



CH12 直流電動機之耗損及效率

12-1 直流電動機之耗損

隨堂練習解答

課本 P254

- (B) 1. 直流電動機的負載量由輕載增到滿載，下列哪一種銅損的大小不變？
 (A)電樞繞組銅損 (B)分激場繞組銅損
 (C)串激場繞組銅損 (D)電刷接觸電阻損失。
- (C) 2. 直流機運用於 1000 rpm，渦流損 300 W，磁滯損 100 W，現速率為 2000 rpm 且磁通維持不變，則渦流損與磁滯損將變為
 (A) 600 W、200 W (B) 600 W、400 W
 (C) 1200 W、200 W (D) 1200 W、400 W。

解 渦流損與頻率(轉速)成平方正比 $P_e' = \left(\frac{2000}{1000}\right)^2 \times 300 = 1200\text{W}$

磁滯損與頻率(轉速)成正比 $P_h' = \left(\frac{2000}{1000}\right) \times 100 = 200\text{W}$

12-2 效率

隨堂練習解答

課本 P255

- (B) 1. 若直流電動機之輸出功率 P_o 、輸入功率 P_i 及總損失功率 P_l ，則其公定效率 η 的計算，下列何者正確？
 (A) $\eta = \frac{P_o}{P_o - P_l}$ (B) $\eta = \frac{P_i - P_l}{P_i}$ (C) $\eta = \frac{P_i - P_l}{P_o - P_l}$ (D) $\eta = \frac{P_i + P_l}{P_o + P_l}$ 。

解 電動機公定效率 $\eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{P_i - P_l}{P_i}$

- (C) 2. 有一部 2.2 kW、110 V 的直流分激電動機，滿載效率為 80 %，則其滿載電流約為 (A) 16 A (B) 21 A (C) 25 A (D) 29 A

$$\text{解 } \eta = \frac{P_o}{P_{in}} \Rightarrow 0.8 = \frac{2200\text{W}}{110\text{V} \times I_L} \Rightarrow I_L = 25\text{A}$$

- (D) 3. 以電動機而言，下列何者功率值最大？
(A)機械功率 (B)損失功率 (C)電磁功率 (D)電功率。

自我評量解答

課本 P259

一、選擇題

- 12-1** (C) 1. 電工機械的銅損與負載電流的大小關係是
(A)與負載電流成正比 (B)與負載電流成反比
(C)與負載電流成平方正比 (D)與負載電流無關。
- (B) 2. 直流電機的鐵心損失是指
(A)渦流損失及機械損失 (B)渦流損失及磁滯損失
(C)磁滯損失及機械損失 (D)軸承及電刷摩擦損失。
- (A) 3. 爲了減低磁滯損，直流電機會採用何種措施？
(A)採用高導磁係數鐵心 (B)鐵心採用薄矽鋼片疊製而成 (C)增快轉速 (D)提高電壓。
- (D) 4. 一直流電動機在轉速 1000 rpm 時之鐵損爲 1000 W，在 500 rpm 時之鐵損爲 400 W，在磁通密度保持不變時，則下列敘述何者錯誤？
(A)磁滯損與轉速成正比 (B)渦流損與轉速平方成正比
(C)在 500 rpm 時之渦流損爲 100 W (D)在 1000 rpm 時之磁滯損爲 400 W。
解 磁滯損失 $P_h \propto n$ 渦流損 $P_e \propto n^2$
500rpm 時 $P_e + P_h = 400\text{W}$ ，1000rpm 時轉速變大 2 倍，則 $4P_e + 2P_h = 1000\text{W}$
可得 500rpm 時 $P_e = 100\text{W}$ ， $P_h = 300\text{W}$ ，1000rpm 時 $P_e = 400\text{W}$ ， $P_h = 600\text{W}$
- (B) 5. 有 A、B 兩矽鋼片，若 A 厚度僅爲 B 的 3/4，則 A 渦流損爲 B 的
(A)3/4 倍 (B)9/16 倍 (C)4/3 倍 (D)16/9 倍。
解 渦流損 $P_e = K_e B_m^2 f^2 t^2 G \Rightarrow P_e \propto t^2$ ；厚度爲 $\frac{3}{4}$ ，渦流損爲 $\left(\frac{3}{4}\right)^2 = \frac{9}{16}$
- (A) 6. 隨負載變化而變化的損失，稱爲
(A)可變損 (B)旋轉損 (C)固定損 (D)機械損。

