



CH11 直流電動機之分類、特性及運用

11-1 直流電動機之分類

隨堂練習解答

課本 P207

- (A) 1. 直流電機中之串激磁場繞組，其
 (A)線徑粗，匝數少 (B)線徑細，匝數多
 (C)線徑粗，匝數多 (D)線徑細，匝數少。
- (B) 2. 直流電機中沒有與電樞繞組串聯的繞組為
 (A)串激磁場繞組 (B)分激磁場繞組 (C)補償繞組 (D)中間極繞組。

11-2 直流電動機的反電勢

隨堂練習解答

課本 P211

- (D) 1. 有關直流電動機之敘述，下列何者錯誤？
 (A)先有端電壓才有反電勢 (B)磁通加倍、反電勢加倍
 (C)轉速加倍、反電勢加倍 (D)電流加倍、反電勢加倍。
 解 電流加倍、反電勢 $E_c = V - I_a R_a$ 下降
- (A) 2. 直流電動機端電壓 220V，電樞電阻為 0.5Ω ，測得反電勢為 200 V，則電樞電流為 (A) 40 A (B) 20 A (C) 10 A (D) 5 A。
 解 $I_a = \frac{V - E_c}{R_a} = \frac{220 - 200}{0.5} = 40A$
- (D) 3. 額定轉速 1200 rpm 之電動機，已知轉速變動率為 5%，則無載速率為 (A) 1140 rpm (B) 1143 rpm (C) 1225 rpm (D) 1260 rpm。
 解 $S.R. = \frac{\text{無載轉速} - \text{滿載轉速}}{\text{滿載轉速}} \Rightarrow 0.05 = \frac{n_0 - 1200}{1200} \Rightarrow n_0 = 1260\text{rpm}$

11-3 直流電動機之特性

隨堂練習解答

P219

- (C) 1. 直流分激式電動機端電壓 V_t 、電樞電流 I_a 、電樞電阻 R_a 及磁通量 ϕ_f ，若鐵心無磁飽和，且其 K_f 為常數，則電動機轉軸轉速 N_r 與上述的關係，何者正確？

$$(A) N_r = \frac{K_f \phi_f}{V_t - R_a I_a} \quad (B) N_r = \frac{V_t}{K_f \phi_f + R_a I_a} \quad (C) N_r = \frac{V_t - R_a I_a}{K_f \phi_f} \quad (D) N_r = \frac{K_f \phi_f}{V_t + R_a I_a}。$$

- (C) 2. 200 V 直流分激式電動機，電樞電阻 0.12Ω ，滿載時電樞電流 50 A，轉速 1000 rpm，若不計電樞反應，則無載時(忽略電樞壓降)轉速約為多少？

(A) 500 rpm (B) 970 rpm (C) 1030 rpm (D) 2000 rpm。

解 滿載時反電勢 $E_{c1} = V_L - I_a R_a = 200 - 50 \times 0.12 = 194V$ ，

無載時 $E_{c2} = V_L - I_{a2} R_a = 200 - 0 = 200V$

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{E_{c2}}{E_{c1}} \Rightarrow \frac{n_2}{1000} = \frac{200V}{194V} \Rightarrow n_2 = 1030\text{rpm}$$

P224

- (C) 1. 直流串激式電動機，若外加電壓不變，當負載變小時，下列關於轉速與轉矩變化的敘述，何者正確？

(A)轉速變小，轉矩變大 (B)轉速與轉矩都變大
(C)轉速變大，轉矩變小 (D)轉速與轉矩都變小。

- (D) 2. 直流串激電動機運轉時，若鐵心無磁飽和， K_T 為常數，則電磁轉矩 T_e 與電樞電流 I_a 關係何者正確？

$$(A) T_e = \frac{K_T}{I_a^2} \quad (B) T_e = \frac{K_T}{I_a} \quad (C) T_e = K_T I_a \quad (D) T_e = K_T I_a^2。$$

P227

將範例 08 改為短並聯複激式直流電動機，所有數值均不變，試求該電動機滿載時：

(1)分激磁場電流、(2)電樞電流、(3)反電勢、(4)輸入功率、(5)內生功率。並比較計算結果。

● 依照題意畫出短並聯複激式電動機等效電路圖，並將已知數值填入：

(1) 分激磁場繞組兩端電壓： $V_f = V_L - I_L R_s = 200 - 100 \times 0.02 = 198\text{V}$

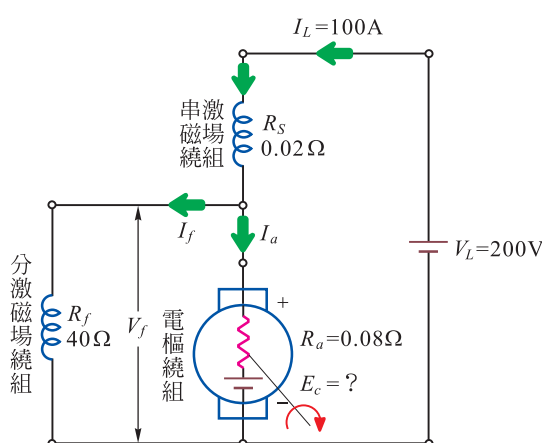
$$\text{分激磁場電流：} I_f = \frac{V_f}{R_f} = \frac{198\text{V}}{40\Omega} = 4.95\text{A}$$

