

거래용 전력량계의 적용과 동향 (2)

글 / 이창균

한국전력공사 거제지점 배전부장

전기는 생산·공급하는 전력회사와 사용·소비하는 수용가 사이에 전기사용량을 계량하여 요금을 부과하는 장치로 전력량계를 수용가에 부설하여 부하에서 소비하는 전기에너지를 측정하고 있다.

현재 전력거래용으로 사용하고 있는 전력량계는 대부분이 기계식으로 기능이 단순하기 때문에 수요조절, 부하조절, 공급조절 등의 목적으로 기능이 다양한 전자식 전력량계를 적용하게 되었으며, 또한 자동원격검침 시스템을 추진하고 있는 실정이다.

앞으로의 전력환경과 전력량계는 수요 우선 관점에서 통상 전기요금제도와 밀접한 관계를 가지고 있으며, 아울러 검침의 편리성이나 공정성과 관련해서 발달할 것이다.

본지에서는 전월에 이어 전력거래용으로 사용되고 있는 전력량계의 동작원리와 전력량계의 전자화 및 자동원격검침에 대하여 살펴보고자 한다.

III. 동작원리

III-1 유효전력량계

1. 단상 2선식

유도원판형 전력량계의 회전원판을 구동시켜 주는 구동토크는 전압코일과 전류코일에서 유기되는 자속에 의하여 원판을 통과하는 이동자계의 방향으로 상호작용에 따라 원판을 이동자계의 방향으로 회전하게 된다. 즉 전압코일에 전압을 인가하면 전압(V)보다 90°늦은 전압자속(ϕV)이 유기되고 전류코일에는 전류(I)와 동위상인 전류자속(ϕI)이 유기되며, 이들 자속은 그림 1과 같이 주기적으로 변화한다. 또한 원판의 제동은 영구자석에 의하며, 원판이 일정한 회전을 하기 위하여 구동토크와 제어토크가 같은 조건이 되어야 한다.

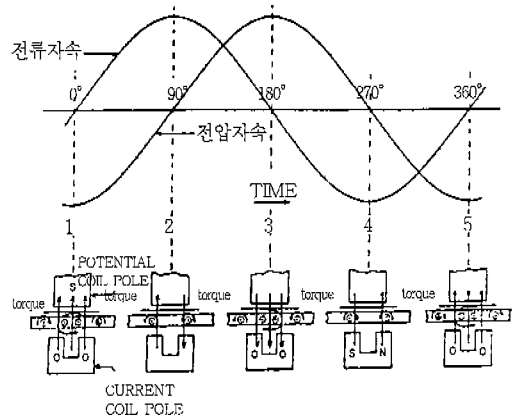
그림 2는 단상2선식 유효전력량계(WHM)의 접속관계 회로도 및 벡터도를 나타낸 것이다.

그림 2의 벡터도에서 구동토크(T_p)는 다음식으로 표시된다.

$$\begin{aligned} T_p &= \phi_v \phi_i \sin \alpha \\ &= \phi_v \phi_i \sin(90^\circ - \theta) \\ &= \phi_v \phi_i \cos \theta \end{aligned}$$

여기서,

$$\phi_v \propto V, \quad \phi_i \propto I$$



<그림 1> 전압 및 전류자속 파형

$$\therefore T_P = V \cdot I \cdot \cos\theta [W]$$

단, θ_v : 전압자속

θ_i : 전류자속

V : 전압 [V]

I : 전류 [A]

θ : 부하역률각

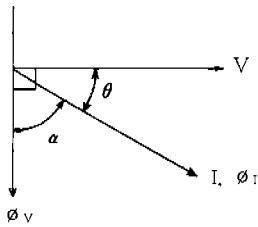
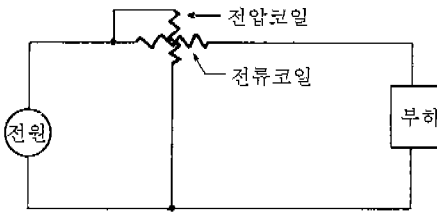
따라서 유효전력에 비례하는 구동토크를 발생함을 알 수 있다.

