

26602/2508

第八篇 電機設計

目 錄

頁

第一章 基本事項

1.1	引用規格	8— 1
1.2	電機之額定容量與感應電勢	8— 2
1.3	溫升	8— 6
1.4	損失及效率	8— 13

第二章 變壓器

2.1	變壓器之分類	8— 18
2.2	變壓器之規格	8— 19
2.3	變壓器之設計實例	8— 25
2.3.1	規範	8— 25
2.3.2	主要計算	8— 25
2.3.3	線圈大小	8— 28
2.3.4	電阻及電抗	8— 29
2.3.5	電壓變動率	8— 30
2.3.6	損失	8— 31
2.3.7	激磁電流	8— 31
2.3.8	溫升	8— 34
2.3.9	主要材料使用量	8— 35
2.3.10	設計表	8— 36
2.3.11	變壓器設計計算順序	8— 38

第三章 感應電動機

3.1	感應電動機之分類	8— 41
3.2	感應電動機之規格	8— 42
3.3	感應電動機之繞組	8— 43
3.4	感應電動機之設計實例	8— 46

3•4•1	規範	8—46
3•4•2	主要計算	8—47
3•4•3	定子鐵心	8—49
3•4•4	空氣隙	8—50
3•4•5	鼠籠型轉子電流	8—50
3•4•6	轉子鐵心	8—51
3•4•7	激磁電流	8—52
3•4•8	電阻	8—52
3•4•9	漏磁電抗與總漏磁係數	8—53
3•4•10	損失與效率	8—55
3•4•11	溫升	8—58
3•4•12	主要材料使用量	8—58
3•4•13	設計表	8—59
3•4•14	感應電動機設計計算順序	8—60

第四章 同步發電機

4•1	同步機之定義	8—65
4•2	同步機之分類	8—65
4•3	同步機之額定值	8—66
4•4	同步發電機之設計實例	8—67
4•4•1	規範	8—67
4•4•2	主要計算	8—67
4•4•3	電樞之尺寸與槽絕緣	8—69
4•4•4	電樞反應	8—71
4•4•5	電壓變動率與空氣隙	8—71
4•4•6	磁極與激磁繞組	8—75
4•4•7	磁路之安匝數	8—76
4•4•8	電樞電阻與漏磁電抗	8—78
4•4•9	負載狀態之特性曲線	8—79
4•4•10	損失與效率	8—81
4•4•11	溫升	8—83
4•4•12	設計表	8—84
4•4•13	同步發電機設計計算順序	8—85

第五章 直流機	
5•1 直流機之分類	8—89
5•2 直流機之感應電勢，輸出功率，轉矩	8—89
5•3 直流機之電樞繞組	8—90
5•4 直流發電機之設計實例	8—93
5•4•1 規範	8—93
5•4•2 主要計算	8—93
5•4•3 電樞之尺寸與槽絕緣	8—95
5•4•4 電樞反應與空隙長	8—96
5•4•5 磁極與軀鐵	8—98
5•4•6 激磁安匝與繞組	8—99
5•4•7 電樞繞組與整流子	8—102
5•4•8 整流作用與間極	8—103
5•4•9 磁路之安匝數	8—108
5•4•10 電壓變動率	8—110
5•4•11 損失與效率	8—112
5•4•12 溫升	8—114
5•4•13 設計表	8—115
5•4•14 直流發電機設計計算順序	8—116
第六章 附註	8—121

第八篇

電機設計

張家澤

第一章 基本事項

1.1 引用規格

規格之統一可使產品所需零件標準化，而降低製造成本。製造廠之規格除顧客特別有指定之外，應以國家標準，或權威之公認標準為依據。其較常引用之標準計有下列各類：

1.1.1 CNS (中國國家標準)

係經濟部中央標準局所編訂發行。

1.1.2 JIS (Japanese Industrial Standards)

為日本之國家標準，全名為日本工業規格。

1.1.3 JEC (Japanese Electrotechnical Committee)

為日本電氣學會電氣規格調查會之規程，該學會為國際電氣技術委員會 (International Electrotechnical Commission, IEC) 會員之一，因此與國際上大多數主要工業國家有密切之聯繫。

