

交流電源

命題趨勢

1. 認識交流電源的類別。
2. 熟悉「單相二線式」電源的特性與分析。
3. 熟悉「單相三線式」電源的特性與分析。
4. 熟悉「三相」電源的特性與分析。
5. 分析「Y-Y 三相平衡」供電系統。
6. 分析「Y- Δ 三相平衡」供電系統。
7. 分析「 Δ - Δ 三相平衡」供電系統。
8. 分析「 Δ -Y 三相平衡」供電系統。

學習章節

12 - 1

單 相

12 - 2

單相三線式

12 - 3

三相交流電源的產生

12 - 4

三相電源之相序

12 - 5

三相交流發電機之接線

12 - 6

三相負載之接線

12 - 7

三相平衡負載之功率

12 - 8

三相平衡電路之應用實例

第12章 交流電源

前言

1. 交流電源依供電形式可區分為單相和多相兩種。所謂的「單相」是指在同一時相內只有提供一種振幅大小的正弦波電壓，而若在同一時相內提供多於一種的振幅大小正弦波電壓，即為「多相」。
2. 單相交流電源 (sing-phase)：

依傳輸電能導線的數目不同可分為：

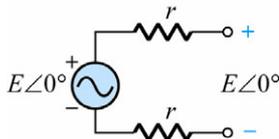
 - (1) 單相二線式 (single-phase two-wire system) ($1\phi 2W$)：提供單一電壓，通常為 110V，適用於一般家庭的照明及小功率電器。
 - (2) 單相三線式 (single-phase three-wire system) ($1\phi 3W$)：提供二種電壓，通常為 110V 及 220V，可用於冷氣機、電暖氣等較大功率的一般家庭電器。
3. 多相交流電源 (poly-phase system)：

為了提供更強力穩定的電源和提高供電效率，而有多相交流電源的產生，以應付工業上大馬力的馬達和高功率的機器所需。而多相電源又以三相交流電源最為普遍。

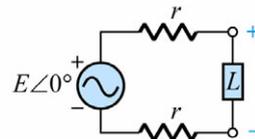
重點整理

12-1 單相

- ① 單相二線式：單相交流發電機是以一組線圈置於磁場中，而其產生的電源在同一時相內只提供一种振幅的正弦波電壓，而二線是指用二條饋電線來傳輸電能到負載。



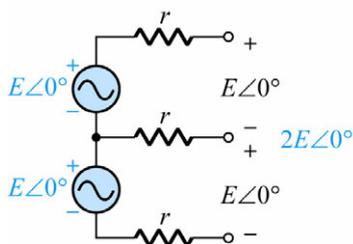
單相二線式的配電方式，交流電源經由二條饋電線，把電壓輸送到輸出端（一般是插座）。



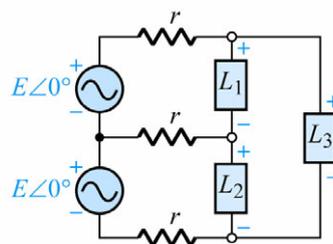
L ：負載。

r ：饋電線的電阻，二條饋電線的電阻是一樣的。
有電流流入負載時，負載的端電壓等於電源電壓再減去饋電線的電壓降。

- ② 單相三線式：兩個相同的交流正弦波電壓以三條饋電線傳輸電能至負載，實際上是以二條為一組，而負載可由兩種不同的供應電壓中，依額定電壓來選用。



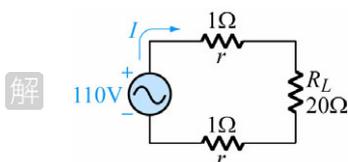
單相三線式的配電方式，交流電源經由三條饋電線，把電壓輸送到輸出端，而由於輸出端的不同配對，可以有二種不同的輸出振幅可供選擇。



L_1 、 L_2 、 L_3 ：負載。

r ：饋電線的電阻，三條饋電線的電阻是一樣的。
有電流流入負載時，負載的端電壓等於電源電壓再減去饋電線的電壓降。

範例 1 有一 $1\phi 2W$ 式供電系統如右圖所示，試求(1)饋電線路電壓降 (2)饋電線路的功率損失 (3)負載的消耗功率？



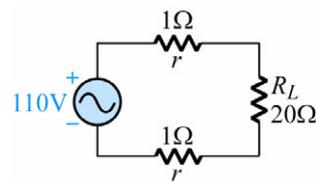
解

$$(1) I = \frac{110}{1+1+20} = 5(\text{A})$$

$$2 \text{ 條饋電線電壓降} = 2V_r = 2 \times 5 \times 1 = 10(\text{V})。$$

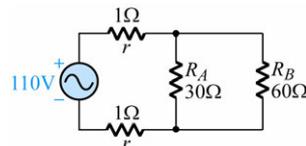
$$(2) P_l = 2V_r I = 2I^2 r = 2 \times 5^2 \times 1 = 50(\text{W})。$$

$$(3) P_{RL} = V_{RL} \times I = I^2 R_L = 5^2 \times 20 = 500(\text{W})。$$



12-1 立即評量

- () 1. 就台灣地區而言，目前電力公司所提供的 $1\phi 3W$ 式交流電壓為
(A)220V, 380V (B)110V, 220V (C)220V, 440V (D)100V, 200V。
- () 2. 如右圖， $1\phi 2W$ 式供電系統，則負載端電壓為
(A)120V (B)110V (C)100V (D)90V。



12-1 立即評量答案

1.(B) 2.(C)

12-2 單相三線式

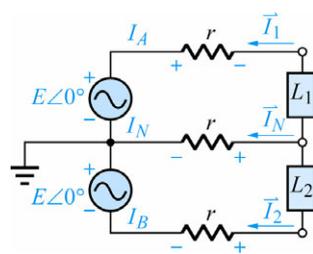
① 我們來更深入了解一下單相三線式，而且為了分析更簡單明瞭起見，只討論供應單一電壓的情況，如右圖所示。

1. 平衡負載：二負載歐姆值相等，即 $R_{L1} = R_{L2}$ ，此時二負載電流相等。

即 $\vec{I}_1 = \vec{I}_2$ 而中線電流 $\vec{I}_N = 0$ 。又由於火線 I_A 、 I_B 有相等的電壓降，所以二負載上有低於電源電壓且相等的電壓。

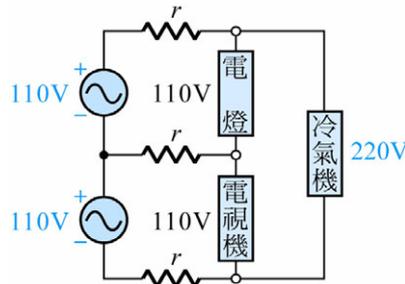
2. 不平衡負載：二負載歐姆值不相等，此時二負載的電流不相等，歐姆值較小的負載，負載電流較大，但由於此時中線的電流也不為 0，所以再考慮中線上的壓降，此負載上有小於電源電壓的電壓。而歐姆值較大的負載，負載電流較小，但中線電流不為 0，而再考慮是中線上的電壓，此負載的端電壓有可能高過電源電壓，而危及負載。

3. 中線斷路時：此時兩個負載成串聯，依「KVL」考慮，歐姆值較大的負載，其得到的端電壓會大於電源電壓而致損毀，所以中線上不可裝熔絲或斷路器等，斷路器，應加在二條火線上。

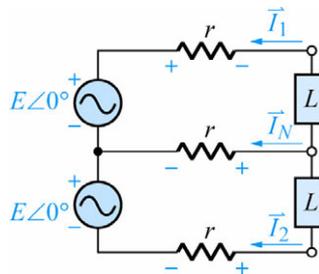


② 單相三線式的優點：

1. 除了提供單相二線式的電壓之外，可以再供應二倍於單相二線式的電壓，以應付較大功率的家電用品之所需。



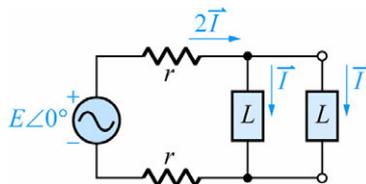
2. 使用相同的饋電線時，饋電線上的損失及電壓降，單相三線式較單相二線式都比較小。



在三線式中，若負載平衡，則中線無電流，此時中線無損失也沒有壓降，所以饋電線的損失及壓降應為最小；而三條饋電線有最大損失及最大壓降，為三條饋電線上有相同的電流時。即若以 $P_{loss(3W)}$ 表示單相三線式的三條饋電線的總損失，而以 $V_r(3W)$ 表示單相三線式三條饋電線的總壓降，則

$$2I^2r \leq P_{loss(3W)} \leq 3I^2r \dots\dots\dots(1)$$

$$Ir \leq V_r(2W) \leq 2Ir \dots\dots\dots(2)$$



而在單相二線式的系統中，如上圖所示，以二條和單線三線式一樣的饋電線來供應二個一樣的負載，流經負載的電流為 \vec{I} 而饋電線上的電流為 $2\vec{I}$ ，現以 $P_{loss(2W)}$ 表示單相二線式的二饋電線的總損失，而以 $V_r(2W)$ 表示單相二線式二條饋電線的總壓降，則

$$P_{loss(2W)} = 2 \cdot (2I)^2r = 8I^2r \dots\dots\dots(3)$$

$$V_r(2W) = 2 \cdot 2I \cdot r = 4Ir \dots\dots\dots(4)$$

由(1)、(3)兩式 $\Rightarrow \frac{1}{4} \leq \frac{P_{loss(3W)}}{P_{loss(2W)}} \leq \frac{3}{8}$ (單相三線式的損失較少)

由(2)、(4)兩式 $\Rightarrow \frac{1}{4} \leq \frac{V_r(3W)}{V_r(2W)} \leq \frac{1}{2}$ (單相三線式的壓降也較少)

3. 由於饋電線上的損失，單相三線式較單相二線式比較少，若以同樣的輸電距離來講，單相三線式的就可以比較細，所以用銅量就比較少了，當然就降低了輸配電的成本。

由 $\frac{1}{4} \leq \frac{P_{loss(3W)}}{P_{loss(2W)}} \leq \frac{3}{8}$ ，再考慮單相三線式是用 3 條饋電線，而單相二線式是用 2 條饋電線。則

二者用銅量的比較應為

$$\frac{1}{4} \times \frac{3}{2} \leq \frac{\text{銅}_{(3W)}}{\text{銅}_{(2W)}} \leq \frac{3}{8} \times \frac{3}{2}$$

$$\frac{3}{8} \leq \frac{\text{銅}_{(3W)}}{\text{銅}_{(2W)}} \leq \frac{9}{16} \quad \left(\text{而 } \frac{3}{8} = 37.5\% \right)$$

