

Electronic Instruments

電子儀表

(修訂二版)

蕭家源 編著



電子儀表(修訂二版)

蕭家源 編著



全華圖書股份有限公司 印行

國家圖書館出版品預行編目資料

電子儀表 / 蕭家源編著. -- 三版. -- 臺北縣
土城市：全華圖書, 2008.06
面；公分

ISBN 978-957-21-6617-8(平裝)

1. 電儀器

448.12

97010064

電子儀表(修訂二版)

編 著 蕭家源
發行人 陳本源
出版者 全華圖書股份有限公司
地 址 23671 台北縣土城市忠義路 21 號
電 話 (02) 2262-5666 (總機)
傳 真 (02) 2262-8333
郵政帳號 0100836-1 號
印 刷 者 宏懋打字印刷股份有限公司
圖書編號 0519502
三版二刷 2008 年 10 月
定 價 新台幣 320 元
I S B N 978-957-21-6617-8

全華圖書

www.chwa.com.tw

book@chwa.com.tw

全華科技網 OpenTech

www.opentech.com.tw

有著作權 · 侵害必究

作者序

- 一、隨著電子科技的迅速發展，電子儀表在近幾年來有著顯著的進步，它除了應用在研究機構及實驗室外，並廣泛的使用在工程上、醫學上及各種生產單位，為科學家、工程師及技術人員不可缺少的工具。
- 二、本書共分十章，供五專三、四年級或技術學院、科技大學三、四年級每週授課三小時之需，也可為一學期每週授課三小時之用；「電子儀表」課程教學之用。
- 三、本書亦適合電機、電子工程從業人員進修、參考之用。讀者只需具備基本電路理論與電子學的知識，並不需要有高深的數學基礎，便能勝任愉快的研讀。
- 四、本書的敘述將各種儀表依其基本工作原理、電路結構、操作及應用循序而進的方式編寫。每一種儀表並以實際的儀表為例，說明其電路動作原理，正確的操作方法及各種應用。
- 五、本書所述儀表之構造圖片及原理方塊圖案，大部份由國內、外儀表廠商或儀表雜誌所提供，特此致謝。且在原理說明中，凡涉及理論公式與計算，均極詳盡，並附例題加以重點述明，俾使讀者能深切瞭解，進而加深對儀表之認識。
- 六、本書各章均備有習題，俾供學生練習，而使所學能夠融會貫通，以期理論與實務之配合。
- 七、本書雖審慎編寫，細心校訂，惟疏漏之處在所難免，尚祈各位先進不吝指正。

「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所提供給您的，絕不只是一本書，而是關於這門學問的所有知識，它們由淺入深，循序漸進。

本書詳述各式儀表之工作原理、電路結構、操作方法及應用領域，它包含了基本指針儀表、數位儀表、示波器、信號產生器、信號分析儀表與自動測試系統等等，全書分九個章節，主要目的在於增進讀者對電子儀表之使用及測試概念，進而了解各式儀表之基本構造與原理，為培育電子工程師做準備，本書適合五專三年級電子科或技術學院、科技大學電子系三、四年級「電子儀表」課程使用。

同時，為了使您能有系統且循序漸進研習相關方面的叢書，我們以流程圖方式，列出各有關圖書的閱讀順序，以減少您研習此門學問的摸索時間，並能對這門學問有完整的知識。若您在這方面有任何問題，歡迎來函連繫，我們將竭誠為您服務。

