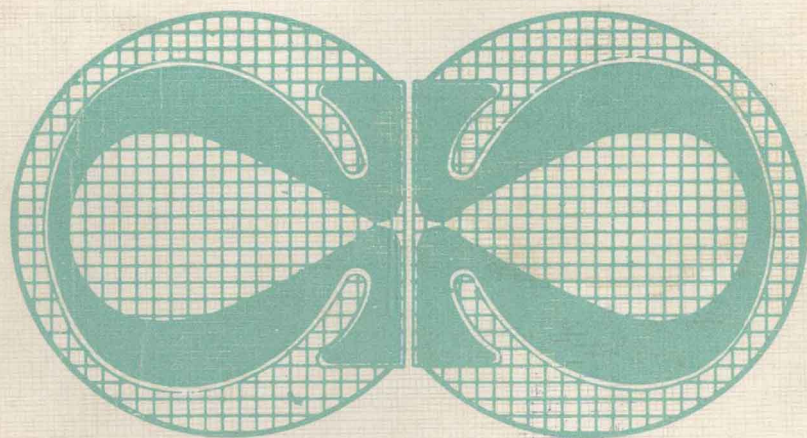


電路工程學

(上 冊)

原著者 R. E. RIDSDALE

譯 者 李英南 李佩芸



曉 園 出 版 社

上册目錄

第一部分 基 礎	1
第一章 變數、參數及單位	2
1-1 變數□ 1-2 參數□ 1-3 單位□ 1-4 單位體制□	
1-5 MKS A制□ 1-6 MKS A制單位的定義□	
1-7 符號□ 1-8 高級單位與次級單位	
第二章 基本電學的物理量及關係	17
2-1 能量和功□ 2-2 電源及負載□ 2-3 電荷□ 2-4 電壓□	
2-5 力和電荷運動□ 2-6 電流□ 2-7 功率□	
2-8 電導和電阻□ 2-9 物理量，單位和彼此關係的綜合整理	
第二部分 直流電阻性電路	61
第三章 串聯電路	63
3-1 串聯電路的定義□ 3-2 串聯電路的特性□	
3-3 串聯電路的計算□ 3-4 相對電位□ 3-5 串聯電路之應用	

第四章 並聯電路

128

- 4-1 並聯電路的定義 ☐ 4-2 並聯電路的特性 ☐ 4-3 並聯電路的計算 ☐
- 4-4 並聯電路的應用 ☐

第五章 串並聯電路

187

- 5-1 基本串並聯結構 ☐ 5-2 串並聯電路的應用 ☐

第六章 藉直接法做網路分析

220

- 6-1 電流設定法 ☐ 6-2 節點分析法 ☐ 6-3 迴路分析 ☐
- 6-4 重疊原理 ☐

第七章 藉等效電路做網路分析

270

- 7-1 $T \leftrightarrow \pi$ 轉換 ☐ 7-2 戴維寧定理 ☐ 7-3 最大功率轉換 ☐
- 7-4 諾頓定理 ☐ 7-5 戴維寧電路與諾頓電路的關係 ☐
- 7-6 連續使用戴維寧電路和諾頓電路 ☐

第三部分 電容性與電感性的直流電路

331

第八章 電容性電路

332

- 8-1 電容 ☐ 8-2 電場中的物理量 ☐ 8-3 電容的計算 ☐
- 8-4 電容性電路的關係式 ☐ 8-5 電容器的充電與放電 ☐
- 8-6 抵制電壓變化 ☐ 8-7 電容性能量的儲存 ☐
- 8-8 電容性網路 ☐ 8-9 雜散電容 ☐

第九章 電感性電路

367

- 9-1 電感 ☐ 9-2 磁場中的物理量 ☐ 9-3 電磁感應 ☐
- 9-4 自感 ☐ 9-5 楞次定律 ☐ 9-6 電感的充電與放電 ☐

- 9-7 抵制電流變化□ 9-8 電感性能量的儲存□ 9-9 互感□
9-10 互感的控制□ 9-11 無互感的電感性網路□
9-12 雜散電感

第十章 RL 與 RC 直流電路

411

- 10-1 經由電阻使電容充電□ 10-2 時間常數□
10-3 時間的計算□ 10-4 由部份充電的狀態開始充電□
10-5 經由電阻使電容放電□ 10-6 外加方波的 RC 電路
□ 10-7 經由電阻使電感充電□ 10-8 經由電阻使電感放電
□ 10-9 電感性時間常數□ 10-10 RL 電路的計算□
10-11 RL 電路充電與放電的比較

