



CH7 同步發電機之原理

7-2 感應電勢及同步轉速

隨堂練習解答

課本 P160

同範例 02，若將原動機轉速調整至 1800 rpm，磁通量維持不變，則(1)頻率 (2)電壓有效值分別為何？

解 (1) $1800 = \frac{120 \times f}{4} \Rightarrow f = 60\text{Hz}$

(2) $E = 4.44 \times 60 \times 50 \times 0.02 = 266.4\text{V}$

7-3 電樞及電樞繞組

隨堂練習解答

課本 P164

- (A) 1. 交流電機爲了改善電壓波形及節省線圈導線，可以採用
(A)短節距線圈 (B)全節距線圈 (C)長節距線圈 (D)任意節距線圈。
- (C) 2. 某同步發電機的線圈節距爲 150 度電機角，其節距因數爲何？
(A)0.5 (B)0.866 (C)0.966 (D)1。

解 $K_p = \sin \frac{\beta\pi}{2} = \sin \frac{150^\circ}{2} = \sin 75^\circ = 0.966$

隨堂練習解答

課本 P167

- (C) 1. 一部三相、4 極、48 槽之同步發電機，採用分佈繞時，每相每極的線圈數爲
(A)16 (B)12 (C)4 (D)2。

解 $m = \frac{48}{3 \times 4} = 4$

- (A) 2. 同上題，槽距爲 (A)15° (B)30° (C)45° (D)60° 電機角。

解 $\alpha = \frac{4 \times 180^\circ}{48} = 15^\circ / \text{槽}$

- (C) 3. 同步發電機電樞繞組的繞製採用分佈繞組的主要優點為何？
 (A)改善波形、增加容量、絕緣容易 (B)增高電壓、散熱好、省材料
 (C)改善波形、散熱好、效率高 (D)改變波形、散熱好、增高電壓。

自我評量解答

課本 P169

一、選擇題

- 7-1** (D) 1. 同步發電機所生交流電之頻率，可由轉速與下列何者決定？
 (A)激磁電流 (B)負載電流 (C)功率因數 (D)極數。
- (D) 2. 一部 12 極同步發電機，若感應電壓的頻率為 60 Hz，則轉速為多少？
 (A)720 rps (B)600 rps (C)12 rps (D)10 rps。
 解 $n_s = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 60}{12} = 600 \text{rpm} = 10 \text{rps}$
- (C) 3. 同上題，其同步轉速之角速度 ω 為
 (A)600 rad/sec (B)314 rad/sec (C)62.8 rad/sec (D)31.4 rad/sec。
 解 $\omega = 2\pi \times \text{rps} = 2\pi \times 10 = 62.8 \text{rad/sec}$
- (C) 4. 某 720 rpm、60 Hz 之交流同步發電機。若將速率調為 600 rpm，則其發生電勢之頻率將變為 (A)10 Hz (B)12 Hz (C)50 Hz (D)72 Hz。
 解 $P = \frac{120 \times 60}{720} = 10 \text{極}$ 、 $f = \frac{10 \times 600}{120} = 50 \text{Hz}$
- (A) 5. 有一部三相 Y 接、50 kVA、380 V、375 rpm、50 Hz 同步發電機，其極數與滿載電流分別為
 (A)16 極，75.9 A (B)16 極，131.6 A
 (C)8 極，75.9 A (D)8 極，131.6 A。
 解 $P = \frac{120 \times 50}{375} = 16 \text{極}$ ， $S = \sqrt{3}V_L I_L \Rightarrow I_L = \frac{S}{\sqrt{3}V_L} = \frac{50 \text{kVA}}{\sqrt{3} \times 380 \text{V}} = 75.9 \text{A}$
- 7-2** (D) 6. 有一台三相、4 極、Y 接的同步發電機，電樞繞組每相匝數為 50 匝，每極磁通量為 0.02 韋伯，轉速為 1500 rpm，若感應電勢為正弦波，則輸出線電壓有效值為何？
 (A)200 V (B)222 V (C)240 V (D)384 V。

$$\text{解 } n_s = \frac{120f}{P} \Rightarrow 1500 = \frac{120 \times f}{4} \Rightarrow f = 50\text{Hz}$$

$$E_p = 4.44 f N \phi_m = 4.44 \times 50 \times 50 \times 0.02 = 222\text{V}, E_L = \sqrt{3}E_p = 384\text{V}$$

