

유도형 적산전력량계의 특성해석

장석명*, 이성호*, 정상섭*, 박영태**
충남대학교 전기공학과* 한국표준과학연구원**

Analysis of Induction Watthour Meter Characteristics

S.M. Jang.* . S.H. Lee.* . S.S.Jeong.* . Y.T. Park.**
Chungnam Nat'l Univ.* KRISS**

Abstract - An induction watthour meter was designed for use on circuits in which the voltage and current are essentially sinusoidal. As the application of switching devices has been increased, the waveforms of voltage and current have involved the harmonics. Therefore, power energy involving voltage and current with the harmonics is supplied to the system and the registration error of watthour meter is existed. In this paper, we experimented on the error of watthour measurement under the sinusoidal and nonsinusoidal input source.

1. 서 론

일정한 시간 또는 기간동안 부하에서 소모되는 전력량의 측정은 에너지관리 면에서나, 전력요금의 정확한 산정을 위하여 가장 우선적으로 이루어져야 할 문제이다. 스위칭 기술에 토대를 둔 전력전자회로는 전압, 전류, 주파수, 역률, 위상 등의 조정에 의한 전력의 제어를 하고 있다. 이로인해 시스템에는 시간고조파를 함유하는 비정현적인 전압과 전류 형태의 전력에너지가 공급되고 있다. 기존의 전력량계에서는 정현파 전원을 기준으로 하여 전력량을 산출하였으므로 각종 기기의 전원 및 제어시스템에서 발생하는 고조파함유로 인한 전력량 산출의 오차를 정확히 감안할 수 없었다.

본 논문에서는 유도형 적산전력량계의 이론적 배경에 대해 검토하고 상용전원에 의한 정현파와 고조파를 함유한 인버터전원에 의한 시스템의 소비전력량을 디스크의 회전수에 관련하여 산출하고 실험을 통하여 산출된 전력량을 상호 비교함으로서 전력산출의 오차를 구해보았다. 이에 따라 고조파가 함유된 전력의 정확한 측정을 할 수 있도록 기존의 전력량계에 대한 설계, 제작개선등의 이론적 토대를 마련하고자 한다.

2. 기본 특성

2.1 기본모델

적산전력량계의 기본적인 구조는 그림 1과 같다. 그림 1은 교류전원의 인가시 전압·전류코일의 공간적 배열에 따른 위상차 (90° 위상차)와 시간적 위상차에 의해 디스크위에 자속이 이동하는 이동자계를 나타낸 것이다. 이에 따라 디스크에 와전류가 유도되고, 이동자계의 합성 자속에 의해 힘이 발생한다. 여기서, 전류코일에 의해 만들어지는 자속은 B_1 , 전압코일에 의해 만들어지는 자속은 B_2 이고 λ 는 파장의 길이이다.

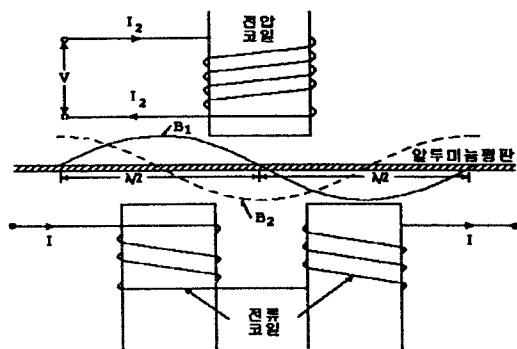


그림 1. 공간적 구조에 의한 자계의 분포

유도형 적산전력량계는 전압·전류코일의 공간적 배열을 그림 2와 같은 등가회로로 나타낼 수 있다. 여기서 R_2, X_2 는 전압코일의 임피던스이다.

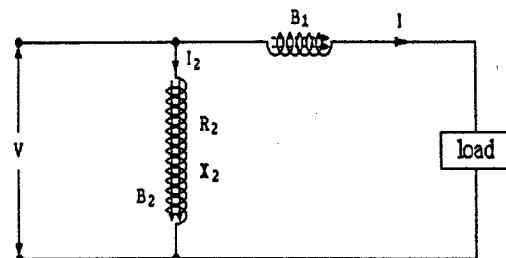


그림 2. 전압·전류 코일의 공간적 배열에 의한 등가회로

그림 3의 벡터도는 전압·전류코일에 의해 발생하는 자속의 시간적위상차를 나타낸 것이다. 여기서 ϕ 는 전압·전류사이의 시간적 위상차이고, ϵ 은 자화전류분에 상용하여 늦어지는 자속의 위상각이다.