下冊目錄

第四部分 交流電路 471

第十一章 波形 472

- 11-1 交流、直流的電壓與電流 ☐ 11-2 波形的犬小值 ☐
 11-3 週、週期、頻率、波長 ☐ 11-4 正弦波的重要性 ☐
 11-5 正弦波 ☐ 11-6 正弦波的數值 ☐

第十二章 相位和相量 517

- 12-1 相位 ☐ 12-2 相量圖 ☐ 12-3 極式及直角坐標表示法
☐ 12-4 相量的計算 ☐ 12-5 阻抗及導納 ☐

第十三章 獨具 R、L 或 C 的交流電路 541

- 13-1 電阻 ☐ 13-2 電容 ☐ 13-3 電感 ☐ 13-4 功率 ☐
 13-5 頻率阻抗及導納 ☐

第十四章 RC 或 RL 交流電路 562

- 14-1 串聯 RC 電路 ☐ 14-2 串聯 RL 電路 ☐ 14-3 並聯 RC 電路
☐ 14-4 並聯 RL 電路 ☐ 14-5 串聯、並聯的轉換 ☐
 14-6 串、並聯電路 ☐

第十五章 RLC交流電路（無諧振） 654

15-1 RLC串聯電路□ 15-2 RLC並聯電路□

15-3 RLC串並聯電路□

第十六章 諧振電路 694

16-1 無電阻的諧振電路□ 16-2串聯RLC諧振電路□

16-3串聯RLC電路的頻寬□ 16-4並聯RLC諧振電路□

16-5並聯諧振電路的頻寬□ 16-6實用並聯諧振電路□

16-7 諧振的應用

第十七章 交流網路 760

17-1網路分析法的應用□ 17-2交流電橋電路□

17-3多相電路□ 17-4電子電路

第十八章 耦合電路 804

18-1 雙枝電路□ 18-2雙枝網路參數□ 18-3阻抗(z)參數□

18-4 導納(y)參數□ 18-5 Z 與 Y 參數的方向性□

18-6 併合(h)參數□ 18-7 h 參數的方向性□

18-8當作雙枝網路的變壓器□ 18-9作為雙枝網路的電晶體

附 錄 869

第一部分

基礎

簡介

· 電路 (Electric circuit) 是什麼呢？它是將導體和元件

一起而有電流通過的系統。

而系統 (System)，導體 (Conductor)，元件 (Element) 和電流 (Current) 又是什麼呢？要使電流存在又需要什麼呢？

本書將幫助你去找尋這些問題和其他許多問題的答案。

電機技術與物理和數學有密切的關係。電學的根本是物理，而決定電路行為的法則就是物理的定律。這些定律通常用數學語言來描述。所以用物理的定律來發展電學的觀念，首先需處理多個物理量之間的數學關係。當然，本書的目的並不是教大家物理和數學，但因為在介紹電路行為時必需用到一些物理和數學的觀念，所以第一部分將介紹一些以後常出現的名詞，符號，方程式及方法。你在這一部分所花的時間和努力，可使你能輕易的掌握電路的原理和應用。

因為“參數”和“變數”這兩個名詞與形成電路的基本元件相關，所以，本書的開始，首先探討這些物理量，接着介紹一些熟悉的基本元件及彼此間的關係。

第一部分中介紹了許多物理量，單位及關係，並且綜合整理於表 2-1，2-2 及 2-3 中。

第一章

變數、參數及單位

馬克斯威爾 (Maxwell)，拉普勒斯 (Laplace) 及其他的數學家首創了在電學中普遍應用的原則和技術，這些數學方法常用來解決電路中的數量問題。所以，在電學中，常可發現“方程式”，“平方根”等數學名詞，或是“=”，“ $\sqrt{\quad}$ ”等數學符號。