(2) 電樞電流： $I_a = I_L - I_f = 100 - 4.95 = 95.05\text{A}$

(3) 電樞反電勢： $E_c = V_f - I_a R_a = 198 - (95.05 \times 0.08) = 190.396\text{V}$

(4) 輸入功率： $P_{in} = V_L \times I_L = 200 \times 100 = 20\text{kW}$

(5) 電樞內生功率： $P_m = E_c \times I_a = 190.396 \times 95.05 = 18097.14\text{W}$



P232

(A) 1. 有一長並聯複激電動機外加電壓 120 V，滿載時輸入電流 100 A，分激場電阻 120Ω，串激場電阻 0.03Ω，電樞電阻 0.07Ω，則電樞內部所生之機械功率為

(A) 10.9 kW (B) 11.5 kW (C) 12 kW (D) 13 kW。

● $I_f = \frac{V_L}{R_f} = \frac{120\text{V}}{120\Omega} = 1\text{A}$ ； $I_a = I_L - I_f = 100 - 1 = 99\text{A}$

$$E_c = V_L - I_a (R_a + R_s) = 120 - 99 \times (0.07 + 0.03) = 110.1\text{V}$$

$$P_m = E_c \times I_a = 110.1 \times 99 = 10900\text{W} = 10.9\text{kW}$$

(C) 2. 下列有關積複激電動機之敘述，何者錯誤？

(A) 轉速介於定速與變速之間

(B) 輕載時轉速穩定

(C) 速率調整率較分激小

(D) 適用於負載時常變動之處所。

● 積複激電動機速率調整率較分激大，較串激小。

(D) 3. 下列關於直流電動機敘述，何者錯誤？

(A)分激的轉矩為一直線

(B)串激不可以無載運轉

(C)積複激負載增加、轉速快速下降

(D)差複激之速率調整率為正。

解 差複激電動機負載增加速率上升，速率調整為負

11-4 直流電動機的控制

隨堂練習解答

P236

(B) 1. 有一部 1 HP、100 V 分激電動機，電樞電阻，若忽略磁場電流與損耗，起動時欲使起動轉矩為滿載之 200 %，需串聯多大之起動電阻？

(A) 2.7 Ω (B) 5.7 Ω (C) 8.7 Ω (D) 11.7 Ω 。

解 1HP、100V 之分激電動機滿載電流為 $\frac{746W}{100V} = 7.46A$ ，起動時欲限制起動電流

為滿載之 200%，代表起動電流為 $7.46 \times 2 = 14.92A$ ，由於起動電流

$$I_s = \frac{V - E}{R_a + R_s}, 14.92 = \frac{100 - 0}{1 + R_s}, \text{計算可得到 } R_s = 5.7\Omega。$$

P238

(C) 1. 有一部 110 V 直流電動機滿載時之電樞電流為 30 A，電樞電阻為 0.2 Ω ，若在起動時限制起動電流為 55 A，則起動器應有電阻值為何？

(A) 5 Ω (B) 3 Ω (C) 1.8 Ω (D) 1 Ω 。

解 $55A = \frac{110V - 0}{0.2\Omega + R_{st}} \Rightarrow R_{st} = 1.8\Omega$

(D) 2. 220 V 分激電動機之額定電流為 250 A，電樞電阻 0.04 Ω ，欲起動時產生兩倍額定之負載轉矩，其起動器之初步電阻應為

(A) 0.84 Ω (B) 0.8 Ω (C) 0.44 Ω (D) 0.4 Ω 。

解 分激電動機轉矩與電流成正比，欲使 $T_{st} = 2T_L$ ，則

$$I_{st} = 2I_L = 2 \times 250 = 500A \quad 500A = \frac{220V - 0}{0.04\Omega + R_{st}} \Rightarrow R_{st} = 0.4\Omega$$

P242

- (B) 1. 有關直流分激電動機之速率控制方法，下列何者正確？
 (A)增大電樞串聯電阻，可使轉速升高 (B)減低磁場的磁通量，可使轉速升高
 (C)減少磁場的激磁電流，可使轉速降低 (D)增大電樞電壓，可使轉速降低。
- (A) 2. 220 V 直流分激式電動機，電樞電阻 $0.2\ \Omega$ ，滿載時電樞電流為 100 A，速率為 1400 rpm，使用華德-黎翁納德法將電樞電壓降至 140 V 時，若轉矩不變，速率為多少？ (A) 840 rpm (B) 890 rpm (C) 980 rpm (D) 1400 rpm。

解 (1) 原本($V = 220\text{V}$)時反電勢 $E_{c1} = 220 - 100 \times 0.2 = 200\text{V}$
 (2) 電樞電壓降低($V_a = 140\text{V}$)時反電勢 $E_{c2} = 140 - 100 \times 0.2 = 120\text{V}$
 (3) $\frac{n_2}{n_1} = \frac{E_{c2}}{E_{c1}} \Rightarrow \frac{n_2}{1400} = \frac{120\text{V}}{200\text{V}} \Rightarrow n_2 = 840\text{rpm}$

P245

- (A) 1. 下列直流電動機中，若只改變電動機電源之正負極性，何者會改變旋轉方向？
 (A)永磁式 (B)積複激式 (C)串激式 (D)分激式。
- (B) 2. 要讓直流分激式電動機之轉向改變，其作法是
 (A)改變電源極性 (B)改變電樞繞組電流方向
 (C)串接起動電阻 (D)改變電樞繞組與場繞組電流方向。

