

高感度 三相力率計 및 三相力率繼電器에 관한 研究

朴 正 后*

Study on the High Sensitive Three Phase Power Factor Meter and Relay

Chung-hoo PARK*

The author designed and tested the high sensitive three-phase power factor meter and relay circuit, and dealt with the circuit to detect the phase of the current and the voltage.

An operational amplifier comparator circuit and two single-phase transformers are used to control and detect the phase angle between the current and the voltage.

The results obtained are as follows:

1. Converting the sine wave input current into the constant amplitude rectangular wave form by using a transistor chopper circuit, the power factor can be measured precisely over the load current of 0.08 A.
2. Using the moving coil type current meter, the power factor meter can be read in uniform scale all over the range.
3. Using the three-phase power factor meter, the power factor relay which works at any power factor can be made.

序 論

電力의 면에서 力率, 位相角 혹은 無効電力의 수치는 중요한 요소로써, 이들의 정밀한 검출을 행함으로써 병렬운전하는 두 發電機의 脫調防止, 發電機의 自動力率調整, 自動無効電力調整, 電氣機械의 보호 및 경보등에 응용할 수 있는 수단이 될 수 있다.

특히 역율이 어떤 값이될 때 繼電器를 동작시켜 發電機 혹은 送電線路의 수전단부하의 상태 및 潮流의 감시, 경보에도 이 역율의 정밀 검출은 중요한 문제가 된다. 역율 검출에서의 位相 檢出의 방법으로 주로 R-C 移相回路를 사용하지만 이 방법은 삼상 전원에서 나타나는 입력파형의 찌그러짐이나 주파수 변화에 영

향을 받으며, 임피던스가 커서 큰 부하전류를 취할 경우 오차가 나타난다는 단점이 있다.

본 실험에서는 삼상회로의 역율 검출의 경우 R-C 移相回路 대신에 변압기 결선에 의한 位相검출을 행하여 삼상역율을 정밀 측정할 수 있는 방법을 제안하였고, 임의 역율에 동작하는 力率 繼電器回路를 구성함으로써 그 응용범위를 확대하였다.

裝置 및 方法

본 실험에서 T_1 , T_2 의 두대의 단상변압기 및 트랜지스터 초피회로를 사용한 역율 검출회로 및 계전기 동작회로는 Fig. 1과 같고, Fig. 2는 실험장치이다.

* 釜山水産大學, National Fisheries University of Busan

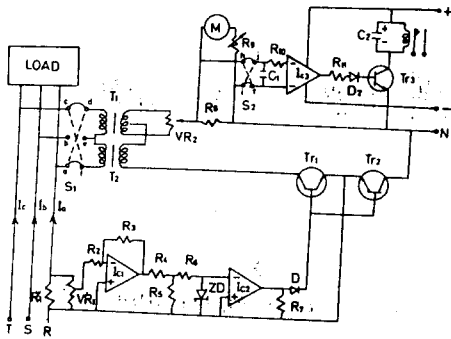


Fig. 1. Suggested three phase power factor meter and relay circuit.

- $R_1 : 0.05\Omega$
- $R_2 : 1K\Omega$
- $R_3-R_7 : 100K\Omega$
- $R_8-R_{11} : 10K\Omega$
- $VR_{1,2} : 10K\Omega$
- $IC_1-IC_3 : \mu a741$
- $C_1 : 200F/16V$
- $C_2 : 10F/16V$
- $T_1 : 210V/14V$
- $T_2 : 210V/10V$
- $D_1, D_2 : 1A$
- Relay : DC12V, National
- M : Moving coil type (FS 1 μ A)

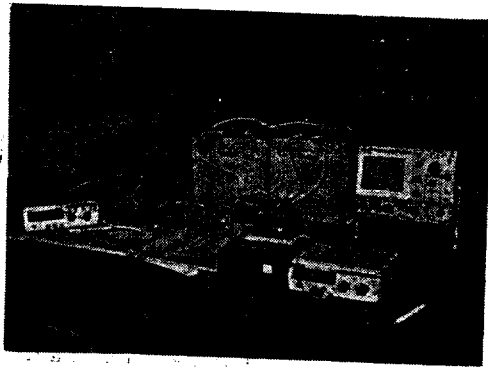


Fig. 2. Experimental apparatus.

