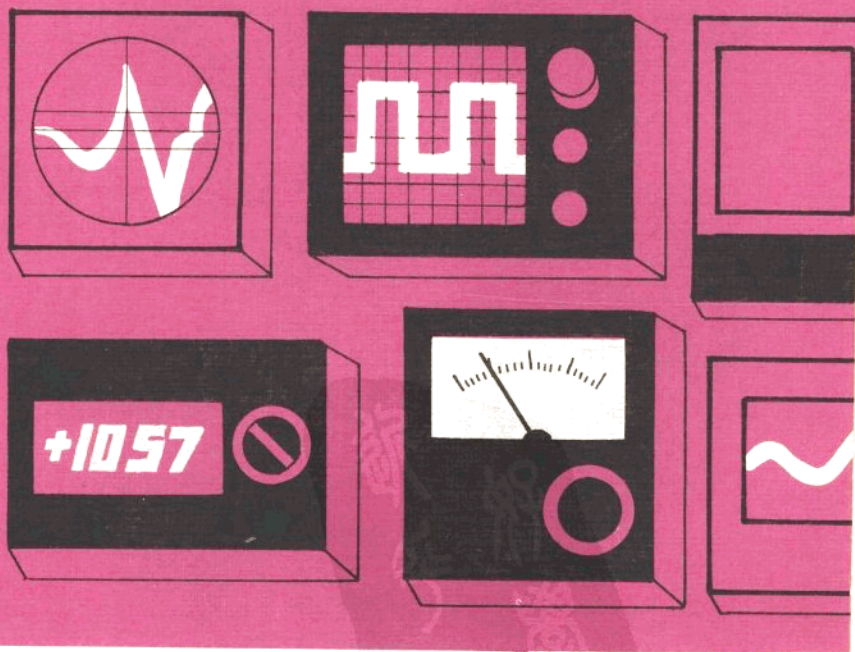


最新部訂課程標準

電子儀表(上)

謝耀宗・李台生 編著



全華科技圖書公司印行

編輯大意

本書之目標，在使學生瞭解電子儀表構造及動作原理，並使學生能瞭解所用電子儀表之性能及使用時應注意事項。

本書以基本觀念為基礎，儘量避免使用繁瑣之數學公式及演算，而以物理觀念深入淺出的作有系統的介紹，所採用的資料亦為最新的及目前在本省使用最廣的儀表為依據，完全不同於其他只談真空管電路的舊式儀表書籍，此亦為本書之一大特點，亦可說是一大革新。

第一冊從基本的交直流表頭介紹起，逐漸述及各種測試電表及元件測試儀器，第七、八兩章則完全介紹示波器部份，由於示波器在電子儀表當中可說是使用得最多最廣的儀器，因此特別加重這一部份的份量。第二冊則由信號產生器開始，逐漸至其他較少使用的儀器以及電視機調整儀器等，在末章中則將各種常見的儀表之電路、規格及使用說明作一整理，本章不僅可供學生對各種儀表作一複習的研讀，亦可供日後查閱電路之用。

