

電力量測基礎



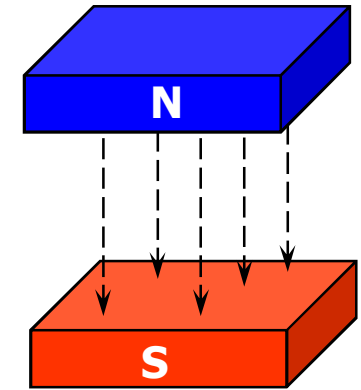
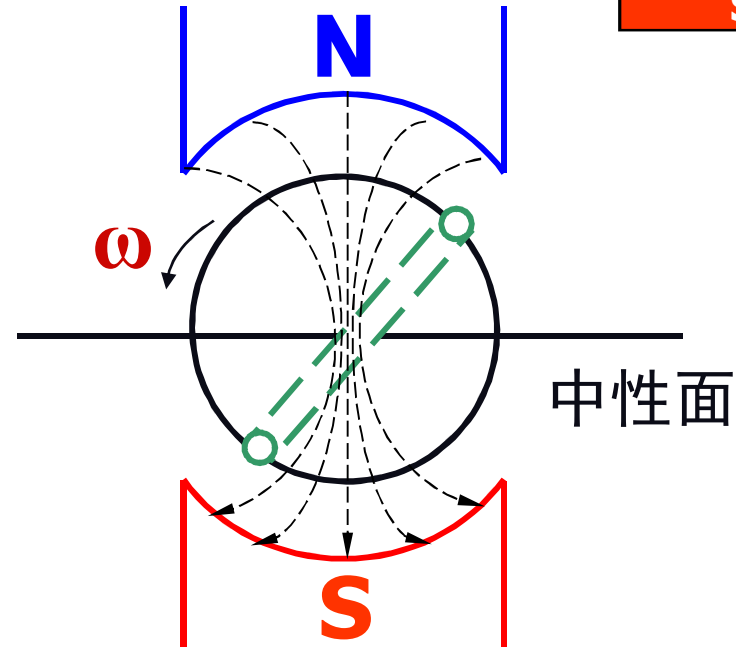
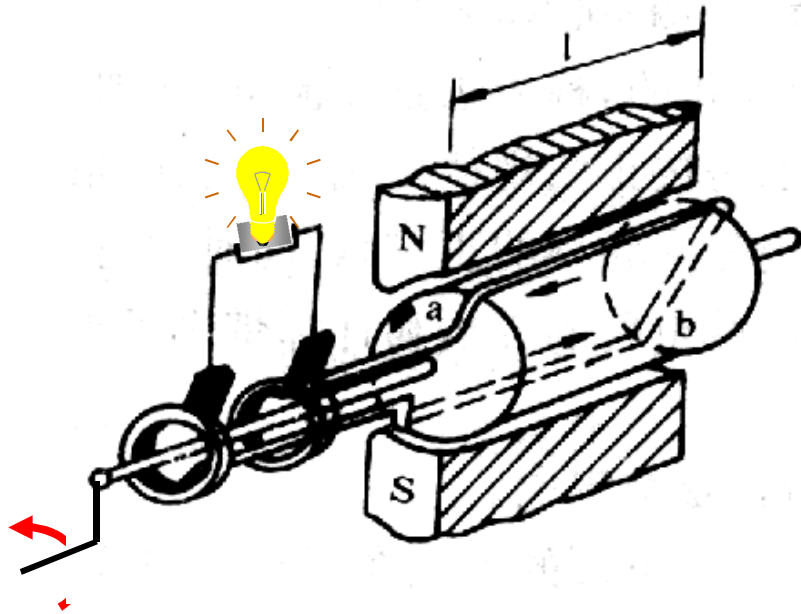
泰克科技 (中國) 有限公司
行業渠道開發經理 陳鑫磊
電話：13816606936



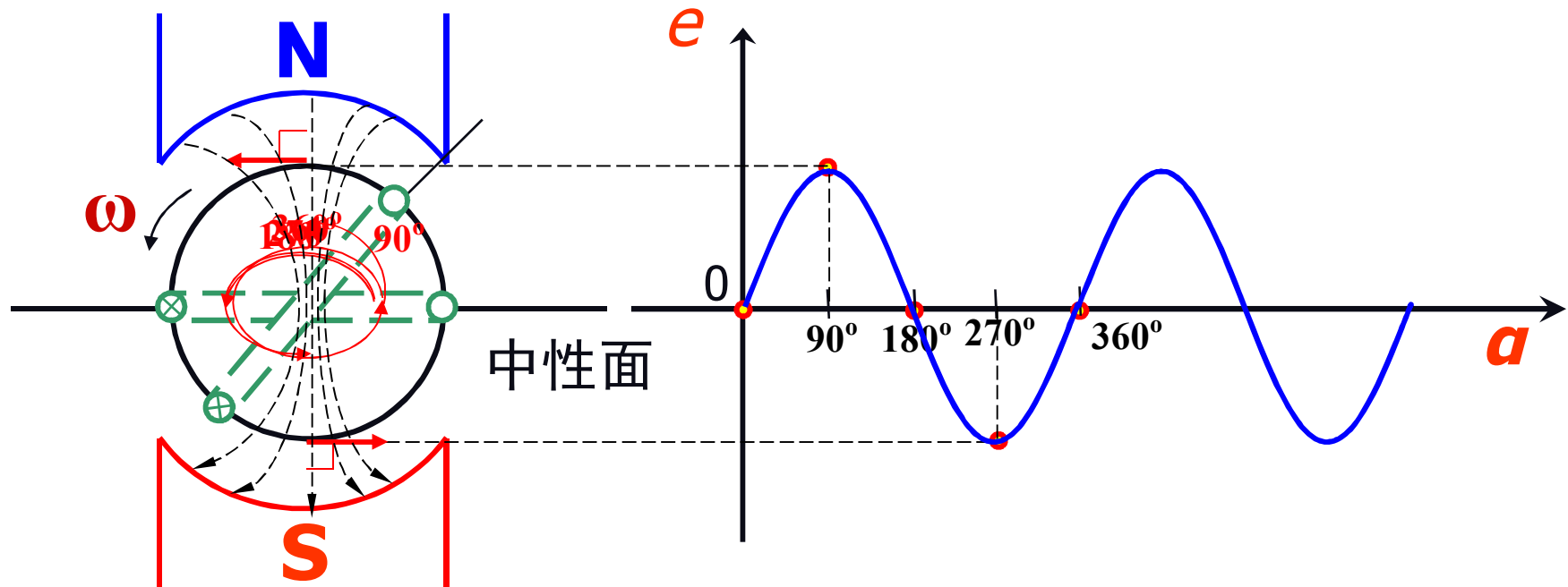
內容摘要

1. 交流電基礎知識
2. 功率錶量測原理
3. 三相與多相交流電

單相正弦交流電的產生

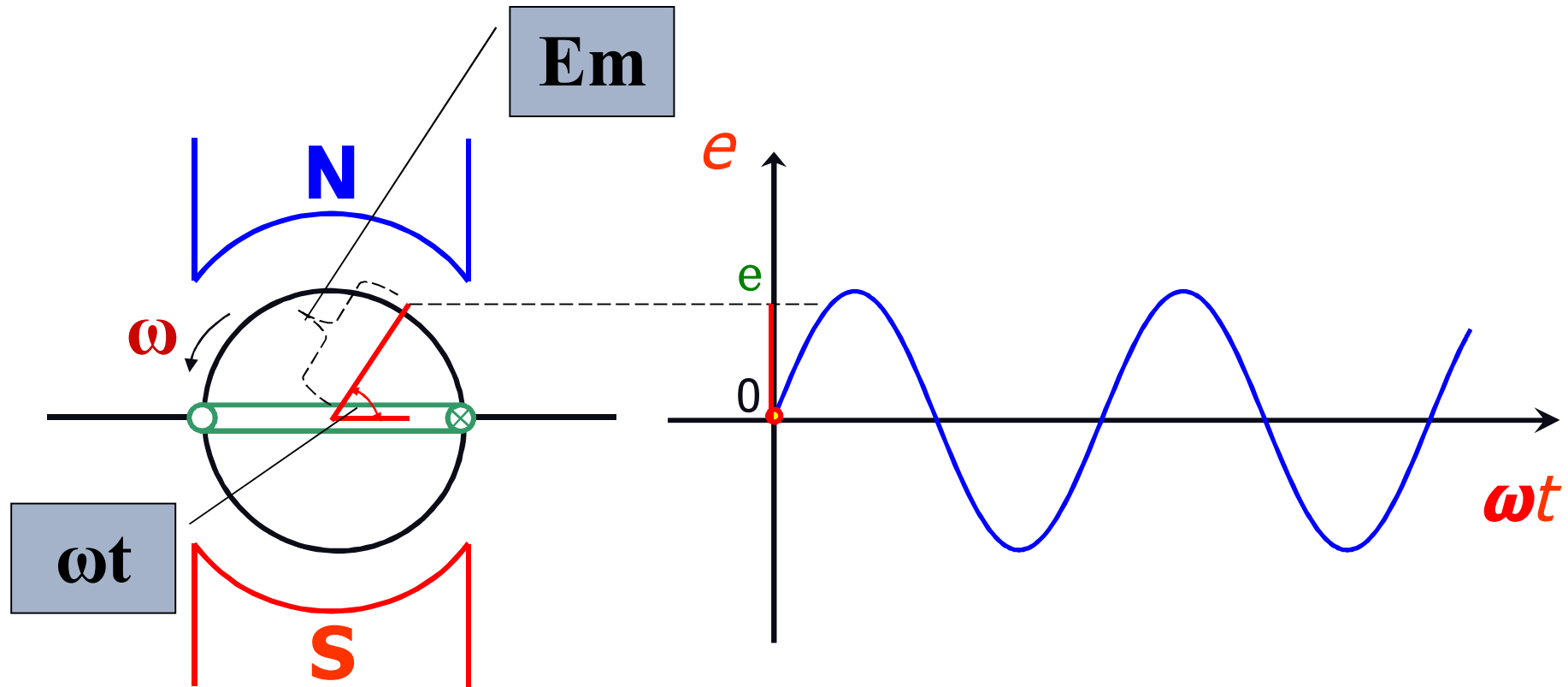


單相正弦交流電的產生



◆ 波形按正弦規律變化的交流電。

單相正弦交流電的產生



$$\frac{e}{E_m} = \sin \omega t$$

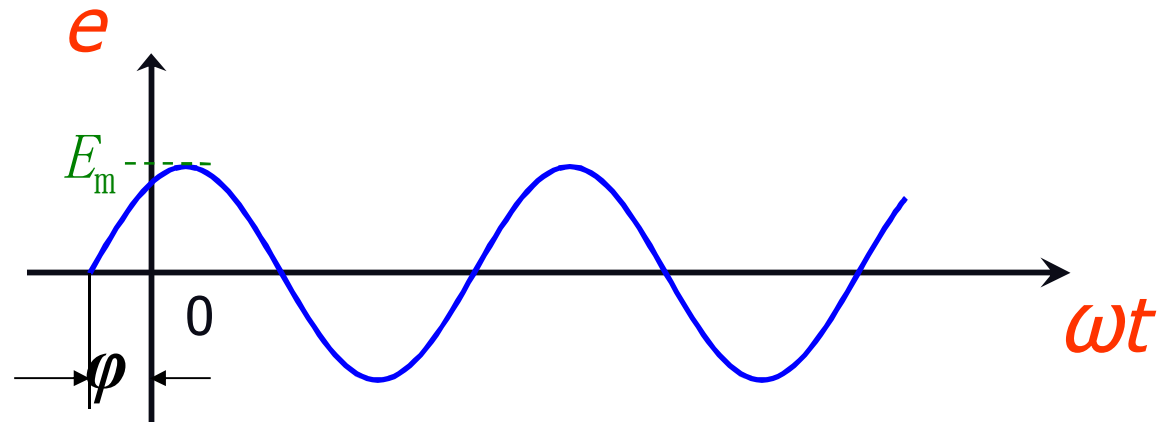
$$\diamond e = E_m \sin \omega t$$

交流電的三要素

正弦交流電三個要素：最大值、角頻率和初相位。

$$e = E_m \sin(\omega t + \varphi)$$

- e ：瞬間值
- E_m ：最大值
- ωt ：角頻率
- φ ：初相位



三要素1 — 瞬間值和最大值 (初相位為 0)

