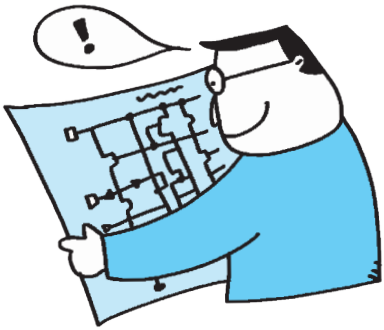
圖解

電晶體、二極體、積體電路等
資訊科技基礎知識

電子電路超入門



石川洋平、野口卓朗／著
陳朕疆／譯

●注意
(1) 本書為作者依獨自調查的結果寫作出版的書籍。
(2) 我們製作本書時，一直希望能做到盡善盡美。若讀者發現本書有任何錯誤、遺漏缺失，請以書面方式與出版方聯絡。
(3) 即使(2)成立，若讀者照著本書內容操作時發生問題，作者及出版方概不負任何責任，敬請見諒。
(4) 若沒有獲得出版方的書面許可，禁止複製本書全部或部分內容。
(5) 本書中提到的網址，可能在未經預告的狀況下變更。
(6) 商標
一般而言，本書提到的公司名稱、商品名稱為各公司的商標或註冊商標。

※內文中「數位」等同於香港用語「數碼」。

前言

本書內容主要為電子電路的基礎與概觀。或者也可以說，為了讓讀者喜歡上電子電路這門領域，本書蒐羅了許多有趣的梗，讓各位能輕鬆閱讀。

本書出現的數學式很少，內容主要是列出關鍵字並簡單說明，因此偶爾會出現說明不夠充分、過於果斷的情況。一般的專業書籍會追求嚴格的「正確性」，不過本書會用「大概就是這樣的意思吧？」的方式表達。

事實上，在本書前身《圖解入門 超簡單最新電子電路的基礎與運作機制》（日本於2013年6月出版，以下稱「前作」）出版後數年，我再回過頭重新翻閱後，發現內容壓倒性地不足。

然而，也有不少讀者透過這本書入門電子電路領域。在我與這些讀者討論相關內容時，我覺得雙方能夠相當順暢地對話。用這本書上課時，我也覺得只要說個大概，學生就會自動自發地去找相關資料，還會指出我黑板上寫錯的內容。因此，吐槽也是本書的重點之一。就這點看來，本書Column內容或許還比正文重要，請把這些內容當成趣談、閒話，輕鬆地看過去。不管讀者是其他專業領域人士、高中生、科大生、大學生還是社會人士，如果本書能讓你們了解到電子電路領域的關鍵字，對這個領域產生興趣，那就太棒了。

本書做為前作的修訂版，我刻意留下了一些吐槽的部分，並用對話泡泡表示，歡迎您在閱讀時留意這些吐槽部分。

年齡上來說，最早開始學習電子電路知識的族群是工業類高職生，而本書最大的特徵，就是會提到部分與高職檢定教科書有關的內容。

開始學習專業科目後，這些剛從國中畢業，只有學過國語、數學、自然、社會、英語的學生們，會突然遇到「$j\omega$」之類的未知咒文，那當然會被嚇到了。

進入大學以後，他們需要運用在高職階段學過的微積分，學習電路的行為。這時他們會開始覺得「電力電路」很困難，接著又會碰到二極體、電晶體等「電子電路」的咒文，應該有不少人因此而放棄吧。

檢定教科書的內容與本書類似，簡明扼要，電路種類卻比本書豐富許多，目次也較繁瑣。因此讀者可透過本書，大致了解檢定教科書的「框架」，知道除了本書之外還要再補充哪些內容，進而理解到電子電路領域的整體模樣。

本書的第二個特徵，是引入「LTspice」的電路模擬練習。前作中，我們利用「ngspice」這個模擬器，使用網路連線表（netlist）來描述電路圖。為了方便讀者練習，本書改用能以滑鼠輸入電路圖，只要點幾下按鍵，就能看到波形的「LTspice」做練習。

在我（石川）念大學時（1997年～），電路模擬器可以說是高嶺之花，只有特定的人，能在特定的時間，用特定的電腦操作。比起用模擬器，實際以電路做實驗，才是這個領域的基礎。我記得到了2008年，「LTspice」才真正普及開來。