1. 移相回路的構成 및 動作原理

a. 力率計測用 移相回路

본 실험중 역률 측정회로에서 제안된 移相回路的 구성은 Fig.3과 같다.

일반적으로 多相交流의 전력은 各相의 전력을 單相배와 같이 계산하고, 그 총합을 구하면 된다. 즉 Δ 결선 및 Y 결선의 구별없이 各相의 電壓이 \dot{V}_s , 電流가 \dot{I}_s 이고 \dot{V}_s 와 \dot{I}_s 의 位相差가 θ_s 이면 n 相의 전력은

$$P = \sum_{s=1}^n \dot{V}_s \dot{I}_s \cos \theta_s, \quad (\text{단, } n=1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

로 구할 수 있다. 또 n 相 대칭 電원에 平衡負荷가 연결된 n 相 平衡回路에서는

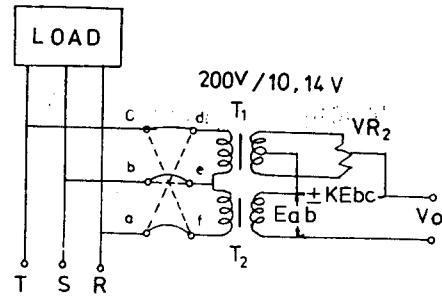


Fig. 3. Transformer phase shift circuit.

The voltage can be expressed as,

$$\dot{V}_o = \dot{E}_{ab} + k\dot{E}_{bc}, \text{ at the arc line connection}$$

$$\dot{V}_o = \dot{E}_{bc} + k\dot{E}_{ab}, \text{ at the dotted line connection}$$

$$P = nV_p I_p \cos \theta_p \quad \dots \dots \dots (2)$$

단, \dot{V}_p, \dot{I}_p 는 1相의 電壓 및 電流

로 된다.

다음에 3相 平衡回路的 線間電壓을 \dot{V}_l , 線電流를 \dot{I}_l 이라고 하면 Δ 결선 및 Y 결선의 구별없이 三相전력 P 는

$$P = \sqrt{3} V_l I_l \cos \theta_p \quad \dots \dots \dots (3)$$

로 된다. 여기서 三相 역율은 $\cos \theta_p$ 를 의미하며, 이 값은 相電壓과 相電流사이의 位相差 θ_p 에 \cos 을 취한 값이다. 그러므로 三相역율을 측정하기 위해서는 θ_p 를 구하지 않으면 안된다.

Fig.3은 三相電원의 線間電壓을 이용하여 三相電壓과 같은 位相을 갖는 電壓을 취할 수 있는 회로로서 이 회로의 電壓도는 Fig.4(a)와 같다.

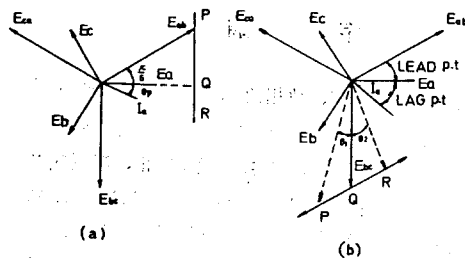


Fig. 4. Vector diagram of Fig.3.