自我評量解答

課本 P247

一、選擇題

- 11-2 (B) 1. 一 110 V，1 hp，900 rpm 的直流分激式電動機，電樞電阻為 $0.08\ \Omega$ ，滿載時之電樞電流為 7.5 A，則此電動機滿載時之反電動勢為多少？
 (A)108.2 V (B)109.4 V (C)110.0 V (D)116.8 V。

解 $E = V - I_a R_a = 110 - 7.5 \times 0.08 = 109.4\text{V}$

- (C) 2. 有一台分激式直流電動機，電樞電阻為 $0.2\ \Omega$ ，場電阻為 $200\ \Omega$ ，外接電源電壓為 $200\ \text{V}$ 已知電動機之感應電勢(單位為伏特)大小是場電流(單位為安培)大小的 179.2 倍，假設電刷壓降為 $1\ \text{V}$ ，則電源電流應為何？

(A)70 A (B)85 A (C)100 A (D)115 A。

$$\text{解 } I_f = \frac{V}{R_f} = \frac{200\text{V}}{200\Omega} = 1\text{A}, E = 179.2 \times I_f = 179.2\text{V}$$

$$I_a = \frac{V - E - V_b}{R_a} = \frac{200 - 179.2 - 1}{0.2} = 99\text{A}, I_L = I_a + I_f = 99 + 1 = 100\text{A}$$

- 11-3 (B) 3. 有一直流分激電動機，產生 $50\ \text{N}\cdot\text{m}$ 之轉矩，若將其場磁通減少至原來的 50% ，且電樞電流由原來的 $50\ \text{A}$ 提高至 $100\ \text{A}$ ，則其產生的新轉矩為多少？

(A)25 N-m (B)50 N-m (C)75 N-m (D)100 N-m。

$$\text{解 } T = \frac{PZ}{2\pi a} \phi I_a = K \phi I_a, \text{磁通密度減小為 } 0.5 \text{ 倍，電流增大為原來的 } 2 \text{ 倍}$$

則轉矩 $T = 0.5 \times 2 = 1$ 倍(不變)。

- (D) 4. 某 $200\ \text{V}$ 直流分激電動機，電樞電阻為 $0.1\ \Omega$ ，當電樞電流為 $80\ \text{A}$ 時，轉速為 $1500\ \text{rpm}$ ，若不考慮電樞反應，在電樞電流為 $30\ \text{A}$ 時，轉速約為多少？

(A)1464 rpm (B)1502 rpm (C)1521 rpm (D)1539 rpm。

$$\text{解 } E_{c1} = 200 - 80 \times 0.1 = 192\text{V}, E_{c2} = 200 - 30 \times 0.1 = 197\text{V},$$

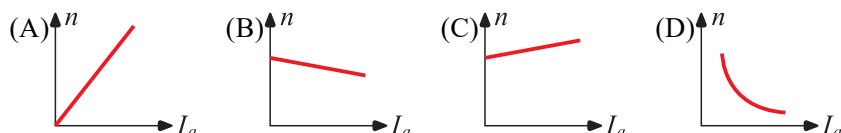
$$\frac{E_{c1}}{E_{c2}} = \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow \frac{192}{197} = \frac{1500}{n_2} \Rightarrow n_2 = 1539\text{rpm}$$

- (B) 5. 某分激式直流電動機之無載轉速 $1300\ \text{rpm}$ ，已知其速率調整率為 5% ，則滿載轉速約為多少？ (A)1220 rpm (B)1238 rpm (C)1254 rpm (D)1267 rpm。

$$\text{解 } S.R. \Rightarrow 0.05 = \frac{1300 - n_f}{n_f} \Rightarrow n_f = 1238\text{rpm}$$

- (D) 6. 直流分激電動機若沒有保護設備，當運轉中，磁場繞組突然發生斷路，將發生
(A)電動機停轉，有大電流 (B)磁通量降到零，電動機停轉 (C)轉速變得很快
(D)重載時，電動機停轉，有大電流；輕載時，電動機轉速變得很快，會損壞。

- (B) 7. 下列何者是直流分激電動機之轉速(n)與電樞電流(I_a)的特性曲線？

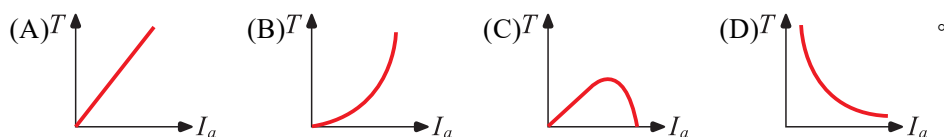


- (C) 8. 直流串激式電動機在運轉時，若鐵心已經飽和，且 K_T 為常數，則此電動機之電磁轉矩 T_e 與電樞電流 I_a 的關係，下列何者正確？

(A) $T_e = \frac{K_T}{I_a^2}$ (B) $T_e = \frac{K_T}{I_a}$ (C) $T_e = K_T I_a$ (D) $T_e = K_T I_a^2$ 。

