

電 工 技 術

(系統與電路)

Systems and Circuits for
Electrical Engineering Technology

原著者：Charles Belove
M M. Drossman

譯述者：薛 雅 全

科技圖書股份有限公司

電 工 技 術

(系統與電路)

Systems and Circuits for
Electrical Engineering Technology

原著者：Charles Belove

M M. Drossman

譯述者：薛 雅 全

科技圖書股份有限公司

本書着重系統處理的方針與數位系統的討論，並介紹基本電路網理論的統一化，揚棄傳統的交流與直流分析法，便趨於着重電子觀念而非電力系統，與一般教科書的寫法不同，成為一本簇新體系的教科書。

原作者 Charles Belove and Melvyn M. Drossman 均為紐約技術學院 (New York Institute of Technology) 電機系教授。

原出版者：美國 McGraw Hill 公司。

譯述者：薛雅全，台大電機研究所碩士，現在美國佛州大學攻讀博士學位中。

本公司經新聞局核准登記
登記證局版台業字第 1123 號

書名：電工技術

原著者：Belove and Drossman

譯述者：薛雅全

發行人：趙國華

發行者：科技圖書股份有限公司

台北市博愛路 185 號二樓

電話：3 1 1 0 9 5 3

郵政劃撥帳號 1 5 6 9 7

六十七年十二月初版 特價新台幣 140 元

作者序

近年來，工業技術已有巨大的改變，尤其在電機工程界，先是固態，接着是積體電路裝置的介入。不但在方法上，更在實用上起了革命性的變化。撰寫本書的動機之一是受此巨變的衝激，另一是體認到未來在此領域工作的學生們，也需要在教學內容上有相對的研討與改進。

本書適用於學電機工程的學生，數學深度保持在所需的最低位準。本書涵蓋的數學論題將包括代數與三角以上的課程，故教師在課程上尚無調整的必要。

除了適用作電機課本外，本書包含的範圍亦適於非主修電機工程的學生，培養電機工程概念之用。

本書與其它教科書不同之處在於着重系統處理的方針，其所以如此，是爲了反映積體電路技術的引進而引起的技術改變。另外，本書亦特別着重數位系統的討論。全書的方針在於對基本電網路理論提出統一化的處理。因此，在一般電子學課程中所介紹的非線性電路分析，也因其爲電路分析問題而納入本書範圍。同樣理由，本書在前段中也介紹被控源（controlled sources）的觀念。

本書對數位（包括組合與順序）電路的討論深入而廣泛，其目的在使讀者瞭解數位電路的重要性，不可誤以爲是次於類比電路。如果教學課程僅需涉及類比電路，那麼該部份可全部略去。

古典電路理論先以介紹電阻電路開始，其次爲能量儲存元件的電路，兩極性電阻電路則緊跟其後推出，再其次則提出頻率響應與時間響應的分析方法。在本書內亦納入許多實例，以便讀者能充分瞭解敘述的原理，勿使學生僅接受一些呆滯的步驟。同時，本書亦將使用數位計算機來分析複雜電路的技巧，納入討論範圍，旨在使讀者能更有效、更實際地去處理這方面的問題。

本書以運算放大器的觀點來介紹回饋原理，一方面使讀者能熟悉這一嶄新的電路元件，同時提供讀者回饋概念的基礎。此外，在結合類比與數位技術的混合系統中，亦論及運算放大器。此外我們亦用磁路在電機機械，替續器與測量儀器上的應用進一步強調本書着眼於系統處理的方針。

誌謝辭略！

Charles Belove 皮勒夫；M. M. Drossman 屈洛司門

目 錄

第一章 算術、單位及記號

1.1 單位	2
1.2 代數複習	3
1.3 數值計算	7
1.4 單位運算	17
摘 要	20
習 題	21

第二章 訊 號

2.1 直流和梯階函數	27
2.2 脈衝訊號	30
2.3 實指數	33
2.4 正弦波訊號	38
摘 要	41
習 題	42

第三章 電 量

3.1 原子論	46
3.2 電荷	47
3.3 有向數量	50
3.4 電流	51
3.5 瞬時值對直流數量	54
3.6 功與能	57
3.7 電位差	59
3.8 功率	62
摘 要	64
習 題	65

第四章 電 阻

4.1 電阻係數	70
4.2 導線表使用法	71
4.3 溫度改變時之電阻變化	72
4.4 片電阻	73
4.5 電阻色碼	74
摘 要	76
習 題	76

第五章 電阻網路的基本定律

5.1 支路、支點和迴路	81
5.2 兩終端元件	82
5.3 功率	84
5.4 獨立源	86
5.5 理想元件	88
5.6 電阻元件	89
5.7 克希荷夫電流定律	91
5.8 克希荷夫電壓定律	94
摘 要	99
習 題	99

