



## CH5 直流發電機之一般性質

### 5-1 電樞反應的現象

#### 隨堂練習解答

課本 P98

- ( B ) 1. 無補償繞組之直流發電機，其電樞反應將造成  
 (A)前、後極尖磁通均減弱 (B)前極尖磁通減弱、後極尖磁通增強  
 (C)前、後極尖磁通均增強 (D)前極尖磁通增強、後極尖磁通減弱。
- ( C ) 2. 直流電機電樞反應之去磁與交磁部分，分別與主磁場方向  
 (A)相同、垂直 (B)相同、相反 (C)相反、垂直 (D)垂直、相反。

### 5-2 電樞反應的計算

#### 隨堂練習解答

課本 P100

- ( A ) 1. 有台 4 極直流發電機，電樞總導體數 288 根，繞製成單分疊繞組，其電樞電流為 120 A，其電刷前移  $12^\circ$  機械角，則此機之每極去磁安匝為  
 (A) 288 AT (B) 792 AT (C) 1152 AT (D) 3168 AT。

**解**  $\theta_e = \frac{4}{2} \times 12^\circ = 24^\circ (\alpha)$ ， $a = mP = 1 \times 4 = 4$

$$\text{總電樞安匝：} F_a = \frac{Z}{2} \times \frac{I_a}{a} = \frac{288}{2} \times \frac{120}{4} = 4320 \text{ AT}$$

$$\text{總去磁安匝：} F_d = \frac{2\alpha^\circ}{180^\circ} \times \left( \frac{Z}{2} \times \frac{I_a}{a} \right) = \frac{2 \times 24^\circ}{180^\circ} \times 4320 = 1152 \text{ AT}$$

$$\text{每極去磁安匝：} \frac{F_d}{P} = \frac{1152}{4} = 288 \text{ AT}$$

( B ) 2. 4 極直流發電機，電刷中性面移  $15^\circ$  機械角，則總去磁安匝為總電樞安匝的

(A)  $\frac{1}{2}$  (B)  $\frac{1}{3}$  (C)  $\frac{1}{4}$  (D)  $\frac{1}{6}$ 。

解 電刷移位的電機角  $\theta_e = \frac{4}{2} \times 15^\circ = 30^\circ (\alpha)$

$$\text{總去磁安匝：} F_d = \frac{2\alpha^\circ}{180^\circ} \times \left( \frac{Z}{2} \times \frac{I_a}{a} \right) = \frac{2 \times 30^\circ}{180^\circ} \times F_a = \frac{1}{3} F_a$$

( A ) 3. 同上題，總去磁安匝為總交磁安匝的 (A)  $\frac{1}{2}$  (B)  $\frac{1}{3}$  (C)  $\frac{1}{4}$  (D)  $\frac{1}{6}$ 。

解 上題已知總去磁安匝  $F_d = \frac{1}{3} F_a$

$$\text{因此總交磁安匝 } F_c = F_a - F_d = F_a - \frac{1}{3} F_a = \frac{2}{3} F_a$$

$$\text{故 } \frac{F_d}{F_c} = \frac{F_a / 3}{2F_a / 3} = \frac{1}{2}$$

## 5-3 電樞反應的對策

### 隨堂練習解答

P103

( D ) 1. 有一部 10 極直流發電機，電樞繞組採用單分疊繞，電樞導體共有 860 根導體，電樞電流為 100 A，已知極面弧長為極距的 0.7 倍，欲完全抵消電樞反應，每個磁極面上應該加裝多少根補償繞組？ (A) 12 (B) 10 (C) 8 (D) 6。

解 單分疊繞  $a = mP = 1 \times 10 = 10$

$$\text{每極裝置補償繞組導體數 } Z_t = \frac{Z}{P} \times \frac{\phi}{a} = \frac{860}{10} \times \frac{0.7}{10} = 6.02 (\text{根/極})$$