解 串激式運轉時，若鐵心已經飽和，轉矩與電流成正比 $T_e = K_T I_a$ 。

- (B) 9. 直流串激式電動機的輸出轉矩 T 與電樞電流 I_a 的關係，可表示為何？



- (A) 10. 直流串激式電動機，若外加電壓不變，當負載變大時，下列關於轉速與轉矩變化的敘述，何者正確？

- (A) 轉速變小，轉矩變大 (B) 轉速與轉矩都變大
(C) 轉速變大，轉矩變小 (D) 轉速與轉矩都變小。

解 串激電動機：低速時轉矩，高速低轉矩，屬於定馬力電動機。

- (A) 11. 一串激式直流電動機運轉時，輸入額定電樞電流為 50 A，產生轉矩為 200 N·m，且無載磁化曲線為直線關係。若將電樞電流降低至 25 A，產生的轉矩應該為何？
(A) 50 N·m (B) 100 N·m (C) 200 N·m (D) 400 N·m。

解 串激電動機 $T \propto I_a^2 \Rightarrow T' = 200 \times \left(\frac{25\text{A}}{50\text{A}}\right)^2 = 50\text{N}\cdot\text{m}$

- (B) 12. 某一長分路複激直流電動機，其端電壓 200 V，線路電流 10 A，電樞繞組的電阻 0.3 Ω ，串激繞組的電阻 0.2 Ω ，分激場電阻 100 Ω ，試求該電動機之反電勢為多少？
(A) 195 V (B) 196 V (C) 198 V (D) 204 V。

解 $I_f = \frac{V}{R_f} = \frac{200\text{V}}{100\Omega} = 2\text{A}$ ， $I_a = I_L - I_f = 10 - 2 = 8\text{A}$

$$E = V - I_a(R_a + R_s) = 200 - 8(0.3 + 0.2) = 196\text{V}$$

- (D) 13. 當額定容量與電壓相同時，下列直流電動機中，何者起動轉矩最大？

- (A) 差複激式 (B) 串激式 (C) 分激式 (D) 外(他)激式。

解 直流電動機的起動電阻與電樞繞組串聯，以降低起動時因反電勢為 0 導致電樞電流過大的現象

- (B) 14. 下列直流電動機中，哪一種的轉矩有可能變為零或者負的時候？

- (A) 串激式 (B) 積複激式 (C) 差複激式 (D) 分激式。

- (C) 15. 欲打一杯均勻細緻(需高速攪拌)的木瓜牛奶，下列何種直流電動機較恰當？
(A)直流分激電動機 (B)直流他激電動機 (C)直流串激電動機 (D)直流積複激電動機。

- (C) 16. 下列敘述何者為正確？
(A)分激電動機轉矩特性為一雙曲線 (B)串激電動機用於恆速運轉
(C)積複激式電動機為定速電動機 (D)差複激電動機之轉矩特性為先增後減。

解 需極高轉速者應採用直流串激電動機

- 11-4 (D) 17. 直流分激式電動機起動時，加起動電阻器的目的為何？

- (A)增加起動轉矩 (B)降低磁場電流
(C)增加電樞轉速 (D)降低電樞電流。

- (B) 18. 將直流分激電動機之磁場電阻調小，則其轉速
(A)增快 (B)減慢 (C)固定 (D)磁場電流與轉速無關。

- (B) 19. 有關分激式(並激式)直流電動機之速率控制方法，下列何者正確？

- (A)增大電樞串聯電阻，可使轉速升高
(B)減低磁場的磁通量，可使轉速升高
(C)減低磁場的磁通量，可降低轉速
(D)增大電樞電壓，可降低轉速。

解 分激電動機之速率 $n = \frac{V - I_a R_a}{K\phi}$ ，倘若增大電樞串聯電阻 R_a ，可使轉速降低；

減低場磁通 ϕ ，可使轉速升高；增大電樞電壓 V ，可使轉速升高

- (C) 20. 有一直流串激電動機，供給電壓為 525 V，電樞電流 50 A，轉速每分 1500 轉，現供給電壓減少為 400 V，(假設電樞線圈及激磁線圈的總電阻是 0.5 Ω)對同一電流而言，轉速為 (A)1315 rpm (B)1215 rpm (C)1125 rpm (D)1075 rpm。

解 $E_{c1} = V_L - I_a(R_a + R_s) = 525 - 50 \times 0.5 = 500V$

$$E_{c2} = V_{L2} - I_a(R_a + R_s) = 400 - 50 \times 0.5 = 375V$$

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{E_{c2}}{E_{c1}} \Rightarrow \frac{n_2}{1500} = \frac{375V}{500V} \Rightarrow n_2 = 1125\text{rpm}$$

二、問答題

1. 有一部直流他激式電動機，電源電壓 220 V，電樞繞組電阻 0.2 Ω ，電樞電流 20 A 時，測得轉速 1510 rpm，如其負載轉矩變成 2 倍，則(1)電樞電流、(2)反電勢、(3)轉速分別為多少？

解 (1) 他激式電動轉矩與電流成正比，轉矩變為 2 倍，電樞電流要變為原來 2 倍，
即 $I_a' = 2 \times I_a = 2 \times 20 = 40\text{A}$

(2) $I_a' = 40\text{A}$ ：反電勢 $E_{c2} = V_L - I_a' R_a = 220 - 40 \times 0.2 = 212\text{V}$

(3) $I_a = 20\text{A}$ ：反電勢 $E_{c1} = V_L - I_a R_a = 220 - 20 \times 0.2 = 216\text{V}$

