



CH7 直流發電機之耗損及效率

7-2 直流發電機之耗損

隨堂練習解答

P160

- (B) 1. 直流發電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. 直流電機鐵心通常採用薄矽鋼片疊製而成，其主要目的為何？
(A)減低銅損 (B)減低磁滯損
(C)減低渦流損 (D)避免磁飽和。
- (B) 3. 有一部直流發電機滿載時，固定損失為 600 W，變動損失為 600 W，求半載時總耗損為多少瓦特？ (A) 1200 W (B) 750 W (C) 600 W (D) 300 W。

解 固定損失與負載無關，維持 600W 不變，負載減半，電流減半，

$$\text{變動損變 } P'_c = \left(\frac{1}{2}\right)^2 \times 600\text{W} = 150\text{W} \text{，總耗損為 } 600 + 150 = 750\text{W}$$

P161

- (C) 1. 直流電機的損失大多以何種能量形態表現？
(A)動能 (B)電能 (C)熱能 (D)光能。
- (A) 2. 溫度每升高 10°C ，絕緣電阻值將
(A)降低為原來的 $1/2$ 倍 (B)增大為原來的 1.5 倍
(C)增大為原來的 2 倍 (D)維持不變。

7-3 效率(efficiency)

隨堂練習解答

課本 P164

- (D) 1. 若直流發電機之輸出功率 P_o 、輸入功率 P_i 及總損失功率 P_l ，則其效率 η 的計算，下列何者正確？

$$(A) \eta = \frac{P_o}{P_o - P_l} \quad (B) \eta = \frac{P_o - P_l}{P_i} \quad (C) \eta = \frac{P_i - P_l}{P_o - P_l} \quad (D) \eta = \frac{P_i - P_l}{P_o + P_l}。$$

解 $\eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{P_o}{P_o + P_l} = \frac{P_i - P_l}{P_i} = \frac{P_i - P_l}{P_o + P_l}$

- (D) 2. 有一部直流發電機在滿載時，可變損失為 1200 W，固定損失為 300 W，則在半載時總損失約為多少？ (A) 1500 W (B) 900 W (C) 750 W (D) 600 W。

解 半載時可變損失變成 $1200 \times \left(\frac{1}{2}\right)^2 = 300\text{W}$ ，固定損失為 300W 不變，總損失為 600W

- (B) 3. 某 100 kW 直流發電機，固定損和滿載時的可變損失均為 6 kW，若此發電機於一天內滿載 4 小時，半載 12 小時，無載 8 小時，則此電機全日電能損失為多少？ (A) 144 kWh (B) 186 kWh (C) 240 kWh (D) 280 kWh。

解 全日固定損失 $P_i = 6\text{kW} \times 24\text{hr} = 144\text{kWh}$

$$\text{全日可變損失 } P_c = (6\text{kW} \times 1 \times 4\text{hr}) + \left(6\text{kW} \times \frac{1}{2} \times 12\text{hr}\right) = 42\text{kWh}$$

$$\text{合計總損失爲 } P_{\text{loss}} = 144 + 42 = 186\text{kWh}$$

自我評量解答

課本 P168

一、選擇題

- 7-2 (B) 1. 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。

- (B) 2. 爲了減低渦流損，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。

- (C) 3. 某直流電機於 500 rpm 時之渦流損失 P_e 為 30 W，磁滯損失 P_h 為 100 W，當磁通密度保持不變時，在 1000 rpm 時，渦流損失 P_e 及磁滯損失 P_h 分別為何？

- (A) $P_e = 30 \text{ W}$ ， $P_h = 100 \text{ W}$ (B) $P_e = 60 \text{ W}$ ， $P_h = 200 \text{ W}$
(C) $P_e = 120 \text{ W}$ ， $P_h = 200 \text{ W}$ (D) $P_e = 120 \text{ W}$ ， $P_h = 400 \text{ W}$ 。

解 $\because$ 渦流損 $P_e \propto n^2 \Rightarrow 30\text{W} \times 2^2 = 120\text{W}$ ，磁滯損失 $P_h \propto n \Rightarrow 100\text{W} \times 2 = 200\text{W}$