而製作本書時，我們請來出生於1989年，可說是「LTspice」的原生世代的野口卓朗老師做為共同作者，並設置了新的章節，說明類比電路、數位電路的模擬過程，加深讀者的理解。第6章內容相當充實，完成這些模擬後，便可算是打好了電子電路的基礎，請務必嘗試看看。

2021年4月　石川洋平

▼第6章LTspice電路模擬的練習檔案，請至下方網址下載。

https://bit.ly/445BcLp

Contents

目次

電子電路超入門

圖解電晶體、二極體、積體電路等資訊科技基礎知識

前言 ……3

Chapter 1 **電子電路的主角們**
各種元件與定律

1-1　電力電路與電子電路的差別 ……10
Column　電力工程與電子工程，差一個字差很多嗎？ ……14
1-2　類比電路與數位電路 ……15
1-3　國中自然科學過的電力電路　…歐姆定律是一切的基礎 ……18
1-4　自由計算電路中各種數值的重要工具　…克希荷夫定律 ……20
Column　說自己不懂節點電壓法的學生們 ……24
1-5　了解被動元件的心情 ……25
1-6　魔法般的關鍵字jω　…微分、積分的直觀理解 ……31
Column　橫軸是ωt（角度）？　t（時間）？ ……32
1-7　以濾波器取得頻率　…時間軸與頻率軸（Part I） ……39
Column　濾波器的「篩孔」愈小愈好 ……40
1-8　了解電晶體與二極體的心情 ……45
Column　只說電晶體時，指的是雙極性電晶體？ ……48
1-9　電晶體的主成分　…半導體的基礎 ……49
1-10　窺探IC的內部結構 ……54
1-11　使用電晶體的準備運動　…方便的h參數 ……59
Column　電子電路使用的大小寫符號與下標 ……61
Point　第1章真正想談的事 ……62

Chapter 2 類比電子電路的功能
「放大」的概念與計算

2-1 將訊號「放大」 …電壓放大率、電流放大率……64
2-2 圖形縱軸不是「倍」，而是「分貝」……66
2-3 由電晶體的特性圖看出「放大」幅度……69
2-4 「放大」的前置準備 …做為幕後英雄的「偏壓電路」……72
2-5 誰「放大」了什麼？ …輸入輸出阻抗……76
Column 了解「放大」是什麼，卻不了解「輸入輸出阻抗」是什麼……78
2-6 電晶體「開關作用」與數位電路之間的關係……79
Column 筆者（石川）的電子電路經歷
為什麼類比電路與數位電路2種都要學？……81
Point 第2章真正想談的事……82

Chapter 3 大學、五專、高職學到的電子電路
專業書籍的閱讀方式

3-1 高職檢定教科書與市售的教科書 …讓自己喜歡上電子電路的閱讀方式……84
Column 購買檢定教科書……84
Column 筆者（石川）在高職學到的東西，在大學與五專學到的東西……87
3-2 電晶體變身成了方便使用的形式 …了解4種等效電路……88
3-3 最流行的放大電路 …共射極電路……91
Column 請一口氣讀完3-3節到3-5節……92
3-4 輸出不會反轉的放大電路 …共基極電路……93
Column 接地（共用電極）是什麼意思？……94
3-5 電壓放大率為1倍？ 這樣也算放大電路嗎？ …共集極電路……95
Column 複習3種接地電路的特徵！……96
3-6 目前的主流元件 …MOS電晶體的基礎……97
Column MOS電晶體是3個端子的元件？ 還是4個端子的元件？……99
3-7 MOS電晶體使用的基本電路 …共源極電路……101
3-8 大型積體電路（LSI） …差動放大電路與電流鏡電路……103
3-9 以「高性能」為目標 …類比電路設計的抵換關係……107
Column 與電子電路有關的五專、大學的畢業研究包括哪些？……108
Point 第3章真正想談的事……109

Chapter 4 使用運算放大器的演算電路
電晶體數量的恐怖之處

4-1 增加電晶體數量後便無法計算!?……112
4-2 救世主運算放大器登場 …黑箱化＆虛短路……114
4-3 運算放大器的使用方式 …密技回饋……117
4-4 使用運算放大器製作的加減法電路與微積分電路……123
Column 運算放大器只能用在反相放大電路與非反相放大電路上嗎？……123
4-5 運算放大器使用的頻率濾波器 …時間軸與頻率軸（Part Ⅱ）……125
4-6 運算放大器的內部 …已學過之知識的總動員……127
Point 第3章裡為了讓你喜歡上電子電路的「5個問題」之答案……129
Point 第4章真正想談的事……130