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{E_{c2}}{E_{c1}} \Rightarrow \frac{n_2}{1510} = \frac{212}{216} \Rightarrow n_2 = 1482\text{rpm}$$

2. 有一部 120 V 直流分激電動機，電樞電阻為 0.2 Ω，電刷壓降為 2 V，額定電樞電流為 75 A，磁場繞組忽略不計，則該機(1)起動時電樞電流？(2)起動時電樞電流為額定電流的幾倍？(3)欲限制起動電流為額定電流之 150%，應串聯起動電阻值為何？(4)欲使起動轉矩為額定轉矩之 2 倍，應串聯起動電阻值為何？

解 (1) 起動瞬間轉速 $n = 0$ ，反電勢 $E_c = 0$ ，可得起動瞬間電樞電流

$$I_{a(st)} = \frac{V - E - V_b}{R_a} = \frac{120\text{V} - 0 - 2}{0.2\Omega} = 590\text{A}$$

(2) $\frac{I_{a(st)}}{I_L} = \frac{590\text{A}}{75\text{A}} = 7.87\text{倍}$

(3) $I_{a(st)}' = 1.5 \times 75\text{A} = 112.5\text{A}$ ， $112.5 = \frac{120\text{V} - 0 - 2}{0.2 + R_{st}} \Rightarrow R_{st} = 0.849\Omega$

(4) 分激電動機 $T = K\phi I_a$ ：起動轉矩為額定轉矩 2 倍，表示起動電流為額定電流 2 倍，即 $I_{a(st)}'' = 2 \times 75\text{A} = 150\text{A}$ ， $150 = \frac{120\text{V} - 0 - 2}{0.2 + R_{st}'} \Rightarrow R_{st}' = 0.587\Omega$

3. 有一部 200 V 直流串激電動機，電樞電阻為 0.2 Ω，串激場電阻為 0.3 Ω，省略電刷壓降。已知電樞電流為 80 A 時，轉速為 640 rpm，則(1)反電勢為？(2)轉矩不變下，欲將轉速降為 400 rpm，則場電阻應改變為多少？

解 (1) 640rpm 時：反電勢 $E_{c1} = V_L - I_a(R_a + R_s) = 200 - 80(0.2 + 0.3) = 160\text{V}$

(2) $\frac{n_2}{n_1} = \frac{E_{c2}}{E_{c1}}$ ，故 400rpm 時反電勢： $E_{c2} = E_{c1} \times \frac{n_2}{n_1} = 160 \times \frac{400}{640} = 100\text{V}$

$$E_{c2} = V_L - I_a(R_a + R_s') \Rightarrow 100 = 200 - 80(0.2 + R_s')$$

$$R_s' = \frac{200 - 100}{80} - 0.2 = 1.05\Omega$$

鍛鍊本解答－嚴選精華

• 特性及電路計算

- 11-1 1. 直流電動機外加直流電壓 V 後，電流在電樞導體內流動與磁場作用，使得電樞開始旋轉。

旋轉過程中 電樞導體 本身會產生感應電勢，由於應電勢方向與外加電壓方向 相反，因此稱為反電勢，以 E_c 代表。

2. 直流電動機反電勢形成的原因與直流發電機 相同，其值為：
$$E_c = \frac{PZ}{60a} n \phi = K n \phi$$
。

11-2 3. 直流電動機反電勢的大小為： $E_c = V - I_a R_a$ 。

4. 直流電動機反電勢所造成的作用包括：(1)限制 電樞電流、(2)產生 機械功率。

5. 直流電動機之輸入功率扣除電樞繞組銅損後，可得電樞電路的 內生 功率或 電磁 功率(P_m)，其值為： $P_m = E_c \times I_a$ 。

6. 直流電動機轉速與反電勢的關係為： $n = \frac{E_c}{K \phi} = \frac{V - I_a R_a}{K \phi}$ 。式中可知電動機之轉速 n 與反電勢(E_c)成 正比，與每極之磁通量(ϕ)成 反比。

11-3 7. 電動機轉速因為外部負載輕重而變化的情形，以速率調整率(S.R.%)來表示，即速率調整率(S.R.%) =
$$\frac{\text{無載轉速} n_0 - \text{滿載轉速} n_f}{\text{滿載轉速} n_f} \times 100\%$$
。

8. 對於電動機而言，最重要的特性曲線有：

(1) 轉速特性：電樞電流(I_a) 與轉速(n)的關係。

(2) 轉矩特性：電樞電流(I_a) 與轉矩(T)的關係。

9. 串激式電動機的特性：

(1) 轉速特性：無載時轉速 極高，非常危險；輕載時磁通尚未飽和，轉速隨負載增加而 快速下降，特性曲線為 雙曲線。重載時磁通飽和，轉速隨負載增加而 降低，特性曲線變為 直線。

(2) 轉矩特性：無載時轉矩 很小；輕載時磁通尚未飽和，轉矩與電樞電流成 平方正比，特性曲線為一條 拋物線。重載時磁通飽和，轉矩與電樞電流成 正比，特性曲線變為 直線。