相關叢書介紹

書號：0509201
書名：圖解示波器入門
日譯：高敏雄
20K/208 頁/250 元

書號：05170
書名：電子線路 DIY
編著：張榮洲
20K/160 頁/200 元

書號：05921
書名：基礎邏輯分析儀設計－
以 Visual Basic 及 MCS-51
實作
編著：王宜楷、張晏銓
16K/216 頁/280 元

書號：0253404
書名：感測與量度工程(修訂四版)
編著：楊善國
20K/320 頁/350 元

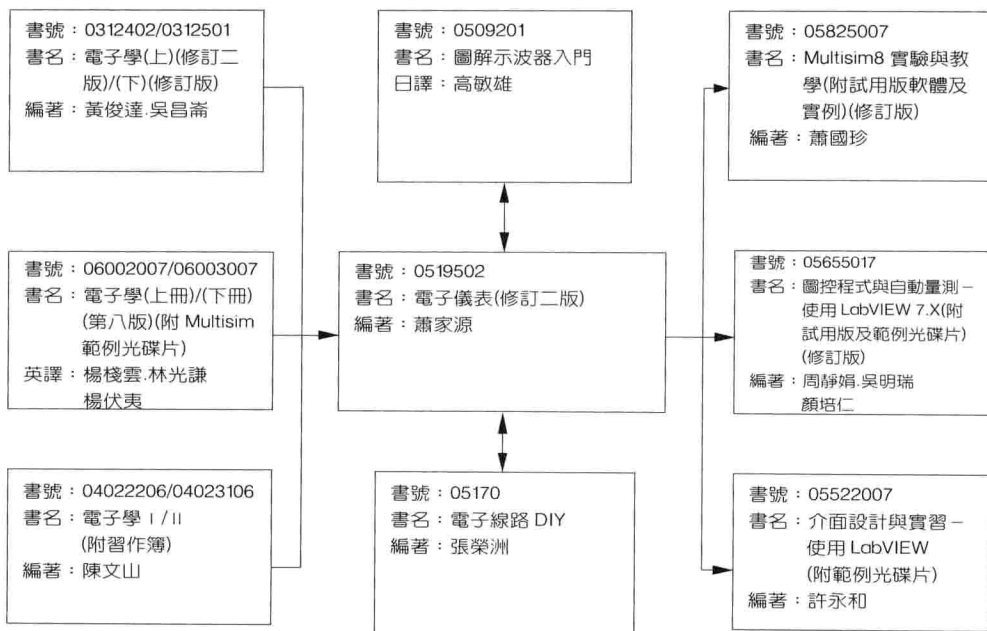
書號：05151017
書名：LabVIEW 介面控制實習
(附系統、程式光碟片)
(修訂版)
編著：廖炳松
16K/440 頁/550 元

書號：05670037
書名：LabVIEW 7.1 Express 圖控程
式應用－含自動量測及硬體
應用(附系統應用光碟)
(修訂三版)
編著：惠汝生
16K/440 頁/600 元

書號：05655017
書名：圖控程式與自動量測－使
用 LabVIEW 7.X
(附試用版及範例光碟片)
(修訂版)
編著：周靜娟、吳明瑞、顏培仁
16K/424 頁/600 元

◎上列書價若有變動，請
以最新定價為準。

流程圖



第 1 章

導 論.....1-1

1-1	測量的意義	1-1
1-2	單 位	1-2
1-3	標 準	1-5
1-4	測量方法	1-11
1-5	誤差的種類及校正	1-12
1-6	常態統計分析	1-15
1-7	準確度	1-18
1-8	精密度與有效數字	1-19
1-9	靈敏度與解析度	1-21

第 2 章

直流與交流指示儀表2-1

2-1	直流基本電表	2-1
2-2	直流電流表	2-8
2-3	直流電壓表	2-11
2-4	電壓表靈敏度	2-12
2-5	負載效應	2-13
2-6	整流式交流電壓表	2-15
2-7	歐姆表	2-19
2-8	三用電表使用法	2-23
2-9	交流指示儀表	2-37
2-10	電子電壓表	2-44

2-11 <i>RLC</i> 電表	2-59
2-12 電晶體測試器	2-62

第 3 章

示波器.....3-1

3-1 基本示波器方塊圖	3-1
3-2 陰極射線管	3-2
3-3 垂直電路	3-13
3-4 同步與掃描電路	3-20
3-5 探 棒	3-37
3-6 取樣示波器	3-43
3-7 儲存示波器	3-45
3-8 <i>X-Y</i> 示波器	3-49
3-9 示波器的應用	3-50
3-10 新型示波器及應用	3-63