也就是說，採用單相三線式的配電方式，此單相二線式最少可節省 37.5% 的用銅量。（用電安全起見最好是節省最少量）

範例 1 有一 $1\phi 3W$ 式供電系統，忽略饋電線電阻，如右圖所示，試求(1)各負載電流 (2)中性線電流。

解 (1) 由歐姆定律

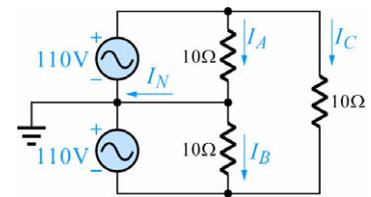
$$I_A = \frac{110}{10} = 11(\text{A})$$

$$I_B = \frac{110}{10} = 11(\text{A})$$

$$I_C = \frac{220}{10} = 22(\text{A})。$$

(2) 由 KCL

$$I_N = I_A - I_B = 0。$$



範例 2 $1\phi 3W$ 供電系統如右圖所示，試求(1)各負載電流及中性線電流 (2)若中性線斷路時，各負載端電壓為何？

解 (1) $I_A = \frac{220}{10} = 2(\text{A})$ ， $I_B = \frac{440}{110} = 4(\text{A})$

$$\text{而 } I_N = I_B - I_A = 4 - 2 = 2(\text{A})$$

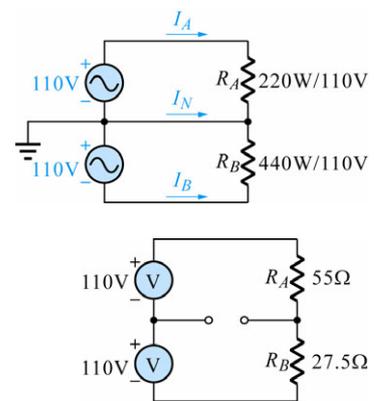
即負載不平衡，中性線會有電流。

(2) 當中性線斷路時，兩電源串聯，兩負載也串聯，如右圖

$$R_A = \frac{110^2}{220} = 55(\Omega)，R_B = \frac{110^2}{440} = 27.5(\Omega)$$

$$V_A = 220 \times \frac{55}{55 + 27.5} = 146.7(\text{V})，V_B = 220 \times \frac{27.5}{55 + 27.5} = 73.3(\text{V})$$

即 $1\phi 3W$ 供電系統，若中性線斷路時，負載較輕的（內阻大），會分配到過高的電壓，而有燒毀之虞。



12-2 立即評量

- () 1. $1\phi 3W$ 式供電系統，若負載平衡時，中性線電流為多少？
(A)0 (B)無限大 (C)由電源電壓決定 (D)無法得知。
- () 2. 若以同樣的距離來比較，單相 3 線式的用銅量比單相 2 線式可節省多少？
(A)25% (B)37.5% (C)50% (D)62.5%。

12-2 立即評量答案

1.(A) 2.(B)

12-3 三相交流電源的產生

① 多相交流電源：

1. 多相交流電源的相位差

多相交流電源依組成的相數可分為二相、三相、四相、六相、或更多的相數。二相的電源，其相鄰相間的相位差為 90° ，而其他的 n 相系統裡，其相鄰相間的相位差為 $\frac{360}{n}$ 。如

三相電源，各相間相差 120° ；四相電源，各相間相位差 90° ；以此類推。

2. 多相交流電源的適用場合

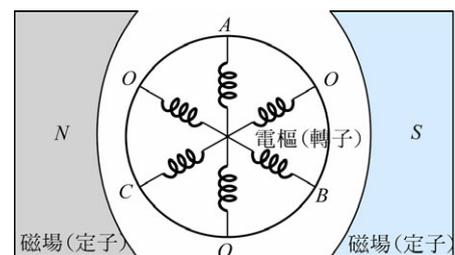
二相制應用於有回授的控制系統，如二相伺服馬達的定位控制；而六相或十二相甚至於更多相的電源供應給整流電路以輸出低漣波的平穩直流電給需要大功率的直流負載。

而三相交流電源是基於改善大馬力旋轉機械若使用單相電源的震動問題，和降低負載的電流，另外三相電源本身具有旋轉磁場，可直接起動電動機，不像單相電源無旋轉磁場。而且以發電機的成本來講三相電源也比更多相數的經濟，所以目前的電力用電，多數是採用三相的，本章也是以三相交流電源為研究的重點。

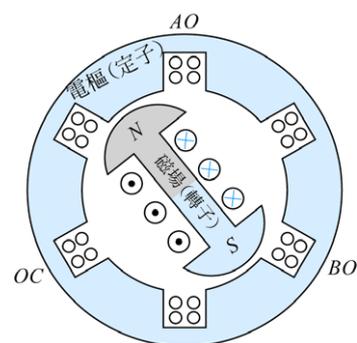
② 三相交流電源的形成：

由法拉第電磁感應定律知，發電機的基本原理是：線圈導體在磁場中運動，切割磁力線，就有感應電勢的產生。實際應用上，我們知道，只要線圈導體和磁場之間有相對運動就可以發電，因此三相發電機依其構造可分為以下二種。

1. 旋轉電樞式：主要是將三個匝數與大小完全相同的繞組，以相互間隔 120° 的空間角度，放置於轉子（電樞）上，而磁場線圈置於轉子者。

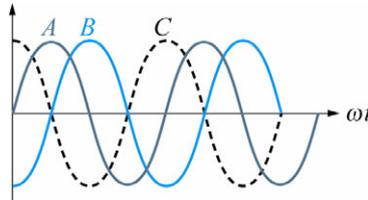


2. 旋轉磁場式：主要是將三個匝數與大小完全相同的繞組，以相互間隔 120° 的空間角度，放置於定子（電樞）上，而磁場線圈置於轉子者。



③ 三相交流應電勢波形

當轉子以固定的角速度旋轉時，三個繞組同步切割磁力線，即產生三個振幅大小、頻率都一樣的正弦波應電勢。



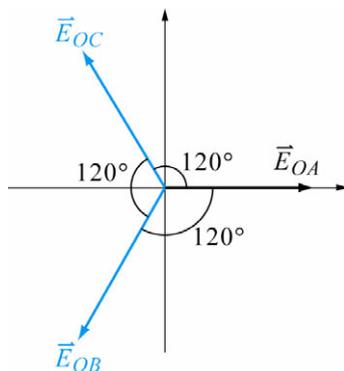
$$e_{oa}(t) = V_m \sin \omega t \quad (\text{若以 A 相為基準})$$

$$e_{ob}(t) = V_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$e_{oc}(t) = V_m \sin(\omega t + 120^\circ)$$

④ 三相交流應電勢相量圖

三相交流應電勢互成 120° 的相位差。



$$\vec{E}_{OA} = V \angle 0^\circ$$

$$\vec{E}_{OB} = V \angle -120^\circ$$

$$\vec{E}_{OC} = V \angle 120^\circ$$

12-4 三相電源之相序

① **相序**：三相發電機轉子逆時針旋轉時，各相繞組通過某一固定點的順序，即稱之。相序也可以說是各相感應電動勢到達最大值的順序。

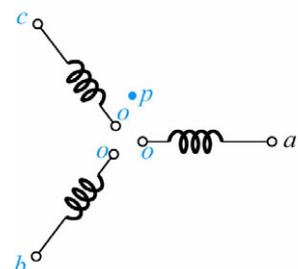
② 三相交流發電機，不論是 Y 型接線或 Δ 型接線，由於其三個繞組排列之次序不同，可以分為二種不同相序。

1. 正相序（或稱 ABC 相序或稱 RST 相序）（positive phase sequence）。
2. 負相序（或稱 ACB 相序或稱 RTS 相序）（negative phase sequence）。

③ 若相序已知，則不論線電壓或相電壓，只要再知道其中一相之相電壓或線電壓之相位，即可決定出另外二個相電壓或線電壓之相位。

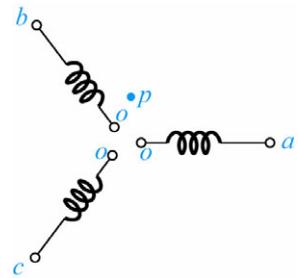
1. 正相序（ABC 相序、RST 相序）

線圈（繞組）之排列順序如右圖所示，將此三繞組逆時針方向旋轉，則其通過空間某一點 P 之順序為 A、B、C，所以此種排列順序即稱為相序 ABC。另外相序 ABC = 相序 BCA = 相序 CAB。



2. 負相序 (ACB 相序、RTS 相序)

線圈 (繞組) 之排列順序如右圖所示, 將此三繞組逆時針方向旋轉, 則其通過空間某一點 P 之順序為 A 、 C 、 B , 所以此種排列順序即稱為相序 ACB 。另外相序 $ACB =$ 相序 $CBA =$ 相序 BAC 。



4 相序之重要性：

三相電源若單獨使用其中一相供應負載即等於單相, 此時無所謂的相序問題, 但若供應三相負載時, 相序便很重要：

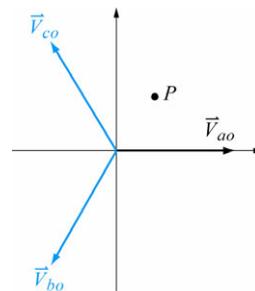
1. 當供應的三相電源相序不同時, 三相感應電動機的旋轉方向就不同, 所以在使用三相感應電動機時, 要注意正、逆向旋轉的問題。
2. 若將正相序與負相序之發電機並聯時, 則兩機俱損。
3. 將供應不平衡三相負載之電源相序不同時, 將使線電流的大小與相位角改變。

範例 1 正相序, 且已知相電壓 $\vec{V}_{ao} = 100\angle 0^\circ\text{V}$, 則另二相之電壓值及相位為?