10. 串激電動機具有低速時 高轉矩、高速時 低轉矩 的特性，因此稱為 定馬力 電動機。由於速率調整率 很高，因此也稱為 變速 電動機。

11. 串激 電動機可以交、直流兩用。常用需要 大 起動轉矩的或是 高速 轉動的電器用品中。是目前應用最為廣泛的直流電動機。

12. 積複激電動機特性：

(1) 轉速特性：無載時轉速很 穩定；負載增加，轉速會 迅速降低，下降幅度介於 分激 電動機與 串激 電動機之間。

- (2) 轉矩特性：無載時轉矩 很低；負載增加，轉矩隨著負載增加而 快速上升，上升幅度介於 分激 電動機與 串激 電動機之間。

13. 差複激電動機特性：

- (1) 轉速特性：無載時轉速很 穩定；負載增加，轉速 反而上升，是唯一速率調整率為 負值 的電動機。
- (2) 轉矩特性：無載時轉矩 很低；負載增加，轉矩呈現 先升後降 的曲線，並且會 反轉，非常不穩定。

• 控制及運用

- 11-4** 14. 電動機會進行四種基本控制：(1) 起動 控制、(2) 轉速 控制、(3) 轉向 控制、(4) 制動 控制。不同種類的電動機，控制的方式也會有所差異。

15. 對於電動機而言，最理想的起動特性是 起動電流 小、起動轉矩 大。

16. 直流電動機起動瞬間轉速 $n=0$ ，反電勢 $E_c=0$ ，因此起動瞬間電樞電流 $I_{a(st)} = \frac{V - E_c}{R_a} = \frac{V}{R_a}$ 非常大。隨著轉速上升，反電勢 增加，電流則會逐漸降低到穩定值。

17. 直流電動機無論採用無載起動或是滿載起動，起動瞬間的最大電流 $I_{a(st)}$ 都相同，差別在於滿載起動時需要足夠的 起動轉矩，且起動時間 長，大電流持續時間較久。

18. 電動機多採 無載 方式起動，等轉速穩定後才開始增加機械負載。至於串激電動機則要避免 無載 起動，以免轉速 過快 而造成危險。

19. 為了降低起動電流，直流電動機會在 電樞繞組 串聯一個起動電阻來限制起動時的 電樞電流，隨著轉速上升、反電勢建立後，就必須將電阻移去，以免損失太大，影響性能。

20. 為了降低起動電流，常用設備有手動起動器、自動起動器兩種。

21. 直流電動機的轉速 $n = \frac{V - I_a R_a}{K\phi}$ ，可以透過 電樞電壓 V 、電樞電阻 R_a 以及 磁通 ϕ 進行轉速控制。

22. 分激電動機在磁場繞組上 串聯 可變電阻 R_f ，控制方式為：

- (1) 起動時：場電阻器 R_f 調到 最小，激磁電流 I_f 最大，產生大量 磁通 ϕ ，使電動機有足夠的 起動轉矩。
- (2) 運轉時：將場電阻器 R_f 調高，激磁電流 I_f 下降，磁通 ϕ 減弱，使電動機轉速 n 上升。

23. 串激電動機在磁場繞組旁 並聯 一個可變電阻 R_x ，又稱 分流器，控制方式為：
- (1) 起動時：將分流器 R_x 調到 最大值，讓電流盡量通過 串激磁場 繞組，以產生大量 磁通 ϕ ，讓電動機有足夠的起動轉矩。
 - (2) 運轉時：將分流器 R_x 降低，電阻電流 I_R 增加，磁場電流 I_s 相對 降低，磁通 ϕ 減弱，使電動機轉速 n 上升。
24. 磁場控制法的優點：
- (1)費用低廉、效率高、(2)速率調整率 佳、(3)具有 定馬力 特性。
25. 磁場控制法的缺點：
- (1)只能將轉速控制在正常轉速之上、(2)轉速調整範圍約在額定轉速的 0.5~2 倍之間、(3)電樞反應會造成 換向困難、速率不穩定等現象。
26. 電樞控速法會以 分接頭 或在電樞繞組外部 串聯 一個可變電阻器 R_x ，其功能為：
- (1) 起動時：將電阻器 R_x 調到適當值，以限制起動瞬間電樞電流。
 - (2) 運轉時：將電阻器 R_x 調大，電阻器壓降 V_R 增加，電樞繞組端電壓 V_A 降低，轉速 $n = \frac{V_A - I_a R_a}{K\phi}$ 下降。
27. 電樞控制法的優點：(1)可兼做 起動 控制與 轉速 控制、(2)轉速可控制在正常轉速之下。
28. 電樞控制法的缺點：(1)輕載時速率控制效果差、(2)重載時損失 大、效率 低。
29. 電樞電壓控制法是 單獨改變 電樞兩端的電壓，又稱為 定轉矩 控制。主要方式包括：(1)華德-黎翁納德法、(2)升壓機。
30. 華德-黎翁納德控制法的優點在於速率控制範圍 寬廣。缺點是所需設備 多、效率 低。
31. 利用 半導體 所設計出的控制系統可獲得高效率及大範圍的轉速控制，也被稱為靜態華德-黎翁納德控速法。
32. 改變直流電動機的 電樞電流 方向或是 磁場電流 方向，電動機將會反轉。
33. 永磁式電動機由於 磁通方向 固定，若將電源極性反接，電樞電流 反向，旋轉方向隨之改變。
34. 電動機的制動控制常用方式有 機械制動 及 電氣制動 兩大類。
35. 電動機的電氣制動又分為：(1) 動力制動、(2) 逆轉制動、(3) 再生制動。
36. 電動機之負載具有下滑特性者，可能因為負載重力導致速度增加，造成反電勢 超過 外

