

電子儀表及測量

上 冊

原 著 者

Larry Jones A. Foster Chin

陳 炳 照 譯



東華書局印行

電子儀表及測量

上 冊

原著者

Larry D. Jones
OKLAHOMA STATE UNIVERSITY

A. Foster Chin
TULSA JUNIOR COLLEGE

譯 者

陳 炳 照

東華書局印行



版權所有・翻印必究

中華民國七十四年十月初版

電子儀表及測量

上册 定價新臺幣壹佰叁拾元整

譯者 陳 炳 順
發行人 卓 鑫 森
出版者 臺灣東華書局股份有限公司
臺北市博愛路一〇五號
郵撥：00064813
電話：3114027・3819470
印刷者 合 興 印 刷 廠

行政院新聞局登記證 局版登業字第〇七二五號
(74066)

序

測量之能力在瞭解我們所生存的實際世界方面是很重要的，有人說測量提供我們瞭解實際的現象，而儀表則為測量之工具，在多種物理系統中用以獲取量度之大多數儀表均為電子式的，電子儀表在過去二十年裡以驚人的速度成長，工業界許多領域裡的自動化，及其對更精密的儀表所附帶之需求，已成為電子指示儀表、記錄儀表和控制儀表大幅成長之主要原因，積體電路技術使儀表增產以滿足需求成為可能。

儀表的適當選擇與使用，以及測試資料的處理，是使用者之職責。如果瞭解本書所述測試儀表的基本操作理論及其性能與限制，則對於儀表之挑選及適當地予以使用的能力將會大幅地增加。

實驗在任何科技課程中均佔有一極為重要之地位，本書所列之實驗可加強學生對於電子測試儀表方面的知識，其方式是以實驗的方法分析各種儀表所用之電路，如此，尚可使學生熟悉儀表之使用。

我們討論修護用與實驗用儀表，但主要強調後者，在課本內採用實際的商用儀表照片會使課本很快地過時；然而，我們相信有選擇地採用照片對學生仍有幫助。

任何教科書與某一課程大綱完全符合的機會絕無僅有，由於本書各章均為獨立的，所以章與章的次序可依需要而予以變更。

本書之編輯係基於一個理念——即教科書主要是為學生而編寫的。因此，我們努力地使本書很容易閱讀，但願我們成功。

本書係合編的，作者排名次序無任何意義，我們對本書之優劣點負共同之責任。

我們感謝 Wiley 公司之編輯部，也感謝提供儀表照片、數據以及方塊圖之各公司，亦感謝校對諸君提供建設性的意見。打字係由 Kay

Porter 與 Ce Ce Henry 二人熟練地完成的。最後，我們感謝我們的家人，對我們編輯此書時的耐心與鼓勵。

Larry Jones

A. Foster Chin

目 次

序

第一章 儀測導論	1
1-1 教學目標.....	1
1-2 自我評估.....	1
1-3 緒論.....	2
1-4 儀表之功能與特性.....	3
1-5 電氣單位.....	3
1-6 量度標準.....	4
1-7 測量誤差.....	5
1-8 測量誤差之統計分析法.....	11
1-9 限制誤差.....	14
1-10 電子儀表之元件.....	15
1-11 儀表之選擇、管理及使用.....	16
1-12 摘要.....	17
1-13 詞彙.....	17
1-14 習題.....	18
1-15 實驗室實驗.....	21
第二章 直流電表	23
2-1 教學目標.....	23

2-2	自我評估	23
2-3	緒論	24
2-4	達松發爾電表動裝置	25
2-5	達松發爾電表動裝置用於直流安培計	26
2-6	艾而通分流器	29
2-7	達松發爾電表動裝置用於直流伏特計	32
2-8	伏特計之負載效應	35
2-9	安培計之負載效應	40
2-10	歐姆計	43
2-11	多範圍之歐姆計	48
2-12	複用電表	51
2-13	直流儀表之校正	54
2-14	應用	55
2-15	摘要	58
2-16	詞彙	59
2-17	習題	60
2-18	實驗室實驗	63

第三章 交流 (AC) 電表 64

3-1	教學目標	64
3-2	自我評估	64
3-3	緒論	65
3-4	達松發爾電表動裝置與半波整流器之配合使用	66
3-5	達松發爾電表動裝置與全波整流器之配合使用	71
3-6	電測力計動裝置	74
3-7	鐵片式電表動裝置	78
3-8	熱電偶電表	80

3-9	交流伏特計之負載效應	83
3-10	峯至峯讀數之交流伏特計	84
3-11	應用	85
3-12	摘要	87
3-13	詞彙	88
3-14	習題	89
3-15	實驗室實驗	92

第四章 電位計電路與電壓參考 94

4-1	教學目標	94
4-2	自我評估	94
4-3	緒論	95
4-4	基本電位計之電路	96
4-5	電壓參考	100
4-6	應用	105
4-7	摘要	108
4-8	詞彙	108
4-9	習題	109
4-10	實驗室實驗	110