第 4 章

信號產生器.....4-1

4-1 音頻產生器	4-1
4-2 函數波產生器	4-10
4-3 函數波產生器的電路方塊介紹	4-17
4-4 脈波產生器	4-19
4-5 頻率合成器	4-24
4-6 FM/AM 信號產生器	4-27
4-7 掃描標誌產生器	4-29
4-8 圖形產生器	4-34

第 5 章

直流電源供應器5-1

5-1 可調雙電源供應器	5-2
--------------	-----

5-2	數位式及可程式直流電源供應器	5-10
5-3	單組及多組輸出直流電源供應器	5-10

第 6 章

信號分析儀表.....6-1

6-1	波形分析儀	6-3
6-2	失真表	6-5
6-3	頻譜分析儀	6-8
6-4	曲線描繪器	6-14
6-5	記錄器	6-18

第 7 章

數位儀表.....7-1

7-1	概 述	7-1
7-2	數位量測與誤差	7-2
7-3	通用計數器	7-11
7-4	數位電壓表	7-13
7-5	數位電壓表的應用	7-18
7-6	數位複用表	7-21
7-7	邏輯分析儀	7-24

第 8 章

電橋式儀器及向量儀表8-1

8-1	比較測量的意義	8-1
8-2	電位計	8-2
8-3	惠斯登電橋	8-6
8-4	愷爾文電橋	8-12
8-5	交流電橋	8-15
8-6	各種交流電橋測量儀器之原理與應用	8-17
8-7	阻抗電橋	8-28

8-8	Q 表	8-29
8-9	向量阻抗電表	8-36
8-10	向量電壓表	8-41

第 9 章

自動測試系統.....9-1

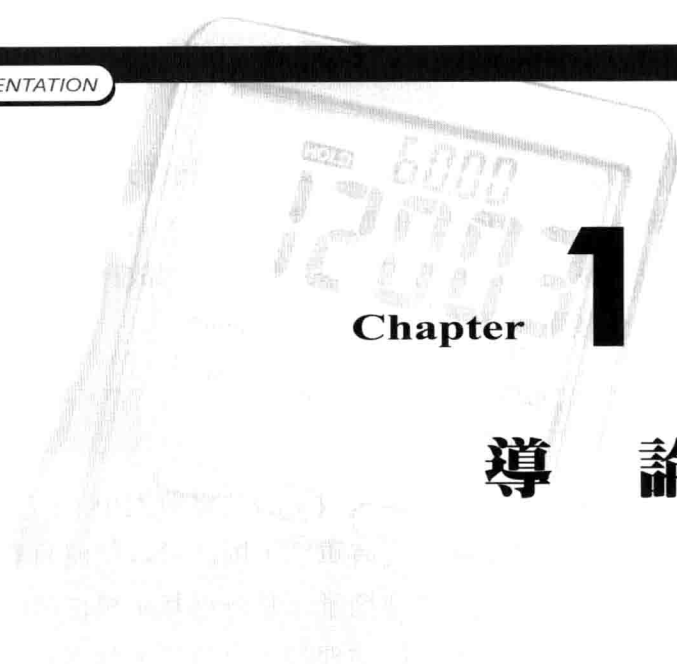
9-1	資料蒐集系統	9-2
9-2	介面匯流排	9-3
9-3	自動測試系統簡介	9-9

第 10 章

儀表之發展及未來趨勢10-1

10-1	儀表之發展現況	10-1
10-2	儀表未來發展趨勢	10-3

附錄一	物理量與 SI 單位	附-1
附錄二	國際標準單位與 SI 單位的實現	附-2
附錄三	儀表相關網站	附-4
附錄四	量測標準體系、追溯體系及儀表校正	附-10
附錄五	參考文獻	附-12



