

電機機械實習

國家科學叢書編輯委員會 編著

國家書店有限公司印行

序

現今國內有關電工、電子的各類書籍，真可謂洋洋大觀、琳琅滿目，其中雖不乏精良之教科書及技術用書，然以電工、電子科技領域之廣濶及不斷開發之新境界，其相關圖書之問世仍屬方興未艾。此不爭之事實，激起國家書店本乎一股服務社會之熱忱，組成「科學叢書編輯委員會」，動員學術界與工業界之熱心人士，不惜巨資出版一系列的實務技術叢書，為科技界貢獻一份棉薄之力，藉收拋磚引玉之效。

本系列叢書分為電工與電子兩大部份，共有 12 個單元，計 14 冊（電子實習一書計分三冊），舉凡電工、電子的基礎實用技術均有廣泛之涉及。電工實作、實習、實務技術叢書包含六個單元：(一)屋內配線，(二)電機機械實習，(三)最新電動機之理論及實務，(四)家庭電器實務，(五)電工儀表實習，(六)電氣圖學。電子實作、實習、實務技術叢書亦包含六個單元：(一)電子實習，(二)專題製作，(三)邏輯電路實習，(四)電子零件製造及檢驗（實習），(五)電子工廠實習、經驗、技術手冊，(六)數位系統設計原理及實務。不但可提供學校或職訓中心之教材，亦可供從業人員參考之用。

「科學叢書編輯委員會」對本系列電工、電子叢書之編撰校核，如臨深淵，如履薄冰，力求嚴謹，惟疏漏掛誤之處恐仍難免，尚祈學人先進不吝惠予指正，俾使本系列叢書更臻完善，則不勝銘感。

國家科學叢書編輯委員會 謹誌

目 錄

第一章 實驗之預備常識	1
第二章 直流機實驗	11
實驗 1 直流機之預備實驗 (I)——直流機之構造觀察	11
實驗 2 直流機之預備實驗 (II)——直流機繞組電阻及絕緣電阻之 測定	13
實驗 3 各式發電機之無載特性實驗 (I)——直流他激發電機無載 特性	19
實驗 4 直流自激式發電機無載特性	25
實驗 5 並激發電機之負載特性實驗	31
實驗 6 複激發電機之負載特性實驗	35
實驗 7 直流並激發電機並聯運轉實驗	40
實驗 8 複激發電機之並聯運轉實驗	45
實驗 9 並激電動機之起動法及起動特性實驗	51
實驗 10 並激電動機之速率控制實驗	54
實驗 11 並激電動機之特性實驗	60
實驗 12 串激電動機之特性實驗	65
實驗 13 複激電動機之特性實驗	68
實驗 14 直流機之損失分離實驗	73
複習測驗	82
第三章 變壓器實驗	89

2 電機機械實習

實驗 1 變壓器預備實驗 (I)——變壓器繞組電阻及絕緣電阻之測定	89
實驗 2 變壓器預備實驗 (II)——變壓器極性及變壓比實驗	93
實驗 3 變壓器之開路 (無載) 實驗	98
實驗 4 變壓器之短路實驗	103
實驗 5 變壓器之負載特性實驗	107
實驗 6 變壓器之溫升 (反饋法) 實驗	111
實驗 7 變壓器之並聯運用實驗	114
實驗 8 單相變壓器之三相接線實驗	117
實驗 9 單相變壓器之相數變換實驗	123
實驗 10 三相電功率測定法	128
實驗 11 單相變壓器之絕緣耐壓實驗	133
複習測驗	137
第四章 同步機實驗	145
實驗 1 同步機之預備實驗——繞組之電阻、絕緣電阻測定	145
實驗 2 三相同步發電機之無載實驗	148
實驗 3 三相同步發電機之短路實驗	151
實驗 4 三相同步發電機之負載實驗	154
實驗 5 三相同步發電機之並聯運轉實驗	158
實驗 6 三相同步電動機之起動實驗	163
實驗 7 三相同步電動機之負載實驗	166
實驗 8 三相同步電動機之調相特性實驗	171
複習測驗	175
第五章 感應機實驗	183
實驗 1 三相感應電動機之預備實驗——電動機繞組電阻及絕緣電阻之測定	183
實驗 2 三相感應電動機之起動實驗	189

