

電子學 1

彭信成 戴建耘 / 編譯

施 純 協 / 校閱



羅拔書局印行

電 子 學

Ⅰ

彭信成 戴建耘／編譯

施 純 協／校閱

羅拔書局印行

電 子 學 1

編譯者：彭信成 · 戴建耘

出版
發行 兼：羅拔書局

澳門大馬路 381 號二樓 F 座

印刷者：振興印刷公司

澳門龍崙街 152 號地下

H. K. \$ 22.00

序 言

深信學習「電子學」這門深程的朋友都會喜歡這本書的內容以及講解方法。

我們常聽人說：欲深入必先淺出。這本書非常適合初入電子領域的學者，因為它根據實際需要，以“簡化”（等效電路）的手法，使初學者很快地把握正確的觀念，同時以各種不同的角度作電路研討，對於您深入學習複雜的電子電路亦有莫大幫助。

工科學生受完學校教育後，多數都要投入工業界中，這是個不容懷疑的事實，一位優秀的工程技術人員，他必須兼具正確的理論與實際電路的觀念。這本書便是以着重實際現象的方法來探討理論，並以考慮學習者之心境而編寫的書。

本人欣見彭、戴兩君通力合作，以Electronic Principles (Albert Paul Malvino)與Electronic Circuits (Paul M. Chirlian)等書為藍本，並融會多年教學經驗，整理成這本適合國人學習電子學課程的良書，實感興奮，在此預祝大家學習成功。

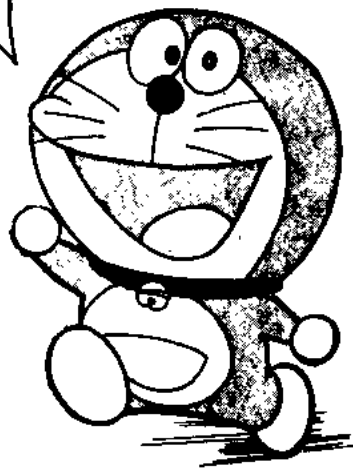
施純協

序於美國康州—隅

如何研讀本書

- 1 凡是畫有框的式子較為重要，請同學務必留意！
- 2 各式子間，有主式與副式（加有 a、b、c 等字）之分，請各位務必了解它們的變化條件！
- 3 進入每單元之前，請先閱讀該單元之電路圖，並留意該圖中，各分圖之相互關係，有的是組態相同但位置調換，有的是圖形相同但電路值改變對電路發生影響，請各位細察之，多思考、比較，相信各位必然「一學即通」。
- 4 每單元末為該單元之學習具體目標，各位親做之，保證好處多多。答對了，請繼續閱讀下單元；答錯了，煩您務必再複習該單元一次。
- 5 讀完每章後，附有作業，最好是全做，如果你沒有時間，至少要選做幾個奇數題，章末附答案作為核對，以倍增信心！

歡迎各位共同研習電子學課程



總 目 錄

電子學 1

- 第一章 概 論
- 第二章 半導體理論
- 第三章 pn 接面
- 第四章 二極體等效電路
- 第五章 整流電路
- 第六章 雙極性電晶體
- 第七章 電晶體偏壓電路
- 第八章 AC 等效電路
- 第九章 小信號放大器

電子學 2

- 第十章 A類放大器
- 第十一章 B類放大器

- 第十二章 C類放大器
- 第十三章 場效應電晶體
- 第十四章 FET 電路分析
- 第十五章 分貝 (dB) 及密勒定理
- 第十六章 頻率效應

電子學 3

- 第十七章 積體電路 (IC)
- 第十八章 負回授
- 第十九章 回授振盪器
- 第二十章 頻域觀念
- 第二十一章 交互調變與混波
- 第二十二章 調變
- 第二十三章 電壓調節電路