1.1.4 JEM (Japanese Electrical Manufacturers' Association)

為日本電機製造協會之同業規約，部分規定略比 JIS 嚴格，但在本國內並不常用。

1.1.5 ASA, 現已更名為 USA (United States Standards Association)

為美國之國家標準，在電機及電力設備方面，引用得比 JIS 為多。

1.1.6 NEMA (National Electrical Manufacturers'

Association)

為美國電機製造同業之權威規範，多數電力設備機器之標準均為 USA 所採用。故亦為常用之標準，唯一要注意者，既為製造同業之公約，任何會員均隨時可提議修訂，因此其權威性略不如 USA。

1.1.7 BSS (British Standards Specification)

為英國之國家標準。在本國一般作為參考比較之用，比直接引用之機會多。

1.1.8 VDE (Verband Deutscher Elektrotechniker)

為德國之標準，在歐洲大陸電機標準之代表性規格。在本國亦屬參考比較，比直接引用者多。

1.2 電機之額定容量與感應電勢

電氣機器之感應電勢及其額定容量（如在電動機時，指其額定輸出時之輸入電力），可以如表 8.1.1 所示：

表 8.1.1 電氣機器感應電勢與額定容量

機 種	感應電勢 (V)	額定容量 (KVA 或 KW)
直 流 機	$2 \frac{Z}{a} \phi \cdot f$	$2 (ZI_a) \phi \cdot f \times 10^{-3}$
交 流 機	$2.1 Z \phi \cdot f$	$2.1 (mZI) \phi \cdot f \times 10^{-3}$
變 壓 器	$4.44 n \phi \cdot f$	$4.44 (m \cdot nI) \phi \cdot f \times 10^{-3}$

表中：Z：電機轉子或固定子之總導線數（直流機）或為每相之導線數（交流機）

a：並聯電路數（直流機），

n：卷數，

m：相數，

I_a ：每並聯電路之電流 [A]，

I：每相之電流 [A]，

ϕ ：每極之有效磁通數（在變壓器時為主磁通之最大值）[Wb]，

f：週率數 [c/s]。

如圖 8.1.1 所示，電氣機器各極或各腳（變壓器）均為對稱，且為相同之構造。因此如以 A_1, A_2 代表各極或各腳之安培匝數則電氣機器之額定容量可

以下式表示：

$$\left. \begin{aligned} \text{回轉機器} \quad KVA &= K_0 p A_c \phi f \times 10^{-3} \\ \text{變壓器} \quad KVA &= K_0 p A_t \phi f \times 10^{-3} \end{aligned} \right\} \quad (8.1.1)$$

上式 K_0 , $p \times A_c$, $p \times A_t$ 之常數如表 8.1.2 所示：

式 8.1.1 中之 A_c 或 A_t 稱為電氣負載 (electric loading), ϕ 稱為磁氣負載 (magnetic loading)。

表 8.1.2 K_0 , $p \times A_c$, $p \times A_t$

機 種	常 數 (K_0)	安培匝數 $p \times A_c$ (迴轉機) $p \times A_t$ (變壓器)
直 流 機	2	ZI_a
交 流 機	2.1	mZI
變 壓 器	4.44	mNI

