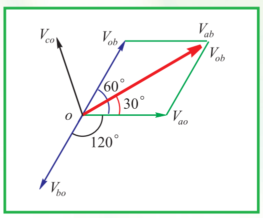
ELECTRICITY

BASIC



ELECTRICITY

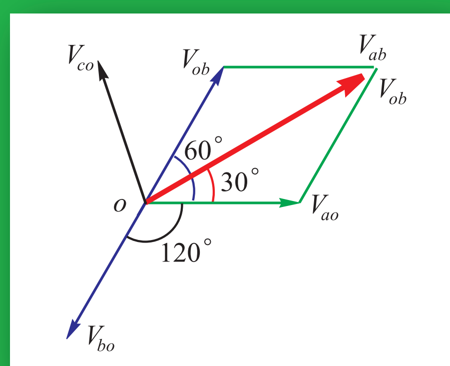
BASIC

本章學習目標

1. 認識交流電源之種類、結構圖及其特性。
2. 瞭解單相二線、三線式及三相三線式的適用性和好處。
3. 能夠計算單相及三相系統之電壓、電流及功率。

本章綱要

Chapter 12 交流電源



學習導引

1. 單相電源使用在低電壓，一般指 600 伏特電壓以下，三相電源使用在較大的電力供電系統。
2. 單相三線式供電電壓有兩種，常用的有 110V 和 220V，是目前我國住戶之用電系統。
3. 多相系統有二相、三相、四相等。以數學式來表示相位角 θ，若爲三相，則 $\theta = 120°$。
4. 在三相系統之 Y 形接法，相與線之電壓、電流關係爲：
   (1) 線電流 I_L = 相電流 I_P。
   (2) 線電壓 $V_L = \sqrt{3}$ 相電壓 V_P。
5. 三相系統之 Δ 形接法，相與線之電壓、電流關係爲：
   (1) 相電壓 V_P = 線電壓 V_L。
   (2) 線電流 $I_L = \sqrt{3}$ 相電流 I_P。
6. 三相系統中，總功率爲單相功率的總和，而與 Y 或 Δ 的接法無關。
   $P_T = P_1 + P_2 + P_3$
7. 三相系統 Y 形接法：
   (1) 總功率 $P_T = 3V_p I_p = 3\dfrac{V_L}{\sqrt{3}} I_L = \sqrt{3}\, V_L\, I_L$。
   (2) 負載之總無效功率 $Q_T = 3Q_p = \sqrt{3}\, V_L\, I_L = 3I_L^2 X_p$。
   (3) 負載之總視在功率 $S_T = 3S_p = \sqrt{3}\, V_L\, I_L$。
   (4) 系統之功率因數 $\mathrm{PF} = \cos\theta = \dfrac{P_T}{S_T}$。
8. 三相系統 Δ 形接法：
   (1) 總功率 $P_T = 3V_p I_p = 3\dfrac{I_L}{\sqrt{3}} V_L = \sqrt{3}\, V_L\, I_L$。
   (2) 負載之總無效功率 $Q_T = 3V_p\, I_p \sin\theta = \sqrt{3}\, V_L\, I_L \sin\theta$。
   (3) 負載之總視在功率 $S_T = 3S_p = \sqrt{3}\, V_L\, I_L$。
   (4) 系統之功率因數 $\mathrm{PF} = \cos\theta = \dfrac{P_T}{S_T}$。

交流電源依供電的方式有單相、三相及多相系統。單相電源使用在低電壓，一般指 600 伏特電壓以下；三相電源使用在較大的電力供電系統。三相系統電路的結構有三角形及 Y 形接法，在應用上電源與負載的連接法有 Δ-Y、Δ-Δ、Y-Δ、Y-Y 等。本章將對單相電源的特性及三相電源的接法，作詳實的說明。

12-1　單相電源

交流電路依供電之形式區分為單相、二相、三相電源。相 (phasor) 是發電機供電給電路之繞組數。如單相電源是由發電機一組繞組產生之感應電勢，即發電機旋轉一圈只產生一個正弦波電壓。三相電源則為三繞組產生之電勢，發電機旋轉一圈可產生三個正弦波電壓。單相電源一般使用在低壓 (指電壓在 600V 以下) 用電系統，如家庭用電器及照明，較大電力則採用三相電源系統，如工廠用電。單相電源依與負載連接的方式，可分為單相二線式 (single–phase two–wire system, 記為 1ϕ2W) 及單相三線式 (single–phase three–wire system, 記為 1ϕ3W) 兩種。

12-1.1　單相二線式

單相二線式，如圖 12-1 所示，供應給負載的電壓只有一種，一般為 ACV 110V 較多。說明如下：

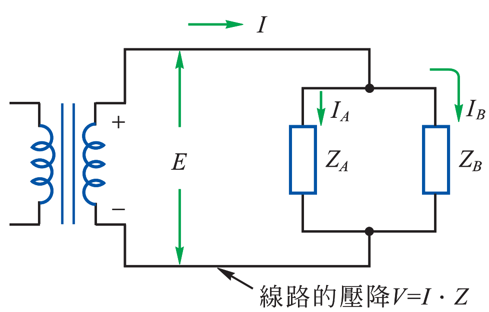


圖 12-1　單相二線式電路

供電線路壓降

在系統平衡及功率傳輸相同下，若負載阻抗相等，$Z_A = Z_B$，且導線線徑與長度相同。則：

$$I = I_A + I_B \text{，} I_A = I_B = \frac{I}{2} \quad \text{(12-1)}$$

$$V = IZ + IZ = 2IZ \quad \text{(12-2)}$$

式中，V 為線路壓降，單位是伏特，Z 為線路阻抗，單位是歐姆，I 為線路電流，I_A 和 I_B 為負載電流，單位是安培。

例如：單相二線式系統，每條線路之阻抗為 2 歐姆，通過 2 安培電流，則線路系統之壓降為：

$$V_2 = 2IZ = 2\times2\times2 = 8\text{V}$$

電力損失

假設電力系統為平衡狀態，傳輸之功率與距離皆相同，線徑也一樣，則單相二線式系統之電力損失為：

$$P = I^2Z + I^2Z = 2I^2Z \quad\text{......(12-3)}$$

式中，P 為電力損失，單位是瓦特 (W)，Z 為電線阻抗，單位是歐姆 (Ω)。

例如：單相二線式系統，線路電阻為 1 歐姆，通過 2 安培電流，則電力損失為：

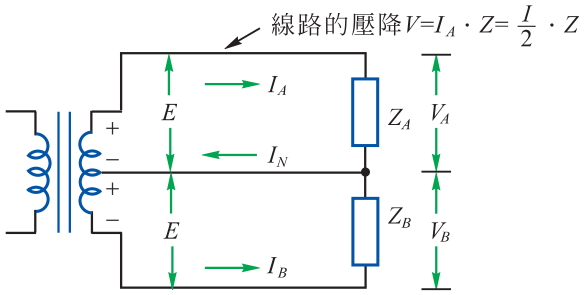
$$P_2 = 2I^2Z = 2\times2^2\times1 = 8\text{W}$$

單相二線式供電系統之特性：

(1) 適用低電壓設施，600V 電壓以下。
(2) 供電設備簡單，用電便利。
(3) 負載結構簡易，經濟實用。
(4) 提供的功率，具有脈動的特性。

12-1.2 單相三線式

單相三線式如圖 12-2 所示，係在繞組之中心接出一條線路，此線路稱為中性線或接地線，其線路電壓值為零。單相三線式供電電壓有兩種，常用的有 110V 和 220V，是目前我國住戶之用電系統。如 110V 電壓可供照明、電熱及電器用電，220V 電壓可供冷氣系統用電。說明如下：



■ 圖 12-2　單相三線式電路

供電線路壓降

在系統平衡及功率傳輸相同下，若負載阻抗相等，$Z_A = Z_B$，且導線線徑與長度相同，又 $I_A = I_B = \dfrac{I}{2}$。則：

$$V = I_A Z = I_B Z = \frac{IZ}{2} \quad \text{......(12-4)}$$

式中，I 為單相二線式之線路電流，V 為線路壓降，Z 為線路阻抗，因系統平衡，故中性線 $I_N = 0\text{A}$。

例如：單相三線式系統，每條線路之阻抗為 2 歐姆，通過 2 安培電流，則線路系統之壓降為：

$$V_3 = \frac{IZ}{2} = \frac{2\times 2}{2} = 2\text{V}$$

比較單相二線與三線之線路壓降：$\dfrac{V_2}{V_3} = \dfrac{8\text{V}}{2\text{V}} = 4$，即：$V_3 = \dfrac{V_2}{4}$，三線式線路電壓較小。

電力損失

設系統平衡，傳輸功率及距離相同，線徑也相同，單相三線式系統之電力損失為：

$$P = I_A^2 Z + I_B^2 Z \quad \text{......(12-5)}$$

因為系統平衡，$I_N = 0\text{A}$，且 $I_A = I_B$，則式 (12-5) 可寫為：

$$P = 2I_A^2 Z = 2I_B^2 Z = 2\left(\frac{I}{2}\right)^2 Z = \frac{I^2 Z}{2} \quad \text{......(12-6)}$$

式中，P 為電力損失，單位是瓦特，Z 為電線阻抗，單位是歐姆。

網站介紹

電氣工程產業資訊網：http://www.tteca.org.tw/eie/bg/html/

12

例如：單相三線式系統，線路阻抗為 1 歐姆，通過 2 安培電流，則電力損失為：

$$P_3 = \frac{I^2 Z}{2} = \frac{2^2 \times 1}{2} = 2\text{W}$$

比較單相二線與三線之電力損失：$\frac{P_2}{P_3} = \frac{8\text{W}}{2\text{W}} = 4$，即：$P_3 = \frac{P_2}{4}$，三線式線路損失較少。

導線重量（用銅量）

設電力損失、負載用電量及導線長度相同，則系統之電功率為：

單相二線式：$P_2 = V I \cos\theta$ ....(12-7)

單相三線式：$P_3 = 2V I_A \cos\theta$ ....(12-8)

式中，I 為二線式線路電流，I_A 為三線式線路電流。

因傳輸功率相同，則：

$$P_2 = P_3 = V I \cos\theta = 2V I_A \cos\theta \text{，得：} I = 2I_A$$

由式可知，單相二線式之線路電流 I，為三線式線路電流 I_A 的 2 倍大。

在電力損失方面：

單相二線式：$P_2 = 2I^2 Z_2$ ....(12-9)

單相三線式：$P_3 = 2I_A^2 Z_3$ ....(12-10)

式中，Z_2 為二線式線路之阻抗，Z_3 為三線式線路之阻抗。

設電力損失相同，則：

$$P_2 = P_3 = 2I^2 Z_2 = 2I_A^2 Z_3 \text{，}$$

$$\text{得：}\frac{Z_2}{Z_3} = \left(\frac{I_A}{I}\right)^2 = \left(\frac{I_A}{2I_A}\right)^2 = \frac{1}{4}$$

設單相二線式與三線式每條導線之重量分別為 W_2 與 W_3，因導線之重量與阻抗成反比，則：

$$\frac{W_3}{W_2}=\frac{3}{2}\times\frac{Z_2}{Z_3}=\frac{3}{2}\times\frac{1}{4}=\frac{3}{8}=37.5\%$$

比較單相三線式與單相二線式，可知單相三線之特性為：

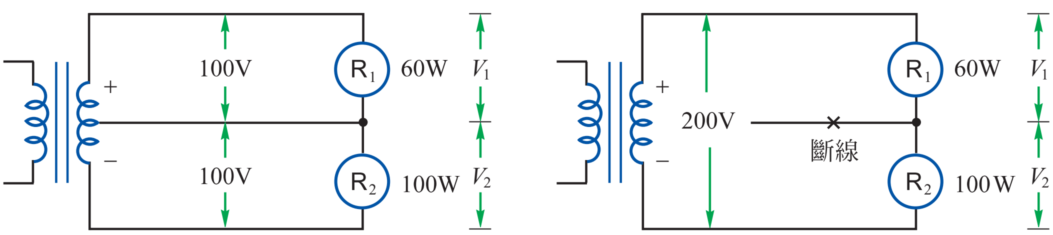
(1) 在系統平衡、功率傳輸及導線線徑與長度相同下，單相三線式線路之壓降為二線式的$\frac{1}{4}$倍。即 $V_3=\frac{V_2}{4}$。