目 錄

第一章 概 論	1
1 - 1 理想化	3
1 - 2 電子元件	5
1 - 3 電源	11
1 - 4 戴維寧定理	15
第二章 半導體理論	21
2 - 1 厚子結構	23
2 - 2 軌道半徑	24
2 - 3 能階	25
2 - 4 晶體	27
2 - 5 能帶	29
2 - 6 晶體的傳導	30
2 - 7 電洞電流	32
2 - 8 摻雜	35
第三章 pn 介面	41
3 - 1 未加偏壓的二極體	43
3 - 2 能階觀念	46
3 - 3 順向偏壓	49
3 - 4 逆向偏壓	52
3 - 5 雙極性與單極性元件之認識	57

第四章 二極體等效電路..... 59

4 - 1	整流二極體.....	61
4 - 2	二極體的順向偏壓曲線.....	63
4 - 3	二極體的特性曲線.....	67
4 - 4	理想二極體.....	69
4 - 5	第二近似解法.....	72
4 - 6	第三近似解法.....	73
4 - 7	近似解法的選定.....	76
4 - 8	逆向電阻.....	79
4 - 9	二極體電容.....	81

第五章 整流電路..... 91

5 - 1	半波整流電路.....	93
5 - 2	全波整流電路.....	97
5 - 3	橋式整流電路.....	100
5 - 4	二極體的功率與電流額定值.....	101
5 - 5	峯值逆向電壓.....	104
5 - 6	獲得 D C 電壓的濾波器.....	109
5 - 7	截波器.....	112
5 - 8	峯值整流器.....	120
5 - 9	突波電流.....	126
5 - 10	簡介電源供應電路.....	128
5 - 11	定位器.....	130
5 - 12	峯對峯值檢波器.....	134
5 - 13	D C 的回流問題.....	136

第六章 雙極性電晶體..... 149

6 - 1	三個摻雜區	151
6 - 2	未加偏壓的電晶體	152
6 - 3	FF 與 RR 偏壓	154
6 - 4	順向—逆向偏壓	156
6 - 5	共射極 CE 接法	162
6 - 6	電晶體曲線	170

第七章 電晶體偏壓電路 183

7 - 1	基極偏壓與射極偏壓	185
7 - 2	基極偏壓的公式	187
7 - 3	電晶體偏壓的特殊情況： $R_E = 0$	194
7 - 4	分壓偏壓法	200
7 - 5	進一步探討分壓電路	203
7 - 6	射極偏壓電路	208
7 - 7	集極回授偏壓電路	215
7 - 8	pnp 偏壓電路	222
7 - 9	莫對接地點混淆	226
7 - 10	pnp 電晶體的習慣畫示方式	227
7 - 11	集極截止電流	231
7 - 12	本章要點歸納	237

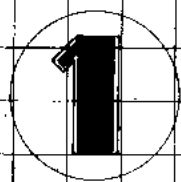
第八章 AC 等效電路 249

8 - 1	耦合和旁路電容的意義與功用	251
8 - 2	利用重疊定理來分析 AC - DC 電路	256
8 - 3	進一步分析電晶體 AC 等效電路	261
8 - 4	理想電晶體的近似法	264
8 - 5	射極二極體的 AC 電阻	266
8 - 6	交流的 β 值	271

8 - 7	電晶體的交流理想模式	273
-------	------------	-----

第九章 小信號放大器281

9 - 1	電晶體的兩種基本AC型態——基極驅動式及射極驅動式	283
9 - 2	基極驅動電路的公式	284
9 - 3	基極驅動式電路的特殊情況： $r_E=0$	291
9 - 4	射極二極體的淹沒	299
9 - 5	計算電路輸入阻抗的方法	304
9 - 6	信號源的阻抗	313
9 - 7	射極隨耦器	319
9 - 8	電晶體的達靈頓對	335
9 - 9	電晶體的第二近似解法	341
9 - 10	射極驅動電路的公式	345