Chapter 5 數位電路的基礎
組合電路與順序電路

5-1 從類比到數位 …A/D轉換與D/A轉換……132
Column 「從類比到數位」的轉換極限 取樣定理……136
5-2 10進位、2進位、16進位 …方便電腦處理的表示方式……137
5-3 組合電路 …NOT、AND、OR、NAND、NOR、XOR電路……140
5-4 半加器與全加器 …挑戰2進位加法……142

5-5 順序電路 …記憶力超群的正反器電路 145
Column 如果被問到「數位電路（邏輯電路）是在學什麼？」該怎麼回答？ 149
5-6 邏輯電路也是由電晶體組成 150
Column 意識到電晶體層次的時機 152
5-7 數位IC的應用 …TTL與CMOS 153
5-8 以「高性能」為目標 …微處理器、FPGA的未來 156
Point 第5章真正想談的事 158

Chapter 6 電路模擬 LTspice入門

6-1 什麼是電路模擬 162
Column 與電路模擬的相遇（石川篇） 167
6-2 LTspice介紹 168
6-3 LTspice的使用方式 172
Column IC設計的必要工具 174
6-4 用模擬器體驗「放大」 179
6-5 用模擬器體驗「濾波器」 190
Column 不會冒煙的模擬器與變壓器事件 195
6-6 用模擬器體驗「組合電路」 196
6-7 用模擬器體驗「順序電路」 201
Column 與電路模擬的相遇（野口篇） 206
Point 第6章真正想談的事 210

結語 211
參考文獻 212
索引 213

第 1 章

電子電路的主角們

各種元件與定律

本章將複習國中學過的電壓、電流、電阻的關係，確認電路中的電流，以及施加在電阻上之電壓的關係，熟悉2個電學的基礎定律。接著介紹電力電路中的主角——電阻、電容、電感，以及電子電路的主角——二極體、電晶體。即使是從國中開始就不喜歡電力學的讀者，在讀過本章、熟悉電子電路中的各種元件後，也能理解到電路問題的有趣之處。

1-1 電力電路與電子電路的差別

Point

電力電路與電子電路這兩個詞十分相似，兩者有什麼差別呢？讀完本節後，您將能了解被動、主動等詞語的意義，並能說明它們的差別！

電力電路在學什麼

一般來說，在我們學過電壓、電流、電阻間的關係（歐姆定律）後，就會開始學習電路的分析方法（克希荷夫定律「等」）。之所以有個「等」，是因為分析電路時會用到很多定理，最具代表性的包括重疊定理、戴維寧定理、諾頓定理等。

不過，在學習各種定理時，由於經常會有初學者感到混亂，所以這裡讓我們集中學習「歐姆定律」與「克希荷夫定律」吧。

接下來，學生要試著分析含有電阻以外之重要元件的電路，譬如電容或電感等。一般來說，我們處理的是**交流**訊號。隨著電容與電感的不同，訊號的頻率也不一樣。這裡會大量出現導致混亂局面的sin、cos等三角函數。不過請放心，我們有jω這個救世主。