書內各章皆備有習題供學生練習之用，各插圖及電路亦力求清晰，儘量摒除國內此類教科書之缺點。本書之編輯雖極為慎重，然疏漏之處在所難免，尚祈先進惠予指正俾再版時訂正。

謝耀宗 • 李台生
於台北工專電子科

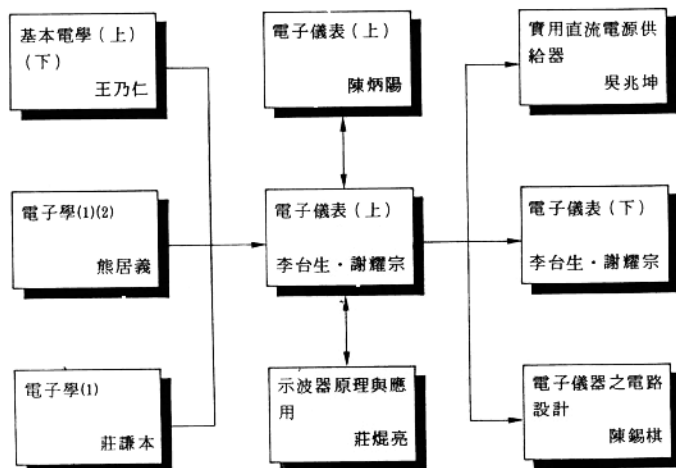
編輯部序

「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「電子儀表」呈獻給您，使您能正確的了解有關電子儀表的基本知識。本書以流暢的筆法，詳細介紹各重要觀念，並附有甚多插圖以幫助了解，同時對各重要公式之應用，皆附例題，以期學者能徹底了解。深信經由本書必可使您對基本電子儀表有一通盤的了解。

同時，爲了使您能有系統且循序漸進研習有關電子儀表系列叢書，我們將全華公司一整套電子儀表系統叢書以流程圖方式列之於後，只要您按照順序詳加研讀，除可減少您摸索時間外，並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，如您覺得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。

流 程 圖



目 錄

第一章 電子儀表概述	1
1.1 單位制與符號	2
1.2 標準	3
1.3 測定與誤差	4
1.4 儀表的分類	5
1.5 習題	6
第二章 直流基本電表	7
2.1 基本電表構造	7
2.2 基本電表轉換為伏特表	11
2.3 基本電表轉換為廣範圍電流表	12
2.4 基本電表轉換為廣範圍電壓表	15
2.5 歐姆表	16
2.6 三用表	20
2.7 電壓表之輸入阻抗	24
2.8 電表之誤差	26
2.9 習題	28
第三章 交流基本電表	29
3.1 整流式電表	29
3.2 動力式電表	33
3.3 可動鐵片式電表	36
3.4 瓦特表	39

3.5 習題	40
第四章 三用表電路及使用	42
4.1 直流電流測試電路	42
4.2 直流電壓測試電路	45
4.3 電阻測試電路	48
4.4 交流電壓測試電路	51
4.5 三用表電路圖	52
4.6 三用表之主要應用	53
4.7 習題	57
第五章 電子電壓表	58
5.1 真空管電壓表之基本結構	59
5.2 實際真空管電壓表電路	66
5.3 電晶體電壓表之基本結構	71
5.4 特殊用途電子電壓表	72
5.5 習題	75
第六章 元件測試儀表	76
6.1 電阻電橋	77
6.2 電容電橋	80
6.3 電感電橋	85
6.4 阻抗電橋	91
6.5 Q 值表	97
6.6 真空管測試器	103
6.7 電晶體參數測試器及特性曲線尋跡器	110
6.8 習題	122

第七章 示波器	123
7.1 示波器基本認識.....	124
7.2 示波器面板的認識.....	132
7.3 操作前預備動作.....	147
7.4 電壓之測量.....	148
7.5 電流之測量.....	156
7.6 週期與頻率之測量.....	157
7.7 相位之測量.....	175
7.8 習題.....	182
 第八章 示波器電路分析及其附件	 184
8.1 陰極射線管.....	184
8.2 垂直放大電路.....	195
8.3 同步及觸發電路.....	200
8.4 掃描產生器.....	207
8.5 水平放大電路.....	215
8.6 雙掃描線示波器.....	217
8.7 示波器的輔助裝置.....	222
8.8 習題.....	233