(2) 在系統平衡，傳輸功率及距離相同，線徑也相同下，單相三線式之電力損失為二線式的$\frac{1}{4}$倍。即 $P_3=\frac{V_2}{4}$。

(3) 在導線長度、電力損失及負載用電量相同下，單相三線式之導線用銅量為二線式的 37.5%。

但在負載不平衡或中性線斷線時，單相三線式負載較小端，將承受較額定值為高的電壓，造成負載因電壓過高而燒燬。

例如：如圖 12-3 所示為單相三線式電路，若中性線斷線，則：



(a) 單相三線式電路　　(b) 中性線斷路電路

■ 圖 12-3　中性線斷路電路

(1) 先求各燈泡的電阻：

$$60\text{W}：R_1=\frac{V^2}{P}=\frac{100^2}{60}=166.7\Omega$$

$$100\text{W}：R_2=\frac{V^2}{P}=\frac{100^2}{100}=100\Omega$$

(2) 斷線後，燈泡供應電壓由 100V 變為 200V，則各燈泡分配之電壓成為：

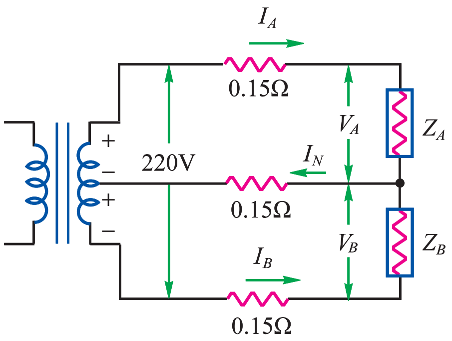
$$60\text{W}：V_1=200\times\frac{166.7}{166.7+100}=125\text{V}$$

$$100\text{W}：V_2=200\times\frac{100}{166.7+100}=75\text{V}$$

負載較小端 (60W)，斷線後，電阻變大，壓降上升 (125V)，超過額定電壓 (100V)，將有燒燬之虞。

範例 12-1.1

如圖 12-4 所示爲單相三線式線路，變壓器之匝數比爲 3300/220，一次側電流爲 20A，負載電流 $I_A = I_B$，若線路之電感可略去不計，負載爲純電阻性，每條導線之電阻爲 0.15Ω，試求負載端之電壓及線路損失爲若干？



■ 圖 12-4

解 (1) 二次側電流 I_A 及 I_B

$$\frac{E_1}{E_2}=\frac{I_1}{I_2} \rightarrow \frac{3300}{220}=\frac{I_2}{20}，I_2 = 300\text{A}$$

線路電流 $I_A = I_B = \dfrac{I_2}{2} = \dfrac{300}{2} = 150\text{A}$

(2) 負載端電壓 V_A 及 V_B

依克希荷夫電壓定律 $\Sigma V = 0\text{V}$，

得：$110-0.15\times150-V_A-0.15\times(150-150) = 0$

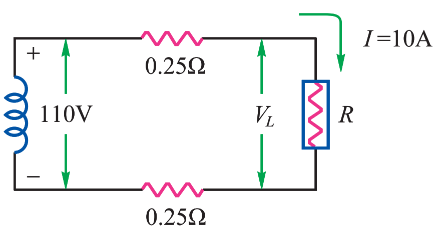
$V_A = 110-22.5 = 87.5\text{V} = V_B$

(3) 線路損失

$$P = I_A^2\times0.15 + (I_A-I_B)^2\times0.15 + I_B^2\times0.15$$
$$= 2\times150^2\times0.15 = 6750\text{W} = 6.75\text{kW}$$

立即練習

如圖 12-5 所示，求線路之壓降 V_L 爲多少伏特？



■ 圖 12-5

Ans 5V。

12-2 三相電源

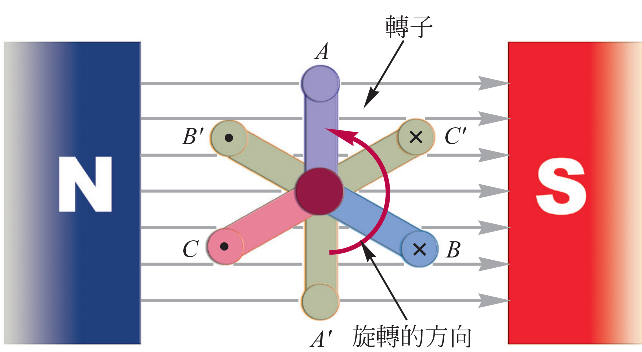
電力系統除單相系統外，還有多相系統 (poly-phase system)。多相系統是由多個相位不同之單相交流系統組成。若以相數來區分，多相系統有二相、三相、四相及六相等。若電機旋轉一圈爲

360° 或為弳度量 2π ，以三相系統為例，相位角 $\theta = \frac{360°}{3} = 120°$，其意為三相系統中，各相間之相位差為 120°。相位 (phase) 在複數中是相量的關係用語，在發電機中是指繞組所在之空間位置。三相 (three-phase) 交流系統用於現代電力輸配系統，優點是：

1. 降低系統之設置及維護費用。若供電壓相同，且傳送相同之 kVA(仟伏安) 時，三相系統較單相可節省 62.5% 的用銅量。
2. 電力傳輸效率高。單相系統之功率為脈動性，即每一週期間功率會出現零值，三相則穩定不變。
3. 具良好之起動及運轉特性。因為三相系統可供應穩定之功率給設備及馬達。
4. 可供應穩定之直流輸出。三相系統因相數較單相多，經整流將交流轉換成直流的效果較好。
5. 電源供應種類較多。單相系統只供應單相電源，三相系統可供應單相及三相電源。

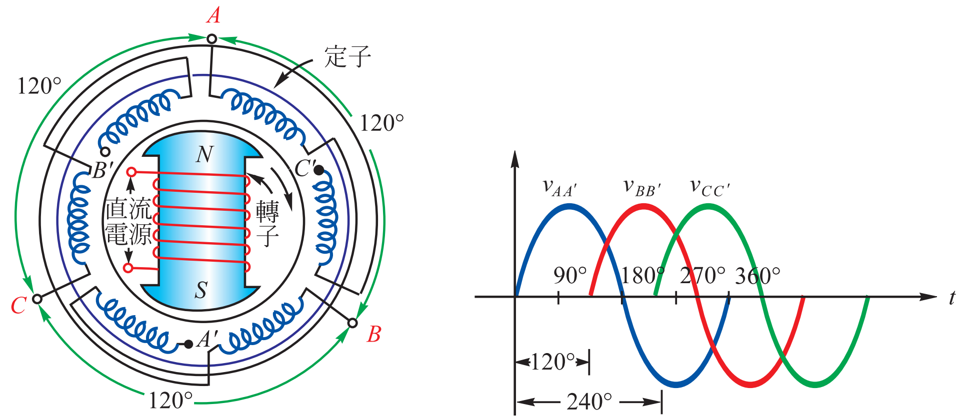
12-2.1　三相發電機

三相發電機的種類有，轉樞式及轉磁式。轉樞式三相發電機之繞組，如圖 12-6(a) 所示，係在轉子 (rotor) 上，以字母 A、B、C 表示三繞組的代號，三繞組之相位差為 120°。轉磁式的三繞組在定子 (stator) 上，並由此固定的三繞組上取出三相電壓。實際上，一般發電廠都用轉磁式發電機。



(a) 轉樞式(磁場在定子)

圖 12-6　三相發電機



(b) 轉磁式(磁場在轉子)　　(c) 三繞組相位差

■ 圖 12-6　三相發電機（續）

轉磁式發電機的每一繞組都有相同之匝數及旋轉之角速度 ω，故可產生相同之正弦波電壓 $v_{AA'}$、$v_{BB'}$、$v_{CC'}$，如圖 12-6(b) 所示。三繞組分別為 AA'、BB'、CC'，每二繞組 A-B、B-C、C-A 間相位差為 120°，依正弦波瞬間電壓之數學式，$v(t) = V_m \sin(\omega t + \theta)$V，三繞組產生之瞬間電壓的關係為：

$$v_{AA'} = V_m \sin(\omega t + 0°) \tag{12-11}$$

$$v_{BB'} = V_m \sin(\omega t - 120°) \tag{12-12}$$

$$v_{CC'} = V_m \sin(\omega t - 240°) \tag{12-13}$$

式中，V_m 為最大值電壓，如圖 12-6(c) 所示。若以相量式表示，則為：

$$\overline{V}_{AA'} = V_P \angle 0° \tag{12-14}$$

$$\overline{V}_{BB'} = V_P \angle -120° \tag{12-15}$$

$$\overline{V}_{CC'} = V_P \angle -240° = V_P \angle 120° \tag{12-16}$$

式中，$\overline{V}_{AA'}$、$\overline{V}_{BB'}$、$\overline{V}_{CC'}$ 爲三相線電壓 (line voltage)，V_P 爲三相相電壓 (phase voltage)。V_P 爲有效值，$V_P = \dfrac{V_m}{\sqrt{2}}$。若以直角座標表示相量電壓，爲：

$$\overline{V}_{AA'} = V_P \angle 0° = V_P(\cos 0° + j\sin 0°) = V_P$$

$$\overline{V}_{BB'} = V_P \angle -120° = V_P[\cos(-120°) + j\sin(-120°)]$$
$$= V_P(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2})$$

$$\overline{V}_{CC'} = V_P \angle -240° = V_P[\cos(-240°) + j\sin(-240°)]$$
$$= V_P(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2})$$

將三相電壓相加，得：

$$\overline{V}_{AA'} + \overline{V}_{BB'} + \overline{V}_{CC'} = V_P(1 - \frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}) = 0$$

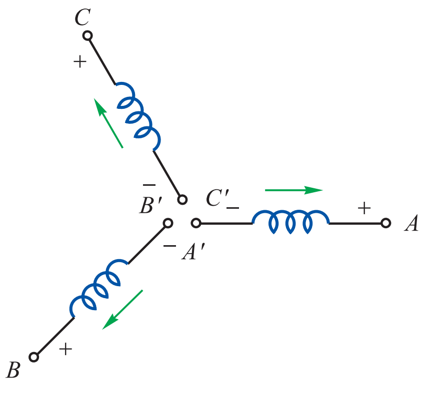
由式可知，在任意瞬間，三相電壓之代數和爲零，即：

$$\Sigma(\overline{V}_{AA'} + \overline{V}_{BB'} + \overline{V}_{CC'}) = 0$$

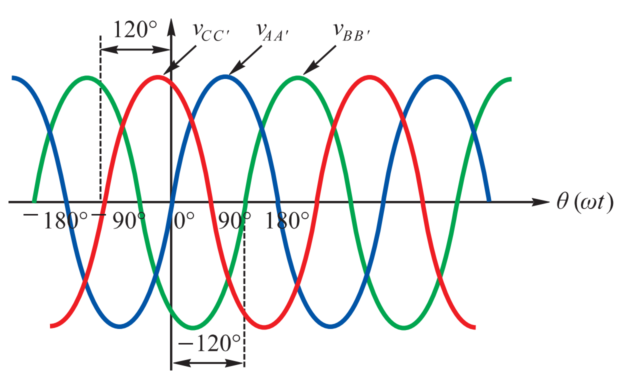
12-2.2　平衡三相系統

三相系統有平衡三相 (balanced three-phase) 及不平衡三相 (unbalanced three-phase) 兩種。平衡三相系統的特性是：

(1) 三繞組產生之正弦電壓具有相同的頻率及波幅，三者間之相位差爲 120°，如圖 12-7 所示。

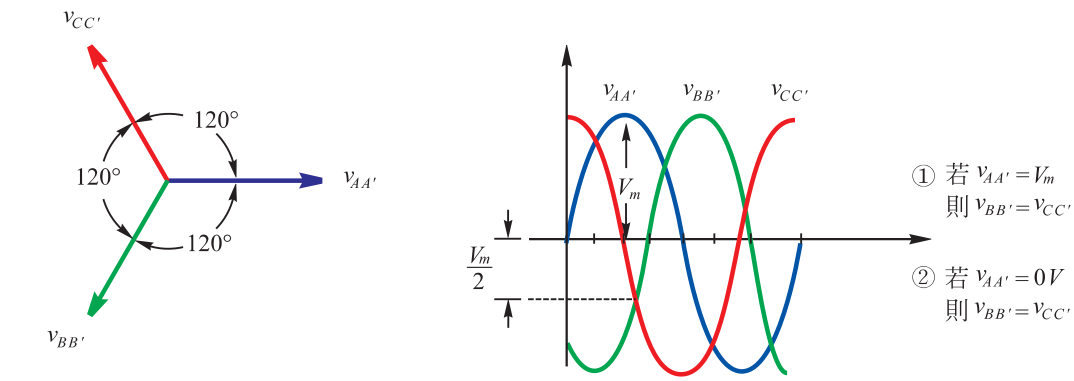


(a) 三相發電機之感應電壓



(b) 三相感應電壓之波形圖

圖 12-7　平衡三相系統



(c) 平衡三相感應電壓之相量圖　　(d)