解 正相序、三相相電壓排列順序如右圖：

$$\text{知 } \vec{V}_{bo} = 100\angle -120^\circ\text{V}$$

$$\vec{V}_{co} = 100\angle 120^\circ\text{V}。$$

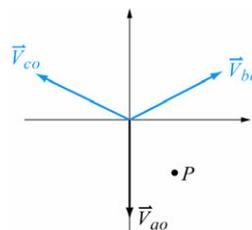


範例 2 ACB 相序, 已知 $\vec{V}_{bo} = 100\angle 30^\circ\text{V}$, 則試求 \vec{V}_{ao} 及 \vec{V}_{co} 。

解 負相序, 三相相電壓排列順序如右圖：

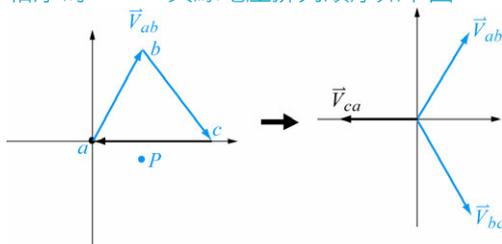
$$\text{知 } \vec{V}_{ao} = 100\angle -90^\circ\text{V}$$

$$\vec{V}_{co} = 100\angle 150^\circ\text{V}。$$



範例 3 正相序, 已知 $\vec{V}_{ab} = 220\angle 60^\circ\text{V}$, 則 \vec{V}_{bc} 及 \vec{V}_{ca} 。

解 相序為 ABC , 其線電壓排列順序如下圖：



$$\text{知 } \vec{V}_{bc} = 220\angle -60^\circ\text{V}$$

$$\vec{V}_{ca} = 220\angle 180^\circ\text{V}。$$



12-4 立即評量

- () 1. 已知相序為負，且 $\vec{V}_{ca} = 100\angle -120^\circ \text{V}$ ，則下列何者正確？
 (A) $\vec{V}_{ab} = 100\angle 120^\circ$ (B) $\vec{V}_{bc} = 100\angle 0^\circ$ (C) $\vec{V}_{ab} = 100\angle 0^\circ$ (D) $\vec{V}_{bc} = 100\angle 30^\circ \text{V}$ 。
- () 2. 已知相序為 ABC ，且 $\vec{V}_{ao} = 100\angle 0^\circ \text{V}$ ，則 (A) $\vec{V}_{bo} = 100\angle 120^\circ$
 (B) $\vec{V}_{co} = 100\angle -120^\circ$ (C) $\vec{V}_{bo} = 100\angle 180^\circ$ (D) $\vec{V}_{co} = 100\angle 120^\circ \text{V}$ 。

12-4 立即評量答案

1.(C) 2.(D)

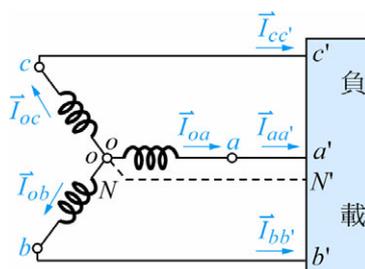
12-5 三相交流發電機之接線

① 如之前所述，三相交流發電機，不管是旋轉電樞式或旋轉磁場式都是有三組繞組，也就是有六個引出線，在使用時可依實際需要而接成以下二種：

1. 三相 Y 型連接發電機
 (Y-connected three-phase generator)
2. 三相 Δ 型連接發電機
 (Δ -connected three-phase generator)

② 三相 Y 型接線發電機及其特性：

如下圖所示為 Y 型連接三相發電機，是將三繞組之同極性點（線頭或線尾）共接於一點 N ，再分別將其另一端輸送至負載，即成「Y 型連接」。其共同點 N 稱為中性點，若此中性點引出即為「Y 連接三相四線式發電機」，若中性點無引出即為「Y 連接三相三線式發電機」。



1. 相電壓 (phase voltage, 簡稱 V_p): 各繞組兩端之電壓。
 如上圖之 \vec{V}_{ao} 、 \vec{V}_{bo} 、 \vec{V}_{co} 即為相電壓。
2. 線電壓 (line voltage, 簡稱 V_L): 發電機外部線路，線與線之間的電壓。
 如上圖之 \vec{V}_{ab} 、 \vec{V}_{bc} 、 \vec{V}_{ca} 即為線電壓。
3. 相電流 (phase current, 簡稱 I_p): 流經繞組之電流。
 如上圖之 \vec{I}_{oa} 、 \vec{I}_{ob} 、 \vec{I}_{oc} 即為相電流。
4. 線電流 (line current, 簡稱 I_L): 流經外部線路之電流。
 如上圖之 $\vec{I}_{aa'}$ 、 $\vec{I}_{bb'}$ 、 $\vec{I}_{cc'}$ 即為線電流。

(1) 平衡 Y 型接線之線電壓為相電壓之 $\sqrt{3}$ 倍，即 $V_L = \sqrt{3} V_P$ 。證明如下：

設 $\vec{V}_{ao} = V_P \angle 0^\circ$ ， $\vec{V}_{bo} = V_P \angle -120^\circ$ ， $\vec{V}_{co} = V_P \angle 120^\circ$ ，則

$$\begin{aligned}\vec{V}_{ab} &= \vec{V}_{ao} + \vec{V}_{ob} = \vec{V}_{ao} - \vec{V}_{bo} = V_P \angle 0^\circ - V_P \angle -120^\circ = V_P - \left(-\frac{1}{2} V_P - j \frac{\sqrt{3}}{2} V_P\right) \\ &= V_P + \frac{1}{2} V_P + j \frac{\sqrt{3}}{2} V_P = \frac{3}{2} V_P + j \frac{\sqrt{3}}{2} V_P = \sqrt{3} V_P \angle 30^\circ\end{aligned}$$

也就是說線電壓 $\vec{V}_{ab} = \sqrt{3} V_P \angle 30^\circ = V_L \angle 30^\circ$

同樣的道理

$$\begin{aligned}\vec{V}_{bc} &= \vec{V}_{bo} + \vec{V}_{oc} = \vec{V}_{bo} - \vec{V}_{co} = V_P \angle -120^\circ - V_P \angle 120^\circ \\ &= -\frac{1}{2} V_P - j \frac{\sqrt{3}}{2} V_P - \left(-\frac{1}{2} V_P + j \frac{\sqrt{3}}{2} V_P\right) = -\frac{1}{2} V_P - j \frac{\sqrt{3}}{2} V_P + \frac{1}{2} V_P - j \frac{\sqrt{3}}{2} V_P \\ &= -j \sqrt{3} V_P = \sqrt{3} V_P \angle -90^\circ\end{aligned}$$

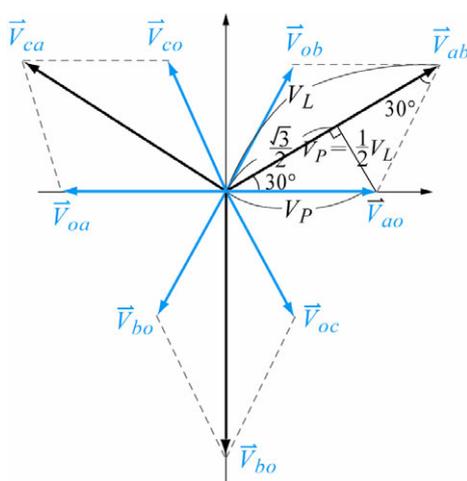
也就是說線電壓 $\vec{V}_{bc} = \sqrt{3} V_P \angle -90^\circ = V_L \angle -90^\circ$

同樣的道理

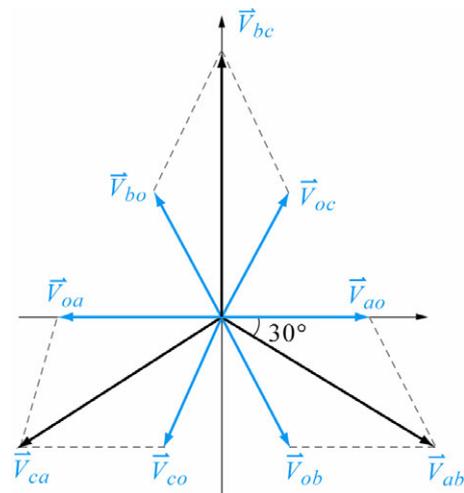
$$\begin{aligned}\vec{V}_{ca} &= \vec{V}_{co} + \vec{V}_{oa} = \vec{V}_{co} - \vec{V}_{ao} = V_P \angle 120^\circ - V_P \angle 0^\circ \\ &= -\frac{1}{2} V_P + j \frac{\sqrt{3}}{2} V_P - V_P = -\frac{3}{2} V_P + j \frac{\sqrt{3}}{2} V_P = \sqrt{3} V_P \angle 150^\circ\end{aligned}$$

也就是說線電壓 $\vec{V}_{ca} = \sqrt{3} V_P \angle 150^\circ = V_L \angle 150^\circ$

(2) 三相 Y 型接線發電機相電壓與線電壓相量圖



正相序



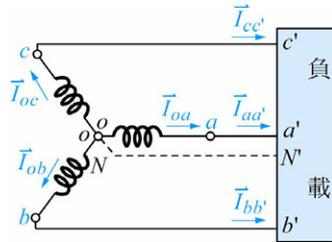
負相序

平衡三相 Y 型接線的電壓特性：

- ① 三個相電壓大小相等，相位互差 120° ；而三個線電壓大小也相等，相位亦互差 120° 。
- ② 若為正相序每一線電壓分別超前對應相電壓 30° ，負相序每一線電壓分別落後對應相電壓 30° 。
- ③ 各線電壓均等於相電壓 $\sqrt{3}$ 倍。

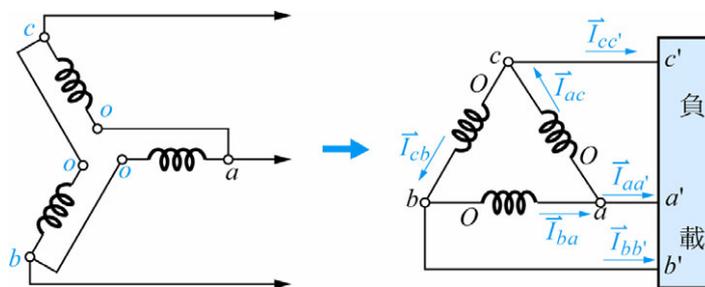
(3) 三相 Y 型接線之線圈是與外部線路串聯，所以相電流等於線電流。

即 $\vec{I}_{oa} = \vec{I}_{aa'}$ ， $\vec{I}_{ob} = \vec{I}_{bb'}$ ， $\vec{I}_{oc} = \vec{I}_{cc'}$ ，也就是說 $I_P = I_L$ 。



③ 三相△型接線發電機及其特性：

如下圖所示為△型連接三相發電機，是將不同繞組之異極性點（線頭及線尾）連接起來，構成一封閉迴路。再由各連接點引出三條饋電線，接至負載，即為「△型接線」。



1. 由上圖知三相△型接線之相電壓等於線電壓。

即 $\vec{V}_{ao} = \vec{V}_{ab}$ ， $\vec{V}_{bo} = \vec{V}_{bc}$ ， $\vec{V}_{co} = \vec{V}_{ca}$ ，也就是說 $V_P = V_L$ 。

2. 平衡△型接線之線電流為相電流之 $\sqrt{3}$ 倍，即 $I_L = \sqrt{3} I_P$ 。證明如下：

設 $\vec{I}_{ba} = I_P \angle 0^\circ$ ， $\vec{I}_{cb} = I_P \angle -120^\circ$ ， $\vec{I}_{ac} = I_P \angle 120^\circ$ ，則由「KCL」知

$$\begin{aligned}\vec{I}_{aa'} &= \vec{I}_{ba} - \vec{I}_{ac} = I_P \angle 0^\circ - I_P \angle 120^\circ = I_P - \left(-\frac{1}{2} I_P + j \frac{\sqrt{3}}{2} I_P\right) \\ &= I_P + \frac{1}{2} I_P - j \frac{\sqrt{3}}{2} I_P = \frac{3}{2} I_P - j \frac{\sqrt{3}}{2} I_P = \sqrt{3} I_P \angle -30^\circ\end{aligned}$$

