리학과 졸업(석사)
현재 한국표준과학연구원 전자기연구부 선임연구원