P104

( B ) 1. 有關直流機補償繞組的敘述何者錯誤？

- (A) 可抵消電樞反應
- (B) 補償繞組必須與電樞繞組並聯
- (C) 補償繞組裝設在主磁極極面上
- (D) 補償繞組的電流與對應電樞繞組電流方向相反。

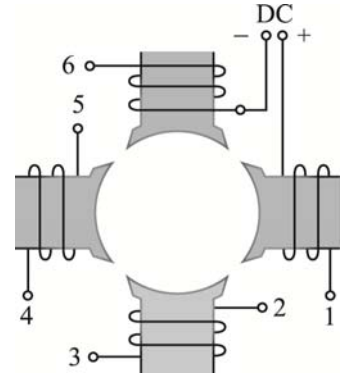
解 補償繞組必須與電樞串聯

- ( C ) 2. 直流發電機使用中間極的主要目的是  
(A)增強主磁場 (B)抵消電樞反應 (C)改善換向 (D)減少噪音。

- ( A ) 3. 如圖所示為一部直流發電機，電樞朝逆時針方向旋轉，則換向磁極 C 的極性為

- (A) S 極  
(B) N 極  
(C) P 極  
(D) K 極。

**解** 直流發電機主磁極(N、S)與中間極(n、s)的順序為  
 $\overrightarrow{NsSn}$ ，因此換向磁極 C 的極性為 S 極



## 5-4 換向(commutation)

### 隨堂練習解答

課本 P109

- ( B ) 1. 直流發電機欠換向時，將使得電刷  
(A)前端發生火花 (B)後端發生火花 (C)不發生火花 (D)不一定。  
**解** 低速換向末期電流急遽變化，造成電刷的後刷邊電流密度過大，容易燒燬
- ( B ) 2. 下列何者不是直流機獲得良好換向的條件？  
(A)減少電感 (B)減少電刷接觸電阻 (C)降低轉速 (D)移動電刷。  
**解** 提高電刷的接觸電阻可以降低短路時所產生的環流
- ( B ) 3. 直流機使用中間極的主要目的是  
(A)增強主磁場 (B)改善換向 (C)抵消電樞反應 (D)減少噪音。

### 自我評量解答

課本 P110

#### 一、選擇題

- 5-1** ( A ) 1. 電樞反應結果，使直流發電機的電機中性面  
(A)順著轉向移動一個角度 (B)逆著轉向移一個角度  
(C)維持不變 (D)視負載種類而定。

- ( A ) 2. 無中間極的直流發電機中，若電刷不移動，則電樞反應產生  
 (A)僅有交磁效應 (B)僅有去磁效應  
 (C)交磁、去磁效應同時存在 (D)交磁、去磁效應同時不存在。

解 電刷停在機械中性面不移動，電樞反應與主磁場垂直，產生交磁效應

- ( B ) 3. 直流發電機電樞反應發生時，若將電刷移動至新的磁中性面，會導致感應電動勢  
 (A)增加 (B)減少 (C)不變 (D)視情況而定。

解 發電機電刷移動後造成去磁效應使得  $\phi \downarrow$ ，發電機應電勢  $e = Kn\phi \downarrow$

- 5-2 ( B ) 4. 一部 4 極 16 kW、電樞電流為 80 A、電樞總導體數 400 根，採雙分後退波繞之直流發電機，接上負載後所產生的電樞反應使磁中性面向前移  $18^\circ$  機械角，則電樞反應之總去磁安匝數約為何？

- (A) 600 安匝 (B) 1600 安匝 (C) 2400 安匝 (D) 4000 安匝。

解  $a = 2m = 2 \times 2 = 4$

$$F_A = \frac{I_a}{a} \times \frac{Z}{2} = \frac{80}{4} \times \frac{400}{2} = 4000 \text{ AT}, F_d = F_A \times \frac{2\alpha}{\theta_p} = 4000 \times \frac{2 \times 18}{90} = 1600 \text{ AT}$$

- ( C ) 5. 同上題，電樞反應之總交磁安匝數約為何？  
 (A) 600 安匝 (B) 1600 安匝 (C) 2400 安匝 (D) 4000 安匝。