- (D) 4. 一直流電機在轉速 500 rpm 時之鐵損為 200 W，在 1000 rpm 時之鐵損為 500 W，在磁通密度保持不變時，則下列敘述何者正確？

- (A) 渦流損與轉速成正比
(B) 磁滯損與轉速平方成正比
(C) 在 1000 rpm 時之磁滯損為 100 W
(D) 在 500 rpm 時之渦流損為 50 W。

解 渦流損 $P_e \propto n^2$ ，磁滯損失 $P_h \propto n$ ，

500rpm 時 $P_e + P_h = 200\text{W}$ ，轉速變大 2 倍則 $4P_e + 2P_h = 500\text{W}$

可得 500rpm 時 $P_e = 50\text{W}$ ， $P_h = 150\text{W}$ ，1000rpm 時 $P_e = 200\text{W}$ ， $P_h = 300\text{W}$

- (C) 5. 負載變化時，大小不變的損失稱為

- (A) 可變損 (B) 雜散負載損 (C) 固定損 (D) 銅損。

- (B) 6. 電機內的銅損與負載大小

- (A) 成正比 (B) 平方成正比 (C) 成反比 (D) 平方成反比。

- (C) 7. 某直流電機在 30 °C 時的絕緣電阻為 400 MΩ，當運轉時溫度升高為 60 °C，則其絕緣電阻應為 (A) 200 MΩ (B) 100 MΩ (C) 50 MΩ (D) 25 MΩ。

解 溫度每上升 10 °C 絕緣電阻變成 1/2，本題溫度上升 30 °C，因此變成

$$400\text{M}\Omega \times \frac{1}{8} = 50\text{M}\Omega$$

- (D) 8. 電磁爐是利用哪一種能量而產生作用？

- (A) 機械損失 (B) 電樞銅損 (C) 場繞組銅損 (D) 鐵心損失。

- 7-3 (B) 9. 設直流電機的轉速固定不變，下列哪一種損失與負載大小無關？

- (A) 銅損 (B) 機械損
(C) 串激場繞組銅損 (D) 電刷接觸電阻損失。

- (C)10. 2000 W 的直流發電機，滿載時固定損失為 200 W。已知發電機半載效率為 80 %，則滿載時總損失為多少？ (A)800 W (B)600 W (C)400 W (D)250 W。

解 半載時輸出 $P_o = \frac{1}{2} \times 2000 \text{ W} = 1000 \text{ W}$ ，固定損 200 W

$$\text{半載效率 } \eta_{\frac{1}{2}} = 80\% = \frac{1000}{1000 + 200 + P_{cl}} \text{，可得半載時變動損 } P_{cl} = 50 \text{ W}$$

滿載時銅損為 $50 \text{ W} \times 2^2 = 200 \text{ W}$ ，滿載時總損失合計為 400 W

- (C)11. 同上題滿載效率為多少？ (A)90.1 % (B)86.6 % (C)83.3 % (D)80 %

解 滿載效率 $\eta = \frac{2000}{2000 + (200 + 200)} = 83.3\%$

- (C)12. 一 3 kW 之直流發電機，於滿載運轉時，總損失為 1000 W，則此時運轉效率為 (A)90 % (B)85 % (C)75 % (D)70 %。

解 $\eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{P_o}{P_o + P_{\text{loss}}} = \frac{3000}{3000 + 1000} = 0.75 = 75\%$

- (B)13. 有台額定滿載輸出 2 kW 之直流發電機，滿載時效率為 80 %，求該機於滿載時總損失為多少？ (A)400 W (B)500 W (C)1600 W (D)2500 W。

解 $\eta = \frac{P_o}{P_o + P_{\text{loss}}} \Rightarrow 0.8 = \frac{2000}{2000 + P_{\text{loss}}} \Rightarrow P_{\text{loss}} = 500 \text{ W}$

- (C)14. 有一部 20 kW 直流發電機，滿載時固定損失為 1200 W，可變損失為 1200 W，其半載效率為多少？ (A)92.4 % (B)89.3 % (C)87 % (D)80.6 %。

