

謝謝您選購全華圖書！
希望本書能滿足您求知的慾望！

序

本書是寫給那些有點瞭解電學、電子學與電路理論而想熟悉目前可資利用的各種電子儀器與測定系統，以及他們所能做的測定種類。由於本領域的發展至為廣泛而且繁多，因此我們不得不略去許多有關基本與專門性質的題材。例如，雖然在有些章節詳細說明許多用於直流測定的儀器，但是就沒有專門的一章來討論直流測定。另外，雖然本書提及資訊遙測系統的許多零件，但也沒有介紹用於太空計劃中極其龐大複雜的系統。本書避免研究過份淺顯與奧秘的，希望能成為更一般性而有用的書本。

幾年前我為發行人所騙而簽約寫這本書。他們的論點是頗為誘人的：電晶體的發明使得既存有關本題材的書本全已過時，在那些書本纂寫之後科技大為進展，而我個人與這些進展的大部份都有所關連，等等。我為這些勸說所迷惑而答應接受這項任務。當時我頗為陶醉，但是現在來講似乎太自負了一點，蓋在我愈致力於此項工作時，憂慮就愈堵在我的心頭，而立刻使我洩氣以至癱瘓狀態。長久我自欺欺人的認為我可以同時寫書與執行日常的工作，其時我任 IEEE 的總裁，此時我的罪惡感也逐漸加深，幸好我能找到 John Cage 請他邀約另外的作者並編纂整理他們的工作成果。如果沒有他們的貢獻，以及 John 對諸多細節與日程的密切注意，本書就不可能寫成。

這本書並不是我原來所要寫的，但是，我想，這是一本好書而且在許多方面優於我所能寫的，若我有時間的話。為了所有對本書有所貢獻的人，我希望你與許多、許多其他的人會覺得這本書是有價值的。

B. M. Oliver

再 序

隨著機械文明的發展，測定的種類日益增多而且也愈來愈複雜。我想儀器技藝一定會比科學與工程成長得快這是個公理。而電子測定與儀表在電子學與電機工程中的迅速發展也確實能支持這個公理。

儀表這樣的成長對於學工程或科學的學生、對於測定工作參數的技巧已經落伍的年輕現場工程師、以及對於密切注意及技術進步所產生巧妙的測定技藝扮演重要角色之經理人員等都發生了問題。在這些人員能參與這種進步的浪潮之前，我想他們必需學得現代儀器的原理以及創造性觀念的組合。然後才能熟練的應用儀器而甚至能理解新的。這本書的目的就是要幫助這些人們。

試看看第4章，“雜訊的測定”，如果不能明白此題材，則工程師或科學家何以深入瞭解任何涉及變量的學問？或是看看第5章，“數位技巧的訊號分析”，一種能夠適當的以時間函數，即使積分期間不是無窮大，來表示傅氏轉換式是何等的重要！或是第16章，你真的瞭解頻譜分析儀嗎？

幾年前，McGraw-Hill 建議 B.M. Oliver、Hewlett-Packard 公司研究發展部門的副總裁，為必然人選之一，來寫本有關電子測定與測試儀器而內容豐富的參考書。然而，很顯然的這本書涵蓋許多學科，需要許多專家的智識，並且耗時甚鉅，而不能配合 Oliver 的工作。我由經驗得知任何與 Barney Oliver 共事的人大腦脈管系統都會變得康健，而使老衰轉變為，如 Shakespeare 所說的，“華服的耆者”。

和這許多專家同事也能同樣的獲益，這些專家的姓名列於各章的標題。而使多於三十五位專家的筆記與文章能有連貫至少也有些教育性。這些人們工作都很忙碌（在寫作時又經常沒有靈感），但是都是真正的專家。