解  $F_c = F_A \times \frac{\theta_p - 2\alpha}{\theta_p} = 4000 \times \frac{90 - 2 \times 18}{90} = 2400 \text{ AT}$

- ( D ) 6. 4 極直流發電機，電刷前移  $15^\circ$  電機角，則總去磁安匝為總交磁安匝的  
 (A) 1/6 (B) 1/5 (C) 1/4 (D) 1/3。

解 電刷移位的電機角  $\theta_e = \frac{4}{2} \times 15^\circ = 30^\circ (\alpha)$

$$\text{總去磁安匝：} F_d = \frac{2\alpha^\circ}{180^\circ} \times \left( \frac{Z}{2} \times \frac{I_a}{a} \right) = \frac{2 \times 30^\circ}{180^\circ} \times F_A = \frac{1}{3} F_A$$

- 5-3 ( D ) 7. 下列何者不是減少電樞反應的方法？

- (A)裝設換向磁極 (B)裝設補償繞組  
 (C)增加主磁極數目 (D)減少電樞磁路磁阻。

解 補償電樞反應的方法中，可以將主磁極改良，藉由增加極尖磁阻，使磁通盡量由極身通過，避免磁通偏移。

( D ) 8. 有關補償繞組與極面下電樞繞組兩者電流及導體數量的比較，下列何者正確？

- (A)兩者電流和導體數必須相等
- (B)導體數一定要相等，電流可不相等
- (C)電流一定要相等，但導體數可不相等
- (D)雙方安匝數相等即可。

●解 補償繞組通過的電流  $I_a$ ，而電樞繞組內部的電流是  $I_a/a$ ，補償繞組爲了抵消電樞反應，只要兩者安匝數相同即可

( C ) 9. 欲消除電樞反應最有效的方法爲下列哪一項？

- (A)中間極 (B)均壓線 (C)補償繞組 (D)移動電刷位置。

( C ) 10. 直流電動機設置中間極之目的爲

- (A)增強主磁場 (B)增強電樞磁場
- (C)改善換向 (D)幫助散熱。

( D ) 11. 一直流發電機 N、S 表示主磁極，磁性 n、s 表示換向磁極之磁性，則循電機之旋轉方向各極極性依序爲

- (A) NnSs (B) nNSs (C) nSsN (D) NsSn。

●解 直流發電機主磁極與中間極的關係是 NsSn

( A ) 12. 在直流發電機中，中間極之極性必須依轉向和

- (A)順轉向的下一個主磁極相同 (B)順轉向的前一個主磁極相同
- (C)固定爲 n 極 (D)固定爲 s 極。

●解 直流發電機主磁極與中間極的關係是 NsSn，中間極的極性與順轉向的下一個主磁極相同

( A ) 13. 具有中間極之直流發電機，其電刷位置

- (A)換向良好，故不必移位 (B)必須順轉向移位，以改善換向
- (C)必須逆轉向移位，以改善換向 (D)視負載種類決定順轉向或逆轉向移動。

5-4 ( A ) 14. 直流發電機負載電流一定時，若轉速增加則換向

- (A)越困難 (B)越容易 (C)不一定 (D)與轉速無關。

●解 轉速愈高，換向時間愈短，線圈之電抗電壓愈高，愈容易產生火花