- 7-3 (B) 7. 三相 4 極同步發電機，其定子繞組節距 $5/6$ ，意即其線圈的兩邊相隔 (A)180° (B)150° (C)120° (D)60° 電機角。

$$\text{解 } \text{節距 } \frac{5}{6}, \text{ 相當於 } \frac{5}{6} \times 180^\circ = 150^\circ \text{ 電機角}$$

- (A) 8. 有一部多相交流發電機，其線圈繞成 $8/9$ 的線圈節距，則其節距因數為 (A)sin80° (B)cos160° (C)sin160° (D)cos160°。

$$\text{解 } K_p = \sin \frac{\beta\pi}{2} = \sin \frac{\frac{8}{9} \times 180^\circ}{2} = \sin \frac{160^\circ}{2} = \sin 80^\circ$$

- (B) 9. 同步發電機的電樞繞組原為短節距繞組，若不改變線圈匝數，而改採全節距繞組方式，則其特點為何？

- (A)可以改善感應電勢的波形 (B)感應電勢較高
(C)可節省末端連接線 (D)導體間互感較小。

- (B) 10. 假設某交流電機之定子有 48 槽，每槽有兩線圈邊，如將定子設計為三相 4 極繞組，則相鄰兩槽間之相角差應為多少？

- (A)12° (B)15° (C)30° (D)60°。

$$\text{解 } 4 \text{ 極電機 } \theta_{eT} = 4 \times 180^\circ = 720^\circ, \alpha = \frac{720^\circ}{48} = 15^\circ / \text{槽}$$

- (D) 11. 某三相交流發電機有 6 極，電樞上有 180 槽，則分佈因數為

- (A) $\frac{\sin 30^\circ}{3\sin 3^\circ}$ (B) $\frac{\sin 60^\circ}{5\sin 3^\circ}$ (C) $\frac{1}{10\sin 3^\circ}$ (D) $\frac{1}{20\sin 3^\circ}$ 。

$$\text{解 } \alpha = \frac{6 \times 180^\circ}{180} = 6^\circ / \text{槽}, m = \frac{180}{3 \times 6} = 10, K_d = \frac{\sin \frac{10 \times 6^\circ}{2}}{10 \sin \frac{6^\circ}{2}} = \frac{\sin 30^\circ}{10 \sin 3^\circ} = \frac{1}{20 \sin 3^\circ}$$

- (D) 12. 繞組因數就是

- (A)分佈因數除以節距因數 (B)節距因數除以分佈因數
(C)分佈因數加上節距因數 (D)分佈因數乘上節距因數。

- (B) 13. 交流發電機，電樞繞組一般都是

- (A)雙層、集中式、全節距 (B)雙層、分佈式、短節距
(C)雙層、分佈式、全節距 (D)單層、分佈式、短節距。

- (A) 14. 交流同步發電機裝設阻尼繞組的目的是
(A)防止轉軸之追逐現象 (B)防止過大的衝擊電流
(C)防止過大起動電流 (D)預防雷電之衝擊。
- (C) 15. 供電中的交流同步發電機，其追逐現象發生於
(A)輕載時 (B)重載時 (C)負載急劇變化 (D)負載功因低時。
- (B) 16. 關於同步發電機的敘述，下列何者錯誤？
(A)凸極式通常用於低速或中速，圓極式通常用於較高速度
(B)水輪交流發電機適用於圓筒式
(C)凸極式轉子需要較多磁極
(D)係在一定頻率下有一定轉速的交流電機。
解 水輪交流發電機轉速低、因此磁極數多，多使用凸極式轉子