我們沒有足夠的篇幅特別來討論有關醫學、化學及其他非電氣等領域的測定。這些題材需要另有專書來說明。

我不再於序言討論本書的編排計劃。第1，2，與3章對此有詳盡的說明。然而，我必需深深的感謝 Helen Azadkbanian 小姐非常細心的處理手稿，Downc 夫人幫助解決一些繪圖的問題，以及內人、Mildred、以美與愛心使得一切都益增光采。

John M. Cage

譯者序

電子儀表是研究科學時基本且必需的工具，而其測試的技巧更是一種藝術。由於科學技術的突飛猛進，及工程應用的日新月異，使得儀器學科在科學技術發展中扮演一個更重要的角色。在科學實驗室裡它是“標準”的測試工具；在工業方面它是控制系統的指揮中心；在品質管制中又是取捨的依據。

科學與工業愈進步，測試單位亦愈精細，而其值域愈大；故非但電子儀表本身的結構需要精密、可靠；而且正確、有效與精確的測試方法更有必要。否則，即無法達到預期的效果，亦無法施展現代精密儀表的特點。

本書所介紹的範圍涉及頗廣，其主要內容已詳述於作者原序與再序。我想將其歸納，以加深讀者對本書的了解：

1. 本書所討論分析的許多題材是目前坊間有關電子儀表，或電子學書籍中甚少涉及的內容。
2. 對於測試技巧的分析與比較，係以數學分析為基礎，再討論實際的測試方法與電路結構。使讀者得以曉得如何選擇與使用測試技巧，是本理論與實用並重的書。
3. 本書每一單元都分別由從事該工作的權威學者來執筆，故每一單元所論述者均極為精采可讀，且又不失整本書的連慣性與特色。
4. 由於電子儀表學科所涉及的範圍相當廣，想在有限的篇幅完全作詳細分析是有困難，因此，每一章均列有“參考書目”以方便讀者尋找資料參考。書內標有“〔2〕”符號者，即表示該資料可在章末參考書目中的第2本書內找到更詳細的說明。

由於本書作者均為專家學者，其用辭之美，題材之新，討論範圍之廣，堪稱為一本好書。譯述時雖力求原意之保存，且通順易懂，惟譯者學養不足，難免力有未逮之處，尚祈先進隨時賜予指正為幸。

林元三 歐文雄 謹識

中華民國64年11月

爲「科學中文化」

展開一個新紀元

全華科技圖書公司的服務精神
將爲「科學中文化」展開一個新紀元

近來，學術界有一共同的認識，那就是：欲求科學在中國生根，必須先從「科學中文化」入手。

我們基於提高「中文科技知識水準」的原則，竭誠編撰了一些中文科技教科書和參考書，希望能爲「科技中文化」略盡心力，也期望能以此開，得拋磚引玉的功效，以使全國國民共同爲發展國家科技知識而努力。

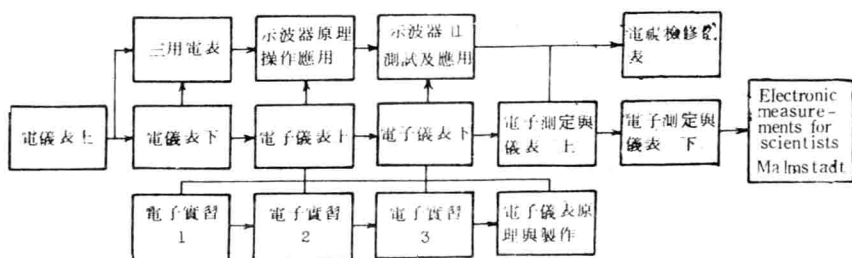
本書編印，審慎小心，可是，「疏漏」及「尙待改進」之處尙多，我們竭誠歡迎您來信指正。

編輯部序

「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所將提供給您的，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，且循序漸進。

現在，我們將這本「電子測定與儀表」呈獻給您，使您能正確了解到電子測定的原理和儀表的使用法。本書除詳加分析目前各種常用的儀表外，並闢有專章介紹雜訊的測定和發射機與接收機的測定，以及微波系統的測定等，此均為目前在測定領域上很重要的題材而為他書所無者。本書適合具有電子學與電路理論基礎的電子、電機科系學生和工廠從業員參考之用，可幫助讀者熟悉目前可資利用的各種電子儀器與測試系統。

