

전력측정 클램프메타

박영태, 유광민, 장석명*
한국표준과학연구원 전자기표준부, *충남대학교 전기공학과

Clamp-meter for the power measurement

Y.T.Park, G.M.Yu *S.M.Jang
KRISS., *Chungnam Univ.

Abstract - 전압, 전류, 유효전력, 무효전력, 피상전력, 역률, 진상, 지상 역률표시, 전력량을 측정할 수 있는 클램프메타의 개발에 관한 내용을 기술하였으며 제품화를 위한 시제품 제작과 그 특성을 시험한 결과 등을 나타내었다. 전류를 측정하는 클램프센서는 홀소자를 이용하였으며 선형도를 개선하기 위하여 홀소자를 2개 사용하였다. 결과에 의하면 현재 상품화되어있는 클램프메타보다 우수하며 전체 소비전력이 10 mA보다 적은 결과를 얻었다.

1. 서 론

현장에서 간단히 hand held type으로 전류를 측정하는 소자, 혹은 센서의 대표적인 기기는 클램프메타이다. 클램프메타의 장점은 대전류를 쉽게 측정할 수 있으므로 오래 전부터 발전해왔으며, 현재 정밀도가 아주 우수한 제품도 개발되고 있다[1-2]. 일반적으로 저전류의 측정은 저항소자로 이루어진 shunt로 측정하지만 대전류를 측정할 때는 CT(Current transformer)를 사용한다[3-5]. 그러나 CT의 경우 측정 전류선을 직접로 연결해야하는 불편함과 함께 선로를 개방할 수 없는 경우가 많으므로 클램프메타를 사용하게 된다.

현재 상품화 되어있는 클램프메타의 주 기능은 전류를 측정하는 것으로 경제적인 정확도의 정도는 1%가 대부분이다. 여기에 전압측정 기능을 첨가하여 시판되고 있다. 그런데 측정의 기능의 요구도가 다양해지면서 클램프메타에 전력측정 기능이 현장에서 필요하게 되고 성능의 신뢰도가 점점 더 크게 요구되게 되었다.

클램프메타에서의 전력측정 기능은 입력전압과 전류, 그리고 입력전압과 전류 사이의 위상에 의하여 결정되기 때문에 입력전압과 전류를 측정하는 소자의 위상변화의 정도에 따라 성능과 신뢰도가 결정된다. 전력측정에 있어서 가장 큰 문제가 되는 것은 역률 문제이며 지상과 진상에 따른 역률의 표시회로, 전력측정회로 등은 배터리로 동작되는 클램프메타의 소비전력을 증가시키기 때문에 회로의 개발은 크다란 제한을 받게 된다.

본 연구에서는 전압, 전류, 유효전력, 무효전력, 피상전력, 역률, 진상, 지상 역률표시, 전력량을 측정할 수 있는 클램프메타의 개발에 관한 내용을 기술하였으며 제품화를 위한 시제품 제작과 그 특성을 시험한 결과 등을 나타내었다. 전류를 측정하는 클램프센서는 홀소자를 이용하였으며 선형도를 개선하기 위하여 홀소자를 2개 사용하였다. 결과에 의하면 현재 상품화되어있는 클램프메타보다 우수하며 전체 소비전력이 10 mA보다 적은 결과를 얻었다.

2. 본 론

2.1 전력측정 이론

전압과 전류의 실효치는 식 (1)에 의해 연산되어진다.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V^2(i)}$$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I^2(i)} \quad (1)$$

여기서 n 은 1주기동안 샘플한 데이터의 수이다. 피상전력은 식 (1)의 실효치 전압과 전류의 곱으로 구할 수 있다.

$$VA = V_{rms} \times I_{rms} \quad (2)$$

유효전력은 시분할방식을 사용하여 실현하였다[6-8]. 그림 1의 시분할 원리에 의하여 전력 Watt를 나타내면

$$Watts = \frac{T1 - T2}{T1 + T2} \times V = I_{rms} \times V_{rms} \quad (3)$$

으로 나타낸다. 입력전압은 시간-폭 변화로 만들고 입력 전류의 크기는 진폭의 크기로 변환하는 방식으로 간단하고 정확도가 높은 전류측정원리이다.

