

五年制專科學校適用

電 工 實 習

第三冊

呂 理 雄 編 著

臺灣開明書店印行

電 工 實 習

〔第三冊〕

呂 理 雄 編 著

臺 灣 開 明 書 店 印 行

民國六十一年二月初版發行
民國六十六年七月六版發行

每冊基價一元六角

(按照同業規定倍數發售)

電 工 實 習

〔冊三第〕



印 翻 准 不 • 權 作 著 有

主編者 國立編譯館

編著者 呂理雄

補助機關 國家科學委員會

發行人 劉甫琴

印刷者 臺灣開明書店

總發行所

臺北市中山北路一段七七號
電話 五三三六元 五三三八四號
郵局劃撥賬號第一二五七號

臺灣開明書店

行政院新聞局登記證：局版臺業字第〇八三七號

編輯大意

1. 本書係爲五年制工業專科學校電機工程科教學用課本而編成。除供五年制工專電機工程科教學之用，並可供電機工程從業人員參考。
2. 本書之實驗項目包括直流電機，交流電機及特殊電機之三大類，共分三十三項目。
3. 本書儘量採取比較實用的有關電工機械之實驗，惟各校設備之不同，任課教授不妨視設備酌予增減實驗項目。
4. 本書各實驗項目中均附有問題及研討，以供讀者研討而融會貫通。
5. 本書內容之選擇及排列，除根據編者之教學經驗外，參考國內外之有關書刊，並得李汝殷先生及臺北工專電機實驗室同仁的賜助以及吳烈能、李後崇兩同學之繪圖，謄稿而得以完成，謹致謝忱。
6. 本書係利用課餘編撰，雖經多次校訂，但疏漏難免，敬盼諸先進及讀者，隨時賜予指正，俾再版時，藉以訂正。

編著者 謹識

六十年十二月 於臺北工專

目 錄

第一章 電工機械實驗之注意事項	1
1-1 準備實驗之注意事項.....	1
1-2 實驗時之注意事項.....	3
第二章 實驗數據	5
2-1 測定.....	5
2-2 誤差.....	5
2-3 測定之標準度.....	6
2-4 有效數字.....	7
2-5 測定準確度之平衡.....	7
2-6 平均值.....	9
2-7 最小自乘法.....	10
2-8 計算.....	10
第三章 實驗報告	13
3-1 繪曲線應注意之事項.....	13
3-2 實驗式.....	14
3-3 簡單的實驗式之求法.....	15
3-4 實驗報告之寫法.....	20
第四章 直流電機實驗	22
4-1 直流他激發電機無載特性.....	22
4-2 自激直流發電機無載特性.....	28
4-3 直流分激發電機負載特性.....	34

4-4	直流複激發電機負載特性	40
4-5	直流分激發電機並聯運轉	44
4-6	直流複激發電機並聯運轉	49
4-7	直流電動機的速率控制	54
4-8	直流分激電動機之特性	60
4-9	直流串激電動機之特性	64
4-10	直流複激電動機之特性	67
4-11	直流機之損失分離	72
4-12	測力計	80
4-13	直流機之互饋實驗	84
第五章	交流電機實驗	89
5-1	變壓器繞組電阻及絕緣電阻之測定	89
5-2	變壓器變壓比及極性實驗	93
5-3	變壓器之開路實驗	97
5-4	變壓器之短路實驗	99
5-5	變壓器之負載實驗	102
5-6	變壓器之溫升實驗	106
5-7	單相變壓器之三相連結	109
5-8	單相變壓器之並聯運用	114
5-9	三相同步發電機無載實驗	116
5-10	三相同步發電機之並聯運用	121
5-11	同步電動機之相位特性實驗	127
5-12	同步電動機負載特性實驗	131
5-13	同步機之損失分離及公定效率	136
5-14	三相感應電動機之特性	141

5-15 三相感應電動機負載特性實驗.....	152
5-16 單相感應電動機負載特性實驗.....	156
第六章 特殊電機實驗.....	159
6-1 感應電壓調整器.....	159
6-2 旋轉放大機.....	166
6-3 磁性放大器.....	177
6-4 三相交流換向電動機.....	184
附 錄	
1. 單體金屬之性質.....	193
2. 保險絲之容許電流.....	193
3. 絕緣電線之安全電流.....	194
4. 絕緣電線容許電流之溫度校正係數.....	195
5. 電機最低安全絕緣電阻值.....	195
6. 電機用絕緣材料之分類.....	195
7. 三相感應電動機負載電流及保險絲容量表.....	197