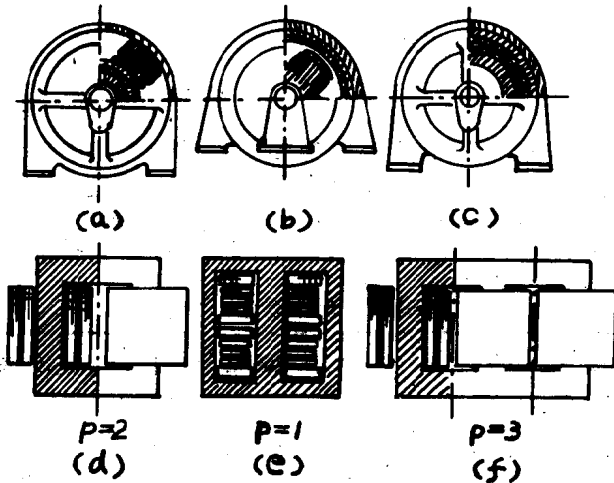


圖 8.1.1 電機之對稱構造

現以 A_c 表示電氣負載時，式 8.1.1 可以下式表示

$$KVA = K_0 p A_c \phi f \times 10^{-3} \quad (8.1.2)$$

設 $S = \frac{KVA}{P}$ ，並設 A_c 之單位為 10^3 安培匝，

$$\text{則 } \frac{S}{f} = K_o \cdot A_c \cdot \phi \quad (8.1.3)$$

S/f 一般稱為比容量。由式 8.1.3 可知，電氣機器之比容量係與電氣負載及磁氣負載之乘積成比例。因此就同一比容量而言，不管電氣負載及磁氣負載如何分配均無關，只是分配之方法對於機器之效率、功率、溫升以及其他特性有直接之影響。因此必須要有適當之分配。換言之，電氣負載與磁氣負載之分配即為電機設計之關鍵。

茲假定 r 為分配常數， C 為常數，則有 $\phi = CA_c^r$ 之關係成立，將其代入式 8.1.3

$$A_c = A_{c0} \left(\frac{S}{f} \right)^{\frac{1}{1+r}} \quad (8.1.4)$$

$$\phi = \phi_0 \left(\frac{S}{f} \right)^{\frac{r}{1+r}} \quad (8.1.5)$$

上式，

$$A_{c0} = \frac{1}{K_o \frac{1}{1+r} \cdot C \frac{1}{1+r}}, \quad \phi_0 = \frac{C}{K_o \frac{r}{1+r}}$$

A_{c0} 稱為基準電氣負載， ϕ_0 為基準磁氣負載。最近電氣機器之 r 、 A_{c0} 及 ϕ_0 如表 8.1.3 所示。

表 8.1.3 電氣機器之 r 、 A_{c0} 及 ϕ_0

常 數		r	A_{c0} [10^3 單位]	ϕ_0 [10^{-1} 單位]
機 種	直 流 機	1.5	0.85~0.74	0.28~0.34
	轉 交 流 機	1.6		
	機 感 應 電 動 機	1.3		
變 壓 器		1	0.76~0.63	0.30~0.36