概 論

1—1 理想化

1—2 電子元件

1—3 電源

1—4 戴維寧定

常用電子簡寫代號

A	安培	μW	微瓦特(10^{-6} W)
B	貝爾 (10dB)	m	毫· 10^{-3}
dB	分貝	mA	毫安(10^{-3})
°C	攝氏溫度	mH	毫亨(10^{-3} H)
H	亨利	mV	毫伏(10^{-3} V)
Hz	赫芝(即每秒週)	mW	毫瓦(10^{-3} W)
KHz	千赫芝(10^3 Hz)	n	奈· 10^{-9}
KΩ	千歐姆($10^3 \Omega$)	nA	奈安(10^{-9} A)
KV	千伏特(10^3 V)	nS	奈秒(10^{-9} S)
M	百萬· 10^6	Ω	歐姆
MHz	百萬赫芝(10^6 Hz)	P	微微·($10^{-12} = \mu \times \mu$)
MΩ	百萬歐姆($10^6 \Omega$)	PF	微微法拉(10^{-12} F)
μ	微· 10^{-6}	S	秒
μA	微安(10^{-6} A)	V	伏特
μF	微法拉(10^{-6} F)	W	瓦特
μH	微亨(10^{-6} H)		

$$m \times K = I \text{ (例 } 1mA \times 1K\Omega = 1V)$$

$$\frac{m}{K} = \mu \text{ (例 } \frac{1mV}{1K\Omega} = 1\mu A.)$$

$$\frac{I}{K} = m \text{ (例 } \frac{1V}{1K\Omega} = 1mA)$$

$$\frac{I}{m} = K \text{ (例 } \frac{1V}{1mA} = 1K\Omega)$$

本章討論的是利用理想化與近似解的方法，略去許多複雜的因素，使電路簡化，對初學電子的同學，容易達到學習的目標。對電路的分析，戴維寧定理極為重要，所以本章後段，亦作簡要的複習。

1-1 理想化

大部分的電路都很複雜，為了使其簡化而常視為理想化，我們先除去一些非必要的條件使得電路較為單純，使學習更為方便。

理想化的必要

其實我們早就應用過「理想化」了，例如一段導線，通常我們都視其為一良導體，但這並不是正確的。假設導線為AWG 22號長度一呎的銅線，這綫查表可知，有 $0.016\ \Omega$ 的電阻， $0.24\ \mu\text{H}$ 的電感，又若將這段綫置於一吋高的金屬板上，綫與金屬板間便有 $3.3\ \text{pF}$ 的電容量存在。因此，這段綫就如圖1-1(c)中的電路一般。

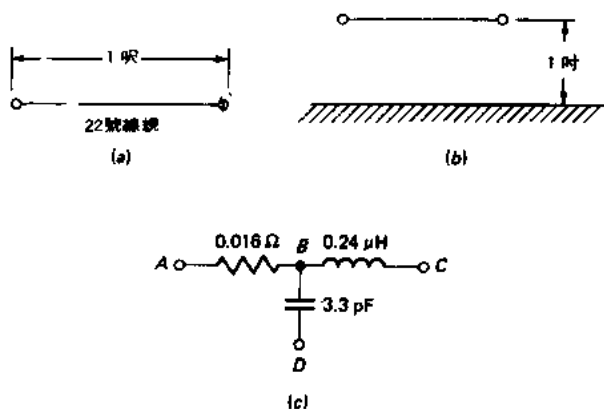


圖1-1 一條導線的理想化

但是這仍然不太完整，我們無法畫出均勻分布在這段線上的 RLC 。若要較正確的分析，這段線就必須利用較高深的馬克斯威爾 (maxwell) 方程式來計算。

幸好在 300 MHz 以下的頻率我們無須用馬克斯威爾方程式，而可當作如圖 1-1(c) 的混合定值電路 (lumped-constant circuit) (所謂混合定值電路即是每一對節點之間具有一電阻、電容或電感)，如在 1 MHz 以下的頻率，通常就將感抗和容抗忽略，且導線上的電阻，更是小到可以忽略。換言之，大部分的情況下我們將一個線段的 RLC 忽略而加以理想化了。