1

電子儀表概述

從古迄今，儀表測定在技術科學上總扮演重要的角色，例如利用水或沙斗時計來作為時間的測量，更進一步的是用鐘擺作為標準，其他諸如長度、重量等量（Quantity）的測量亦皆有一定的參考標準，但以上諸標準會因時間、溫度及一切外在因素而改變。而今天時間標準利用銨與氫原子中的原子諧振來作時間測量的尺度更增進測量的精確性，例如利用原子時間作標準，三千年才有十分之一秒的誤差，其他各種量亦有一定的標準。借用這些標準作為參考才能達到測量的目的，而在各種測量的工具中又以電子儀表的測量具有獨特的重要性，由於各種型式的能量轉換器（Transducer）的發明：光電、壓電、熱電、電磁等能量的轉換，便可將一切待測的量無論是機械上、化學上、物理上及醫學上等變化皆可轉換為電的信號，再用適當的指示器指示出來以完成測量。所以目前一般電子的測量可區分為兩大類：一種是直接作電學上“量”的測量，如電壓（V）、電流（I）、電阻（R）、電容（C）及電感（L）等；另一種是藉電子測量的方法來完成其他各種“量”的測量，如溫度、壓力及流量等。電子儀表（Electronic Instrument）是一種綜合電子學，電子電路、機械原理以及一些電氣效應組成的綜合儀器，作為未知量的測量工具或產生一電氣

信號以供使用。依據組成它的電子電路的主動性元件(Active Element)可分為真空管電子儀表,電晶體電子儀表以及積體電路電子儀表等。依據其用途又可分為直流電表、交流電表、電阻表、頻率表、示波器、真空管與電晶體測試器、Q值表、阻抗表、信號產生器及其他各種特殊儀表等等。本書將於以後各章分別詳述各種電子儀表的原理、構造與應用。

本章將先分別介紹電子儀表在測定時常見的測定單位大小與其測定標準,再簡單介紹各種產生測量誤差的原因以及實用電子儀表的分類。

1-1 單位制與符號

電之單位制可分為二種制度:靜電制(Electrostatic Unit)與電磁制(Electromagnetic Unit)兩種。靜電制又稱絕對制(Static Unit)與電磁制同時由庫倫定律(Coulomb's Law)為根據定義出來,兩者之間具有一定的常數倍數關係。一般電學上皆採用電磁制的單位為基礎,故又稱為實用單位制或絕對單位制(Absolute Unit)。本書討論的各種電子儀表所採用的實用單位如表 1-1 所示。

表 1-1 電學實用單位與符號

電 量	代 表 符 號	實 用 單 位	單 位 符 號
電 壓	E, V	伏 特 (Volt)	V
電 流	I, i	安 培 (Ampere)	A
電 阻	R, r	歐 姆 (Ohm)	Ω
電 感	L	亨 利 (Henry)	H
電 容	C	法 拉 (Farad)	F
電 荷	Q, q	庫 倫 (Coulomb)	Q
電 功	P	瓦 特 (Watt)	W
電 能	W	焦 耳 (Joule)	J
電 頻	F, f	赫 芝 (Hertz)	Hz
週 期	T	秒 (Second)	Sec

表 1-1 中所列的各種電的“量”在應用時視實際需要有不同倍數的係數加於實用單位之前，以輔助並簡化表示的單位，例如頻率為 10000000 Hz（一千萬赫芝）可改以 10 MHz 來表示，電容為 0.0000001 f（千萬分之一法拉）可改以 $0.1 \mu f$ 來表示，此種倍數的代號如表 1-2 所示。

表 1-2 倍數代號

G : Giga	10^9 倍	
M : Mega	10^6 倍	百萬
K : Kilo	10^3 倍	千
m : Mili	10^{-3} 倍	毫
μ : Micro	10^{-6} 倍	微
n : Nano	10^{-9} 倍	奈
p : Pico	10^{-12} 倍	微微

一般測量電壓、電流及電阻等的電子儀表就依據上列係數而分為微安表（ μA 表），毫安（mA 表）及百萬歐姆表（ $M\Omega$ ）等。

1-2 標準

在實際做測量時都必須有一定的標準單位大小以作為測量的參考，如果沒有“標準”時則每個人測定的基準都不相同，那測量值也就毫無意義。由此可知“標準”（Standards）的重要性，所以任何電子測量用的儀表皆必須經過適當的校準才能作為測量的工具，而電子儀表校準時則須依“標準”為基準。標準有四種：國際標準（International Standards），第一標準（Primary Standards）、第二標準（Secondary Standards）及工作標準（Working Standards）等四種。依據 1967 年國際度量衡會議（International Committee on Weights and Measures）制定出長度（米 m），重量（仟克 kg），時間（秒 sec）與電流（安培 A）