也就是說線電流 $\vec{I}_{aa'} = \sqrt{3} I_P \angle -30^\circ = I_L \angle -30^\circ$

同樣的道理

$$\begin{aligned}\vec{I}_{bb'} &= \vec{I}_{cb} - \vec{I}_{ba} = I_P \angle -120^\circ - I_P \angle 0^\circ = \frac{1}{2} I_P - j \frac{\sqrt{3}}{2} I_P - I_P \\ &= -\frac{3}{2} I_P - j \frac{\sqrt{3}}{2} I_P = \sqrt{3} I_P \angle -150^\circ\end{aligned}$$

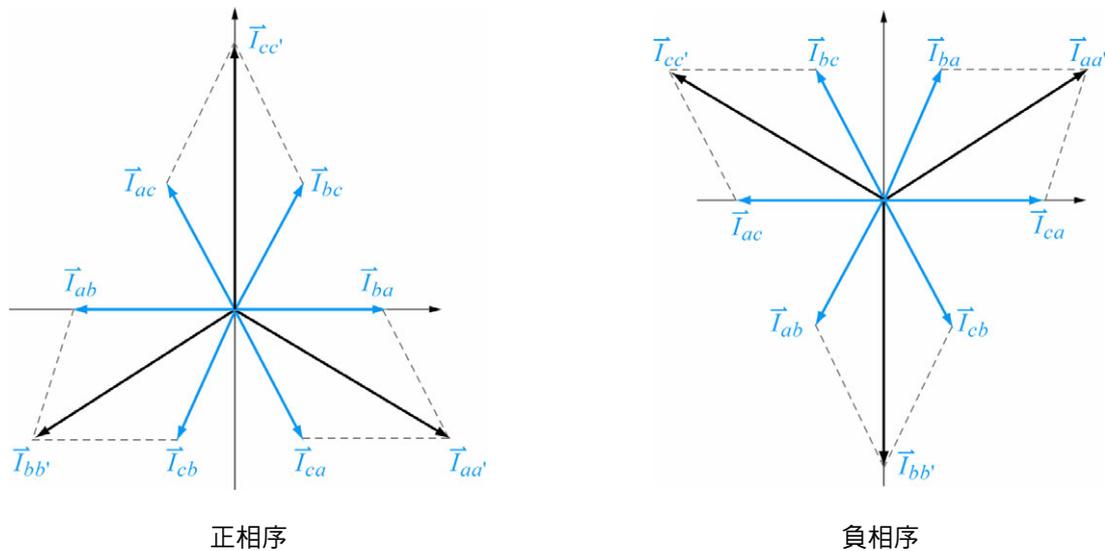
也就是說線電流 $\vec{I}_{bb'} = \sqrt{3} I_P \angle -150^\circ = I_L \angle -150^\circ$

同樣的道理

$$\begin{aligned}\vec{I}_{cc'} &= \vec{I}_{ac} - \vec{I}_{cb} = I_P \angle 120^\circ - I_P \angle -120^\circ = \frac{1}{2} I_P + j \frac{\sqrt{3}}{2} I_P - \left(-\frac{1}{2} I_P - j \frac{\sqrt{3}}{2} I_P\right) \\ &= -\frac{1}{2} I_P + j \frac{\sqrt{3}}{2} I_P + \frac{1}{2} I_P + j \frac{\sqrt{3}}{2} I_P = j \sqrt{3} I_P = \sqrt{3} I_P \angle 90^\circ\end{aligned}$$

也就是說線電流 $\vec{I}_{cc'} = \sqrt{3} I_P \angle 90^\circ = I_L \angle 90^\circ$

3. 三相△型接線發電機相電流與線電流相量圖



平衡三相△型接線的電流特性：

- (1) 三個相電流大小相等，相位互差 120° ；而三個線電流大小也相等，相位亦互差 120° 。
- (2) 若為正相序每一線電流分別落後對應相電流 30° ，負相序每一線電流分別超前對應相電流 30° 。
- (3) 各線電流均等於相電流 $\sqrt{3}$ 倍。

範例 1 有一 Y 接正相序之三相交流發電機，已知相電壓 $\vec{V}_{ao} = 100\angle 0^\circ\text{V}$ ，則各線電壓 = ?

解 正相序且 $\vec{V}_{ao} = 100\angle 0^\circ$ ，則 $\vec{V}_{bo} = 100\angle -120^\circ\text{V}$ ， $\vec{V}_{co} = 100\angle 120^\circ\text{V}$ ，又為正相序，所以其線電壓超前對應相壓 30° ，且線電壓的大小為相電壓的 $\sqrt{3}$ 倍，所以

$$\vec{V}_{ab} = 100\sqrt{3}\angle 30^\circ\text{V}$$

$$\vec{V}_{bc} = 100\sqrt{3}\angle -90^\circ\text{V}$$

$$\vec{V}_{ca} = 100\sqrt{3}\angle 150^\circ\text{V}。$$

範例 2 有一△接，負相序之三相交流發電機，設 A 相電流 $\vec{I}_{oa} = \angle 0^\circ\text{A}$ ，試求(1)餘二相之相電流 (2)各線電流。

解 (1) 負相序，且 $\vec{I}_{oa} = \angle 0^\circ\text{A}$ 則 $\vec{I}_{ob} = \angle 120^\circ\text{A}$ $\vec{I}_{oc} = \angle -120^\circ\text{A}$

(2) △接線電流為相流的 $\sqrt{3}$ 倍，負相序各線電流分別超前其對應相流 30° ，即

$$\vec{I}_{aa'} = \sqrt{3}\angle 30^\circ\text{A}$$

$$\vec{I}_{bb'} = \sqrt{3}\angle 150^\circ\text{A}$$

$$\vec{I}_{cc'} = \sqrt{3}\angle -90^\circ\text{A}。$$



12-5 立即評量

- () 1. 三相 Y 型發電機，下列何者正確？
 (A) $V_P = \sqrt{3} V_L$ (B) $V_P = V_L$ (C) $I_L = I_P$ (D) $I_L = \sqrt{3} I_P$ 。
- () 2. 三相 Δ 型發電機，下列何者正確？
 (A) $V_P = \sqrt{3} V_L$ (B) $V_P = V_L$ (C) $I_L = I_P$ (D) $I_P = \sqrt{3} I_L$ 。
- () 3. 三相 Y 型負相序發電機，下列何者錯誤？
 (A) 各相電壓相位差 120° (B) 各線電流相位差 120°
 (C) 各線電壓落後其對應相電壓 30° (D) 各線電流領前其對應相電流 30° 。
- () 4. 三相 Δ 型正相序發電機，下列何者錯誤？
 (A) 各線電壓相位差 120° (B) 各相電流相位差 120°
 (C) 各線電流落後其對應相電流 30° (D) 各線電壓落後其對應相電壓 30° 。

12-5 立即評量答案

1.(C) 2.(B) 3.(D) 4.(D)

12-6 三相負載之接線

- ① 如前所述，在三相電路的電源端，其發電機有 Y 型及 Δ 型兩種連接法；而在負載端也可以將三個等值阻抗連接成「Y 型」或「 Δ 型」，而成平衡的 Y 型或 Δ 型負載電路。
- ② 通常我們在表達三相電路時，其格式為：「發電機接線方式－負載接線方式」，如「Y-Y」即表示：發電機為 Y 型接線，負載端為 Y 型接線；其它的三相電路接線法還有：「Y- Δ 」、「 Δ - Δ 」、「 Δ -Y」，共有四種三相電路的連接法。
- ③ 負載端的接線方式，不論是 Y 型或 Δ 型，其相電壓、線電壓、相電流、線電流等的關係，是和電源端的是一樣的。茲再歸納如下：

1. 三相 Y 型接線負載及其特性

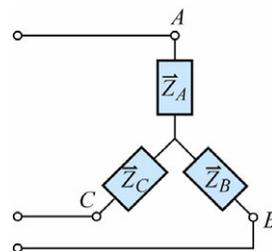
三相平衡 ($\vec{Z}_A = \vec{Z}_B = \vec{Z}_C$) Y 型接線負載的特性：

- (1) 線電壓為相電壓的 $\sqrt{3}$ 倍，即 $V_L = \sqrt{3} V_P$ 。
- (2) 各線電壓分別超前其對應的相電壓 30° 。
- (3) 各線電流等於相電流，即 $I_L = I_P$ 。

2. 三相 Δ 型接線負載及其特性

三相平衡 ($\vec{Z}_A = \vec{Z}_B = \vec{Z}_C$) Δ 型接線負載的特性：

- (1) 各線電壓等於相電壓，即 $V_L = V_P$ 。
- (2) 線電流為相電流的 $\sqrt{3}$ 倍，即 $I_L = \sqrt{3} I_P$ 。
- (3) 各線電流分別滯後其對應的相電流 30° 。



12-7 三相平衡負載之功率

① 三相平衡負載之有效功率 (P)

三相電路的總有效功率 P ，為各相有效功率之和，但一般來講當然是由線電壓和線電流來求功率，會比較方便。

$$P = 3 \cdot V_P \cdot I_P \cos \theta \quad (\theta \text{ 為 } V_P \text{ 和 } I_P \text{ 的相角差，或負載的相角。})$$

當負載 Y 接時：

$$P = 3V_P I_P \cos \theta = 3 \frac{V_L}{\sqrt{3}} I_L \cos \theta = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta$$

當負載 Δ 接時：

$$P = 3V_P I_P \cos \theta = 3V_L \frac{I_L}{\sqrt{3}} \cos \theta = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta$$

結論：不負載是 Y 接或 Δ 接，三相總有效功率 P 為

$$P = 3V_P I_P \cos \theta = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta$$

② 三相平衡負載之無效功率 (Q)

三相電路的總無效功率 Q ，為各相無效功率之和，如同有效功率的算法。不論是 Y 接或 Δ 接，三相電路的總無效功率 Q 為

$$Q = 3V_P I_P \sin \theta = \sqrt{3} V_L I_L \sin \theta$$

③ 三相平衡負載之視在功率 (S)

三相電路的總視在功率 S ，為各相視在功率之和，不論是 Y 接或 Δ 接，三相電路的總視在功率 S 為

$$S = 3V_P I_P = \sqrt{3} V_L I_L$$

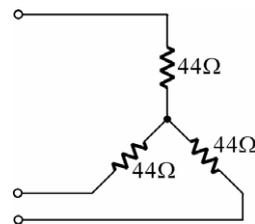
$$\text{或 } S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

④ 三相平衡負載之功率因數 ($P.F.$)

