

第 5 章 直流電動機特性及應用

1. 直流電動機之反電勢 E_b ：

- (1) 直流電動機旋轉時，電樞導體切割主磁廠而感應電勢，此電勢與外加電壓方向相反故稱反電勢。

反電勢大小與發電機應電勢相同 $E_b = \frac{PZ}{60a} \phi N = K \phi N$ ；反電勢 E_b 與轉速 N 成正比。

- (2) 反電勢的功用：

①限制電樞電流。

$E_b = V - I_a R_a$ ， $I_a = \frac{V - E_b}{R_a}$ ，當 $E_b = 0$ （電機靜止或啟動時） I_a 很大將使電機燒毀，故啟動時須加啟動電阻。

②產生機械功率 P_M ：

$$P_M = E_b \times I_a = (V - I_a R_a) \times I_a = VI_a - I_a^2 R_a = P_i - P_c = K \phi n I_a = \omega T_o$$

電樞之機械功率與轉速、磁場、電樞電流成正比。

例 1：某 10HP、220V 直流分激電動機，電樞電阻為 0.2Ω ，場繞組電阻為 440Ω ，滿載時轉速為 1750 rpm，線電流為 40A，其內部機械功率為多少瓦特？ (A)6660 (B)7460 (C)8132 (D)8378。

例 2：一匹馬力、110V 直流分激電動機，其電樞內阻為 0.08Ω ，滿載時之電樞電流為 7.5 安，則滿載時之反電勢為 (A) 104V (B) 109.4V (C) 50V (D) 94.4V。

例 3：某 10HP、220V 直流分激電動機，電樞電阻為 0.2Ω ，場繞組電阻為 440Ω ，滿載時轉速為 1750 rpm，線電流為 40A，其輸出轉矩為多少牛頓-公尺(Nt-m)? (A)40.7 (B)45.8 (C)67.8 (D)83.5。

2. 直流電動機特性曲線：

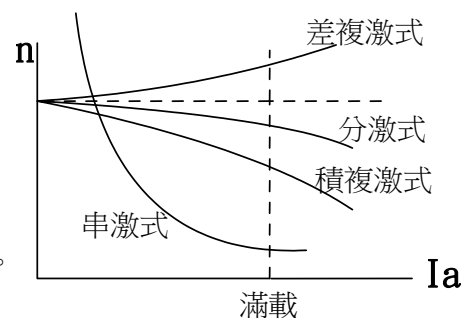
- (1) 轉速特性曲線：轉速 N （縱座標）與電樞電流 I_a （橫座標）的關係

①分激式 $n = \frac{V - I_a R_a}{K \phi_f}$ ；下降曲線。

②串激式 $n = \frac{V - I_a (R_a + R_s)}{K \phi_s}$ ；無載時不能啟動有飛脫之慮，為雙曲線。

③積複激式 $n = \frac{V - I_a R_a - I_a R_s}{K(\phi_f + \phi_s)}$ ；下降幅度較分激式顯著。

④差複激式 $n = \frac{V - I_a R_a - I_a R_s}{K(\phi_f - \phi_s)}$ ；上升曲線速率調整率 $SR\%$ 為負值。



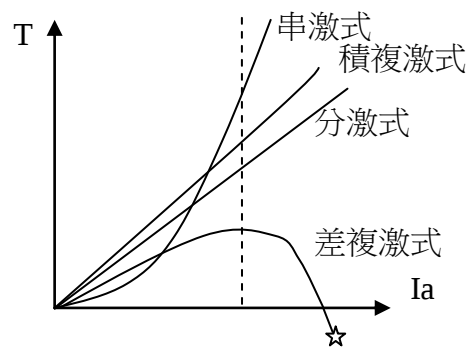
(2) 轉矩特性曲線：轉矩 T （縱座標）與電樞電流 I_a （橫坐標）的關係

① 分激式 $T = K\phi I_a$ ； $T \propto I_a$ 為上升直線。

② 串激式 $T = K\phi I_a = KK'I_a^2$ （磁飽和前） $T \propto I_a^2$ 為拋物線。
 $= K''I_a$ （磁飽和後） $T \propto I_a$ 為上升直線。

③ 積複激式 $T = K(\phi_f + \phi_s)I_a$ ；轉矩較分激式大。

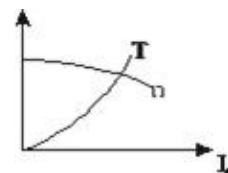
④ 差複激式 $T = K(\phi_f - \phi_s)I_a$ ； ϕ_f （定值）- ϕ_s （隨負載改變）
 曲線呈先升後降，重載啟動時有反轉之慮，故啟動時須先將串激繞組短接。