(C) 7. 鐵心損失，可視同 (A)可變損 (B)旋轉損 (C)固定損 (D)機械損。

(A) 8. 電動機在滿載時的損失，比輕載時 (A)少 (B)多 (C)相等 (D)不一定。

12-2 (B) 9. 直流電動機之額定容量，一般是指在無不良影響條件下之

(A)輸入功率 (B)輸出功率 (C)熱功率 (D)損耗功率。

(A) 10. 電動機在滿載時的效率，比輕載時 (A)高 (B)低 (C)相等 (D)不一定。

(B) 11. 容量越大的電動機，其效率通常越 (A)低 (B)高 (C)相等 (D)不一定。

(C) 12. 動力計可用以測量電動機的

(A)輸入電功率與轉矩 (B)輸出電功率與電磁功率

(C)機械功率與轉矩 (D)溫升。

(D) 13. 200 V、20 hp 直流分激電動機之效率為 82 %，滿載電流為

(A)61.1 A (B)74.6 A (C)82 A (D)91 A。

$$\text{解 } \eta = \frac{P_o}{P_{in}} \Rightarrow 0.82 = \frac{20 \times 746}{200V \times I_L} \Rightarrow I_L = 91A$$

(C) 14. 某分激電動機，自 220 V 電源取用 60 A 電流，若其效率為 80 %，則其總損失為

(A)600 W (B)1600 W (C)2640 W (D)10560 W。

$$\text{解 } P_{in} = 220 \times 60 = 13200W$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_{in}} \Rightarrow 0.8 = \frac{P_o}{13200W} \Rightarrow P_o = 10560W$$

$$P_{loss} = 13200 - 10560 = 2640W$$

(B) 15. 某直流電動機，自 120 V 電源取用 11 A 電流，若其效率為 85 %，則其輸出馬力數約為 (A)1 hp (B)1.5 hp (C)2 hp (D)2.5 hp。

$$\text{解 } P_{in} = 120 \times 11 = 1320W$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_{in}} \Rightarrow 0.85 = \frac{P_o}{1320} \Rightarrow P_o = 1122W = \frac{1122}{746} \text{ hp} = 1.5\text{hp}$$

二、問答題

1. 說明耗損對直流電動機的影響。

解 (1) 損失造成溫度上升、絕緣劣化：

電動機運轉過程中會產生不同型態的損耗，而這些損耗都全都轉變成熟能，導致運轉時溫度上升，除了可能造成線圈燒毀外，絕緣材料的電阻值隨著溫度上升而降低，也可能會引發漏電或燒毀

- (2) 損失造成效率降低、電費增加：

電動機的設計目的是將電能轉變成機械能，在負載不變下所需要的機械能相同。倘若採用較佳的材料或是設計來降低電動機的損失，則電動機所需的電能愈低，負擔的電費愈低，效率愈高

2. 有一部 4 hp、200 V、額定電流為 17 A 的直流電動機，試求此機滿載時：

(1)輸入功率、(2)輸出功率、(3)損失、(4)效率分別為多少？

解 (1) $P_{in} = 200V \times 17A = 3400W$

(2) $P_o = 4 \times 746 = 2984W$

(3) $P_{loss} = P_{in} - P_o = 3400 - 2984 = 416W$

(4) $\eta = \frac{P_o}{P_{in}} = \frac{2984}{3400} \times 100\% = 87.8\%$

3. 有一台 200 V 直流長並聯積複激電動機，滿載時測得輸入電流 30 A，已知串激場電阻 0.2 Ω ，電樞電阻 0.3 Ω ，分激場電阻 50 Ω ，鐵損為 62 W，其餘損失忽略不計，試求此機滿載時：(1)輸入功率、(2)分激磁場電流、(3)電樞電流、(4)反電勢、(5)總銅損、(6)總耗損、(7)輸出功率、(8)輸出馬力數、(9)效率分別為多少？