解 半載時 $P_o = 20 \text{ kW} \times \frac{1}{2} = 10 \text{ kW}$ ，可變損失為 $1200 \text{ W} \times \frac{1}{2} = 300 \text{ W}$

$$\text{固定損失維持 } 1200 \text{ W，} \eta_{\frac{1}{2}} = \frac{P_o}{P_o + P_{\text{loss}}} = \frac{10000}{10000 + 1200 + 300} = 0.87 = 87\%$$

- (C)15. 有一台 2000 W 直流發電機，滿載時固定損失為 200 W。已知此發電機滿載效率為 80 %，則半載效率為何？ (A)72.5 % (B)78.4 % (C)83.3 % (D)88 %。

解 半載時 $P_o = \frac{1}{2} \times 2000 \text{ W} = 1000 \text{ W}$ ，固定損 200 W

$$\text{半載效率 } \eta_{\frac{1}{2}} = 80\% = \frac{1000}{1000 + 200 + P_{cl}} \text{，可得半載變動損為 } P_{cl} = 50 \text{ W}$$

$$\text{滿載變動損：} 50 \text{ W} \times 2^2 = 200 \text{ W，滿載效率 } \eta = \frac{2000}{2000 + (200 + 200)} \times 100\% = 83.3\%$$

- (B) 16. 電機在滿載時的損失，比輕載時 (A)少 (B)多 (C)相等 (D)不一定。
 (D) 17. 直流發電機無載時效率為 (A)100 % (B)90 % (C)50 % (D)0 %。

二、問答題

1. 說明耗損對直流發電機的影響。

解 (1) 耗損造成溫度上升，限制電機容量並增加成本：

電機運轉時產生的耗損最後都轉變成熱能，導致電機溫度上升容易造成線圈燒毀外；溫度每上升 10°C ，絕緣材料的電阻值減半，也容易引發漏電或燒毀。

(2) 耗損造成輸出功率減少，電機效率降低：

在相同輸入條件下，使用較佳的材料或設計，使得發電機的損失變小，則輸出的電能愈大，此發電機的效率就愈佳。

2. 有一部 330 V、40 A 直流發電機，以柴油引擎作為原動機，若發電機之效率為 80 %，則
 (1)發電機輸出功率、(2)發電機輸入功率、(3)柴油引擎需要提供的馬力數為多少？

解 (1) 發電機輸出功率為 $P = V \times I = 330 \times 40 = 13.2\text{kW}$

(2) 發電機之效率為 80%，因此發電機輸入功率為 $\frac{13.2\text{kW}}{80\%} = 16.5\text{kW}$

(3) 發電機輸入功率等於內燃機輸出功率，故相當於 $\frac{16500}{746} = 22.1$ 馬力

3. 有一部 100 V、100 A 直流分激式發電機，磁場電阻為 $50\ \Omega$ ，電樞電阻為 $0.05\ \Omega$ ，滿載時，電刷壓降為 2 V，機械損及鐵損為 800 W，雜散負載損以輸出之 1 %計，試求滿載時
 (1)輸出功率、(2)總耗損、(3)效率分別為何？

解 (1) 輸出功率： $P_L = 100\text{V} \times 100\text{A} = 10\text{kW}$

(2) 場電流： $I_f = \frac{V_L}{R_f} = \frac{100\text{V}}{50\ \Omega} = 2\text{A}$

電樞電流： $I_a = I_L + I_f = 100 + 2 = 102\text{A}$

分激磁場繞組銅損： $P_{cf} = I_f^2 R_f = 2^2 \times 50 = 200\text{W}$

電樞繞組銅損： $P_{ca} = I_a^2 R_a = 102^2 \times 0.05 = 520.2\text{W}$

電刷電阻損： $P_{cb} = V_b I_a = 2 \times 102 = 204\text{W}$

雜散負載損： $10000\text{W} \times 0.01 = 100\text{W}$

總耗損： $P_{\text{loss}} = 200 + 520.2 + 204 + 100 + 800 = 1824.2\text{W}$

(3) 效率： $\eta = \frac{P_o}{P_o + P_{\text{loss}}} = \frac{10000}{10000 + 1824.2} = 84.6\%$

4. 200 kW 直流發電機，滿載時之變動損失為 20 kW，定值損失 5 kW，若此機每天滿載 4 小時，半載 8 小時，其餘時間為無載，試求此機之(1)滿載效率、(2)半載效率、(3)無載效率、(4)全日效率分別是多少？