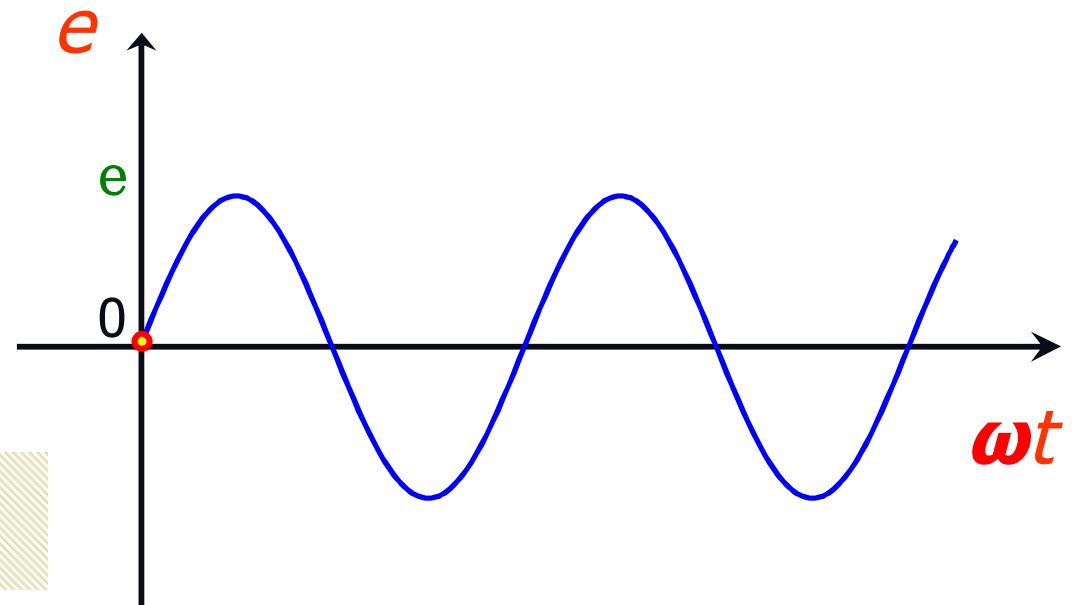
$$e = E_m \sin \omega t$$

瞬間值

最大值

◆ 瞬間值：e, i, u

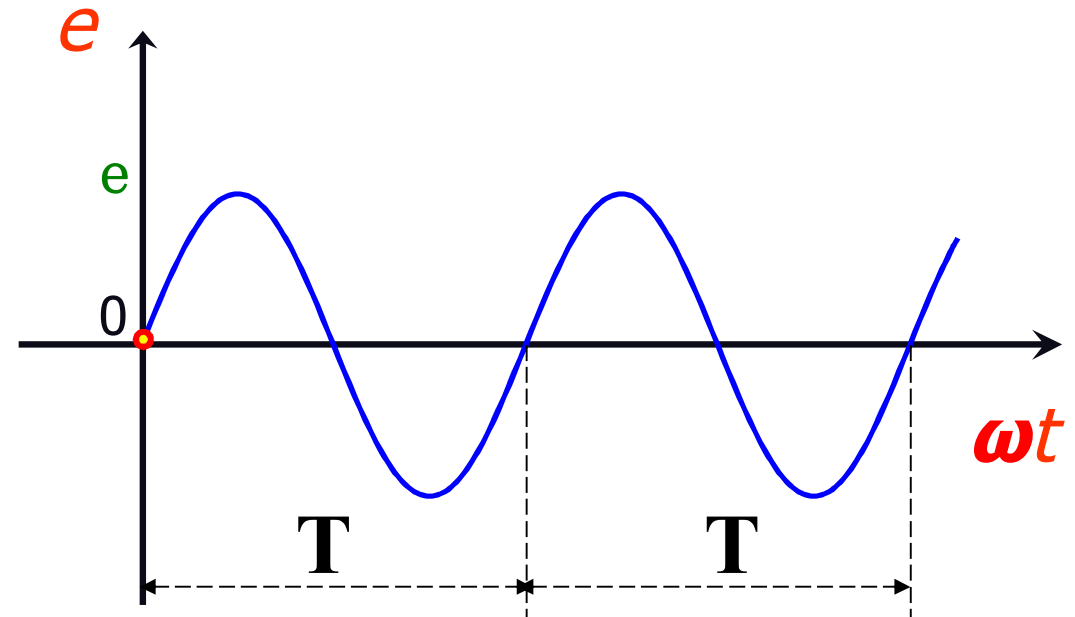
◆ 最大值：E_m, I_m, U_m



三要素 2 — 周期、頻率、角頻率

周期

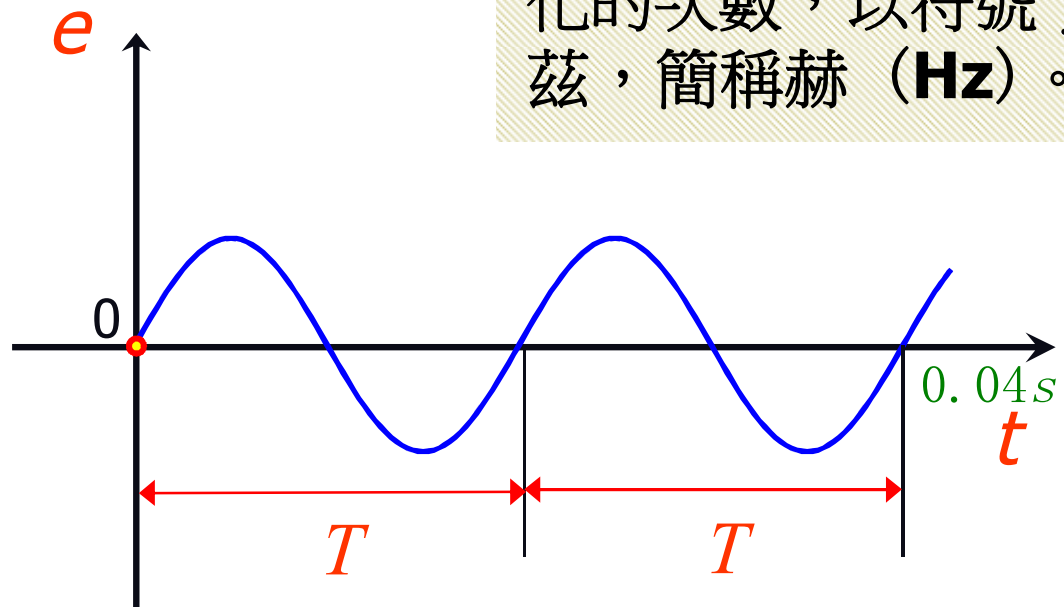
交流電每循環一次所需要的時間稱為周期。
周期以符號 T 表示，單位是 (s)。



三要素2—周期、頻率、角頻率

頻 率

◆ 頻率係指交流電在一秒鐘內重複變化的次數，以符號 f 表示，單位是赫茲，簡稱赫 (**Hz**)。



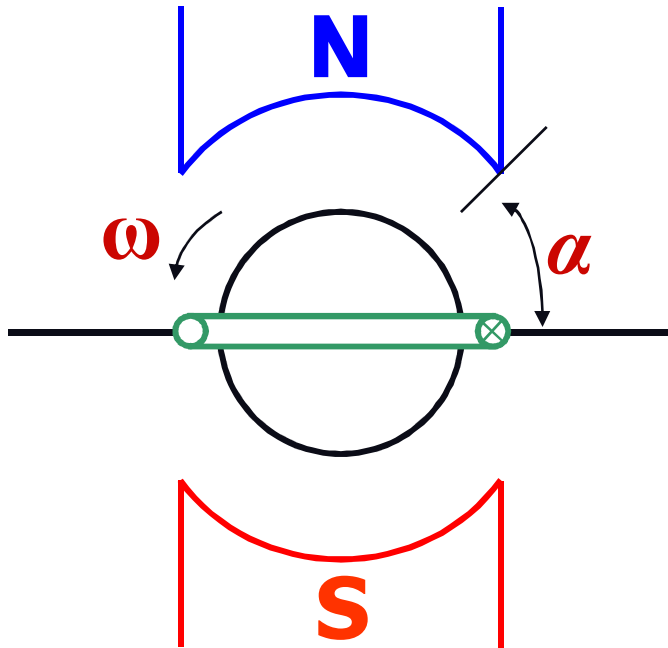
◆ $f = 50\text{Hz}$

◆ $T = 0.02\text{s}$

$$f = \frac{1}{T}$$

三要素 2 — 周期、頻率、角頻率

角頻率



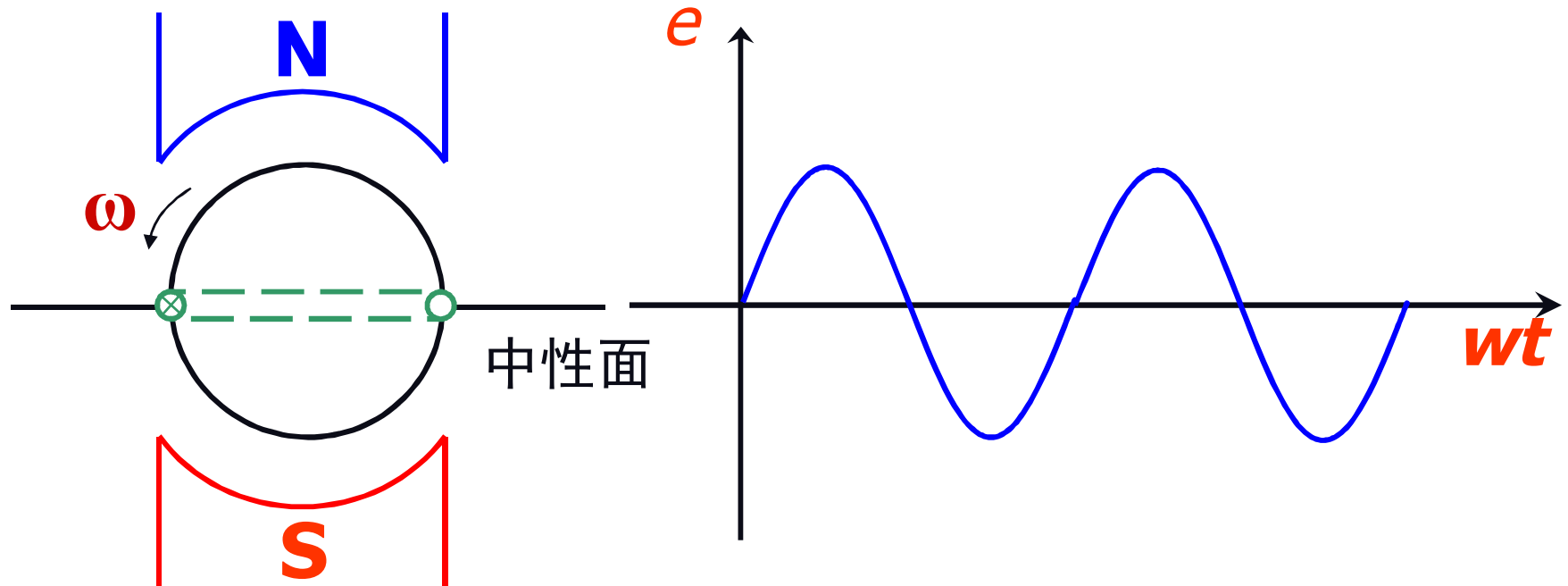
◆ 角速度 ω 。

◆ 單位是弧度/秒。

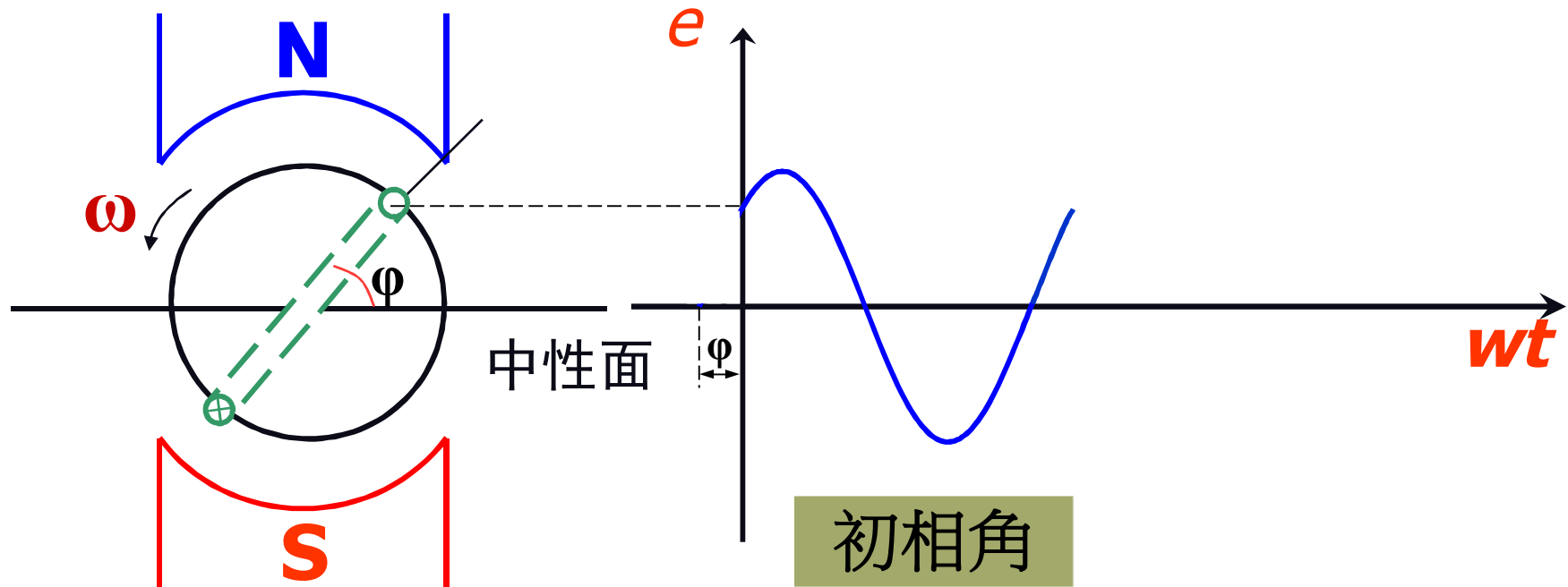
$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

◆ 角頻率：
係指每秒鐘內交流電變化的角度。

三要素 — 相位



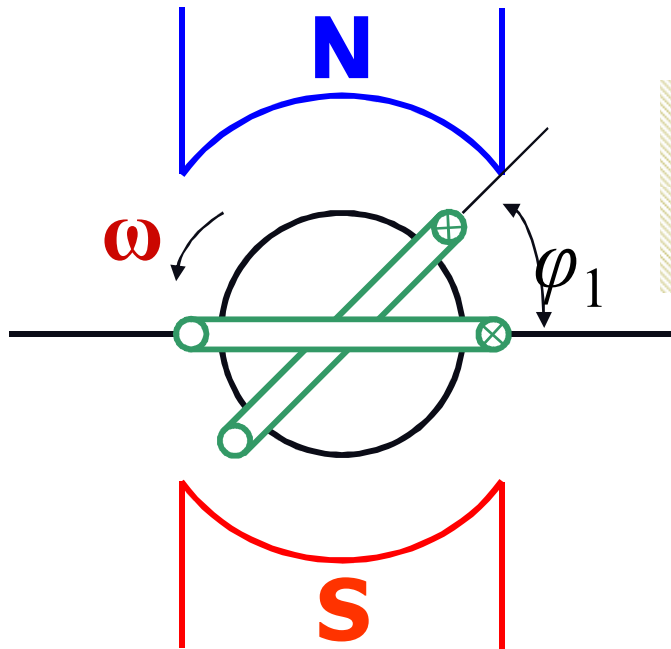
三要素 3 — 初相位