電學數量中的許多關係都可用簡單的方程式來表示，如 $y = kx$ （即一個物理量等於另兩個物理量的乘積）。這個方程式的許多應用只不過是改變符號來代替不同的變數而已。如電路中最常用的歐姆定律 $V = IR$ ，即是應用這類方程式，來敘述電壓，電流和電阻的關係。

通常在歐姆定律的三個物理量中，兩個物理量（電壓和電流）可在一定範圍內變化，叫做變數 (Variable)；另一物理量（電阻）為定值，叫做參數 (Parameter)。變數均具有單位，而參數則有時有單位，有時沒有單位。

在你以後的學習中，將逐漸熟悉許多變數，參數和單位。你熟悉的程度即可決定日後你對電路的了解。

1-1 變數

變數 (Variable) 是一個可改變的物理量。

暫且忽視歐姆定律的電學意義，我們來看看這個方程式所代表的數學關係。首先，我們知道，電路中，電壓和電流的值可在一定範圍

內變化，故歐姆定律中 V (電壓) 和 I (電流) 為變數。

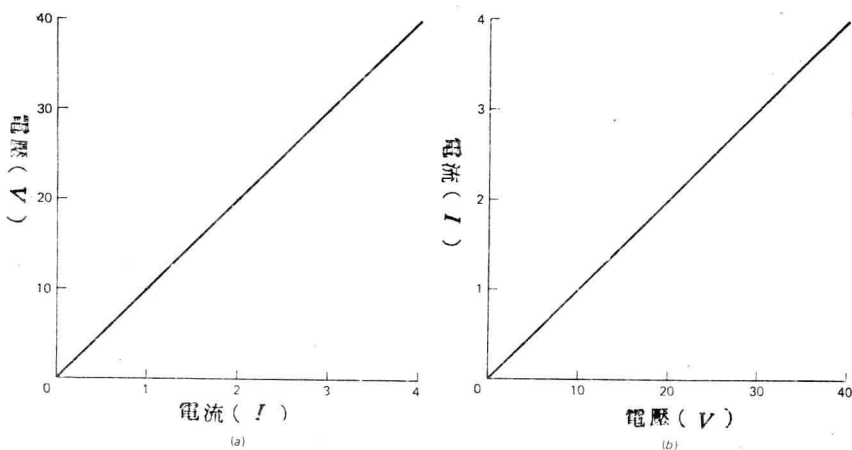


圖 1-1 電壓與電流的線性圖式

圖 1-1 表示電壓和電流值變化的關係。圖 1-1 (a) 的水平坐標 (X 軸) 為電流值，習慣上，這是表示，把電流視作獨立變數 (independent variable)，其值可任意選擇；而垂直坐標 (Y 軸) 為電壓值，即把電壓視作相依變數 (dependent variable)，其值隨電流改變。反之圖 1-1 (b) 則把電壓視作獨立變數，電流視作相依變數。

這兩圖在電學上均代表相同的意義，這兩種圖式法的選擇端視我們的需要而定。

電壓和電流是電學中最常見的變數，此外還有功率，能量，電荷及時間等變數。

1-2 參數

參數 (Parameter) 為一常數，其值代表兩個變數之間的關係。

在電學名詞中，參數常代表一個電路的特徵，用來定義該電路的操作情況。

所謂常數是指不可改變的數，但是，有些線路參數却能隨操作情境而改變。圖 1-1 是電路的線性工作情況（其圖形為直線，所以參數是真正的常數，即為此圖形的斜率（圖形與水平軸的夾角）。任意一個相依變數值和它所對應的獨立變數的比值，就是參數的數值。

圖 1-1 (a) 的參數為 10，任一電壓值的 10 倍即為電流值。此圖形的方程式為 $V = IR$ ， R 為參數電阻，乃為此電路的特徵。圖 1-1 (b) 的方程式為 $I = GV$ ， G 為電導參數，此處 G 值為 $\frac{1}{10}$ 或 0.1。