( A ) 15. 換向時，線圈之電抗電壓大於換向電勢，則換向爲

- (A)欠換向 (B)過換向 (C)直線換向 (D)正弦換向。

●解 換向過程中，線圈之電抗電壓大於換向電勢，造成換向初期電流變化慢，稱爲低速(欠)換向

( A )16. 直流發電機若電刷移位不足，將會產生

(A)欠換向 (B)過換向 (C)直線換向 (D)正弦換向。

●解 直流發電機電刷沒有移動或是移位不足，則發電機尚未到達磁中性面就被電刷短路，因此換向初期電流變化慢，後期變化快，稱為低速(欠)換向

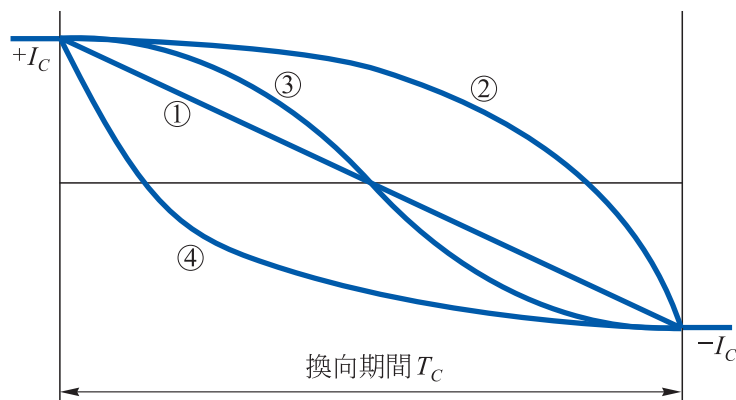
( B )17. 使換向線圈預先切割另一磁極所生磁力線而感應另一電勢來抵消電抗電壓，使換向良好之方法為

(A)電阻換向 (B)電壓換向 (C)直線換向 (D)欠換向。

## 二、問答題

1. 畫圖說明直流發電機的換向曲線？

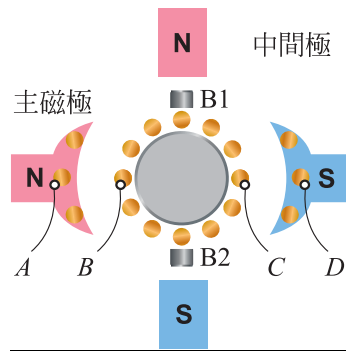
●解 直流發電機常見的換向曲線如圖所示：



- (1) 直線換向：如圖曲線①所示。換向期間電流變化保持均勻，電刷不會產生火花，是最理想的換向曲線。
- (2) 低速換向：如圖曲線②所示。換向開始時電流變化慢，直到換向末期電流急遽變化，造成電刷的後刷邊電流密度過大，導致後刷邊及換向片表面容易燒毀。
- (3) 正弦換向：如圖曲線③所示，又稱為電壓換向。換向開始與結束時電流變化較慢，電刷不致產生火花。
- (4) 過速換向：如圖曲線④所示。線圈換向開始時電流變化過快，造成電刷的前刷邊電流密度過大，而燒燬前刷邊及換向片表面。

2. 如圖(1)所示為一部直流發電機，已知主磁極及中間極極性，試回答下列問題。

- (1) 電樞旋轉方向為何？
- (2) 電樞導體  $B$  與  $C$  之電流方向分別為何？
- (3) 裝置於主磁極面槽內的  $A$ 、 $D$  導體名稱為何？
- (4) 導體  $A$ 、 $D$  的電流方向分別為何？



圖(1)

- 解** (1) 直流發電機中間極方向為  $N_s S_n$ ，因此本機為逆時針方向旋轉
- (2) 依據弗萊明右手定則，電樞導體  $B$  瞬間向下運動，導體  $B$  電流為流出紙面，電樞導體  $C$  瞬間向上運動，導體  $C$  電流為流入紙面
- (3) 裝置於主磁極面槽內導體稱為補償繞組
- (4) 補償繞組電流方向與電樞導體相反，因此導體  $A$  為流入紙面，導體  $D$  為流出紙面

3. 某 4 極直流電機，電樞導體總數為 720 根，繞製成單分疊繞組，電樞電流為 500 A，若電刷前移 15 個機械角度，則此直流機之：

- (1) 總電樞安匝、(2) 總去磁安匝、(3) 每極交磁安匝分別為何？

**解**  $\theta_e = \frac{4}{2} \times 15^\circ = 30^\circ (\alpha)$ ， $a = mP = 1 \times 4 = 4$

(1) 總電樞安匝： $F_a = \frac{Z}{2} \times \frac{I_a}{a} = \frac{720}{2} \times \frac{500}{4} = 45000 \text{ AT}$