實驗 3	三相感應電動機之無載實驗	198
實驗 4	三相感應電動機之堵轉實驗	202
實驗 5	三相感應電動機之負載實驗	206
實驗 6	三相感應電動機之圓線圖繪製及特性分析	210
實驗 7	單相感應電動機之負載特性實驗	214
實驗 8	感應型電壓調整器之特性實驗	217
複習測驗		224
第六章	其他電機機械實驗	235
實驗 1	旋轉放大機實驗	235
實驗 2	三相交流換向器電動機實驗	247
實驗 3	磁氣放大器實驗	257
實驗 4	儀器用變比器之結線法	264
實驗 5	感應型過流電驛之動作特性實驗	273
實驗 6	電弧熔接機之負載特性實驗	279
附錄一	中國國家標準CNS-1057-C113	285
附錄二	中國國家標準CNS-1056-C112	291
附錄三	中國國家標準CNS-1373-C148	303

第一章 實驗之預備常識

(一)電機機械實驗之注意事項

A. 如何準備實驗

1. 對於實驗項目之目的、原理、方法、先後順序等要詳加了解，並計劃該實驗項目之進行步驟。
2. 該實驗所需之儀器、器具應考慮其特性、靈敏度及準確度，且選用適用於實驗電機之額定的儀器及器具。例如儀器應按交、直流、量度範圍及必需的準確度選用之。變阻器不僅考慮其電阻值，更要考慮其載流量（Current carrying capacity）。
3. 選定之儀表及器具應整齊配置，使在實驗時便於觀測及使用，避免發生危險，且使儀器與器具互相間不要產生電磁靜電的干擾。實驗場所應整理整齊，因雜亂的實驗環境絕無法做出準確的實驗結果。
4. 儀表在使用前應調準其指針於零點，如具有雙標度（Double scale）者，若實驗數據之量度範圍不能事先推想時，應先使用高標度，確定測值之範圍後始選適當標度以求精確的實驗數據。
5. 伏特計常附加倍率器（直流用），儀表用電壓互感器（交流用），安培計附加分流計（直流用），儀表用電流互感器（交流用）等來使用，故應注意儀器標度板上之註記，以免儀器之燒毀及誤差之產生。
6. 迴轉電機在啟動前應檢查軸承，定部與轉部間之氣隙間隔，機械的裝配狀態等。同時應注意軸承之加油及調換以避免發生機械的故障。

2 電機機械實習

7. 開關必須按實驗電機之額定裝上適當容量的保險絲，電線應視其載流量而選定適當的線規。
8. 電路及裝置之接線完成時，不得隨即關上電源開關，應由非擔任接線工作之同組實驗者檢查儀器，器具之接線是否正確，如選用精密儀器者更應由實驗指導人員複查，並查各器具是否調整在正常的運用狀態，如變阻器之調整柄是否放在關上電源開關時不發生過大電流之位置，啟動器之手柄是否放在啟動位置等等。再者關上開關時，也該注視儀器指針之偏轉狀態，對於很小的異常噪音，臭味也應注意，以免損壞或燒損器具。迴轉電機在實驗運轉中應加以軸承溫升之檢查。
9. 使用儀器之額定、型式、製造號碼等，應正確記錄，以備後日有再實驗之必要時，可在同條件，使用同儀器之下再實驗之。

B. 實驗中之注意事項

1. 保持肅靜與清潔。
2. 精神專注，姿勢端正，如姿勢不良，測定結果往往發生誤差。
3. 力求準確，讀標度時注意視差。
4. 不可依靠放置儀器之桌架等。
5. 同組實驗者應互相協助，同時參加實驗，不得由幾人作實驗而其他人只旁觀之。
6. 實驗宜用實驗用筆記簿，記錄其結果，同時詳記實驗時周圍之狀況（如溫度、濕度、氣壓等等）以備實驗後當即能作成實驗報告之用。測定值應正確地記錄，不能憑想像任意改變之。
7. 宜養成隨著實驗之進行，把結果繪成曲線之習慣，因如此可在實驗當場發現某種錯誤而引起的可疑結果。
8. 注意實驗之測定值是否因順序已變化而變異，又由於時間之差異而發生變化，須查其原因是在儀器或實驗之電機。
9. 中止實驗之進行變更接線時應打開開關後始可動手。
10. 實驗做完後，應將儀器逐件整理，放置原處。

(二) 實驗數據之整理

A. 測定

實驗之特徵爲對某現象所關連之諸量大小，使用適當的儀器，作直接測定或間接測定。

1. 如用伏特計量度兩點間電位差，可直接讀出其值，稱爲直接測定。
2. 間接測定爲如點間之電位差；用直接測定兩點間之電阻值及通過該兩點之電流值，由此電阻及電流值之相乘而算出其兩點之電位差之方法。