等國際標準，又依據 1963 年美國國家標準局 (U.S. NBS, National Bureau of Standards) 對電壓 (伏特 V)，電阻 (歐姆 Ω)，電荷 (庫倫 Q)，電容 (法拉 F)，電感 (亨利 H) 等基本單位下了定義，因此為制定好的國際標準。各國則依據國際標準制定出第一標準或國家標準，然後各工廠依第一標準制定第二標準與工作標準的儀器，一般所接觸的標準儀器以工作標準為多。例如利用化學反應的乾電池及席納二極體可作為電壓的參考基準，石英晶體 (Quartz Crystal) 經切割後其自然諧振頻率作為頻率的參考基準，這些即是第二標準或工作標準。

1-3 測定與誤差

判別一部儀表的特性或在使用儀表的時候，常須考慮到儀表的準確度、精密度、靈敏度、解析度與誤差等各項因素。所謂準確度 (Accuracy) 即表示所使用儀表的測量值與被測量實際值間之接近程度的高度。精密度 (Precision) 是指同一已知量或未知量連續做重複測量時，各測量值之間的差異程度。靈敏度 (Sensitivity) 指儀表在測試時使儀表具有一定參考響應所須最低輸入信號值。解析度 (Resolution) 即表示引起儀表反應的被測信號之最低變化量。

一般都以有效數字來表示測量的數值，有效數字位數愈多，即表示儀表的精確度愈高。任何型式的電子儀表在做測量之前皆必須以“標準”做適當的校正，但在測量之時，亦不可能獲得完全精確的測量數值，此乃因為測試過程中由於人為因素或儀表本身所引起測量的不精確，即所謂的誤差 (Error)，一般誤差可分為以下幾種：

一、人為誤差：由電子儀表所指示出來的數值，每個人觀測角度之不同與其他人為因素而造成的誤差。

二、系統誤差：做為測量儀表本身與“標準”之間的誤差，包括因為儀表零件的選擇，測試環境 (溫度與濕度的變遷及儀表穩定度的不同而產生的誤差等。

三、雜項誤差：一些無法測知其原因的誤差，例如錯誤測量所產生的誤差等。

1-4 儀表的分類

實用電子儀表依其功能可分為二大類：一為測量儀表，一為訊號產生器。

測量儀表

1. 電壓表 (Volt Meter)
2. 電流表 (Current Meter)
3. 歐姆表 (Ohm Meter)
4. 百萬歐姆表 (Mega Ohm Meter)
5. 阻抗表 (Impedance Meter)
6. 頻率表 (Frequency Meter)
7. Q 表 (Q - Meter)
8. 示波器 (Oscilloscope)
9. 記錄表 (Recorder)
10. 真空管測試器 (Vacuum Tube Tester)
11. 電晶體測試器 (Transistor Tester)
12. 其他電子測量儀器。

訊號產生器

1. AF 正弦波產生器 (AF Sine Wave Generator)
2. AF 方波產生器 (AF Square Wave Generator)
3. 函數波產生器 (Function Generator)
4. 脈波產生器 (Pulse Generator)
5. 標誌訊號產生器 (Marker Generator)
6. 掃頻產生器 (Sweep Generator)
7. 射頻產生器 (RF Generator)

8. 調頻訊號產生器 (FM Signal Generator)
9. 調頻多工訊號產生器 (FM Stereo Generator)
10. 彩條及色點產生器 (Color Bar and Dot Generator)
11. 其他特殊用途信號產生器。

依其指示的型式可分為二大類：一為類比式 (Analog) 電子儀表，一為數字式 (Digital) 電子儀表。類比式電子儀表大都藉一般的電子電路配合一指針或指示器將測量數據顯示出來。而數字式電子儀表另將被測信號經過適當的轉換，利用一些邏輯電路與積體電路配合數字指示器 (數字管或 LED 指示等) 組成，將數據表現出來。因此數字電子儀表不再用指針的擺動或位置的變化來代表被測訊號的大小，而是用直接的數據變化來代表被測量訊號的大小，也就因此沒有一般類比式電子儀表的“觀測誤差”了。