◆ 當 $t=0$ 時，角度等於 ϕ ，則 ϕ 稱為初相（角）。

三要素 3 - 相位

相 位



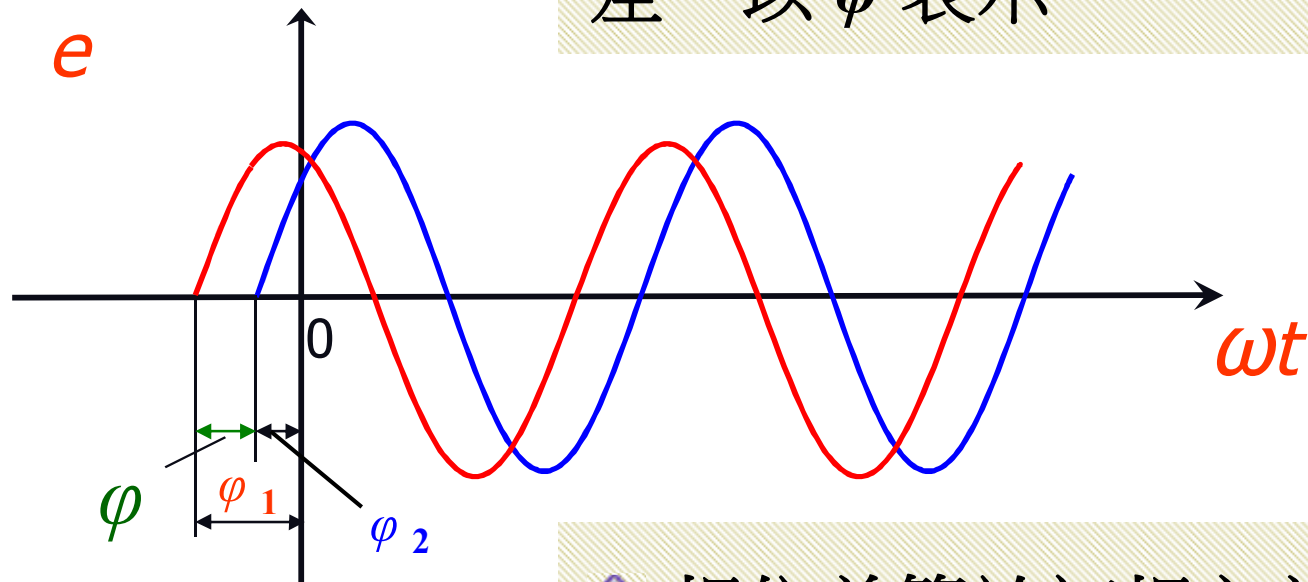
$$e = E_m \sin(\omega t + \varphi_1)$$

$(\omega t + \varphi_1)$ 稱為該交流電的相位。

三要素 3 — 相位差

相位差

◆ 兩個同頻率交流電的相位之差，以 φ 表示。

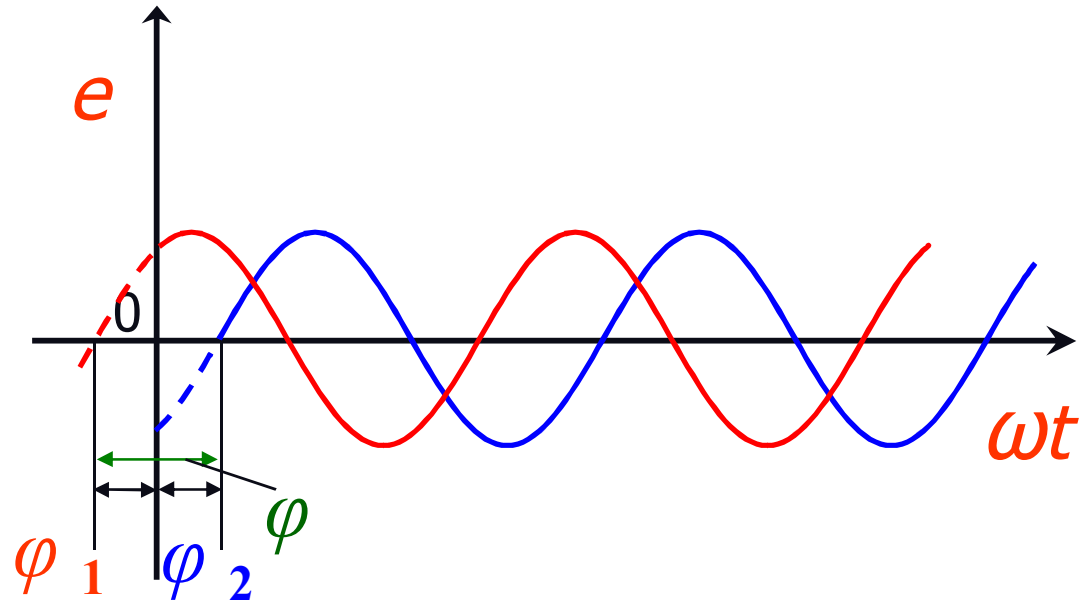


◆ 相位差等於初相之差。

$$\varphi = (\omega t + \varphi_1) - (\omega t + \varphi_2) = \varphi_1 - \varphi_2$$

三要素 3 — 相位差

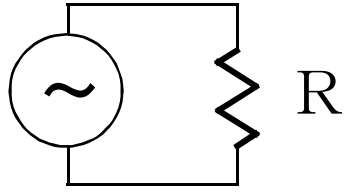
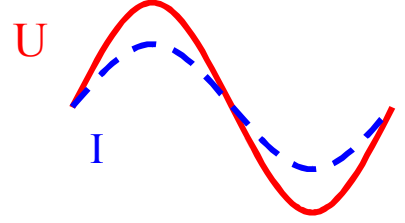
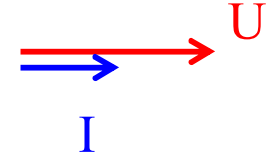
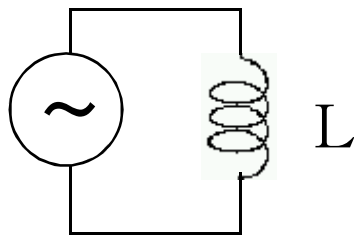
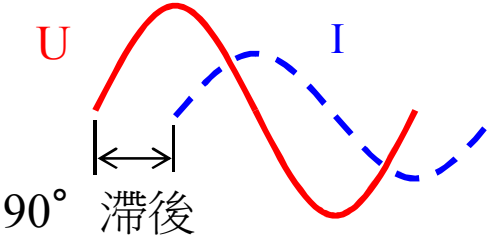
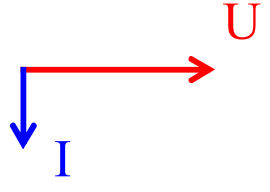
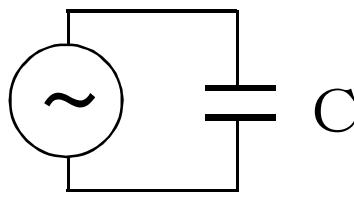
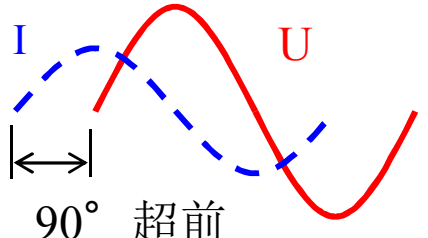
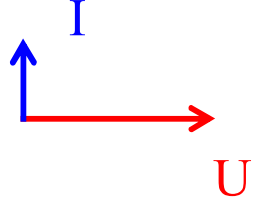
相位差