二、問答與計算題

1. 說明單層繞與雙層繞的差別。

- 解** (1) 單層繞：每個線槽內只有放置一只線圈邊，因此線圈總數為槽數的一半
(2) 雙層繞：每個線槽內放有分屬不同線圈的兩個線圈邊，因此線圈總數等於槽數
同步發電機較常採用雙層繞，除了有效利用空間外、其感應電勢的波形較接近正弦波

2. 說明全節距繞組與短節距的特性與優缺點。

- 解** (1) 全節距：線圈節距等於一個極距($\pi = 180^\circ$ 電機角)。線圈兩邊應電勢大小相同，相位相差 180° ，因此線圈應電勢為兩邊的代數和。
(2) 短節距：線圈節距小於一個極距($\beta\pi < 180^\circ$ 電機角)。由於線圈兩邊應電勢有相位差，因此線圈應電勢為兩邊的相量和。

同步發電機較常採用短節距繞組，除了可以節省電樞線圈末端的連接線，降低用銅量及電感量外，也可以使波形更接近正弦波；缺點則是短節距繞組之應電勢較全節距低，兩者比例稱為節距因數以 K_p 表示。

3. 說明集中繞與分佈繞的特性與優缺點。

- 解** (1) 集中繞：每相每極的線圈集中放在同一線槽內。應電勢為所有線圈之代數和。
(2) 分佈繞：每相每極的線圈分散放在相鄰線槽中。由於各線圈之應電勢有相位差，因此應電勢為每只線圈之相量和。

分佈繞組的線圈分散在相鄰的線槽內，除了散熱方便外，還可以減少漏磁電抗，得到較佳的正弦波形，因此同步發電機較常採用分佈繞組，但缺點在於分佈繞組之感應電勢會比集中繞組低，兩者比例稱為分佈因數以 K_d 表示。

4. 同步發電機依據磁極形狀分成兩種，其特性與用途分別為何？

解 同步發電機大多為旋轉磁場式，因此轉子係由軸及磁極構成，磁極鐵心採用矽鋼薄片疊製而成，轉子依據形狀分為：

- (1) 凸極式轉子：轉子直徑大、轉軸短，風阻較大，適合用在磁極數較多，以低速運轉的水力發電機。
- (2) 圓極式轉子：轉子直徑小、轉軸長，風阻較小，適合用在磁極數較少，以高速運轉的火力發電機。

5. 有一部三相、6 極、72 槽、Y 接同步發電機，電樞採用雙層繞，每槽有 80 根導體，線圈節距為 120° 電機角，每極磁通為 0.0025 韋伯，原動機轉速為 1200 rpm，則(1)應電勢頻率、(2)節距因數、(3)分佈因數、(4)每相之應電勢、(5)端電壓分別為何？

解 (1) $n_s = \frac{120f}{P} \Rightarrow f = \frac{6 \times 1200}{120} = 60\text{Hz}$

(2) 節距因數 $K_p = \sin \frac{\beta\pi}{2} = \sin \frac{120^\circ}{2} = \sin 60^\circ = 0.866$

(3) 6 極電機總電機角 $\theta_{eT} = 6 \times 180^\circ = 1080^\circ$

每槽間隔之電機角、 $\alpha = \frac{1080^\circ}{72} = 15^\circ / \text{槽}$ 、

每相每極總圈數 $m = \frac{72}{3 \text{相} \times 6 \text{極}} = 4$

分佈因數 $K_d = \frac{\sin \frac{m\alpha}{2}}{m \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{\sin \frac{4 \times 15^\circ}{2}}{4 \sin \frac{15^\circ}{2}} = \frac{\sin 30^\circ}{4 \sin 7.5^\circ} = \frac{1}{8 \sin 7.5^\circ} = 0.958$