加電壓。此時電動機產生發電機作用，除了將動能變成電能送還電源外；也會得到制動轉矩，使得轉速降低。但是一旦下滑狀況結束後，發電機作用消失，此法只能使電動機減速無法使其停止。

鍛鍊本解答－大顯身手

課內題

詳解請參考自我評量解答 P11-5～11-9

課外題

一、精選題

- (A) 1. 額定電壓為 200V 的分激式直流電動機，電樞電阻為 0.3Ω ，場電阻為 100Ω ，當該電動機以額定電壓供電，電動機之反電動勢大小是場電流大小的 85 倍。假設電刷壓降忽略不計，則電源電流為多少？

(A)102A (B)92A (C)82A (D)72A。

$$\text{解 } I_f = \frac{V}{R_f} = \frac{200V}{100\Omega} = 2A, E = 85 \times I_f = 85 \times 2 = 170V, \text{ 且 } E = V - I_a R_a - V_b$$

$$\text{故 } I_a = \frac{V - E - V_b}{R_a} = \frac{200 - 170 - 0}{0.3} = 100A, I_L = I_a + I_f = 100 + 2 = 102A$$

- (C) 2. 某 10hp、220V 直流分激電動機，電樞電阻為 0.5Ω ，場繞組電阻為 110Ω ，滿載時轉速為 1750 rpm，線電流為 40A，其內部機械功率約為多少？

(A)0.56Ω (B)0.75Ω (C)0.93Ω (D)1.12Ω。

【訂正】選項錯誤，應修改為(A)8800W (B)8040W (C)7638W (D)7460W。

$$\text{解 } I_f = \frac{V}{R_f} = \frac{220V}{110\Omega} = 2A, I_a = I_L - I_f = 40 - 2 = 38A,$$

$$\text{且 } E = V - I_a R_a = 220 - 38 \times 0.5 = 201V$$

$$\text{內部機械功率 } P_m = E \times I_a = 201 \times 38 = 7638W$$

- (C) 3. 有一部 100V 直流分激電動機，其電樞電阻為 0.05Ω ，額定電樞電流為 50A，電刷壓降假設為 2V，若要起動時限制起動電流為額定電樞電流的 2 倍，則起動器應有電阻值為多少？ (A)0.56Ω (B)0.75Ω (C)0.93Ω (D)1.12Ω。

$$\text{解 } I_s = \frac{V - E - V_b}{R_a + R_{st}} \Rightarrow 2 \times 50 = \frac{100 - 0 - 2}{0.05 + R_{st}} \Rightarrow R_{st} = 0.93\Omega$$

二、情境題

- (B) 4. 上課時有五位同學分別對直流電動機的特性提出自己的看法，請問有幾位同學的觀念是正確的？

小楊：分激電動機轉矩特性為一雙曲線

小明：串激電動機用於恆速運轉

小陳：積複激式電動機為變速電動機

小仁：差複激電動機起動前，必須先將串激場繞組短路。

小張：他激式電動機為定速電動機

(A)一位 (B)二位 (C)三位 (D)五位。

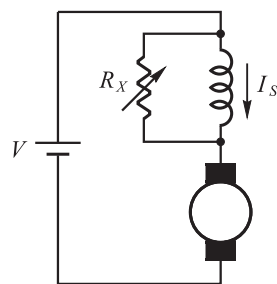
- (B) 5. 東方丈同學，在做直流串激式電動機轉速控制實驗時，將電樞繞組、串激場繞組、場控制電阻(R_x)以圖(1)的方式接線，當直流電動機正常運轉後，將電阻 R_x 增加時，其轉速變化為何？

(A)轉速加快

(B)轉速減慢

(C)轉速不變

(D)轉速降至零。



圖(1)

鍛鍊本解答－高手過招

- (B) 1. 一台 10kW、200V 之直流分激式電動機，電樞電阻為 0.2Ω ；若起動電樞電流為滿載電樞電流之 2 倍，電樞須串聯之外部起動電阻約為何？

(A) 1.3Ω (B) 1.8Ω (C) 2.3Ω (D) 2.8Ω 。

【107 統測】

解 $I = \frac{10k}{200} = 50A$, $I_s = 2 \times 50 = 100A$

$$100 = \frac{200}{0.2 + R_x} , R_x = 1.8\Omega$$

- (C) 2. 下列有關直流電動機轉速控制的敘述，何者正確？

(A)電樞電阻控制法在低速下效率較佳

(B)磁場控制法常用於額定轉速以下的轉速控制

(C)電樞電壓控制法效率較電樞電阻控制法佳

(D)他激式直流電動機最適合採用電樞電阻控制法。

【107 統測】

- (B) 3. 一他激式直流電動機，在場磁通及負載轉矩維持額定下運轉，若將外加電壓降為額定值之一半，不計電樞電阻壓降，則轉速為額定值之幾倍？

(A)0.25 倍 (B)0.5 倍 (C)2 倍 (D)4 倍。 【107 統測】

解 $N = K' \frac{E_b}{\phi}$ ，因電樞電阻不計 $E = E_b$ ，且場磁通不變， $N \propto E = \frac{1}{2}$ 倍