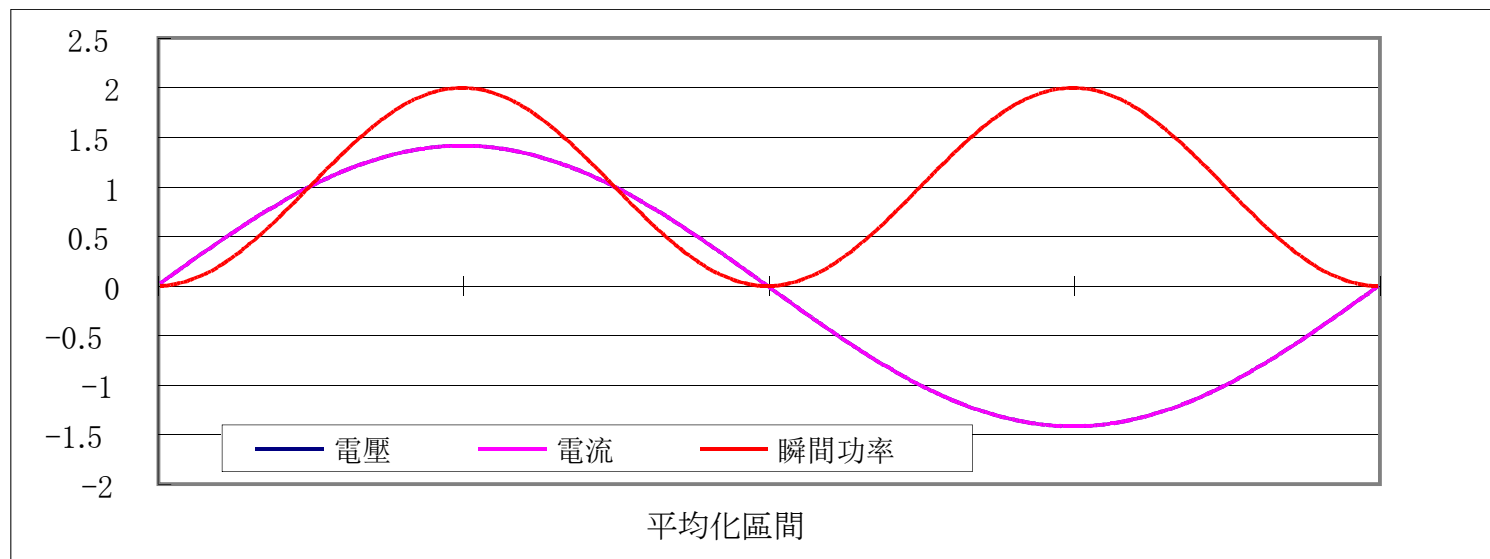
$$\varphi = \varphi_1 - (-\varphi_2)$$

電壓和電流的相位差

交流使負載電壓和電流之間產生相位差

負載種類	迴路	電壓·電流波形	向量圖
電阻			
電感			
電容			

電力量測值和波形



電壓有效值	1Vrms	振幅	1.41421356...V
電流有效值	1Arms	振幅	1.41421356...A
電壓電流相位	0°		
功率	1W	瞬間功率平均值	
視在功率	1VA		
無功功率	0Var		

瞬間功率：電壓和電流乘積

$$\text{功率 } P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \times i(t) dt$$

1周期內平均值

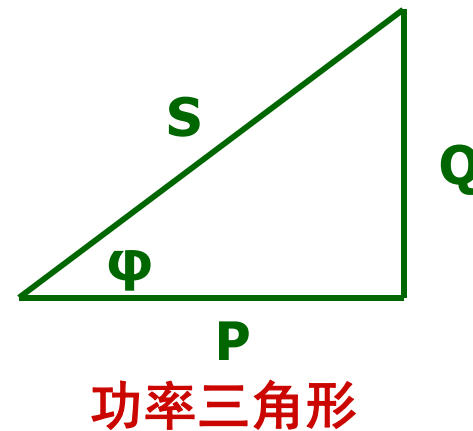
電力量測：功率和功率因數

視在功率

交流電路中，電路端電壓和電流有效值的乘積稱為視在功率，以 S 表示。

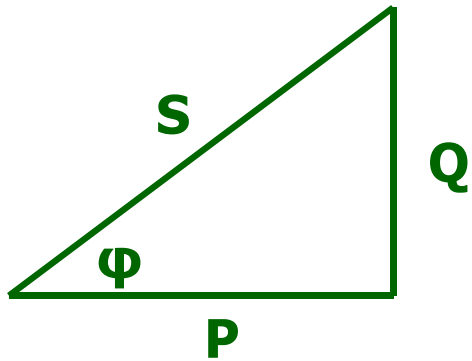
單位：伏安 (VA)

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$



功率因數

有功功率與視在功率的比值



功率三角形

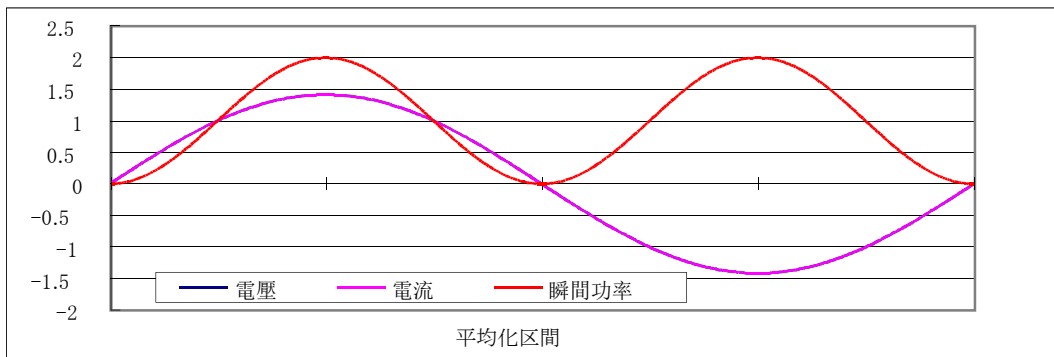
$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

功率因數角

φ 又稱為功率因數角，是電路總電壓與電流的相位差。

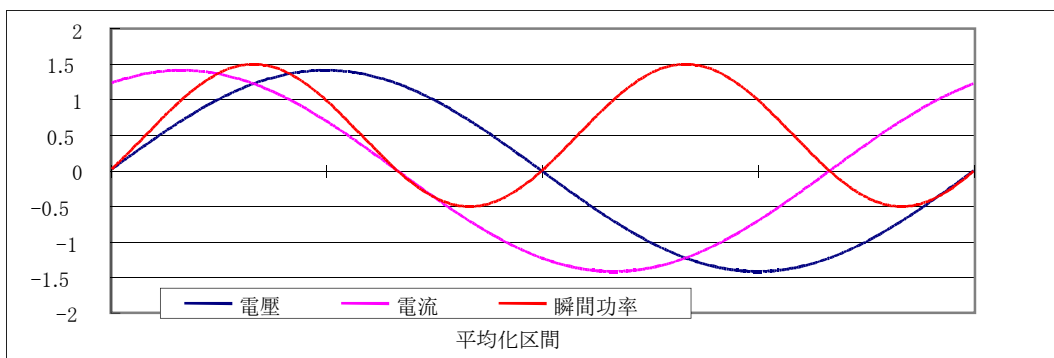
不同相位時的電力量測值

相位角
0°



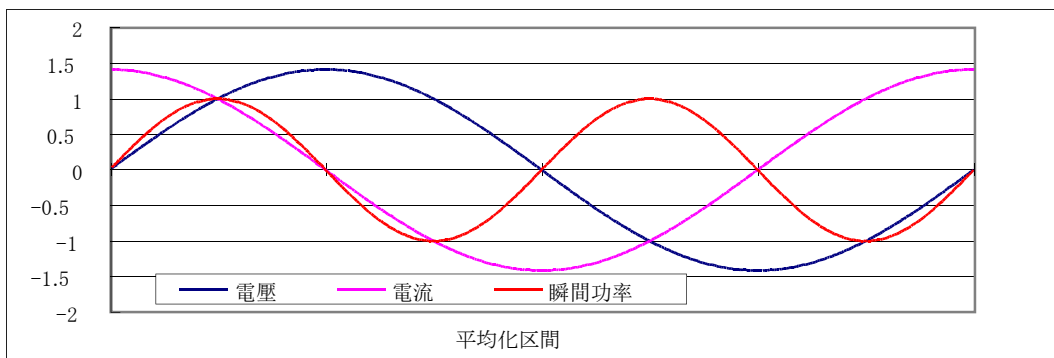
電壓有效值	U	1.0000
電流有效值	I	1.0000
功率	P	1.0000
視在功率	$S=U*I$	1.0000
無功功率	$Q=(S^2-P^2)^{0.5}$	0.0000
功率因數	$\lambda =P/S$	1.0000

相位角
60°



電壓有效值	U	1.0000
電流有效值	I	1.0000
功率	P	0.5000
視在功率	$S=U*I$	1.0000
無功功率	$Q=(S^2-P^2)^{0.5}$	0.8660
功率因數	$\lambda =P/S$	0.5000

相位角
90°



電壓有效值	U	1.0000
電流有效值	I	1.0000
功率	P	0.0000
視在功率	$S=U*I$	1.0000
無功功率	$Q=(S^2-P^2)^{0.5}$	1.0000
功率因數	$\lambda =P/S$	0.0000



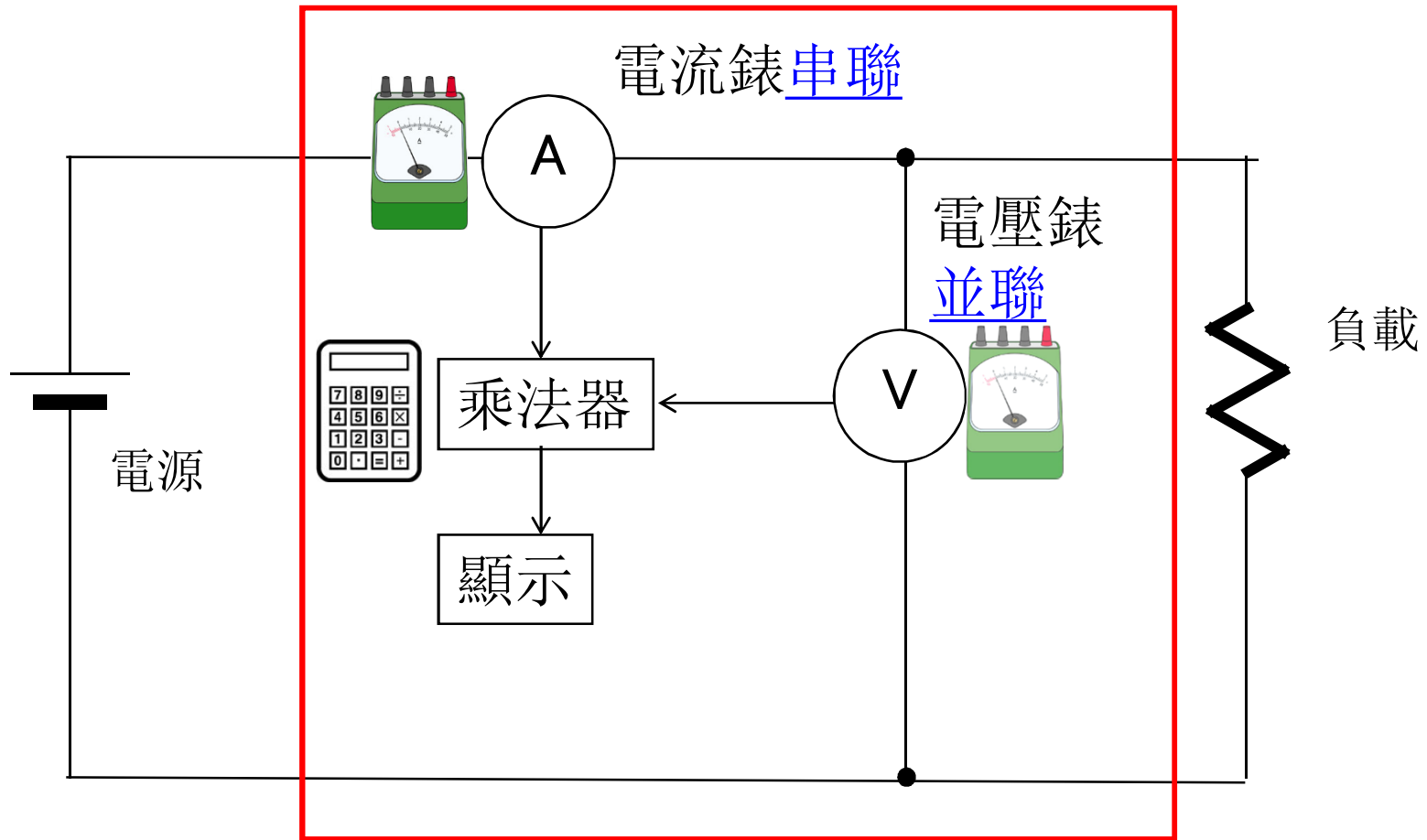
電力量測基礎

功率錶量測原理

電源分析儀原理

現在的功率錶是將電壓錶、電流錶等彙整在 1 台設備中

功率錶



功率錶量測項目

基本項目：

- 電壓/電流 (rms 值、mean 值、DC 值、交流成分)、功率 (有功功率、視載功率、無功功率)、功率因數、相位角、效率
- 電壓或電流的頻率 (交流場合)
- 電流積分 (Ah)、有功功率積分 (Wh) 量測
- 諧波 (電壓有效值、電流有效值、功率基波成分、各次諧波成分、總諧波含量)

