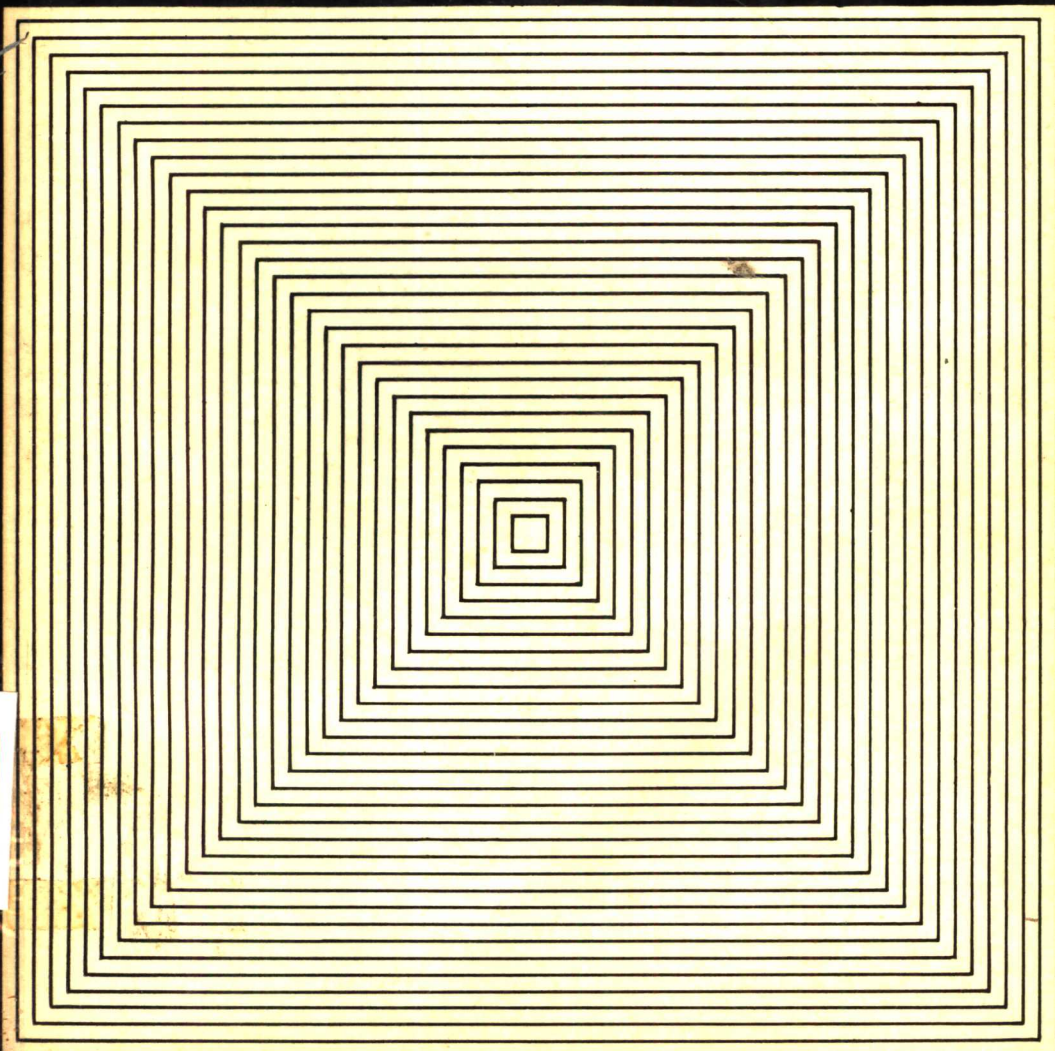


國家科學叢書

電子儀表及測試

William D. Copper 著 黃培錦 譯



*Electronic Instrumentation and
Measurement Techniques*

電子儀表及測試

原著者：*William D. Copper*

譯 者：黃 培 錦

國家書店有限公司印行



有著作權
不准翻印

電子儀表及測試

定價：新台幣壹佰捌拾元整

原著者：William D. Copper

譯者：黃 培 錦

發行人：林 大 坤

出版者：國 家 出 版 社

發行所：國 家 書 店 有 限 公 司

公 司：台北市新生南路一段126之8號三樓

電 話：391-2425 • 391-4261
 392-6748 • 392-6749

印刷所：樺文打字排版印刷公司

中華民國六十七年八月初版

行政院新聞局局版台業字第零陸叁貳號

原 序

如何使用與保養電子測試儀器以做研究、設計、測試以及錯誤偵測，乃今日之技術人員之最基本責任。需要使用測試儀器之機會與日俱增，在過去，電子儀器主要是用來測試電壓、電流、電阻、頻率等物理量；在現代，藉着適當的換能器之助，更可測試其他物理參數。例如，工業儀器方面，生產程序之控制主要是取決於換能器，它可做為測試與控制系統之主要輸入元件。電子醫學方面，將病人之生物變數予以轉變成代表性的電氣訊號，然後加以處理、顯示與測試，也非賴換能器不為功。