2. 3상 3선식

3상 3선식 회로에 사용되는 유효전력량계는 일반적으로 2개의 구동소자로 구성되어 있으며 그림 3의 회로도에서 키르히호프의 법칙을 이용하여 해석하면 다음식으로 표시된다.

$$(1) I_1 - I_{12} + I_{31} = 0 \quad \blacksquare \quad I_{12} = I_1 + I_{31}$$

$$(2) I_3 - I_{23} + I_{31} = 0 \quad \blacksquare \quad I_{23} = -I_3 + I_{31}$$



[그림 2] 단상 회로도 및 벡터도

$$(3) V_{12} - V_{23} + V_{31} = 0 \quad \blacksquare \quad V_{31} = -V_{12} - V_{23}$$

$$P_{12} = V_{12} \cdot I_{12} = V_{12} \cdot (I_1 + I_{31})$$

$$P_{23} = V_{23} \cdot I_{23} = V_{23} \cdot (I_3 + V_{31})$$

$$P_{31} = V_{31} \cdot I_{31} = V_{31} \cdot (I_1 + V_{23})$$

각 소자에 측정되는 전력은

$$P_1 = V_{12} \cdot I_1$$

$$P_2 = V_{23} \cdot I_3 = V_{23} \cdot I_3$$

따라서, 합성전력은 다음의 식으로 표시된다.

$$P_{\text{out}} = P_1 + P_2$$

3상 3선식 전력량계는 2개의 구동소자로 구성되어 있어 전력량계의 전력지시는 부하역률에 따라 각 소자별로 지시치가 변화하는데 그림 4와 같이 표시된다.

3상평형상태에서 측정되는 전력은 상부소자의 전력을 P_1 , 하부소자의 전력을 P_2 라 하면 다음과 같은 식으로 표시된다.

$$P_1 = V_{12} \cdot I_1 \cos(30^\circ + \theta)$$

$$P_2 = V_{23} \cdot I_3 \cos(30^\circ - \theta)$$

$$P = P_1 + P_2$$

$$= V_{12} \cdot I_1 \cos(30^\circ + \theta) + V_{23} \cdot I_3 \cos(30^\circ - \theta)$$

여기서, 3상이 평형상태라고 하면

$$V_{12} = V_{23} = V,$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = I$$

$$\therefore P = V I [\cos(30^\circ + \theta) + \cos(30^\circ - \theta)]$$

$$= \sqrt{3} VI \cos \theta [W]$$

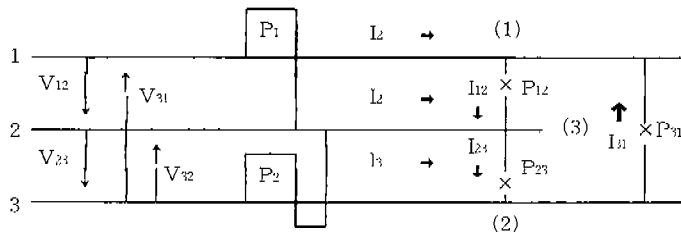
부하역률각(θ)의 변화에 따른 전력지시 변화를 살펴보면

$\theta < 60^\circ$ 인 경우 : P_1, P_2 모두 정회전

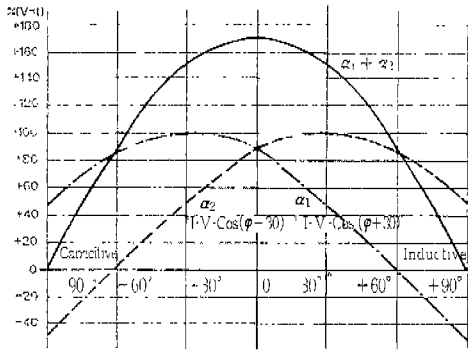
$\theta = 60^\circ$ 인 경우 : P_1 은 정지, P_2 는 정회전

$\theta > 60^\circ$ 인 경우 : P_1 은 역회전, P_2 는 정회전

그러나 진상역률이 되거나 역상순인 경우 P_1 과

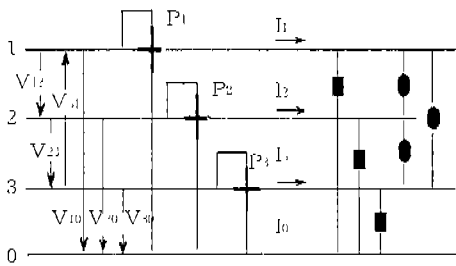


<그림 3> 3상3선 WHM 회로도

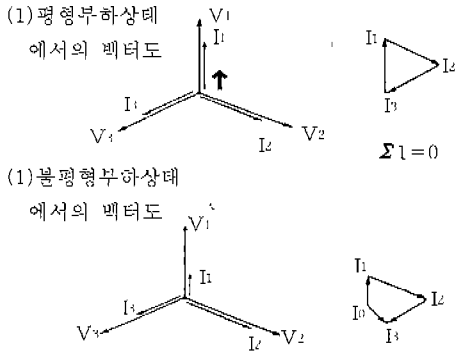


α = Wattmeter deflections (Wattmeter indications)
 * Phase displacement angle referred to $\tan \phi = \sqrt{3} \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\alpha_2 + \alpha_1}$ the symmetrical loading

