



CH3 三相感應電動機之特性及等效電路

3-1 轉子感應電勢、頻率與電感抗

隨堂練習解答

課本 P33

- (C) 1. 食品工廠中有一台三相感應電動機，銘牌上標示為 6 極、，同步轉速為 1200 rpm，滿載轉差率 5%，則電動機滿載運轉時，轉子繞組中電流之頻率，何者正確？

(A)1 Hz (B)2 Hz (C)3 Hz (D)4 Hz。

解 $n_s = \frac{120 \times f}{P} \Rightarrow 1200 = \frac{120 \times f}{6}$ ，可得電源頻率 $f = 60\text{Hz}$ ，

轉子電流之頻率 $f_2 = S f_1 = 0.05 \times 60 = 3\text{Hz}$

- (B) 2. 三相感應電動機轉子感應電動勢

(A)隨轉子轉速增加而增加 (B)隨轉子轉速增加而降低

(C)與電源電壓成固定比例 (D)與轉子轉速無關。

解 三相感應電動機轉子轉速增加，轉差率 S 下降，轉子感應電勢 $E_{2r} = S E_2$ 下降

隨堂練習解答

課本 P35

- (A) 1. 某三相 6 極、60 Hz、240 V 繞線式感應電動機，轉子之相數，繞型及匝數均與定子相同，當轉子轉速為 1100 rpm 時，轉子每相感應電動勢約為多少？

(A)20 V (B)60 V (C)120 V (D)240 V。

解 $n_s = \frac{120 \times 60}{6} = 1200\text{rpm}$ ， $S = \frac{1200 - 1100}{1200} = \frac{1}{12}$ ， $E_{2r} = S E_2 = \frac{1}{12} \times 240 = 20\text{V}$

- (C) 2. 有關感應電動機轉子之感應電勢與轉差率(S)的關係，下列敘述何者錯誤？
 (A) $S = 1$ ，轉子之感應電勢最大 (B) $S = 0$ ，轉子之感應電勢為零 (C) 感應電動機之轉速愈高，轉子之感應電勢愈大 (D) 感應電動機之轉速愈低，轉子電抗愈大。

解 感應電動機轉子起動時($S = 1$)，轉子感應電勢最大；同步時($S = 0$)，轉子感應電勢為零；轉速愈高，轉差率愈低、感應電勢愈小、轉子電流愈小

3-2 感應電動機的等效電路

隨堂練習解答

課本 P37

- (C) 1. 在感應電動機的等效電路中，下列何者代表電動機的鐵損？
 (A) 定子繞組電阻 (B) 定子繞組電抗 (C) 激磁電導 (D) 激磁電納。
 (B) 2. 將一部三相感應電動機運轉於無載狀態下，所測量到的定子電流大約為滿載電流的 (A) 80 % (B) 40 % (C) 5 % (D) 1 %。

隨堂練習解答

課本 P43

- (A) 1. 設感應電動機之轉差率為 S ，轉子之電流及電阻各為 I_2 及 R_2 ，則 $\frac{I_2^2 R_2}{S}$ 稱為
 (A) 轉子輸入功率 (B) 轉子輸出功率 (C) 消耗於轉子之熱功率 (D) 摩擦損失功率。
 (B) 2. 有一台三相感應電動機，在轉差率為 1 % 時，轉子銅損為 100 W，則此電動機之轉子輸出功率為何？
 (A) 10000 W (B) 9900 W (C) 900 W (D) 100 W。

解

$P_{i2} : P_{c2} : P_{o2}$ $= 1 : S : 1-S$	⇒	$P_{i2} : 100W : P_{o2}$ $= 1 : 0.01 : 0.99$
--	---	--

公式

已知數據

依據已知數據可得 $P_{o2} \times 0.01 = 100W \times 0.99$

因此轉子輸出功率 $P_{o2} = \frac{99W}{0.01} = 9900W$

隨堂練習解答

課本 P46

- (C) 1. 有一台冷氣主機採用三相、200 V、60 Hz、2 極、10 hp 感應電動機，滿載運轉時測得線電流為 30 A，功率因數為 0.8，則這台電動機滿載效率大約為多少？ (A)79.7% (B)84.7% (C)89.7% (D)94.7%。

解 感應電動機輸入功率 $P_{i1} = \sqrt{3}V_L I_L \cos \theta = 1.732 \times 200 \times 30 \times 0.8 = 8313.6 \text{ W}$

感應電動機滿載時輸出功率 $P_o = 10 \text{ hp} = 7460 \text{ W}$

滿載效率 $\eta = \frac{P_o}{P_{i1}} \times 100\% = \frac{7460}{8313.6} \times 100\% = 89.7\%$

- (B) 2. 有一部三相 4 極、220 V、60 Hz、6 hp 感應電動機，滿載時測得輸入電流為 18 A，倘若轉子銅損為 200 W，機械損為 324 W，定子鐵損為 450 W，定子銅損 350 W，則滿載時功率因數為

(A)0.928 (B)0.848 (C)0.785 (D)0.654。

解 滿載時輸出功率 $P_o = 6 \text{ hp} = 4476 \text{ W}$ ，依據題意計算

可得滿載時定子輸入功率 $P_{i1} = 4476 + 324 + 200 + 450 + 350 = 5800 \text{ W}$ ，

由於 $P_{i1} = \sqrt{3}V_L I_L \cos \theta \Rightarrow \cos \theta = \frac{5800}{\sqrt{3} \times 220 \times 18} = 0.846$

3-3 感應電動機的轉矩

隨堂練習解答

課本 P50

- (A) 1. 實習工場中有一台三相感應電動機，銘牌上標示 220 V、60 Hz、2 hp、4 P、1728 rpm，當這台電動機滿載運轉時，可以產生的轉矩大約多少？

(A)0.84 (B)4.12 (C)8.24 (D)80.75 kg-m。

解 $n_s = \frac{120 \times 60}{4} = 1800 \text{ rpm}$ ，輸出功率 $P_o = 2 \text{ hp} = 1492 \text{ W}$