其他應用：

- 電壓、電流波形顯示
- 電機評價 (扭矩、轉速、機械功率、效率)
- 向量顯示

RMS – 有效值

- 電壓電流波形取樣
- 功率是通過電流通過電阻的取樣

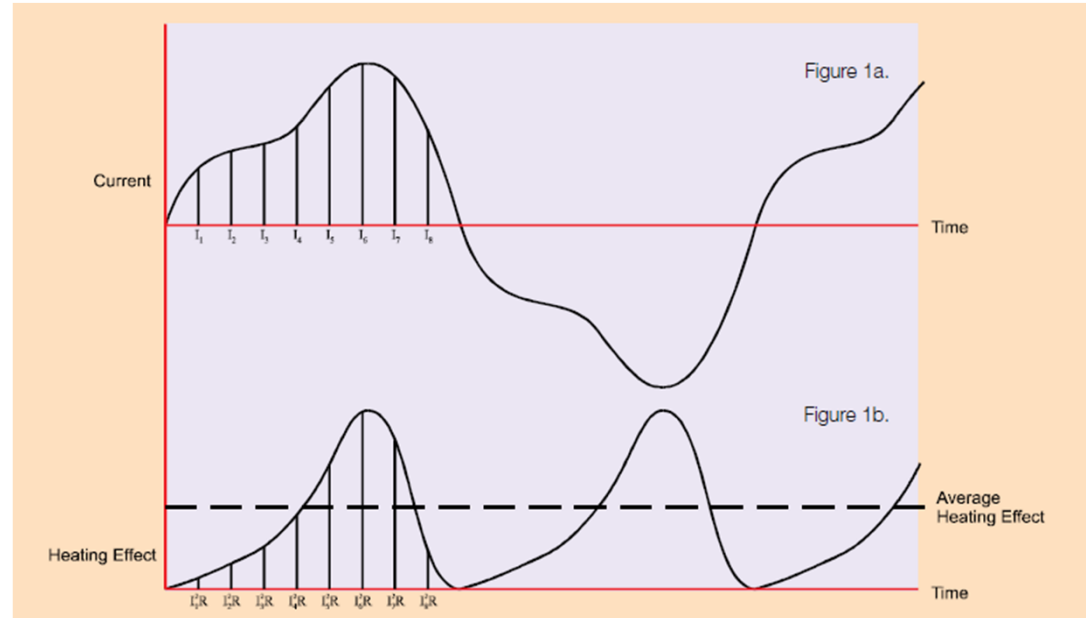
$$W = I^2 R$$

- 一個周期的功率是：

$$W = \frac{I_1^2 R + I_2^2 R + I_3^2 R \dots + I_n^2 R}{n}$$

- 一個周期等效電流：

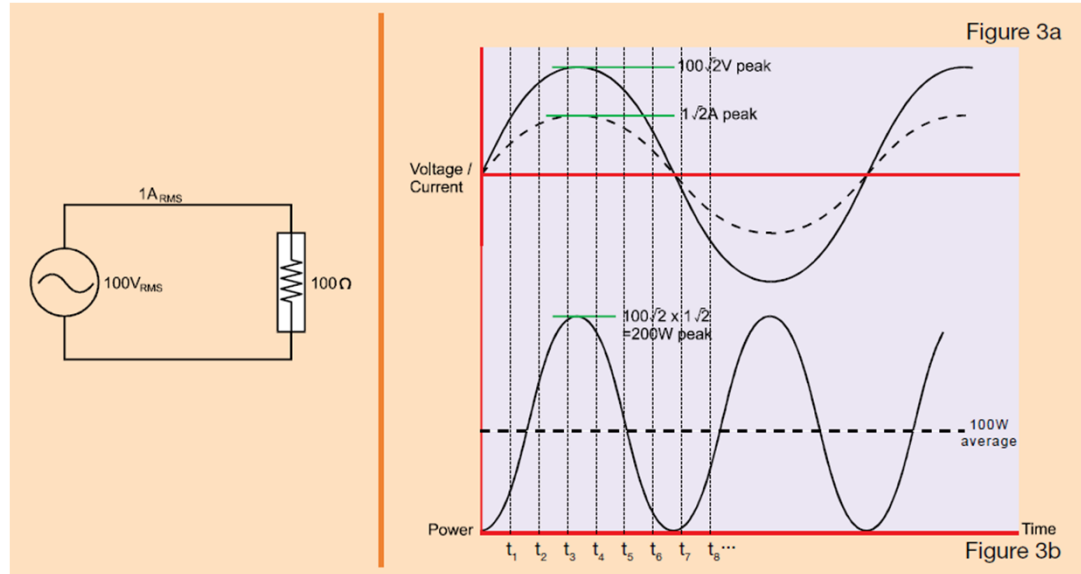
$$I = \sqrt{\frac{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 \dots + I_n^2}{n}}$$



有功功率 (W) 視在功率 (VA)

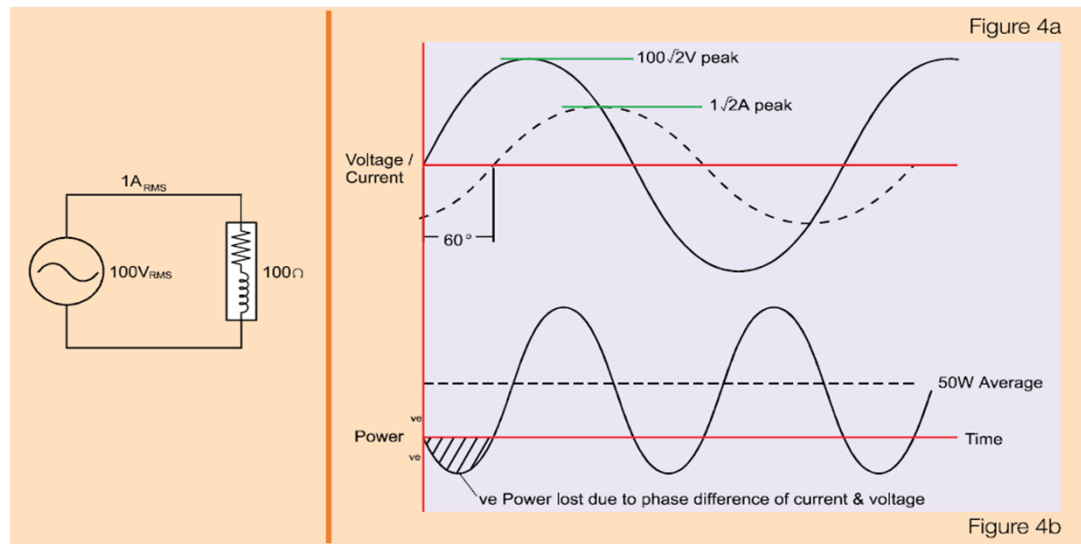
■ 阻抗負載

- 功率在任何時候都是 $V \times I$
- 功率頻率是 2 倍的電流電壓頻率。
- 功率永遠是正值
- 此情況 $W = V \times I$



■ 電容負載

- 電流相位會滯後
- 功率一直是與先前的 $v \times i$ 一樣
- 功率有時候是負值
- 有功功率不再是 $V \times I$

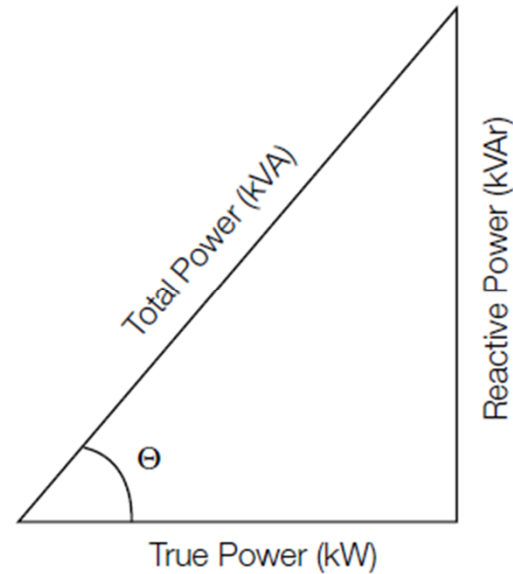


功率三角形

$$\text{Apparent Power} = V_{RMS} \times I_{RMS}$$

$$\text{Reactive Power} = \sqrt{\text{Apparent Power}^2 - \text{Real Power}^2}$$

$$\text{Power factor} = \frac{\text{Real power}}{\text{Apparent power}}$$



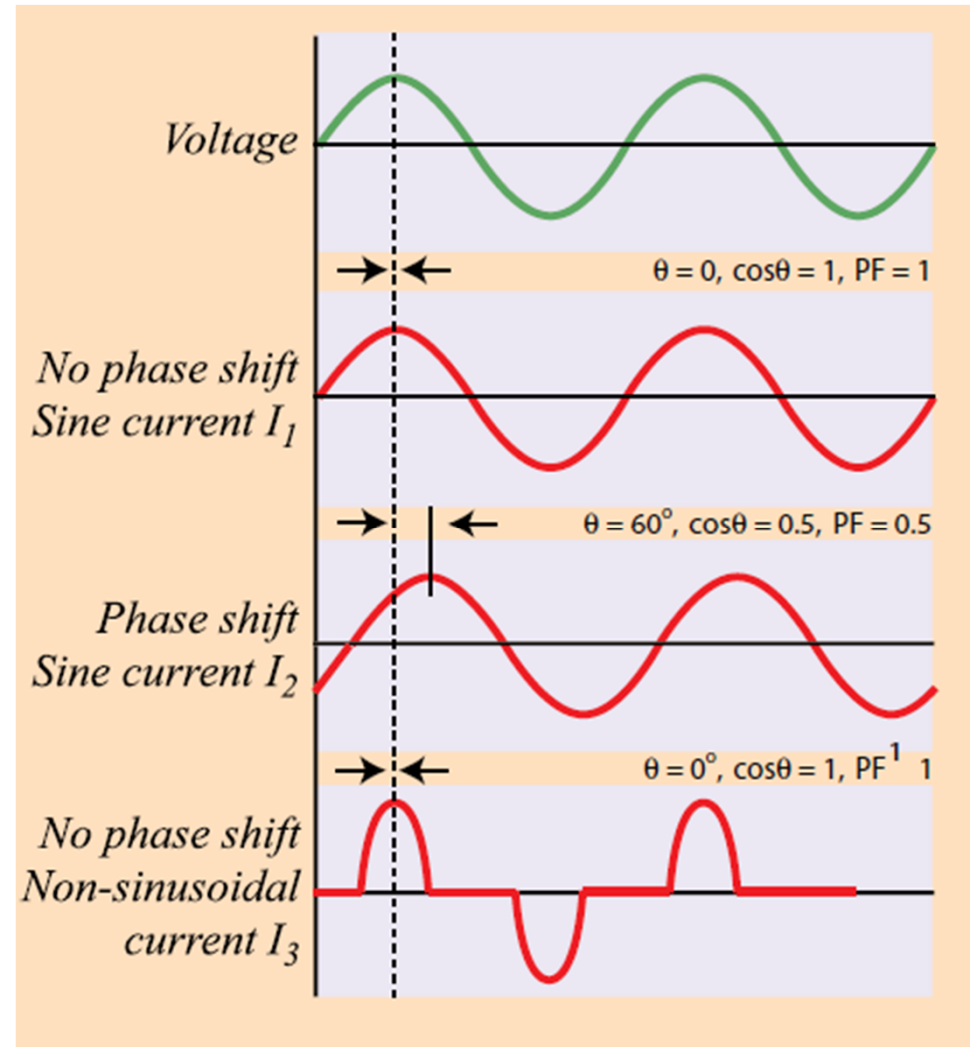
$$\begin{aligned} \text{Power Factor} &= \frac{\text{kW}}{\sqrt{\text{kW}^2 + \text{kVar}^2}} \\ &= \cos \theta \end{aligned}$$