電 工 實 習〔第三冊〕

電 工 機 械 實 驗

第一章 電工機械實驗之注意事項

1-1 準備實驗之注意事項

1. 對於實驗項目之目的, 原理, 方法, 順序等要詳細瞭解, 並計劃該實驗項目之進行步驟。

2. 該實驗項目所需之儀器, 器具等應考慮其特性, 靈敏度及準確度, 且選用適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, 器具互相間不要產生電磁靜電的干擾。實驗場所均應整理整齊, 因雜亂的實驗環境絕無法得出準確的實驗結果。

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預先推想時, 應先使用高標度, 確認測定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), 儀器用電壓互感器(交流用), 安培計附加分流器(直流用), 儀器用電流互感器(交流用)等來使用, 故應注意儀器標度板上之註記, 以免儀器之燒損與誤差之產生。

6. 迴轉電機在啓動前應檢查軸承, 定部與轉部間之氣隙間隔, 機

表 1-1

基 本 符 號		電 機 符 號		儀 表 及 其 他 符 號	
分 歧 點 交 叉 點		直流電動機 (電樞)		安 培 計	
電的無連接		直流發電機 (電樞)		伏 特 計	
電 阻		直流升壓機		頻 率 計	
可變電阻器 (變阻器)		同步發電機 (三相)		轉 速 計	
電 感 (或場繞)		同步電動機		瓦 特 計	
可變電感器		三 相 感 應 電 動 機		功 因 計	
雙極單投開 關		單相感應 電 動 機		整 流 體	
雙極雙投開 關		單相變壓器			
三極單投開 關		電 機 的 機 械 耦 合			
單極單投開 關		電 機 的 皮 帶 耦 合			
接 地		渦 流 式 測 力 計			
電 池					

械的裝配狀態等。同時應注意軸承之加油及調換以免發生機械的故障。

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大小。

8. 電路及裝置之接線完畢時，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。

10. 電工機械實驗之電氣的接線均用符號表示，因而有各種符號之表示法，本書之實驗項目所使用之符號表示表 1-1。

1-2 實驗時之注意事項

1. 保持肅靜與清潔。
2. 精神專一，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傍觀之。
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. 宜養成隨着實驗之進行, 把其結果描繪成曲線之習慣, 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之變化而異, 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. 中止實驗之進行或變更接線時應打開開關後始可動手。

10. 實驗作完後, 應將儀器逐件整理, 放置原處。

第二章 實驗數據

2-1 測定

實驗之特徵為對某現象所關連之諸量之大小,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,稱為直接測定。

2. 間接測定為如兩點間之電位差;用直接法測定兩點間之電阻值及通過該兩點之電流值,由此電阻值及電流值之相乘而算出其兩點間之電位差之方法。

2-2 誤差

測定時難免發生誤差,而誤差之產生,由其原因可分別如下:

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. 由儀器而產生的誤差。
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為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;在一定之條件下均發生同量之過大或過小之誤值。此時只要把誤差之原因查出,便可算出誤差。

(i) 理論的誤差。

(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。

(a) 把誤差看作正、負平均分散,以代數平均法處理。

(b) 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。)

2-3 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,此物質之質量有所變化,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。

2-4 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 $\frac{1}{10}$ 公厘，而後者表示測定至公厘之意義。

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數字為三位，而另一儀器所能讀出之有效數字為四位，則對整體來講，實無苦心讀出四位之必要。

2-5 測定準確度之平衡

擬測定之未知量為兩個以上時，常常欲測定之各量互相由某函數而成為關連性，即

$$M = f(x, y, z, \dots) \quad (2-1)$$

設此測定中有 $\Delta x, \Delta y, \Delta z \dots$ 之誤差，而 M 的誤差為 ΔM ，則

$$\Delta M = \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial f}{\partial y} \Delta y + \frac{\partial f}{\partial z} \Delta z + \dots \quad (2-2)$$