輸出轉矩 $T_o = \frac{60 P_o}{2\pi n_r} = \frac{60 \times 1492}{2\pi \times 1728} = 8.25 \text{ nt-m} = 0.84 \text{ kg-m}$

- (A) 2. 有一台 6 極、60 Hz 三相感應電動機，當轉差率為 4 % 時，轉子銅損為 80 W，則此時電動機的電磁轉矩為多少？

(A)15.9 N-m (B)18.7 N-m (C)21.4 N-m (D)22.6 N-m。

$$\textcircled{\text{解}} \quad n_s = \frac{120 \times 60}{6} = 1200 \text{rpm}, \quad P_{i2} = \frac{P_{c2}}{S} = \frac{80}{0.04} = 2000 \text{W}$$

$$\text{電磁轉矩 } T_m = \frac{60 P_{i2}}{2\pi n_s} = \frac{60 \times 2000}{2 \times 3.14 \times 1200} = 15.9 \text{nt-m}$$

隨堂練習解答

課本 P55

- (A) 1. 使用三相感應電動機帶動貨品輸送帶，當輸送帶上的貨品重量發生變化時，下列有關感應電動機的轉差率變化，何者正確？

(A)貨品重量增加，轉差率變大 (B)貨品重量增加，轉差率變小
(C)貨品重量減少，轉差率變大 (D)貨品重量的變化不會影響轉差率。

$\textcircled{\text{解}}$ 貨品重量增加表示感應機的負載增加，感應機在無載到滿載間，負載與轉差率成正比

- (C) 2. 關於感應電動機的最大轉矩，下列敘述何者正確？

(A)最大轉矩與電源電壓成正比 (B)最大轉矩與同步角速度成正比
(C)最大轉矩與轉子電阻值無關 (D)最大轉矩與定子電阻值成正比。

$\textcircled{\text{解}}$ 最大轉矩 $T_{\max} = \frac{3V_1^2}{2\omega_s} \times \frac{1}{R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}} \cong K' \frac{V_1^2}{2X'}$ ，與電源電壓 V_1 平方成正比，與同步角速度 ω_s 成反比，與轉子電阻 R_2 無關，與定子電阻 R_1 成反比

隨堂練習解答

課本 P58

- (A) 1. 有一部升降機採用三相繞線式感應電動機作為動力來源，並且利用轉子外加電阻來控制轉速。正常運轉中若是將外加電阻值增加，則升降機的轉速變化為何？ (A)轉速降低 (B)轉速升高 (C)轉速不變 (D)停止不動。

$\textcircled{\text{解}}$ 當轉子外加電阻 R_2' 愈大時，轉差率 S' 愈大，轉子轉速 $n_r = (1-S)n_s$ 降低

- (B) 2. 同上題，這台電動機使用手冊上註明，在未使用外加電阻下，最大轉矩發生於轉差率 25 % 時，最大轉矩值為滿載轉矩的 300 %。倘若操作者透過外加電阻使轉子電阻值變成原本的兩倍，則最大轉矩會變成滿載轉矩的比例為何？
(A)600 % (B)300 % (C)50 % (D)25 %。

解 最大轉矩值與轉子電阻無關

- (C) 3. 同上題，最大轉矩發生時的轉差率，何者正確？
(A)600 % (B)300 % (C)50 % (D)25 %。

$$\text{解 } \frac{R'_2}{S} = \frac{R'_2 + R}{S'} \Rightarrow \frac{R'_2}{0.25} = \frac{2R'_2}{S'} \Rightarrow S' = 0.5$$

3-4 鼠籠式感應電動機的運轉特性

隨堂練習解答

課本 P62

- (C) 1. 正常運轉中的三相感應電動機，當軸端負載增加時，下列何者正確？
(A)轉矩減小 (B)電流減少 (C)轉差率增大 (D)轉速增加。
- (B) 2. 有一台三相 200 V，10 hp 感應電動機，銘牌上標示滿載效率 74.6 %，功率因數為 0.8，則滿載時的線電流大約為何？
(A)28.8 A (B)36.1 A (C)46.6 A (D)62.5 A。

$$\text{解 } \eta = \frac{P_o}{P_{in}} \Rightarrow P_{in} = \frac{10 \times 746 \text{ W}}{0.746} = 10 \text{ kW}, I_L = \frac{P_{in}}{\sqrt{3} V_L \cos \theta} = \frac{10000}{\sqrt{3} \times 200 \times 0.8} = 36.1 \text{ A}$$

3-5 各種感應電動機之特性及用途

隨堂練習解答

課本 P66

- (D) 1. 三相繞線式感應電動機起動時，在轉子繞組中串加額外的電阻，目的為何？
(A)提高起動電流及降低起動轉矩
(B)提高起動電流及降低起動輸入功率
(C)提高起動轉矩及提高起動電流
(D)提高起動轉矩及降低起動電流。

(A) 2. 下列有關三相雙鼠籠式感應電動機轉子的敘述，何者正確？

- (A)起動時，轉子電流大部分流過高電阻低電感的上層繞組
- (B)起動時，轉子電流大部分流過低電阻高電感的下層繞組
- (C)運轉時，轉子電流大部分流過高電阻低電感的下層繞組
- (D)運轉時，轉子電流大部分流過低電阻高電感的上層繞組。

解 雙鼠籠式轉子：起動時，轉子電流大部份流過高電阻、低電感的上層繞組；運轉時，轉子電流大部份流過低電阻、高電感的下層繞組

自我評量解答

課本 P67

一、選擇題

3-1 (B) 1. 一部三相 4 極、50 Hz 感應電動機，於額定電流與頻率下，若轉子感應電勢之頻率為 1.8 Hz，則此電動機之轉差速率為多少？

- (A)36 rpm (B)54 rpm (C)64 rpm (D)72 rpm。

解 $n_s = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{rpm}$ ， $f_2 = Sf_1 \Rightarrow 1.8 = S \times 50 \Rightarrow S = 0.036$ ，

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \Rightarrow 0.036 = \frac{n_s - n_r}{1500} \Rightarrow n_s - n_r = 54 \text{rpm}$$