(4) 電樞繞組總根數 $Z_T = 72 \text{ 槽} \times 80 \text{ 根/槽} = 5760 \text{ 根}$ ，

即總匝數 $N_T = 5760 / 2 = 2880 \text{ 匝}$

每相繞組匝數為 $N = 2880 / 3 = 960 \text{ 匝}$ ，每相之應電勢

$$E_p = 4.44 f N \phi_m K_p K_d = 4.44 \times 60 \times 960 \times 0.0025 \times 0.866 \times 0.958 = 530.4\text{V}$$

(5) 三相繞組為 Y 接線，因此端電壓 $E_L = \sqrt{3}E_p = 918.7\text{V}$

鍛鍊本解答－嚴選精華

- 7-1 1. 以同步轉速持續運轉的交流發電機就稱為同步發電機，其轉速為
- $$n_s = \frac{120f}{P} (\text{rpm}) \quad \circ$$
2. 同步發電機先依據頻率(f)與極數(P)的關係決定同步轉速(n_s)，此轉速在運轉過程必須保持不變；而感應電勢(E)高低透過磁通量(ϕ)來做調整。
- 7-2 3. 同步發電機感應產生交流電的電樞繞組放在定子，產生磁通的磁場繞組置於轉子並由外力帶動，此種結構又稱為旋轉磁場式。
- 7-3 4. 三相同步發電機電樞鐵心內裝置三組電樞繞組，互隔120°電機角。繞組以Y接或是Δ接的方式連接。當轉子磁極以同步轉速切割電樞繞組時，繞組產生相同頻率、相位互隔120°電機角的三相感應電勢。
5. 爲了妥善利用空間，並使應電勢趨近於正弦波，同步發電機的電樞繞組大多採用雙層、短節距、分佈繞組。
6. 同步發電機採用短節距繞組，可節省用銅量及電感量，也可以改善波形。
7. 短節距繞組之應電勢值較全節距低，兩者比例稱爲節距因數，其值爲
- $$K_p = \frac{\text{實際線圈應電勢}}{\text{全極距線圈應電勢}} = \frac{\sin \frac{\beta\pi}{2}}{2} \quad \circ$$
8. 分佈繞組之應電勢值較集中繞組低，兩者比例稱爲分佈因數，其值爲
- $$K_d = \frac{\text{分佈繞應電勢}}{\text{集中繞應電勢}} = \frac{\sin \frac{m\alpha}{2}}{m \sin \frac{\alpha}{2}} \quad \circ$$
9. 節距因數與分佈因數兩者相乘稱爲繞組因數 $K_w = K_p \times K_d$ 。
10. 同步發電機每相繞組感應電勢有效值爲 $E = 4.44 f N \phi m K_p K_d$ 。
- 7-4 11. 同步機發電機的轉子依據形狀分爲：
- (1) 凸極式轉子：轉子直徑大、轉軸短，風阻較大，適合用在磁極數較多，以低速運轉的水力發電機。
 - (2) 圓極式轉子：轉子直徑小、轉軸長，風阻較小，適合用在磁極數較少，以高速運轉的火力發電機。
12. 同步發電機若負載突然變動時，因轉子的慣性作用，會有一段忽快忽慢的不穩定狀態，稱爲追逐現象。可以在轉子磁極表面裝置阻尼繞組來解決。

鍛鍊本解答－大顯身手

課內題

詳解請參考自我評量解答 P7-2~7-5

課外題

一、精選題

(D) 1. 有台三相、4 極、36 槽之交流同步發電機，其線圈節距為 4/5，且採用分布繞組，下列敘述何者正確？

- (A) 節距因數 $K_p = \cos 72^\circ$ (B) 節距因數 $K_p = \sin 36^\circ$
 (C) 分布因數 $K_d = \frac{\sin 30^\circ}{6 \sin 10^\circ}$ (D) 分布因數 $K_d = \frac{1}{6 \sin 10^\circ}$ 。