電阻 (resistance，即電壓除以電流) 及電導 (conductance，即電流除以電壓) 為不同的參數，其他常見的電路參數有電容 (capacitance)，阻抗 (impedance) 及相角 (phase angle) 等等。

1-3 單位

單位可表示大小，長度，數量等等。在電路中，一個沒有單位的數是沒有意義的。

單位 (unit) 是一個特定的標準，可表明一物理量的多寡，藉此，並可與同形式的物理量作比較。

1000 比 10 大，這是很明顯的，但是 1000 哩比 10 小時大嗎？當然不是。公里是距離的單位，小時却是時間的單位，它們代表著不同的物理量，是不能比較的。然而，公里與小時之間也可以找到某種關係，例如：有一輛車在兩小時內走了 120 哩。在這句話中，“每小時哩”却又變成了另一種單位 - 速度或速率。

在從事技術性工作時，我們必需很清楚的區分某種物理量和該物理量所用單位之間的差別。如我們談到“一輛車行駛多遠”時，常常用“哩數”這個字眼來代替正確的用法“距離”，日常用語中，這樣說是無害的，但在技術性的應用上，將“數”加在一個單位名稱的後面來代替一個物理量的名稱是不允許的。為了消除這種名稱混用的情形，國際標準局曾經做過多方面的努力。

許多單位都以國際知名的科學家的名字命名，例如安培（ampere），赫（hertz），歐姆（ohm），焦耳（joule）及牛頓（newton）。伏特（volt）是科學家伏爾特（Volta）的縮寫；電容的單位歐姆（mho）已經正式改為西門（siemens）〔以科學家凡西門斯（Von Siemens）為名〕，以後本書均以西門做為電容的單位。

1-4 單位體制

目前，有好幾種不同的單位體制。一個物理量可以用多個單位體制來代表，而且可以有許多不同的單位。下面，我們來看看一些長度或距離的單位：

法定哩（statute mile）	1609.35 米（meter）
海哩（nautical mile）	1852 米
呎（foot）	0.3048 米
竿（rod）	5.029 米

除此以外，在世界上還有許多代表距離的單位。同一種物理量有這麼多不同的單位，這在現代的消息傳遞上造成相當的混亂，因此，我們將“米”訂為國際的標準單位，以期達成資料交換上的統一性。

所以會有這許多單位體制，它的原因應該追溯到早期測量上的需要。例如“米”原是指地球表面，由極帶到赤道距離的一千萬分之一，而“海哩”則是沿赤道，經度一分（一分乃一度的六十分之一）的距離。此外，一呎則表示人一步的長度，這個單位最初是個不明確的度量值。

下面列舉的是在電學中所使用的三種單位體制，每一種體制，都是以它的長度，質量和時間的單位來命名的。

MKS 制	米—仟克—秒制
FPS 制（英制）	呎—磅—秒制

CGS 制 厘米 - 克 - 秒制

MKS 制是公認在電學中通用的體制，但是許多圖表，經年沿用 CGS 制與 FPS 制，使這兩種體制被大家所熟悉而難以改換，所以在此提出這兩種體制，讓大家知道它們的存在。

1-5 MKSA 制

爲了電學上的應用，將 MKS 制加上安培，即成爲 MKSA 制，藉着距離（或長度），質量、時間及電流這四個單位，可以定義出電學裡所有其他的單位。由於此單位體制爲十進位且被國際廣泛採用，所以，在 1960 年“世界重量及測量會議”（CGPM）首先認可 MKSA 制，並命名爲“國際單位體制”（SI）。從此以後，全球絕大多數的科學及工程組織都贊同採用 SI 的單位，“電機電子工程師學會”更推薦全球電機技術業採用 SI 制。

在本書中的所有參數和變數也一律採用 SI 制的單位。

如你已經具備一些電學知識，你不用擔心，怕會面對一種不熟悉的單位體制，因爲大部分傳統的電學單位，如伏特，安培，歐姆，法拉及亨利。都是 MKSA 制的單位，也就是 SI 制的單位。