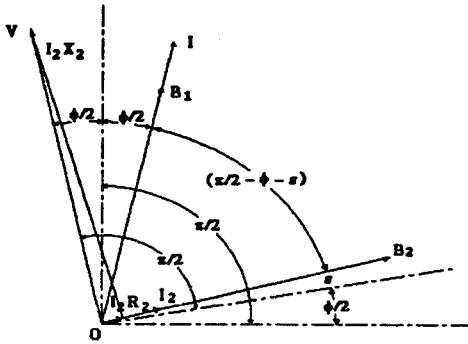


그림 3. 자속의 시간적 위상차에 의한 벡터도

그림 2와 그림 3에서 보는 바와 같이 유도형 적산전력량계는 자속의 시간적·공간적위상차에 의해 알루미늄 디스크에 와전류를 유기하고 토크가 발생된다.

2.2 정방향 토크

전압코일에 전원측 전압을 인가하고, 전류코일에 부하측 전류를 전력량계에 결선하면, 전압코일측은 전압 \rightarrow 전류 \rightarrow 자속 \rightarrow 역기전력(back e.m.f)의 과정을 거쳐 디스크위에 와전류가 유도되고, 전류코일측에서는 전류 \rightarrow 자속 \rightarrow 역기전력(back e.m.f)의 과정을 거쳐 디스크위에 와전류가 유도된다. 전압코일을 통해 만들어진 자속을 ϕ_v 라 하고, 전류코일에 의해 만들어진 자속을 ϕ_i 라 하자. 그리고 이 자속이 알루미늄 디스크를 쇄교하면서 유기되는 와전류를 각각 i_{Dv} , i_{Di} 라 하면, 디스크에 발생하는 토크는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$T_D = k' (\phi_v i_v - \phi_i i_v) \quad (1)$$

여기서, k' 은 자속을 토크식의 파라미터로 사용할 수 있게 하는 상수이다.

2.3 제동 토크

적산전력량계는 디스크가 일정속도로 회전하도록 영구자석이 설치되어 있다. 영구자속을 쇄교하며 디스크가 회전을 하면 속도유기기전력이 디스크에 발생하게 된다. 이 유기기전력은 디스크의 저항에 따라 와전류를 유도한다. 영구자석을 통해 발생하는 일정한 자속과 유기된 와전류에 의해 위에서 언급한 정방향회전력과는 반대의 방향으로 힘이 식(2)와 같이 발생하게 된다.

$$F_B = \frac{vB_m^2}{R_D} \quad (2)$$

여기서 B_m 은 영구자속밀도의 크기, v 는 디스크 회전속도, R_D 는 디스크저항이다. 그러므로 제동토크는 식 (3)과 같다.

$$\tau_B = k'' v B_m^2 \quad (3)$$

여기서 k'' 는 힘을 토크의 식으로 변환할 수 있도록 하는 비례상수이다.

2.4 디스크의 회전속도

전압, 전류코일에 의해 발생하는 정방향의 토크와 영구자석에 의한 역방향의 제동토크는 그 힘이 서로 일치할 때, 디스크는 정속도로 회전을 하게 된다. 즉, 식 (1)과 식 (3)을 같다고 놓으면

$$k' (\phi_v i_v - \phi_i i_v) = k'' v B_m^2 \quad (4)$$

위의 식 (3)을 통해 디스크의 일정속도를 구하면,

$$v = k \left[\frac{\phi_v i_v - \phi_i i_v}{B_m^2} \right] \quad (5)$$

여기서 $k = \frac{k'}{k''}$ 이다.

2.5 부하에서 소모된 전력량과 디스크 회전 속도와의 관계

유도형 적산전력량계는 디스크의 회전수를 기계적으로 계측함으로서 부하에서 소비된 전력량을 측정한다. 디스크에 작용하는 힘은 소비전력에 비례[1,2]하므로 식 (6)과 같이 쓸 수 있다.

$$F_D = K_1 P \quad (6)$$

여기서, K_1 은 전력을 힘으로 변환할 수 있도록 하는 비례상수이다. 이 힘에 따라 디스크가 회전하면서 영구자석에 의해 발생되는 역방향의 힘은 식 (2)와 같이 속도에 비례하므로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$F_B = K_2 v \quad (7)$$

여기서, $K_2 = B_m^2 / R_D$ 이다. 디스크가 일정속도로 회전할 때, $K_1 P = K_2 v$ 이므로 양변에 시간을 곱해주어 식 (8)처럼 나타낼 수 있다.

$$K_1 P t = K_2 v t \rightarrow P t = \frac{K_2 v t}{K_1} = K_3 v t \quad (8)$$

전력에 시간을 곱해주면 소비된 에너지가 되고, 이것의 차원은 Watt-hour가 된다. 식 (8)에서 $P t$ 는 적산전력량이고, $v t$ 는 회전수가 된다. 그러므로 소비전력은 디스크의 회전수에 비례하는 것을 알 수 있다.