B. 誤差

測定時難免發生誤差，而誤差之產生，其原因可區分如下：

1. 由理論基礎之假定而產生的誤差。
2. 由測定者而產生的誤差。
3. 由儀器發生的誤差。
4. 由地磁影響而產生的誤差。

如上之原因而產生的誤差又可分爲在某一測定時發生一定的誤差及每次測定時發生異值的誤差等兩種類。

(a)在某一測定時發生一定的誤差者；在一定的條件下均發生同量過大或過小之誤差值。此時只要把誤差之原因查出便可計算出誤差。

(i) 理論性的誤差。

(ii) 儀器固有之誤差（指示儀器之指針不在零點）及在一定條件下操作時所發生的誤差（由溫度變化而引起電阻之變化）。

(iii) 由測定者個人癖性而生之誤差（視讀儀器指針時之癖性而產生的誤差）。

(b)每次測定時發生異值的誤差。

(i) 由儀器操作之不小心而生之誤差。

(ii) 由測定者視讀之不小心，而發生的誤差。

(iii) 由外界之影響及器具狀態之變動而發生的誤差。

(b) 項中特別由於過失而發生較大的誤差，此可由測定中，把測定值描繪曲線簡單的查出。然而一般(b)項之情況，其誤差係為不定且多種多樣，故應如下處理之。

(b-1) 把誤差看作正、負平均分散，以代數平均法處理。

(b-2) 一量的誤差與他量之誤差具有關連性，故以單純的平均法處理者，實沒有意義。此時應用最小自乘法 (The method of the least square) 處理。(普通情況可用在圖上處理的簡便法)

C. 測定之標準度

如上述測定時常發生誤差，故測定者應表示至幾位數為準確數據實為重要。普通之實驗表示至三位數就可，不過決定此準確度實為困難。

【例】 測定質量時，用可測至 10^{-3} 公克之天秤，測定約 10 公克之物質者，可正確地測定至五位數。但由於濕度，此物質量有所變化，此時濕度成為問題，測定值僅表示其濕度下之質量，如此便缺少物理的意義。

D. 有效數字

如上述單獨地寫出多位數的數字，如其缺少準確度時實無意義，寧可不寫出為宜。

1. 現在，以 2345000 之數值為例，如已知僅其最初四位數字具有準確度者，稱其有效數字為四位。此時如上之寫法者其第五位以下之 0，是否有意義實為不明，故應寫為 2345×10^3 或 2.345×10^6 ，照此類推 34.5 公分之測定值其有效數字為三位，34.50 公分之測定值其有效數字為四位。一般 38.5 或 0.00385 之有效數字為三位，364.5

或 0.3645 之有效數字為四位。

2. 小數點以下之最後數字為 0 時，必須加 0，13.30 公分和 13.3 公分之意義顯有差異。前者表示測定至 1/10 公厘，而後者表示測定至公分之意義。
3. 普通情況有效數字三位就可。
4. 測定中，必然參入由觀測時之誤差，故使用數個儀器時，如其中僅有一個儀器可多讀出一位者，不必要苦心讀出其值，因由整個的測定來講，此實無意義。如其他儀器所能讀出之有效字為三位，而另一儀器所能讀出之有效數字為四位，則對整個來講，實無苦心讀出四位之必要。

E. 平均值

直接測定時，其 n 次測定數據如何處理始可得正確的近似值？因真值 = 測定值 - 誤差，設測定長度而得 $l_1, l_2, \dots, l_n$ 之測定值，其誤差為 $e_1, e_2, \dots, e_n$ ，且設想 l 在真值及絕對值成平均，且取 $l_1, l_2, \dots, l_n$ 之和者，其誤差相互抵消而近似於零，此時求測定值之代數平均值。則

$$\text{真值} \quad l = \frac{1}{n} (l_1 + l_2 + \dots + l_n) \quad (1-1)$$

如此可簡單求得幾乎正確的近似值。

F. 最小自乘法

上節之平均值法，如其誤差「 e 」正，負同數存在者，雖由於粗心測定得較大的絕對值，但其誤差相抵消，測定之準確度就無法顯示出，故以 e^2 之和來研究其準確度，如 e^2 之和為最小時，認為測定係最精密。設某數值 l 和測定值 $l_1, l_2, \dots, l_n$ 之差各為 $\triangle_1, \triangle_2, \dots, \triangle_n$ ，則

$$S = (\ell_1 - \ell)^2 + (\ell_2 - \ell)^2 + (\ell_3 - \ell)^2 + \dots + (\ell_n - \ell)^2$$

$$= \Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \dots + \Delta_n^2 = \Sigma \Delta^2 \quad (1-2)$$

$$\text{今令 } \frac{ds}{d\ell} = -2(\ell_1 - \ell) - 2(\ell_2 - \ell) - \dots - 2(\ell_n - \ell) \quad (1-3)$$

$$\text{故 } \ell = \frac{1}{n}(\ell_1 + \ell_2 + \dots + \ell_n) \quad (1-4)$$

此與上述之平均值相等。即照此結果可說代數平均值乃最極近於正確的平均值，但此為最簡單的測定情況，普通要作 2 次以上如此之直接測定，不過此等常互成函數關係，故無法簡單作最小自乘法。