由於其他技術方面的提高，使得電子儀表及測試技術之需求也日益擴展，太空工程學為此中最明顯的例子。在一極短時間內將人造衛星發射到固定的軌道，必須藉一極為龐大的電子測試儀器，以快速的資料獲取系統加以收集、儲存並分析資訊，以控制或監視衛星之發射。

欲對測試儀器之用途有一明確的認識，除了必須對待測元件、電路或系統有所了解之外，並且需要對測試儀器本身之性能與各項限制因素瞭如指掌，否則難以竟其功。欲做一件有意義而且有效之測試，不管是測定單一被動性元件之值或是整個系統之動態行為之分析，操作儀器之技術人員必須先能回答幾個基本問題：

- (a) 待測量或待測物之性質與範圍為何？
- (b) 什麼儀器或那些儀器合併使用可以測試此量？
- (c) 如何才可使測試工作盡善盡美？執行此項測試時需要什麼技術？
- (d) 最終測試結果所需之準確程度如何？什麼因素會影響準確度？

本書對讀者提供一些測試問題之解答，其方式為：(a)使讀者能對於測定基本電氣參數時所需之測試原理能有詳盡的了解；(b)以測試結果之有效

性與準確度加以分析，從而使讀者對於測試儀器及測試方法之限制因素與各項性能有所認識；(c)以電子儀器在其主要應用方面之代表例子加以討論，使讀者能融會貫通。

本書並不希望對儀器設計、工作原理或應用之每一變化都做詳盡的討論與分析，而是擇其精要加以介紹，使學者得以舉一隅以反三隅。雖然如此，許多其他的測試儀器之基本元件或概念，都可能在本書中已討論過。

測試電氣參數之標準儀器在前十章中討論，在此部份，我們也介紹了幾項影響測試準確度之因數。對於基本儀器，本書都做十分詳盡的介紹：分析其電路、解釋電路之各元件之功用。本書也列有習題，以便讀者之複習。

本書之後半部則在介紹實驗室型儀器，此種儀器之電路構造較為複雜，然而其中之大部份都是極為標準的電路，學者應該對其特性與工作原理極為熟悉，若希望更進一步研究，可參考適當的書籍。因此，本書介紹高級儀器時都以方塊圖加以說明。

有時對於電子儀器之用途僅知其中數端，使用者必須憑想像或藉助於參考資料才可明瞭其中之梗概。在實驗室測試時，可由廠商所提供之儀器手冊上明瞭一些特殊之測試步驟。此外，一些工程或技術科學期刊、廠商應用手冊或產品資料都有非常豐富的資料可尋，讀者可加以利用。

William D. Copper

譯 序

今日之科學工作人員做各種研究、設計時，精密可靠的儀器爲其不可或缺的工具；從事生產之工程人員，也必須藉助於各項儀器；以便進行其檢修、品管、查驗之工作。在獲得一儀器之後，必須對該儀器有深刻之認識，應用時才能得心應手；此外，也必須對各項測試技術做深入的了解，才可能使測試結果更臻理想。因此，對於儀器之認識與測試技術之了解爲今日之工程人員所必須具備之條件。

譯者有鑒於此，乃不揣淺陋，根據William D. Copper所着之“Electronic Instrumentation and Measurement Technique”做有系統的編譯。該書對於各項儀器及測試技術都以深入淺出，有條不紊的方式予以介紹。

本書首先討論測試之單位與標準，然後對一些基本類比儀表做詳盡的研討，再討論數位儀表，最後討論儀器系統。舉凡各種一般儀表、高級儀表都在本書搜羅之列，誠爲一本不可多得的儀表教本。

本書之主要目地在於使讀者能更深刻的認識各類儀表結構及其使用技術。本書可供大專院校做爲儀表課程之教材或指定參考書，工程人員亦可做爲參考資料。

譯者於公餘之暇進行此書之編譯工作，雖盡可能本著信、雅、達之理想進行此項艱鉅任務，但譯者才力有限，舛誤、疏忽之處在所難免，甚望讀者不吝指正，俾再版時修正，則甚爲感激！