$$x = \frac{\phi}{\phi_0} = \left(\frac{s}{f}\right)^{\frac{r}{1+r}}$$

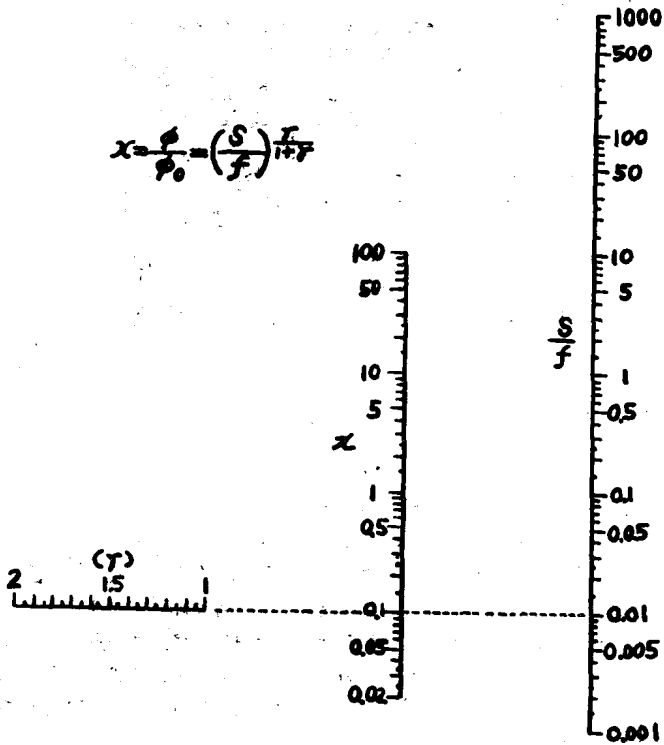


圖 8.1.2 計算圖表

實用計算為由式 8.1.5 得

$$x = \frac{\phi}{\phi_0} = \left(\frac{s}{f}\right)^{\frac{r}{1+r}} \quad (8.1.6)$$

圖 8.1.2 為表示 x 、 $\frac{s}{f}$ 及 r 之關係。

假定某一機器之分配常數為 r ，比容量為 $\frac{s}{f}$ 時，由圖表可求出 x 值。

如此求出之 x 與 $\frac{s}{f}$ 之關係圖為圖 8.1.3。

由表 8.1.3 選定適當之 ϕ_0 ， $\phi = x \phi_0$ 關係決定磁氣負載 ϕ ，同時電氣負載

亦可決定。

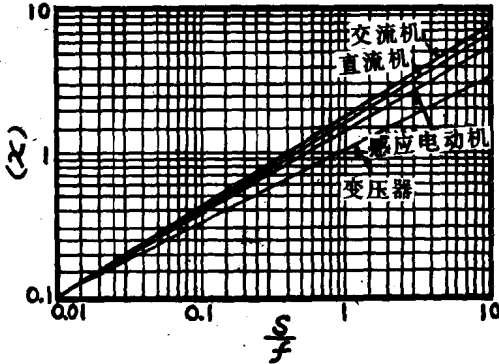


圖 8-1.3

1.3 溫升

電機由於電流經過線圈、繞組等導體電阻而發熱，又有磁滯 (hysteresis)、渦流 (eddy current) 等引起之鐵損 (iron loss) 所引起之發熱。在正常情況下，熱量的大部份都產生在有效材料內，即產生在銅及有效鐵內；僅巨型電機才有相當大的損失產生在機件（如端夾板、軸承蓋及繞組支撐環）內。

如一物體上任何一部份產生熱量，則該部份的溫度將因之升高。產生熱量物體內部之熱量均衡度愈小，及其向四周之散熱能力愈小，則其溫升亦愈高。故在電機中，所用材料不僅要有好的熱導係數，而且也要注意使繞組及鐵向四周有優良的散熱能力。

電機向四周散熱之方法通常有兩種，即輻射及對流，後者熱為流動之空氣所帶走（直接傳導於機殼上及軸承散出之熱量普通甚微）。機殼有輻射散熱之功效，它將熱量之一部份輻射出去。

1.3.1 輻射散熱 (radiation)

按史迪芬鮑爾茲曼 (Stefan-Boltzmann) 定律，每秒鐘內由每平方公尺表面上所輻射出之熱量

$$Q_r = \sigma T^4 \text{ W/m}^2 \quad (8-1.7)$$

上式 σ 為純黑體的輻射常數， T 為物體之絕對溫度。

由實驗結果，機器表面之絕對溫度為 T_1 (°K)，四周之絕對溫度為 T_2 (°K)

· 從實驗得出純黑物體之輻射常數為 $5.7 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$ ，隨輻射體表面之性質而變之相對輻射因數為 V 時

$$Q_r = 5.7 \cdot V \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad [W/m^2] \quad (8.1.8)$$

V 之大小可從下面表 8.1.4 中查出。

表 8.1.4 輻射因數

表 面	V	表 面	V
純 黑 物 體	1.00	磨 光 鍍 鐵	0.29
粗 鈍 鐵	0.97	凡 立 水 、 油	0.8~0.9
毛 面 鍍 鐵	0.95	毛 面 黃 銅	0.20
纖 維 質 及 絕 緣 紙	0.90	磨 光 純 銅	0.17