除了沒有觀測誤差外，數位式電子儀表可以做到比類比式電子儀表更加精確，因為數位式電子儀表的數位顯示器幾乎不受限制，要多少位就多少位。數位式電子儀表能提高測量的精確度外，加上積體電路價格正在降低中，使得數位式電子儀表的造價日益降低，因此不久的將來，電子儀表必將是數位式電子儀表的天下。

習題：

1. 何謂標準？
2. 標準的重要性為何？
3. 標準的種類有幾？
4. 何謂誤差？產生誤差的原因有幾？
5. 判斷儀表的好壞，一般有那幾項決定因素，試逐項說明之。
6. 實用的電子儀表依功能可分為幾大類？並各列舉五種儀表說明之。
7. 數位式儀表與一般類比式儀表各有何優劣點？試簡述之。

2

直流基本電表

基本電表可分為兩類，一類是直流的基本電表，另一類是交流的基本電表，在本章中就開始由直流基本電表討論起。所謂基本電表，就是一個實用電表的表頭部份，也可說是實用電表的心臟部份，它是最終指示出數值的地方，一切其他的電路都是以它為中心而設計安排的，所以我們必須對它首先有一個認識，才能進一步了解整個電表電路的構造。

2-1 基本電表構造

目前廣泛使用在電子及電機工作中的直流電表都是採用永久磁鐵動圈式電表（Permanent-magnet Moving Coil Meter），此一電表係達松發（D'Arsonval）在 1881 年設計成功的，所以又稱為達松發檢流計（D'Arsonval Galvanometer）。在 1888 年惠斯頓（Weston）再加以改良成為第一個商用的電表，近年因各種材料的特性不斷改良，製造技術不斷進步，此式電表之性能及準確度更是大為提高，成為目前大量採用的直流電表。

本電表之構造極似一小型電動機，如圖 2-1 所示，主要包括一馬蹄形

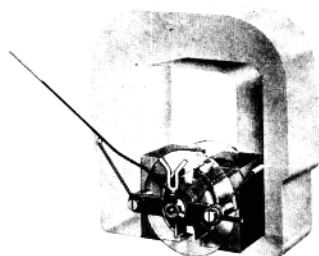
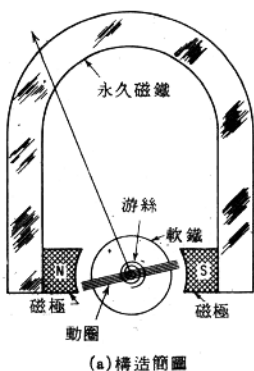
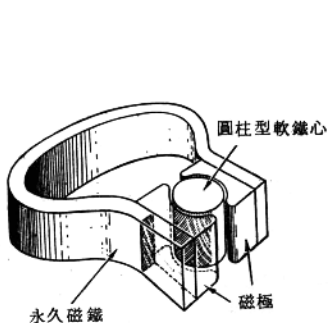