近似解

無可否認的，在工作頻率很高時，必須將一條導線化成圖 1-1(c) 的等效電路。用複雜而較正確的方法來解析電路。但平時可將其作概要的近似，否則，我們將被一些不必要的鎖碎細事所困擾，故本書許多地方都作儘可能的近似化，使同學易達學習目的。

理想或稱第一近似，即除去不必要的顧慮，只保留裝置的理想狀態，我們得到電路的基本工作情形，因裝置在理想情況下電路的分析較為容易，我們將依電路的需要程度而作第二近似或第三近似的方式 (逐步加入考慮因素) 此方法使用的原則如下：

- 1 理想或第一近似法：為最扼要的等效電路，捨去一些不需要的複雜因素，將電路當為理想工作情形。
- 2 第二近似：用在特性的證明分析，通常屬於工程師、技術員的考慮範圍。
- 3 第三近似：包括其他較複雜而重要的效應，才須要第三近似。正確等效電路為一完整的混合定值電路，但我們幾乎不用此種電路作為考慮因素。

[本單元學習要點]

- ▲電子電路可用 _____、_____ 和 _____ 三種方式來分析。
- ▲本書各電路均視為理想化或稱 _____ 來處理。
- ▲AWG 22 號銅線 1 呎長，其電阻有 _____ Ω ，電感有 _____ μH 。若置於 1 吋高的金屬板上，兩者之間便有 _____ pF 之電容存在。
- ▲300 MHz 以上的頻率，必須利用 _____ 方程式解電路。
- (理想化或第一近似； 第二近似； 第三近似； 第一近似； 0.016 Ω ； 0.24 μH ； 3.3 pF； 馬克斯威爾)

1-2 電子元件

通常我們將一電阻器經理想化後認為只有電阻而已，其實電阻本身尚有容抗和感抗存在，同樣的，純電容、純電感只有在理想情況下才存在，實際電路的 R' 、 L' 和 C' 實在太多了，所以我們必須知道其近似解才能得心應手。

電阻的近似

圖 1-2 (a) 為一個電阻的理想化與第二近似解，當一電阻用在低頻電路時，可視為一純電阻，但在較高頻率下電容抗降低，電阻兩端間的電容成為 AC 電流的通路，此電容便不可忽視了。

上面說明在低頻時，我們可忽略兩端間電容的存在，但頻率在 100 KHz 以上時，如分析電路就須考慮電容的效應，根據資料可知：典型的電阻 ($\frac{1}{4}\text{W} \sim 2\text{W}$) 兩端間典型的電容約為 1 pF，其正確數值決定於引線的長度，體積的大小與其它因素。若須要知道正確的電容數值，可用一 RLC 電橋測得。

當通過電容的電流比通過電阻的電流小得很多時，電容是可以忽略的，

一般在下面情況下便可忽略兩端間容抗的存在，即

$$\frac{X_c}{R} > 10 \quad (\text{式 1-1})$$

例如：有一 $10\text{ K}\Omega$ 的電阻，具有 1 pF 的電容存在，在 1 MHz 的頻率下，其容抗 X_c 為

$$X_c = \frac{1}{2\pi f c} = \frac{1}{2\pi (10)^6 (10)^{-12}} = 159\text{ K}\Omega$$