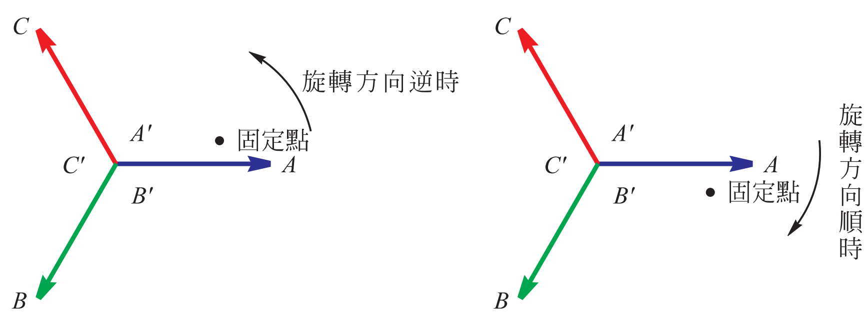
■ 圖 12-7　平衡三相系統（續）

(2) 任一相電壓為零時，另二相電壓為最大值之 86.6%。

(3) 當任一相電壓為最大值 (峰值) 時，另二相電壓為最大值的一半，且與最大值之極性相反。

相序 (phase sequence) 是指在三相系統中，各繞組之電壓波形在時間軸上的先後次序，如圖 12-7(a) 所示，相序有正負之分。

如圖 12-8 所示，三個相量 $\overline{V}_{AA'}$、$\overline{V}_{BB'}$ 及 $\overline{V}_{CC'}$ 依逆時針方向旋轉時，依其在實數軸上之投影 (或分量)，可知其在抵達最大值的先後順序為 A-B-C，如圖 12-8(a) 所示，相序為 A-B-C。若為圖 12-8(b)，則相序為 A-C-B。習慣上，若以數字 1-2-3 或字母 A-B-C 為正相序 (positvie phase sequence)，則相序 A-C-B 稱為負 (或反) 相序 (negative phase sequence)。相序不會影響發電機之電壓、電流及功率，但會影響電動機之旋轉方向，只要在負載端任意處互換兩條接線，即可達成。

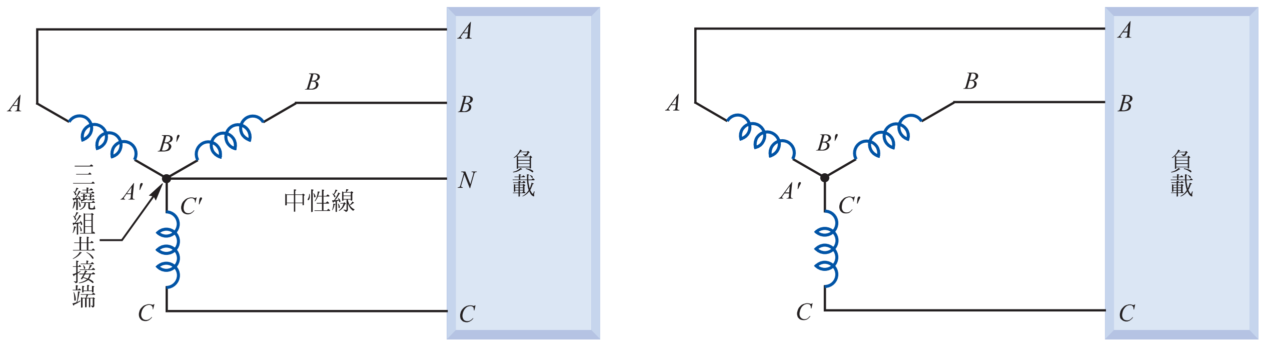


(a) 正相序：$A-B-C$　　(b) 負相序：$A-C-B$

■ 圖 12-8　相序

Y 形接法

三相系統繞組之接法，有 Y 及 Δ 型兩種。Y 形接法是將三繞組的一端接在共同點 N，另一端則分接在負載端，如圖 12-9(a) 所示。共同端點，稱爲中性點 (neutral point)，若由中性點接出引線，並接在負載端，則接在負載端有四條接線，稱此接線法爲三相四線式系統 (three-phase four-wire system，記爲 $3\phi 4W$)。如圖 12-9(b) 所示，若中性點沒有引線接出，則稱爲三相三線式系統 (three-phase three wire-system，記爲 $3\phi 3W$)。一般是將中性點接地，以大地代替中性線，好處是可加裝保護設備，以策安全。



(a) 三相四線式(有中性線)　　(b) 三相三線式(沒中性線)

■ 圖 12-9　三相 Y 形接法

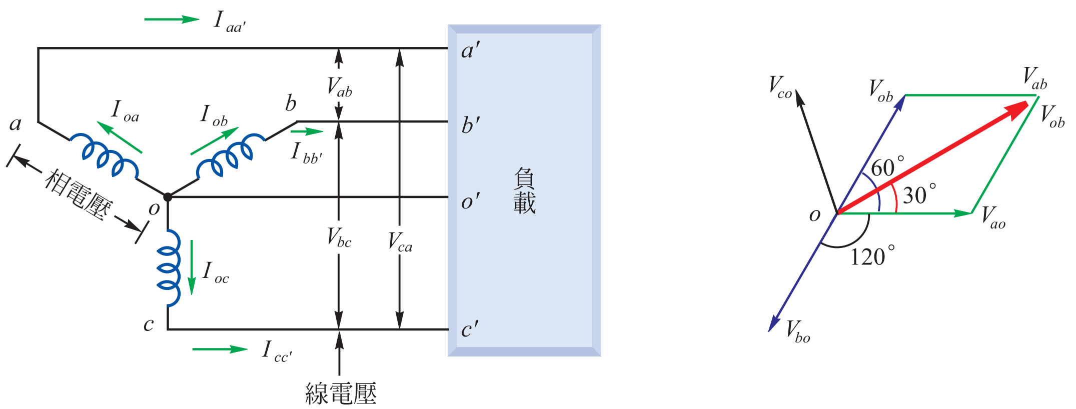
如圖 12-10(a) 所示，爲三相系統之 Y 形接法，每一繞組兩端間之電壓，如 $\overline{V}_{ao}$、$\overline{V}_{bo}$、$\overline{V}_{co}$，稱爲相電壓。跨於兩連接線間之電壓，如 $\overline{V}_{ab}$、$\overline{V}_{bc}$、$\overline{V}_{ca}$，稱爲線電壓。

提示 相電壓為繞組上產生之電壓。
線電壓為電源與負載間任兩接線間之電壓。

流入繞組之電流，如 $\overline{I}_{oa}$、$\overline{I}_{ob}$、$\overline{I}_{oc}$，稱爲相電流，流過電源與負載間之連接線，如 $\overline{I}_{aa'}$、$\overline{I}_{bb'}$、$\overline{I}_{cc'}$，稱爲線電流。若以相電壓 $\overline{V}_{ao}$ 作爲相量圖之參考軸，如圖 12-10(b) 所示，則三相三線式系統之線電壓與相電壓之關係，爲：

$$\overline{V}_{ab}=\overline{V}_{ao}+\overline{V}_{ob}=\overline{V}_{ao}-\overline{V}_{bo}$$
$$\overline{V}_{bc}=\overline{V}_{bo}+\overline{V}_{oc}=\overline{V}_{bo}-\overline{V}_{co}$$
$$\overline{V}_{ca}=\overline{V}_{co}+\overline{V}_{oa}=\overline{V}_{co}-\overline{V}_{ao}$$

12



(a) 三相 Y 接法　　(b) 總電壓(V_{ab})與相電壓(V_{ao})之關係

■ 圖 12-10　三相 Y 形接法電路

由式 (12-16) 可知：

$$\overline{V}_{ao} = V_P \angle 0°，\overline{V}_{bo} = V_P \angle -120°，\overline{V}_{co} = V_P \angle -240°$$

將上式代入式 (12-17)，得：

$$\begin{aligned}\overline{V}_{ab} &= \overline{V}_{ao} - \overline{V}_{bo} = V_P \angle 0° - V_P \angle -120° \\ &= V_P - V_P[\cos(-120°) + j\sin(-120°)] \\ &= V_P - V_P[-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}] = V_P(\frac{3}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2})\end{aligned}$$

$$\overline{V}_{ab} = \sqrt{3}V_P \angle 30° \quad \text{......(12-17)}$$

式中，V_P 為相電壓，如圖 12-10(a) 之 $\overline{V}_{ao}$。在三相系統之 Y 形接法，其線電壓 $\overline{V}_{ab}$ 為相電壓 V_P 的 $\sqrt{3}$ 倍，相電流等於線電流，如同串聯電路，即：

$$\overline{I}_{oa} = \overline{I}_{aa'}，\overline{I}_{ob} = \overline{I}_{bb'}，\overline{I}_{oc} = \overline{I}_{cc'}$$

所以在三相系統之 Y 形接法，相與線之電壓、電流關係為：

(1) 線電流 I_L = 相電流 I_P；線 Line，相 Phase。

(2) 線電壓 $V_L = \sqrt{3}$ 相電壓 V_P；線電壓等於相電壓的 $\sqrt{3}$ 倍。

[註]：$\sqrt{3} = 1.732$。

範例 12-2.1

三相平衡 Y 接法電路，若其相電壓 V_P 為 200V，則其線電壓為多少伏特？

解　三相平衡 Y 接法，其相、線電壓關係為：

線電壓 $V_L = \sqrt{3}$ 相電壓 $V_P = 1.732 \times 200 = 346.4\text{V}$

立即練習

三相平衡 Y 接法電路，若其線電壓 V_L 為 173.2V，則其相電壓為多少伏特？

Ans　$V_P = 100\text{V}$。

範例 12-2.2

三相平衡 Y 接法電路，若其線電壓 V_L 為 86.6V，每相阻抗 Z 為 10Ω，則其線電流為多少安培？

解　相電壓 $V_P = \dfrac{V_L}{\sqrt{3}} = \dfrac{86.6}{1.732} = 50\text{V}$。

線電流 I_L = 相電流 $I_P = \dfrac{V_P}{Z} = \dfrac{50}{10} = 5\text{A}$。

立即練習

三相 Y 形電路，已知線電流為 2A，每相阻抗為 25Ω，試求相電壓為多少伏特？

Ans　$V_P = 50\text{V}$。

12

相序

如圖 12-10 所示為三相 Y 形接法電路，其正、負相序電壓之相量圖，如圖 12-11 所示。

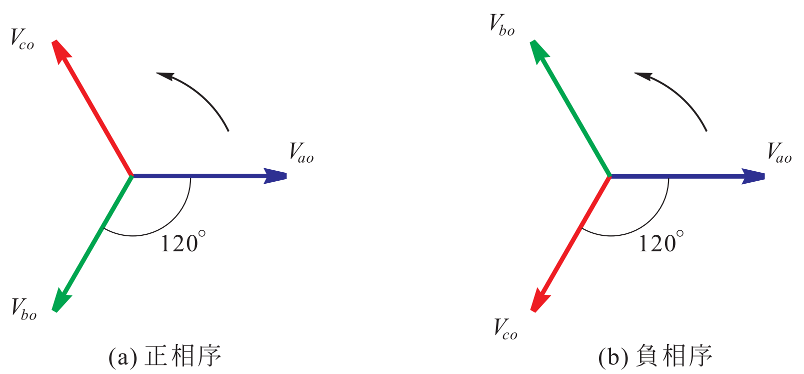
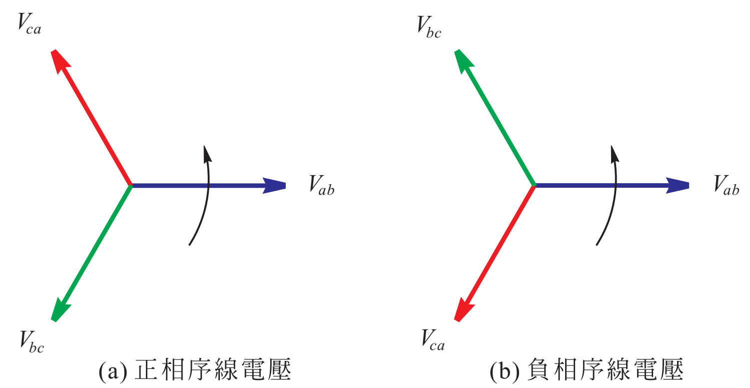