3. 速率調整率 $SR\% = \frac{N_o(\text{無載轉速}) - V_F(\text{滿載轉速})}{V_F(\text{滿載轉速})} \times 100\%$ ；差複激式電動機 $SR\% < 0$ 。

例 1：直流電動機之速率與磁場磁通成 (A) 正比 (B) 反比 (C) 無關 (D) 平方比。

例 2：如右圖所示為何種直流電動機之轉速(n)與轉矩(T)特性曲線？(圖中 I_a 為電樞電流) (A) 差複激式 (B) 積複激式 (C) 分激式 (D) 串激式。



例 3：某分激式直流電動機之無載轉速 1300rpm，已知其速率調整率為 5%，則滿載轉速約為多少 rpm？ (A) 1220rpm (B) 1238rpm (C) 1254rpm (D) 1267rpm。

例 4：串激式電動機於磁通未飽和時，轉矩特性曲線為 (A) 雙曲線 (B) 直線 (C) 拋物線 (D) 正弦曲線。

例 5：直流串激電動機，在磁路未達飽和範圍內，將電樞電流由 40 安培降低為 20 安培，則其產生的轉距變為原來的？ (A) 2 倍 (B) 4 倍 (C) 1/4 倍 (D) 1/2 倍。

4. 直流電動機啟動控制：

(1) 1/3 馬力以下可直接啟動。

(2) 在電樞電路串聯起動電阻 R_x ，限制啟動電流 I_{as} 為額定電流的 1.25~2.5 倍。

(3) 啟動直流電動機時，將 R_f 置於最小處（啟動直流發電機時，將 R_f 置於最大處）。

(4) 啟動差複激電動機時，需將串激繞組短路。

(5) 起動電阻 R_x 計算：

① 分激式電動機：啟動電流 $I_{as} = \frac{V}{R_a + R_x}$

② 串激式電動機：啟動電流 $I_{as} = \frac{V}{R_a + R_s + R_x}$

例 1：有一 1HP、100V 之分激電動機， $R_a = 1\Omega$ ，起動時欲限制起動電流為滿載之 200%，若忽略磁場電流與損耗，則所需串聯之電阻約為多少？ (A) 2.7 Ω (B) 5.7 Ω (C) 8.7 Ω (D) 11.7 Ω 。

5. 直流電動機速率控制：
$$n = \frac{V - I_a R_a}{K \phi_f}$$

- (1) 磁場電阻控制法： $R_f \uparrow \rightarrow I_f \downarrow \rightarrow \phi \downarrow \rightarrow n \uparrow$ ，轉矩隨速度上升而下降又稱定馬力控制，簡單、方便、有效。
- (2) 電樞電阻控制法： $R_n \uparrow \rightarrow E \downarrow \rightarrow n \downarrow$ ，轉矩不隨速度上升而下降又稱定轉矩控制。電樞外加電阻將增加銅損使效率降低。
- (3) 電壓控制法（華德－黎翁納德法）： $V \downarrow \rightarrow E \downarrow \rightarrow n \downarrow$ ，可得寬廣速度控制，但價格昂貴。

例 1：有一部直流串激電動機，電樞電阻為 0.05 歐姆，串激場電阻為 0.05 歐姆，當電樞電流為 100 安培時，轉速為 1100 rpm，電樞應電勢為 117 伏特；若轉矩不變，將 0.2 歐姆的電阻與電樞串聯，則穩定後的轉速為多少 rpm？ (A)912 (B)1033 (C)1100 (D)1320。