(C) 2. 關於三相感應電動機的敘述，下列何者正確？

- (A)轉速愈快，轉子電阻愈大 (B)轉速愈慢，轉子頻率愈小
- (C)轉速愈快，轉子電壓愈小 (D)轉速愈慢，轉子電流愈小。

解 三相感應電動機轉子轉速愈快，轉差率 S 愈小、轉子頻率 $f_2 = Sf_1$ 愈小、轉子感應電勢 $E_{2r} = SE_2$ 愈小、轉子電流愈小，轉子電阻維持不變。

3-2 (D) 3. 設三相感應電動機之轉子電阻 R_2 變換到一次側之等效電阻為 R'_2 ，則該機在轉差率為 S 時，其等效機械負載可表示為

- (A) SR'_2 (B) $\frac{R'_2}{S}$ (C) $\left(\frac{S}{1-S}\right)R'_2$ (D) $\left(\frac{1-S}{S}\right)R'_2$ 。

(B) 4. 設感應電動機之轉子輸入功率為 P_{i2} ，轉子輸出功率為 P_{o2} ，轉子銅損為 P_{c2} ，則 $P_{i2} : P_{o2} : P_{c2}$ 為

- (A) $1 : S : 1-S$ (B) $1 : 1-S : S$ (C) $S : 1 : 1-S$ (D) $1-S : 1 : S$ 。

解 $P_{i2} : P_{c2} : P_{o2} = 1 : S : 1-S$ ；注意若改為 $P_{i2} : P_{o2} : P_{c2} = 1 : 1-S : S$

- (C) 5. 有一部三相 4 極、220 VAC、50 Hz、10 hp 的感應電動機，其滿載之轉子銅損為 310 W，請問此感應電動機之滿載轉速為何？

(A)1728 rpm (B)1680 rpm (C)1440 rpm (D)1152 rpm。

$$\text{解 } n_s = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{rpm}, P_o = 10 \text{hp} = 7460 \text{W}, \text{ 忽略機械損失}$$

轉子輸出功率 $P_{o2} = P_o = 7460 \text{W}$ ，轉子輸入功率

$$P_{i2} = P_{o2} + P_{c2} = 7460 + 310 = 7770 \text{W}$$

$$\text{轉差率 } S = \frac{P_{c2}}{P_{i2}} = \frac{310 \text{W}}{7770 \text{W}} = 0.04, n_r = (1 - S)n_s = (1 - 0.04)1500 = 1440 \text{rpm}$$

- (B) 6. 一部 4 極、220 V、60 Hz 的三相感應電動機，滿載時轉子頻率為 2.4 Hz，則氣隙功率與輸出功率的比值為何？

(A)0.96 (B)1.04 (C)1.12 (D)1.20。

$$\text{解 } f_2 = S f_1 \Rightarrow S = \frac{f_2}{f_1} = \frac{2.4 \text{Hz}}{60 \text{Hz}} = 0.04,$$

$$P_{i2} : P_{c2} : P_{o2} = 1 : S : 1 - S \Rightarrow \frac{P_{i2}}{P_{o2}} = \frac{1}{1 - S} = \frac{1}{0.96} = 1.04$$

- 3-3** (B) 7. 有一部三相感應電動機，其標示為 20 P、4 hp、220 VAC、50 Hz，滿載時轉差率 $S = 0.02$ 。請問其額定輸出轉矩為多少？

(A)31 N-m (B)97 N-m (C)252 N-m (D)284 N-m。

$$\text{解 } n_r = (1 - 0.02) \times \frac{120 \times 50}{20} = 294 \text{rpm}, P_o = 4 \text{hp} = 4 \times 746 \text{W} = 2984 \text{W}$$

$$T = \frac{60 P_o}{2\pi n_r} = \frac{60 \times 2984}{2\pi \times 294} = 97 \text{N-m}$$

- (A) 8. 一部 6 極、200 V、50 Hz 的三相感應電動機，滿載時轉差率為 0.04、轉矩為 35 N-m，電動機滿載時輸出功率約為多少？

(A)3.5 kW (B)4.2 kW (C)7.0 kW (D)8.4 kW。

$$\text{解 } n_r = (1 - 0.04) \times \frac{120 \times 50}{6} = 960 \text{rpm}$$

$$T = \frac{60 P_o}{2\pi n_r} \Rightarrow P_o = \frac{2\pi \times 960 \times 35}{60} = 3516 \text{W} \doteq 3.5 \text{kW}$$

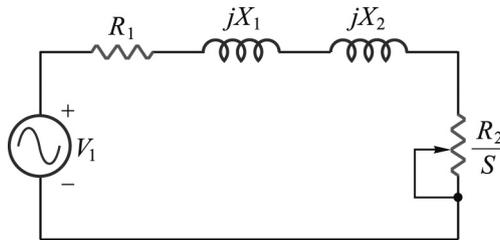
(A) 9. 關於感應電動機的最大轉矩，下列敘述何者錯誤？

- (A)最大轉矩與電源電壓成正比
- (B)最大轉矩與同步角速度成反比
- (C)最大轉矩與轉子電阻值無關
- (D)最大轉矩與定子電阻值成反比。

解 最大轉矩與電源電壓 V_1 平方成正比

(A) 10. 三相感應電動機若忽略激磁電抗及鐵損的影響，其換算至定子側之每相近似等效電路，如圖(1)所示。圖中 R_1 及 R_2 分別為定子側及轉子側的等效電阻， X_1 及 X_2 分別為定子側及轉子側的等效漏電抗， S 為滑差率(轉差率)， V_1 為相電壓。若此電動機在最大功率輸出時，則其滑差率 S 為何？

- (A) $S = \frac{R_2}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2)^2}}$
- (B) $S = \frac{R_2}{\sqrt{R_1^2 - (X_1 + X_2)^2}}$
- (C) $S = \frac{R_1}{\sqrt{R_2^2 + (X_1 + X_2)^2}}$
- (D) $S = \frac{R_1}{\sqrt{R_2^2 - (X_1 + X_2)^2}}$ 。



圖(1)

