

## 第一篇 概論

☆**電工機械** (Electric machinery)：討論以磁為媒介，做能量轉換的電機裝置。

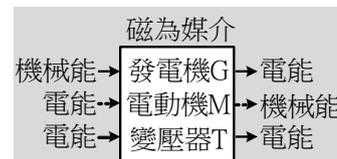
註 1：密爾曼(Millman)博士說電子學是研究帶電質點在氣體、真空或半導體中活動的科學。

註 2：基本電學討論帶電質點在導體中活動的科學。

### 重點 1：電工機械之分類(依能量轉換形式)

1. 發電機 (Generator ; G)：以磁為媒介將機械能轉換為電能的旋轉電機。
2. 電動機 (Motor ; M)：以磁為媒介將電能轉換為機械能的旋轉電機。
3. 變壓器 (Transformer ; Tr)：以磁為媒介將電能轉換為電能的靜止電機。  
 ※ 變壓器一、二次側(電源側、負載側)頻率相同，電壓等級不同，台灣地區的電力系統，其電源頻率為 60 Hz，市電電壓為 110 V，一般住家為單相三線 110V/220V。  
 ※ 台灣電力公司營業規則定義低壓：標準電壓 110 伏、220 伏或 380 伏。高壓：標準電壓 3.3 kV、5.7 kV、11.4 kV 或 22.8 kV。特高壓：標準電壓 69 kV、161 kV 或 345 kV。屋內線路裝置規則(電工法規)未指明「電壓」時概適用於 600 伏以下之低壓工程。  
 ※ 變頻器：輸出電源頻率可變，變頻器內部轉換流程為 AC-DC-AC。

永久磁鐵或電磁鐵產生磁場



### 範例練習與歷屆試題

1. 能將動能轉換成電能的電工機械，稱為 (A)發電機 (B)電動機 (C)變壓器 (D)以上皆非
2. 變壓器的英文名稱是 (A)generator (B)motor (C)transformer (D)electric
3. 下列敘述何者錯誤？ (A)直流發電機就是將機械能轉換成直流電能之電機裝置 (B)交流電動機就是將交流電能轉換成機械能之電機裝置 (C)直流電動機就是將直流電能轉換成機械能之電機裝置 (D)變壓器就是將直流電能轉換成直流電能之電機裝置【93】
4. 目前台灣電力公司在台灣地區的電力系統，其電源電壓頻率為多少？(A)50Hz (B)60Hz (C)100Hz (D)400Hz【94】
5. 電工機械之電動機(馬達)其用途，下列何者正確？(A)機械能轉換為電能 (B)熱能轉換為機械能 (C)熱能轉換為電能 (D)電能轉換為機械能【94 補考】
6. 能將電能轉換為機械能之電工機械稱為：(A)變壓器 (B)電動機 (C)發電機 (D)變頻器
7. 下列有關變壓器之敘述，何者正確？(A)變壓器為一種將機械能轉換成交流電能的裝置 (B)變壓器為一種將直流電能轉換成交流電能的裝置 (C)變壓器為一種將交流電能轉換成交流電能的裝置 (D)變壓器為一種將太陽能轉換成交流電能的裝置【101】