圖 12-11　相序

相序也可以線電壓表示，如圖 12-12 所示。



■ 圖 12-12　相序由電壓決定

相序另一作用是指定某繞組為參考電壓，即可判知另兩繞組之相量關係式為：

正相序線電壓：$\overline{V}_{ab}=\overline{V}_{ab}\angle 0°$　（參考電壓）

$\overline{V}_{bc}=\overline{V}_{bc}\angle -120°$

$\overline{V}_{ca}=\overline{V}_{ca}\angle +120°$

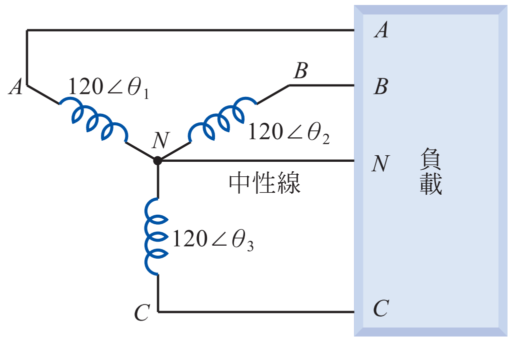
負相序線電壓：$\overline{V}_{ab}=\overline{V}_{ab}\angle 0°$　（參考電壓）

$\overline{V}_{ca}=\overline{V}_{ca}\angle -120°$

$\overline{V}_{bc}=\overline{V}_{bc}\angle +120°$

範例 12-2.3

如圖 12-13 為三相 Y 形電路，若相序為 A-B-C，問相角各為多少？



■ 圖 12-13

解　相序爲 ABC，係以 A 爲參考點，

則 $\theta_1 = 0^\circ$

$\theta_2 = -120^\circ$

$\theta_3 = -240^\circ$ 或 $+120^\circ$

立即練習

圖如範例 12-2.3，若相序爲 C-A-B，問相角各爲多少？

Ans　$\theta_3 = 0^\circ$，$\theta_1 = -120^\circ$，$\theta_2 = +120^\circ$。

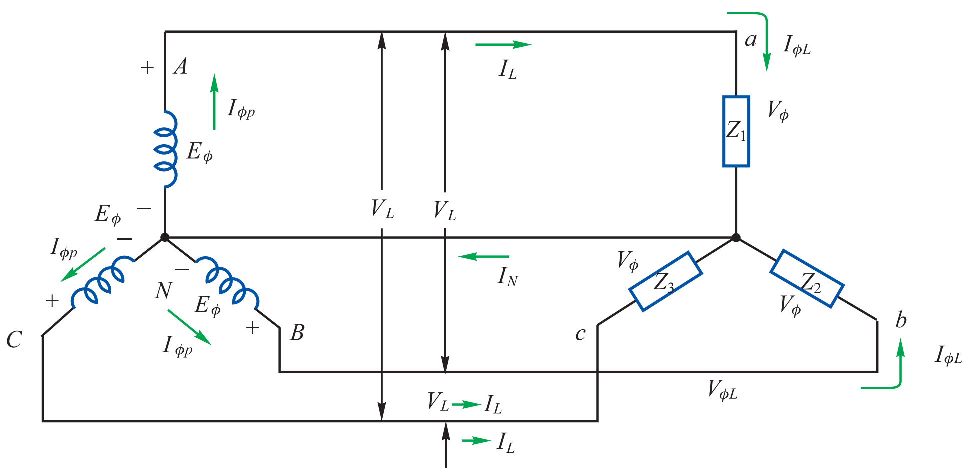
Y–Y 接法

三相系統 Y-Y 接法，是指發電機之三繞組與負載皆爲 Y 形接法，如圖 12-14 所示。Y-Y 接法具有中性線是其特點，若三相系統平衡，中性線電流 $I_N = 0\text{A}$，此時拿掉中性線也不會影響電路之運作。若三相不平衡，中性線將有電流 I_N 通過，由負載流回發電機。此爲三相不平衡必須考慮的狀況。

假設 Y-Y 接法三相系統平衡，則流過發電機上的每相電流與相對的每線電流大小相等。即：

$$\bar{I}_{\phi p} = \bar{I}_L = \bar{I}_{\phi L} \quad \text{(12-18)}$$

式中，$\bar{I}_{\phi p}$ 爲相電流，流過繞組之電流。$\bar{I}_L$ 爲線路電流。$\bar{I}_{\phi L}$ 爲流過負載之電流。

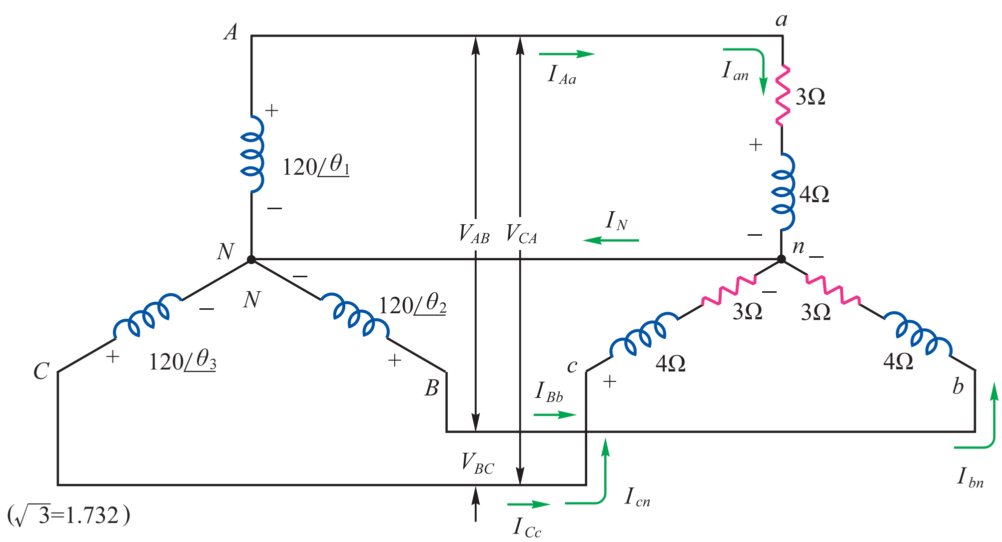


■ 圖 12-14　發電機與負載皆為 Y 接法

對負載而言，不論系統是平衡或不平衡，因發電機與負載間有中性線，故$\bar{V}_\phi = \bar{E}_\phi$。由於$\bar{I}_{\phi L} = \dfrac{\bar{V}_\phi}{\bar{Z}_\phi}$，而線電壓大小仍爲相電壓之$\sqrt{3}$倍。即：

$$V_L = \sqrt{3}\ V_\phi \qquad (12\text{-}19)$$

茲以實例說明三相平衡系統 Y-Y 接法，如圖 12-15 所示。設相序爲 A-B-C：



■ 圖 12-15　三相 Y-Y 接法

(1) 相角

由於相序爲 ABC，相角爲：

$\theta_1 = 0°$　(參考相角)，$\theta_2 = -120°$，$\theta_3 = +120°$

(2) 線電壓$\bar{V}_{AB}$、$\bar{V}_{BC}$、$\bar{V}_{CA}$

因線電壓$=\sqrt{3}$相電壓，則：

$V_L = \sqrt{3}E_\phi = 1.732\times120 = 208\text{V}$　$(\sqrt{3} = 1.732)$

$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = 208\text{V}$

(3) 線電流$\bar{I}_{Aa}$、$\bar{I}_{Bb}$、$\bar{I}_{Cc}$

由於$\bar{V}_\phi = \bar{E}_\phi$，則：

$\overline{V}_{an}=\overline{E}_{AN}$，$\overline{V}_{bn}=\overline{E}_{BN}$，$\overline{V}_{cn}=\overline{E}_{CN}$

$$\overline{I}_{an}=\frac{\overline{V}_{an}}{\overline{Z}_{an}}=\frac{120\angle 0^\circ}{(3+j4)}=\frac{120\angle 0^\circ}{5\angle 53.2^\circ}=24\angle -53.2^\circ\text{A}$$

$$\overline{I}_{bn}=\frac{\overline{V}_{bn}}{\overline{Z}_{bn}}=\frac{120\angle -120^\circ}{(3+j4)}=\frac{120\angle -120^\circ}{5\angle 53.2^\circ}=24\angle -173.2^\circ\text{A}$$

$$\overline{I}_{cn}=\frac{\overline{V}_{cn}}{\overline{Z}_{cn}}=\frac{120\angle 120^\circ}{(3+j4)}=\frac{120\angle 120^\circ}{5\angle 53.2^\circ}=24\angle 66.8^\circ\text{A}$$

因相電流 $\overline{I}_{Aa}$ = 線電流 $\overline{I}_{an}$，則：

$\overline{I}_{Aa}=24\angle -53.2^\circ\text{A}$

$\overline{I}_{Bb}=24\angle -173.2^\circ\text{A}$

$\overline{I}_{Cc}=24\angle 66.8^\circ\text{A}$

(4) 驗證：三相平衡時，中性線之電流 $I_N=0\text{A}$。

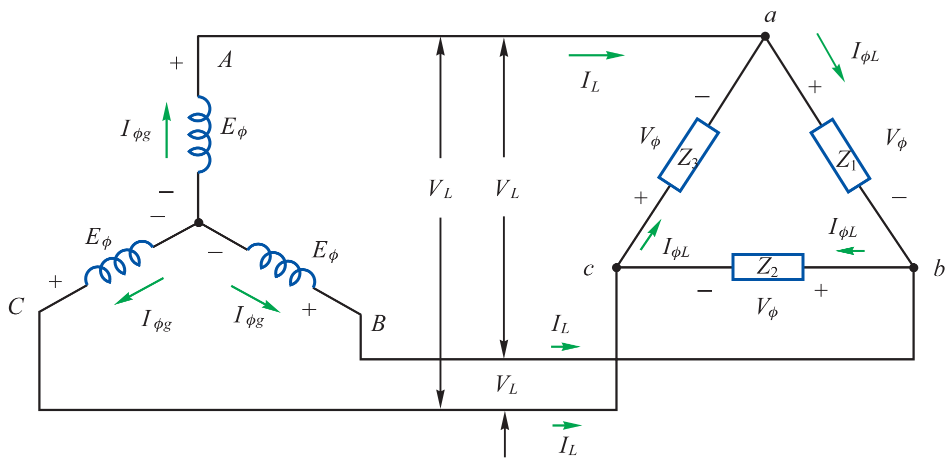
利用克希荷夫電流定律，流入節點電流等於流出。得：

$$\begin{aligned}\overline{I}_N&=\overline{I}_{Aa}+\overline{I}_{Bb}+\overline{I}_{Cc}\\&=24\angle -53.2^\circ+24\angle -173.2+24\angle 66.8^\circ\\&=14.4-j19.2+(-23.83-j2.87)+9.43+j22.07\\&=0+j0\text{A}\end{aligned}$$

由此可知，三相平衡系統之 Y-Y 接法，其中性線之電流 $I_N=0\text{A}$。

Y-Δ 接法

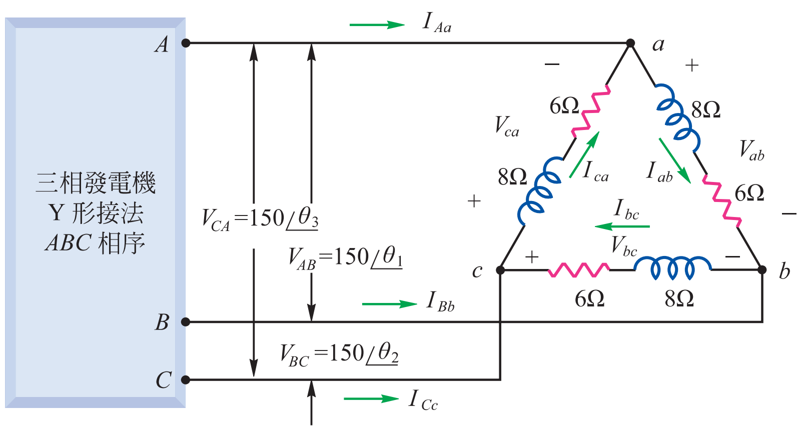
三相系統之 Y-Δ 接法，因 Δ 形接法沒有中性線，如圖 12-16 所示。在此系統中，因任何一相負載阻抗的變化，所形成系統不平衡的現象，只會改變系統的線及相電流。