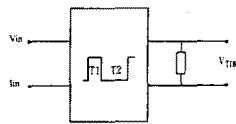


그림 1. TDM의 원리

무효전력은 식 (4)에 의해 연산되어진다.

$$VA_r = \sqrt{VA^2 - Watts^2} \quad (4)$$

식 (2)와 식 (3)에서 산출된 피상전력과 유효전력으로 부터 역률을 산출할 수 있다.

$$PF = \frac{Watts}{VA} \quad (5)$$

2.2 회로의 구성

클램프메타의 측정회로는 그림 2에 간단히 나타내었다. 입력전압은 저항 분압기에 의하여 저전압으로 변환되고 이 신호는 실효전압변환소자 U6에 의하여 실효치로써 A/D converter U1에 연결되어 U2의 마이크로프로세서에 의하여 표시기에 표시된다. 전류의 경우도 홀소자에 의하여 측정된 신호를 전압과 동일하게 실효치로

변환하여 U1과 U2를 통하여 표시기에 표시된다.

유효전력의 경우 실효전압변환소자 U6의 앞단에서 전압과 전류를 각각 TDM multiplier에 연결하여 식(3)과 같이 전력에 비례하는 직류전압이 출력된다. 이 출력신호는 직접 A/D converter U1에 연결되어 U2의 마이크로프로세서에 의하여 표시기에 표시된다. 무효전력, 피상전력, 역률 등은 전압, 전류, 전력의 신호를 통하여 U2의 마이크로프로세서에서 연산에 의하여 값이 표시된다.

Clamp Power Meter(Simple diagram)

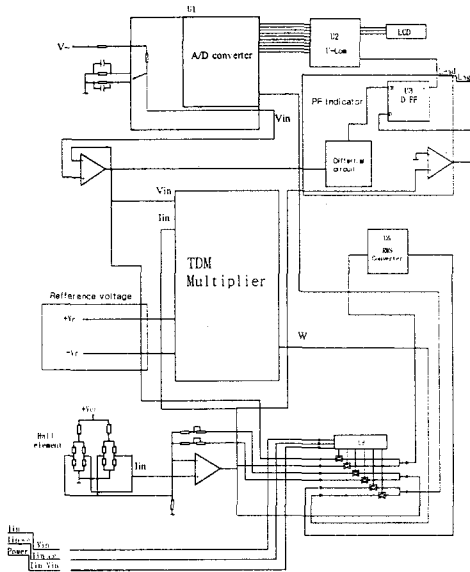


그림 2. 클램프메타의 간단한 회로다이아그램

2.3 회로의 제작

그림 3은 제작된 회로와 홀센서를 이용한 클램프 센서를 나타내었다. 회로는 배터리로 동작하게 하였으며

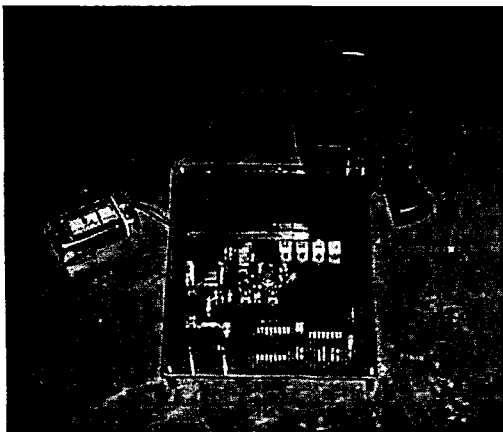


그림 3 회로와 클램프센서

시험을 위한 모듈을 제작하였다. 사용된 op amp.와 아날로그 스위치들은 저소비전력과 op amp. 4개를 한 개의 칩 안에 들어있는 것을 사용하였다. 범위의 선택과 기능의 선택은 아날로그 스위치를 통하여 이루어지고 있다.

2.4 회로의 성능

그림 4는 전압의 오차를 %로 나타내었다. 측정전압은 40 - 900 V의 범위에서 제작된 표시기의 LCD와 출력 값을 DVM으로 측정된 값을 서로 비교하여 나타내었다.