解 (1) 滿載效率： $\eta = \frac{P_o}{P_o + P_{\text{loss}}} = \frac{200\text{kW}}{200\text{kW} + 5\text{kW} + 20\text{kW}} \times 100\% = 88.9\%$

(2) 半載效率： $\eta = \frac{P_o}{P_o + P_{\text{loss}}} = \frac{200\text{kW} \times \frac{1}{2}}{\left(200\text{kW} \times \frac{1}{2}\right) + 5\text{kW} + \left(20\text{kW} \times \frac{1}{2}\right)} \times 100\% = 90.9\%$

(3) 無載效率： $\eta = \frac{P_o}{P_o + P_{\text{loss}}} = \frac{200\text{kW} \times 0}{(200\text{kW} \times 0) + 5\text{kW} + (20\text{kW} \times 0)} = 0$

(4) 全日輸出功率： $P_o = (200\text{kW} \times 1 \times 4\text{hr}) + \left(200\text{kW} \times \frac{1}{2} \times 8\text{hr}\right) = 1600\text{kWh}$

全日固定損失： $P_i = 5\text{kW} \times 24\text{hr} = 120\text{kWh}$

全日變動損失： $P_c = (20\text{kW} \times 1 \times 4\text{hr}) + \left(20\text{kW} \times \frac{1}{2} \times 8\text{hr}\right) = 120\text{kWh}$

全日效率： $\eta = \frac{1600}{1600 + 120 + 120} \times 100\% = 87\%$

鍛鍊本解答－嚴選精華

- 7-2 1. 電機能量轉換過程中都會產生耗損，若是損失持續發生而且大小幾乎不變者，歸類為固定損失 (如 鐵損 與 機械損)。倘若損耗情形會因為負載大小而發生顯著變化者，則被歸類為變動損失。
2. 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($P_c = I^2 R$)。
3. 除了外激以及分激磁場繞組銅損，兩者電流大小與負載幾乎無關，被歸類為固定損失以外；其他銅損都為變動損失。
4. 鐵心本身也會因為功率損失而發熱，稱之為鐵心耗損，簡稱鐵損(P_i)。鐵損依據發生的原因分為磁滯損(P)與渦流損(P_e)二類。
5. 鐵心在磁化過程中正負變化一次的循環稱為磁滯迴線，過程中所造成的能量損失稱為磁滯損。其值為： $P_h = K_h \times B_m^x \times f \times G$ 。

6. 在電機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。
 7. 依據 楞次 定理，磁鐵靠近或是遠離導體時，導體內部會出現漩渦狀的電流(渦流)以抵消磁通的變化，渦流經過具有電阻的鐵心而開始發熱，稱為 渦流損，其值為：

$$P_e = K_e \times B_m^2 \times f^2 \times t^2 \times G。$$
 8. 爲了降低渦流損失，鐵心會分解成許多 疊片，再將每片薄片塗佈 絕緣樹脂 並排疊置。
 9. 耗損對電機的影響包括：
 - (1)耗損造成溫度 上升，限制電機容量並增加成本
 - (2)耗損造成輸出功率 減少，電機效率 降低。
 10. 電機運轉時產生的耗損最後都轉變成 熱能，導致電機溫度上升；溫度每上升 10°C，絕緣材料的電阻值 減半，容易引發漏電或燒毀。
- 7-3** 11. 效率爲 輸出功率 與 輸入功率 之比值，一般以百分比來表示，即
- $$\text{效率 } \eta(\%) = \frac{\text{輸出功率 } P_o}{\text{輸入功率 } P_{in}} \times 100\%。$$
12. 公定效率 $\eta(\%) = \frac{\text{輸出功率 } P_o}{\text{輸出功率 } P_o + \text{損失 } P_{loss}} \times 100\%。$
13. 全日效率 = $\frac{\text{全日輸出功率}}{\text{全日輸出功率} + \text{全日固定損失} + \text{全日變動損失}} \times 100\%。$
14. 發電機的效率會隨著負載大小而變。無載時由於輸出功率爲 零，故效率爲 零。考量實用性，電機會設計在 滿載附近 時效率最高。爲使電機發揮較佳的效率，應盡量避免電機在輕載或超載情況使用。