第五章 直流電橋 112

5-1	教學目標	112
5-2	自我評估	112
5-3	緒論	113
5-4	惠司同電橋	113
5-5	惠司同電橋之靈敏度	115

5-6	克耳文電橋	122
5-7	數位讀出電橋	124
5-8	微處理機控制之電橋	124
5-9	電橋控制的電路	128
5-10	應用	130
5-11	摘要	132
5-12	詞彙	133
5-13	習題	134
5-14	實驗室實驗	137
第六章	交流電橋	138
6-1	教學目標	138
6-2	自我評估	138
6-3	緒論	139
6-4	同相角電橋	141
6-5	馬克士威電橋	143
6-6	異相角電橋	145
6-7	汾因電橋	147
6-8	射頻電橋	149
6-9	薛令電橋	151
6-10	摘要	153
6-11	詞彙	153
6-12	習題	153
6-13	實驗室實驗	154
第七章	電子伏特計	156

7-1	教學目標	156
7-2	自我評估	156
7-3	緒論	157
7-4	差動放大器	158
7-5	差動放大器型式之 EVM	162
7-6	源極隨耦器型式之 EVM	168
7-7	採用直接耦合放大器之直流伏特計	173
7-8	靈敏之直流伏特計	174
7-9	使用整流器之交流伏特計	176
7-10	真有效值伏特計	178
7-11	摘要	180
7-12	詞彙	182
7-13	習題	182
7-14	實驗室實驗	183

第八章 記錄儀表 184

8-1	教學目標	184
8-2	自我評估	184
8-3	緒論	185
8-4	自我平衡系統	185
8-5	條圖記錄器	188
8-6	圖表速度	190
8-7	X - Y 記錄器	191
8-8	記錄器之選擇	193
8-9	記錄器規格	194
8-10	應用	195
8-11	摘要	197

8-12 詞彙	197
8-13 問題與習題	198
8-14 實驗室實驗	199

實驗室實驗 200

實驗報告書寫指導	200
範例實驗	203
實驗 E1 實驗數據之誤差	210
實驗 E2 基本的統計範例	214
實驗 E3 基本伏特計之設計	219
實驗 E4 複用電表	223
實驗 E5 交流伏特計	230
實驗 E6 交流伏特計之頻率響應	233
實驗 E7 利用電位計校正伏特計	236
實驗 E8 簡單的參考電壓源	242
實驗 E9 戴維寧定理	246
實驗 E10 惠司同電橋	250
實驗 E11 電橋控制之電路	254
實驗 E12 馬克士威電橋	256
實驗 E13 薛令電橋	262
實驗 E14 電子伏特計	266
實驗 E15 平衡電橋型式之直流放大器	271
實驗 E16 條圖記錄器	274
實驗 E17 X · Y 記錄器	279

附錄A 使用克耳文電橋時，計算未知電阻值之公式的推導 282

附錄 B 精選交流電橋之公式的推導	283
答 案	290

第一章

儀測導論

1-1 教學目標

本章將討論電氣單位、各種標準之分類、儀表之功能與特性、以及不同型式之誤差與誤差分析之方法，當你讀完第一章之後，應能回答下列問題：

1. 列出儀表的三種功能。
2. 列出電子儀表優於電氣儀表之三個優點。
3. 定義與儀表品質有關的術語。
4. 列出並敘述四種標準。
5. 列出並敘述電子儀表的三元件。
6. 定義與誤差及誤差分析有關的術語。
7. 執行簡單統計分析之計算。

1-2 自我評估

在本書中，每一章的開頭處，均有一套與本章教材有關的自我評估之問題，在研習本章之前與之後均應回答這些問題，用以測定讀者對教材領會的程度。

1. 試列出儀表的三種基本功能。
2. 用以指明偏轉型儀表的另外名稱為何？
3. 六個常被測量的電氣量為何？試列出這些電氣量、符號、單位以及單位的簡寫。

4. 試列出電子儀表優於電氣儀表之三個優點。
5. 四類標準為何？
6. 試定義下列名詞：
 - (a) 誤差 (error)
 - (b) 準確度 (accuracy)
 - (c) 精密度 (precision)
 - (d) 測量 (measurement)
 - (e) 解析度 (resolution)
 - (f) 靈敏度 (sensitivity)
7. 試列出誤差的三個主要類別。
8. 有人使用歐姆表 (ohm meter) 測量一 $470\ \Omega$ 的電阻器 (實際值) 測得 $47\ \Omega$, 此代表何種誤差呢？
9. 試列出系統誤差的三種型式，並就每一種型式舉例說明之。
10. 準確度與精密度之間的差別為何？
11. 試定義下列名詞：
 - (a) 平均值 (average value)
 - (b) 算術平均 (arithmetic mean)
 - (c) 偏差 (deviation)
 - (d) 標準偏差 (standard deviation)

1-3 緒 論

在過去的一世紀半時間內，已有許多人提供測量電氣量的技巧。在此期間的大部份時間內，主要的成就在於改進具有刻度及可動指針 (pointer) 之偏轉型儀表。指針之偏轉角度為受測電氣量之值的函數，也因此而類比於受測電氣量之值。於是，類比儀表 (analog instrument) 這名詞就用以指明偏轉型儀表，並用以區別完全不同的儀表。此種儀表以十進 (數位) 型式顯示受測量的值，這些新型的儀表稱之