1977年4月

譯者 黃培錦 謹誌

目 錄

譯序

原序

第一章 測試與誤差	1
1-1 導論	1
1-2 準確度與精密度	2
1-3 有效位數	3
1-4 誤差的型態	6
1-5 統計分析	10
1-6 誤差機率及高斯誤差曲線	13
1-7 限制誤差	17
習題	19
第二章 測試單位系統	23
2-1 基本單位與導出單位	23
2-2 單位系統	24
2-3 電與磁之單位	26
2-4 國際單位系統	30
2-5 英制及其他單位系統	30
2-6 單位之轉換	33
習題	35
第三章 測試標準	38
3-1 標準之分類	38
3-2 質量、長度與體積之標準	39
3-3 時間與頻率標準	40

2 電子儀表及測試

3-4 電壓、電流與電阻標準	42
3-5 其他電磁標準	47
3-6 溫度及光度之標準	52
習題	53

第四章 直流指示儀錶

4-1 導論	55
4-2 直流電流表之轉矩與偏轉	56
4-3 永久磁鐵動圈式機械裝置 (PMMC)	62
4-4 電流表靈敏度之定義	67
4-5 電流表分流電阻與多段式電流表	70
4-6 直流電壓表	74
4-7 電壓表靈敏度與負荷效應	77
4-8 電壓表 - 電流表方法	81
4-9 串接型歐姆表	83
4-10 並接型歐姆表	87
4-11 三用電表 VOM	89
4-12 直流儀表之校準	93
習題	95

第五章 交流指示儀錶

5-1 導論	97
5-2 電動式儀表基本結構	97
5-3 動鐵式儀表基本結構	101
5-4 整流型交流儀表	103
5-5 熱儀表	108
5-6 靜電電壓表	113
5-7 以電動表做為瓦特表測試單相與多相功率	115
5-8 電抗性功率測試	120

5-9 瓦特小時表	121
5-10 功率因數表	123
5-11 頻率表	126
5-12 儀表變壓器	128
習題	132
第六章 電位計原理與應用	135
6-1 導論	135
6-2 基本電位計電路	135
6-3 多段式電位計	140
6-4 電壓箱	146
6-5 參考電壓源	147
6-6 電壓表與電流表之校準	148
6-7 自平衡式電位計	151
習題	155
第七章 直流電橋及其應用	158
7-1 導論	158
7-2 惠斯登電橋	158
7-3 惠斯登電橋之靈敏度	160
7-4 卡耳文電橋	164
7-5 兆歐姆電橋及其高電阻之測試	168
習題	170
第八章 交流電橋及其應用	173
8-1 電橋平衡一般方程式	173
8-2 電感與電容比較電橋	175
8-3 馬克斯威電橋	178
8-4 海伊電橋	180
8-5 席林電橋	182

4 電子儀表及測試

8-6 韋恩電橋	184
8-7 華格納接地	186
8-8 電橋元件之屏蔽	187
8-9 通用阻抗電橋	191
習題	194

第九章 示波器

9-1 導論	196
9-2 陰極射線管 (CRT)	196
9-3 電子槍	197
9-4 靜電聚焦	199
9-5 靜電偏向	202
9-6 CRT 之螢光幕	208
9-7 CRT 之接線	209
9-8 CRT 之刻度表	211
9-9 基本示波器電路	211
9-10 時基產生器	216
9-11 自激型掃描電路	219
9-12 觸發型掃描電路	220
9-13 一般示波器之時基電路	222
9-14 掃描電路之同步	223
9-15 示波器探棒	225
9-16 李賽交氏圖型	229
9-17 高頻示波器之研究	233
9-18 高級實驗室示波器	241
習題	250

第十章 測試電壓、電流、電阻及其他電路參數之電子儀表

10-1 導論	253
---------	-----

10-2	電子直流電壓表	253
10-3	電子交流電壓表	256
10-4	平衡電橋電壓表 (VTVM或TVM)	260
10-5	選擇類比電壓表注意事項	267
10-6	差動電壓表	269
10-7	數位電壓表	274
10-8	向量阻抗表	281
10-9	向量電壓表	285
10-10	Q值表	289
	習題	300
第十一章	產生與分析波形之儀表	302
11-1	振盪器	302
11-2	脈波與方波產生器	310
11-3	訊號產生器	320
11-4	函數波產生器	327
11-5	波形分析儀	330
11-6	諧波失真分析儀	333
11-7	頻譜分析儀	339
	習題	345
第十二章	數系	347
12-1	導論	347
12-2	不同數系之計數	348
12-3	二進制 - 十進制之轉換	350
12-4	十進制 - 二進制之轉換	352
12-5	二進制數系之算術運算	354
12-6	八進制數系之轉換	360
12-7	二進制數編碼式十進制數 (BCD碼)	362