✍ 解答【1】A【2】C【3】D【4】B【5】D【6】B【7】C

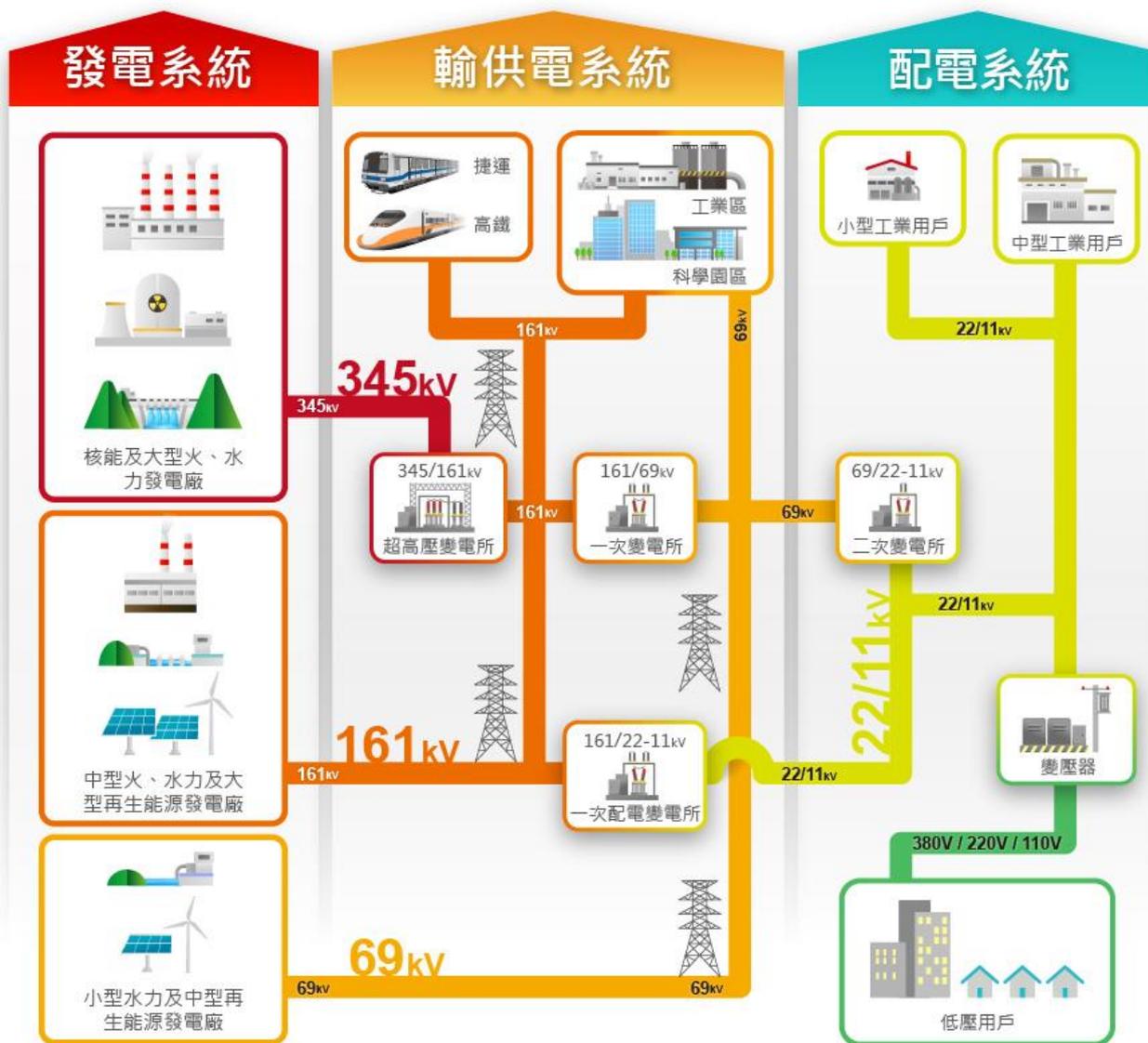
### ☑ 要有常識之直流變頻

直流變頻(DC inverter)，意指壓縮機原使用之交流感應馬達，改為使用直流無刷馬達(DC Brushless Motor)，這裏的直流無刷馬達，為永磁式的同步馬達，其馬達定子仍為矽鋼片體而進行繞線，與原先的交流感應馬達之定子結構相似；馬達轉子則為永久磁石的矽鋼片體，不像一般傳統直流馬達，須具有碳刷方能控制驅動運轉，因此稱為「直流無刷馬達」。由於直流馬達之轉子已具有磁極，所以馬達的驅動方式與交流感應的驅動方式有所不同，其控制需先解讀轉子磁極的位置，方能施予供應電流的方向而驅動，因

此，整體壓縮機的驅動控制架構便有所不同了。大致上，一般交流變頻的空調系統可比定頻的空調系統，節能達 20%以上，而直流變頻的空調系統將又比交流變頻的空調系統，節能達 10%以上。