1-6 MKSA 制單位的定義

由基本單位定義的改變，顯示了技術界不斷的進步。“米”的定義，原是測量一塊金屬上兩個標點間的距離而定，但因其精確度已不敷目前的需要，故在 1960 年以後，以“國際重量及測量標準局”內保存的一塊鉑 - 銥合金棒的長度來定義“米”的長度。

最近，又以原子輻射光的波長，來定義“米”的長度，這個定義與鉑 - 銥棒長度的定義幾乎完全相同。任何一個組織只要能夠提出一套精心設計的儀器，並且依從米的定義，就可建立一套獨立於“國際重

量及測量標準局”的新標準。

質量不易用直接測量來定義。然而，因為在地球上任何地點，使天平保持水平的兩個物體，一定具有相同的質量，由這個事實，可以測得物體的質量。在國際重量及測量標準局”保存了一塊標準的一仟克重物，其他的重量，都可與該物比較得知。

SI 制中時間的基本單位 - 秒，它的精確定義一直沒有定論。大部分專家利用一些儀器來做時間的標準如鉍鐘，這些儀器都是以分子共振，這個時間特性已準確測知的物理現象為基礎。現在，分子共振應是“秒”的最佳定義，當然，我們希望會有更好的方法來修正現有的定義。

兩個有電流流動的導體，彼此有力的作用，而力的大小與導體上電流的大小有關。目前 SI 制中電流的基本單位 - 安培 - 的定義，就是以這個原理作基礎。

SI 制基本單位的定義請查附錄。

SI 制在電路中，另有兩個很重要的單位就是凱 (kelvin) 及經 (radian)。

溫度是一個可以影響電性材料和元件行為的變數。SI 制中溫度的基本單位是凱。此外，攝氏度 (degree celsius) 是常用的單位，與凱氏有相同的單位值。凱氏溫度減去 273.15 即為攝氏溫度，所以攝氏零度相當於 273.15 度凱。

例題 1-1 華氏 (Fahrenheit) 溫標與攝氏溫標的關係為：

$$\text{攝氏度數} = (\text{華氏度數} - 32) \times \frac{5}{9}$$

試將室溫 - 華氏 68 度，以攝氏及凱氏度數表示。

解：

$$\text{攝氏度數} = (68 - 32) \times \frac{5}{9} = 36 \times \frac{5}{9} = 20 \text{ 度攝氏}$$

$$\text{凱氏度數} = \text{攝氏度數} + 273.15$$

$$= 20 + 273.15 = 293.15 \text{ 凱}$$

故華氏 68 度即為攝氏 20 度或 293.15 凱

平面角 (plane angle , 兩線夾角) 在電學中 , 也是很重要的。例如 , 交流電路中 , 常以角度來表示相的關係。S I 制中平面角的單位為徑。一個圓周的度量是 2π 徑。

度 (degree) 是更常用的單位 , 一圓周等於 360 度 , 所以 2π 徑 = 360 度。

例題 1-2 一徑等於多少度 ?

解 (參見圖 1-2)

$$2\pi \text{ 徑} = 360 \text{ 度}$$

$$1 \text{ 徑} = \frac{360}{2\pi} \text{ 度}$$

$$1 \text{ 徑} = 57.3 \text{ 度}$$

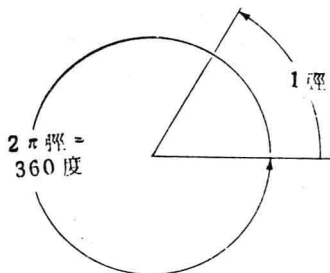


圖 1-2 例題 1-2 : 徑度

例題 1-3 一直角 (90 度) 為多少徑 ?