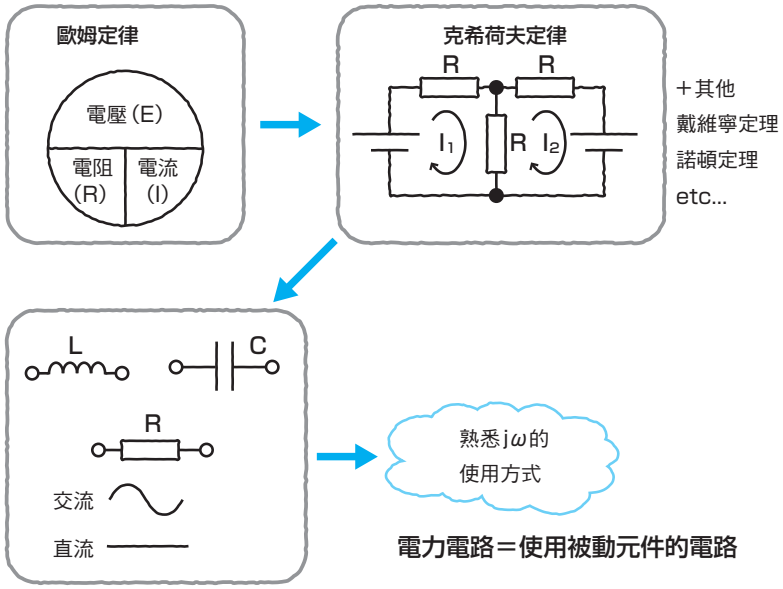
這裡要請您花費一點心力，了解jω的表示方式與意義。

順帶一提，電阻、電容、電感被稱為**被動元件**，使用這些元件的電路，則稱為**電力電路**。

讀完本書後，請在已理解之項目的□打勾！

□歐姆定律　□克希荷夫定律　□jω的表示方式與意義
□什麼是被動元件

電力電路在學什麼



電力電路＝使用被動元件的電路

電子電路在學什麼

再來要以電力電路學到的知識為基礎，學習含有二極體、電晶體這2個元件的電路。二極體與電晶體也稱為**非線性元件**，計算上相當複雜。不過，我們可以將二極體、電晶體，轉換成在電力電路中學到的被動元件或電源，轉變為**等效電路**，簡化電路分析過程。

因此，請熟記二極體或電晶體的等效電路，接著用這些等效電路理解**放大**現象就沒問題了。

當電晶體的數量從1個開始變成2個、3個，並逐漸增加至數十個、數百個時，大多數的人難免都會感到有些不安，但是請不用擔心，因為我們有**運算放大器**（Operational Amplifier，簡稱OPAMP）這個救世主。之後有些人或許也會遇到就算沒用到電晶體也能完成電路的情況。

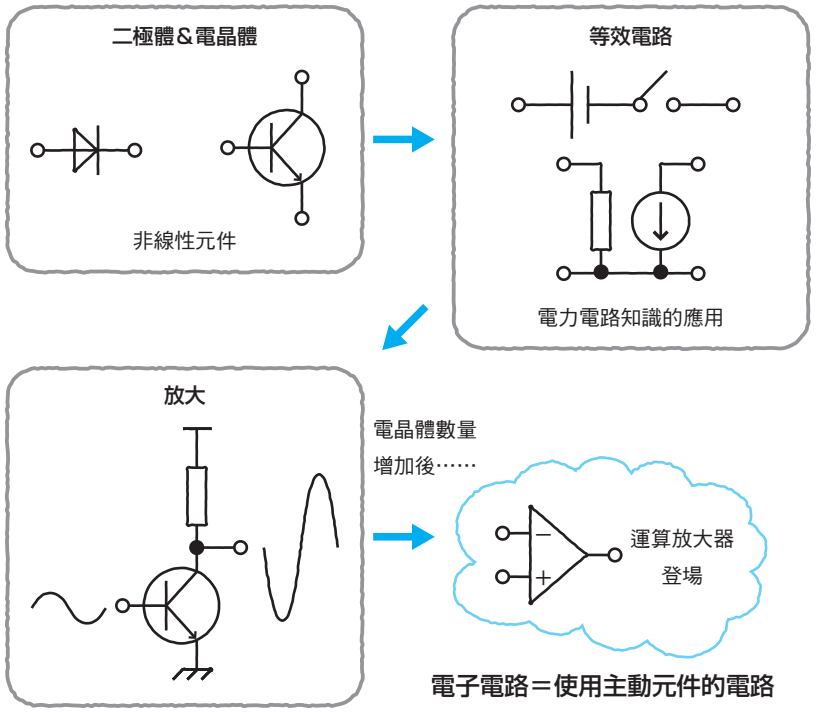
也就是說，就算忘了電晶體的功能，只要熟悉運算放大器的使用方式，也能實現想要的電路。