(2) 總去磁安匝： $F_d = \frac{2\alpha^\circ}{180^\circ} \times \left( \frac{Z}{2} \times \frac{I_a}{a} \right) = \frac{2 \times 30^\circ}{180^\circ} \times 45000 = 15000 \text{ AT}$

(3) 總交磁安匝： $F_c = 45000 - 15000 = 30000 \text{ AT}$

每極交磁安匝： $\frac{F_c}{P} = \frac{30000}{4} = 7500 \text{ AT}$

4. 有一部 4 極 36 槽單分疊繞直流發電機，換向器上有 36 片換向片，已知電樞電流為 50 A，當此機由外力以 1800 rpm 帶動時，求：

(1)換向期間、(2)換向期間電流變動率為何？

**解** (1) 轉速  $n = 1800 \text{ rpm} = 30 \text{ rps}$ ，轉 1 圈需  $\frac{1}{30} \text{ sec}$ ，通過一片換向片之時間稱為換向

$$\text{期間 } T_c = \frac{1}{30} \times \frac{1}{36} = \frac{1}{1080} \text{ sec}$$

(2) 單分疊繞  $a = mP = 1 \times 4 = 4$ ，電樞電流為 50 安培，因此每個路徑內的電流  $I_c = 12.5 \text{ A}$  換向期間電流由  $+I_c$  變成  $-I_c$ ，電流變動量  $\Delta i = 2I_c = 25 \text{ A}$ ，

$$\text{故電流變動率：} \frac{\Delta i}{T_c} = \frac{25 \text{ A}}{\frac{1}{1080} \text{ sec}} = 27000 \text{ A / sec}$$

### 鍛鍊本解答－嚴選精華

- 5-1** 1. 主磁極磁通量( $\phi$ )是發電機產生應電勢( $E = Kn\phi$ )的必要條件。
2. 電樞繞組在供電過程中產生的電樞磁場，對原本主磁場造成的干擾現象稱為電樞反應。無載時電樞電流  $I_a = 0$ ，沒有電樞反應。
3. 電樞反應造成直流發電機前極尖磁通減少、後極尖磁通增多，受限於磁通飽和，造成總磁通減少。磁中性面順著旋轉方向偏移，因此電刷必須順著轉向移動。
4. 電樞反應的交磁效應與主磁通方向垂直，使得合成磁場發生畸斜，造成換向困難。去磁效應與主磁通方向相反，使得總磁通量減少，造成發電機應電勢降低。

**5-2** 5. 總電樞磁動勢  $F_a = N \times I = \frac{Z}{2} \times \frac{I_a}{a}$  (安匝)

6. 總去磁磁動勢  $F_d = \frac{2\alpha^\circ}{180^\circ} \times \frac{Z}{2} \times \frac{I_a}{a}$  (安匝)

7. 總交磁磁動勢  $F_c = \frac{180^\circ - 2\alpha^\circ}{180^\circ} \times \frac{Z}{2} \times \frac{I_a}{a}$  (安匝) 或是  $F_c = F_a - F_d$  (安匝)

**5-3** 8. 為了降低電樞反應的影響，常用的做法包括：

- (1) 改良主磁極結構，增加電樞磁路磁阻：透過增加主磁極數目、增加磁極尖部的空氣隙、鐵心採用單極尖的薄片疊置、楞德爾磁極法。
- (2) 增設繞組：裝設補償繞組、中間極法。