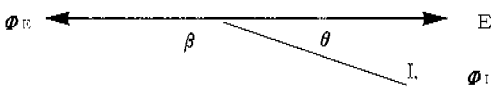
<그림 4> 역률각 변화에 따른 전력계의 지시



<그림 5> 3상4선식 회로도



<그림 11> 벡터도



<그림 12> 무효전력량계의 벡터도

P의 관계는 역으로 된다.

3 3상 4선식

3상4선식 회로는 중성선을 이용한 Y결선 방식으로 전력량계는 3개의 구동소자로 구성되어 있다. 다음의 그림 5은 계기회로의 접속도를 나타낸다.

$$P_1 = V_{10} I_1 = I_1 \cos \theta_1$$

$$P_2 = V_{20} I_2 = I_2 \cos \theta_2$$

$$P_3 = V_{30} I_3 = I_3 \cos \theta$$

따라서, 합성전력은

$$P_{tot} = P_1 + P_2 + P_3$$

$$= V_{10} I_1 \cos \theta_1 + V_{20} I_2 \cos \theta_2 + V_{30} I_3 \cos \theta$$

$$= 3 V I \cos \theta [W]$$

3상4선식 회로에서 부하상태가 평형 또는 불평형 일 경우에 따라 그림 6과 같은 벡터도로 표시된다.

11-2 무효전력량계

무효전력량계는 수용가의 부하역률을 산출하기 위하여 사용되며, 무효전력 자체가 전기요금 산정의 대상이 되는 것은 아니다. 구동원리는 소자의 내부위상각을 몇가지 형식으로 조정하여 유효전력량계와 다르다. 표 1은 무효전력량계의 내부소자 구성방식 및 내부접속도를 사용회로별로 표시한 것이다.

1. 단상2선식

무효전력량계는 그림 12의 벡터도와 같이 전압과 전압자속의 위상차를 180°로 조정하여 무효전력에 비례하는 구동토크를 발생시키고 있으며, 다음과 같은 식으로 표시된다.

$$Tq = \phi \cdot \phi_1 \sin \beta$$

$$= \phi_E \cdot \phi_1 \sin(180^\circ - \theta)$$

$$= \phi_E \cdot \phi_1 \sin \theta$$

$$Tq = VI \sin \theta [VAR]$$

2. 3상3선식

$$Q_1 = E_{L1} I_1 \sin [180^\circ - (30^\circ + \theta)]$$

$$Q_2 = E_{L2} I_2 \sin [180^\circ + (30^\circ - \theta)]$$

$$Q = Q_1 + Q_2$$

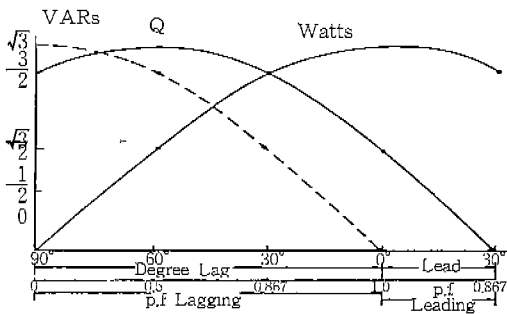
$$= V I [\sin(30^\circ + \theta) - \sin(30^\circ - \theta)]$$

$$Q = \sqrt{3} VI \sin \theta [VAR]$$

<표 10> 구성방식 및 내부접속도

* KSC 1206

사용회로 및 내부위상각	내부 접속도	사용회로 및 내부위상각	내부 접속도
3상3선식 (180° 지전류용) (0° 진전류용)		3상4선식 (60° 지전류용) (-120° 진전류용)	
3상4선식 (180° 지전류용) (0° 진전류용)		3상3선식 (120° 지전류용) (-60° 진전류용)	
3상3선식 (60° 지전류용) (-120° 진전류용)		3상4선식 (120° 지전류용) (-60° 진전류용)	
3상3선식 (90° 지전류용) (-90° 진전류용)		3상3선식 (90° 지전류용) (-90° 진전류용)	
3상3선식 (90° 지전류용) 3상4선식 (-90° 진전류용)		3상3선식 (90° 지전류용) (-90° 진전류용)	
3상3선식 (90° 지전류용) (-90° 진전류용)		3상4선식 (90° 지전류용) (-90° 진전류용)	