■ 圖 12-16　三相系統之 Y-Δ 接法

對於平衡負載，每相之阻抗應相等，即：$Z_1 = Z_2 = Z_3$。每相負載電壓 V_ϕ，不論系統是否平衡，因 Δ 形接法之特性，皆會等於線電壓 V_L，即：$V_\phi = V_L$。線路電流 I_L 則為 Δ 形負載電流 I_ϕ 之 $\sqrt{3}$ 倍。即：$I_L = \sqrt{3} I_\phi$ 。

例題說明，如圖 12-17 所示。設三相平衡系統之相序為 A-B-C，則：



■ 圖 12-17

(1) 相角

$\theta_1 = 0°$(參考相角)，$\theta_2 = -120°$，$\theta_3 = +120°$

(2) 每一相負載之電流

由於 $\overline{V}_\phi = \overline{E}_L$，則：

$\overline{V}_{ab} = \overline{E}_{AB}$，$\overline{V}_{bc} = \overline{E}_{BC}$，$\overline{V}_{ca} = \overline{V}_{CA}$

$$\overline{I}_{ab} = \frac{\overline{V}_{ab}}{\overline{Z}_{ab}} = \frac{150\angle 0°}{(6+j8)} = \frac{150\angle 0°}{10\angle 53.2°} = 15\angle -53.2°\text{A}$$

$$\overline{I}_{bc} = \frac{\overline{V}_{bc}}{\overline{Z}_{bc}} = \frac{150\angle -120°}{(6+j8)} = \frac{150\angle -120°}{10\angle 53.2°} = 15\ \angle -173.2°\text{A}$$

$$\overline{I}_{bc} = \frac{\overline{V}_{ca}}{\overline{Z}_{ca}} = \frac{150\angle 120°}{(6+j8)} = \frac{150\angle 120°}{10\angle 53.2°} = 15\angle 66.8°\text{A}$$

(3) 線路電流

$I_L = \sqrt{3} I_\phi = 1.732 \times 15 = 25.95\text{A}$，即：

$\overline{I}_{Aa} = \overline{I}_{Bb} = \overline{I}_{Cc} = 25.95\text{A}$

Δ 形接法

三相發電機繞組之 Δ 形接法，是將三繞組之頭、尾兩端，接在負載相對之頭、尾兩端。各對應間形成一封閉迴路，如圖 12-18 所示。Δ 形接法因沒有中性端引出接線，接線的方式只有三相三線 ($3\phi 3W$) 式系統。每一繞組與對應的負載並接一起，故繞組之相電壓 V 等於線路電壓 V_{ab}，則：

$$V = V_{ab}$$

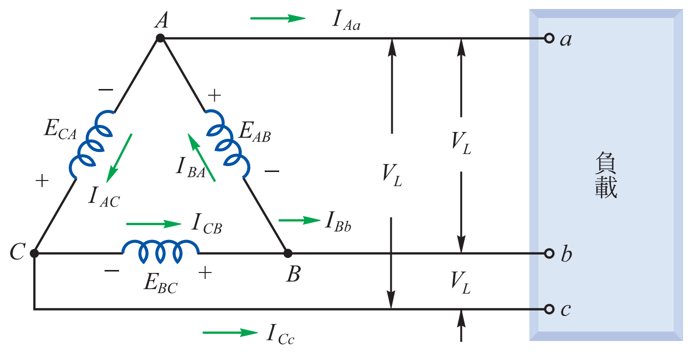


圖 12-18　三相 Δ 形接法

由圖所示，相電流與線電流之關係，依節點 (A、B、C) 電流關係，為：

$$\bar{I}_{Aa} = \bar{I}_{BA} + \bar{I}_{CA}$$
$$\bar{I}_{Bb} = \bar{I}_{CB} + \bar{I}_{AB}$$
$$\bar{I}_{Cc} = \bar{I}_{AC} + \bar{I}_{BC} \quad \text{(12-20)}$$

式中，$\bar{I}_{Aa}$、$\bar{I}_{Bb}$、$\bar{I}_{Cc}$ 為線電流，$\bar{I}_{BA}$、$\bar{I}_{CB}$、$\bar{I}_{AC}$ 為相電流。並設相電流 I 作為相量圖之參考軸，且令三相系統為正相序，則：

$$\bar{I}_{BA} = I\angle 0^\circ$$
$$\bar{I}_{CB} = I\angle -120^\circ$$
$$\bar{I}_{AC} = I\angle 120^\circ \quad \text{(12-21)}$$

將式 (12-21) 代入式 (12-20)，為：

$$\bar{I}_{Aa}=\bar{I}_{BA}+\bar{I}_{CA}=\bar{I}_{BA}-\bar{I}_{AC}=I\angle 0°-I\angle 120°$$
$$=I-I(-\frac{1}{2}+j\frac{\sqrt{3}}{2})=(\frac{3}{2}-j\frac{\sqrt{3}}{2})I$$
$$\bar{I}_{Aa}=\sqrt{3}\,I\angle -30° \quad \text{......(12-22)}$$

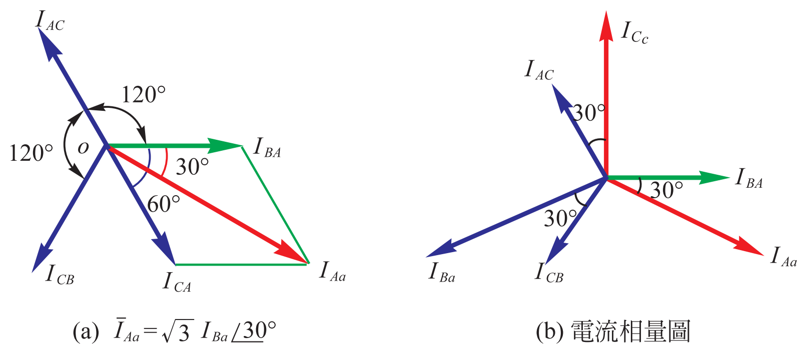
同理可得另兩線電流之相量關係式為：

$$\bar{I}_{Bb}=\sqrt{3}\,I\angle -150°$$
$$\bar{I}_{Cc}=\sqrt{3}\,I\angle 90°$$

在三相系統之 Δ 形接法，相與線之電壓、電流關係為：

(1) 相電壓＝線電壓。

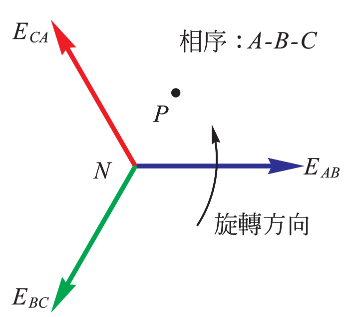
(2) 線電流＝$\sqrt{3}$ 相電流。如圖 12-19 所示。



■ 圖 12-19　相與線電流、電壓之關係

相序

Δ 形接法之線與相電壓相同，一般是以相電壓表示相序，如圖 12-20 所示。其相量表示法為：

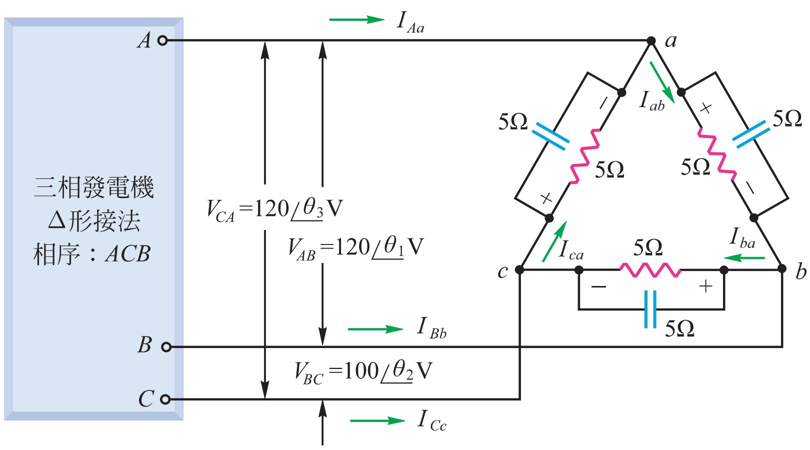


■ 圖 12-20　相序

$$\bar{E}_{AB}=E_{AB}\angle 0° \quad (\text{參考電壓})$$
$$\bar{E}_{BC}=E_{BC}\angle -120°$$
$$\bar{E}_{CA}=E_{CA}\angle -240° \text{ 或 } \bar{E}_{CA}=E_{CA}\angle +120°$$

Δ-Δ 接法

以實例說明，如圖 12-21 所示為三相系統 Δ-Δ 接法，設相序為 *A-C-B*，則：



■ 圖 12-21　三相系統 Δ-Δ 接法

(1) 相角

由於相序爲 ACB，相角爲：

$\theta_1 = 0°$　(參考相角)，$\theta_2 = 120°$，$\theta_3 = -120°$

(2) 各相之負載電流

由於 $V_L = E_\phi$，則：

$\overline{V}_{ab} = \overline{E}_{AB}$，$\overline{V}_{bc} = \overline{E}_{BC}$，$\overline{V}_{ca} = \overline{E}_{CA}$

$$阻抗\ Z = \frac{5\times(-j5)}{5-j5} = \frac{5\angle0°\times5\angle-90°}{\sqrt{5^2+5^2}\angle\tan^{-1}\frac{-5}{5}} = \frac{25\angle-90°}{5\sqrt{2}\angle-45°}$$

$$= 3.54\angle-45°\Omega$$

$$\overline{I}_{ab} = \frac{\overline{V}_{ab}}{\overline{Z}_{ab}} = \frac{120\angle0°}{3.54\angle-45°} = 33.9\angle45°\text{A}$$

$$\overline{I}_{bc} = \frac{\overline{V}_{bc}}{\overline{Z}_{bc}} = \frac{120\angle120°}{3.54\angle-45°} = 33.9\angle165°\text{A}$$

$$\overline{I}_{ca} = \frac{\overline{V}_{ca}}{\overline{Z}_{ca}} = \frac{120\angle-120°}{3.54\angle-45°} = 33.9\angle-75°\text{A}$$

(3) 各線電流

$I_L = \sqrt{3}I_\phi = 1.732\times33.9 = 58.72\text{A}$，即：

$I_{Aa} = I_{Bb} = I_{Cc} = 58.72\text{A}$

Δ-Y 接法

以實例說明，如圖 12-22 所示爲三相系統 Δ-Y 接法，則：

(1) 負載上各相之電壓

由於 Y 形接法，線與相電流相等，則：

$\overline{I}_{an} = \overline{I}_{Aa} = 2\ \angle\ 0°$

$\overline{I}_{bn} = \overline{I}_{Bb} = 2\ \angle -120°$

$\overline{I}_{cn} = \overline{I}_{Cc} = 2\ \angle\ 120°$

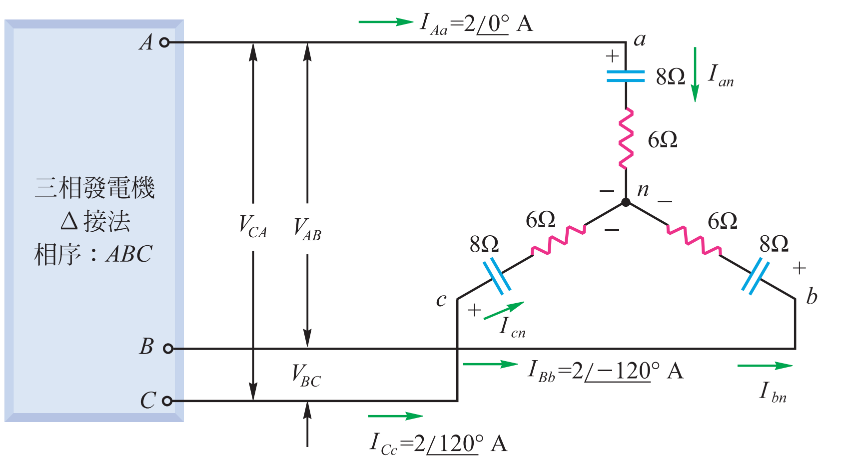
阻抗 $\overline{Z} = 6-j8 = \sqrt{6^2+8^2}\ \tan^{-1}\angle\dfrac{-8}{6} = 10\ \angle -53.2°\Omega$