Fig.4에서 알 수 있듯이 線間電壓 \dot{E}_{ab} 과 線間電壓 \dot{E}_{bc} 의 成分 $k\dot{E}_{bc}$ 를 合成한 電壓 \dot{V}_o 의 電壓도는 P점에서 Q점을 거쳐 R점에 이르는 직선이 됨을 알 수 있다. 이때 線間電壓 \dot{E}_{ab} 과 같은 位相을 갖는 合成電壓 \dot{V}_o 는 Q점에 위치할 때 임을 알 수 있고, 이 점을 취할 때의 k 값은 平衡 三相인 경우

$$k = \sin 30 = \frac{1}{2} \dots\dots\dots(4)$$

로 된다. 이때 합성전압 \dot{V}_0 를 수식적으로 계산하면 다음과 같이 된다.

즉, Fig. 4에서와 같이 상전압 \dot{E}_a 를 기준벡터로 취하고 평형 삼상전압의 선간전압 \dot{E}_{ab} 및 \dot{E}_{bc} 의 최대치를 E_m 이라고 하면

$$\dot{E}_a = \frac{1}{\sqrt{3}} E_m \sin \omega t \dots\dots\dots(5)$$

$$\dot{E}_{ab} = E_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{6} \right) \dots\dots\dots(6)$$

$$\dot{E}_{bc} = E_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \dots\dots\dots(7)$$

로 되므로 합성전압 \dot{V}_0 는

$$\begin{aligned} \dot{V}_0 &= \dot{E}_{ab} + k\dot{E}_{bc} \\ &= E_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{6} \right) + \frac{1}{2} E_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \\ &= \frac{\sqrt{3}}{2} E_m \sin \omega t \dots\dots\dots(8) \end{aligned}$$

로 된다. 결과적으로 (5)식과 (8)식을 비교해 보면 합성電壓 \dot{V}_0 는 상전압 \dot{E}_a 와 同位相이고 상전압 크기의 1.5배가 됨을 알 수 있다.

b. 力率繼電器의 移相回路 및 動作原理

역률 계전기 동작회로에 적용된 移相回路는 Fig. 2에서 c-f, b-e, a-d 로 접속한 경우로써 이 경우의 벡터도는 Fig. 4(b)와 같다.

Fig. 4(b)에서 알 수 있듯이 이 경우 출력 \dot{V}_0 는 \dot{E}_{bc} 의 전압에 $\pm k\dot{E}_{ab}$ 의 전압을 합성하여 얻어지며, \dot{V}_0 의 크기는 k 값의 변화에 따라 P, Q, R의 직선상에 존재한다. 역률 100%의 경우 \dot{I}_a 는 상전압 \dot{E}_a 와 동위상이며 이 線電流 \dot{I}_a 는 Q점에서의 합成電壓 \dot{V}_0 (이 경우 \dot{E}_{bc} 자신)와는 정확히 90도의 위상차를 갖게 된다. 만일 \dot{V}_0 가 P점에 위치할 경우는, \dot{I}_a 가 θ_1 의 지연을 취할 경우 \dot{V}_0 와 \dot{I}_a 가 90도의 위상차를 갖게 되며, \dot{V}_0 가 R점에 위치할 경우는 지연을 θ_2 에서 \dot{V}_0 와 \dot{I}_a 가 90도의 위상차를 갖게 된다.

2. 演算增幅器의 回路 및 高感度電壓繼電器 回路

일반적으로 연산증폭기는 그 자신 單體로서도 數千~數萬倍의 전압 증폭율을 가지고 있는 것이 보통이다. Fig. 5(a)는 연산증폭기 회로로써 일반적으로 R_2 즉 피드백 저항을 사용하여 목적하는 배의 증폭율을 정확하게 하고 입력과 출력의 비를 어떤 범위에서는 극선적으로 비례하게 할 수 있다.