圖 2-1 永磁動圈式電表之構造

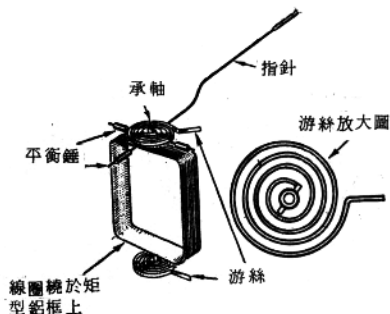
永久磁鐵及一動圈組部份，我們分別說明之。

A 永久磁鐵部份

本部份之構造如圖 2-2(a) 所示，一馬蹄形磁鐵其兩端各接上一半圓形軟鐵成為N極及S極，在兩磁極中間放置一圓柱型軟鐵心，磁極與軟鐵



(a) 永久磁鐵部份



(b) 動圈組部份

圖 2-2 電表構造分解圖

心之間僅有極小的氣隙，而且距離相等，所以有一均勻的永久磁場存在於其間。

B 動圈組部份

本部份之構造如圖 2-2(b) 所示，其主要之作用為將電流轉變為動能，由指針在表頭刻度上指示出電流之大小。一極細之漆包線繞於方形鋁框上，為了提高線圈之靈敏度，線圈必須極為輕巧，且能擺動自如，故僅能以有限的圈數繞於鋁框上，在鋁框的兩端分別裝有兩個互相反繞的游絲，此游絲是裝在鋼軸之上，為了減少摩擦，動圈的軸承常使用寶石軸承，這種軸承的結構如圖 2-3 所示。指針係附着於線圈組上隨線圈而擺動，整個轉動系統由三個平衡錘來平衡，以使指針不論指於何處，皆能保持平衡。線圈之兩端經由鋁框之兩端分別連接至兩游絲之中心端，由游絲之外端連接至外部電路，電流乃由此流入線圈。在動圈後端有一機械零位調整器，如圖 2-4 所示，其作用為當無電流時調整指針歸零。

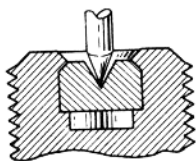


圖 2-3 V 型寶石軸承

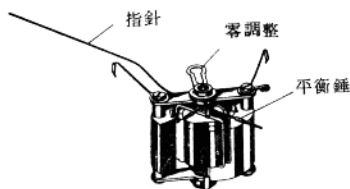


圖 2-4 機械零位調整器

永磁動圈式電表的工作原理，我們可以分為三個系統來說明。

A 轉動系統

整個動圈組是裝在圓柱型軟鐵心的外圍的，當有一直流電流流入動圈組的線圈時，在線圈四周便有電磁場產生，於是產生了如同電動機的作用，永久磁場與電磁場發生相斥作用而建立了一轉矩（扭轉力），動圈因而轉

動，指針亦隨線圈轉動，電流越大，扭轉力越強，因此指針的偏移度也越大，當轉動至此一感應轉矩與游絲之機械轉矩平衡時才停止，因此我們可在刻度上由指針的位置讀出電流量的大小。若電流反向流入線圈，則產生反向之轉矩，將使指針反向移動，在此情形下，除了指針的零點在中央的電表之外，其餘的電表指針都會移至刻度以外，所以流入電表之電流必須有適當的極性，使指針向右移動。

B 控制系統

控制系統的作用係由兩互相反繞之游絲所完成，目的在使指針準確的指出流經線圈之電流大小，並使無電流時指針能歸零。當電流流經線圈時，一游絲呈轉緊之狀態，另一游絲呈鬆開狀態，無電流時，則因為游絲的慣性，指針又回復至正常的零位置。由於游絲是作為電流流經線圈的通路，且具有調整動圈轉動量的特性，故在製造時需非常精細，以維持應有的準確度。游絲的材料通常以無磁感低電阻之磷青銅製成。

兩游絲反繞的目的乃在於補償因溫度所引起的誤差，物體都具有熱脹冷縮的特性，所以溫度變化時，游絲會收縮或膨脹，如果兩游絲之材料相同，則因溫度改變所生之扭轉力將因方向相反大小相等而互相抵消掉了，不致改變指針的原來位置。

C 阻尼系統

阻尼 (Damping) 系統的目的在使電表之指針在轉動後能迅速而安穩的停留在正確的指示位置而不會有左右擺動的現象。動圈組的鋁框本身就是一個阻尼裝置，因為鋁框本身形成一封閉的導電路徑，當動圈組轉動時鋁框也會切割磁力線而產生一感應電流，根據楞次 (Lenz) 定律，感應電流之方向相反於在線圈中之電流，故此感應電流所再生之磁場係作相反方向之扭轉力，使得動圈轉動之速度緩慢而穩定，並且可迅速阻止因慣性而引起的左右擺動。

此外，當電流流經動圈時，動圈本身亦會產生一反向電流，也可達到