相電壓爲：

$\overline{V}_{an} = \overline{I}_{an}\ \overline{Z}_{an} = 2\angle\ 0°\times 10\ \angle -53.2° = 20\ \angle -53.2°\text{V}$

$\overline{V}_{bn} = \overline{I}_{bn}\ \overline{Z}_{bn} = 2\angle -120°\times 10\angle -53.2° = 20\ \angle -173.2°\text{V}$

$\overline{V}_{cn} = \overline{I}_{cn}\ \overline{Z}_{cn} = 2\ \angle\ 120°\times 10\ \angle -53.2° = 20\ \angle\ 66.8°\text{V}$



■ 圖 12-22　三相系統 Δ-Y 接法

(2) 各線電壓

由於線電壓= $\sqrt{3}$ 相電壓= 1.732×20 = 34.6V

$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = 34.6\text{V}$

12-2.3　三相系統的總功率

在三相系統中，總功率爲單相功率的總和，而與 Y 或 Δ 的接法無關。

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3$$

式中，P_T 爲總功率，P_1、P_2、P_3 爲單相功率。在平衡三相系統中，因各相之電壓及電流相同，故其功率應相等，即：

$$P_1 = P_2 = P_3 = P$$

因此，總功率應爲單相功率之 3 倍。即：

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 = 3P \quad \text{(12-23)}$$

Y 形接法之總功率

三相系統在 Y 形接法中，其相電流 I_p =線電流 I_L，線電壓 $V_L = \sqrt{3}$ 相電壓 V_p，總功率爲：

$$P_T = 3V_p\, I_p = 3\frac{V_l}{\sqrt{3}} I_l = \sqrt{3} V_L\, I_L \quad \text{(12-24)}$$

無效功率

每相之無效功率 Q_p 爲：

$$Q_p = V_p\, I_p \sin\theta = I_p^2\, X_p = \frac{V_P^2}{X_P} \quad \text{(12-25)}$$

負載之總無效功率爲：

$$Q_T = 3Q_p = \sqrt{3} V_L\, I_L = 3I_L^2\, X_P \quad \text{(12-26)}$$

視在功率

每相之視在功率 S_p 爲：

$$S_p = V_p\, I_p \quad \text{(12-27)}$$

負載之總視在功率爲

$$S_T = 3S_p = \sqrt{3} V_L\, I_L \quad \text{(12-28)}$$

功率因數

系統之功率因數爲：

$$PF = \cos\theta = \frac{P_T}{S_T}\ (\text{超前或滯後}) \cdots\cdots\cdots (12\text{-}29)$$

範例 12-2.4

三相平衡系統，負載爲 Y 形接法，若阻抗爲 3 + j4Ω，線電壓爲 173.2V，試求三相系統之 (1) 平均功率，(2) 無效功率，(3) 視在功率，(4) 功率因數。

解

由題意：$\overline{Z}_p = 3 + j4 = \sqrt{3^2+4^2}\ \tan^{-1}\angle\frac{4}{3} = 5\angle 53.2°\Omega$，即：$\theta = 53.2°$

$$V_p = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{173.2}{1.732} = 100\text{V}$$

$$I_p = \frac{V_p}{Z_p} = \frac{100}{5} = 20\text{A}$$

(1) 平均功率

每相之平均功率 $P_p = V_p\, I_p \cos\theta = 100\times 20\cos 53.2°$

$= 2000\times 0.6 = 1200\text{W}$

三相總功率 $P_T = 3P_p = 3\times 1200 = 3600\text{W}$

(2) 無效功率

每相之無效功率 $Q_p = V_p\, I_p \sin\theta = 100\times 20\sin 53.2°$

$= 2000\times 0.8 = 1600\text{VAR}$

三相總無效功率 $Q_T = 3Q_p = 3\times 1600 = 4800\text{VAR}$

(3) 視在功率

每相之視在功率 $S_p = V_p\, I_p = 100\times 20 = 2000\text{VA}$

三相總視在功率 $S_T = 3S_p = 3\times 2000 = 6000\text{VA}$

(4) 功率因數

$PF = \cos\theta = \cos 53.2° = 0.6$(滯後)，另解：

$$PF = \frac{P_T}{S_T} = \frac{3600}{6000} = 0.6(\text{滯後})$$

立即練習

三相平衡系統，已知阻抗爲 10 ∠ 45°Ω，試求系統之功率因數爲何？

Ans　0.707。

Δ 形接法之總功率

三相系統在 Δ 形接法中，其線電流 $I_L=\sqrt{3}$ 相電流 I_p，線電壓 V_L = 相電壓 V_p，總功率爲：

$$P_T=3V_p\,I_p=3\frac{I_L}{\sqrt{3}}V_L=\sqrt{3}V_L\,I_L \quad \text{.............................(12-30)}$$

由式 (12-24) 及 (12-30) 中，若不考慮功率因率值，即功率因數爲 1 時，總功率爲線電壓與線電流乘積之 $\sqrt{3}$ 倍，而爲相電壓與相流乘積之 3 倍。

當功率因數不爲 1 時，則必須考慮單相間之電壓與電流的相位角 θ。總功率應爲：

$$P_T=3V_p\,I_p\cos\theta=\sqrt{3}V_L\,I_L\cos\theta \quad \text{...........................(12-31)}$$

式中，θ 表示相電壓與相電流之相位角，不是線電壓與線電流之相位角。

同理，三相系統之虛功率爲：

$$Q_T=3V_p\,I_p\sin\theta=\sqrt{3}\,V_L\,I_L\sin\theta \quad \text{..........................(12-32)}$$

視在功率

每相之視在功率 $S_p=V_p\,I_p$

$$\text{三相總視在功率 } S_T=3S_p=\sqrt{3}\,V_L\,I_L \quad \text{......................(12-33)}$$

功率因數

$$\text{PF}=\cos\theta=\frac{P_T}{S_T}\ \text{(超前或滯後)} \quad \text{.............................(12-34)}$$

12

範例 12-2.5

三相平衡系統，若負載為 Δ 接法，已知線電壓為 200V，負載阻抗為 $8+j6$，試求三相系統之 (1) 平均功率，(2) 無效功率，(3) 視在功率，(4) 功率因數。

解 由題意：$\bar{Z}=8+j6=\sqrt{8^2+6^2}\ \tan^{-1}\angle\dfrac{6}{8}=10\angle 37°\Omega$

$V_p=V_L=200\text{V}$

$I_p=\dfrac{V_p}{Z_p}=\dfrac{200}{10}=20\text{A}$

(1) 平均功率 $P_T=3I_p^2\,R=3\times 20^2\times 8=9600\text{W}$

(2) 無效功率 $Q_T=3I_p^2\,X=3\times 20^2\times 6=7200\text{VAR}$

(3) 視在功率 $S_T=3V_p\,I_p=3\times 200\times 20=12000\text{VA}$

(4) 功率因數 $\text{PF}=\dfrac{P_T}{S_T}=\dfrac{9600}{12000}=0.8$(滯後)

立即練習

三相平衡系統，負載接成三角形，若相電壓為 120V，相電流為 10A，相位角為 60°，求系統之總功率、總視在功率及功率因數為何？

Ans 1800W，3600VA，0.5(滯後)。

範例 12-2.6

設聯結成 Y 形之三相電動機，每相阻抗為 $(4+j3)\Omega$，線電壓為 220V，求線電流為多少 A？

解 相電壓 $V_P=$線電壓 $\dfrac{V_L}{\sqrt{3}}=\dfrac{200}{\sqrt{3}}=127\text{V}$

阻抗 $Z=\sqrt{3^2+4^2}=5\Omega$

Y 型 (串聯) 聯結電流相等，$I_L=I_P=\dfrac{V_P}{Z}=\dfrac{127}{5}=25.4\text{A}$

立即練習

若聯結三角形之三相電動機，線電壓為 380V，每相阻抗為 $10\angle 30°\Omega$，求相電壓為何？

Ans 380V。

範例 12-2.7

三相負載，若聯結 Δ 形，線電壓及電流分別爲 200V 及 12A，求相電壓及電流爲若干？

解 Δ 型同並聯電壓相等，$V_P = V_L = 200\text{V}$

相電流 $I_P =$ 線電流 $\dfrac{I_L}{\sqrt{3}} = \dfrac{12}{\sqrt{3}} = 4\sqrt{3} = 6.93\text{A}$

立即練習

三相負載結成 Δ 形，線電流 21A，阻抗 $(8 + j6)\Omega$，求相電壓爲多少 V？

Ans $70\sqrt{3}$ V。

範例 12-2.8

在相同電源下，三相 Δ 形負載之電流及功率爲 Y 形之多少倍？

解 $I_\Delta = 3I_\text{Y}$，$P_\Delta = 3P_\text{Y}$

12-2.4　Y-Δ 互換

三相交流網路阻抗負載之接法有 Y 及 Δ 形兩種。阻抗負載 Y 與 Δ 形相互轉換之方式爲：

(1) Y 形轉換成 Δ 形。其數學式如圖 12-23 所示：

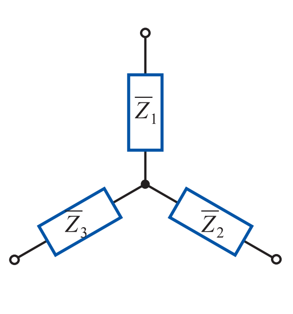
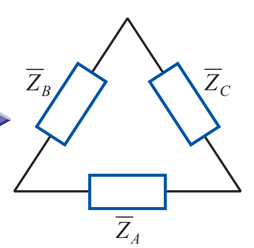
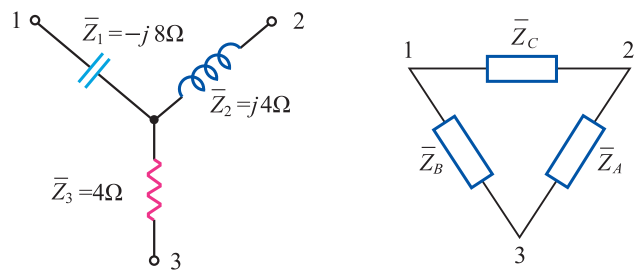
Y 形	轉換之數學式	△形
	原則：$\dfrac{\text{Y 形兩阻抗間相互乘積之和}}{\text{△形對應 Y 形之阻抗}}$ $\overline{Z}_A = \dfrac{\overline{Z}_1\overline{Z}_2 + \overline{Z}_2\overline{Z}_3 + \overline{Z}_3\overline{Z}_1}{\overline{Z}_1}$ $\overline{Z}_B = \dfrac{\overline{Z}_1\overline{Z}_2 + \overline{Z}_2\overline{Z}_3 + \overline{Z}_3\overline{Z}_1}{\overline{Z}_2}$ $\overline{Z}_C = \dfrac{\overline{Z}_1\overline{Z}_2 + \overline{Z}_2\overline{Z}_3 + \overline{Z}_3\overline{Z}_1}{\overline{Z}_3}$	

圖 12-23　Y 形轉 Δ 形之數學式

範例 12-2.9

如圖 12-24 所示，轉換 Y 形阻抗爲對應之 Δ 形阻抗。



■ 圖 12-24

解 先求出轉換之共同項：

$$\bar{Z}_1\bar{Z}_2 + \bar{Z}_2\bar{Z}_3 + \bar{Z}_3\bar{Z}_1 = (-j8)\times j4 + j4\times 4 + (-j8)\times 4 = 32 + j16 - j32 = 32 - j16$$