設 θ 為任一相的 V_P 和 I_P 的相角差 (或 V_P 和 I_L 的相差也一樣)，或負載的相位角，則三相電路的總功率因率 $P.F.$ 為

$$P.F. = \cos \theta = \frac{P}{S}$$

範例 1 某三相 Y 型連接負載加入 3 ϕ 3W 220V 電源，如右圖所示，試求此負載之(1) V_L (2) V_P (3) I_P (4) I_L (5) $P.F.$ (6) P (7) Q (8) S 。



解 (1) 電源為 3 ϕ 3W 220V，即表示線電壓 $V_L = 220V$ 。

(2) 負載為 Y 型接線，即 $V_L = \sqrt{3} V_P$

$$\therefore V_P = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127(V)。$$

(3) $I_P = \frac{V_P}{R} = \frac{127}{44} = 2.89(A)。$

(4) Y 型負載 $I_L = I_P = 2.89A。$

(5) 負載為純電阻，阻抗的相位角 $\theta = 0^\circ$

$$\therefore P.F. = \cos \theta = \cos 0^\circ = 1。$$

(6) $P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta = \sqrt{3} \times 220 \times 2.89 \times 1 = 1101(W)$

$$\text{或 } P = 3V_P I_P \cos \theta = 3 \times 127 \times 2.89 \times 1 = 1101(W)$$

$$\text{或 } P = 3 I_P^2 R = 3 \times 2.89^2 \times 44 = 1102(W)。$$

(7) $Q = \sqrt{3} V_L I_L \sin \theta = \sqrt{3} \times 220 \times 2.89 \times 0 = 0(VAR)。$

(8) $S = \sqrt{3} V_L I_L = \sqrt{3} \times 220 \times 2.89 = 1101(VA)。$



12-7 立即評量

- () 1. 某三相 220V 電源，供應給一三相平衡負載，若負載為 3kW， $P.F. = 0.9$ ，則此負載的線流為 (A)5.1 (B)8.7 (C)10 (D)15 安培。
- () 2. 有某三相負載，其額定為 220V/22kW，又測得其電流為 66.7A，則此負載的功率因數 $P.F.$ 為 (A)0.5 (B)0.73 (C)0.86 (D)0.95。

12-7 立即評量答案

1.(B) 2.(C)

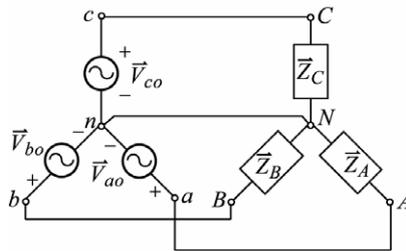
12-8 三相平衡電路之應用實例

① 三相平衡電路有下列四種：

1. Y-Y
2. Y- Δ
3. Δ - Δ
4. Δ -Y

② 分析三相平衡電路，還是以「歐姆定律」為基礎，「流經負載的電流是由負載兩端的電壓所引起，而受到此負載的阻抗所限制」。負載兩端的電壓是指直接加在負載兩端的電壓，也就是負載的「相電壓」，利用歐姆定律分析三相電路時，要特別注意這一點。

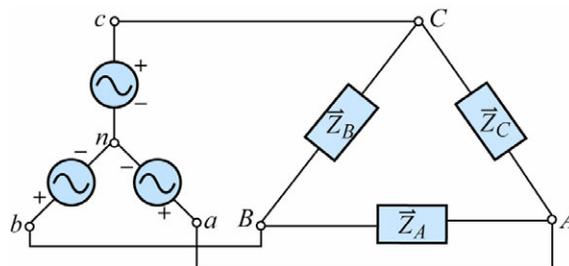
1. Y-Y 三相平衡電路



分析 Y-Y 三相平衡電路的步驟：

- (1) 發電機相電壓：由題意配合相序即可得發電機相電壓。
- (2) 線電壓：發電機 Y 接線，線電壓等於發電機相電壓的 $\sqrt{3}$ 倍；而相位角則是正相序超前，負相序是滯後對應相電壓 30° 。
- (3) 負載相電壓：若是 Y-Y 三相平衡供電系統，則中性線無電流，此時有無中線不影響電路，但架上 nN 中性線，負載相電壓即為發電機之相電壓。
- (4) 負載相電流：由歐姆定律，將負載相電壓除以各相阻抗即為負載相電流。
- (5) 線電流：負載 Y 接線，線電流等於負載相電流。
- (6) 發電機相電流：發電機 Y 接線，發電機相電流等於線電流。

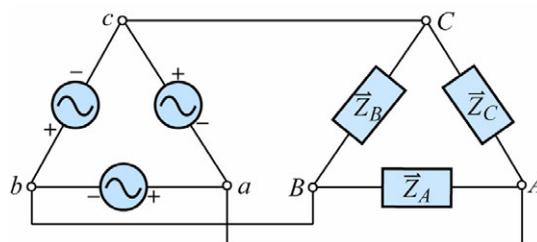
2. Y- Δ 三相平衡電路



分析 Y- Δ 三相平衡電路的步驟：

- (1) 發電機相電壓：由題意配合相序即可得發電機相電壓。
- (2) 線電壓：發電機 Y 接線，線電壓等於發電機相電壓的 $\sqrt{3}$ 倍；而相位角則是正相序超前，負相序是滯後對應相電壓 30° 。
- (3) 負載相電壓：Y- Δ 三相平衡供電系統，負載相電壓等於線電壓。
- (4) 負載相電流：由歐姆定律，將負載相電壓除以各相阻抗即為負載相電流。
- (5) 線電流：負載 Δ 接線，線電流等於負載相電流之 $\sqrt{3}$ 倍；而相位角則是正相序落後，負相序是超前對應相電流 30° 。
- (6) 發電機相電流：發電機 Y 接線，發電機相電流等於線電流。

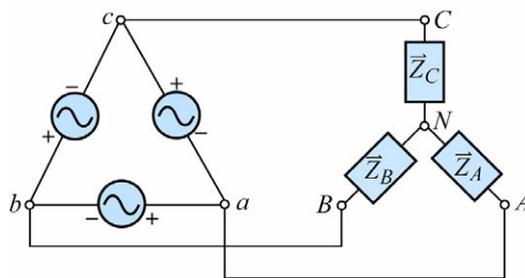
3. Δ - Δ 三相平衡電路



分析 Δ - Δ 三相平衡電路的步驟：

- (1) 發電機相電壓：由題意配合相序即可得發電機相電壓。
- (2) 線電壓：發電機 Δ 接線，線電壓等於發電機相電壓。
- (3) 負載相電壓： Δ - Δ 三相平衡供電系統，負載相電壓等於線電壓。
- (4) 負載相電流：由歐姆定律，將負載相電壓除以各相阻抗即為負載相電流。
- (5) 線電流：負載 Δ 接線，線電流等於負載相電流之 $\sqrt{3}$ 倍；而相位角則是正相序落後，負相序是超前對應相電流 30° 。
- (6) 發電機相電流：發電機 Δ 接線，發電機相電流等於線電流再除以 $\sqrt{3}$ ，而相位角則是正相序領前，負相序是落後對應線電流 30° 。

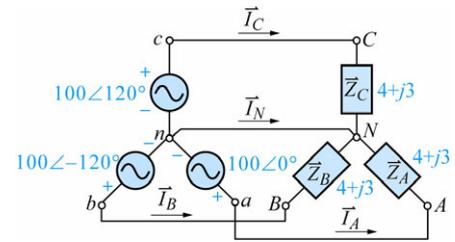
4. Δ -Y 三相平衡電路



分析 Δ -Y 三相平衡電路的步驟：

- (1) 發電機相電壓：由題意配合相序即可得發電機相電壓。
- (2) 線電壓：發電機 Δ 接線，線電壓等於發電機相電壓。
- (3) 負載相電壓： Δ -Y 三相平衡供電系統，負載相電壓等於線電壓除以 $\sqrt{3}$ ，而相位角則是正相序落後，負相序是超前對應線電壓 30° 。
- (4) 負載相電流：由歐姆定律，將負載相電壓除以各相阻抗即為負載相電流。
- (5) 線電流：負載 Y 接線，線電流等於負載相電流。
- (6) 發電機相電流：發電機 Δ 接線，發電機相電流等於線電流再除以 $\sqrt{3}$ ，而相位角則是正相序領前，負相序是落後對應線電流 30° 。

範例 1 如右圖之 Y-Y 3 ϕ 4W 制平衡電路，試求(1)線電壓 \vec{V}_{ab} 、 \vec{V}_{bc} 、 \vec{V}_{ca} (2)線電流 \vec{I}_A 、 \vec{I}_B 、 \vec{I}_C 、 \vec{I}_N (3)總有效功率 P (4)總無效功率 Q (5)總視在功率 S (6)功率因數 $P.F.$ 。



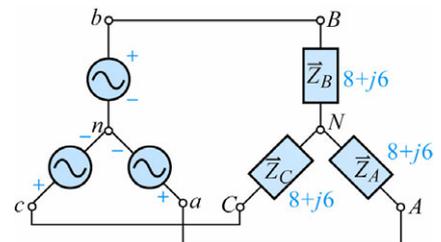
- 解**
- (1) 電源為 Y 接，線電壓為對應相電壓 $\sqrt{3}$ 倍，且為正相序，所以線電壓超前對應相電壓 30° ，所以

$$\vec{V}_{ab} = 100\sqrt{3} \angle 30^\circ (\text{V}) \quad \vec{V}_{bc} = 100\sqrt{3} \angle -90^\circ (\text{V}) \quad \vec{V}_{ca} = 100\sqrt{3} \angle 150^\circ (\text{V})。$$
- (2) Y 型連接，線電流等於相電流，所以

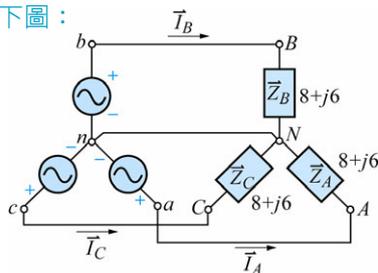
$$\vec{I}_A = \vec{I}_{AN} = \frac{\vec{V}_{AN}}{\vec{Z}_A} = \frac{\vec{V}_{an}}{\vec{Z}_A} = \frac{100 \angle 0^\circ}{4 + j3} = 20 \angle -37^\circ (\text{A}) \quad \vec{I}_B = \vec{I}_{BN} = \frac{\vec{V}_{BN}}{\vec{Z}_B} = \frac{\vec{V}_{bn}}{\vec{Z}_B} = \frac{100 \angle -120^\circ}{4 + j3} = 20 \angle -157^\circ (\text{A})$$

$$\vec{I}_C = \vec{I}_{CN} = \frac{\vec{V}_{CN}}{\vec{Z}_C} = \frac{\vec{V}_{cn}}{\vec{Z}_C} = \frac{100 \angle 120^\circ}{4 + j3} = 20 \angle 83^\circ (\text{A})$$
- 又由「KCL」 $\vec{I}_N = \vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C = 0$ (因 \vec{I}_A 、 \vec{I}_B 、 \vec{I}_C 大小相等，相位互差 120° ，三者之和必為零)。
- (3) $P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta = \sqrt{3} \times 100\sqrt{3} \times 20 \times \frac{4}{5} = 4800 (\text{W})。$
- (4) $Q = \sqrt{3} V_L I_L \sin \theta = \sqrt{3} \times 100\sqrt{3} \times 20 \times \frac{3}{5} = 3600 (\text{VAR})。$
- (5) $S = \sqrt{3} V_L I_L = \sqrt{3} \times 100\sqrt{3} \times 20 = 6000 (\text{VA})。$
- (6) $P.F. = \cos \theta = \frac{4}{5} = 0.8。$