Sine-wave only

功率因數

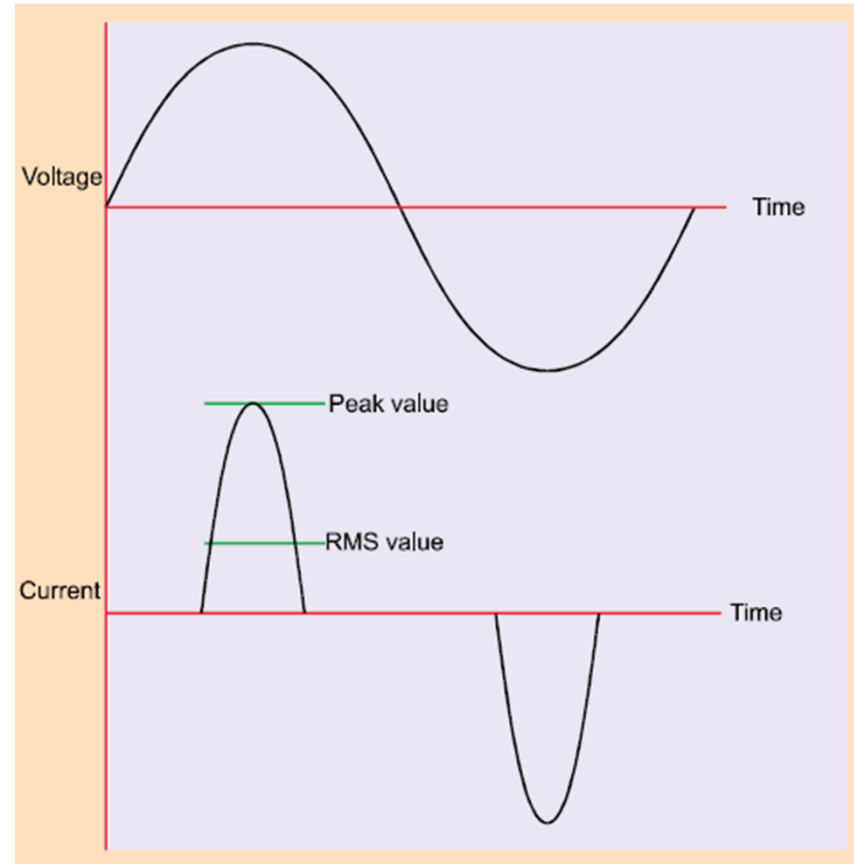
$$\text{Power factor} = \frac{\text{Real power}}{\text{Apparent power}}$$

$$PF \neq \cos\theta$$



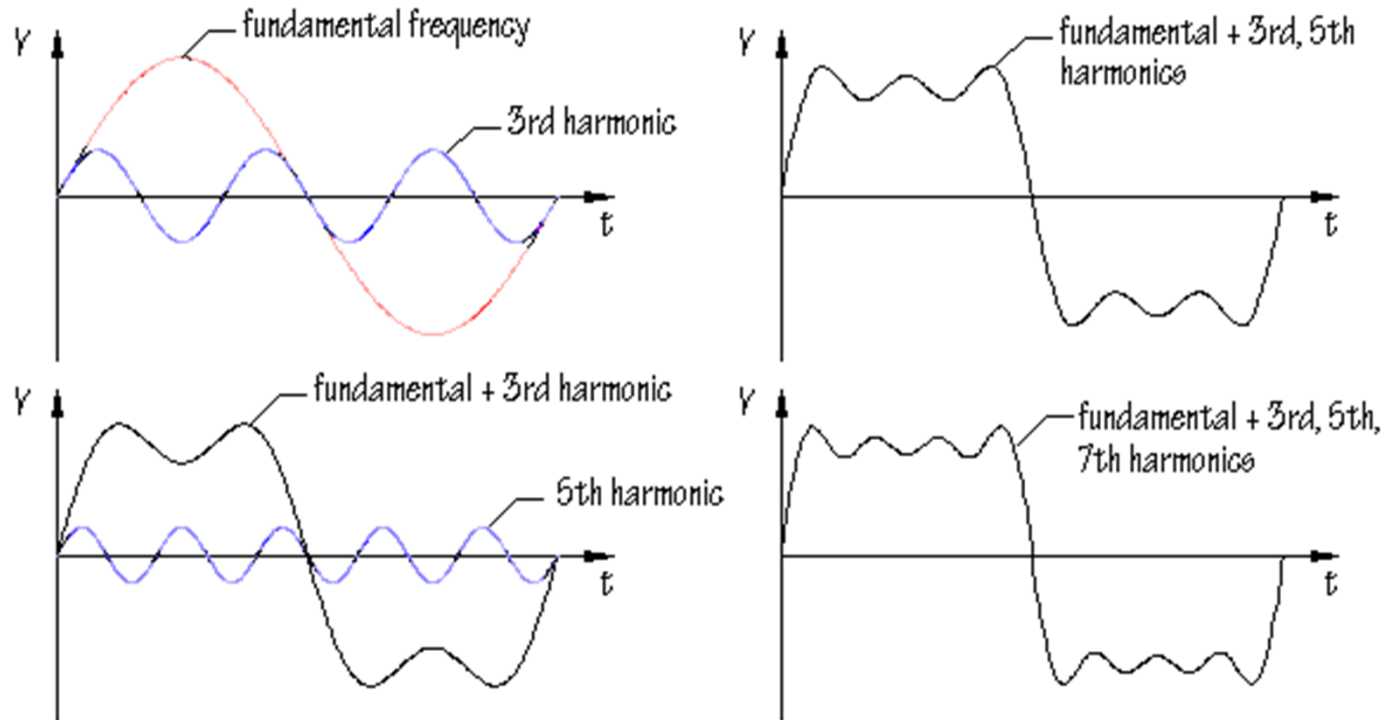
波峰因數

$$\text{Crest factor} = \frac{\text{Peak value}}{\text{RMS value}}$$



諧波

- Mathematical definition of any waveform



- Any repetitive waveform may be represented by a series of sinewaves whose frequencies are integer multiples of the fundamental frequency of the waveform.

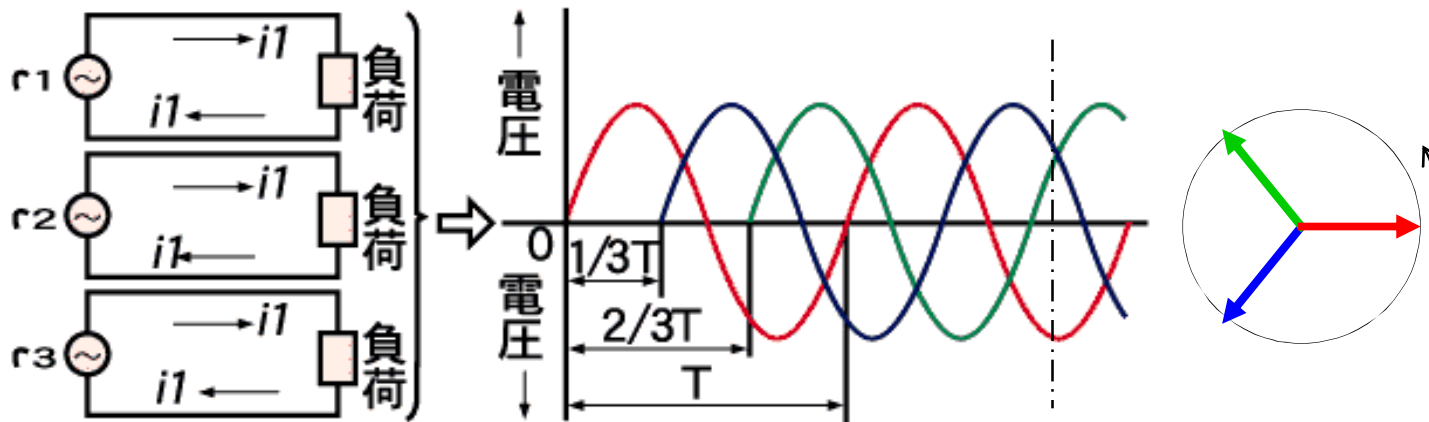


功率量測基礎

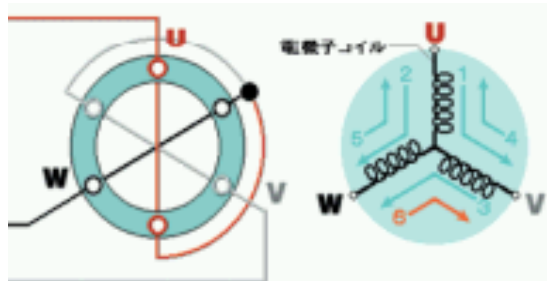
三相以及多相交流電

三相交流電系統

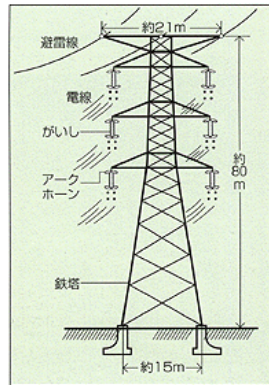
互相差 120 度相位的電氣系統，是由 3 個交流電產生器組成



發電



送電



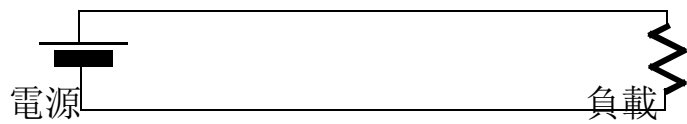
變電



<http://www.energia.co.jp/>

三相 3 線與三相 4 線

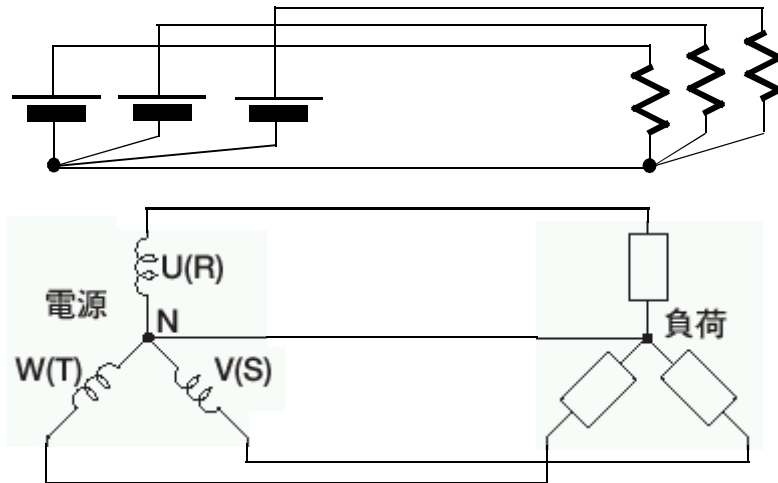
單相 2 線 (1 ϕ 2W)



單相 3 線 (1 ϕ 3W)

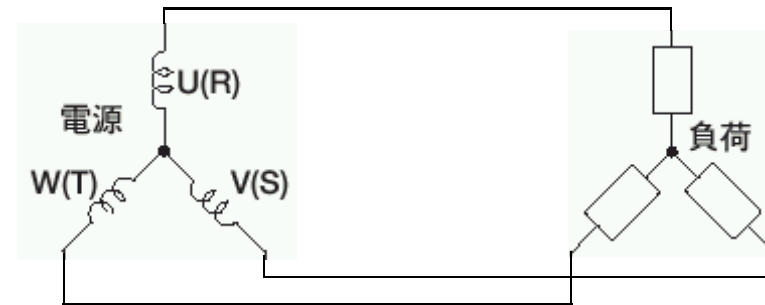


三相 4 線 (3 ϕ 4W)