(C) 11. 某三相 6 極、220 V、60 Hz 感應電動機，靜止時轉子每相電阻為 0.2Ω ，電抗為 0.8Ω ，則該機產生最大轉矩時之轉速為多少？

- (A)1200 rpm (B)1000 rpm (C)900 rpm (D)600 rpm。

解 $n_s = \frac{120 \times 60}{6} = 1200 \text{rpm}$ ，最大轉矩發生時之轉差率 $S_{T_{\max}} \cong \frac{R_2}{X_2} = \frac{0.2}{0.8} = \frac{1}{4}$

轉子轉速 $n_r = \left(1 - \frac{1}{4}\right) \times 1200 = 900 \text{rpm}$

- (B) 12. 有一台 6 極、繞線式三相感應電動機，滿載時轉差率為 5 %；今在轉子之每相電路上串接 2.5 Ω 之電阻，轉差率變為 7.5 %。試求原本轉子每相電阻應為何？ (A)1 Ω (B)5 Ω (C)45 Ω (D)50 Ω。

解 $\frac{R_2' + R_s'}{S'} = \frac{R_2'}{S}$ ，本題 $\frac{R_2' + 2.5}{7.5\%} = \frac{R_2'}{5\%}$ ，因此 $R_2' = \frac{0.125\Omega}{0.075 - 0.05} = 5\Omega$

- (A) 13. 一部三相 4 極、60 Hz 繞線式轉子感應電動機，轉子每相電阻為 0.5 Ω，運轉於 1200 rpm 時產生最大轉矩，若此電動機要以最大轉矩起動，則轉子每相電路需外加多少電阻？ (A)1 Ω (B)2 Ω (C)3 Ω (D)4 Ω。

解 $n_s = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 60}{4} = 1800 \text{rpm}$

原本最大轉矩發生於 1200 rpm 時轉差率 $S = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{1800 - 1200}{1800} = \frac{1}{3}$

改於起動時 ($S' = 1$) 有最大轉矩，則外加電阻

$$\frac{R_2}{S} = \frac{R_2 + R_s'}{S'} \Rightarrow \frac{0.5}{\frac{1}{3}} = \frac{0.5 + R_s'}{1} \Rightarrow R_s' = 1\Omega$$

- (C) 14. 60 Hz、8 極繞線轉子感應電動機，起動時轉子外加轉子每相電阻 4 倍之電阻而起動，其起動轉矩等於停頓轉矩(最大轉矩)，如未外加電阻，則此電動機發生停頓轉矩之轉速為何？

- (A)600 rpm (B)660 rpm (C)720 rpm (D)900 rpm。

解 $\frac{R_2}{S} = \frac{R_2 + R_s}{S'} \Rightarrow \frac{R_2}{S} = \frac{R_2 + 4R_2}{1} \Rightarrow S = 0.2$

$$n_r = (1 - 0.2) \times \frac{120 \times 60}{8} = 720 \text{rpm}$$

- (C) 15. 有一部三相繞線式感應電動機，轉子使用外加電阻控制轉速。當外加電阻變大時，最大轉矩的變化為何？

- (A)降低 (B)升高 (C)不變 (D)降為 0。

解 最大轉矩值與轉子電阻無關

- 3-4 (B) 16. 三相、220 V、1 hp 感應電動機，功率因數 0.8，效率 0.8，額定電流約為 (A)2.4 A (B)3 A (C)3.75 A (D)5.3 A。

解 $\eta = \frac{P_o}{P_{in}} \Rightarrow 0.8 = \frac{746\text{W}}{\sqrt{3} \times 220\text{V} \times I_L \times 0.8} \Rightarrow I_L = 3.07\text{A} \div 3\text{A}$

- (C) 17. 感應電動機由輕載漸增為重負載，其效率之演變是
(A)增高 (B)降低 (C)先增高而後降低 (D)先降低而後增高。
- (A) 18. 三相感應電動機使用動力計作負載實驗時，若電動機之電源保持在定電壓及定頻率下，當所加負載愈大時，其轉差率 S
(A)增高 (B)降低 (C)先增高而後降低 (D)先降低而後增高。
- 3-5** (B) 19. 雙鼠籠式感應電動機的轉子繞組分為上、下兩層，其中
(A)上層繞組電阻較小，電感較大
(B)上層繞組電阻較大，電感較小
(C)上、下層繞組電阻一樣大
(D)上、下層繞組電感一樣大。
- (A) 20. 繞線轉子感應電動機最大優點為
(A)轉子電路可插入電阻，增加起動轉矩，減少起動電流
(B)效率高，耐用
(C)減少成本，節省銅線
(D)散熱佳，堅固。

二、問答與計算題

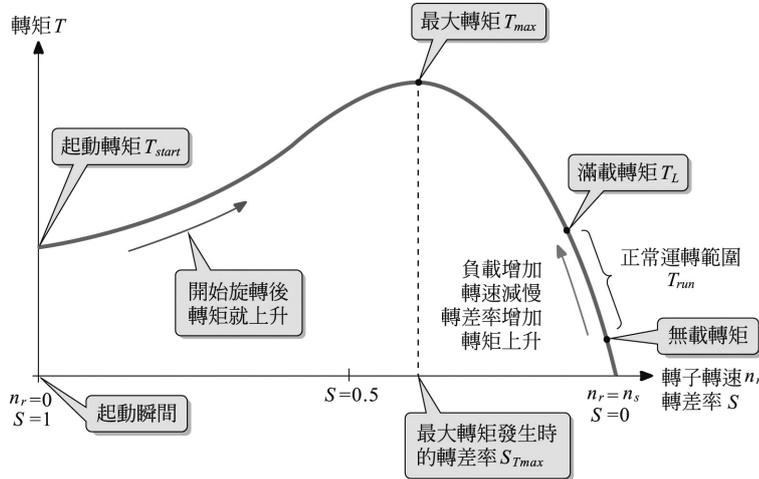
1. 感應電動機之最大轉矩具有哪些特點？

解 依據最大轉矩公式 $T_{\max} = \frac{3}{\omega_s} \times \frac{0.5V_1^2}{R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}}$ 可知感應電動機：