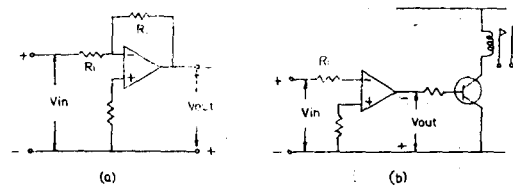


Fig. 5. Operational amplifier circuit.
(a) Inverting operational amplifier circuit
(b) Zero detecting operational amplifier and relay circuit

본 실험에서는 $R_1 = 1K\Omega$, $R_2 = 100K\Omega$ 이므로 증폭도 A 는

$$A = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2}{R_1} = 1000$$

으로 된다. 그러나 繼電器 증폭회로의 경우에는 간단히 안정된 고증폭율의 증폭기이지만 하면 목적을 달성할 수 있기 때문에, Fig. 5(a)에서와 같은 피드백 저항 R_2 를 없애고 Fig. 5(b)와 같이 연산증폭기 자신의 수만배의 증폭율을 그대로 사용할 수 있는 방법을 취하여, 미소 입력전압에도 정확히 동작할 수 있는 고감도 계전기를 형성하였다. 본 실험회로 Fig. 1에서 IC_3 는 이 목적으로 사용된 것으로 스위치 S_1 이 c-f, b-e, a-d로 연결되고, S_2 로 1-1, 2-2이 연결되게 했을 경우 이 회로의 R_0 에서의 출력전압은 C_1 을 거치면 평균치가 구해지고 1절b항에서 논한 바와 같이 Fig. 4(b)의 移相回路의 Q점인 경우 합성전압 \dot{V}_0 와 선전류 \dot{I}_a 는 90도의 位相을 취하게 되며 이 경우는 다음절에서의 설명과 같이, 연산증폭기 IC_3 의 출력단자 6번 점은 전압이 0이고 이 점을 중심으로하여 전역율(이 경우 용량성부하임)이 되면 +포화전압이 되고, 지역율(유도성부하인 경우임)이 되면 -포화전압이 된다. 결과적으로 6번단자가 +인 때 트랜지스터의 베이스에 전류가 흐르고 계전기가 동작한다. 다시 말하면 용량성부하에서 계전기가 ON되고 유도성부하에 대하여 OFF한다. 만약 스위치 S_1 를 1-1, 2-2과 같이 연결하면 위와는 반대로 용량성부하에서 OFF되고 유도성부하에서 ON하게 된다. 만일 임의 역률(일반적으로는 70~100%역률의 범위임)에서 계전기를 동작시키려면 Fig. 4(b)에서 논한 것과 같이 합성전압 \dot{V}_0 을 P혹은 R점 등으로 이동시킴으로써 가능하며 P점을 취할 경우는 선전류 \dot{I}_a 가 지역율각 θ_1 일때 \dot{V}_0 와 90도 위상차를 갖게 되므로 이때 계전기가 동작하며 R점인 경우는 \dot{I}_a 가 지역율각 θ_2 인 때 \dot{V}_0 와 90도 위상차를 갖게 되므로 전역율각 θ_2 인 때 계전기가 동작을 하게 된다.

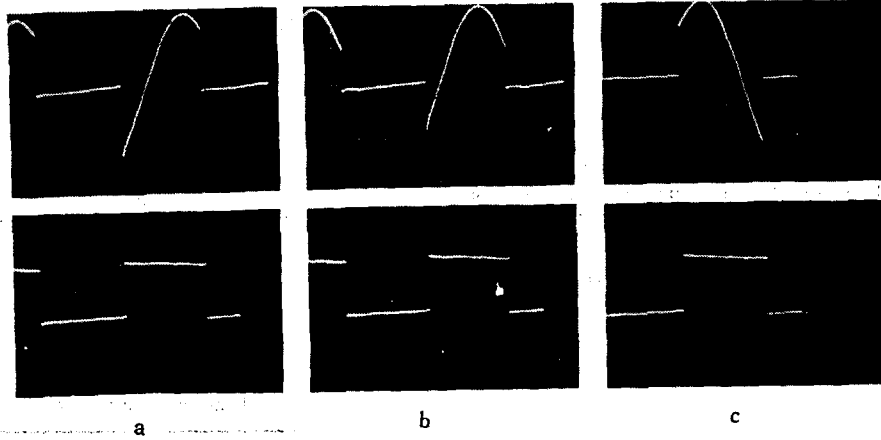


Fig. 8. Input current wave form (square wave form) and output voltage wave form (sine wave form) at each Lot. No.
 (a) Lot. No. 2 (b) Lot. No. 3 (c) Lot. No. 7

차 증가하게 된다. 역율 1인 경우 (순저항부하) 파형은 완전히 1상한으로 이동하여 정현반파를 형성하며 역율계의 지시도 1이 된다.