第六章 電阻網路基本定律之應用

6.1 單支點 - 對網路的分析	109
6.2 單迴路網路分析	116
6.3 分壓器網路	120
6.4 分流器網路	123
6.5 電算機網路分析 - ECAP 程式	126
摘 要	133
習 題	133

第七章 直流儀器

7.1 達松發爾電表動件	142
--------------------	-----

7.2 安培計	143
7.3 伏特計	147
7.4 電阻測量	152
7.5 萬用電表	156
7.6 其它類型的類比電表	159
摘 要	162
習 題	163

第八章 線性網路定理

8.1 線性關係和重疊原理	166
8.2 兩迴路和兩支點 - 對網路	171
8.3 終端特性和等效電路	181
8.4 複雜電路的 ECAP 解	191
摘 要	195
習 題	196

第九章 二極體

9.1 半導體二極體 v_i 特性的測量	204
9.2 圖解分析與負載線	209
9.3 片斷 - 線性特性	214
9.4 理想二極體	216
9.5 片斷線性模型	219
9.6 整流電路分析	222
9.7 稽納二極體的終端特性	226
摘 要	230
習 題	230

第十章 線性兩埠網路

10.1 轉移函數	239
10.2 放大器及其應用	242
10.3 增益和分貝	243

10.4	被控源	245
10.5	理想電壓放大器	247
10.6	電流放大器	254
10.7	拼合參數	257
摘 要	.....	264
習 題	.....	264

第十一章 放大器 - 片斷線性和微增模型

11.1	片斷線性模型 - 電晶體	270
11.2	小訊號分析：線性微增模型	285
摘 要	.....	290
習 題	.....	291

第十二章 交換代數

12.1	交換代數的基本概念	296
12.2	交換電路	301
12.3	真值表	306
12.4	交換電路規格	309
12.5	定理	311
12.6	交換函數的簡化	317
摘 要	.....	320
習 題	.....	321

第十三章 組合數位電路

13.1	理想二極體閘	326
13.2	實際的二極體閘	329
13.3	電晶體反相(反)閘	337
13.4	二極體 - 電晶體閘	345
13.5	電子數位電路之設計	348
13.6	電碼轉換	352
13.7	二進加法器	357

摘 要	361
習 題	361

第十四章 微積分基礎

14.1 變率及斜率	369
14.2 面積與積分	379
摘 要	385
習 題	385

第十五章 磁 路

15.1 磁量	388
15.2 電路類比	394
15.3 磁路設計	397
15.4 法拉第定律	400
15.5 作用在負載電流的導體的電磁感應力	402
15.6 電磁裝置	403
摘 要	410
習 題	411

第十六章 電感與電容

16.1 電感	415
16.2 互感	421
16.3 電容	428
16.4 能量儲存	437
摘 要	439
習 題	440

第十七章 具儲能元件電路的時間響應

17.1 電路方程式的陳述	448
17.2 微分方程式的逐步解法	452
17.3 自然響應	455

17.4	總響應一般解	456
17.5	脈波響應與上升時間	461
17.6	非零初始條件的影響	464
17.7	複雜電路的暫態響應	468
17.8	從實驗數據中認出系統的時間常數	469
摘 要	.....	471
習 題	.....	472

第十八章 穩定態正弦響應

18.1	複數	476
18.2	相量	488
18.3	正弦阻抗	491
18.4	正弦穩態響應	499
18.5	AC 電路中的功率	503
摘 要	.....	511
習 題	.....	512

第十九章 頻率響應

19.1	訊號的頻譜	519
19.2	轉移函數	525
19.3	頻率響應	526
19.4	共振電路、RLC 帶通濾波器	534
19.5	時間與頻率響應的關聯	540
摘 要	.....	542
習 題	.....	543

第二十章 交流儀器

20.1	整流型電表	548
20.2	鐵翼式和電功率計電表	550
20.3	瓦特計	550
20.4	頻率計	551

20.5 阻抗電橋	554
20.6 示波器	557
摘 要	562
參考書目	563
習 題	563

第二十一章 回饋與運算放大器

21.1 回饋	567
21.2 運算放大器	572
21.3 運算放大器的應用	574
21.4 回饋效應	583
摘 要	592
習 題	593

第二十二章 順序數位電路與混合系統

22.1 順序電路概念	596
22.2 多諧振盪器	599
22.3 記錄器	610
22.4 二進位計數器	614
22.5 二進位加法器	617
22.6 混合系統	620
摘 要	625
習 題	626

附 錄

A-1 結點分析	628
A-2 迴路分析	630

第一章

算術、單位與記號

目的 熟悉本章後，你將能夠：

1. 描述mksa單位制，以及敘述四個基本量。
2. 從事含有線性方程式的問題所需的計算，且能繪製方程式的圖形。
3. 利用科學符號有效地組織並用計算尺或計算器完成任意數的數值運算。
4. 陳述最常用的十進位字首。
5. 定義準確度（accuracy），精密度（precision）及公差（tolerance），並描述元件製造商所選用的價值系統（value system）。
6. 執行一單位系統或涉及多種單位系統的計算與轉換。