- (1) 最大轉矩與電源電壓平方成正比
- (2) 最大轉矩與定子電阻 R_1 、定子電抗 X_1 及轉子電抗 X_2 成反比，但與轉子電阻 R_2 無關
- (3) $S_{T_{\max}} \cong \frac{R_2'}{X_2'}$ ，即轉子電阻 R_2 增加，最大轉矩發生時的轉差率變大，也就是電動機會在比較低的速度下產生最大轉矩。

2. 畫出感應電動機的轉矩與轉差率特性曲線，並簡單說明之。

解 感應電動機轉矩與轉差率特性曲線如下圖所示：

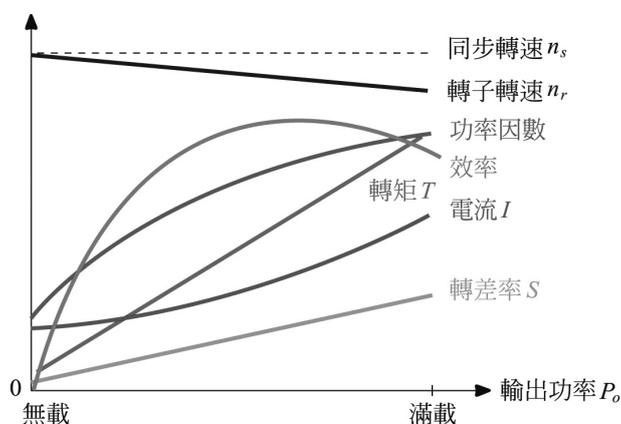


- (1) 起動瞬間轉子轉速為 0，轉差率為 1，只要軸端的機械負載低於起動轉矩 (T_{start})，電動機就會開始旋轉，
- (2) 隨著轉速上升(轉差率變小)，轉矩加大，當轉矩超過最大轉矩(T_{max})後，轉矩將會急速下滑，直到機械負載與電動機轉矩取得平衡，電動機才以穩定的轉速持續旋轉。
- (3) 電動機正常運轉範圍下，軸端機械負載增加，電動機轉速會略微下降，轉差率上升，電動機產生較大的轉矩因應負載所需。
- (4) 倘若負載持續增加，超過電動機所能產生的最大轉矩，電動機會迅速減速乃至停轉。

3. 畫出感應電動機運轉特性曲線圖，並說明負載增加時(1)轉子轉速、(2)轉差率、(3)電流、(4)轉矩 T 、(5)輸出功率 P_o 、(6)效率、(7)功率因數之變化情形分別為何？

解 感應電動機運轉特性曲線圖如下圖所示，當負載由無載開始逐漸增加時，

- (1) 同步轉速 n_s 維持不變，轉子轉速 n_r 下降，
- (2) 轉差率 S 增加，
- (3) 向電源取用的電流 I 增加，
- (4) 轉矩 T 增加，
- (5) 效率先增加，當負載增加到變動損失等於固定損失時效率最高，倘若負載再增加，由於變動損失持續變大，效率反而降低。
- (6) 功率因數增加。



4. 說明繞線式轉子的構造、特性與用途。

- 解 1. 構造：繞線式轉子表面開有線槽並繞有三相線圈，透過滑環與電刷和外部電阻器連接。
2. 特性：起動時於轉子電路串聯外加電阻，藉以減少起動電流，增加起動轉矩，得到最完美的起動特性。隨著轉速增加，逐漸降低轉子外加電阻值可以降低轉子損失，提升效率與功率因數。正常運轉中也可以透過調整轉子外加電阻值，在轉矩不變的狀態下，控制轉子轉速。
3. 用途：主要用在需要大起動轉矩及轉速可變之處。如起重機、升降機或電車等。

5. 說明各種鼠籠式轉子的構造、特性與用途。

解 鼠籠式轉子爲了符合負載需要，分成：

(一)普通鼠籠式

1. 構造：用截面積較大的金屬導體，置於轉子表面的淺型線槽中，因此導體具有低電阻與低漏磁電抗特性。
2. 特性：起動轉矩較小、起動電流較大，無法使用於重載之起動；運轉時轉差率小，轉速穩定，有很好的運轉特性。但是在輕載時，功率因數很低，效率也不高。
3. 用途：離心泵、風扇、鼓風機、輸送帶、印刷機、木工機械或工作母機等需要恆速、小起動轉矩之處。

(二)深槽鼠籠式

1. 構造：用截面積較大的金屬導體，置於轉子表面的窄深型線槽，由於線槽底部漏磁通較大，因此內層導體的電抗值大於外層導體。

2. 原理：起動時，內層導體電抗值大，電流集中在外層導體，由於通道狹窄，效果如同高轉子電阻，因此起動電流較小、起動轉矩較大。隨著轉速上升，電抗值降低，電流均勻通過轉子導體，效果如同低轉子電阻，可減少損失，提升運轉效率。
3. 特性與應用：深槽鼠籠式轉子的起動轉矩較普通鼠籠式稍高，起動電流較普通鼠籠式稍低，一般用在送風機、紡織機、空壓機或工作母機等。

(三)雙鼠籠式轉子

1. 構造：轉子鐵心具有內、外兩層線槽，裝有兩組鼠籠式繞組，其中：
 - (1) 外層導體：截面積小，使用高電阻材料製成，且外層靠近空氣隙，磁阻大，漏磁通較少，因此電感值小。
 - (2) 內層導體：截面積較大，使用低電阻材料製成，鐵心內部漏磁通較多，因此電感值大。
 2. 起動時電流大部分由低電感、高電阻的外層導體通過，可以降低起動電流、增加起動轉矩。隨著轉速上升，電抗值降低，此時電流改由低電阻的內層導體通過，可以減少損失，得到良好的運轉特性。
 3. 特性與應用：雙鼠籠式是三種鼠籠式轉子中起動轉矩最大者，其起動電流也較低，因此具備良好的起動性能，但是最大轉矩稍低，構造也較為複雜一般用在捲揚機、輸送帶機、空壓機或工作母機等。
6. 有一部三相 6 極、60 Hz 的感應電動機，滿載轉速 1150 rpm 時，已知轉子每相應電勢為 5 V，轉子電阻為 5 Ω，轉子電抗為 0.5 Ω，試求本機(1)滿載運轉時每相轉子繞組的電流、(2)起動瞬間每相轉子繞組的電流分別為何？