解 (1) $P_{in} = 200V \times 30A = 6000W$

(2) $I_f = \frac{V_L}{R_f} = \frac{200V}{50\Omega} = 4A$

(3) 電樞電流： $I_a = I_L - I_f = 30 - 4 = 26A$

(4) 反電勢： $E_c = V_L - I_a(R_s + R_a) = 200 - 26(0.2 + 0.3) = 187V$

(5) 分激場繞組銅損： $P_{cf} = I_f^2 R_f = 4^2 \times 50 = 800W$

串激場繞組銅損： $P_{cs} = I_a^2 R_s = 26^2 \times 0.2 = 135.2W$

電樞繞組銅損： $P_{ca} = I_a^2 R_a = 26^2 \times 0.3 = 202.8W$

合計總銅損： $P_c = 800 + 135.2 + 202.8 = 1138W$

(6) 耗損合計： $P_{loss} = P_c + P_i = 1138 + 62 = 1200W$

(7) 輸出功率： $P_o = P_{in} - P_{loss} = 6000 - 1200 = 4800W$

(8) $P_o = \frac{4800}{746} \text{hp} = 6.43\text{hp}$

(9) $\eta = \frac{P_o}{P_{in}} = \frac{4800}{6000} = 0.8 = 80\%$

4. 有一台 250V、5kW 直流分激電動機，滿載效率為 80%，激磁電流為 1 A，電樞電阻為 0.5 Ω，轉速 1200 rpm，忽略電刷及機械損，求電動機滿載時：(1)輸入功率、(2)輸入電流、(3)電樞電流、(4)反電勢、(5)總耗損、(6)總銅損、(7)鐵損、(8)輸出轉矩分別為多少？

解 (1) $\eta = \frac{P_o}{P_{in}} \Rightarrow P_{in} = \frac{P_o}{\eta} = \frac{5000W}{0.8} = 6250W$

(2) $P_{in} = V \times I_L \Rightarrow I_L = \frac{6250W}{250V} = 25A$

(3) 電樞電流： $I_a = I_L - I_f = 25 - 1 = 24A$

(4) 反電勢： $E_c = V_L - I_a R_a = 250 - 24 \times 0.5 = 238V$

(5) 耗損合計： $P_{loss} = P_{in} - P_o = 6250 - 5000 = 1250W$

(6) 分激場繞組銅損： $P_{cf} = V_f I_f = 250 \times 1 = 250W$
 電樞繞組銅損： $P_{ca} = I_a^2 R_a = 24^2 \times 0.5 = 288W$
 銅損合計： $250 + 288 = 538W$

(7) 鐵損： $P_i = P_{loss} - P_c = 1250 - 538 = 712W$

(8) 轉矩： $T = \frac{60P_o}{2\pi n} = \frac{60 \times 5000}{2\pi \times 1200} = 39.8 \text{nt-m}$

鍛鍊本解答－嚴選精華

- 12-1 1. 直流電動機與直流發電機構造相同，都是由：
- (1) 銅線組成的電路部分
 - (2) 鐵心組成的磁路部分
 - (3) 旋轉的機構所共同組合而成。
2. 受限於材料本身特性，在能量轉換過程中各個部分都會產生耗損，主要包含銅損與鐵損兩大類，另外還有機械損與少量的雜散負載損。
3. 銅損(P_c)又稱為電阻損，是指電流通過繞組時，由於繞組本身電阻所產生的發熱耗損，因此銅損與通過的電流平方成正比。
4. 分(外)激磁場繞組由於跟電源並聯，所通過的電流與負載大小無關，視為固定損外；其餘銅損會隨負載變動而改變，因此歸類成變動損失。
5. 鐵損(P_i)依據發生的原因分為磁滯損(P_h)與渦流損(P_e)二種，其中：
- (1) 磁滯損： $P_h = K_h \times B_m^x \times f \times G$ ，與磁滯迴線內所含面積成正比。
 在鐵心中加矽可以降低磁阻、使鐵心不易老化並可減少磁滯損失。

(2) 渦流損： $P_e = K_e \times B_m^2 \times f^2 \times t^2 \times G$ 。

將電機鐵心採用絕緣薄片疊置，可以有效降低渦流損。

6. 電動機運轉過程中會產生不同型態的損耗，這些損耗全都轉變成熱，導致溫度上升，絕緣電阻值降低，可能引發漏電或燒毀外，也會造成效率降低、電費增加。

12-2 7. 效率為輸出功率與輸入功率之比值，即效率 $\eta(\%) = \frac{P_o}{P_{in}} \times 100\%$ 。

8. 將電動機的輸入功率(P_{in})扣除損耗功率(P_{loss})後就可以得到輸出機械功率(P_o)，所得之結果稱為公定效率。即公定效率 = $\frac{P_{in} - P_{loss}}{P_{in}} \times 100\%$ 。

鍛鍊本解答－大顯身手

課內題

詳解請參考自我評量解答 P12-2~12-5

課外題

一、精選題

(A) 1. 某一台直流電動機，在其磁通密度保持不變的前提下，當轉速為 300 rpm 時，量測到的鐵損為 120W，而轉速為 900rpm 時，量測到的鐵損為 900W。求此機當轉速為 300rpm 時，磁滯損與渦流損分別為何？