☑ 要有常識之台電供電系統

如下圖所示台電供電系統，中大型核能、水力、火力發電廠產生電力後，需由變壓器升壓至 345 仟伏特(345kV)的超高壓，再利用輸電線路輸送電力，然後透過超高壓變電所、一次變電所等變電所分別降壓為 161 仟伏特(161kV)、69 仟伏特(69kV)後，提供科學園區、工業區、高鐵和捷運等大型用戶用電，並透過配電變電所、二次變電所及配電系統再降壓分別提供一般用戶或民生用電。



1. 一般發電廠的升壓變壓器多採用(A)Y-Y (B)Y- $\Delta$  (C) $\Delta$ -Y (D) $\Delta$ - $\Delta$  接線。
2. 配電受電端降壓變壓器通常採用之接法為(A)Y-Y (B)Y- $\Delta$  (C) $\Delta$ -Y (D) $\Delta$ - $\Delta$ 。
3. 一次變電所及一次配電變電所的一次側電壓為(A)345 kV (B)161 kV (C) 69 kV (D)22.8 kV

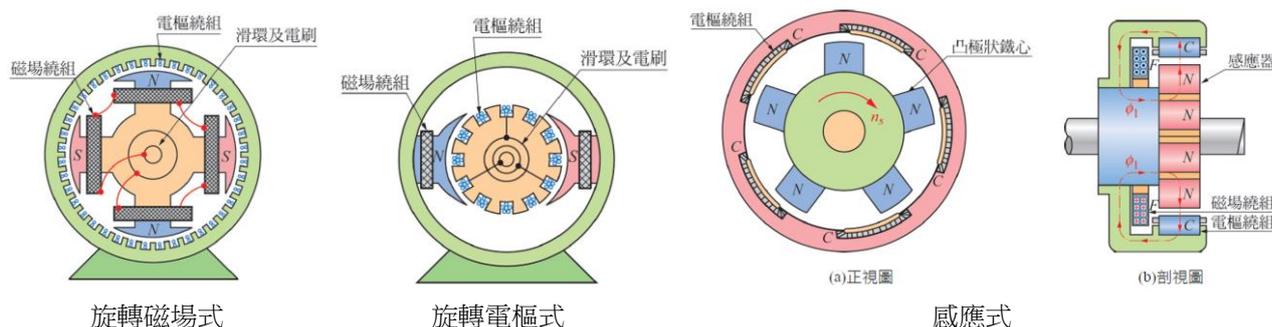
✍ 解答【1】C【2】B【3】B

重點 2：旋轉、靜止電機之分類

1. 旋轉電機：使用時會轉動的電機裝置（例如發電機與電動機）。
2. 靜止電機：使用時靜止不動的電機裝置（例如變壓器）。
3. 特殊電機：特殊用途之電機裝置(例如電動發電機、動力計、自耦變壓器、步進電動機、線性電動機等)。
4. 旋轉電機的繞組（或稱線圈）主要是電樞繞組（電樞線圈）或磁場繞組（磁場線圈）。

※磁場繞組產生磁通，電樞繞組產生感應電勢(發電機)或機械轉矩(電動機)。

- i. 旋轉磁場式：將磁場繞組置於轉子（整台電機可以轉動的部份稱為轉子），電樞繞組置於定子（整台電機不會轉動的部份稱為定子），此種電機稱為旋轉磁場式，簡稱轉磁式。
- ii. 旋轉電樞式：將電樞繞組置於轉子，磁場繞組置於定子的電機裝置，簡稱轉電式。
- iii. 感應式：電樞繞組與磁場繞組均置於定子，轉子有突出齒之鐵心，適用於高頻或風力發電。



※應電勢頻率  $f$  (Hz) = P' (凸出齒數) × n (轉速 rps)。

$$n_s = \frac{120f}{p} (r.p.m.) = \frac{2f}{p} (r.p.s) = \frac{2f}{2p'} = \frac{f}{p'}$$

5. 實用型風力渦輪發電機，一般使用二或三個轉子翼片之水平軸、升力型、少葉片感應式或同步式發電機，因為實驗顯示，這種形態可在效率、動態性能與結構經濟性之間提供最佳的平衡。