【訂正】將選項(C)(D)「 K_b 」改為「 K_d 」

$$\textcircled{\text{解}} \quad K_p = \sin \frac{\beta\pi}{2}, \quad \beta = \frac{4}{5}, \quad K_p = \sin \frac{\frac{4}{5} \times 180}{2} = \sin 72^\circ$$

$$\text{每相每極的槽數：} n = \frac{36}{3 \times 4} = 3$$

$$\text{槽距：} \alpha = \frac{4 \times 180^\circ}{36} = 20^\circ$$

$$K_d = \frac{\sin \frac{n\alpha}{2}}{n \times \sin \frac{\alpha}{2}}, \quad K_d = \frac{\sin \frac{3 \times 20^\circ}{2}}{3 \times \sin \frac{20^\circ}{2}} = \frac{\sin 30^\circ}{3 \sin 10^\circ} = \frac{1}{6 \sin 10^\circ}$$

(B) 2. 三相同步發電機，若要消除第三次諧波電壓對電路之影響，線圈繞組之節距可採用 (A) $\frac{3\pi}{2}$ (B) $\frac{2\pi}{3}$ (C) $\frac{3\pi}{4}$ (D) π 。

$$\textcircled{\text{解}} \quad \text{要消除 } n \text{ 次諧波，則 } K_{pn} = \sin \frac{n\beta\pi}{2} = 0$$

$$K_{pn} = \sin \frac{3\beta\pi}{2} = 0, \quad \frac{3\beta\pi}{2} = 180^\circ, \quad \beta = \frac{2\pi}{3}$$

- (C) 3. 有一台三相、8 極、72 槽之交流同步發電機，已知 A 相始端在第 5 槽，求 B 相之始端應在第幾槽？

(A)第 7 槽 (B)第 9 槽 (C)第 11 槽 (D)第 13 槽。

解 槽距： $\alpha = \frac{8 \times 180}{72} = 20^\circ$

B 相超前 A 相 120 度， $\frac{120}{20} = 6$ 槽

B 相：5 + 6 = 11 槽

二、情境題

- (B) 4. 小仁的工廠有一台三相 20 極交流同步發電機，若小仁希望此發電機能當備用發電機，取代停電時台電之電源，供應工廠的負載，則原動機的轉速應調為多少？ (A)720rpm (B)360rpm (C)800rpm (D)400rpm。

解 台電的電源頻率為 60Hz

$$N_s = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 60}{20} = 360 \text{rpm}$$

- (C) 5. 在上課時，老師希望大家能討論交流同步發電機的電樞繞組的相關特性，有幾位同學的敘述是正確的？

宏仁同學：分布繞之主要優點為改善波形、散熱好、效率高

勛冠同學：短節距繞可以改善波形、減少導線用銅量

勛閔同學：全節距繞的電樞繞組，其線圈的兩個線圈邊相隔 180° 機械度

均彥同學：繞組因數(kw)為節距因數乘分布因數之值

緻坤同學：同步發電機的電樞繞組，一般採用雙層、短節距、分布繞組

(A)二位 (B)三位 (C)四位 (D)五位。

【訂正】將原「繞組因數(kw)」修改為「繞組因數(kw)」

解 勛閔同學：全節距繞的電樞繞組，其線圈的兩個線圈邊相隔 180° 電工度

鍛鍊本解答－高手過招

- (A) 1. 三相同步發電機的額定線電壓為 220V，頻率為 60Hz；若轉速為 150 轉/分，則極數為何？ 【105 統測】

(A)48 極 (B)24 極 (C)8 極 (D)2 極。

$$\text{解 } N_s = \frac{120f}{P}, 150 = \frac{120 \times 60}{P}, P = 48$$

- (D) 2. 某三相同步發電機之輸出功率為 2kW，由轉速為 3600rpm 之原動機帶動，若損失不計，則原動機約須提供多少轉矩？ 【106 統測】

(A) 0.09 牛頓·米 (B) 0.56 牛頓·米
(C) 3.63 牛頓·米 (D) 5.31 牛頓·米。

$$\text{解 } P = T \times \omega, \omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi \times 3600}{60} = 376.8$$