如上式 ΔM 之值除了 $\Delta x, \Delta y, \Delta z \dots$ 之外，又因 $\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y}, \frac{\partial f}{\partial z} \dots$ 而變化。

實驗時常研討其倍值誤差，對其誤差本身反而不太重視，則考慮其 $\Delta M/M$ ，此時 $\Delta M/M$ 可用 M 之對數再微分而得之。

$$\ln M = \ln f(x, y, z) \quad (2-3)$$

$$\Delta M/M = \frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x + \frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial y} \Delta y + \frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial z} \Delta z + \dots \quad (2-4)$$

〔例一〕 設求電線之導電係數，如其直徑 D (公分)，長度 l (公分) 之金屬導體其電阻為 $R(\Omega)$ ，則

$$R = \rho l / \left[\frac{\pi}{4} D^2 \right]$$

由此導電係數 λ 為：

$$\lambda = \frac{1}{\rho} = \frac{l}{\frac{\pi}{4} D^2 R} = \frac{4l}{\pi D^2 R} \quad (2-5)$$

$$\text{取對數得 } \ln \lambda = \ln \frac{4}{\pi} + \ln l - 2 \ln D - \ln R \quad (2-6)$$

微分之，並取其絕對值得：

$$\left| \frac{d\lambda}{\lambda} \right| = \frac{dl}{l} + 2 \frac{dD}{D} + \frac{dR}{R} \quad (2-7)$$

由此可知此時導電係數測定之誤差和長度 l ，導體之直徑 D 和導體電阻 R 有關，在此三個直接測定之值當中，直徑 D 之誤差 2 倍於其

他之誤差，故此測定中對直徑 D 之測定，必須最細心測定之。

〔例二〕 本例研討由球之體積和其質量求金屬球之密度。

$$\therefore d = \frac{m}{\frac{4}{3}\pi r^3}$$

$$\text{取其對數} \quad \ln d = \ln m - \ln \frac{4}{3}\pi - 3 \ln r \quad (2-8)$$

微分之，並取絕對值得

$$\left| \frac{\Delta d}{d} \right| = \frac{\Delta m}{m} + 3 \frac{\Delta r}{r} \quad (2-9)$$

由上式可知體積（即半徑）之測定較質量之測定要細心。今設 $m=100$ 公克，直徑 $=3$ 公分， Δm 用化學天秤可測至 1 公絲 (mg)，對此測徑器只能測至 0.1 公厘 (mm)，則

$$3\Delta r/r = 3 \times 0.1/30 = 0.01 \quad \text{但} \quad \frac{\Delta m}{m} = \frac{0.001}{100} = 0.00001$$

此時質量之誤差率可不要維持上記之 0.00001，只要能得 0.01 程度就可，即質量之測定可改用感度 1 公克之普通天秤。

2-6 平均值

直接測定時，其 n 次測定之數據如何處理始可得其最正確的近似值？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 在正負及絕對值成為平均，則取 $l_1, l_2, \dots, l_n$ 之和者，其誤差互抵消而近於零，此時求測定值之代數平均值。則

$$\text{真值} \quad l = \frac{1}{n}(l_1 + l_2 + \dots + l_n) \quad (2-10)$$

如此可簡單求得幾乎正確的近似值。

2-7 最小自乘法

2-6 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之絕對值，但其誤差相抵消，測定之準確度就無法顯出，故以 e^2 之和來研討其準確度，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 $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$ ，則

$$\begin{aligned} s &= (l_1 - l)^2 + (l_2 - l)^2 + (l_3 - l)^2 + \dots + (l_n - l)^2 \\ &= \Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \dots + \Delta_n^2 = \sum \Delta^2 \end{aligned} \quad (2-11)$$

今令 $\frac{ds}{dl} = 0$ ，則可求得 s 最小之條件

$$\frac{ds}{dl} = -2(l_1 - l) - 2(l_2 - l) - \dots - 2(l_n - l) \quad (2-12)$$

$$\text{故 } l = \frac{1}{n}(l_1 + l_2 + \dots + l_n) \quad (2-13)$$

此與上述之平均值相等。即照此結果可說代數平均值為最極近於正確的平均值，但此為最簡單的測定之情況，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。

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

1. 標記在圖上之點之數目，應由簡便法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兩點。

2-8 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，計算例均應記錄於筆記簿，以供日後考查之用。