電機通常所達之溫度可以近似方法算出

$$Q_r = h_r \cdot \theta \quad [W/m^2] \quad (8.1.9)$$

散熱係數 h_r ，之變動範圍很小，如假定表面溫度升為 $40^\circ C$ ，四周溫度為 $20^\circ C$

· 則 $h_r \approx 6 \quad [W/m^2 \cdot C] \quad (8.1.10)$

設表面與四周之溫度差為 θ 時，則每平方公尺表面上向四周輻射出去之熱量為 $6 \theta W$ 。輻射面積以表面與自由空氣相接觸者為限。

表 8.1.5 為 $V = 0.85$ ，機器表面最初溫度 $t_2 = 10^\circ, 20^\circ, 33^\circ$ 時 $\theta = 5 \sim 80^\circ$ 之散熱係數 h_r 值。

表 8.1.5 散熱係數

θ [$^\circ C$]	t_2 [$^\circ C$] 最初溫度		
	10°	20°	30°
5	4.63	5.03	5.65
10	4.65	5.16	5.69
20	4.91	5.42	5.98
30	5.17	5.71	6.28
40	5.44	6.05	6.59
50	5.73	6.30	6.91
60	6.03	6.62	7.25
70	6.34	6.95	7.60
80	6.67	7.30	7.98

1.3.2 對流散熱 (convection)

發熱體被流體所包圍，則熱必傳及接近發熱體之流體，使該部份之溫度上升。加熱流體增加浮力上升後引進較冷流體，繼之又被加熱。由循環傳熱，即成爲傳導與對流現象。該單位時間內由單位面積依此原理散出之熱量爲 Q_c ，散熱係數爲 h_c ，則

$$Q_c = h_c \theta \quad [W/m^2] \quad (8.1.11)$$

1.3.2.1 物體與冷却介質間無相對速度之 h_c 實驗值。

(1) 垂直面時：

$$h_c = 2.55 \sqrt{\theta} \quad [W/^\circ C \cdot m^2] \quad (8.1.12)$$

(2) 水平面時：

$$h_c = 3.23 \sqrt{\theta} \quad [W/^\circ C \cdot m^2] \quad (8.1.13)$$

(3) 全閉型電機及油浸變壓器時：

$$h_c = 6.5 + 0.05 \theta \quad [W/^\circ C \cdot m^2] \quad (8.1.14)$$

(4) 冷却介質爲液體時：因比重、熱導係數較空氣爲大，如變壓器油時，

$$h_c = 110 \quad [W/^\circ C \cdot m^2] \quad (8.1.15)$$

1.3.2.2 物體與空氣間有相對速度（如電機轉子）之 h_c 實驗值。

(1) 固定圓筒表面吹空氣時：

① 在磨光黃銅圓筒表面，以直徑方向由相反兩所 V (m/秒) 速度空氣時：

$$h_c = 10 (1 + 0.78 V^2) \quad [W/^\circ C \cdot m^2] \quad (8.1.16)$$

② 上列圓筒以棉布絕緣時：

$$h_c = 10 (1 + 0.54 V^2) \quad [W/^\circ C \cdot m^2] \quad (8.1.17)$$

(2) 有銹銅板表面平行流動空氣時：

$$h_c = 7.14 V^{0.78} \quad [W/^\circ C \cdot m^2] \quad (8.1.18)$$

空氣速度爲 V (m/秒)