因此阻抗和容抗之比為

$$\frac{X_c}{R} = \frac{159\text{ K}\Omega}{10\text{ K}\Omega} = 15.9$$

而這比值大於 10，所以 1 MHz 頻率時， $10\text{ K}\Omega$ 的電阻器是可以忽略兩端間的容抗。

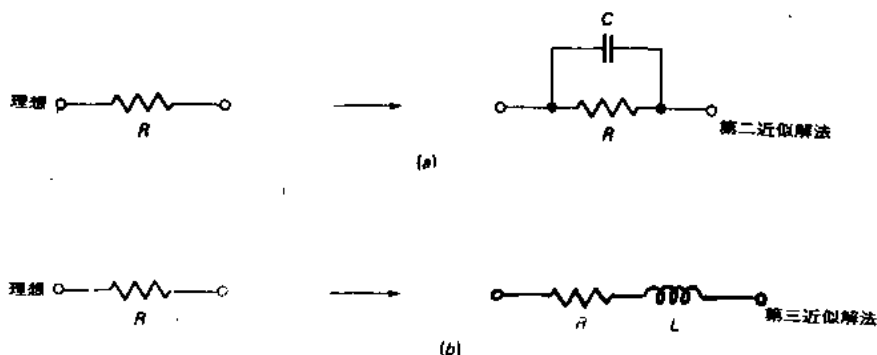


圖 1-2 電阻的近似

有時候，我們須要將電阻作第三近似解（請參考圖 1-2 (b)），此近似即包括電阻的接腳引綫中的電感抗，通常在低功率電子電路中所用的引綫大小便具有 $0.02\text{ }\mu\text{H}$ 的電感，若想得到正確的引綫電感值可用一高頻 $R\text{ L C}$ 電橋測得，典型兩端引綫的感抗值在下述情況下是可忽略的，即

$$\frac{R}{X_L} > 10 \quad (\text{式 1-2})$$

通常接腳引線的感抗與兩端間的容抗比較起來較不重要，例如一個 $1\text{ K}\Omega$ 電阻將其兩端的引線各切成 $\frac{1}{2}$ 吋長，總長度則為 1 吋，感抗為 $0.02\text{ }\mu\text{H}/\text{吋}$ ，所以此電阻的感抗為 $0.02\text{ }\mu\text{H}$ ，設頻率在 300 MHz 時其感抗為

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi (300)(10)^6 (0.02)(10)^{-6} = 37.7\Omega$$

而阻抗與感抗之比為

$$\frac{R}{X_L} = \frac{1\text{ K}}{37.7} = 26.5$$

所以在 300 MHz 的高頻下的 $1\text{ K}\Omega$ 的電阻，我們仍然可以忽略其感抗的存在。

我們設定 $X_C/R = 10$ 和 $R/X_L = 10$ 時，頻率與電阻間有如圖 1-3 所示之關係。此圖是設電阻兩端的容量為 1 pF ，接腳引線的電感為 $0.02\text{ }\mu\text{H}$ 所繪出的，而將理想第二近似和第三近似分成三個區域。

在圖 1-3 中，我們可將在二條直線底下任何區域之電阻都可看成理想電阻，即可忽略分佈的容抗及感抗。另一方面來說，如在二線之上的任何區域，我們可用第二近似或第三近似法，例如一 $10\text{ K}\Omega$ 的電阻工作在 1 MHz 的頻率下，因其落在圖 1-3 的理想區域中故可視為理想。但如果同樣 $10\text{ K}\Omega$ 電阻工作在 5 MHz 高頻率下，以較嚴格計算時，須考慮到端與端間分布的電容。同樣的一 20Ω 的電阻工作在一高達 16 MHz 的頻率時，引線電感成為重要考慮因素。

不要過分依靠圖 1-3 表格，它只是幫助我們判斷計算時是否考慮兩端的分佈容抗與引線感抗，若在高頻時，需作精確的分析，則要利用高頻 RLC 電橋來測兩端間電容及引線的電感。

圖 1-4 (a) 是一個電感的理想狀態及第二近似與第三近似。

在通常情況下，我們可將電感視為理想，但當頻率低到 X_L 比內阻 R 相差不多時，又須用第二近似解。

而在較高頻率時，電感器繞圈兩端間的並聯產生電容，便不能忽略，這