$$2000 = T \times 376.8, T = 5.3 \text{ N}\cdot\text{m}$$

- (C) 3. 一部三相同步發電機頻率為 50Hz，每極最大磁通量為 0.05 韋伯，每相匝數為 20 匝，則同步發電機每相之感應電勢有效值約為何？

(A)50V (B)111V (C)222V (D)444V。 【107 統測】

$$\text{解 } E = 4.44N\phi_m f = 4.44 \times 20 \times 0.05 \times 50 = 222 \text{ V}$$

- (A) 4. 一部三相 12 極同步發電機，定子共有 144 槽，線圈跨距為 10 槽，其分佈因數為 K_d 、節距因數為 K_p ，則下列敘述何者正確？ 【107 統測】

(A) $K_d = \frac{\sin 30^\circ}{4\sin 7.5^\circ}$ (B) $K_d = \frac{4\sin 7.5^\circ}{\sin 30^\circ}$
(C) $K_p = \cos 75^\circ$ (D) $K_p = \sin 30^\circ$ 。

$$\text{解 } \text{極距} = \frac{144}{12} = 12, \beta = \frac{10}{12} = \frac{5}{6}$$

$$K_p = \sin \frac{\beta\pi}{2} = \sin \frac{\frac{5}{6} \times 180^\circ}{2} = \sin 75^\circ$$

$$n = \frac{144}{3 \times 12} = 4, \alpha = \frac{12 \times 180^\circ}{144} = 15^\circ$$

$$K_d = \frac{\sin \frac{n \times \alpha}{2}}{n \times \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{\sin \frac{4 \times 15^\circ}{2}}{4 \times \sin \frac{15^\circ}{2}} = \frac{\sin 30^\circ}{4 \sin 7.5^\circ}$$

- (B) 5. 某三相 4 極、Y 接之同步發電機，每極磁通量為 0.01 韋伯，每相電樞繞組之導體數為 200 根，同步轉速為 1800rpm，若電樞繞組之每相感應電勢有效值為 240V，則繞組因數約為何？ 【109 統測】

(A)0.95 (B)0.9 (C)0.85 (D)0.8。

$$\textcircled{\text{解}} \quad N_s = \frac{120f}{P}, \quad 1800 = \frac{120 \times f}{4}, \quad f = 60\text{Hz}$$

$$E = 4.44N\phi_m f K_w$$

200根導體為100匝

$$240 = 4.44 \times 100 \times 0.01 \times 60 \times K_w, \quad K_w = 0.9$$

- (B) 6. 某同步發電機之電樞線圈，若分別採用 $\frac{4}{5}$ 、 $\frac{6}{7}$ 、 $\frac{7}{9}$ 及 $\frac{9}{12}$ 之短節距，則何者節距因數最大？ (A) $\frac{4}{5}$ (B) $\frac{6}{7}$ (C) $\frac{7}{9}$ (D) $\frac{9}{12}$ 。 【109 統測】

$$\textcircled{\text{解}} \quad K_p = \sin \frac{\beta\pi}{2}$$

$$A : K_p = \sin \frac{\frac{4}{5} \times 180}{2} = \sin 72^\circ ; \quad B : K_p = \sin \frac{\frac{6}{7} \times 180}{2} = \sin 77.1^\circ$$

$$C : K_p = \sin \frac{\frac{7}{9} \times 180}{2} = \sin 70^\circ ; \quad D : K_p = \sin \frac{\frac{9}{12} \times 180}{2} = \sin 67.5^\circ$$

因此 B 選項之 K_p 值最大