範例 2 如右圖之 Y-Y 3 ϕ 3W 平衡電路，其為負相序，且電源相電壓 $\vec{V}_{an} = 200 \angle 30^\circ (\text{V})$ ，試求(1) \vec{V}_{bo} ， \vec{V}_{co} (2) \vec{V}_{ab} 、 \vec{V}_{bc} 、 \vec{V}_{ca} (3)負載各相電流 (4)各線路電流。



解 此為 Y-Y 3 ϕ 3W 平衡系統，其中性線無電流，因此可在 nN 間架上中性線，並不會影響電路的特性，但在分析時卻甚為方便，如下圖：



- (1) 負相序，且 $\vec{V}_{an} = 200 \angle 30^\circ (\text{V})$ ，則

$$\vec{V}_{bn} = 200 \angle 150^\circ (\text{V}) \quad \vec{V}_{cn} = 200 \angle -90^\circ (\text{V})。$$
- (2) Y 連接且相序為負，則線電壓大小為相電壓的 $\sqrt{3}$ 倍，相位為滯後對應相電壓 30° ，即

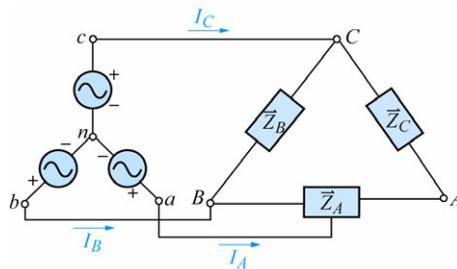
$$\vec{V}_{ab} = 200\sqrt{3} \angle 0^\circ (\text{V}) \quad \vec{V}_{bc} = 200\sqrt{3} \angle 120^\circ (\text{V}) \quad \vec{V}_{ca} = 200\sqrt{3} \angle -120^\circ (\text{V})。$$
- (3) $\vec{I}_{AN} = \frac{\vec{V}_{AN}}{\vec{Z}_A} = \frac{\vec{V}_{an}}{\vec{Z}_A} = \frac{200 \angle 30^\circ}{10 \angle 37^\circ} = 20 \angle -7^\circ (\text{A}) \quad \vec{I}_{BN} = \frac{\vec{V}_{BN}}{\vec{Z}_B} = \frac{\vec{V}_{bn}}{\vec{Z}_B} = \frac{200 \angle 150^\circ}{10 \angle 37^\circ} = 20 \angle 113^\circ (\text{A})$

$$\vec{I}_{CN} = \frac{\vec{V}_{CN}}{\vec{Z}_C} = \frac{\vec{V}_{cn}}{\vec{Z}_C} = \frac{200 \angle -90^\circ}{10 \angle 37^\circ} = 20 \angle -127^\circ (\text{A})。$$
- (4) 負載為 Y 連接，其線電流等於相電流，即

$$\vec{I}_A = \vec{I}_{AN} = 20 \angle -7^\circ (\text{A}) \quad \vec{I}_B = \vec{I}_{BN} = 20 \angle 113^\circ (\text{A}) \quad \vec{I}_C = \vec{I}_{CN} = 20 \angle -127^\circ (\text{A})。$$

範例 3

如右圖，若已知相電壓 $\vec{V}_{ao} = 100\sqrt{3} \angle 0^\circ$ (V)，且各相負載為 $7.1 + j7.1(\Omega)$ ，試求(1)各線電壓 (2)負載各相電流 (3)各線電流 (4)發電機各相電流 (5)負載之有效功率。



解

(1) 發電機相序為正，所以

$$\vec{V}_{ao} = 100\sqrt{3} \angle 0^\circ (\text{V}) \quad \vec{V}_{bo} = 100\sqrt{3} \angle -120^\circ (\text{V})$$

$$\vec{V}_{co} = 100\sqrt{3} \angle 120^\circ (\text{V})$$

發電機為 Y 接，且為正相序，所以各線電壓大小為相電壓的 $\sqrt{3}$ 倍，而相位領先各相對相電壓 30° ，即

$$\vec{V}_{ab} = 300 \angle 30^\circ (\text{V}) \quad \vec{V}_{bc} = 300 \angle -90^\circ (\text{V}) \quad \vec{V}_{ca} = 300 \angle 150^\circ (\text{V})。$$

(2) 由歐姆定律，可求出各負載之相電流

$$\vec{I}_{AB} = \frac{\vec{V}_{AB}}{\vec{Z}_A} = \frac{\vec{V}_{ab}}{\vec{Z}_A} = \frac{300 \angle 30^\circ}{10 \angle 45^\circ} = 30 \angle -15^\circ (\text{A}) \quad \vec{I}_{BC} = \frac{\vec{V}_{BC}}{\vec{Z}_B} = \frac{\vec{V}_{bc}}{\vec{Z}_B} = \frac{300 \angle -90^\circ}{10 \angle 45^\circ} = 30 \angle -135^\circ (\text{A})$$

$$\vec{I}_{CA} = \frac{\vec{V}_{CA}}{\vec{Z}_C} = \frac{\vec{V}_{ca}}{\vec{Z}_C} = \frac{300 \angle 150^\circ}{10 \angle 45^\circ} = 30 \angle 105^\circ (\text{A})。$$

(3) 負載為 Δ 型，且正相序，所以線電流大小為相電流的 $\sqrt{3}$ 倍，而各線電流的相位為滯後所對應相電流 30° ，即

$$\vec{I}_A = 30\sqrt{3} \angle -45^\circ (\text{A}) \quad \frac{10}{\sqrt{3}} = 30\sqrt{3} \angle -165^\circ (\text{A}) \quad \vec{I}_C = 30\sqrt{3} \angle 75^\circ (\text{A})。$$

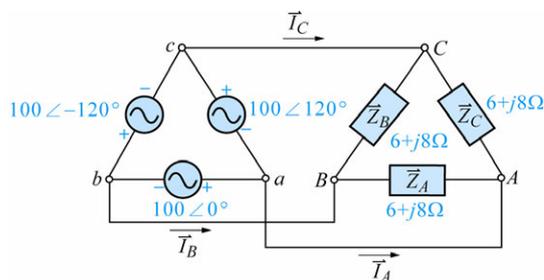
(4) 發電機為 Y 型，所以其相電流等於線電流，即

$$\vec{I}_{oa} = \vec{I}_A = 30\sqrt{3} \angle -45^\circ (\text{A}) \quad \vec{I}_{ob} = \vec{I}_B = 30\sqrt{3} \angle -165^\circ (\text{A}) \quad \vec{I}_{oc} = \vec{I}_C = 30\sqrt{3} \angle 75^\circ (\text{A})。$$

(5) $P = \sqrt{3} V_L \cdot I_L \cos \theta = \sqrt{3} \times 300 \times 30\sqrt{3} \times 0.707 = 19.1 \text{ k(W)}。$

範例 4

如右圖，試求(1)各線電壓 (2)負載各相電流 (3)各線電流 (4)電源各相電流 (5)電源之總視在功率。



解

(1) 因電源為 Δ 連接，所以線電壓等於相電壓，即

$$\vec{V}_{ab} = 100 \angle 0^\circ (\text{V}) \quad \vec{V}_{bc} = 100 \angle -120^\circ (\text{V})$$

$$\vec{V}_{ca} = 100 \angle 120^\circ (\text{V})。$$

(2) 利用歐姆定律，可得負載各相電流，即

$$\vec{I}_{AB} = \frac{\vec{V}_{AB}}{\vec{Z}_A} = \frac{\vec{V}_{ab}}{\vec{Z}_A} = \frac{100 \angle 0^\circ}{10 \angle 53^\circ} = 10 \angle -53^\circ (\text{A}) \quad \vec{I}_{BC} = \frac{\vec{V}_{BC}}{\vec{Z}_B} = \frac{\vec{V}_{bc}}{\vec{Z}_B} = \frac{100 \angle -120^\circ}{10 \angle 53^\circ} = 10 \angle -173^\circ (\text{A})$$

$$\vec{I}_{CA} = \frac{\vec{V}_{CA}}{\vec{Z}_C} = \frac{\vec{V}_{ca}}{\vec{Z}_C} = \frac{100 \angle 120^\circ}{10 \angle 53^\circ} = 10 \angle 67^\circ (\text{A})。$$

(3) 因負載為 Δ 連接且正相序，所以線路電流等於負載相電流的 $\sqrt{3}$ 倍，而相位角則滯後對應相電流 30° ，即

$$\vec{I}_A = 10\sqrt{3} \angle -83^\circ (\text{A}) \quad \vec{I}_B = 10\sqrt{3} \angle -203^\circ = 10\sqrt{3} \angle 157^\circ \quad \vec{I}_C = 10\sqrt{3} \angle 37^\circ (\text{A})。$$

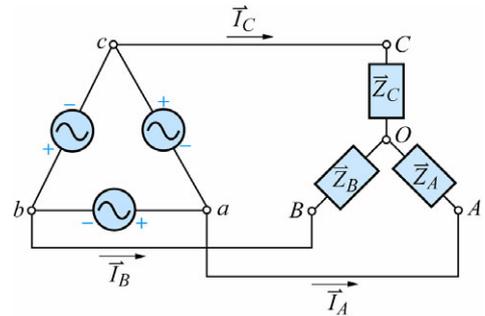
(4) 電源部分也是 Δ 接線，其相電流為線電流的 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 倍，而相位角則領先對應線電流 30° ，即

$$\vec{I}_{ba} = 10 \angle -53^\circ (\text{A}) \quad \vec{I}_{cb} = 10 \angle 187^\circ = 10 \angle -173^\circ (\text{A}) \quad \vec{I}_{ac} = 10 \angle 67^\circ (\text{A})。$$

(5) 電源之總視在功率

$$S = \sqrt{3} V_L I_L = \sqrt{3} \times 100 \times 10\sqrt{3} = 3000 (\text{VA})。$$

範例 5 如右圖， $\vec{V}_{ab} = 100\sqrt{3} \angle 90^\circ \text{V}$ ，且相序為正，又 $\vec{Z}_A = \vec{Z}_B = \vec{Z}_C = 8.66 + j5(\Omega)$ ，試求(1)各線電壓 (2)各線電流 (3)電源各相電流 (4)負載之總功率。