9. 補償繞組安裝在主磁極的極面槽內，並與電樞繞組串聯，但電流方向相反，是抵消電樞反應最有效方法。而加裝補償繞組的直流電機，電刷放在於機械中性面不需移位。缺點則是體積增大。
10. 為抵消電樞反應，每極裝置補償繞組導體數： $Z_t = \frac{Z}{P} \times \frac{\psi}{a}$  (根／極)
11. 中間極又稱換向磁極，裝設於各主磁極中間之狹長小磁極，以線徑粗、匝數少之導線繞成後，與電樞相串聯，極數通常與主磁極數相同。
12. 中間極磁通抵消換向區的電樞反應磁通，因此電刷放在於機械中性面即可，不需移位。缺點是中間極無法消除主磁極附近的電樞反應。
13. 直流發電機主磁極(N、S)與中間極(n、s)的順序為相同；換言之，中間極與順轉向所遇到的主磁極之極性相同。
- 5-4** 14. 每次經過磁極中性面時，線圈內部電流都會改變方向，因此線圈內部為交流電，透過換向片與電刷的配合，流到外部的電流大小與方向維持不變。
15. 直線換向：忽略電樞反應及線圈電感量，利用電刷與換向片間之接觸面積變化，使得電流變化保持均勻狀態，是最理想的換向曲線，因此電刷不會產生火花。
16. 低速換向：線圈在換向過程中產生電抗電壓，使得換向開始時電流變化慢，造成電刷的後刷邊容易燒毀。對於直流發電機而言，若電刷沒有順著轉向移動或是角度不足，導致線圈尚未到達磁中性面就被電刷短路，則會導致低速換向。
17. 正弦換向：透過移動電刷或是中間極等方式產生換向電勢來抵消線圈的電抗電壓，又稱為電壓換向。
18. 過速換向：電刷移位過度，導致線圈已過磁中性面才被電刷短路；或是換向電勢大於電抗電壓，使得換向開始時電流變化過快，造成電刷的前刷邊容易燒毀。
19. 改善換向的方法：包括延長換向週期、減少線圈電感量、增加電刷接觸電阻、移動電刷、設置補償繞組以及裝置中間極等方式，可以獲得良好的換向。

## 鍛鍊本解答－大顯身手

### 課內題

詳解請參考自我評量解答 P5-3～5-8

### 課外題

#### 一、精選題

- ( C ) 1. 某 8 極直流發電機，電刷前移 15 度機械角，則去磁安匝佔總電樞安匝數為多少？  
(A)1/2 (B)1/3 (C)2/3 (D)1/4。

解  $\theta_e = \frac{8}{2} \times 15^\circ = 60^\circ$  電工角，總去磁安匝  $= \frac{2 \times 60^\circ}{180^\circ} \times \text{總安匝} = \frac{2}{3} \text{總安匝}$

- ( D ) 2. 有一部 6 極直流發電機，電樞導體總數為 960 根，繞製成單分波繞組，其電樞電流為 120 安培，若電刷前移 8 度機械角，則此發電機之每極交磁安匝為  
(A)8500 安匝 (B)7680 安匝 (C)7200 安匝 (D)3520 安匝。

解 總電機角  $\theta_e = \frac{6}{2} \times 8^\circ = 24^\circ$

單分波繞電流路徑  $a = 2m = 2 \times 1 = 2$

總安匝  $= \frac{960}{2} \times \frac{120}{2} = 28800 \text{AT}$

總去磁安匝  $\text{AT}_d = \frac{2 \times 24^\circ}{180^\circ} \times 28800 = 7680 \text{AT}$