Chapter 1

導 論

1-1 測量的意義

自然科學的研究與測量兩者間是密切而不可分離的，在科學史上，常因理論與經由精確測量的實驗值間之微小而重要的差異，導致新穎和更廣泛的理論發展。由於科學的新發現而產生新的測量方法，新測量方法的發現，使科學家得以揭發更多的宇宙奧秘而導出更多的物理定律。如法拉第 (Faraday) 由實驗建立其電磁感應定律，庫倫 (Coulomb) 由實驗建立其平方反比定律。

工程師可應用科學上的發現，來製造種種節省勞力的機械，以增加我們的生產力，加快我們的機動性，增進我們的生存能力，而形成一生活舒適與經濟富裕的社會。

儀器與測量在目前這個工業社會中愈來愈重要，由於大多數的物理量都能藉著轉換器改變為電量，改變為電量以後便可以使用電子儀表來加以測量。測量的結果可直接的指示出來，或是加以記錄以供分析，或

者把所得的資料回饋來控制原輸入系統的功能，而構成一自動程序控制系統。所以電子儀表的應用非常廣泛，其不僅能應用於科學上的研究，而且也應用於所有的工程學或醫學上。故為任何實驗室、研究機構或各種的生產單位所不可缺少的工具。

1-2 單 位

單位係用以表示測量數量的性質與大小，對各種物理量的基本量予以明確的定義，如果沒有單位，則測量數就沒有實質的意義。單位為每一種類的物理量之標準測量，常分為基本單位與導出單位。基本單位是獨立的，不能以其他的物理量來定義之，基本單位的數目，是對所有的物理量有一致和明確的描述時，所需的最少數目，在物理學中常視長度、時間和質量為基本量，而定出其單位是為基本單位。可以用基本單位來表示的單位，稱為導出單位，如面積、加速度等的單位為導出單位。

到現在為止實用的各種單位系統已由國際度量衡總會加以統一而成為 SI 單位系統(國際單位系統)(system international units)，此系統依米-千克-秒(MKS)制，導出實用的單位系統，而有七個基本單位與二個輔助單位，由這些基本單位將可導出組立的單位，也稱為導出單位。表 1-1 為 SI 的基本單位，表 1-2 為 SI 的輔助單位，表 1-3 為 SI 單位之 10 的整數值次方作為 SI 單位的詞頭，表 1-4 為實用電學單位之定義。現有物理量與其相對的 SI 導出單位或組成單位請見書末附錄一之附表 1 與附表 2。

表 1-1 SI 基本單位

量	單位之名稱	符號	定 義
長度	米(公尺)	m	1 米是光在真空中經過一秒所行進距離的 299792458 分之一。
質量	仟克	kg	1kg 是直徑、高度均為 39mm 之白金與鈹合金製成之圓柱型國際原器的質量
時間	秒	s	1 秒是由銫(cesium)133 原子頻率標準器所得到的，以銫 133 原子在標準狀態下的兩個超微細位準間以對應遷移放射 9192631770 個週期所需的時間。
電流	安培	A	1 安培是在真空中相距一米之兩根截面積極小之無限長平行導線的載流導體，當其取一米長的片段之間能產生 2×10^{-7} 牛頓排斥力時之電流量。
熱力學溫度	凱氏溫度(K)	K	1K 是水的三重點(水、冰、水蒸汽之共存狀態)之熱力學溫度的 273.16 分之 1 的溫度。
克分子量	莫爾(mole)	mol	1 莫爾是與 0.012kg 的炭 12 所擁有之原子數相等之構成元素(原子、分子、離子與電子等粒子或這類粒子的特定集合體)所含之克分子量。
光度	燭光(candela)	cd	1 燭光是以頻率為 540×10^{12} Hz 之單色光定向照射在一個球面度之放射強度的 683 分之 1 瓦特之光源所照射的光度