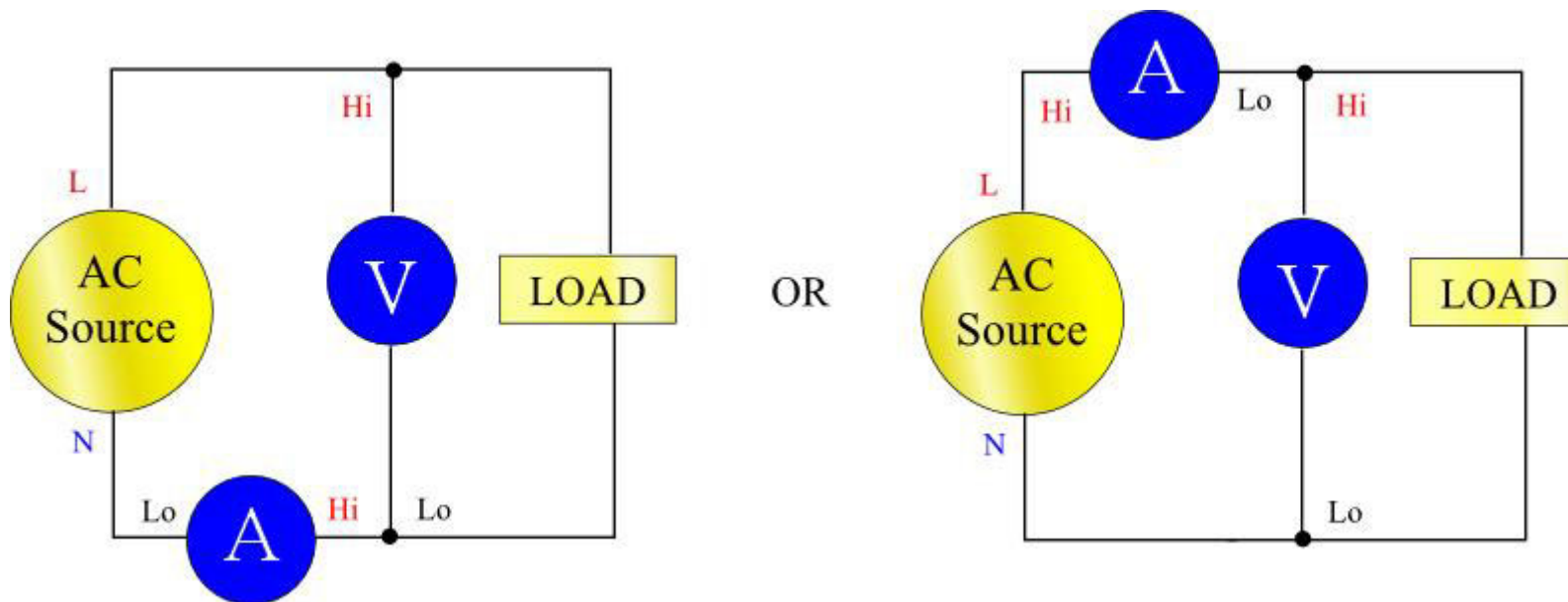
三相 3 線 (3 ϕ 3W)

中性線省略方式



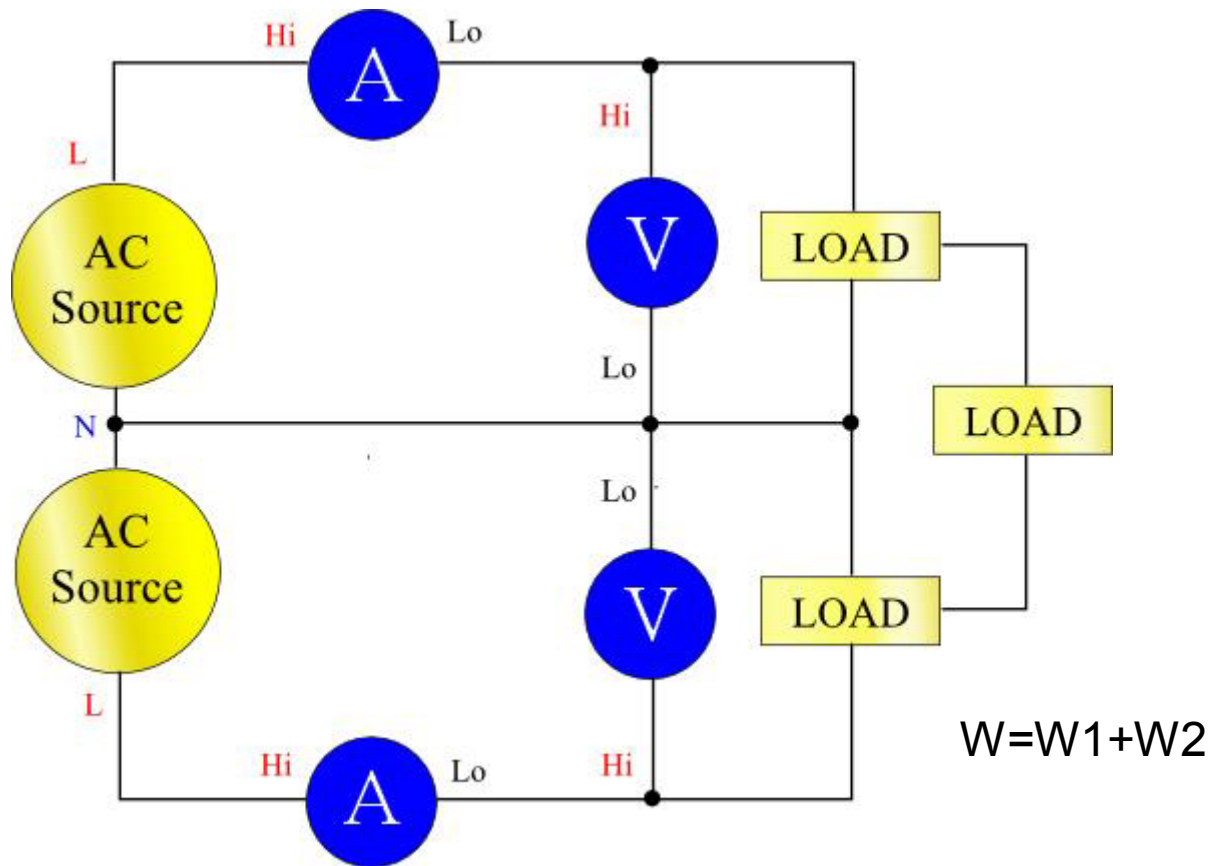
單相 — 1P2W

單相兩線和直流量測。選擇單相兩線模式。



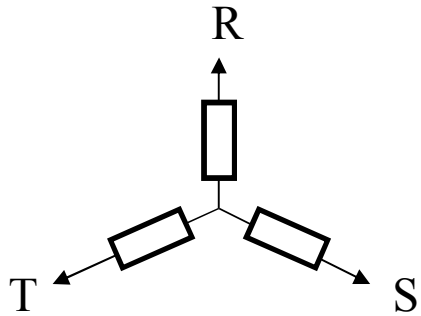
單相 — 1P3W

單相三線。選擇單相三線。

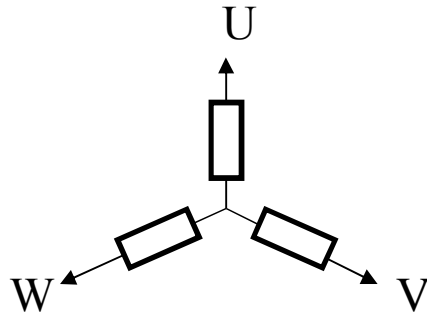


三相交流電基本術語

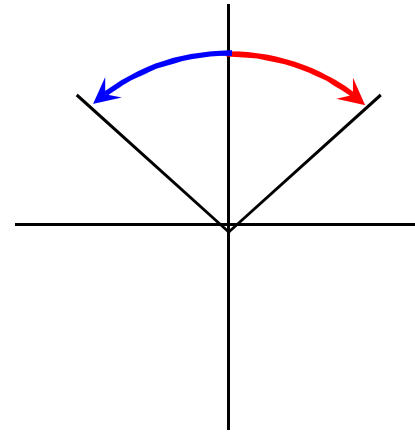
R 相 / S 相 / T 相



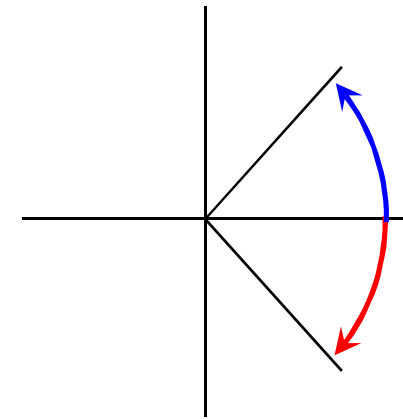
U 相 / V 相 / W 相



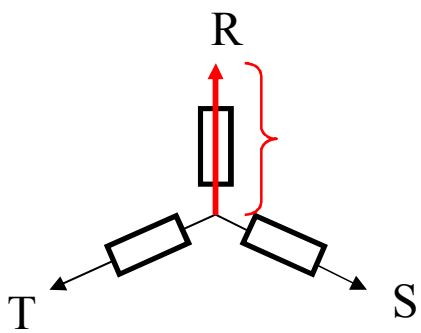
超前 滯後



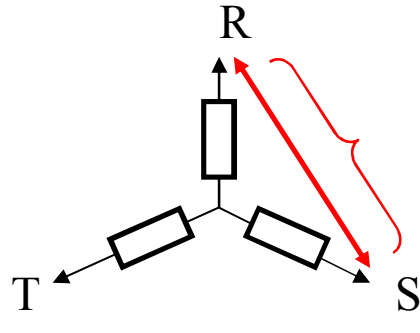
超前
滯後



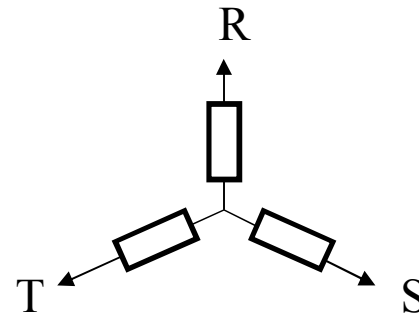
相電壓



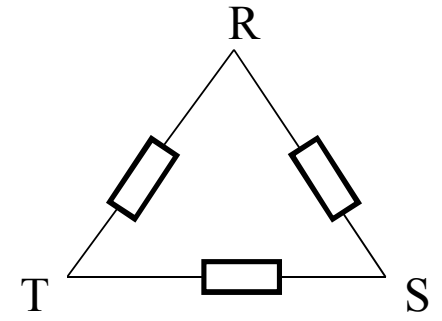
線電壓



星形 (接線)



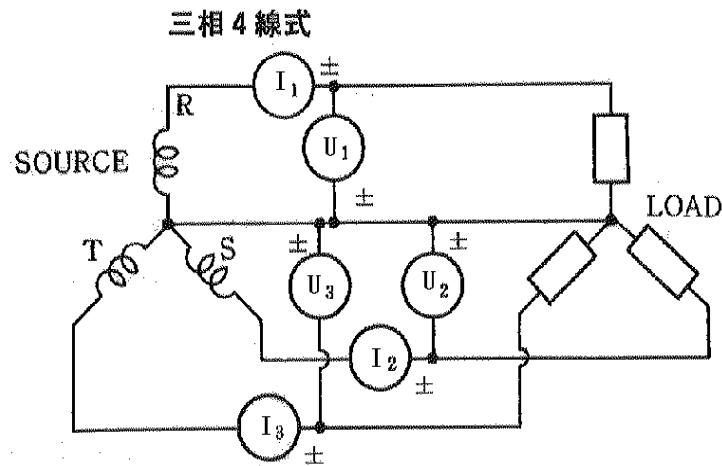
三角 (接線)



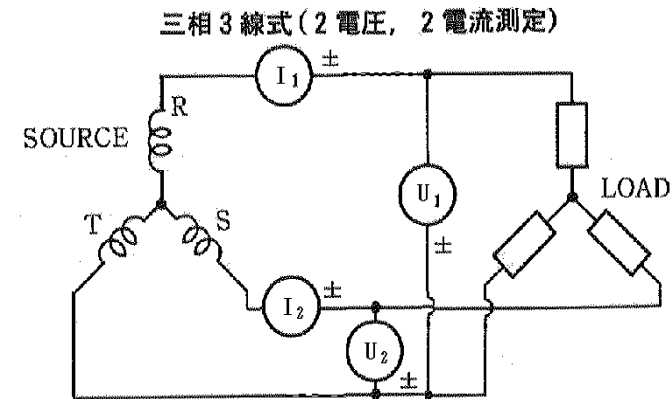
三相功率量測

三相功率量測的接線方法

如果各相獨立，三相功率量測則由 3 個功率錶量測並簡單相加。但因為各相的瞬間值互相影響並不獨立，根據 Blondel 定理， N 相功率可以利用 $N-1$ 個功率錶量測。三相功率可以由 2 個功率錶量測 (一般稱為 2 瓦特錶法，其他也有以量測各相平衡為目的 3 電壓 3 電流錶接線)。