解 (1) 滿載運轉時每相轉子電流 $I_{2r} = \frac{E_{2r}}{Z_{2r}} = \frac{E_{2r}}{\sqrt{R_2^2 + X_{2r}^2}} = \frac{5V}{\sqrt{5^2 + 0.5^2}} = 0.995A$

(2) $n_s = \frac{120 \times 60}{6} = 1200 \text{ rpm}$ ；滿載時轉差率： $S = \frac{1200 - 1150}{1200} = \frac{1}{24}$

$E_{2r} = SE_2$ ，因此靜止時轉子每相應電勢 $E_2 = \frac{5V}{\frac{1}{24}} = 120V$

而 $X_{2r} = SX_2$ ，因此靜止時轉子每相電抗 $X_2 = \frac{0.5\Omega}{\frac{1}{24}} = 12\Omega$

起動時($S = 1$)轉子電流 $I_2 = \frac{E_2}{Z_2} = \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}} = \frac{120}{\sqrt{5^2 + 12^2}} = 9.23A$

7. 有一部三相感應電動機，其標示為 4 P、5 hp、200 VAC、60 Hz。若已知半載轉速為 1746 rpm，機械損失為 269 W，請問半載時(1)轉差率、(2)輸出功率、(3)轉子輸出功率、(4)轉子輸入功率、(5)轉子效率分別為何？

解 (1) $n_s = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 60}{4} = 1800 \text{rpm}$ ，半載時 $S = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{1800 - 1746}{1800} = 0.03$

(2) 半載時輸出功率 $P_o = \frac{1}{2} \times 5 \text{hp} = \frac{1}{2} \times 5 \times 746 \text{W} = 1865 \text{W}$

(3) 轉子輸出功率 $P_{o2} = P_o + P_k = 1865 + 269 = 2134 \text{W}$

(4) 氣隙功率(轉子輸入功率) $P_{i2} = \frac{P_{o2}}{1-S} = \frac{2134}{1-0.03} = 2200 \text{W}$

(5) 轉子效率 $\eta_2 = \frac{P_{o2}}{P_{i2}} = 1 - S = 0.97$

8. 有一台 6 極、220 V、60 Hz 三相感應電動機，滿載時轉差率為 5%，產生之轉矩為 30 N·m，機械損為 218.6 W。試求滿載時(1)轉子轉速、(2)輸出功率、(3)轉子輸出功率、(4)轉子輸入功率、(5)轉子效率分別為何？

解 (1) $n_s = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 60}{6} = 1200 \text{rpm}$ ， $5\% = \frac{1200 - n_r}{1200} \times 100\%$ ， $n_r = 1140 \text{rpm}$

(2) $T = \frac{60P_o}{2\pi n_r} \Rightarrow 30 = \frac{60 \times P_o}{2\pi \times 1140}$ ；可得機械輸出功率 $P_o = 3581.4 \text{W}$

(3) 轉子輸出功率 $P_{o2} = P_o + P_k = 3581.4 + 218.6 = 3800 \text{W}$

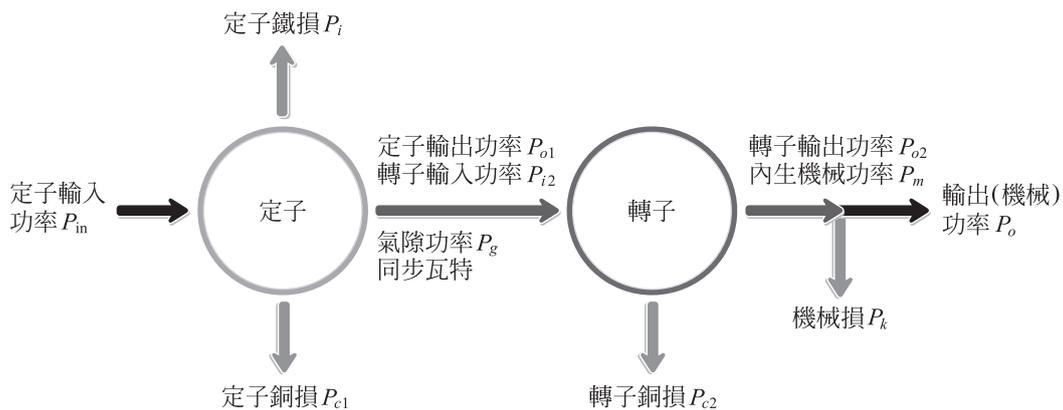
(4) 轉子輸入功率 $P_{i2} = \frac{P_{o2}}{1-S} = \frac{3800}{1-0.05} = 4000 \text{W}$

(5) 轉子效率 $\eta_2 = \frac{P_{o2}}{P_{i2}} = 1 - S = 0.95$

鍛鍊本解答－嚴選精華

- 3-1 1. 定子感應電勢 $E_1 = 4.44K_{w1}f_1N_1\phi_m$ 、轉子感應電勢 $E_2 = 4.44K_{w2}f_2N_2\phi_m$ 。
2. 轉子感應電勢的頻率 $f_2 = Sf_1$ 、旋轉時每相轉子繞組感應電勢 $E_{2r} = SE_2$ 、旋轉時每相轉子繞組漏磁電抗 $X_{2r} = SX_2$ 。
3. 起動瞬間每相轉子電流 $I_{2s} = \frac{E}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}}$ 、運轉時每相轉子電流為 $I_{2r} = \frac{SE_2}{\sqrt{R_2^2 + (SX_2)^2}}$ 。
4. 激磁電流 I_o 可以分成產生交鏈磁通 ϕ 的磁化電流 I_m 以及造成鐵心發熱現象的鐵損電流 I_e ，其關係為 $I_o = \sqrt{I_e^2 + I_m^2}$ 。
- 3-2 5. 爲了方便分析，轉子電阻 $\frac{R_2}{S}$ 會分解成 R_2 (代表轉子本身的構造) 以及 $\frac{1-S}{S}R_2$ (代表承擔的負載量) 兩個部分，即 $\frac{R_2}{S} = R_2 + \frac{1-S}{S}R_2$ 。
- 3-3 6. 轉子功率分爲：轉子每相輸入功率($P_{i2} = I_2^2 \frac{R_2}{S}$)，轉子每相繞組銅損($P_{c2} = I_2^2 R_2$)，轉子每相輸出之機械功率($P_{o2} = I_2^2 \times \frac{1-S}{S} R_2$)。
7. 轉子功率關係爲 $P_{i2} = P_{c2} + P_{o2}$ ，而 $P_{i2} : P_{c2} : P_{o2} = 1 : S : 1 - S$ 。