(3) 銅圓筒在不流動空氣中回轉時：

① 擦銅圓筒以 V (m/秒) 速度回轉時：

$$h_c = 3.68 (1 + 0.96 \sqrt{V}) \quad [W/^\circ C \cdot m^2] \quad (8.1.19)$$

② 銅圓筒表面塗凡立水時：

$$h_c = 5.96 (1 + 0.75 \sqrt{V}) \quad [W/^\circ C \cdot m^2] \quad (8.1.20)$$

1.3.3 時定數 T

電機機器由使用開始溫度上升，其熱容量 C 依使用額定，廠家設計差異，因此溫度上昇曲線亦稍有出入。吾人暫把這溫度上昇至 63.2% 所需時間稱謂該機器的時定數。這與電氣回路 L.C. 之時間常數，意思相同，後者指電流變化至 63.2% 之時間，前者指溫度上昇至 63.2% 之時間。今假設散熱係數一定，該機器本身損失電力為 P，微分時間為 dt，周圍溫差為 θ ，A 為機器的散熱面積，則公式可如下列出：

$$P_{\theta} = Cd\theta + hA\theta dt$$

整理為 $dt = \frac{Cd\theta}{P - hA\theta}$

$$t = -\frac{C}{hA} \log \left(1 - \frac{hA}{P} \theta \right) \quad (8.1.21)$$

則 $\theta = \frac{P}{hA} (1 - e^{-\frac{t}{T}})$ $T = \frac{C}{hA}$ 時定數

若 $t = T$ 則 $\theta = 63.2\% \frac{P}{hA}$ ①

若 $t = \infty$ 則 $\theta = \frac{P}{hA}$ ②

①式說明 當 $t = T$ 時，其溫度為 $63.2\% \frac{P}{hA} \text{ } ^\circ\text{C}$

②式說明 經常運轉之最高溫昇 $\frac{P}{hA} \text{ } ^\circ\text{C}$

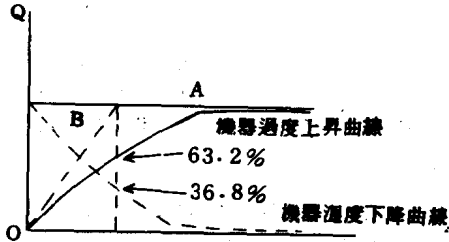


圖 8.1.4 機器溫度變化曲線

又 $t = 0$ 時 OA 曲線之切線正相交於 θ_i 上的 B 點

$$\therefore \frac{d\theta}{dt} = \frac{\theta_i}{T} = \frac{P}{hA} \cdot \frac{hA}{C} = \frac{P}{C}$$

其意義即指最初溫度上昇情形，熱完全被機器吸收，該機器亦不散熱，在 T 時間內溫昇即達 θ_i ，因此可見時定數非常有意義。

冷却曲線亦如上圖，其意義即

$$Cd\theta + hA\theta dt = 0$$

$$\theta = \theta_i e^{-\frac{t}{T}} \quad (8.1.22)$$

設 $T = \frac{C}{hA}$ ，在 $t = T = \frac{C}{hA}$ 時其溫昇即降為 36.8%。

電動機開放型之時定數為 20 ~ 30 分，全閉外扇形為 40 ~ 80 分，全閉自冷型為 80 ~ 120 分。變壓器之時定數大約在 2 ~ 4 小時。變壓器線圈之時定數為 10 ~ 30 分。