導言

爲了建立研究電工技術 (electrical technology) 的堅實基礎, 首先我們必須考慮該領域內的所使用的各種數學語言。經驗所得, 在討論技術性論題之前, 必須複習一些基本的數學論題。在本章裡, 我們將討論這些論題, 並舉些範例及練習題以供讀者熟稔該領域內的問題。必要時, 另外的一些數學論題, 將於其後各章節內分別研討之。

1.1 單位

充分了解單位的重要性實難詳細說述。從事技術人們所考慮的大多數問題, 其結果皆爲“數目”(number)。幾乎在所有情況下, 此“數”皆附有“單位”, 而此單位所含資訊的重要性, 則與此量的大小等量同觀。譬如說, 某運動員在 4 個單位內跑了 1 個單位, 你將不知其成就如何。反之, 如果我們說他在 4 分鐘內跑了一哩, 他的成績也就顯然可知了。只要稍加思索, 我們亦可發覺日常生活中常用的單位實在已自動完成了! 譬如: 我們在商店用 4 元購買某物, 付給店員 10 元鈔票, 如要核對所找的零錢, 我們必須用及幣制單位的概念。我們該知道一張 10 元的鈔票等於 10 元。因此, 找回的零錢應是 6 元。再者, 零錢必然是以不同的硬幣找回, 欲核對找回的零錢是否正確必須先知道每個硬幣的幣值, 而我們總是輕而易舉的完成此類事情。本節的目的即在詳述技術體系內單位應用的簡易方法。

1.1-1 單位制 (systems of units)

在科學領域內, 我們描述任何一件事, 必須能使同行的工作者毫無困難地了解我們表達的意思, 或是重覆我們所得的結果。爲此, 我們必需建立一種在任何情況都可重複使用的單位制 (system of units)。

目前使用的單位制主要分爲兩種。一爲英制。此種單位體系漸爲國際單位制 (*International System of Units*), (簡稱 SI 單位制) 所取代。它包括電機工程所使用的 mksa 制。mksa 制的基本單位是公尺 (長度), 仟克 (質量), 秒 (時間), 及安培 (電流)。此等量的標準, 係由國際公認制定, 並被延用在整個世界上。

表 1.1-1 基本量

量	符號	單位	縮寫
長度	l	meter	m
質量	m	kilogram	kg
時間	t	second	s
電流	i	ampere	A

表 1.1-1 顯示基本量與其 mksa 單位與一般數學符號與縮寫。其餘物理量，諸如功率、能量、等等都可由這些基本量導出。在本書中，於必要處將會介紹某些導出量 (derived quantities)。

在結束本節前，讓我們考慮這些量的大小，在英制及 mksa 制中的關係。因為我們大抵對英制中的各種數量大小比較熟悉，這適足以提供我們對 mksa 制中各種數量相對大小的真正感覺。

一些常用的數量比較，列於表 1.1-2。

在本章稍後，我們將論及單位計算及單位制間的轉換。

1.2 代數複習

本書所用的數學，大多僅含代數與三角。一些微積分中的論題，僅在需用時，才予介紹。在本節裡，我們將複習線性方程式 (linear equation)，此乃代數學的課題，在即將討論的下文中，扮演極重要的角色。

表 1.1-2 mksa 與英制單位比較

	English	mksa
長度	1 inch = 0.0254 meter	1 meter = 39.37 inch
質量	1 slug = 14.6 kilogram	1 kilogram = 0.0684 slug
力與重	1 pound = 4.45 newton	1 newton = 0.224 pound
能量	1 foot-pound = 1.356 joules	1 joule = 0.738 foot-pound

4 電工技術

1.2-1 線性方程式 (linear equations)

我們將涉及的數學，大部份是能繪成直線圖形的線性方程式。繪成曲線的方程式，稱為非線性方程式 (nonlinear equation)。直線的斜截 (slope - intercept) 式方程式是

$$y = mx + b \quad (1.2-1)$$

其中 y = 相關變數 (dependent variable)
 x = 獨立變數 (independent variable)
 m = 直線斜率 (slope)
 b = y 截距 (intercept) 之值

爲了說明式中各項的意義，我們舉一個數字實例。若式中 $m = 2$ 且 $b = 3$ ，則

$$y = 2x + 3 \quad (1.2-2)$$

該式的圖形示如圖 1.2-1。可由下列四個簡易步驟用斜 - 截式的方法繪出。

1. 置 $x = 0$ ，則 $y = b = 3$ 。此乃爲 y 軸上的座標。
2. 置 $y = 0$ ，則 $x = -b/m = -3/2$ ，此乃爲 x 軸上的座標。
3. 畫一經過此兩點的直線。
4. 欲施檢驗時，可任取一 x 值 (設置 $x = 1$)，找出 y ($y = 5$)。