3-4 8. 感應電動機功率轉移圖：



鍛鍊本解答－大顯身手

課內題

詳解請參考自我評量解答 P3-6~3-14

課外題

一、精選題

- (A) 1. 有一台三相、4 極、5HP、220V、60Hz 感應電動機，滿載時轉子銅損為 80W，機械損為 190W，求此電動機之半載轉速為多少？

(A)1782rpm (B)1764rpm (C)1746rpm (D)1728rpm。

$$\text{解 } N_s = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 60}{4} = 1800 \text{rpm}$$

$$P_o = 5 \times 746 = 3730 \text{W}$$

$$P_m = 3730 + 190 = 3920 \text{W}$$

$$P_{c2} = 80 \text{W}$$

$$P_2 = P_m + P_{c2} = 3920 + 80 = 4000 \text{W}$$

$$\frac{P_2}{1} = \frac{P_{c2}}{S} = \frac{P_m}{1-S}, \quad \frac{4000}{1} = \frac{80}{S}, \quad S = 0.02$$

$$\text{負載與轉差率成正比：} S_{\frac{1}{2}} = 0.02 \times \frac{1}{2} = 0.01$$

$$N_r = 1800 \times (1 - 0.01) = 1782 \text{rpm}$$

- (D) 2. 有一台 6 極 50Hz 之三相感應電動機，滿載時轉速為 980rpm，轉子銅損為 20W，求此感應電動機之電磁轉矩為多少？

(A) 2.38 N-m (B)4.76 N-m (C)8.76 N-m (D)9.55 N-m。

$$\text{解 } N_s = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 50}{6} = 1000 \text{rpm}$$

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\% = \frac{1000 - 980}{1000} = 0.02$$

$$\frac{P_2}{1} = \frac{P_{c2}}{S} = \frac{P_m}{1-S}, \quad \frac{P_2}{1} = \frac{20}{0.02}, \quad P_2 = 1000 \text{W}$$

$$T = \frac{P_2}{\omega_s} = P_2 \times \frac{60}{2\pi N_s} = \frac{1000 \times 60}{2\pi \times 1000} = 9.55 \text{ N-m}$$

- (C) 3. 有一台三相 6 極、60Hz 繞線式感應電動機，靜止時轉子每相電阻為 0.4Ω ，每相電抗為 1.6Ω ，若希望在啓動時，啓動轉矩等於最大轉矩，應外加多少轉子電阻？ (A) 0.4Ω (B) 0.8Ω (C) 1.2Ω (D) 1.6Ω 。

$$\text{解 } S_{T_{\max}} = \frac{R_2'}{X_2'} = \frac{0.4}{1.6} = 0.25$$

$$\frac{R_2'}{S} = \frac{R_2' + R_X}{mS}$$

$$\text{啓動時 } S = 1, \frac{0.4}{0.25} = \frac{0.4 + R_X}{1}, R_X = 1.2\Omega$$

二、情境題

- (B) 4. 小仁同學對一台三相 4 極 60Hz 的鼠籠式感應電動機，做負載實驗，將負載轉矩設為定值後，測出的轉子電阻為 0.4Ω ，轉速為 1710rpm，持續運轉 2 小時後，測出的轉子電阻為 0.6Ω ，但轉速計剛好沒電，無法直接測量，求此時感應電動機的轉速為多少？

- (A)1692rpm (B)1665rpm (C)1656rpm (D)1642rpm。

$$\text{解 } N_s = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 60}{4} = 1800\text{rpm}$$

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\% = \frac{1800 - 1710}{1800} = 0.05$$

$$\frac{R_2'}{S} = \frac{R_2' + R_X}{mS}, \frac{0.4}{0.05} = \frac{0.6}{S_2}, S_2 = 0.075$$

$$N_r = 1800 \times (1 - 0.075) = 1665\text{rpm}$$

- (D) 5. 上課時，同學們在討論不同種類感應電動機的特性，請問以下有幾位同學的觀念是正確的？

鈞硯同學：鼠籠式感應電動機，其轉子可適用於任何極數的定子

學秉同學：繞線式感應電動機，其轉子可外接電阻，提高啓動轉矩

竹修同學：雙鼠籠型感應電動機的轉子繞組分為上下兩層上層繞組電阻較大，電感較小

霖彥同學：繞線式感應電動機，其轉子外加電阻後，最大轉矩之值不變

- (A)一位 (B)二位 (C)三位 (D)四位。

鍛鍊本解答－高手過招

- (C) 1. 一部 8 極、220V、60Hz 的三相感應電動機，轉子感應電勢之頻率為 3Hz，則此時感應電動機的轉速為多少？ 【104 統測】

(A)870rpm (B)865rpm (C)855rpm (D)840rpm。

解 $f_2 = s f_1$ ， $3 = S \times 60$ ， $S = 0.05$

$$N_s = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 60}{8} = 900, S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\%$$

$$0.05 = \frac{900 - N_r}{900}, N_r = 855\text{rpm}$$

- (C) 2. 一部 50Hz、4 極的三相繞線式感應電動機，每相轉子電阻為 1Ω ，滿載轉速為 1470rpm，若要將滿載轉速降至 1380rpm，則需在轉子電路中串接多少 Ω 之電阻？ (A)1 (B)2 (C)3 (D)4。 【104 統測】