同時，為了使您能有順序且循序漸進，研習有關電子儀表課程，我們將全華公司一整套電子儀表系列叢書按深淺順序，以流程圖方式列之於下，只要您按照順序詳加研讀，除可減少您摸索時間外，更可使您具備有電子儀表方面完整的知識，希望您能善加利用。有關以下各書內容除於本書後做單頁簡介外，如您需要更進一步資料時，歡迎來函連繫，我們將可給您滿意的答覆。



我們將隨時提高編輯、製作水準！
歡迎您來信指正本書的錯誤、缺點！
如果本書有缺頁、倒序、污損等情形，讓我們致歉！
並請您將原書退回，我們將儘速給您補換，謝謝！

(上 冊) 目 錄

第 1 章	基本原理	1
1-1	測定的任務	2
1-2	測定的單位	5
1-3	標準測定單位	
第 2 章	線性系統的正弦波測試	15
2-1	數學基礎	16
2-2	增益或損耗的測定	19
2-3	相位測定	22
2-4	自動網路分析儀	28
2-5	延遲失真測定	29
2-6	迴路增益測定	34
2-7	非線性測定	38
2-8	正弦波測試的注意事項	40
第 3 章	線性系統的方波與脈波測試	43
3-1	工具與技巧	44
3-2	暫態與正弦響應之間的關係	45
3-3	一般化輸入的響應	55
3-4	方波響應的低端截止效應	57
3-5	時域反射測定	61
第 4 章	雜訊測定	65
4-1	數學基礎	65

4-2	雜訊測定	79
4-3	以雜訊為測定訊號的測定	86
4-4	假隨機測試訊號的測定	91
4-5	雜訊存在時的測定	95
第5章 訊號分析的數位技巧		105
5-1	傅氏轉換式——基本理論復習	107
5-2	統計學——基本理論復習	111
5-3	訊號分析	113
5-4	結 論	147
第6章 頻率與時間測定		155
6-1	時間的定義與標準	155
6-2	標準頻率與時間訊號的廣播	157
6-3	時間與頻率標準	160
6-4	頻率測定儀器	171
6-5	頻率合成器	177
第7章 直流儀器放大器		185
7-1	直接耦合放大器的研究	187
7-2	自動重定的直流放大器	196
7-3	微差放大器	199
7-4	斬波放大器	202
第8章 電壓與電流測定		207
8-1	DVM 的介紹	207
8-2	非積分形式的DVM	209
8-3	帶有計數電路的數位電壓表	215
8-4	常態斥拒	225
8-5	共態斥拒	227
8-6	交流電壓測定原理	231

8-7	平均值響應式檢波器	233
8-8	峰值響應式檢波器	239
8-9	峰對峰值檢波	243
8-10	均方根值響應式檢波器	243
8-11	其他的檢波方法	247
8-12	抽樣電壓表	248
8-13	同步檢波	250
8-14	直流測棒	252
8-15	交流測棒	254
第9章	阻抗測定	257
9-1	定義與公式	257
9-2	零件與標準	262
	電阻器	262
	電容器	265
	電感器	267
9-3	測定阻抗的電表法	269
	直流電表	269
	電容與電感電表	271
	複數阻抗電表	272
	電阻與阻抗比較器	273
9-4	直流電橋	274
	Wheatstone 電橋	274
	低值電阻器的測定	276
	高值電阻的測定	278
9-5	低頻電橋	280
	概 述	280
	四臂電橋的分類	282
	帶有電感耦合比例臂的電橋	283
	特種電橋	289

全自動與半自動電橋	294
9-6 射頻阻抗的測定	295
射頻時所產生的問題	295
射頻電橋	295
T形網路	297
諧振方法	299
射頻電表方法	301
9-7 精確測定	302
阻抗單位的標準化	302
精確測定的方法	304