表 1-2 SI 輔助單位

量	單位之名稱	符號	定 義
平面角	弧度	rad	在圓周上取與半徑等長的弧長所對應之圓心角即為一個弧度，或稱為徑度。
立體角	立體弧度 (立體徑度)	sr	以球心為頂點，向球半徑處之球面取邊長為半徑之正方形面積所對應之球面角為一個立體弧度。

表 1-3 SI 詞頭

SI 詞頭			符號	SI 詞頭			符號
Exa	10^{18}	E		Deci	10^{-1}	d	
Peta	10^{15}	P		centi	10^{-2}	c	
Tera	10^{12}	T		Milli	10^{-3}	m	
Giga	10^9	G		Micro	10^{-6}	μ	
Mega	10^6	M		Nano	10^{-9}	n	
Kilo	10^3	k		Pico	10^{-12}	p	
Hecto	10^2	h		Femto	10^{-15}	f	
Deca	10^1	da		Atto	10^{-18}	a	

表 1-4 SI 實用電學單位之定義

量	單位	符號	定 義
電流	安培	A	1 安培是在真空中相距 1 米的兩根無限長、無限細之載流導體，取其一公尺長的部份能產生 2×10^{-7} 牛頓的力之相當電流；在交流時，指其瞬時值的平方之一週平均值的平方根與上述相當功能者，也稱為均方根值。
電壓	伏特	V	1 伏特指以一安培的定電流流經導體的 2 點間消耗一瓦特功率時，此兩點間之電壓，交流時是指其瞬時值的均方根值與直流等效者。
電阻	歐姆	Ω	當一安培的電流流過電阻時，在其兩端產生一伏特的電壓降，則此兩端點間的電阻值即為一歐姆。
電荷	庫侖	C	一庫侖是一安培電流在一秒鐘所運送的電量。
電容量	法拉	F	一法拉是以一庫侖電荷充電能產生一伏特電壓的電容量。
電感	亨利	H	1 亨利(H)是相當於每秒一安培變化量在封閉的電感器所感應的電勢為 1 伏特之電感量。
磁通	韋伯	Wb	一韋伯是相當於一匝繞組中的交鏈磁路於一秒內均勻減少到消失時，在線圈所感應電勢為 1 伏特時的磁通。
功率	瓦特	W	一瓦特(W)是相當每秒產生一焦耳的能量之功率。

1-3 標 準

一、標準的分類

在實際測量時所採用的單位，必須有一定的標準來作為測量的參考，則在不同的地方所作的測量才能相互比較，若沒有標準時每個人所測量的值，將因基準不同而顯得毫無意義。早期的標準都為物質標準，但物質標準會因時而異，且無法保證永久不變形，亦有可能遭到破壞或遺失，故目前的標準採用原子標準，因其有較高的準確度，且所有同種類的原子均相同，故其特性不變，而原子的取得亦非常容易，所以現在秒與米兩種基本單位是用原子標準定出而不採用原來的物質標準。物質標準的缺點使我們不拿來做為國際標準，但是它們仍然被做為較次級的標準用。

標準依其功能與應用可劃分為國際標準(international standard)、一級標準(primary standard)、二級標準(secondary standard)及工作標準(working standard)。國際標準屬於標準原器的維持，常以絕對測量的方法來建立，存放於國際度量衡局，只與各國的國家實驗室之一級標準作比較。一級標準又稱為國家標準，存放於各國的國家實驗室內，如我國之國家度量衡標準實驗室(national measurement laboratory R.O.C；NML)負責國內標準之校正，美國的國家標準局(NBS)負責北美地區的標準之校正，英國的 NPL、西德 PTR、日本的 ETL 等國家實驗室負責各該國及地區的標準之校正，一級標準持有與國際標準所要求的準確度。為求國際上的單位統一，各國之一級標準與國際局的國際標準須常年施行國際比較，再由國際比較表明各國間的差值，總合各國絕對測量的結果，施行單位修正。二級標準保存於較具規模的工業機構內的標準實驗室，負責校準本身與該區域內的工作標準。二級標準須定期的送往國家實驗室，接受一級標準的校正與比較。工作標準又稱為三級標準，