- (B) 4. 一部 120V 分激式直流電動機，電樞電阻為 0.2Ω ，額定電樞電流和轉速分別為 25A 和 1200rpm，若要維持輸出馬力不變，利用磁場控速法將轉速提升為 1500rpm，則磁通需如何調變？ 【106 統測】

(A)約增加 10% (B)約減少 20% (C)約增加 18% (D)約減少 10%。

解 $N = K' \frac{E_b}{\phi}$ ，磁場控速法， E_b 為定值 $\therefore N \propto \frac{1}{\phi}$

$$\frac{1200}{1500} = \frac{\phi_1}{1} \text{，} \phi_1 = 0.8 \text{，所以約減少 20\%}$$

- (C) 5. 一部 150V 之串激式直流電動機，電樞電阻和串激場電阻分別為 0.2Ω 和 0.1Ω ，滿載電樞電流和轉速分別為 50A 和 1000rpm，若要維持輸出轉矩不變，利用電樞電阻控速法將轉速控制為滿載轉速之 0.8 倍，則應如何調控？

- (A)串聯 0.25Ω 的電阻於電樞繞組迴路
(B)串聯 0.38Ω 的電阻於電樞繞組迴路
(C)串聯 0.54Ω 的電阻於電樞繞組迴路
(D)串聯 0.75Ω 的電阻於電樞繞組迴路。

【106 統測】

解 $E_b = 150 - 50 \times (0.2 + 0.1) = 135V$

$$N = K' \frac{E_b}{\phi} \text{，要維持輸出轉矩不變，所以 } \phi \text{ 為定值，} N \propto E_b$$

$$E_{b1} = 0.8 \times 135 = 108V \text{，} 108 = 150 - 50 \times (0.2 + 0.1 + R_x) \text{，} R_x = 0.54\Omega$$

- (C) 6. 他激式直流發電機的電樞電阻為 0.05Ω ，當滿載時負載端電壓為 100V 及負載功率為 10kW，若轉速及激磁維持固定，電刷壓降不計，則滿載時的電壓調整率為何？ (A)10% (B)8% (C)5% (D)3%。 【105 統測】

解 $I = \frac{P}{V} = \frac{10k}{100} = 100A \text{，} E = V + I_a R_a = 100 + 100 \times 0.05 = 105V$

$$\varepsilon\% = \frac{E - V}{V} \times 100\% = \frac{105 - 100}{100} \times 100\% = 5\%$$

- (D) 7. 分激式直流電動機滿載電樞電流為 100A，電樞電阻為 0.4Ω ，額定電壓為 200V。電動機在額定電壓起動，若採用起動電阻以限制起動電樞電流為 200A，則需外加的起動電阻為何？ (A) 2.0Ω (B) 1.6Ω (C) 1.0Ω (D) 0.6Ω 。 【105 統測】

$$\text{解 } I_s = \frac{V}{R_a + R_x}, 200 = \frac{200}{0.4 + R_x}, R_x = 0.6\Omega$$

- (B) 8. 有一部 20HP、200V 的直流串激式電動機，電樞電阻 $R_a = 0.1\Omega$ ，串激場電阻 $R_s = 0.4\Omega$ ，當線路電流為 30A 時，轉速為 1000rpm，假設鐵心未飽和且電樞反應不計。若以 0.4Ω 之電阻與串激場並聯，此時線路電流為 50A，則電動機之轉速約為多少？

- (A)1150rpm (B)1200rpm (C)1250rpm (D)1300rpm。 【104 統測】

$$\text{解 } N = K' \frac{E_b}{\phi}$$

$$E_{b1} = 200 - 30 \times (0.1 + 0.4) = 185V, E_{b2} = 200 - 50 \times \left(0.1 + \frac{0.4 \times 0.4}{0.4 + 0.4} \right) = 185V$$

$$E_b \text{ 相同 } \therefore N \propto \frac{1}{\phi}, \phi \propto I_s$$

$$I_{s1} = 30A, I_{s2} = 50 \times \frac{0.4}{0.4 + 0.4} = 25A$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_{s2}}{I_{s1}}, \frac{1000}{N_2} = \frac{25}{30}, N_2 = 1200\text{rpm}$$

- (C) 9. 有一部 120V 直流分(並)激式電動機，滿載轉速為 1200rpm，電樞電阻 $R_a = 0.1\Omega$ ，分激場電阻 $R_f = 120\Omega$ ，滿載線路電流 $I_l = 20A$ ，電刷壓降 $V_b = 2V$ ，假設鐵心未飽和且電樞反應不計，則半載時之轉速約為多少？

- (A)1188rpm (B)1198rpm (C)1210rpm (D)1218rpm。 【104 統測】

$$\text{解 } N = K' \frac{E_b}{\phi}, \phi \text{ 爲定值}$$

$$I_f = \frac{120}{120} = 1A, I_{a1} = I_l - I_f = 20 - 1 = 19A$$

$$E_{b1} = 120 - 19 \times 0.1 - 2 = 116.1V$$

$$\text{半載運轉，負載電流減半，} I_l = 10A, I_{a2} = 10 - 1 = 9A$$

$$E_{b2} = 120 - 9 \times 0.1 - 2 = 117.1V$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{E_{b1}}{E_{b2}}, \frac{1200}{N_2} = \frac{116.1}{117.1}, N_2 = 1210.33\text{rpm}$$