解 (1) 電源為正相序，且 $\vec{V}_{ab} = 100\sqrt{3} \angle 90^\circ(\text{V})$ ，則
 $\vec{V}_{bc} = 100\sqrt{3} \angle -30^\circ(\text{V})$ $\vec{V}_{ca} = 100\sqrt{3} \angle -150^\circ(\text{V})$ 。
 (2) 要求線電流，必先求負載相電流，而要找負載相電流，又須先求負載相電壓。又負載 Y 接，正相序，所以相電壓是線電壓的 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ ，相角滯後對應線電壓

30° ，即

$$\vec{V}_{AO} = 100 \angle 60^\circ(\text{V}) \quad \vec{V}_{BO} = 100 \angle -60^\circ(\text{V}) \quad \vec{V}_{CO} = 100 \angle 180^\circ(\text{V})$$

$$\vec{I}_A = \vec{I}_{AO} = \frac{\vec{V}_{AO}}{\vec{Z}_A} = \frac{100 \angle 60^\circ}{10 \angle 30^\circ} = 10 \angle 30^\circ(\text{A})$$

$$\vec{I}_B = \vec{I}_{BO} = \frac{\vec{V}_{BO}}{\vec{Z}_B} = \frac{100 \angle -60^\circ}{10 \angle 30^\circ} = 10 \angle -90^\circ(\text{A})$$

$$\vec{I}_C = \vec{I}_{CO} = \frac{\vec{V}_{CO}}{\vec{Z}_C} = \frac{100 \angle 180^\circ}{10 \angle 30^\circ} = 10 \angle 150^\circ(\text{A})。$$

(3) 電源各相電流，由於電源為 Δ 接，且相序為正，所以電源相電流大小為線電流的 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ ，而相位則領前各對應線電流 30° ，也就是

$$\vec{I}_{ba} = \frac{10}{\sqrt{3}} \angle (30^\circ + 30^\circ) = 5.77 \angle 60^\circ(\text{A}) \quad \vec{I}_{cb} = \frac{10}{\sqrt{3}} \angle -60^\circ = 5.77 \angle -60^\circ(\text{A})$$

$$\vec{I}_{ac} = \frac{10}{\sqrt{3}} \angle 180^\circ = 5.77 \angle 180^\circ(\text{A})。$$

(4) $P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta = \sqrt{3} \times 100\sqrt{3} \times 10 \times \cos 30^\circ = 3000 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 2598(\text{W})。$

範例 6 如右圖，試求此電路之(1)總有效功率 (2)總無效功率 (3)總視在功率 (4)功率因數。

解 $\vec{Z} = 8 + j6 = 10 \angle 37^\circ(\Omega)$

$$I_p = \frac{220}{10} = 22(\text{A})$$

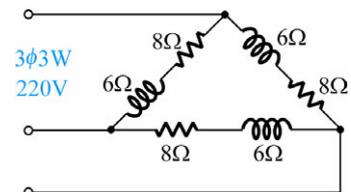
$$I_L = 22\sqrt{3}(\text{A})$$

(1) $P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta = \sqrt{3} \times 220 \times 22\sqrt{3} \times 0.8 = 11616(\text{W})$
 或 $P = 3I_p^2 R = 3 \times 22^2 \times 8 = 11616(\text{W})。$

(2) $Q = \sqrt{3} V_L I_L \sin \theta = \sqrt{3} \times 220 \times 22\sqrt{3} \times 0.6 = 8712(\text{VAR})$
 或 $Q = 3I_p^2 X_L = 3 \times 22^2 \times 6 = 8712(\text{VAR})。$

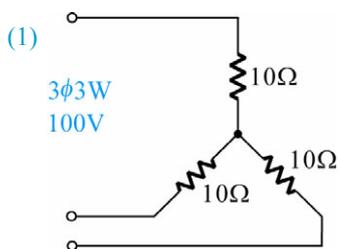
(3) $S = \sqrt{3} V_L I_L = \sqrt{3} \times 220 \times 22\sqrt{3} = 14520(\text{VA})$
 或 $S = 3I_p^2 Z = 3 \times 22^2 \times 10 = 14520(\text{VA})。$

(4) $P.F. = \cos \theta = \cos 37^\circ = 0.8$ 或 $P.F. = \frac{P}{S} = \frac{11616}{14520} = 0.8。$



範例 7 10Ω 電阻器三個(1)Y 連接後接於 3ϕ $3W$ $100V$ 電源 (2)將此三個 10Ω 電阻器改為 Δ 連接，其他條件完全相同，試求上列二種情形之負載總消耗功率並比較之。

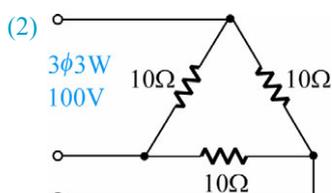
解



$$V_L = 100V, V_p = \frac{100}{\sqrt{3}} V$$

$$I_L = I_p = \frac{100}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{10} = \frac{10}{\sqrt{3}} (A)$$

$$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta = \sqrt{3} \times 100 \times \frac{10}{\sqrt{3}} \times 1 = 1000(W)。$$



$$V_L = 100V$$

$$V_p = 100V$$

$$I_L = \sqrt{3} I_p = \sqrt{3} \times \frac{100}{10} = 10\sqrt{3} (A)$$

$$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta$$

$$= \sqrt{3} \times 100 \times 10\sqrt{3} \times 1$$

$$= 3000(W)。$$

(3) 由(1)、(2)知負載做 Δ 連接其產生之功率為 Y 連接之 3 倍， Δ 連接之線路電流也為 Y 連接線路電流之 3 倍。所以一般來講，大馬力的三相感應電動機，在起動時常採用 Y 連接來降低其起動電流，等其運轉之後再變成 Δ 連接，恢復正常的功率運轉，產生較大轉矩。

範例 8 如右圖，試求(1)電源供給之總平均功率
(2)線路損失功率 (3)負載消耗功率。

解

$$I_p = 20A$$

$$\therefore I_L = 20\sqrt{3} A$$

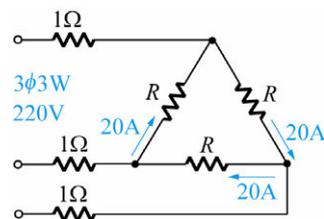
$$(1) P_T = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta = \sqrt{3} \times 220 \times 20\sqrt{3} \times 1 = 13200(W)。$$

(2) 線路損失功率 P_l

$$P_l = 3 \times (20\sqrt{3})^2 \times 1 = 3600(W)。$$

(3) 負載消耗功率 P_L

$$P_L = 13200 - 3600 = 9600(W)。$$





12-8 立即評量

- () 1. 三相交流發電機，每組繞組之應電勢為 1kV，安培容量為 1A，若作 Y 連接則其線電壓等於 (A)1kV (B) $\frac{1}{\sqrt{3}}$ kV (C) $\sqrt{2}$ kV (D) $\sqrt{3}$ kV。
- () 2. 同上，若為 Δ 連接，則其線電壓為 (A)1kV (B) $\frac{1}{\sqrt{3}}$ kV (C) $\sqrt{2}$ kV (D) $\sqrt{3}$ kV。
- () 3. 三相供電系統，若一線斷路則成為 (A)單相 (B)二相 (C)三相 (D)四相。
- () 4. 三相平衡 Δ 接線，若相電流為 10A，則線電流為 (A)10A (B) $10\sqrt{2}$ A (C) $10\sqrt{3}$ A (D) $\frac{10}{\sqrt{3}}$ A。
- () 5. 某一平衡三相 Δ 接負載，若線電壓為 220V，相阻抗為 $10\angle 30^\circ\Omega$ ，則線電流為 (A)22A (B)38A (C)66A (D)220A。
- () 6. 承上題，有效功率為 (A)5.74kW (B)11.5kW (C)12.57kW (D)16kW。
- () 7. 220V，Y 接線之電源，供給一三相平衡負載，且已知功率為 22kW，線電流為 100A，則負載的功率因數為 (A)0 (B)0.5 (C)0.577 (D)0.866。

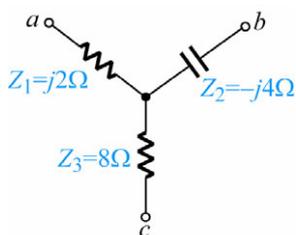
12-8 立即評量答案

1.(D) 2.(A) 3.(A) 4.(C) 5.(B) 6.(C) 7.(C)

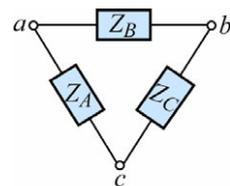


第 12 章 歷屆試題驗證

- () 1. 某三相平衡電路之總實功率 P 為 1000 瓦，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。 【保甄 86】
- () 2. 如圖(1)Y 型網路所示，若圖(2)為其 Δ 型等效電路，則 Z_A 為多少？ (A) $4 + j2\Omega$ (B) $1 - j2\Omega$ (C) $-8 - j4\Omega$ (D) $8 - j16\Omega$ 。 【技專 88】



圖(1)



圖(2)

- () 3. 某一平衡三相 Y 接發電機，若相電壓為 220V，則其線電壓為 (A)73.33V (B)127V (C)220V (D)381V。

【推甄 88】

- () 4. 平衡三相系統中，各相電壓間之相位差為
(A)180° (B)120° (C)90° (D)0°。 【推甄 88】
- () 5. 某一平衡三相△接負載，若線電壓為 200V，相阻抗為 $20\angle 30^\circ\Omega$ ，則線電流為
(A)10A (B)14.14A (C)17.32A (D)20A。 【推甄 88】
- () 6. 承第 7 題，三相有效總功率 $P_{3\phi}$ 為
(A)1732W (B)2996W (C)5196W (D)8988W。 【推甄 88】
- () 7. 有平衡三相△型接法之負載，若每相阻抗為 $4 + j3\Omega$ ，接於線電壓 220V 的三相平衡電源上，則下列敘述何者有誤？ (A)負載相電壓為 220V (B)負載線電流為 $44\sqrt{3}$ A (C)負載功率因數為 0.6 (D)負載每相阻抗大小為 5Ω 。 【技專 89】
- () 8. 平衡三相 Y 連接電源，相序為 $a - b - c$ ，若 $V_{ab} = 220\angle 120^\circ$ ，則
(A) $V_{bc} = 220\angle -120^\circ$ (B) $V_{ca} = 220\angle 0^\circ$ (C) $V_{bc} = 220\angle 0^\circ$ (D) $V_{ca} = 220\angle 20^\circ$
(E) $V_{bc} = 220\angle 20^\circ$ 。 【聯甄 89】
- () 9. 10kVA/220W 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 (E)6kW。 【聯甄 89】
- () 10. 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。 【統測 91】
- () 11. 有一台三相 Y 連接發電機，相序為 abc ，已知 a 相電壓 $\vec{V}_{ao} = 100\angle 0^\circ\text{V}$ ，求線電壓 $\vec{V}_{bc} = ?$ (A) $100\sqrt{3}\angle 30^\circ\text{V}$ (B) $100\sqrt{3}\angle 90^\circ\text{V}$ (C) $100\sqrt{3}\angle 150^\circ\text{V}$
(D) $100\sqrt{3}\angle 270^\circ\text{V}$ 。 【統測 93】
- () 12. 有一三相△型連接平衡負載，接於三相平衡電源，已知每相負載阻抗為 $11\angle 60^\circ\Omega$ ，電源線電壓有效值為 220V，求此負載消耗的總有效功率為多少？
(A)6600W (B)4400W (C)3810W (D)2200W。 【統測 94】
- () 13. 以二瓦特表法量測平衡三相負載之功率，其中一瓦特表讀值為另一瓦特表讀值的兩倍，則負載之功率因數為多少？ (A)0 (B)0.5 (C)0.866 (D)1。 【統測 95】
- () 14. 單相三線式電源系統，當 A (電流 \vec{I}_A)、 B (電流 \vec{I}_B) 兩側負載平衡時，則中性線電流 $\vec{I}_N = ?$ (A)0 (B) \vec{I}_A (C) \vec{I}_B (D) $|\vec{I}_A| + |\vec{I}_B|$ 。 【統測 96】