範例練習與歷屆試題

1. 下列何者不是旋轉電機? (A)感應電動機 (B)同步發電機 (C)萬用電動機(universal motor) (D)變壓器
2. 磁場繞組置於轉子，而電樞繞組置於定子的電機，稱為 (A)旋轉磁場式 (B)旋轉電樞式 (C)感應式 (D)以上皆非
3. 一般風力發電機皆採用 (A) 同步發電機 (B) 直流發電機 (C) 轉磁式發電機 (D) 感應式發電機
4. 某高頻率發電機之感應器的凸極數為 50 個，若將此感應器以 1200rpm 旋轉，則其頻率為多少? (A) 20Hz (B) 500Hz (C) 1000Hz (D) 2000Hz

解答【1】D【2】A【3】D【4】C

要有常識之風力發電機

風力發動機 ( Wind turbine )，簡稱風機或風力機，將氣流的動能轉為機械能。

水平軸風力發電機可分為升力型和阻力型兩類。升力型風力發電機旋轉速度快，阻力型旋轉速度慢。

對於風力發電，多採用升力型水平軸風力發電機。大多數水平軸風力發電機具有對風裝置，能隨風向改變而轉動。對於小型風力發電機，這種對風裝置採用尾舵，而對於大型的風力發電機，則利用風向傳感元件以及伺服電機組成的傳動機構。葉片安裝在塔架的前面迎風旋轉，叫做上風式風力機；葉片安裝在塔架的下風位置，則稱為下風式風力機。



水平軸風力發電機

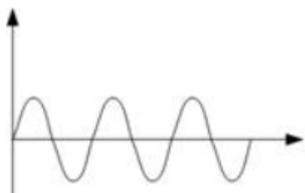


垂直軸風力發電機

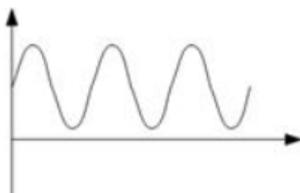
垂直軸風力發電機在風向改變的時候無需對風，在這點上相對於水平軸風力發電機是一大優勢，它不僅使結構設計簡化，而且也減少了風輪對風時的陀螺力。在風輪尺寸、重量和成本一定的情况下，提供的功率輸出低。

重點 3：交直流電機之分類

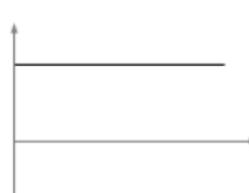
1. 直流 (direct current ; D.C.) 電機：運轉中電路的電壓與電流是直流性質，稱為直流電機 (直流發電機與直流電動機)。



交流



脈動直流

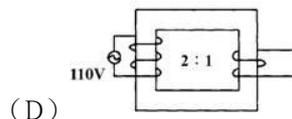
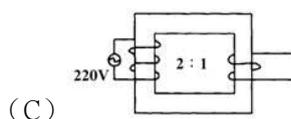
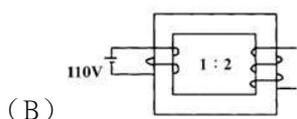
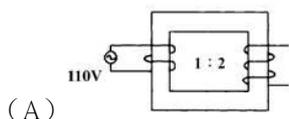


直流

2. 交流 (alternating current ; A.C.) 電機：運轉中電路的電壓與電流是交流性質，稱為交流電機 (交流發電機、交流電動機與變壓器)。

範例練習與歷屆試題

- 若進入直流電機與交流電機的電樞繞組去觀察，其電樞電流分別為 (A) 直流，交流 (B) 交流，直流 (C) 都是直流 (D) 都是交流。
- 下列接法何者可能造成 110V/220V 變壓器燒毀？



【93】

(ref: 電學非瞭 P.6 交流電容抗公式及交流電感抗公式)