順帶一提，二極體與電晶體也稱為**主動元件**，使用主動元件的電路，被稱為**電子電路**。

讀完本書後，請在已理解之項目的□打勾！

□二極體、電晶體　□等效電路　□什麼是放大
□運算放大器　□什麼是主動元件

電子電路在學什麼



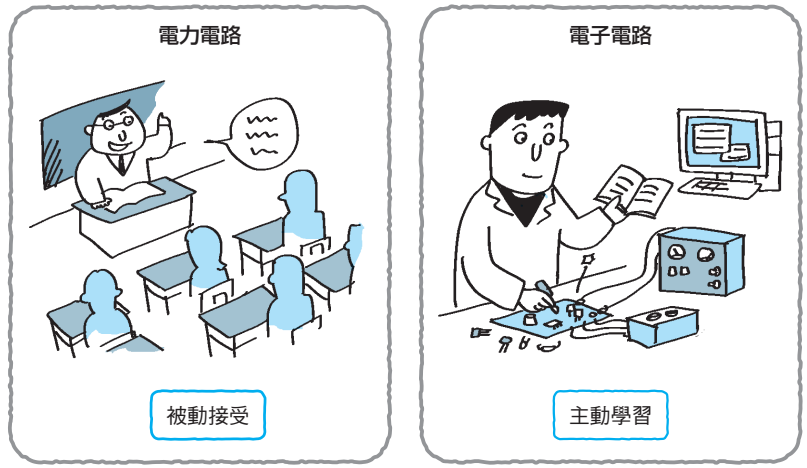
電力電路與電子電路的學習方式

學習各種知識時，化「被動（接受教學）」為「主動（主動學習）」是一件相當重要的事。

電路領域也一樣。一般而言，我們會先學習電力電路（被動），再學習電子電路（主動）。如果在學習以「被動元件」為中心的電力電路時受到阻礙，那麼在學習含有「主動元件」的電子電路時，更容易停滯不前。

只要運用電力電路的知識進行分析，許多電子電路的複雜情況就會變得簡單許多，所以請您先打好電力電路的基礎。因此，本章在本書中也占了相當的篇幅。

電力電路與電子電路的差異



電子電路的捷徑（如果全都OK的話，請跳到1-8節）

- ☐ 你能寫出電阻、電容、電感的符號與單位嗎？
- ☐ 你知道怎麼計算串聯電阻、並聯電阻嗎？
- ☐ 你知道歐姆定律與克希荷夫定律嗎？
- ☐ 你知道$j\omega$與微分、積分的關係嗎？
- ☐ 你知道分壓的意思嗎？
- ☐ 你知道為什麼我們同時需要橫軸為時間的圖，以及橫軸為頻率的圖嗎？

※以上問題將從下一節開始說明。



Column

電力工程與電子工程，差一個字差很多嗎？

如果找工作時，沒有清楚說明「電力」與「電子」的差別，就有可能會被分配到意料之外的部門。有個公司社長這麼跟我說過：「我曾把電子工程畢業的學生，不小心分配到電力相關部門，然後被瘋狂抱怨。」

我們一般都清楚「電力工程＝與電力有關」、「電子工程＝與電腦有關」，不過決定人力分配的人資部門可能沒有那麼清楚兩者的差別（近年來又多了「資訊工程」這個領域，介於電力與電腦之間，專業門檻較低，這或許也是容易讓一般人產生誤會的原因）。

我認為，愈是專業的人，就愈應該清楚了解每個電力工程、電子工程的專業術語，並需要接受相關訓練，讓他們能夠用簡單易懂的語言說明這些術語。

1-2 類比電路與數位電路

Point

類比與數位的差別在哪裡呢？讓我們接著說明類比電子電路以及數位電子電路的重點吧！

類比電子電路在學什麼

簡單來說，就是**放大**。在卡拉OK對著麥克風唱歌時，揚聲器可播放出放大的聲音。這就是聲音訊號的**放大**。電路的**放大**作用，就是類比電子電路的精髓。

除此之外，馬達轉動與LED發光有什麼不同？若你能用輸入阻抗、輸出阻抗的角度回答這個問題，那就太棒了。

數位電子電路在學什麼

簡單來說，就是**開關**。敲打鍵盤時，按下按鍵相當於傳遞ON（1）的資訊；放開按鍵則是傳遞OFF（0）的資訊。不同的按鍵組合，能夠幫助我們處理各種工作，譬如按著Ctrl鍵不放再按下C，就能複製內容。