為數位儀表 (digital instrument)。

1-4 儀表之功能與特性

很多儀表適用於提供欲測變數量之訊息，有時候，除了提供受測量可見的指示外，儀表還可提供永久的記錄，此外，某些儀表可用來控制某一變數量，因此，我們可以說儀表提供三種基本的功能：指示，記錄及控制，特殊儀表可以提供這些功能的任何一種或同時提供三種功能，一般用途的電氣與電子測試儀表提供指示及記錄的功能，用於工業處理場所的儀表經常提供控制的功能，而整個系統可稱為控制或自動系統。

有許多方法可用來量度不同量的值，有些物理量最好以純機械的方法來量度，諸如使用氣壓計 (manometer gauge) 來量度氣壓，其餘的量主要以電氣的方法來量度，諸如以電流表來量度溶液的電導係數，其餘的量度則以包含放大電路用來增加受測量振幅的電子儀表來完成。

雖然有些電子儀表比簡單的電氣儀表較貴，但就量度的目的而言，他們卻提供某些重要的優點，使用電子放大器使得儀表具有高靈敏度因而能夠量度很小 (低振幅) 的信號，高靈敏度亦增加儀表的輸入阻抗，因而在量度時藉以減少負載效應 (loading effect)，電子儀表的第三個優點為具有監督遠距離信號的能力。

1-5 電氣單位

因為電氣與電子儀表測量電氣量，所以本章應包括電氣單位 (electrical unit) 的討論，就如任何定量科學一樣，在做被測參數的定量評估之前，需要一單位系統。

有六個電氣量與電氣量度有關，爲了要定量地處理他們，需要建

4 第一章 儀器導論

立並定義一單位系統，此六個電氣量為：(1)電荷， Q ，(2)電流， I ，(3)電動勢或電位差， V ，(4)電阻， R ，(5)電感， L 及(6)電容， C 。MKSA或SI單位系統的基本量及可由這些基本量導出的一些電氣量列於表1-1中。

表1-1 SI系統的六個基本量與一些導出量

量	符號	單位	單位簡寫	因次
基本的				
長度	l	米	m	l
質量	m	仟克	kg	m
時間	t	秒	s	t
溫度	T	凱氏溫度	$^{\circ}\text{K}$	T
發光強度		燭光	cd	
電流	I	安培	A	i
導出的				
電動勢	V	伏特	V	$\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-2}\text{i}^{-1}$
電荷	Q	庫倫	C	it
電阻	R	歐姆	Ω	$\text{kg}^2\text{s}^{-2}\text{i}^{-2}$
電容	C	法拉	F	$\text{kg}^{-1}\text{m}^{-2}\text{s}^4\text{i}^2$
電感	L	亨利	H	$\text{kgm}^{-2}\text{i}^{-2}$

☆譯者註：凱氏溫度又名絕對溫度。

1-6 量度標準

不論我們希望使用電氣或電子儀表，所有的儀表在製造時均須以量度標準來校正。標準可分成四類。

國際標準 (international standards) 是經國際間同意而訂定的。這些標準由巴黎的國際度量衡局保管，並定期地以物理的基本單位作絕對量度 (absolute measurements)。它們代表某些量度的單位最

接近科學與量度技術所允許之準確度。

原標準 (primary standards) 由世界各國的國家標準實驗室所保管。在華盛頓的國家標準局 (National Bureau of Standards, NBS) 負責保管北美的原標準，原標準不能在實驗室外使用，原標準的主要用途為用於副標準 (second standards) 之校正及查核。

副標準為工業界之量度與校正實驗室所使用的基本參考 (reference) 標準，這些副標準由其所屬的特定工業保管與校正，每一工業實驗室對其所屬的副標準負全責，每一實驗室將其副標準定期地送至國家標準實驗室校正，校正後送回工業實驗室的副標準具有原標準準確度為依據之量度執照。

工作標準為量度實驗室的主要工具，這些標準用來檢查並校正用於實驗室中的儀表，或在工業應用中作比較測量。

1-7 測量誤差

測量是將一未知量與一可接受的標準量相比較的過程，它包括將一測量儀表接至受測系統並觀察儀表所顯示的結果，此時所得的值就是所謂“正確值 (true value)”之定量測量，因為很難給與正確值適當地定義，因此本書使用“預計值 (expected value)”的術語，任何測量均會受到很多變數的影響；因此所測得的結果很難反映其預計值，例如，將一測量儀表接至受測電路時，總會干擾 (改變) 該電路致使所得的值會偏離其預計值。

有些影響測量的因素是與測量儀表本身有關，而有些因素則與使用儀表的人有關，測量與預計值接近的程度以測量之誤差來表示，誤差可用絕對誤差 (absolute error) 或以誤差百分比 (percent of error) 表示，絕對誤差可定義為變數之預計值與測量值之間的差異，或以下式表示

$$e = Y_n - X_n \quad (1-1)$$

式中