✍ 解答 【1】 D 【2】 B

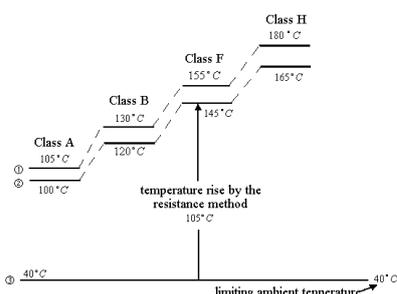
重點 4：電絕緣材料之分類

1. 絕緣材料耐溫等級：

| 級別      | Y       | A        | E        | B        | F        | H        | C        |
|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 可容許最高溫度 | 90°C 以下 | 105°C 以下 | 120°C 以下 | 130°C 以下 | 155°C 以下 | 180°C 以下 | 180°C 以上 |

※CNS 2147 電絕緣材料之分類

2. 一般低壓中小型電機常採用 E 級絕緣材料，中大型高壓電機多使用 B 級絕緣材料。
3. 溫升限度：電機在額定負載下長期運行達到熱穩定狀態時，電機各部件溫升的允許極限，稱溫升限度。以變壓器耐溫等級 A 為例，變壓器繞組、油鐵心及其他部份之溫升在正常使用情況下，CNS 規定繞組溫升（電阻法測定）不得超過 65°C，油上部溫升（溫度計測定）本體內油與空氣不直接接觸不得超過 60°C，本體內油與空氣直接接觸不得超過 55°C，環境週溫以 40°C 為基準。
4. NEMA 絕緣分級圖



根據絕緣分級所允許的使用時馬達溫度極限：  
 ① 在合理的使用期限內最高容許溫度  
 ② 在採用電阻法控制所允許的最高溫度  
 ③ 週圍溫度控制

範例練習與歷屆試題

1. 電工機械中所使用的 E 級絕緣材料，最高容許溫度為 (A)120°C (B) 100°C (C)105°C (D)130°C
2. 絕緣耐溫種類等級由高而低時順序是 (A)F.B.E.A.Y.C.H (B)Y.H.F.C.B.E.A (C)C.H.F.B.E.A.Y (D)C.F.BH.E.A.Y

解答【1】A【2】C

重點 5：電工機械規格

電工機械的規格是針對其製造、特性、容量、絕緣等級、試驗及使用等等，釐定一定的標準，做為製造電機的工廠及使用者遵守的依據，使電機裝置在經濟且安全的使用下發揮高效率。常見規格標準如下：

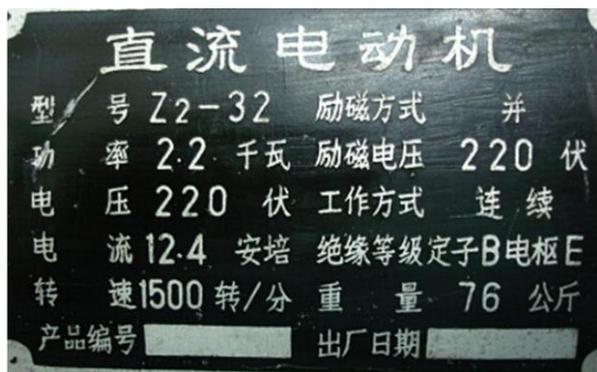
|  |           |
|--|-----------|
| NEMA (National Electrical Manufacturer' s Association) | 美國電機製造協會  |
| ANSI (American National Standard Institute)            | 美國國家標準    |
| CNS (Chinese National Standard)                        | 中國國家標準    |
| IEC (International Electrotechnical Commission)        | 國際電工會會議標準 |
| JIS (Japanese Industrial Standards)                    | 日本工業標準    |
| JEC (Japanese Electrotechnical Committee Standards)    | 日本電氣工程學會  |
| BS (British Standards)                                 | 英國國家標準    |
| VDE (Verband Deutscher Elektrotechniker)               | 德國電機協會    |
| ISO (International Organization for Standardization)   | 國際標準協會    |