<그림 8> Q-Hour Meter의 전력측정값

3. 3상4선식

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= [E_{a1}I_1 \cos [(90^\circ - \theta)]] \\
 Q_2 &= [E_{a2}I_2 \cos [(90^\circ - \theta)]] \\
 Q_3 &= [E_{a3}I_3 \cos [(90^\circ - \theta)]] \\
 Q &= Q_1 + Q_2 + Q_3 \\
 &= [E_{a1}I_1 \cos [(90^\circ - \theta)]] \\
 &\quad + [E_{a2}I_2 \cos [(90^\circ - \theta)]] \\
 &\quad + [E_{a3}I_3 \cos [(90^\circ - \theta)]] \\
 Q &= 3VI \sin \theta \text{ [VAR]}
 \end{aligned}$$

4. 무효전력량계의 역회전 방지

기계식 무효전력량계는 방향성이 없기 때문에 부하역률이 지상(遲相)일 때 정회전하고, 진상(進相)으로 되면 계기원판이 역회전하는 구동토크를 발생하게 되므로 이를 방지하기 위하여 역회전 방지장치가 부착되어 있다.

그림 13은 역률의 변화에 따른 진상무효전력 및 지상무효전력을 동시에 측정할 수 있는 Q-Hour Meter의 측정값을 나타낸 것으로 우리나라에서는 사용하고 있지 않는 방식이다.

IV. 검정 및 시험

IV-1 검정

1. 검정유효기간

전력량계의 검정에 관련된 사항은 계량법에 근거하여 검정공차와 사용공차범위를 정하여 적용하

<표 11> 전력량계의 검정유효기간 변천

구 분	'77. 7 이전	'77. 7 개정	'82. 4 개정	87. 8 개정	
보통전력량계(Ⅲ형이하)	5년	7년	7년	7년	
보통전력량계(Ⅳ형)					15년
정밀전력량계	3년	3년	5년	7년	
특별정밀전력량계	3년	3년	5년	7년	
무효전력량계	3년	3년	5년	-	
계기용변성기	-	-	10년		

<표 12> 보통전력량계(Ⅲ형 단독계기)

*KSC 1208

부하전류(정격전류에 대한 비)	역 률	허 용 한 도 (%)
1/30 ~ 1/1	1	±2.0
1/15 ~ 1/1	0.5(지전류)	±2.5

<표 13> 보통전력량계(Ⅳ형 단독계기)

*KSC 1212

부하전류(정격전류에 대한 비)	역 률	허 용 한 도 (%)
1/40 ~ 1/1	1	±2.0
1/20 ~ 1/1	0.5(지전류)	±2.5

<표 14> 변성기부 전력량계

*KSC 12107

계기의 종류	부하전류 (정격전류에 대한 비)	역 률	허 용 한 도 (%)	
			정 상 순	역 상 순
보 통 계 기	1/20 ~ 6/5	1	±2.0	±2.0
	1/10 ~ 6/5	0.5(지전류)	±2.5	±2.5
정 밀 계 기	1/20	1	±1.5	±1.5
	1/10 ~ 1/5	1	±1.0	±1.5
	35/100 ~ 6/5	1	±1.0	±1.0
	1/10	0.5(지전류)	±1.5	±2.0
	1/5	0.5(지전류)	±1.0	±1.5
특 별 정 밀 계 기	1/2 ~ 6/5	0.5(지전류)	±1.0	±1.0
	1/40	1	±1.25	±1.25
	1/20	1	±0.75	±0.75
	1/10 ~ 6/5	1	±0.5	±0.5
	1/10	0.5(지전류)	±0.75	±0.75
	1/5 ~ 6/5	0.5(지전류)	±0.5	±0.5

고 있으며, 표 2는 검정유효기간의 변천사를 표시 하였다.

- 검정근거 : 계량법 제28조(검정유효기간) 및 계량법시행령 제25조(검정을 받아야 할 계량기의 종류)
- 검정공차 : 계량법시행령 제27조(검정공차)에 따라 한국공업규격 적용
- 사용공차 : 계량법시행령 제37조(사용공차)에

따라 전기공급규정

제81조(전기계기의 오차율)에 규정

2. 오차허용한도

전력량계의 검정에 필요한 오차허용한도는 표 12에서부터 표 14까지 부하전류와 역률에 따라 전력량계 형식별로 구분되어 있다.

▶ 다음호에 계속됩니다