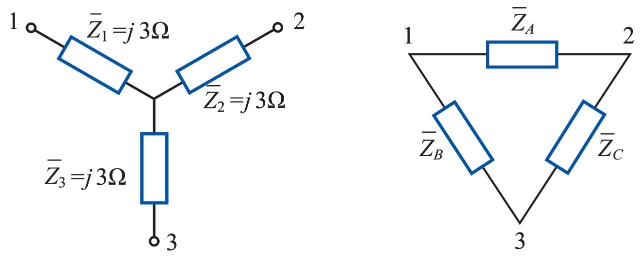
$$\bar{Z}_A = \frac{32 - j16}{\bar{Z}_1} = \frac{32 - j16}{-j8} = \frac{j32 + 16}{8} = (2 + j4)\Omega$$ （分子及分母各乘 j。$j^2 = -1$）

$$\bar{Z}_B = \frac{32 - j16}{\bar{Z}_2} = \frac{32 - j16}{j4} = \frac{j32 + 16}{-4} = (-4 - j8)\Omega$$

$$\bar{Z}_C = \frac{32 - j16}{\bar{Z}_3} = \frac{32 - j16}{4} = (8 - j4)\Omega$$

立即練習

如圖 12-25 所示，將 Y 形阻抗轉換爲對應之 Δ 形阻抗，試求 $\bar{Z}_A$ 爲多少？



■ 圖 12-25

Ans $\bar{Z}_A = j9\Omega$。

範例 12-2.10

如圖 12-26 所示，將 Y 形阻抗轉換爲對應之 Δ 形阻抗。

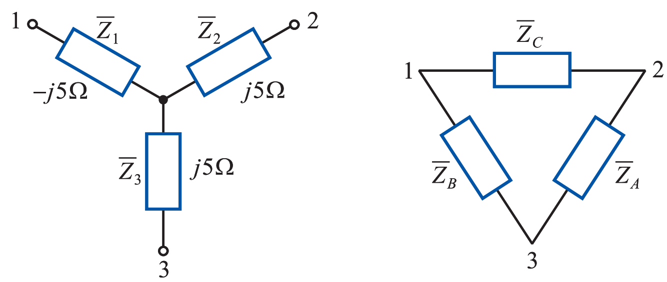
解　先求出轉換之共同項：

$\bar{Z}_1\bar{Z}_2+\bar{Z}_2\bar{Z}_3+\bar{Z}_3\bar{Z}_1=(-j5)\times j5+j5\times j5+(-j5)\times j5=25$

$\bar{Z}_A=\dfrac{25}{Z_1}=\dfrac{25}{-j5}=j5\Omega$

$\bar{Z}_B=\dfrac{25}{Z_2}=\dfrac{25}{j5}=-j5\Omega$

$\bar{Z}_C=\dfrac{25}{Z_3}=\dfrac{25}{j5}=-j5\Omega$



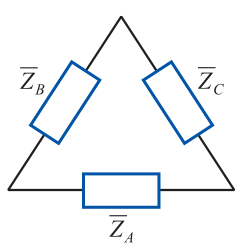
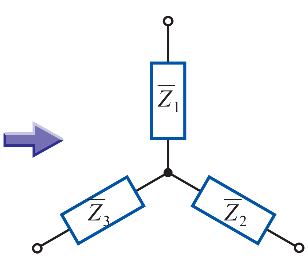
■ 圖 12-26

立即練習

若將圖 12-26 之阻抗改為，$\bar{Z}_1=\bar{Z}_2=\bar{Z}_3=-j5\Omega$，試求 Δ 形之 $\bar{Z}_A$ 為多少？

Ans 5Ω。

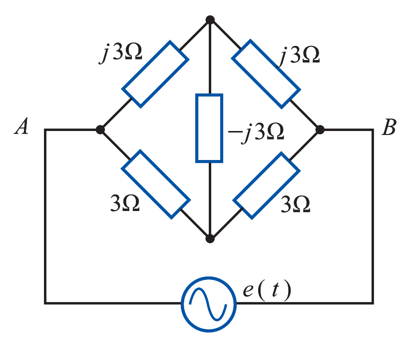
(2) Δ 形轉換成 Y 形。其數學式如圖 12-27 所示：

△形	轉換之數學式	Y 形
	原則：$\dfrac{\text{△ 形兩相鄰阻抗之乘積}}{\text{△形三阻抗之和}}$ $\bar{Z}_1=\dfrac{\bar{Z}_B\bar{Z}_C}{\bar{Z}_A+\bar{Z}_B+\bar{Z}_C}$ $\bar{Z}_2=\dfrac{\bar{Z}_C\bar{Z}_A}{\bar{Z}_A+\bar{Z}_B+\bar{Z}_C}$ $\bar{Z}_3=\dfrac{\bar{Z}_A\bar{Z}_B}{\bar{Z}_A+\bar{Z}_B+\bar{Z}_C}$	

■ 圖 12-27　Δ 形轉 Y 形之數學式

範例 12-2.11

如圖 12-28 所示：試求 A、B 兩間之阻抗 $\bar{Z}_{AB}$ 為多少？



■ 圖 12-28

解　將 Δ 形轉換成 Y 形，共同項為：

$\bar{Z}_A+\bar{Z}_B+\bar{Z}_C=j3+3+(-j3)=3$

$\bar{Z}_1=\dfrac{\bar{Z}_B\bar{Z}_C}{\bar{Z}_A+\bar{Z}_B+\bar{Z}_C}=\dfrac{j3\times 3}{3}=j3\Omega$

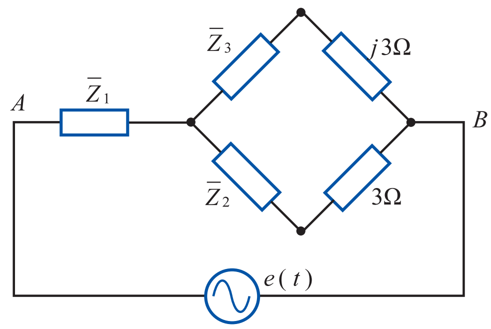
$\bar{Z}_2=\dfrac{\bar{Z}_C\bar{Z}_A}{\bar{Z}_A+\bar{Z}_B+\bar{Z}_C}=\dfrac{-j3\times 3}{3}=-j3\Omega$

$$\bar{Z}_3=\frac{\bar{Z}_A\bar{Z}_B}{\bar{Z}_A+\bar{Z}_B+\bar{Z}_C}=\frac{-j3\times j3}{3}=3\Omega$$

由下圖可知，$\bar{Z}_3$ 串聯 $j3\Omega$、$\bar{Z}_2$ 串聯 3Ω，兩者先並聯再和 $\bar{Z}_1$ 串聯等於 $\bar{Z}_{AB}$。

$\bar{Z}_3$ 串聯 $j3\Omega=3+j3$，$\bar{Z}_2$ 串聯 $3\Omega=-j3+3=3-j3$

$$\bar{Z}_{AB}=j3+\frac{(3+j3)(3-j3)}{3+j3+3-j3}=j3+3=(3+j3)\Omega$$



立即練習

如上圖電路接上電壓 $e(t)=12\sin(\omega t+45°)$V，求總電路電流爲多少安培？(相量式表示)

Ans $1\angle 0°$ 安培。

三阻抗相同

阻抗負載 Y 形或 Δ 形，若三阻抗值相同，兩者互換的數學式爲：

$$Y\rightarrow\Delta：\bar{Z}_\Delta=3\bar{Z}_Y$$

$$\Delta\rightarrow Y：\bar{Z}_Y=\frac{\bar{Z}_\Delta}{3}$$

範例 12-2.12

三相負載阻抗接成 Y 形，其阻抗值皆爲 $(2-j4)\Omega$，若求等效 Δ 形之阻抗值爲多少？

解 $Y\rightarrow\Delta：\bar{Z}_\Delta=3\bar{Z}_Y=3\times(2-j4)=(6-j12)\Omega$

立即練習

Δ 形負載的阻抗值皆為 $j6\Omega$，求等效 Y 形之阻抗值為多少？

Ans $j2\Omega$。

隨堂練習

(　)1. 平衡三相電路，各相間的相位差為 (A)0 (B)90 (C)120 (D)180 度。

(　)2. 在 Y 接平衡三相制中，相壓的大小是線電壓大小的 (A)1 倍 (B) $\sqrt{2}$ 倍 (C) $\sqrt{3}$ 倍 (D) $1/\sqrt{3}$ 倍。

(　)3. 三相平衡 Y 接負載，每相之阻抗為 $10\angle 30°$ 歐姆，若線電壓為 220 伏特，則總功率為 (A)4192 (B)1397 (C)4840 (D)14520 W。

(　)4. 10kVA/220V 三相電動機，其功率因數為 0.5，則平均功率為： (A)5kW (B)8kW (C)7kW (D)10kW。

(　)5. 下列有關平衡三相電壓的敘述，何者正確？ (A) 三相電壓相位角均相同 (B) 三相電壓的瞬時值總和可以不為零 (C) 三相電壓的大小均相同 (D) 三相電壓的波形可以不相同。

(　)6. 平衡三相 Y 連接電源，相序為 a-b-c，若 $\overline{V}_{ab} = 220\angle 120°$，則 (A) $\overline{V}_{bc} = 220\angle -120°$ (B) $\overline{V}_{ca} = 220\angle 0°$ (C) $\overline{V}_{bc} = 220\angle 0°$ (D) $\overline{V}_{ca} = 220\angle -120°$。

(　)7. 在相同負載功率與距離條件下，下列有關交流電源之敘述，何者錯誤？
(A) 提高輸電電壓可提高輸電效率
(B) 將 $1\phi 2W$ 電源配線改為 $1\phi 3W$ 電源配線將增加線路損失
(C) 將 $1\phi 2W$ 電源配線改為 $1\phi 3W$ 電源配線可減少線路壓降比
(D) 改善負載端之功率因數可降低輸電損失。

(　)8. 接於三相平衡電源之 Δ 接三相平衡負載，每相阻抗為 $(6 + j8)\Omega$，負載端線電壓有效值為 200V，則此負載總消耗平均功率為何？ (A)7200W (B)4800W (C)3600W (D)2400W。

(　)9. 單相二線制 ($1\phi 2W$) 交流供電系統，供應交流 110V 負載。若改為單相三線制 ($1\phi 3W$) 供電，在負載不變且負載分配平衡，以及相同傳送距離與相同線路損失之條件下，$1\phi 3W$ 之每條電源傳輸導線截面積應為 $1\phi 2W$ 每條電源傳輸導線截面積的多少倍？ (A)2 倍 (B)0.625 倍 (C)0.375 倍 (D)0.25 倍。

12

( )10. 下列何者不是三相平衡電源所需具備之條件？ (A) 電壓大小相同 (B) 相位角相同 (C) 頻率相同 (D) 以上皆為三相平衡電源所需具備之條件。

( )11. 有一工廠之動力設備為 15kVA，若三相三線之供電電壓為 220V，則線電流為多少安培？ (A)48.65A (B)56.56A (C)39.40A (D)66.20A。

( )12. 某三相 Δ 型平衡負載之相阻抗 $\bar{Z} = 12\angle 60°$ 歐姆，線電壓為 240 伏特，則該負載消耗總有效功率為 (A)4156.8 瓦 (B)7200 瓦 (C)14400 瓦 (D)28800 瓦。

本章摘要

第 1 節

1. 交流電路依供電之形式區分爲單相、二相及三相電源。
2. 單相電源依與負載連接的方式，可分爲單相二線式 ($1\phi 2W$) 及單相三線式 ($1\phi 3W$) 兩種。
3. 單相二線式與三線式的比較：

項目	供電線路壓降	電力損失	用銅量
單相二線式	V_2	P_2	W_2
單相三線式	$V_3=\frac{V_2}{4}$	$P_3=\frac{P_2}{4}$	$\frac{W_3}{W_2}=37.5\%$

第 2 節

4. 多相系統有二相、三相、四相及六相等。如以數學式來表示相位角 θ，則 $\theta=\frac{360°}{n}$ (n 爲相數)。
5. 三相發電機的種類有 (1) 轉樞式，其繞組在轉子上，(2) 轉磁式，其繞組在定子上。
6. 三相系統有平衡三相 (balanced three-phase) 及不平衡三相 (unbalanced three-phase) 兩種。
7. 平衡三相系統是指三繞組產生之正弦電壓具有相同的頻率及波幅，三者間之相位差爲 120°。
8. 在平衡三相系統中，任一相電壓爲零時，另二相電壓爲最大值之 86.6%。
9. 當任一相電壓爲最大值 (峰値) 時，另二相電壓爲最大值的一半，且與最大值之極性相反。
10. 在三相系統中，依逆、順時針方向旋轉有正相序與負相序兩種。
11. 三相系統之繞組接法，有 Y 及 Δ 形兩種。
12. Y 形接法是將三繞組的一端接在共同點 N，另一端則接在負載。共同端點，稱爲中性點。