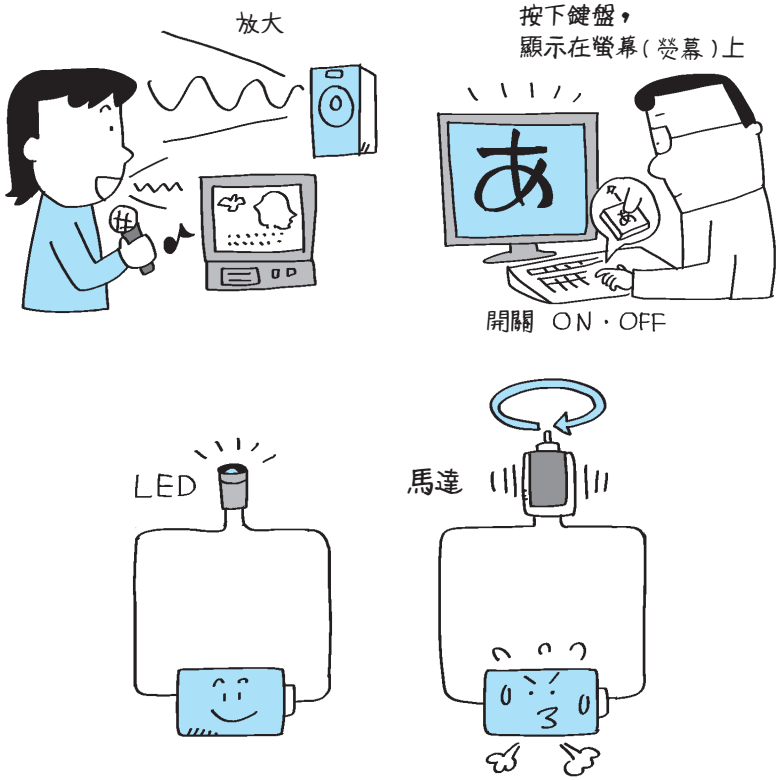
電晶體這種電子元件，可透過開關動作實現上述功能。由這種ON（1）與OFF（0）的「組合」或「順序」實現邏輯電路，就是數位電路的精髓。

讀完本書後，請在已理解之項目的☐打勾！

☐放大　☐輸入、輸出阻抗　☐電晶體的開關動作
☐組合電路　☐順序電路

＊**數位**　香港用語為數碼。

類比就是放大，數位就是開關



類比電子電路與數位電子電路的學習方式

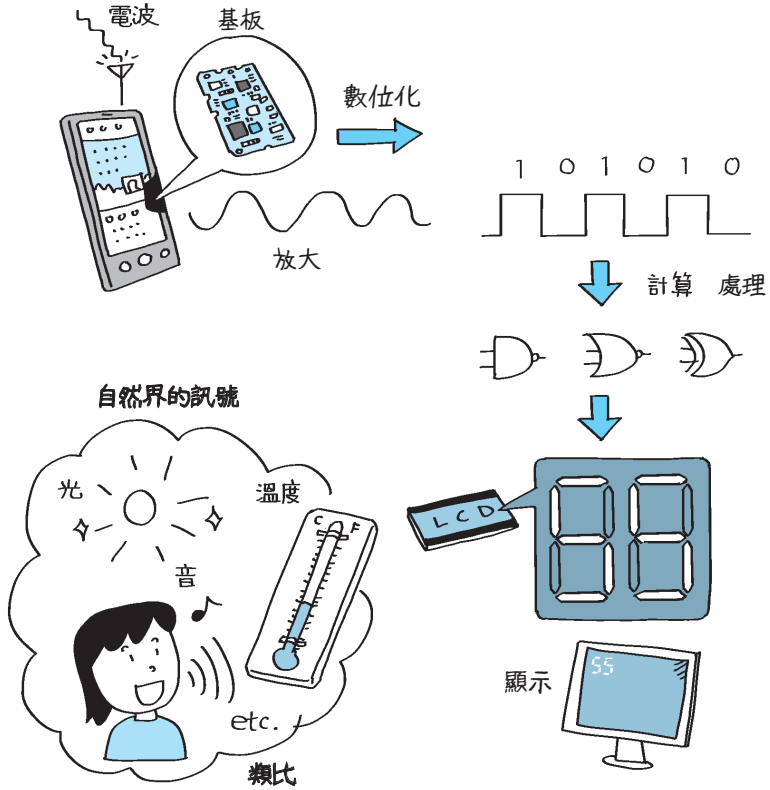
用我們周圍的電器來思考看看。當智慧型手機接收到微弱的電磁波後，會將其**放大**，接著開啟將類比訊號轉換成數位訊號的**開關**，經微處理器處理後，於螢幕上顯示文字或圖像。