範例練習與歷屆試題

1. ISO是 (A)國際標準協會 (B)美國國家標準 (C)中國國家標準 (D)歐盟標準協會 的英文簡稱
2. 在電工機械所引用的規格標準中，下列何種是由美國所制定的標準？(A) CNS (B) IEC (C) NEMA (D) VDE

【91】

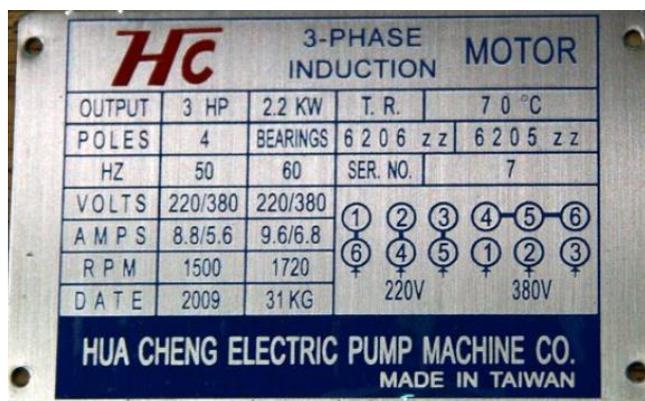
直流電動機銘牌範例



直流無刷馬達規格範例

|         | 單位          | BLDC103   |
|---------|-------------|-----------|
| 額定電壓    | V(DC)       | 310       |
| 無載轉速    | R.P.M.      | 3100±10%  |
| 額定扭力    | N·m (Kg·cm) | 0.89(9.1) |
| 額定轉速    | R.P.M.      | 2150±10%  |
| 額定電流    | A           | 0.78      |
| 輸出功率    | W           | 200       |
| 電阻      | Ohm         | 17.7±5%   |
| 電感      | mH          | 109±30%   |
| 馬達重量    | Kg          | 2.3       |
| 絕緣等級    |             | F級(155°C) |
| 使用時周圍溫度 | °C          | -10~50    |

感應電動機銘牌範例



變壓器銘牌範例



## 重點 6：銘牌 (name plate)

電機裝置都有銘牌 (name plate)，銘牌上標示該電機的規格及有關項目。所謂額定 (rating) 是指電機在滿載時，輸入與輸出的各項數據，電機在滿載限度內運轉，可以連續安全使用。

一般電機銘牌 (name plate) 所載資料如下：

## 變壓器銘牌標示項目：

1. 名稱 (指明變壓器)
2. 型別
3. 相數
4. 額定容量 (kVA)
5. 額定週頻 (Hz)
6. 額定一次及二次電壓 (V)
7. 分接頭電壓 (V)
8. 阻抗電壓 (%)
9. 一次額定電流 (A)
10. 二次額定電流 (A)
11. 基準衝擊絕緣強度 (BIL kV)
12. 內部接線圖 (三相者另附相序關係圖)
13. 油量 (l)
14. 總重量 (kg)
15. 溫升限度 (以 $^{\circ}\text{C}$ 表示繞阻溫升標準值)
16. 周圍溫度
17. 適合國家標準號碼
18. 製造廠名稱
19. 製造年月
20. 製造號碼或出品號碼

## 直流電機銘牌標示項目：

1. 名稱
2. 型式記號
3. 額定輸出 (kW 或 W)
4. 額定電壓 (V)
5. 滿載電流 (A)
6. 額定轉速 (rpm)
7. 額定使用種類
8. 激磁方式
9. 激磁電壓及電流
10. 絕緣種類或溫升
11. 軸承種類
12. 製造編號
13. 製造年份
14. 製造廠名或商標

## 低壓單相電動機銘牌標示項目：

1. 名稱 (指明變壓器)
2. 絕緣種類
3. 種類
4. 極數
5. 額定輸出 (kW)
6. 額定電壓 (V)
7. 額定頻率 (Hz)
8. 電流 (滿載電流之近似值，以 A 表示)
9. 轉速 (額定輸出下每分鐘轉速之近似值，以 rpm 表示)
10. 電動機之型式符號
11. 如為電容器啟動型或電容器啟動型電容器運轉型，應註明電容器之容量 ( $\mu\text{F}$ )
12. 製造號碼或編號
13. 製造廠名或商標
14. 製造年份
15. 滿載效率
16. 功率因數