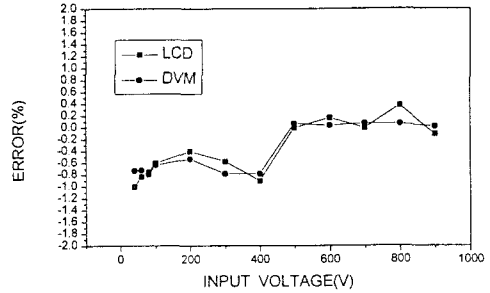


그림 4 전압의 정확도

결과에 의하면 전압 오차는 $\pm 0.7\%$ 안에 있는 것으로 평가되었다. 그림 5는 전류에 대한 오차를 나타낸 것으로 입력전류 40 - 400 A 범위에서의 LCD 표시기와 DVM으로 읽은 값을 나타내었다.

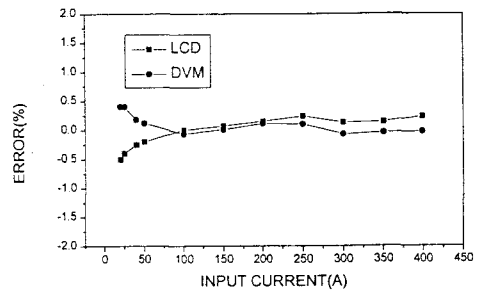


그림 5 전류의 정확도

결과에 의하면 이 범위에서의 오차는 $\pm 0.5\%$ 를 벗어나지 않음을 알 수 있다. 대전류를 측정할 때 코일을 감아서 CT와 같은 형태로 구성하는 경우와 저항소자인 shunt를 이용하는 경우, 그리고 홀소자를 이용하여 측정하는 것이 있는 데, 홀 소자를 이용하는 경우는 홀소자의 특성상 선형도가 1% 보다 우수한 특성을 가질 수 없다. 그러나 홀소자를 2개 사용하면서 사용위치를 선형도를 개선할 수 있는 곳에 설치함으로써 1% 보다 우수한 결과를 얻었다고 생각한다. 그리고 홀소자로부터 출력되어지는 신호를 온도와 회로의 입력임피던스에 의한 문제를 개선할 수 있는 회로를 보강하여 사용함으로써 오차의 크기를 줄일 수 있었다.

그림 6은 전력의 특성을 나타내는 것으로 전압, 전류의 특성을 측정하는 것과 같이 LCD와 DVM에서 나타나는 값을 그래프화 하였다.

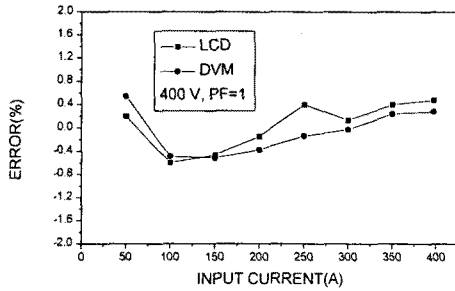


그림 6 전력의 정확도(전압:400 V,역률 0.1)

입력전압을 400 V에 고정시키고 전류를 40 A에서부터 400 A까지 변화시키면서 전력값을 측정하였다. 이때 전압과 전류의 위상을 동일한 역률 1로 두고 시험하였다. 시험의 결과를 분석하면 오차는 $\pm 0.7\%$ 보다 우수함을 나타내었다. 역률 변화에 대한 측정은 역률 1과 같은 특성을 가졌으며 진상과 지상의 표시도 나타낼 수 있는 회로를 개발함으로써 현재 상품화되어있는 외국산 제품에 없는 기능을 추가하였다.