類比電路與數位電路2個領域的學問都十分深奧，各有各的專家。目前大部分的處理都已經數位化，技術專家也逐漸離開了類比領域（雖然偏重數位電路的風潮正逐漸退去，但現在還是很難看到能自豪說出「我很會做類比電路」的人）。

自然界的訊號（聲音、光等）為類比訊號。所以讀者應先好好學習類比電子電路，了解自然的原理、規則。數位電路較容易上手，所以晚一點開始也沒關係。

本書將於第5章說明數位電路的基礎。

類比電子電路與數位電子電路



1-3 國中自然科學過的電力電路
…歐姆定律是一切的基礎

Point

「歐姆定律」是國中自然科學領域的次主題「電磁現象」中必定會提到的知識。先讓我們簡單複習一下這個定律吧！

國中學到的電力電路

若能理解教科書中的內容，包括「串聯、並聯的合成電阻」與「電壓、電流、電阻的關係式（歐姆定律）」等，就可以當做完成複習了。

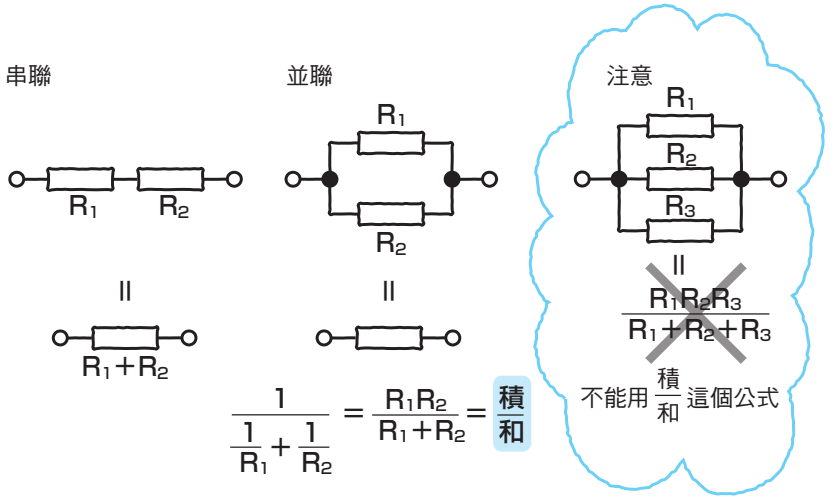
計算串聯電阻時，只要把各個電阻的數值加起來就OK了。計算並聯電阻時，則需要將各個電阻的倒數加總，再取其和之倒數就是答案了。如果是2個電阻並聯，可以用所謂的**和分之積**公式，設分母為兩電阻之和，分子為兩電阻之積，就能輕鬆計算出並聯後的電阻。要注意的是，這個公式不能用來計算3個以上電阻並連的情況。

歐姆定律

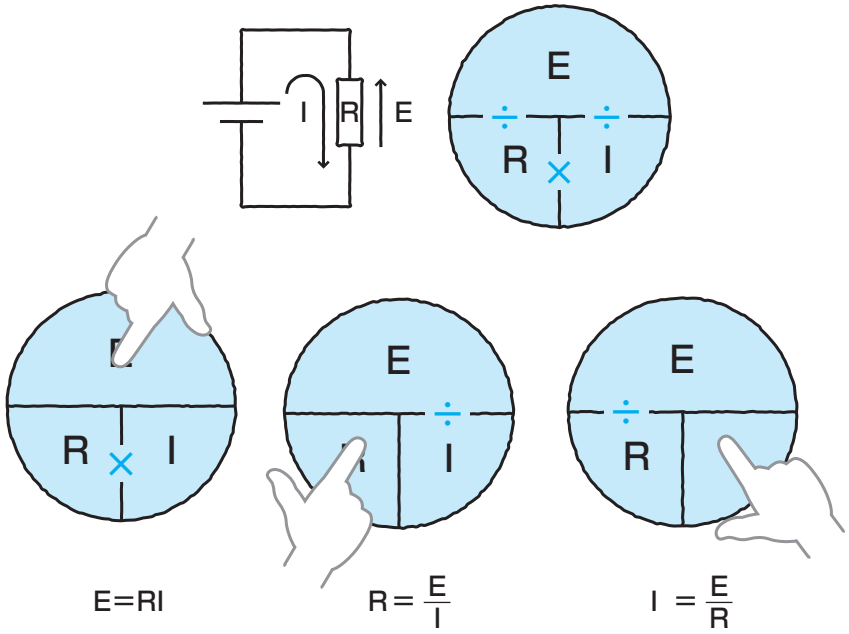
歐姆定律是描述電壓（E）、電流（I）、電阻（R）三者關係的定律。應該有不少人會用右頁圖的方式來記憶這個定律吧。右頁電路圖中，電壓與電流的箭頭方向相當重要。從電源＋端畫出的箭頭表示電流，反方向的箭頭則表示電壓。如果亂畫這些箭頭的話，之後會很麻煩喔。