用以校正一般實驗室的儀表，生產工廠的測試裝備。表 1-5 所示為美國國家標準局(NBS)的各級電量標準之準確度。

表 1-5 NBS 各級電量標準之準確度

	一級標準	二級標準	三級標準
電 阻	1Ω-100kΩ 1MΩ 1-7ppm 10ppm	10Ω-12MΩ 0.02 %	100Ω-12MΩ 0.1 %
直流電壓	0-1200V 5-10ppm	0-1200V 10-20ppm	0-1200V 0.02 %
交流電壓	0-1200V (10Hz-1.2MHz) 0.01 %	1mV-1200V (10Hz-1.2MHz) 0.02-0.05 %	1mV-1200V (10Hz-100kHz) 0.2 %
直流電流	0-10A 0.02 %	0-10A 0.1 %	0-2A 0.3 %
交流電流	2.5mA-20A (5Hz-100kHz) 0.03 %	0-10A (5Hz-20kHz) 0.05 %	0-2A (10Hz-100kHz) 0.5 %
頻 率	10Hz-1000MHz 1×10^{-11}	10Hz-1000MHz 2×10^{-9}	10Hz-1000MHz 5×10^{-7}
ppm : parts per million($1 \text{ ppm} = 10^{-6}$)			

二、電流的絕對測量

電量的單位係以電流的基本單位安培為起點，由此推導出各種單位，安培是由二平行導線間的作用力來定義的。電流的絕對測量可由電流天平來作測量，圖 1-1 所示為美國國家標準局用的電流天平，有一對固定線圈固定於桌上，裏面的可動線圈懸掛於天平臂的一端，並由天平的另一端放置砝碼以取得平衡。將三個線圈串聯而流過待測電流時，線圈間之相互作用力，將破壞原有的平衡狀態，則可藉著加減砝碼使其恢復平衡，而從砝碼的變化量來求得電流的作用力。可動線圈所產生的電流作用力與線圈的形狀尺寸大小及流過的電流間之關係式，可表示為

$$f = K I^2 \quad (\text{牛頓}) \quad (1-1)$$

式中 I ：待測電流，安培

K ：一比例常數，由線圈的形狀尺寸大小而定

天平在平衡狀態下時可由下式表示

$$mg = K I^2 \quad \text{或} \quad I = \sqrt{\frac{mg}{K}} \quad (1-2)$$

式中 m ：變動的砝碼質量，仟克

g ：重力加速度，9.8 米／秒²

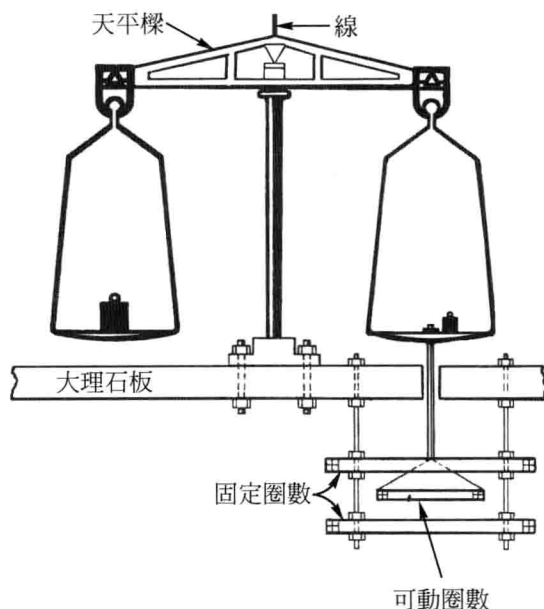


圖 1-1 電流天平

以絕對測量法所定出的絕對安培為SI制中電流的基本單位，並為世界各國所接受。但是絕對測量的手續非常複雜，而且費用高昂，所以目