1.3.4 使用種類

電機不一定都連續運轉，另有短時間使用，間歇使用。連續使用電機如果用於短時間，間歇等運轉，則出力當可較大，因此本節專介紹使用。

1.3.4.1 連續使用。

1.3.4.2 短時間使用：短時間在一定負載底下，未超過最高溫昇，在下次啟用前，機器溫昇已降到周溫之使用法。

另外又有短時間負荷連續使用。即短時間負荷，然後空轉之謂也。變壓器常遇該情形，顯得耐過載使用。

1.3.4.3 斷續使用：在第二次使用前機器溫昇尚未恢復到周溫，機器又斷續使用者稱謂斷續使用。

又有斷續負荷連續使用，意思指斷續負荷與空轉。

1.3.4.4 反復使用：負荷一停止週期性反復使用。

又有反復負荷連續使用，意指負荷一空轉週期反復使用。

1.3.5 使用額定

額定出力，額定電壓，額定周波數，額定迴轉數。此處指額定輸出，而額定輸出又分下列數種：

1.3.5.1 連續額定。

1.3.5.2 短時間額定：就是短時間使用額定。

1.3.5.3 反復額定：週期性負荷反復使用之額定。

週期性負荷空轉反復使用之額定稱謂反復連續額定。

1.3.6 額定與使用之關係式

一般機器之額定均明確訂在銘牌上，連續的用連續額定機器，短時間使用的機器用短時間額定，反復使用者選反復額定。至於其他，其額定之選擇則按機器發熱溫度上昇及冷却溫度下降情形，選擇較近似的連續額定機器，短時間額定機器或反復額定機器來使用。

1.3.6.1 設今有部連續額定機器，將作為短時間 t_s (分) 額定使用，則出力所增倍率為 γ

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{1 - \epsilon - t_s / \tau_n}} \quad (8.1.23)$$

τ_n 為該機器的時定數

[例題] 開放型連續額定 7.5 kw 電動機，將作為 30 分短時間額定使用，問該機器將可負荷幾 kw。按該機器 $\tau_n = 25$ 分

$$\therefore \gamma = \sqrt{\frac{1}{1 - \epsilon - \frac{30}{25}}} = 1.2$$

$$7.5 \text{ kw} \times 1.2 = 9 \text{ kw}$$

\therefore 該機器作為 30 分短時間使用，可負荷 9 kw。

1.3.6.2 連續額定機器，作為反復額定使用，將增加 γ 倍出力。

$$\gamma = \sqrt{\frac{t_1 + \frac{\tau_h}{\tau_c} t_2}{t_1}} \quad (8.1.24)$$

t_1 為負荷時間， t_2 為停止時間， τ_h 為該機器發熱溫度上升的時定數， τ_c 為冷卻溫度下降的時定數。

靜止電機自冷式，迴轉電機他力通風形 $\tau_c = \tau_h$ 其他則出入很大，宜注意及之。

1.3.6.3 如下圖，在 t_p 週期中負荷變化四種，其等價連續負荷 P_e 。

$$P_e = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3 + P_4^2 t_4}{t_p}}$$

此公式是 t_p 在時定數內，又 $\tau_c = \tau_h$ 之下成立。

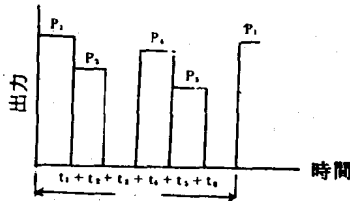


圖 8.1.5 負載循環變化情形

1.4 損失及效率

1.4.1 電機損失 (loss) 可分為

1.4.1.1 固定損失：包括鐵損、轉動摩擦損、風損。

1.4.1.2 負載直接損失：包括銅損、激磁電路之電阻損、電刷電阻損。

1.4.1.3 其他派生負載損失：包括導體中及鐵中。

1.4.2 鐵心之鐵損

此項鐵損包括磁滯損 (hysteresis loss) 及渦流損 (eddy current loss)。

1.4.2.1 磁滯損失

週率數 f [~] 之交變磁場在鐵心之磁滯損失

$$W_H = \epsilon \frac{f}{100} B_m^2 \quad [W/kg] \quad (8.1.26)$$

上式 B_m 表示平均磁通密度 $[Wb/m^2]$ ， ϵ 表示材料常數，如表 8.1.6 所示。

表 8.1.6 ϵ 與 σ

電氣鐵片種類	厚度 (mm)	ϵ	σ
普通	1.0	4.4	22.4
	0.5	4.4	5.6
	0.35	4.7	3.2
高級	0.5	3.0	1.2
	0.35	2.4	0.6