解 $N_s = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500\text{rpm}$

$$S_1 = \frac{1500 - 1470}{1500} \times 100\% = 0.02, S_2 = \frac{1500 - 1380}{1500} \times 100\% = 0.08$$

$$\frac{R_2'}{S} = \frac{R_2' + R_x}{S'}, \frac{1}{0.02} = \frac{1 + R_x}{0.08}, R_x = 3\Omega$$

- (D) 3. 將三相感應電動機控制成發電機運轉，此時轉子的轉差率(slip) S 應為何？ (A) $S > 1$ (B) $S = 1$ (C) $0 < S < 1$ (D) $S < 0$ 。 【105 統測】

解 三相感應電動機當成發電機運轉時， $N_r > N_s$

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\% \quad \therefore S < 0$$

- (A) 4. 三相感應電動機的額定線電壓為 220V，額定頻率為 60Hz，極數為 8 極；若轉速為 810 轉/分，則轉子繞組的電流頻率為何？ 【105 統測】

(A)6Hz (B)4Hz (C)3Hz (D)2Hz。

解 $N_s = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 60}{8} = 900\text{rpm}$

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\% = \frac{900 - 810}{900} \times 100\% = 0.1$$

$$f_2 = s f_1 = 0.1 \times 60 = 6\text{Hz}$$

- (D) 5. 一部三相 6 極繞線式感應電動機，接於 60Hz 電源，設轉子繞組每相電阻為 2Ω ，滿載轉速為 1140rpm，若轉子繞組每相外加 6Ω 電阻，則在相同電源電壓及相同滿載轉矩下，其轉子繞組的電流頻率為何？

(A)0.2Hz (B)1.2Hz (C)6Hz (D)12Hz。

【106 統測】

$$\text{解 } N_s = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 60}{6} = 1200 \text{rpm}$$

$$S = \frac{1200 - 1140}{1200} \times 100\% = 0.05$$

$$\frac{R_2'}{S} = \frac{R_2' + R_x}{S'} \quad , \quad \frac{2}{0.05} = \frac{2 + 6}{S'} \quad , \quad S' = 0.2$$

$$f_2 = s f_1 = 0.2 \times 60 = 12 \text{Hz}$$

- (C) 6. 三相感應電動機之轉子輸入功率為 P_1 ，轉子輸出功率為 P_2 ，轉子銅損為 P_3 ，轉差率為 S ，則 $P_1 : P_2 : P_3$ 之比例關係為何？

【107 統測】

(A) $S : (1 - S) : 1$

(B) $(1 - S) : S : 1$

(C) $1 : (1 - S) : S$

(D) $(1 - S) : 1 : S$ 。

$$\text{解 } P_1 = (I_2')^2 \times \frac{R_2'}{S} \quad , \quad P_2 = (I_2')^2 \times \left(\frac{1 - S}{S}\right) R_2' \quad , \quad P_3 = (I_2')^2 \times R_2'$$

$$P_1 : P_2 : P_3 = 1 : (1 - S) : S$$

- (A) 7. 有一部三相 6 極、380V、60Hz 之感應電動機，在滿載運轉條件下，若轉子轉速為 1140rpm，滿載轉子銅損為 300W，機械損為 200W，則該電動機之軸端輸出功率為何？

【108 統測】

(A)5500W (B)5800W (C)6000W (D)6500W。

$$\text{解 } N_s = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 60}{6} = 1200 \text{rpm}$$

$$S = \frac{1200 - 1140}{1200} \times 100\% = 0.05$$

$$\frac{P_2}{1} = \frac{P_{c2}}{S} = \frac{P_m}{1 - S} \quad , \quad \frac{P_2}{1} = \frac{300}{0.05} \quad , \quad P_2 = 6000 \text{W}$$

$$P_o = 6000 - 300 - 200 = 5500 \text{W}$$

- (D) 8. 有一部三相 12 極、220V、60Hz、10 馬力之感應電動機，在滿載運轉條件下，已知其機械損為 140W，滿載轉子銅損為 400W，則該電動機之滿載轉子轉速為何？ (A)450rpm (B)500rpm (C)530rpm (D)570rpm。 【108 統測】

解 $P_o = 10 \times 746 = 7460\text{W}$ ， $P_m = 7460 + 140 = 7600\text{W}$

$$P_2 = 7600 + 400 = 8000\text{W}$$

$$\frac{P_2}{1} = \frac{P_{c2}}{S} = \frac{P_m}{1-S}，\frac{8000}{1} = \frac{400}{S}，S = 0.05$$

$$N_s = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 60}{12} = 600\text{rpm}$$

$$N_r = 600 \times (1 - 0.05) = 570\text{rpm}$$

- (C) 9. 某 4 極、220V、60Hz 之三相感應電動機，若滿載時的轉速為 1692rpm，則半載時之轉速約為何？ 【109 統測】
(A)1584rpm (B)1638rpm (C)1746rpm (D)1800rpm。

解 $N_s = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 60}{4} = 1800\text{rpm}$

$$S = \frac{1800 - 1692}{1800} \times 100\% = 0.06$$

轉差率與負載成正比

$$S_{\frac{1}{2}} = 0.06 \times 0.5 = 0.03，N_r = 1800 \times (1 - 0.03) = 1746\text{rpm}$$

- (B) 10. 一台 6 極、220V、60Hz 之三相感應電動機，其滿載時的輸出轉矩為 20 牛頓-米，若頻率及轉差率維持不變，電源電壓變動±10%，則輸出轉矩的變動範圍約為何？ 【109 統測】

(A)14.2~22.0 N-m (B)16.2~24.2 N-m

(C)18.0~26.0 N-m (D)24.2~26.0 N-m。

解 頻率及轉差率維持不變時， $T \propto (V_1)^2$

$$T_1 = (0.9)^2 \times 20 = 16.2\text{ N-m}，T_2 = (1.1)^2 \times 20 = 24.2\text{ N-m}$$