至於在圖上作的簡單法，實驗者宜常用之，因此法如能習慣也能求得相當精密的結果，不過要注意兩點：

1. 標記在圖上之點的數目，應由簡便所要繪的線大約等分之。
2. 不要特別重視在圖上之開始繪線與終止繪線的兩點。

G. 計算

繪曲線所需之數據，應根據記錄在實驗筆記簿之測定值來計算，此計算所用之式子，計算例應記錄於筆記簿，以供日後考查之用。

1. 熟練下述之省略算法

- (a) 例如有效數字四位之乘法，如按普通算法，然後捨棄有效數字四位後之數字實為無意義之事，故可由前位數字計算之。

【例】 省略算法

$$\begin{array}{r}
 762.3 \\
 \times 354.2 \\
 \hline
 22869 \\
 3812 \\
 305 \\
 15 \\
 \hline
 27001
 \end{array}$$

普通算法

$$\begin{array}{r}
 762.3 \\
 \times 354.2 \\
 \hline
 15246 \\
 30492 \\
 38115 \\
 22869 \\
 \hline
 270006.66
 \end{array}$$

答：2700 × 10² (有效數字四位) 答：2700 × 10² (有效數字四位)

(b) 25.64

+ 0.04

25.59

- 1

25.60

0

25.58

- 2

25.61

+ 1

25.57

- 3

25.63

+ 3

25.62

+ 2

25.60

0

25.59

- 1

25.62

+ 2

+ 25.60

0

12) 307.25

12) + 0.05

25.604

0.004

(c) 省略法公式

(i) x 較 1 為極小 ($1 \gg x$)

$$(1 \pm x)^m \div 1 \pm mx \quad (1-5)$$

$$\left(\frac{1}{1 \pm x}\right)^m \div 1 \mp mx \quad (1-6)$$

$$\ell_n(1+x) \div x - \frac{x^2}{2} \quad (1-7)$$

(ii) x (弧度 radian) 極小時 (5° 以內)

$$\sin x \doteq x \quad (1-8)$$

$$\tan x \doteq x \quad (1-9)$$

$$\cos x \doteq 1 \quad (1-10)$$

(iii) x (弧度) 稍大時

$$\sin x \doteq x - \frac{x^3}{6} \quad (1-11)$$

$$\cos x \doteq 1 - \frac{x^2}{2} \quad (1-12)$$

$$\tan x \doteq x + \frac{x^3}{3} \quad (1-13)$$

(iv) $\alpha, \beta, \gamma \dots\dots\dots$ 極小時

$$(1 \pm \alpha)(1 \pm \beta)(1 \pm \gamma) \dots\dots\dots \doteq 1 \pm \alpha \pm \beta \pm \gamma \pm \dots\dots\dots \quad (1-14)$$

(v) $\alpha, \beta, \gamma \dots\dots\dots, a, b, c \dots\dots\dots$ 極小時

$$\frac{(1 \pm \alpha)(1 \pm \beta) \dots\dots}{(1 \pm a)(1 \pm b) \dots\dots} \doteq 1 \pm \alpha \pm \beta \pm \dots\dots \mp a \mp b \mp \dots\dots \quad (1-15)$$

(vi) $\alpha \doteq \beta$ 時

$$\sqrt{\alpha \cdot \beta} = \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \quad (1-16)$$