解 (參見圖 1-3)

$$360 \text{ 度} = 2\pi \text{ 徑}$$

$$90 \text{ 度} = \frac{360}{4} \text{ 度} = \frac{2\pi}{4} \text{ 徑}$$

$$90 \text{ 度} = \frac{\pi}{2} \text{ 徑}$$

$\frac{\pi}{2}$ 徑即為 1.571 徑，但通常答案都寫為 $\frac{\pi}{2}$ 徑。

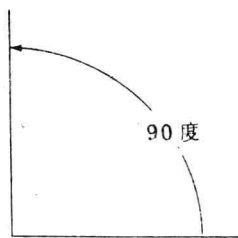


圖 1-3 例題 1-3：直角

1-7 符號

重複的書寫很長的字詞是很麻煩的，而且國際文字的不同使資料不易交換。所以，利用符號代替文字，又簡短，又可通用於國際。

下面兩個例題，乃是將例題 1-1 及 1-2 的單位用符號來表示。

例題 1-1（用簡寫重複前例）華氏溫標（ $\theta^{\circ}\text{F}$ ）及攝氏溫標（ $t^{\circ}\text{C}$ ）之間的關係為：

$$t^{\circ}\text{C} = (\theta^{\circ}\text{F} - 32) \times \frac{5}{9} \quad (1-1)$$

試將室溫 68°F ，以攝氏及凱氏溫標表示。

解

$$t = (68^{\circ}\text{F} - 32) \times \frac{5}{9} = 36 \times \frac{5}{9} = 20^{\circ}\text{C}$$

為攝氏度數（ $t^{\circ}\text{C}$ ）。凱氏溫度（ $T\text{K}$ ）為：

$$T\text{K} = t^{\circ}\text{C} + 273.15 \quad (1-2)$$

$$T = 20^{\circ}\text{C} + 273.15 = 293.15\text{K}$$

例題 1-2（以簡寫重複前例）一徑（1 rad）等於多少度（ $^{\circ}$ ）？

10 第一章 變數、參數及單位
解

$$2\pi \text{ rad} = 360^\circ \quad (1-3)$$

$$1 \text{ rad} = \frac{360^\circ}{2\pi}$$

$$1 \text{ rad} = 57.3^\circ$$

物理量的符號通常爲一英文字母，有時亦爲希臘字母，如果需要，可加足碼。下面列舉數例：

I = 電流

v = 瞬時電壓

I_o = 輸出電流

ω = 角速度或角頻率

P_{av} = 平均功率

ϕ_1 = 相角 1

單位的符號爲一個字母，或一群字母，或是一個特殊的記號。下面列舉數例：

K = 凱式溫標

cm = 厘米

P = 巴斯噶

$\Omega \cdot m$ = 歐姆 - 米

$^\circ\text{C}$ = 攝氏度數

總共只有 100 個大寫及小寫的羅馬和希臘字母，但是在工程和科學上，却有更多的物理量和單位需要符號表示。因此會有符號重疊使用的現象，爲了減少這種混淆，本書用斜體字母表示數量，正體字母表示單位。例如 m 代表質量，而 m 則代表“米”。

在本章提到的 S I 制物理量和單位的符號，整理於表 1-1 中。在本章中提到，但是不屬於 S I 制的單位列於表 1-2 中。

這兩表中所用到的希臘字母有：

ρ = 小寫 rho ω = 小寫 omega

ϕ = 小寫 phi Ω = 大寫 omega

θ = 小寫 theta

表 1-1 SI 制中物理量及單位的符號

物 理 量	符 號	單 位	符 號
角速度或 角頻率	ω	每秒徑	rad/s
電導	G	西門	S
電流 (註 1)	I	安培	A
距離 (註 2)	s	米	m
質量	m	仟克	kg
平面角 (註 3)	ϕ	徑	rad
功率 (註 1)	P	瓦	W
壓力	p	巴斯噶	P
電阻 (註 2)	R	歐姆	Ω
電阻係數	ρ	歐姆·米	$\Omega \cdot m$
溫度	T	凱	K
時間	t	秒	s
電壓 (註 1)	V	伏特	V

註 1：電流、電壓及功率若分別以小寫字母 i ， v 或 p 表示，則是指瞬間值，或是某一特定時間的數值。足碼可用以表示一個特別的數量（如， P_0 可視作輸出端的功率）。

註 2：S I 制單位的倍數或分數都很常用，如厘米（cm）及仟歐姆（ $k\Omega$ ）即爲此例。

註 3：其他的希臘字母也都可用做平面角的符號。 ϕ 只是最常見的一種。

1-8 高級單位與次級單位

S I 制或 MKSA 制的基本單位，在應用時常常不是最方便的。