這裡請您先好好記住箭頭的方向。只要知道電壓、電流、電阻三者中的兩者，就可以用歐姆定律計算出第3個的數值。

電阻的串並聯計算



歐姆定律



1-4 自由計算電路中各種數值的重要工具
…克希荷夫定律

Point

克希荷夫定律曾是許多人的夢魘，但只要弄懂它，就能解決許多問題！打好基礎後，計算任何電路問題都不是難事。

讓我們一起跨越這個巨大障礙吧。

克希荷夫定律是什麼

克希荷夫定律與困擾了許多國中生的歐姆定律，常被並列為難以理解的定律。不過，事實上克希荷夫定律一點都不難，它只是個「重複使用歐姆定律」的定律而已。請善用這2個定律，熟悉相關分析方法。

第一定律（電流定律）

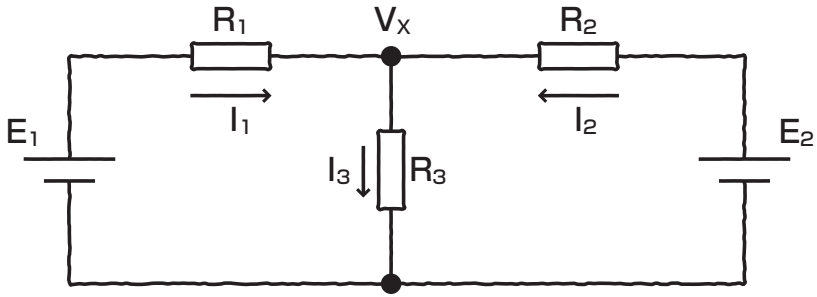
簡單來說，**電流定律**就是「對於電路上任一**節點***而言，流入電流總和為零」。換言之，也可以說「流入節點的電流總和，等於流出節點的電流總和」。看電路圖時，請留意電壓與電流的方向。這種用電流定律分析特定節點（這裡是V_x）情況的方法被稱為**節點電壓法**。

第二定律（電壓定律）

簡單來說，**電壓定律**就是「一個迴路提供的電壓，與流經迴路中所有元件之電流所消耗的電壓相等」。參考右頁的附圖，設迴路的電流為I_1、I_2（被稱為**網目電流**），便可由公式算出答案。這種設定網目電流，再用電壓定律計算的方法，被稱為**網目電流法**。

*節點　電路中線路與線路的交叉處。

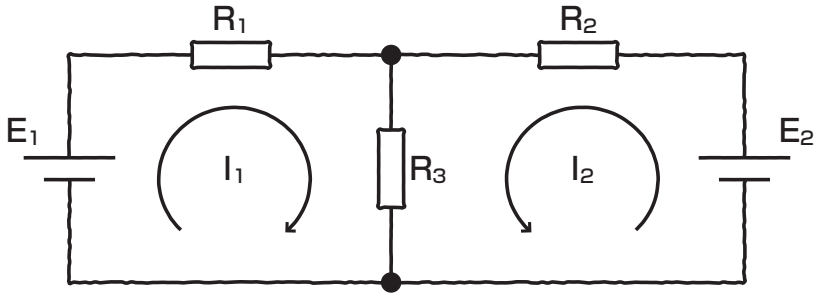
克希荷夫第一定律（電流定律）



$$\frac{E_1-V_X}{R_1}+\frac{E_2-V_X}{R_2}=\frac{V_X-0}{R_3}$$

$$I_1 + I_2 = I_3$$

克希荷夫第二定律（電壓定律）



$$\begin{cases} E_1=(R_1+R_3)I_1+R_3I_2 \\ E_2=R_3I_1+(R_2+R_3)I_2 \end{cases}$$