## 範例練習與歷屆試題

1. 為什麼功率因數不會記載在變壓器的銘牌上？ (A)因為功率因數不會變動 (B)因為它不重要 (C)因為功率因數會隨負載量而變，不是定值 (D)變壓器沒有功率因數
2. 直流發電機的輸出是以 (A)馬力 (B)焦耳 (C)庫倫 (D)瓦特 為單位
3. 交流電動機的輸入通常是以 (A)伏特 V (B)伏安 VA (C)瓦特 W (D)馬力 HP 為單位
4. 交流電動機的輸出通常是以 (A)伏特 V (B)安培 A (C)伏安 VA (D)馬力 HP 為單位
5. 直流發電機之額定容量，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 【96】
6. 體積相同之電機，作間接負載使用，其額定比連續負載使用為何？ (A)高 (B)低 (C)相同 (D)無關

✍️解答【1】C【2】D【3】C【4】D【5】B【6】A

## 重點 7：電學基本觀念

## 1. 單位換算：

(1) 電功率 P：1 馬力 = 746 瓦特 = 550 呎磅/秒

(2) 1 度電 = 1kWH

(3) 1kg=9.8nt

## 2. 效率

(1) 效率  $\eta = \frac{\text{輸出}}{\text{輸入}} = \frac{\text{輸出}}{\text{輸出} + \text{損失}} = \frac{\text{輸入} - \text{損失}}{\text{輸入}} \times 100\%$ (2) 總效率  $\eta_T = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \cdots \times \eta_n$  (系統串接時)

## ☞ 範例練習與歷屆試題

1. 功率因數(PF)單位 (A)伏安(VA) (B)乏(VAR) (C)瓦特(watt) (D)沒有單位【88】
2. 三相感應電動機之輸出功率為 2 馬力，換算約為多少 kW？(A) 2 kW (B) 1.5 kW (C) 1.0 kW (D) 0.5 kW【91】
3. 三相感應電動機在運轉時其輸入總功率為 50 kW，若連續運轉 5 小時，且每度電費為 3 元，則此負載需付費多少？(A)750 元 (B)500 元 (C)250 元 (D)150 元【91】
4. 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 %【100】
5. 分激式直流電動機的電源電壓為 200 V 及電流為 20 A，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】

✍ 解答【1】D【2】B【3】A【4】C【5】B

## ☞ 補充 1：

1. 基準衝擊絕緣強度 BIL (Basic Impulse Insulation Level)：以  $1.2 \times 50 \mu\text{sec}$  之標準電壓波，試驗絕緣材料時，材料所能耐受之波形頂值稱為 BIL 或稱絕緣基準。
2.  $1.2 \times 50 \mu\text{sec}$  是衝擊波形的符號，電壓由零升高到顛值的時間為  $1.2 \mu\text{sec}$  在  $50 \mu\text{sec}$  時電壓降到顛值的一半。
3. 絕緣耐壓試驗先做衝擊電壓試驗後做交流電壓試驗。【CNS598，CNS599】
4. 國際電工協會會議制定， $S = V \times I^*$  (IEC 131-11-39)。where \* means complex conjugate : $Q_L$  為正  
【Electric Machinery Fundamentals, 4/E by Stephen J. Chapman 公式 1-70 (page 50)】  
【Electric Circuits, 9/E Nilsson 公式 10.29 (page 372)】

某交流電路，當加入  $V = 20 - j10V$  電源電壓時，若產生  $I = 10 + j5A$  之電流，試求該電路之 (1) $\bar{S}$  (2) $P$  (3) $Q$  (4) PF。

**解**  $\bar{I}^* = 10 - j5A$

$$(1) \bar{S} = \bar{V} \bar{I}^* = (20 - j10)(10 - j5) = 150 - j200$$

$$= \sqrt{150^2 + 200^2} \angle -\tan^{-1} \frac{200}{150} = 250 \angle -53.1^\circ \text{ VA}$$