可以分別量測 3 相系統負載的消耗功率

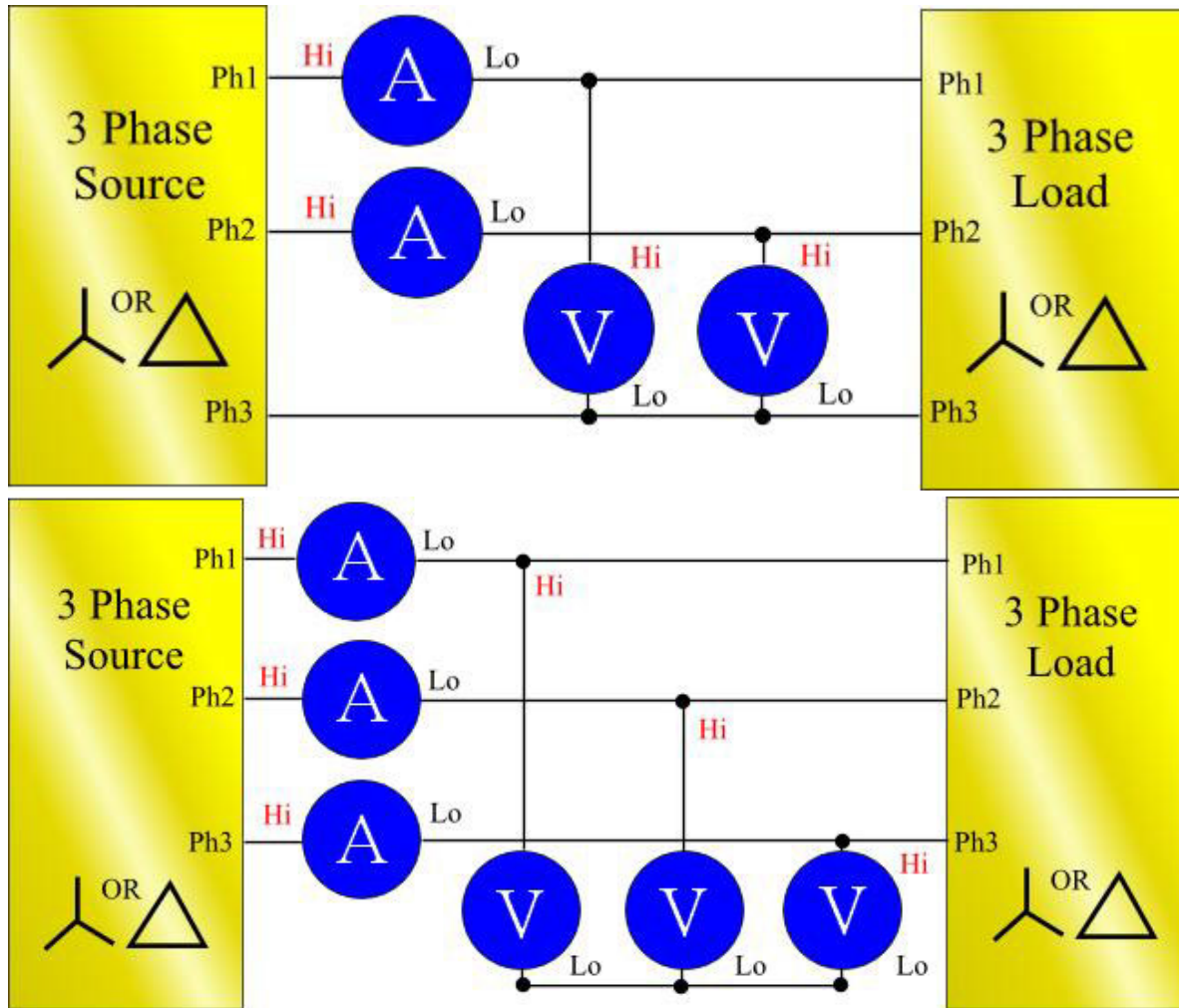


根據 Blondel 定理使用 3-1 個功率錶量測

兩種情況的總功率量測結果是相同的。
總功率在三相不平衡、波形失真的情況下也成立。

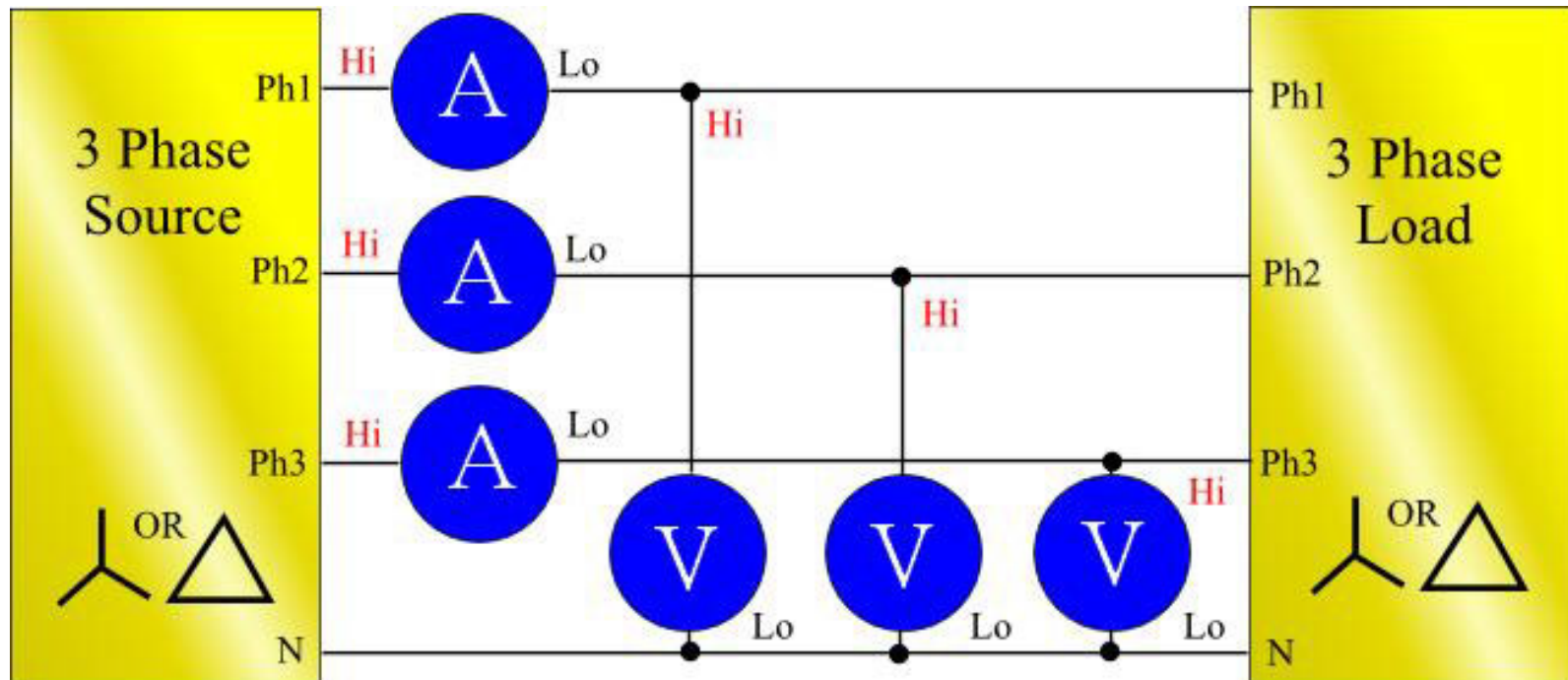
三相功率量測

三相功率量測的接線方法 3P3W



三相功率量測

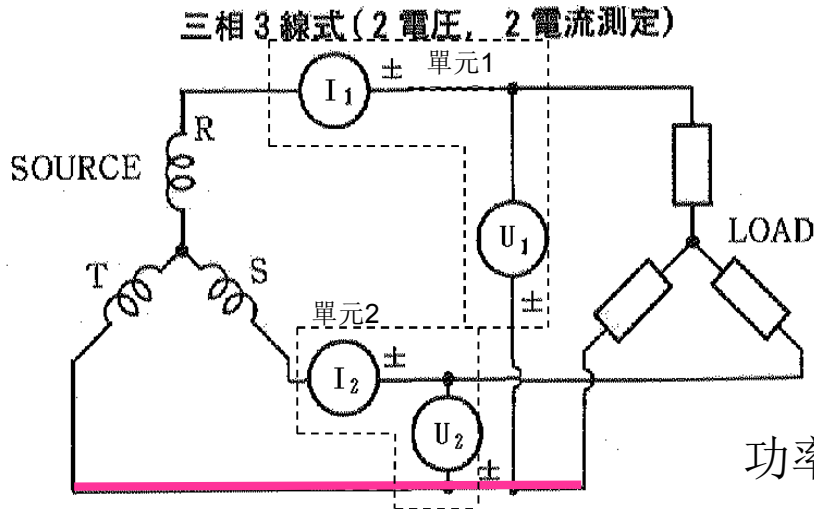
三相功率量測的接線方法 3P4W



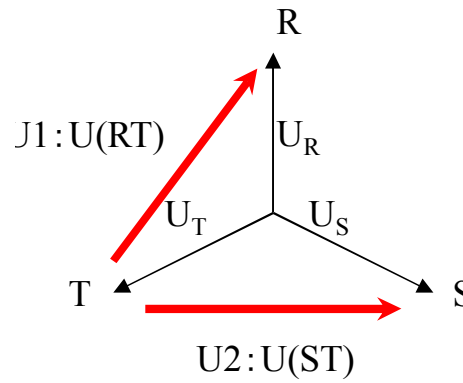
$$\sum W = ch1W + ch2W + ch3W$$

三相 3 線接線 (T 相基準)

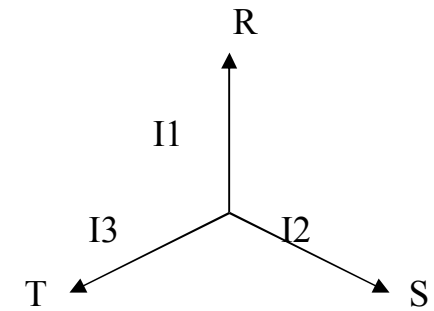
無中性線時的功率量測接線



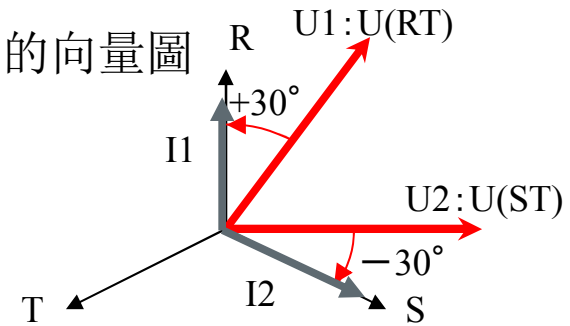
電壓向量



電流向量



功率因數為 1 時的向量圖



單元 1 較實際 30° 電流超前 $P_1 = U_1 \cdot I_1 \cos(30^\circ)$
 單元 2 較實際 30° 電流滯後 $P_2 = U_2 \cdot I_2 \cos(-30^\circ)$

$$\begin{aligned} \Sigma P &= P_1 + P_2 \\ &= \vec{U}_1 \cdot \vec{I}_1 + \vec{U}_2 \cdot \vec{I}_2 \\ &= (\vec{U}_R - \vec{U}_T) \cdot \vec{I}_1 + (\vec{U}_S - \vec{U}_T) \cdot \vec{I}_2 \\ &= \vec{U}_R \cdot \vec{I}_1 + \vec{U}_S \cdot \vec{I}_2 - \vec{U}_T \cdot (\vec{I}_1 + \vec{I}_2) \\ &= \vec{U}_R \cdot \vec{I}_1 + \vec{U}_S \cdot \vec{I}_2 + \vec{U}_T \cdot \vec{I}_3 \\ &\quad \ominus \vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 = 0 \end{aligned}$$

三相 3 線功率因數為 1 $P_1 \neq P_2$



Thank You!

Tektronix[®]