鍛鍊本解答－大顯身手

課內題

詳解請參考自我評量解答 P7-2～7-6

課外題

一、精選題

- (D) 1. 有一部直流電機在轉速 1000rpm 時之渦流損失 P_e 為 24W，磁滯損失 P_h 為 72W，若磁通密度保持不變，轉速升到 1500rpm 時，渦流損失 P_e 及磁滯損失 P_h 分別為何？

(A) $P_e = 24\text{W}$ ， $P_h = 72\text{W}$

(B) $P_e = 36\text{W}$ ， $P_h = 108\text{W}$

(C) $P_e = 36\text{W}$ ， $P_h = 162\text{W}$

(D) $P_e = 54\text{W}$ ， $P_h = 108\text{W}$ 。

解 渦流損 $P_e \propto n^2$ ， $P'_e = 24 \times (1.5)^2 = 54\text{W}$ ，磁滯損失 $P_h \propto n$ ， $P'_h = 72 \times 1.5 = 108\text{W}$

- (B) 2. 有一部額定容量為 16kW 的直流發電機，滿載時，固定損失為 800W，可變損失為 800W，其滿載效率為多少？ (A)95.2% (B)90.9% (C)88.9% (D)86.9%。

解 滿載效率 $= \frac{P_o}{P_o + P_{\text{loss}}} = \frac{16000}{16000 + 800 + 800} \times 100\% = 90.9\%$

- (C) 3. 有一部直流發電機，滿載時，可變損失為 600W，固定損失為 600W，則當半載時，可變損失與固定損失約分別為多少？

(A)600W、300W (B)300W、600W (C)150W、600W (D)150W、300W。

解 可變損失與負載成平方正比，負載減半，可變損失為 $600\text{W} \times 0.5^2 = 150\text{W}$ ；固定損與負載無關維持不變 = 600W

二、情境題

- (A) 4. 小楊有台直流發電機，已知每極有 2×10^6 馬克士威的磁通量，轉速為 800rpm 時之渦流損為 200 瓦特，若小楊將發電機的磁通量增加到 3×10^6 馬克士威，轉速增加到 1000rpm 時，發電機渦流損約變為

(A)703 瓦特 (B)562.5 瓦特 (C)375 瓦特 (D)312.5 瓦特。

解 渦流損 $P_e = K_e B_m^2 f^2 t^2 G = K_e B_m^2 (\text{rpm})^2 t^2 G$ 與磁通量成平方正比，與轉速成平方

$$\text{正比 } P'_e = 200 \times \left(\frac{3 \times 10^6}{2 \times 10^6} \right)^2 \times \left(\frac{1000}{800} \right)^2 = 703 \text{ W}$$

- (A) 5. 工廠有一部 20kW、200V 直流分激式發電機，滿載時，固定損失為 1200W，可變損失為 1200W，為了配合工廠的作息時間，因此 6 時到 12 時滿載運轉、12 時到 22 時半載運轉、其餘時間不斷電無載運轉，求此電機之全日電能總損失為多少？ (A)39kWH (B)28.8kWH (C)18.6kWH (D)10.2kWH。

解 固定損失 = $1.2 \text{ kW} \times 24 \text{ Hr} = 28.8 \text{ kWH}$

$$\text{可變損失} = 1.2 \text{ kW} \times 6 \text{ Hr} + 1.2 \text{ kW} \times \left(\frac{1}{2} \right)^2 \times 10 \text{ Hr} = 10.2 \text{ kWH}$$

$$\text{全日電能總損失} = 28.8 \text{ kWH} + 10.2 \text{ kWH} = 39 \text{ kWH}$$

鍛鍊本解答－高手過招

- (C) 1. 分激式直流發電機運轉在半載或全載發電，若輸出電壓固定，則電樞繞組上的銅損分別為何？

(A)半載時的銅損等於全載時的銅損

(B)半載時的銅損等於全載時銅損的 1/2

(C)半載時的銅損等於全載時銅損的 1/4

(D)半載時的銅損大於全載時的銅損。

【105 統測】

解 銅損與電流平方成正比，發電機半載時電樞電流為滿載時的 1/2，因此半載時銅損等於全載時銅損的 1/4