6 電子儀表及測試	
12-8 符號記法	363
習題	364
第十三章 頻率與時間測試儀表	367
13-1 導論	367
13-2 十進制計數組件 (DCA)	367
13-3 控制電閘	377
13-4 時基及其附屬電路	381
13-5 頻率測試	382
13-6 週期測試	384
13-7 比率測試	386
13-8 時間區間測試	386
13-9 通用計數器 - 計時器	386
13-10 測試誤差	389
13-11 幾項測試應用	392
習題	398
第十四章 做為儀器系統輸入元件之換能器	400
14-1 換能器之分類	400
14-2 換能器之選擇	403
14-3 張力儀	404
14-4 位移換能器	409
14-5 溫度測試	420
14-6 感光裝置	432
14-7 磁測試	440
習題	444
第十五章 類比與數位資料獲取系統	446
15-1 儀器系統	446
15-2 磁帶記錄器	448

15-3	數位 - 類比轉換.....	457
15-4	類比 - 數位轉換.....	460
15-5	多工調節.....	473
15-6	軸式編碼器.....	467

第一章 測試及誤差

1-1 導 論

所謂測試 (measurement) 為使用儀器去測定並決定某物理量或變數之方法。儀器是一種輔助人為對某一未知量所不能測定時的輔助工具。因之，儀器可定義為「可測試一物理量或變數之值或大小之裝置」。而電子儀器，由字面上的意義可知它是基於電氣或電子原理為其測試功能的儀器。電子儀器的種類很多，由最初的單純裝置（如第四章所述的直流表）以至於由於技術的發展，工程人員對於精確儀器的需要日增，以至於發展出更精密、更複雜的儀器。使用儀器之前，必須對該儀器之工作原理有深確的了解才能對該儀器之應用得心應手。

使用儀器時常常使用一些特有名詞，我們先在此作簡短的定義：

儀表 (instrument)：測定一物理量或變數之值或大小之裝置。

準確度 (accuracy)：待測變數之真正值與儀表讀數接近之程度。

精密度 (precision)：對一已知量或未知量重複測試時，各數值間的差異之接近程度。

靈敏度 (sensitivity)：儀表之輸出訊號或響應與輸入訊號或待測變數之變化之間的比值。

解析度 (resolution)：引起儀表響應時，待測訊號之最低變化量。

誤差 (error)：與待測變數之真正值偏差的程度。

欲減小誤差效應，可利用幾種技術，例如，可以製造更精密的儀器，將數個觀測值連續記錄，而不像一般儀器只記錄一個觀測值；其他的方法諸如使用不同的儀器做同項實驗，亦為提高準確度的甚好方法。雖然目前的工

2 電子儀表及測試

程技術的趨勢是藉着降低環境或雜項誤差以提高儀表的精密度，但對於儀表本身的誤差卻不能忽略。

本章在於引介儀表的各項誤差以及以待測變數中最可靠的數值表示誤差的方式。

1-2 準確度與精密度

準確度是表示待測量之真正值與測試值之接近程度；精密度則表示以數個儀器測試，所得結果的差異之接近程度。

爲了說明準確度與精密度之間的區別，可拿兩只同一廠家同一型號的電壓表爲例加以說明。兩只電壓表之指針都十分尖細，而且刻度表設有反射鏡以防止視差，而且其刻度都已校準得十分準確，在此情況下，此兩只電表可說是具有相同的「精密度」。若其中一只電表之串聯電阻值之變化率甚大，則其讀數之誤差必也甚大，在此情況之下，此兩只電表之「準確度」則有截然不同的差異。（若欲測出那一只儀表有誤差，可將兩只電表與另一只標準儀表比較測量。）

精密度決定於下列兩項因數：一是一致性（conformity），一是儀表所能顯示之有效位數（significant figure）。例如，有一電阻，其真正電阻值爲 $1,384,572\ \Omega$ ，用一歐姆表測量，歐姆表一再測量都能測出其真正值，但觀測者是否能由刻度表上「讀」出這真正值呢？一般觀測者所能讀出的數值幾乎都是 1.4 兆歐 （ $M\ \Omega$ ），因爲這是他自刻度表所能讀出的估計值，雖然觀測值無偏差，但由於刻度讀數之限制所引起之誤差仍不可忽略，此項誤差稱爲準確度誤差（precision error）。