Lot. No. 7은 삼상 유도전동기 부하로써 한 상의 부하가 R-L로 형성되며 지역율 값이 0.58인 경우이다. 이 경우는 파형이 2상한과 4상한에 걸쳐 있게 되며 역율 1인 경우 4상한에 정현반파를 형성하며 역율계의 지시도 1이 된다.

표 2에서 알 수 있는 바와같이 부하전류값, 전역율 및 지역율에 관계없이 역율계산치와 실측치가 잘 일치함을 알 수 있고 특히 1.4이하의 부하전류에도 잘 일치함을 알 수 있다.

한편 임의 역율에서 동작하는 삼상 역율계전기 회로 시험은 Fig. 1에서 스위치 S_1 이 c-f, b-e, a-f로 연결되고 스위치 S_2 가 1-1, 2-2, 3-3이거나 1-2, 2-3으로 연결하였으며 본 실험에서 사용된 계전기는 DC 12V용으로써 계전기의 感動電壓은 각각 7~8V였고 입력코일의 저항은 500Ω으로써 코일에 흐르는 전류 I_V 는 12V때

$$I_V = \frac{12}{500} = 24(mA)$$

였다. 感動電流 I_i 는

$$I_i = 24 \times \frac{8}{12} = 16(mA)$$

가 된다.

한편, 계전기의 保持電壓은 6V로써 8(V), 16mA에서 동작하여 6V, 12mA에서 복귀한다. 임의 역율에 대하여 계전기를 동작시킬 수 있는 범위는

Fig. 1에서, 변압기 T_1 의 2차전압이 14V, T_2 의 2차전압이 10V인 경우 VR_2 를 조정하며 전역율자 최대값은 43도, 지역율자 최대값은 25도였으며 정해진 역율값에서 연산증폭기 IC_3 가 正의 포화 최대전압 혹은 負의 포화 최대값을 나타내므로 계전기는 정확히 ON, OFF가 됨을 알 수 있었다. 이 경우의 메타 M의 지시는 계전기 동작의 유무를 지시할 수 있으며 실제 역율값은 되지 않는다.

要 約

본 실험장치에 관한 이상의 이론과 실험결과 및 고찰을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 정현파 입력전류파형을 연산증폭기로써 일정 진폭의 矩形波로 변환시켜 트랜지스터회로에 적용 시킴으로써 3상부하전류 0.08A 이상의 역율의 정밀측정이 가능하다.

2. 영구자석가동코일형 리류전류계로써 출력파형의 평균치를 얻음으로써 삼상회로의 전역율이나 지역율에 관계없이 역율 0~1의 전범위에 걸쳐 평등능급으로 직독할 수 있다.

3. 출력저항에서 삼상 역율계전기회로를 도입하여 임의 역율에서 계전기를 동작케 함으로써 전기기계의 자동제어, 보호, 경보등의 회로에 쉽게 응용할 수 있다.

文 献

- 1) Budack. A (1974): Passive and Active Network Analysis and Synthesis, Houghton Mifflin Co. 265-267.
- 2) Millman and Halkias (1972) : Integrated Electronics, Mcgraw-Hill, 568-570.
- 3) Millman and Taub (1965) : Pulse Digital and Switching Waveforms, Mcgraw-Hill, 647-658.
- 4) 木下降博(1960): 電氣磁氣測定, OHM社, 46-49.
- 5) 朴正后(1979) : 高感度單相力率計의 設計 및 試作, 어업기술 15(2) 55-59.