第 12 章 歷屆試題答案與解析

答案與解析

- 1.(D) 2.(A) 3.(D) 4.(B) 5.(C) 6.(C) 7.(C) 8.(C) 9.(A) 10.(C)
11.(D) 12.(A) 13.(C) 14.(A)

$$1. S = \frac{P}{\cos\theta} = \frac{1000}{0.8} = 1250(\text{VA})。$$

$$2. Z_A = \frac{j2(-j4) + (-j4)8 + 8(j2)}{-j4} = j2 + 8 - 4 = 4 + j2(\Omega)。$$

$$3. V_L = \sqrt{3} V_p = 220\sqrt{3}(\text{V}) \approx 381(\text{V})。$$

$$5. I_P = \frac{V_P}{Z_P} = \frac{V_L}{Z_P} = \frac{200}{20} = 10(\text{A})$$

$$I_L = \sqrt{3} I_P = 10\sqrt{3} (\text{A}) \approx 17.32(\text{A}) \circ$$

$$6. P = I_P^2 \times R_P = I_P^2 Z_P \cos \theta = 10^2 \times 20 \cos 30^\circ = 1000\sqrt{3} (\text{W})$$

$$P_T = 3P = 3000\sqrt{3} (\text{W}) \approx 5196(\text{W}) \circ$$

$$7. V_P = V_L = 220(\text{V})$$

$$I_L = \sqrt{3} I_P = \sqrt{3} \frac{V_P}{Z_P} = \sqrt{3} \times \frac{220}{\sqrt{3^2 + 4^2}} = 44\sqrt{3} (\text{A})$$

$$P.F. = \frac{R_P}{Z_P} = \frac{4}{\sqrt{4^2 + 3^2}} = 0.8$$

$$Z_P = \sqrt{R_P^2 + X_P^2} = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5(\Omega) \circ$$

$$8. \because V_{ab} = 220\angle 120^\circ \text{ 且相序為 } a-b-c$$

$$\therefore V_{bc} = 220\angle 0^\circ, V_{ca} = 220\angle -120^\circ \circ$$

$$9. P = S_n \times \cos \theta = 10 \times 10^3 \times 0.5 = 5\text{k}(\text{W}) \circ$$

10. 三相電壓相位相差 120°

三相電壓瞬時值總和=0

三相電壓大小相同

三相電壓波形相同。

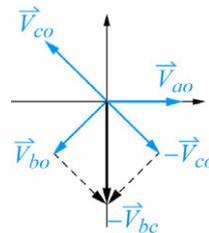
11. abc 相序即為正相序且 $\vec{V}_{ao} = 100\angle 0^\circ \text{ V}$ ，則 $\vec{V}_{bo} = 100\angle -120^\circ$ ； $\vec{V}_{co} = 100\angle 120^\circ$

Y 連接線電壓超前對應相電壓 30° ，且線電壓的大小為相電壓的 $\sqrt{3}$ 倍，所以

$$\vec{V}_{bc} = 100\angle -90^\circ = 100\sqrt{3}\angle 270^\circ (\text{V}) \circ$$

若輔以相量圖，則更了解。

$$\begin{aligned} \vec{V}_{bc} &= \vec{V}_{bo} + \vec{V}_{oc} \\ &= \vec{V}_{bo} + (-\vec{V}_{co}) \\ &= 100\angle -120^\circ - 100\angle 120^\circ \\ &= -50 - j50\sqrt{3} - (-50 + j50\sqrt{3}) \\ &= -50 - j50\sqrt{3} + 50 - j50\sqrt{3} \\ &= -j100\sqrt{3} \\ &= 100\sqrt{3}\angle -90^\circ \circ \end{aligned}$$



$$12. P_T = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta$$

$$\Delta \text{型連接 } V_L = V_P, I_L = \sqrt{3} I_P$$

$$I_L = \sqrt{3} I_P = \sqrt{3} \times \frac{V_P}{Z} = \sqrt{3} \times \frac{220}{11} = 20\sqrt{3} (\text{A})$$

$$\therefore P_T = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta$$

$$= \sqrt{3} \times 220 \times 20\sqrt{3} \times \cos 60^\circ$$

$$= \sqrt{3} \times 220 \times 20\sqrt{3} \times \frac{1}{2}$$

$$= 6600 (\text{W}) \circ$$

13. 依題意設 $W_1 = W$ ， $W_2 = 2W$

$$P.F. = \cos \theta$$

$$= \frac{W_1 + W_2}{2\sqrt{W_1^2 - W_1 W_2 + W_2^2}}$$

$$= \frac{3W}{2\sqrt{W^2 - 2W^2 + 4W^2}} = \frac{3W}{2\sqrt{3W^2}} = \frac{3}{2\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0.866 \circ$$

14. 當負載平衡時， $\vec{I}_A = \vec{I}_B$ ， $\vec{I}_N = \vec{I}_A - \vec{I}_B = 0(\text{A})$

第 12 章 綜合練習

- () 1. 三相負載，做 Y 接線時，其輸出功率為 P ，今改為 Δ 接線，其輸出功率為 (A) P (B) $\sqrt{2}P$ (C) $\sqrt{3}P$ (D) $3P$ 。
- () 2. 三相電動機做 Y 接線時，接於 220V 之三相電源，則此電動機，每一繞組之電壓為 (A)220V (B)380V (C)127V (D)440V。
- () 3. 有一 3ϕ 220V 10kW 之電動機，其功率因數為 0.8 效率也是 0.8，則此電動機的額定電流為 (A)10A (B)22A (C)33A (D)41A。
- () 4. 有關三相電源，下列何者有誤？ (A)相位相同 (B)大小相同 (C)頻率相同 (D)形狀相同。
- () 5. $\Delta - Y$ 接電路，若線電壓為 $200\sqrt{3}$ V，每相阻抗為 $8 + j6\Omega$ ，則此電路之線電流為 (A)10 (B) $10\sqrt{3}$ (C)20 (D) $220\sqrt{3}$ A。
- () 6. 承上題負載的視在功率為 (A)16k (B)12k (C)10k (D)8k VA。
- () 7. 三相平衡 Δ 連接，每相阻抗為 $10\angle 60^\circ\Omega$ ，若線電壓為 100V，則線電流應為 (A)10 (B)14.14 (C)17.3 (D)120 A。
- () 8. 承上題三相總有效功率為 (A)1732 (B)1500 (C)3000 (D)2000 W。
- () 9. $\Delta - \Delta$ 接線電路，負載阻抗每相為 $4 + j3$ ，且線電壓為 100V，則三相電源的相電流為 (A)25 (B)20 (C)10 (D)5 A。
- () 10. 有 Y- Δ 供電系統，每相負載為 $16 + j12\Omega$ ，且線電壓 100V，則電源繞組電流的大小為 (A)1.732 (B)5 (C)8.66 (D)10 A。

第 12 章 綜合練習答案

答案與解析

1.(D) 2.(C) 3.(D) 4.(A) 5.(C) 6.(B) 7.(C) 8.(B) 9.(B) 10.(C)

2. 每一繞組電壓即為 Y 型連接之相電壓

$$V_P = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127(\text{V})。$$

3. $P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta \eta$

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3} V_L \cos \theta \eta} = \frac{10000}{\sqrt{3} \times 220 \times 0.8 \times 0.8} = 41(\text{A})。$$

5. 負載為 Y 接，負載相電壓為線電壓的 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ ，即

$$V_P = 200\sqrt{3} \times \frac{1}{\sqrt{3}} = 200(\text{V})$$

負載相電流可由歐姆定律得 $I_P = \frac{V_P}{Z} = \frac{200}{10} = 20(\text{A})$ ，而負載 Y 接，所以 $I_L = I_P = 20\text{A}$ 。

$$6. S = \sqrt{3} V_L I_L = \sqrt{3} \times 200 \sqrt{3} \times 20 = 12000(\text{VA})。$$

7. 負載 Δ 連接，相電壓等於線電壓，所以

$$I_p = \frac{100}{10} = 10(\text{A})$$

而線電流為相電流的 $\sqrt{3}$ 倍，即

$$I_L = \sqrt{3} I_p = 10 \sqrt{3} \text{ A}。$$

$$8. P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta = \sqrt{3} \times 100 \times 10 \sqrt{3} \times \cos 60^\circ = 150(\text{W})。$$

9. 負載 Δ 接線，所以負載相電壓等於線電壓，所以負載相電流

$$I_p = \frac{100}{5} = 20(\text{A})$$

線電流為相電流的 $\sqrt{3}$ 倍

$$I_L = \sqrt{3} I_p = 20 \sqrt{3} \text{ A}$$

又電源為 Δ 連接，所以電源相電流為線電流 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 倍，即

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{3}} I_L = \frac{1}{\sqrt{3}} \times 20 \sqrt{3} = 20(\text{A})。$$

10. 負載 Δ 接線，相電壓等於線電壓，而負載相電流為

$$I_p = \frac{100}{20} = 5(\text{A})$$

線電流則為 $5 \sqrt{3} \text{ A}$ ，而電源為Y接線，所以電源繞組電流等於線電流

$$I_p = I_L = 5 \sqrt{3} \text{ A}。$$

筆記欄



A series of horizontal dashed lines providing a space for handwritten notes.



筆記欄



A series of horizontal dashed lines providing a space for taking notes.



筆記欄



A series of horizontal dashed lines providing a space for handwritten notes.



筆記欄



A series of horizontal dashed lines providing a space for taking notes.