- (A)磁滯損= 30W，渦流損= 90W (B)磁滯損= 90W，渦流損= 30W
(C)磁滯損= 60W，渦流損= 360W (D)磁滯損= 360W，渦流損= 60W。

解 磁滯損失 $P_h = K_h B_m^2 f G = K_h B_m^2 (\text{rpm}) G$ 與轉速成正比，
渦流損 $P_e = K_e B_m^2 f^2 t^2 G = K_e B_m^2 (\text{rpm})^2 t^2 G$ 與轉速平方成正比，
300rpm 時 $P_h + P_e = 120\text{W}$ ，900rpm 時， $3P_h + 9P_e = 900\text{W}$ ，
可得 300rpm 時 $P_h = 30\text{W}$ ， $P_e = 90\text{W}$

(B) 2. 有一部直流電動機滿載時，固定損失為 600W，可變損失為 600W，則在半載時，固定損失與可變損失合計為多少？

- (A)900W (B)750W (C)600W (D)300W。

解 固定損與負載無關維持 600W 不變，可變損失與負載成平方正比，負載減半，變動損變成 1/4 倍，等於 150W；合計為 750W

- (B) 3. 一額定 25kW 之分激式直流電動機，半載時的可變損失為 1kW，且已知滿載效率為 80%。請問滿載時，其固定損失約為多少？

(A)1kW (B)2.25kW (C)4kW (D)5.25kW。

$$\textcircled{\text{解}} \text{ 滿載效率} \Rightarrow 0.8 = \frac{P_o}{P_o + P_{\text{loss}}} \Rightarrow 0.8 = \frac{25000}{25000 + P_{\text{loss}}} \Rightarrow P_{\text{loss}} = 6250 \text{ W} ,$$

可變損失與負載平方成正比，因此滿載時可變損失為半載時的 4 倍變為 4kW，因此滿載時固定損失 = 6250 - 4000 = 2250W = 2.25kW

二、情境題

- (B) 4. 小陳在做直流電動機的效率實驗，發現直流電動機在滿載時之效率，較無載時之效率為 (A)低 (B)高 (C)相等 (D)不一定。

$\textcircled{\text{解}}$ 直流電動機無載時輸出功率為 0，因此效率為 0

- (A) 5. 上課時，有五位同學於直流電動機之最大效率發表自己的看法，請問有幾位同學的觀念是正確的？

小楊：最大效率之值等於 0

小明：最大效率發生在無載時

小陳：最大效率發生在鐵損等於銅損時

小仁：最大效率大於 100%

小華：最大效率等於滿載效率

(A)一位 (B)二位 (C)四位 (D)五位。

鍛鍊本解答－高手過招

- (B) 1. 某一直流電機在轉速 600rpm 時，其渦流損為 400W，假設將轉速升高且磁通量增加為原來的 1.1 倍，此時的渦流損若為 1936W，則此時直流電機的轉速為何？
(A)900rpm (B)1200rpm (C)1800rpm (D)2400rpm。 【108 統測】

$$\text{解 } \text{渦損} \propto (B_m)^2 \propto (n)^2, \quad \frac{400}{1936} = \frac{1}{(1.1)^2} \times \left(\frac{600}{n}\right)^2, \quad n = 1200\text{rpm}$$

- (C) 2. 一串激式直流電動機，額定電壓為 200V，電樞電阻為 0.35 Ω，場繞組電阻為 0.15 Ω；滿載時，總銅損為 200W，鐵損、機械損及雜散損共 300W，則滿載效率約為何？ (A)82.5% (B)85% (C)87.5% (D)90%。 【107 統測】

$$\text{解 } P_{cf} = I^2 \times (R_a + R_s), \quad 200 = 0.5I^2, \quad I = 20\text{A}$$

$$\eta\% = \frac{P_i - P_{\text{less}}}{P_i} \times 100\% = \frac{200 \times 20 - 200 - 300}{200 \times 20} \times 100\% = 87.5\%$$

- (B) 3. 分激式直流電動機的電源電壓為 200V 及電流為 20A，若電動機的總損失為 800W，則直流電動機的效率為何？
(A)0.9 (B)0.8 (C)0.75 (D)0.7。 【105 統測】

$$\text{解 } P_i = 200 \times 20 = 4000\text{W}, \quad \eta\% = \frac{P_i - P_{\text{less}}}{P_i} \times 100\% = \frac{4000 - 800}{4000} \times 100\% = 0.8$$

第 12 章 直流電動機之耗損及效率