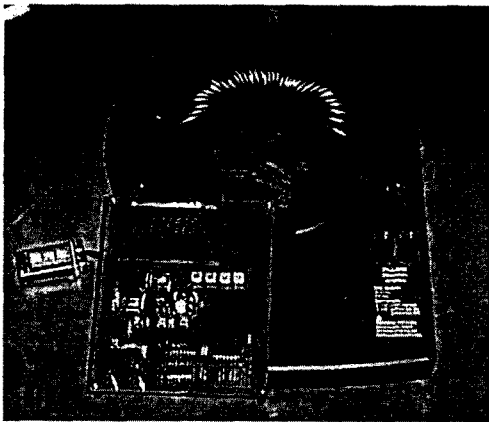


그림 7 회로와 대전류(100 -1000 A)측정 장치

그림 7은 대전류를 측정하기 위하여 구성된 장치를 나타내었다. 일반적으로 전류 500 A를 발생하기는 쉽다. 그런데 전류는 코일의 권선 수에 비례하여 발생하므로 그림과 같이 코일이 감겨진 장치에 클램프센서를 설치하면 대전류가 센서에 검출된다. 이때 코일에 공급되는 전류가 10 A이면 센서에 검출되는 전류는 코일의 권선수(여기서 50회)를 곱한 500 A가 된다.

전력을 측정하는 경우 클램프회로의 전압단자에 전압을 공급하고 동시에 클램프센서에 전류를 공급함으로써 전력을 측정할 수 있다.

2.5 회로의 성능측정 시스템

그림 8은 클램프메타의 특성을 측정하는 시스템으로 코일을 감은 장치와 전압, 전류 증폭기 및 전압과 전류 사이의 위상을 변화시킬 수 있는 2채널 발진기로 구성되어 있다.

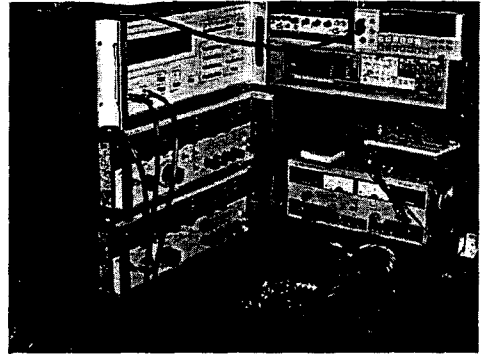


그림 8 특성측정 시스템

3. 결 론

전압, 전류, 유효전력, 무효전력, 피상전력, 역률, 진상, 지상 역률표시, 전력량을 측정할 수 있는 클램프메타의 개발에 관한 내용을 기술하였으며 제품화를 위한 시제품 제작과 그 특성을 시험한 결과 등을 나타내었다. 전류를 측정하는 클램프센서는 홀소자를 이용하였으며 선형도를 개선하기 위하여 홀소자를 2개 사용하였다. 결과에 의하면 현재 상품화되어있는 클램프메타보다 우수하며 전체 소비전력이 10 mA보다 적은 결과를 얻었다.

(참 고 문 헌)

- [1] J.D.Ramboz, "A Highly Accurate, Hand-Held Clamp-on Current Transformer," IEEE Trans. Instrum. Vol.45, no.2, pp445-448, 1996
- [2] E.So, and D.A.Bennett, "A Low-Current Multistage Clamp-on Current Transformer with Ratio Errors Below 50 ppm," IEEE Trans. Instrum. Vol.46, no.2, pp454-458, 1997
- [3] P.N.Miljanic, E.So, and W.J.Moore, "An Electronically Enhanced Magnetic Core for Current Transformers," IEEE Trans. Instrum. Vol.40, no.2, pp.410-414, 1991
- [4] G.E.Bead, "100:1 Step-Up Amplifier-Aided T_z-Stage Current Transformer with Small Ratio Errors at 60 Hz," IEEE Trans. Instrum. Vol.IM-28, no.2, pp.146-152, 1979
- [5] E.So, S.Ren and D.A.Bennett, "High Current High-Precision Openable-Core AC and AC/DC Current Transformer," IEEE Trans. Instrum. Vol.42, no.2, pp.571-576, 1993
- [6] M.Tomota, T.Sugiyama and .K.Yamaguchi, "An Electronic Multiplier for Accurate Power Measurements,," IEEE Trans. Instrum. Vol.IM-17, no.4, pp.245-251, 1968
- [7] R.Bergeest and P.Seyfried, "Evaluation of the Response of Time-Division Multipliers to AC AND DC Input Signals," IEEE Trans. Instrum. no.2, pp.296-299, 1975
- [8] P.S.Filipski, "A TDM Wattmeter WITH 0.5 MHz Carrier Frequency," IEEE Trans. Instrum. Vol.39, no.1, pp.15-18, 1990