例 2：電源電壓不變，直流分激電動機之場變阻器電阻值增加時，其轉速將 (A)加快 (B)減慢 (C)不變 (D)降至零。

6. 直流電動機轉向控制：（佛萊明左手定則）

- (1) 改變電樞電流 I_a 方向或磁場電流 I_f 方向。
- (2) 若兩者同時反接則轉向不變。

例 1：下列那一種方式可以改變直流分激電動機轉子之旋轉方向？

- (A)改變電源電壓極性 (B)將電樞繞組短路
(C)同時改變場繞組和電樞繞組的電流方向 (D)僅改變電樞繞組之電流方向。

7. 直流電動機制動（煞車）控制：

- (1) 制動方法：機械制動、電磁制動、氣壓制動、油壓制動、電氣制動。
- (2) 電氣制動：動力制動、逆轉制動及再生制動。

歷屆試題：

102 年：關於串激式直流電動機的特性，下列敘述何者正確？

- (A) 轉矩與電樞電流成正比 (B) 轉矩與電樞電流平方成正比
(C) 激磁場磁通量與電樞電流平方成正比 (D) 激磁場磁通量與電樞電流成反比。

102 年：一部 5 kW、200V 串激式電動機，其電樞電阻 0.1Ω ，激磁場電阻 0.2Ω ，起動電阻 2Ω ，則額定電壓起動時的啟動電流為何？(A) 87A (B) 100A (C) 113A (D) 74A。

102 年：關於直流電動機轉速控制的敘述，下列何者錯誤？

- (A) 電樞電壓控制法是利用外加電源電壓來控制轉速，電樞端電壓越大，轉速越快
(B) 串激式電動機的激磁場轉速控制法，是在串激磁場繞組串聯變阻器以控制轉速
(C) 電樞電阻控制法是在電樞電路中串聯一可變電阻以調整轉速

(D) 分激式電動機的激磁場轉速控制法，是在分激磁場串聯變阻器以控制轉速。

101 年：一 200V 之分激式直流電動機，其電樞電阻為 0.2Ω ，分激場電阻為 100Ω 。已知電動機外接電源電壓為 200V，電樞電流為 50A。若負載轉矩保持不變，現只改變場電阻，使電動機磁場磁通為 2 倍原磁場磁通。請問在忽略電刷壓降的情況下，其電樞感應電勢大小應為何？(A) 180 V (B) 185 V (C) 190 V (D) 195 V。

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

101 年：下列直流電動機中，若只改變電動機電源之正負極性，下列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。

99 年：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。

99 年：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) 102 A (B) 92 A (C) 82 A (D) 72 A。

98 年：複激式電動機，若分激場繞組所生之磁通與串激場繞組所生之磁通方向相同，則此電動機稱為：(A) 積複激式電動機 (B) 串激式電動機 (C) 差複激式電動機 (D) 分激式電動機。

97 年：一串激式直流電動機，電樞電阻為 0.2Ω ，場電阻為 0.3Ω ，外接電源為 100V，忽略電刷壓降，當電樞電流 40 A 時，轉速為 640rpm。若轉矩不變，轉速變成 400rpm 時，則場電阻值應為何？(A) 0.2 (B) 0.5 (C) 1 (D) 1.05 Ω 。

96 年：直流分激式電動機起動時，加起動電阻器的目的為何？(A) 增加電樞轉速 (B) 降低磁場電流 (C) 增加起動轉矩 (D) 降低電樞電流。

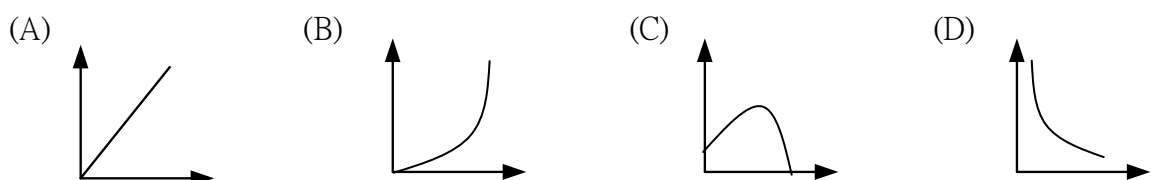
96 年：一 110 V，1 馬力，900 rpm 的直流分激式電動機，電樞電阻為 0.08Ω ，滿載時之電樞電流為 7.5A，則此電動機滿載時之反電動勢為多少？(A) 108.2 V (B) 109.4 V (C) 110.0 V (D) 116.8 V。

96 年：一直流分激式電動機，額定電壓 100V，額定容量 5 kW，電樞電阻為 0.08Ω ，若欲降低起動電流為滿載電流的 2.5 倍時，則電樞繞組應串聯多少歐姆的起動電阻器？(A) 0.09 (B) 0.18 (C) 0.36 (D) 0.72 Ω 。

96 年：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。

95 年：依磁場的組成分類，直流複激式電動機可歸納為哪二種類型？(A) 他激式(外激式)電動機與自激式電動機 (B) 積複激電動機與差複激電動機 (C) 單相電動機與三相電動機 (D) 分激式(並激式)電動機與串激式電動機。

95 年：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？



95 年：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。