(下 冊) 目 錄

第10章 聲頻訊源	313
10-1 正弦聲頻訊源	313
10-2 LC振盪器	314
10-3 電阻-電容訊號產生器	321
10-4 Wien電橋振盪器	325
10-5 實際的Wien電橋振盪器	328
10-6 相移振盪器.....	330
10-7 環式振盪器.....	331
10-8 拍頻振盪器.....	333
10-9 多相拍頻振盪器	334
10-10 正弦波合成.....	337
第11章 示 波 器	343
11-1 示波器的功能.....	344
11-2 陰極射線管.....	345
11-3 陰極射線管顯示幕的特性.....	352
11-4 CRT儲存幕特性	357
11-5 通用型示波器.....	363
11-6 抽樣示波器.....	389
11-7 特種示波器.....	397
11-8 附 件.....	408
第12章 記 錄 器	419
12-1 電流計記錄器.....	420
12-2 電流計記錄器的放大器.....	432

2 電子測定與儀表

12-3	筆驅動機構	437
12-4	伺服記錄器	447
12-5	磁性記錄	451
12-6	磁性記錄技術	454

第13章 聲頻與視頻放大器的測定 467

13-1	轉換增益與轉換函數	467
13-2	放大器的穩態增益與相位測定	470
13-3	極準確的增益測定	475
13-4	共態斥拒與輸入平衡	477
13-5	應用變壓器耦合的共態斥拒與平衡	481
13-6	低CMR與平衡比值的微差放大器	482
13-7	動態範圍與失真	486
13-8	轉動限制	490

第14章 發射機與接收機的測定 493

14-1	一般特性	493
14-2	基本測定	495
14-3	特殊的系統測定	496
14-4	接收系統的測定	500
14-5	Sinad 靈敏度	503
14-6	調變接受頻寬	504
14-7	靈敏度與雜訊度的關係	505
14-8	自動增益控制的特性	507
14-9	發射系統的測定	509
14-10	無線電設備的規格	521

第15章 微波訊源 527

15-1	微波電晶體振盪器	528
15-2	固態微波放大器	532
15-3	其他的固態微波訊源	537

15-4	固態微波振盪器	546
15-5	固態訊源的比較	553
15-6	微波訊號產生器	557
15-7	訊號產生器的振幅調變器	564
15-8	微波拂掠產生器	568
第 16 章	微波訊號分析	577
16-1	功率測定	577
16-2	超過 100 mW 的功率測定	585
16-3	脈波功率測定	585
16-4	不匹配所需考慮的問題	587
16-5	應用時所需考慮的問題	588
16-6	微波頻率表或波數計	591
16-7	頻譜分析	595
16-8	拂掠超外差式頻譜分析儀	599
16-9	波譜分析儀	610
16-10	TRF 頻譜分析儀	611
16-11	多重濾波器即時頻譜分析儀	611
16-12	追蹤產生器計數器	614
16-13	分析儀的技術與應用	616
16-14	觀察脈波頻譜時選擇頻寬與其他控制設定的一些技巧	627
16-15	電磁干擾測定	629
第 17 章	微波網路分析	631
17-1	反射與阻抗的測定	632
17-2	衰減測定	636
17-3	陶磁裝置	637
17-4	雙埠網路理論	647
17-5	s 參數理論	648
17-6	應用散射參數計算網路	654
17-7	s 參數的測定	662

17-8	測定技術.....	664
第18章	自動測定系統.....	681
18-1	低位準多波道資料蒐集系統.....	682
18-2	共態雜訊斥拒.....	683
18-3	常態雜訊斥拒.....	686
18-4	低雜訊前級放大器.....	686
18-5	串擾.....	687
18-6	熱電壓.....	689
18-7	掃描器.....	690
18-8	自動分析儀系統.....	691
18-9	自動測試系統.....	693