3. 특성 실험

본논문에서는 부하측 입력전원이 정현적인 경우와 비정현적경우, 디스크 회전수의 차이에 의해 발생하는 적산전력량계 전력산출의 오차를 실험하였다.

3.1 실험 구성도

그림 5는 부하측 입력전원으로 상용전원과 인버터를 사용하였을 경우를 구성도로 나타낸 것이다.

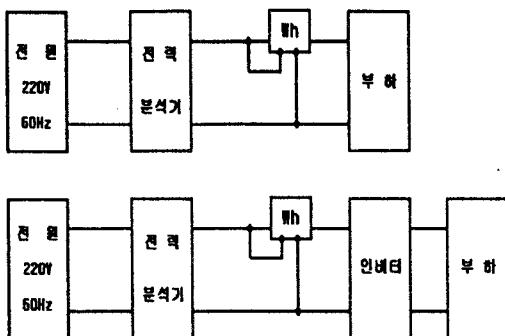


그림 5. 실험 구성도

표 1. 실험에 사용된 주요 제원

전력량계	단독보통전력량계, 교류단상2선식, 60(20)A, 220V, 60Hz, 250 rev/kwh
전력분석기	PM3300
인버터	HSIC-750, VVVF, V/f (220/60)

3.2 실험결과

그림 6은 부하측 입력전원으로 상용전원과 인버터를 사용하였을 경우, 전력분석기에서의 적산전력의 차이를 나타낸 것이다.

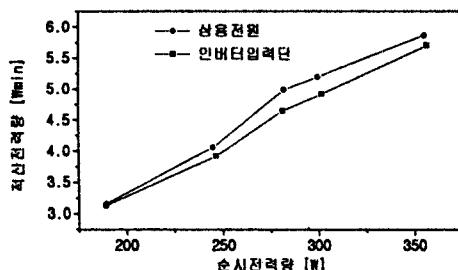


그림 6. 적산전력량 (전력분석기)

그림 7은 상용전원인가시와 부하측전원으로 인버터를 사용하였을 경우에 동일한 소비전력에 따른 회전수의 차이를 나타낸 것이다.

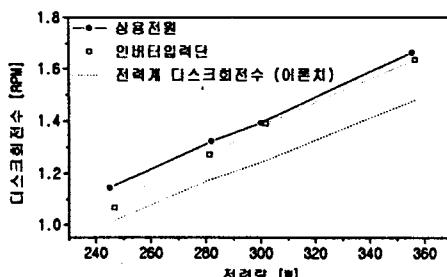


그림 7. 동일한 소비전력에 따른 회전수

그림 8은 같은 소비전력하에서의 입력전원의 전류 고조파 왜형률을 나타낸 것이다.

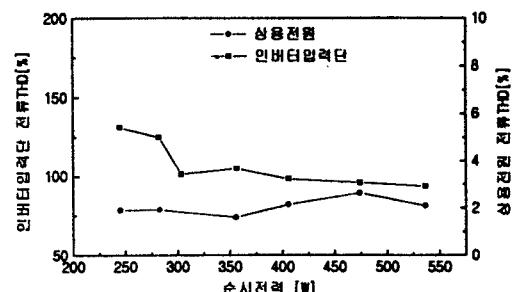


그림 8. 전류 전고조파 왜형률

3.3 결과분석

부하측 입력전원으로 상용전원과 인버터를 사용하였을 경우, 그림7에서 보는 바와같이 적산전력량계에서 디스크 회전수의 차이가 발생하는 것을 알 수 있다. 전력소비량에 비례하여 회전하는 디스크를 기계적으로 계측하여 전력량을 산출하는 적산전력량계는 그림8에서와 같이 입력전원 전류 고조파 함유율의 차이에 의해 적산전력량이 다르기 때문에 회전수의 차이가 나타나는 것으로 사료된다.

4. 결 론

정현파 전력의 계측으로 설계된 기존의 적산전력량계는 고조파가 함유됨으로서 발생하는 전력량산출의 오차를 정확히 감안할 수 없었다. 본 논문에서는 다른 두 입력전원을 사용하여 동일한 소비전력 조건하에서 전력량계 회전수의 차이를 실험하였고, 회전수 차이에 의한 전력량 산출의 오차가 존재함을 알 수 있었다. 앞으로 다른 여러가지 조건에서의 실험이 이루어져야 하겠고, 다양한 고조파 함유율에 따라 발생하는 전력계측의 오차율을 줄이기 위한 연구가 진행되어야 할 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1]H.E.M. Barlow, "Travelling-field theory of induction-type instruments and motors", Proc. Inst. Elec. Eng., VOL.112, 1208-1214, June 1965.
- [2]R.R. Sherburne, "Driving torque equations for the watthour meter based on the ferraris principle", IEEE Trans., VOL.PAS-90, No.1, January/February 1971.