本章摘要

13. Δ 形接法，是將三繞組之頭端全接在一起，尾端全接在一起，形成一封閉迴路。

14. 在三相系統之 Y 形接法，其線電壓爲相電壓的 $\sqrt{3}$ 倍，相電流等於線電流，同串聯電路。

15. 三相系統之 Δ 形接法，相電壓＝線電壓。線電流＝ $\sqrt{3}$ 相電流。同並聯電路。

16. 三相系統中，總功率爲三相之單相功率的和，而與 Y 或 Δ 接法無關。

17. Y 形接法之總功率 $P_T = 3V_p\, I_p = \sqrt{3}\,V_L\, I_L$。

18. Y 形接法負載之總無效功率爲：$Q_T = 3Q_p = \sqrt{3}\,V_L\, I_L = 3I_L^2\, X_p$。

19. Y 形接法負載之總視在功率爲 $S_T = 3S_p = \sqrt{3}\,V_L\, I_L$。

20. Y 形接法之功率因數爲：$\mathrm{PF} = \cos\theta = \dfrac{P_T}{S_T}$。

21. Δ 形接法之總功率 $P_T = 3V_p\, I_p = \sqrt{3}\,V_L\, I_L$。

22. Δ 形接法負載之總無效功率爲：$Q_T = 3V_p\, I_p \sin\theta = \sqrt{3}\,V_L\, I_L \sin\theta$。

23. Δ 形接法負載之總視在功率爲 $S_T = 3S_p = \sqrt{3}\,V_L\, I_L$。

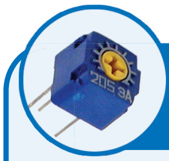
24. Δ 形接法之功率因數爲：$\mathrm{PF} = \cos\theta = \dfrac{P_T}{S_T}$。

25. Y → Δ：$\bar{Z}_A = \dfrac{\bar{Z}_1\bar{Z}_2 + \bar{Z}_2\bar{Z}_3 + \bar{Z}_3\bar{Z}_1}{\bar{Z}_1}$，$\bar{Z}_B = \dfrac{\bar{Z}_1\bar{Z}_2 + \bar{Z}_2\bar{Z}_3 + \bar{Z}_3\bar{Z}_1}{\bar{Z}_2}$

    $\bar{Z}_C = \dfrac{\bar{Z}_1\bar{Z}_2 + \bar{Z}_2\bar{Z}_3 + \bar{Z}_3\bar{Z}_1}{\bar{Z}_3}$

26. Δ → Y：$\bar{Z}_1 = \dfrac{\bar{Z}_B\bar{Z}_C}{\bar{Z}_A + \bar{Z}_B + \bar{Z}_C}$，$\bar{Z}_2 = \dfrac{\bar{Z}_C\bar{Z}_A}{\bar{Z}_A + \bar{Z}_B + \bar{Z}_C}$

    $\bar{Z}_3 = \dfrac{\bar{Z}_A\bar{Z}_B}{\bar{Z}_A + \bar{Z}_B + \bar{Z}_C}$



學後評量 EXERCISE

一、選擇題

基礎題

(　)1. 在 Y 形接法三相平衡制中，相電壓的大小是線電壓大小的　(A) $1/\sqrt{2}$ 倍　(B) $\sqrt{2}$ 倍　(3) $1/\sqrt{3}$ 倍　(4) $\sqrt{3}$ 倍。

(　)2. 如第 1 題，在正相序條件下，相電壓較線電壓落後之相角為　(A)30°　(B)45°　(C)60°　(D)0°。

(　)3. 220 伏特 Y 接之三相平衡電源，供給一平衡三相負載之功率為 22 仟瓦，若線電流為 100 安培，則負載之功率因數為　(A)0　(B)1　(C) $\sqrt{3}$　(D) $1/\sqrt{3}$ 。

(　)4. 三相系統負載接成三角形，線電壓為 200V，負載每相阻抗皆為 10Ω，試求線電流為　(A)17.3　(B)20　(C)28.28　(D)34.64　A。

(　)5. 線電壓為 $200/\sqrt{3}$ 伏特之 50kVA 三相電機，求線電流為　(A)25　(B)100　(C)200　(D)250　A。

(　)6. 工廠供電為三相三線 220V，其動力設備為 15kVA，試求線路電流為　(A)39.36A　(B)45.27A　(C)68.70A　(D)81.56A。

(　)7. 有一平衡三相 Δ 形接負載，若線電壓為 200V，相阻抗為 $20\angle 30°\Omega$，則線電流為　(A)10A　(B)14.14A　(C)17.32A　(D)20A。

(　)8. 某三相平衡電路之總實功率 P 為 1000 瓦特，線間電壓為 220 伏特，功率因數為 0.8，則三相視在功率為多少伏安？　(A)600　(B)800　(C)1000　(D)1250。

(　)9. 三相平衡之 Δ 連接電路，若相電流為 10 安培，則其線電流為　(A)10 安培　(B) $10\sqrt{3}$ 安培　(C) $10/\sqrt{3}$ 安培　(D)30 安培。

進階題

(　)1. 平衡三相電源，供電於 Y 形聯接負載，每相負載之阻抗為 $(8+j6)$ 歐姆，若三相線電壓為 208 伏特，則總功率為　(A)1152　(B)1996　(C)2498　(D)3457　W。

12

(　)2. 一個功率因數爲 0.9 滯後的三相 5 馬力電動機，接至一線電壓爲 240 伏特的三相電源，試計算其線電流爲　(A)6.97A　(B)7.97A　(C)8.97A　(D)9.97A。

(　)3. 平衡三相電路，若線電壓爲 220V，求各線對中性線的電壓爲　(A)220V　(B)208V　(C)190V　(D)127V。

(　)4. 三相 Δ 形平衡負載之阻抗 $\overline{Z} = 12 \angle 60°\Omega$，線電壓爲 240V，則該負載消耗總有效功率爲　(A)4156.8W　(B)7200W　(C)14400W　(D)28800W。

(　)5. 有一平衡三相 Δ 形接負載，若線電壓爲 200V，相阻抗爲 $20 \angle 30°\Omega$，求三相總有效功率爲　(A)1732W　(B)2996W　(C)5196W　(D)8988W。

(　)6. 某平衡三相 Y 接負載，若每相 $(4 + j3)$ 安培，接於線電壓 220 伏特之三相平衡電源時，則　(A) 功率因數爲 0.6 落後　(B) 總負載功率 7744 瓦特　(C) 相電流 44 安培　(D) 線電流 44 安培。

(　)7. 下列有關平衡三相電壓的敘述，何者正確？　(A) 三相電壓的相位角均相同　(B) 三相電壓的瞬間值總和可以不爲零　(C) 三相電壓的大小均相同　(D) 三相電壓的波形可以不相同。

應用題

(　)1. 三條 220 伏特電熱線以 Δ 接線同時接於三相 220 伏電源，其消耗功率應爲 3kW，若改接成 Y 接線，其消耗功率應爲　(A)1　(B) $\sqrt{3}$　(C) $3\sqrt{3}$　(D)9　kW。

提示 $P_\Delta = 3P_Y$。

(　)2. 三相平衡電路，電源側爲 Δ 接法，其線電壓爲 $100\sqrt{3}$ V，負載側爲 Y 接法，其每相阻抗爲 $(3 + j4)\Omega$，則此電路之線電流爲　(A)20A　(B) $20\sqrt{3}$ A　(C)60A　(D) $60\sqrt{3}$ A。

(　)3. 有一三相馬達接成 Δ 時，可用於 220 伏電源，若將其改接成 Y 時，則可用於何種電源？　(A)175V　(B)250V　(C)380V　(D)440V。

(　)4. 平衡三相 Y 接電源，相序爲 a-b-c，若 $\overline{V}_{ab} = 220 \angle 120°$V，則　(A) $\overline{V}_{bc} = 220 \angle -120°$V　(B) $\overline{V}_{ca} = 220 \angle 0°$V　(C) $\overline{V}_{bc} = 220 \angle 0°$V　(D) $\overline{V}_{ca} = 220 \angle 20°$V。

二、計算題

1. 有一單相三線式系統，變壓器之匝數比為 3300/220，一次側電流為 10A，(1) 負載電流為多少？(2) 負載電流 $I_A = 2I_B$，若線路之電感可略去不計，負載為純電阻性，每條導線之電阻為 0.15Ω，試求負載端之電壓及線路損失為若干？
2. 平衡三相電路 Δ-Δ 系統，發電機每相電壓為 220V，每相負載阻抗為 12 ∠ 60°Ω，求 Δ 形負載的總功率為多少瓦特？
3. 如圖 (1) 所示電路為 Y 形連接發電機，相序為 A-B-C，求 (1) 相角 θ_2、θ_3，(2) 線電壓，(3) 線路電流。

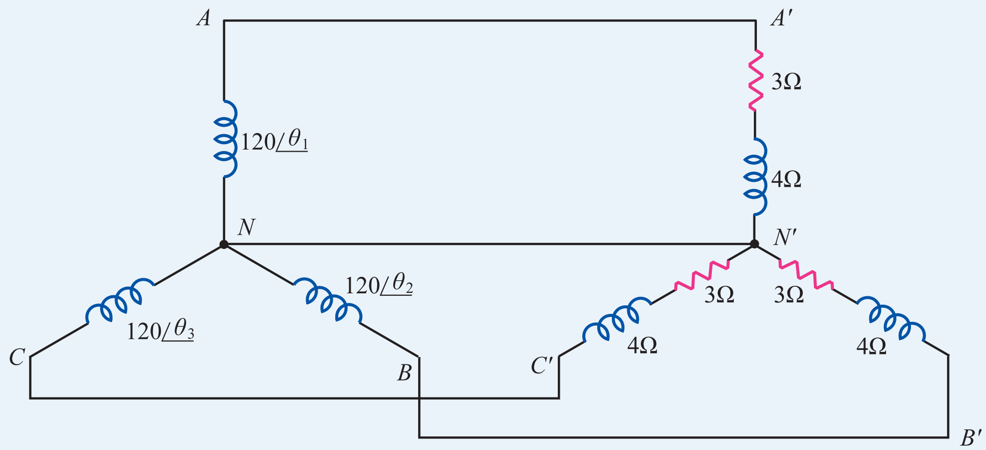


圖 (1)

4. 如圖 (2) 所示為平衡三相電路 Δ-Y 系統，負載電阻值皆為 24Ω，試求負載之相電壓及電流為多少？

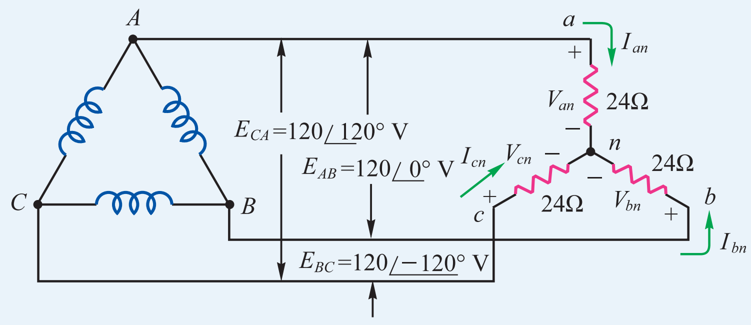


圖 (2)

5. 如圖 (3) 所示爲平衡三相電路 Δ-Δ 系統，負載電阻值皆爲 20Ω，試求負載之 (1) 相角 θ_2、θ_3，(2) 相電壓，(3) 相電流爲多少？

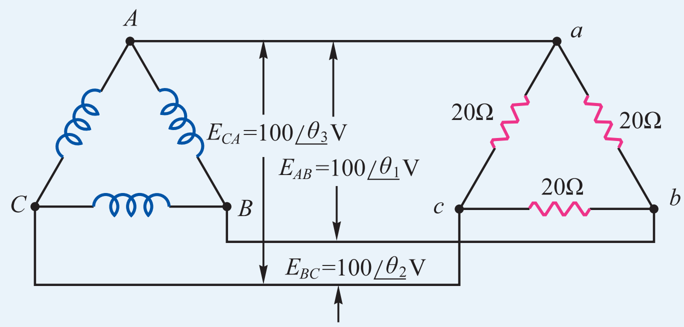


圖 (3)

附 錄

附錄一　三角函數常用之特別角及對照表
附錄二　三角函數重要公式
附錄三　交流網路理論
附錄四　中英文名詞對照表