(vi) δ (弧度) 極小時

$$\sin(x \pm \delta) \doteq \sin x \pm \delta \cos x \quad (1-17)$$

$$\cos(x \pm \delta) \doteq \cos x \pm \delta \sin x \quad (1-18)$$

$$\tan(x \pm \delta) \doteq \tan x + \frac{\delta}{\cos^2 x} \quad (1-19)$$

(三) 實驗報告

A. 繪曲線應注意之事項

依據實驗之數據所繪出之曲線，其所表示實驗之結果，較用列表表示函數者，具有直覺說明實驗結果的優點。繪曲線時應注意下列各項：

1. 座標軸宜擇在離方格紙之左約 2 公分之處。
2. 自變數擇在橫座標，應變數取在縱軸。
3. 座標軸之標度應宜選擇。
4. 各座標應明示其標題及單位。
5. 由實驗結果所得各點，均用明示其中心之小圓標記之，同一方格紙上繪數條曲線時，除用小圓外，再用 x ， $\triangle$ 等符號明示實驗數據之點，此時 x ， $\triangle$ 之中心應明示其實驗數據之點。
6. 如能預想其為連續曲線者，把各點間以平滑曲線連接而繪出，如無法預想其連續者，點間用直線連接出。
7. 曲線各頁應有完全的標題。
8. 用一方格紙上繪數條曲線時應註明那一條曲線係表示何種特性曲線。
9. 具有關連性的曲線應繪於同一方格紙上。
10. 曲線均以製圖墨水繪出，直線者用定規，曲線則須用曲線板繪之。茲把曲線之一例表示於圖 1-1。

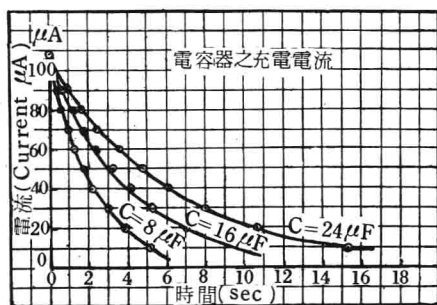


圖 1-1

B. 實驗報告之寫法

實驗後儘早把其實驗結果整理，並提出報告，因如不儘早整理實驗結果，往往日久對於實驗當時記憶消失，使得實驗報告之作成發生困難。實驗報告應用指定之表紙並按下列順序寫出。

1. 表紙：須記實驗號數，實驗項目，實驗年月日，實驗者姓名及共同實驗者之姓名。
2. 目的：概略述明實驗之目的。
3. 原理：簡略述論實驗之基本理論。
4. 實驗方法：繪出所用電路之接線圖，並述明實驗時所必要的實驗順序（步驟）。
5. 儀器：記錄使用儀器及其詳細的額定、形式、號碼。
6. 實驗記錄。
 - (i) 整理後之數據，不要漏記其標題及單位。其數宜取一有效位數。
 - (ii) 必舉出計算所必要的式子及其例題。
 - (iii) 曲線按前述(1)節之注意事項及測定結果、測定量之性質描繪出。

第二章 直流機實驗

實驗1 直流機之預備實驗(I)一直流機之構造觀察

一、【目的】

瞭解直流機之構造概況

二、【方法】

機殼軛鐵及磁場結構

記錄下列各項，並將您的電機與工場內其他電機作比較。

1. 抄錄名牌上的各項記載（包括購置修理該電機零件所需之資料）。
2. 注意機殼軛鐵的材料及其截面積。
3. 注意磁極的裝置法。
4. 磁極鐵心是整塊或疊片式？如為疊片式其方向如何？
5. 鐵心的形狀是圓形或方型？疊片式極心以何種形狀較為適當？
6. 量度極間距離及磁極弧長，並計算弧長與極距之比例。
7. 注意換向極的數目和位置。
8. 該電機的主磁極上是否有兩組繞組？其構造是否相同？
9. 以厚薄規量度空氣隙之長度。

電樞鐵心與繞組

10. 電樞鐵心是整塊或疊片式？若為疊片式，其方向如何？
11. 注意每片之近似厚度。
12. 比較電樞鐵心之長度與磁極寬度。
13. 通風之方式如何？
14. 電樞鐵心與軸之固定方式如何？
15. 計算電樞槽數，槽之方向是否與軸平行或偏斜？
16. 電樞繞組為型繞或散繞？
17. 由線圈形狀判斷其繞組為疊繞或波繞？
18. 如何將繞組固定於槽內不使脫出？用楔子或絃線？或兩者均有？
19. 計算電樞表面圓弦之線速度。（由轉速及電樞直徑推算）。
20. 注意換向片之裝置。
21. 換向片間之絕緣是否挖低？何故？
22. 注意換向片之情形，髒、亂、亮、粗糙或光滑？
23. 注意主磁極與電刷之相對位置。
24. 如何加上適當之壓力於碳刷與整流換向器間？
25. 注意換向片數，並與電樞槽比較之。
26. 電刷之位置是否可以調整？軸向移動有圓形轉動？
27. 注意碳刷與外電路之聯接情況。
28. 注意碳刷與刷握之數目及其材料。
29. 注意一個碳刷可以接觸幾個整流片。
30. 量出碳刷之尺寸，據以計算在滿載電流下之碳刷電流密度。（ Amp/in^2 或 Amp/cm^2 ）
31. 將名牌片上所記載之額定電壓除以兩碳刷間之換向片數以求相鄰兩換向片間之平均電壓。