由上面 $1.4\text{ M}\ \Omega$ 的讀數之例子說明了一致性是精密度之必要條件，而非充份條件，因爲它缺乏了有效位數的獲得。同理，精密度是準確度的必要條件，而非充分條件。

初學者習慣於接受儀器的表面值即爲測試值，他是不了解讀數的準確度是必要以其精密度之相輔相佐的。事實上，一般優良的測試技術中，必

須連續的存疑以確保結果之準確。

在一般較嚴格的工作情況下，常常需要用不同的測試儀器或不同的測試技術，消除系統誤差（systematic errors）；而實驗者必須確保儀器之正常功能並加以校準至一已知的標準，以消除足以影響儀器之精確度之外界因素。

1-3 有效位數

由上節之說明可知：儀器之精密度必須由其表達之有效位數決定之，有效位數是表達大小訊息以及以儀器測一數量之精密度之最有效的方式；有效位數愈多，則儀器之精密度愈大。

例如，有一電阻標明是 $106\ \Omega$ ，則表示該電阻值接近 $106\ \Omega$ 而非接近 $105\ \Omega$ 或 $107\ \Omega$ ；若電阻值標明 $106.0\ \Omega$ ，則表示電阻值接近 $106.0\ \Omega$ 而非接近 $106.1\ \Omega$ 或 $105.9\ \Omega$ 。在 $106\ \Omega$ 的情況下，它的有效位數是三位，在 106.0 值的情況下，它的有效位數則為四位。後者之有效位數較多，即表示其測定之精密度較前者為高。

然而，在一般情況下，並非一個數字的位數愈多，就表示測定的精密度大。通常表示人口或金錢的數目時，一般都在尾數後面加上幾個零以表示約略值。例如一城市的人口寫成六位數時，可寫成 $380,000$ ，這就表示它的人口真正值為 $379,999$ 至 $380,001$ 之間，它有六位有效位數，但 $380,000$ 真正的意義卻是人口數目介於 $370,000$ 至 $390,000$ 之間，它的有效位數才兩位而已。然而大數目必須如何表示呢？

一般在工程上都以十的冪數表達，例如上面所舉的人口例子，可以表示成 38×10^4 或 3.8×10^5 ，這就表示該人口之數字之有效位數為兩位。用此種表示方法就可以解決許多零的數字之有效位數問題。再舉一項例子，若光速寫成 $186,000$ 哩 / 秒，則很容易引起一般具有工程概念的學者的誤解，若寫成 1.86×10^5 哩 / 秒，則就不會有此現象。

習慣上，在儀器測試時，我們都是將愈接近於真正值之所有數位都列

4 電子儀表及測試

出，例如，讀一電壓表時，可能讀成 117.1 伏，這種情況下表示觀測者估計該值較接近 117.1 伏而非接近 117.0 伏或 117.2 伏。另有一種表達此種可能誤差範圍（range of possible error）之方式，若將此電壓寫成 117.1 ± 0.05 伏，則表示該電壓值介於 117.05 伏至 117.15 伏。

若實施多次獨立的測定以期獲得最接近的解答時，其結果可用所有讀數之均值（mean）表示之，再於其後附上其與均值間之可能誤差範圍，亦即最大偏差量（largest deviation）即可。

例 1-1 由四個實驗者所作的電壓測試值，分別記為 117.02 伏，117.11 伏，117.08 伏及 117.03 伏，試計算其 (a) 平均電壓，(b) 誤差範圍。

解 (a)
$$E_{av} = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + E_4}{N}$$
$$= \frac{117.02 + 117.11 + 117.08 + 117.03}{4}$$
$$= 117.06 \text{ 伏}$$

(b) 範圍 $= E_{max} - E_{av} = 117.11 - 117.06 = 0.05 \text{ 伏}$

但 $E_{av} - E_{min} = 117.06 - 117.02 = 0.04 \text{ 伏}$

則平均誤差範圍為

$$\frac{0.05 + 0.04}{2} = \pm 0.045 \cong \pm 0.05 \text{ 伏}$$

若兩種或兩種以上不同精密度之測試值相加，其結果必須取其中精密度最小之測定值為之，設例 1-2 之兩電阻互相串聯，若將兩者相加，則可看出端倪。

例 1-2 電阻 R_1 與 R_2 串聯，以惠斯登電橋分別測出兩電阻值 $R_1 = 18.7 \, \Omega$ ， $R_2 = 3.624 \, \Omega$ ，試求其總電阻至最適當的有效位數。