總交磁安匝  $\text{AT}_c = 28800 - 7680 = 21120 \text{AT}$

每極交磁安匝為  $= \frac{21120}{6} = 3520 \text{AT}$

- ( C ) 3. 直流發電機換向時，若電刷移位不足，會發生  
(A)直線換向 (B)正弦換向 (C)低速換向 (D)過速換向。

解 直流發電機電刷移位不足，線圈未達磁中性面就被電刷短路，稱為低速換向

## 二、情境題

- ( C ) 4. 在上課時，有四位同學對直流發電機電樞繞組的換向前後變化表達意見，有關同學的敘述，何者正確？

小楊：電樞繞組換向前後，電壓方向改變

小明：電樞繞組換向前後，電流方向改變

小陳：電樞繞組換向前後，所處磁極極性改變

小張：電樞繞組換向前後，轉速改變

(A)四位同學皆正確

(B)四位同學皆錯誤

(C)有三位同學正確

(D)有二位同學正確。

**解** 小張同學敘述是錯誤的，換向前後轉向不變，其餘三位敘述正確

- ( C ) 5. 安迪在整理直流電機之補償繞組特性時，寫出以下四點結論，何者結論為錯誤？

(A)可抵消電樞反應

(B)裝在主磁極之極面槽內

(C)必須與電樞繞組並聯

(D)與相鄰的電樞繞組內電流方向相反。

**解** (C)選項，補償繞組應與電樞繞組串聯

## 鍛鍊本解答－高手過招

- ( B ) 1. 一部 4 極 16kW、電樞電流為 80A、電樞總導體數 400 根，採雙分(duplex)後退式波繞之直流發電機，接上負載後所產生的電樞反應使磁中性面向前移  $18^\circ$  機械角，則電樞反應之總去磁安匝數約為何？ 【106 統測】

(A)1200 安匝 (B)1600 安匝 (C)2000 安匝 (D)2400 安匝。

**解**  $F_A = \frac{Z}{2} \times \frac{I_a}{a}$ ， $a = 2m = 2 \times 2 = 4$ ， $F_A = \frac{400}{2} \times \frac{80}{4} = 4000\text{AT}$

$F_d = F_A \times \frac{2\alpha}{\theta_p}$ ， $\theta_p = \frac{360}{4} = 90$ ， $F_d = 4000 \times \frac{2 \times 18}{90} = 1600\text{AT}$

- ( B ) 2.  $G_1$ 、 $G_2$  兩部短並聯複激式直流發電機並聯運轉供電 20kW 至負載，並加均壓線以避免負載分擔不均而燒毀發電機，若負載電壓為 200V，兩機電樞電阻皆為  $0.1\Omega$ ，而  $G_1$  及  $G_2$  的串激場繞組電阻分別為  $0.34\Omega$  及  $0.46\Omega$ ，若分激場繞組電阻和均壓線電阻忽略不計，則在正常運轉下，均壓線上的電流大小為何？

(A)5A (B)7.5A (C)10A (D)12.5A。 【106 統測】

$$\text{解 } I = \frac{P}{V} = \frac{20k}{200} = 100A, I_{a1} = I_{a2} = \frac{1}{2} \times 100 = 50A$$

$$I_s \text{ 與 } R_s \text{ 電阻成反比 } \therefore I_{s1} = 100 \times \frac{0.46}{0.34 + 0.46} = 57.5A$$

$$\text{均壓線電流} = 57.5 - 50 = 7.5A$$

- ( D ) 3. 若直流發電機在轉速為 1200 轉／分，每磁極的最大磁通量為  $5 \times 10^{-3}$  韋伯，其感應電勢為 200V；當轉速為 1800 轉／分，每磁極的最大磁通量為  $4 \times 10^{-3}$  韋伯，此直流發電機的感應電勢為何？

(A)180V (B)200V (C)220V (D)240V。 【105 統測】

$$\text{解 } E = K \times \phi \times N, E = 200 \times \frac{1800}{1200} \times \frac{4 \times 10^{-3}}{5 \times 10^{-3}} = 240V$$

- ( A ) 4. 有一部 10kW、200V 直流分(並)激式發電機，分激場電阻為  $100\Omega$ ，當負載短路時，短路電流為 30A，此時電樞之應電勢為 3V。則於額定負載時，發電機之應電勢約為多少？ (A)205V (B)208V (C)210V (D)212V。 【104 統測】

$$\text{解 } R_a = \frac{3}{30} = 0.1\Omega, I_f = \frac{200}{100} = 2A, I_a = I_f + I = 2 + 50 = 52A$$

$$E = I_a R_a + V = \left( \frac{10k}{200} + \frac{200}{100} \right) \times 0.1 + 200 = 205.2V \div 205V$$