發生於電機之鐵心內之旋轉磁場磁滯損失，係隨磁通密度之增加而增加，但達到某一最大値之後，如磁通密度再增加，磁滯損反而急速減少。其情形如圖 8.1.4 所示。

其最大値依材料種類而變，一般的約在 $1.2 \sim 2.0 Wb/m^2$ 之磁通密度時發生。普通之薄鐵片約在 $1.6 Wb/m^2$ 附近達最高值，而在 $2.4 Wb/m^2$ 附近時幾達於零。

1.4.2.2 渦流損失

週率數 f [~] 之交變磁場在鐵心之渦流損失

$$W_E = \sigma \left(\frac{f}{100} \cdot B_m \right)^2 \quad [W/kg] \quad (8.1.27)$$

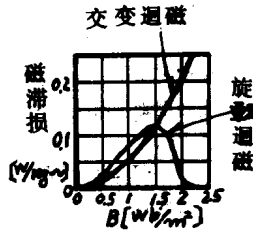


圖 8.1.6 磁滯與磁滯損

上式 B_a 表示鐵片断面中之平均磁通密度 $[Wb/m^2]$, σ 表示材料常數, 與鐵上電導係數有關, 隨鐵之分子與化學性質而變化, 如表 8-1-6 值所示。

在旋轉電機發生之渦流損失與極數, 鐵心徑方向之寬 $d_c [m]$, 極間隔 $\tau [m]$ 之比 d_c/τ 有關。其渦流損失與 d_c/τ 之關係如圖 8-1-5 所示。經常 d_c/τ 值為在 $0.2 \leq d_c/\tau \leq 0.4$ 之範圍。

1.4.3 電機齒損失

齒內僅發生交變磁, 故磁滯損失可用下列公式計算之。

$$W_H = \epsilon \frac{f}{100} B_a^2 G, \quad (8-1-28)$$

G , 為齒之重量, 此公式僅當磁場曲線為正弦形時有效。如磁場曲線非正弦形, 則齒內渦流損失因高次諧波 B_2, B_3, \dots 比例增高

$$K_w = \frac{B_1^2 + 4B_2^2 + 9B_3^2 + \dots}{B_1^2} \quad (8-1-29)$$

例如在直流電機之正常無載磁場曲線時, $K_w \approx 2$ 。在交流電機之磁場曲線為正弦形時, 齒內鐵損不必用式 8-1-23, 式 8-1-24 去計算, 只須將損失因數按磁通密度及速率比例加以換算, 再以齒鐵之重量相乘即可。

1.4.4 總鐵損

一般電機之鐵損總比上列計算值大, 其主要因為: ①工作時加機械應力, 增加磁滯損。②壓積時損壞各層絕緣, 增加渦流損。因此綜合旋轉機之鐵損可以如下表示。電機鐵心損失為:

$$W_c = (k_H W_H + k_E W_E) [W/kg]$$

上式旋轉電機型時	$k_H = 2$	$k_E = 2.3$
旋轉磁機型時	$k_H = 2$	$k_E = 1.8$

齒內部份之鐵損:

$$\bar{W}_c = (k_H W_H + k_E W_E) [W/kg]$$

上式直流機時	$k_H = 1.2$	$k_E = 3$
同步機及不同步機時	$k_H = 1.2$	$k_E = 1.5$

1.4.5 變壓器之鐵損

變壓器之磁損即純屬於交變磁, 其損失可利用式 8-1-21 及式 8-1-22 計

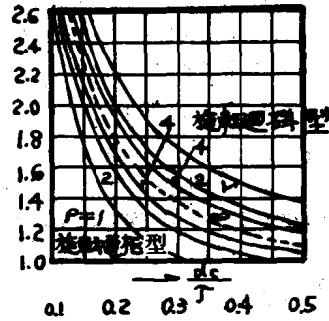


圖 8-1-7 渦流損與 d_c/τ 之關係