1

基本原理

BASIC PRINCIPLES

Bernard M. Oliver

*Hewlett-Packard Company
Palo Alto, California*

自古人們就會測定簡單的物理量，但測定之成為嚴謹的技藝僅是近幾百年的事情而已。今天我們所測定的許多物理量於一世紀之前不是未為人所知，就是為人所誤解。即使是最基本的因次如時間等都還是很簡陋的以沙漏計或水滴計來測定，直到伽利略研究鐘擺的運動後才用諧振系統來替代這些器械。此後，雖然由於更好的諧振系統不斷的發明致使準確度大為增進，但是時計的原理却都沒有改變。今天我們應用鉍及氫原子諧振系統來測定時間，其準確度小於每三萬年一秒的誤差。迄今尚未有其他的物理量能夠度量得這麼精確。於測時法日益增進其準確度之同時，其他部門也因電子學的應用而使得測定方法大為受益。

電子測定可分成兩類：一類為電子量諸如電壓、電容及場力等的測定，另一類為藉電子方式對其他物理量諸如壓力、溫度及流率等的測定。電子儀表目前已能解決電子學本身測定的需要，尤有進者其尚能廣泛的應用於其他部門。本書主要的是以電子學的工具來討論電子儀表，這樣可以避免重覆與不得深入，而且又可失去一般性，因為以電子方式來測定非電物理量時，第一步總是把這些物理量變換成電量。

1-1 測定的任務

科學及工藝與測定是密切而不能分離的。誠然，現代的測定儀器是科學的成果，但是同樣的，若無測定的能力，也就沒有科學。Kelvin 爵士說過知識若不能以數字來表示即為欠缺不能確認者，這並不是偏見；他只是表白科學知識基本的一面而已。物理定律為定量的定律，而這些定律的正當性也只能藉精確的測定來確認。也正是強調理論與實驗值的一致才使得科學有別於哲學。

Tycho Brahe 對天體仔細的觀察以及 Johannes Kepler 對此項資料輝煌的分析很戲劇性的說明了精確測定對於科學進步的貢獻。Plato 及遵從他的希臘哲學家認為天體是完整無瑕的，是由第五種物質（別於土、火、空氣與水）所組成，而其運動一定是永遠不變完整無瑕的。因為星球為圓周運動，所以他們也相信行星的運動可以用均勻圓周運動適切的組合來說明之。二千年間行星的運動視為圓周運動在天文學上是最重要的課題。Samos 的 Aristarchus（250 B.C.）的太陽中心說，Ptolemy（A.D. 150）的地球中心說，甚至 Copernicus（A.D. 1543）的太陽中心說，都遵循圓周運動的觀念。雖然消除地球本身運動的大周轉圓，Copernicus 學說大為簡化 Ptolemy 學說，但是這兩種學說都不能夠預測所有時間行星正確的位置。這兩種學說的誤差常常都高達兩度。

對 Tycho Brahe（在 Copernicus 死後不久出生）來說這兩度的誤差是太大了。於是他決定在正確學說發明之前，長期的精確測定行星位置。獲得丹麥 Frederick II 的財政支持，他建造了一個很大的象限儀及其他測量角度的儀器。把這些儀器架設於觀測室中堅固的基架上，稱之為“天宮”。然後校準儀器，這使得他可以從觀測資料中減去誤差。Tycho Brahe 記錄行星的位置垂二十年之久。Frederick II 死後，他遷往布拉格（Prague），在那兒 Kepler 做為他的助手。

Kepler 着手從 Brahe 的資料計算火星的軌道。經過四年辛勤的工作，Kepler 得到一個尷尬的結論，就是 Copernicus 或 Ptolemy 體系任何周轉圓的組合都不能符合事實。火星的軌道不會像 Plato 所相信的為圓運動構成。Kepler 發現最好的結果與觀測值只差圓弧八分而已。但是 Kepler 曉得 Tycho Brahe 的記錄不會大於圓弧兩分的誤差。Kepler