$$(2) P = 150W$$

$$(3) Q = 200VAR$$

$$(4) PF = \frac{P}{S} = \frac{150}{250} = 0.6 \quad (\because \text{越前功因})。$$

範例練習與歷屆試題

1. 單相負載的電壓降 $v_L(t) = 200\sqrt{2}\sin(377t)V$ ，負載電流 $i_L(t) = 10\sin(377t - 30^\circ)$ ，此負載之平均功率 $P_L$ 及虛功率 $Q_L$ 分別為何？(A)  $P_L = 1000\sqrt{2}\cos 30^\circ W$ ， $Q_L = 1000\sqrt{2}\sin 30^\circ VAR$  (B)  $P_L = 1000\cos 60^\circ W$ ， $Q_L = 1000\sin 60^\circ VAR$  (C)  $P_L = 1000\sqrt{2}\cos 60^\circ W$ ， $Q_L = 1000\sqrt{2}\sin 60^\circ VAR$  (D)  $P_L = 2000\sqrt{2}\cos 30^\circ W$ ， $Q_L = 2000\sqrt{2}\sin 30^\circ VAR$  【103】
2. 有一交流電路，當加入 $\bar{V} = 110\angle 10^\circ V$ 之電源電壓時，產生 $\bar{I} = 10\angle -20^\circ A$ 之電流，求此電路的功率因數及無效功率分別為多少？(A) 0.5 超前、550 VAR (B) 0.866 滯後、550 VAR (C) 0.5 滯後、953 VAR (D) 0.866 滯後、953 VAR 【94 補】
3. 某電路之電壓 $\bar{E} = 20\angle 15^\circ$ ，電流 $\bar{I} = 5\angle -15^\circ$ ，則其平均功率 P 及電抗功率 Q 分別為 (A)86.6 瓦，50 乏電容性 (B)50 瓦，86.6 乏電感性 (C)50 瓦，86.6 乏電容性 (D)86.6 瓦，50 乏電感性 (E)50 瓦，50 乏電容性。

✍️解答【1】A【2】B【3】D

補充 2：常見電機的應用

1. 汽機車啟動馬達：利用電瓶電力使起動馬達(starting motor)旋轉，搖動引擎的曲軸柄使引擎發動，使用直流串激馬達，起動馬達旋轉時所需之大電流一般約100~300 A，馬達上小齒輪與飛輪齒數比約1：15~20，代表馬達電樞需轉動15~20次，才可轉動引擎一轉。
2. 汽車雨刷馬達：常用直流分激式電動機或直流複激式電動機。
3. 蔽極式馬達：小功率電風扇、小功率軸流式電風扇、浴室抽風機。
4. 無刷直流馬達：光碟機主軸馬達、磁碟機馬達、散熱用風扇。
5. 音圈馬達(VCM)：讀寫頭搖臂控制、鏡頭對焦。利用揚聲器原理的一種線性馬達。
6. 超音波馬達(Ultrasonic Motor, USM)：鏡頭對焦。
7. 步進馬達：印表機、繪圖機、X-Y工作台、雕刻機、3D印表機，屬於直流無刷。
8. 汽車發電機：直流發電機或交流發電機(整流器)。

☑️ 要有常識之汽車發電機

車輛的發電機，是靠引擎的運轉來發電，因為引擎轉速隨時在變化，所以發電機所產生的電壓也經常在變動；車輛發電機的設計目的是希望引擎盡量在低速迴轉時，也能產生規定的電壓，而當引擎在高速迴轉運作時，發電機產生的電壓也不可以比規定的電壓還要高；引擎轉速從怠速到高速運轉時，發電機要能夠輸出一定的電壓範圍，因此發電機的內部，主要是靠電壓調整器來控制發電機產生一定的電壓。

發電機所產生的電壓，理論上會與引擎迴轉速度成等比提高，所以只要隨著引擎轉速的上升讓磁力線密度變小，也就是使磁場減弱，就可以控制發電機的輸出電壓。但是因為電壓會因為車輛當時使用的電器負載不同而變化，例如當使用大燈或雨刷器時電壓就會下降，因此在實際的電壓控制上，並不是因為引擎迴轉速度變化而影響發電機的輸出電壓，主要控制的原則是當發電機所產生的電壓比規定值(需求)大時，就減少轉子線圈的激磁電流；反之，所產生的電壓比規定值(需求)小時就增加激磁電流，以這種方法經常對引擎迴轉或電器負載的變動來控制使發電機產生一定的電壓，而這種控制電壓的儀器則稱為電壓調整器。