然後核驗該點是否在同一直線上。(確實如此)。

首先讓我們注意在圖中直線截 y 軸於 $x = 0$ ， $y = b$ 。當方程式寫成斜截式時，此點可由觀察得知。

再者。注意該線的斜率。爲了解斜率的意義，試考慮點 P_1 與 P_2 間任一 x 的變化量 (增量)。在正 y 方向有一相應的 y 增量 (increment)。 x 增量爲 Δx ， Δ 表“在...的變化”。由圖可知

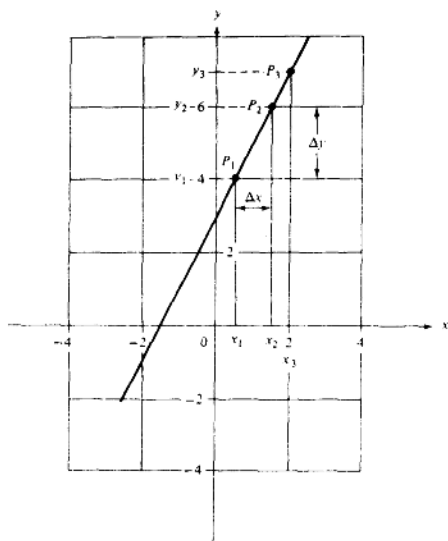
$$\Delta x = x_2 - x_1 \quad (1.2-3)$$

對應此 Δx 的 y 增量爲

$$\Delta y = y_2 - y_1 \quad (1.2-4)$$

按照定義，直線斜率，乃指點 P_1 與 P_2 間 y 變化量與同樣兩點間對應的 x 變化量的比。因此

$$\text{斜率} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = m \quad (1.2-5)$$

圖 1.2-1 $y = 2x + 3$ 的圖示

在本例中

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{6 - 4}{1.5 - 0.5} = 2 \quad (1.2-6)$$

當然，這可供驗證式 (1.2-2) 中 x 的係數值。因所考慮的是一直線，故沿線任一點的斜率都是相同的。此斜率對任意大小的 Δx 也將相同，只要我們記取對應的 Δy 。於是，對一直線而言，斜率為常數。再者，斜率大小，乃為該直線陡峻程度 (steepness) 的量度。例如，具有 4 單位的斜率的直線，其陡度將兩倍於此。

了解斜率的物理意義是很重要的。它代表 y 對 x 的變化率 (rate of change)。也就是說，單位 x 的變化量所造成的 y 單位變化量數。只要知道直線的斜率，我們就可預知在線上任一點，對任意 x 變化量所產生的 y 變化量。

讓我們回到式 (1.2-2) 中的例。在圖 1.2-1 中，我們若從點 P_1 開始，欲決定當 x 變化 1.5 個單位時的 y 變化量。因 y 對 x 的變化率為 2，欲求相對應的 y 變化量 (3 個單位)，只要在 x 的變化量 (1.5 個單位) 乘

6 電工技術

上變化率(2)即可。注意，我們求得的數，並非 y 而是 y 變化量 Δy 。所以，新點 P_3 的 y 值，應為點 P_1 的值 ($y_1 = 4$) 加上變化量 ($\Delta y = 3$)，其結果為 $y_3 = 7$ 。

爲了用數學式表示此一過程。我們可依下法進行。

在點 P_3

$$y_3 = mx_3 + b \quad (1.2-7)$$

在點 P_1

$$y_1 = mx_1 + b \quad (1.2-8)$$

相減

$$y_3 - y_1 = m(x_3 - x_1)$$

兩邊加上 y_1

$$\begin{aligned} y_3 &= y_1 + m(x_3 - x_1) \\ &= y_1 + m\Delta x \end{aligned} \quad (1.2-9)$$

將 $y_1 = 4$ ， $m = 2$ ， $\Delta x = 1.5$ 等數值代入，我們得

$$y_3 = 4 + (2)(1.5) = 7$$

視斜率作為變化率的概念相當重要。當我們進行討論時，將經常用到此一概念。在前例中，斜率為正值。計算甚為簡易。下一例子，我們考慮負斜率的情形。在這種情況下，有時會引起一些困難。

例 1.2-1 放應式

$$16x + 5y = 39$$

(a) 繪出該方程式

(b) 利用斜率概念找出，當 $x = -2$ 時的 y 值

解

(a) 第一步先寫出該式的斜截式。

$$\begin{aligned} 5y &= -16x + 39 \\ y &= -\frac{16}{5}x + \frac{39}{5} \\ &= -3.2x + 7.8 \end{aligned}$$