

实用电工計算法

[美] E. P. 安特生著

謝 處 方 合 譯
陳 貽 桂 合

科 技 生 命 版 社

內 容 提 要

本書內容分为二大部分，第一部分为直流电，第二部分为交流电。直流电自最基本的电学單位开始，包括电路中各种基本定义及其重要定律、电工量度方法、直流电輸送問題、磁場概念、直流发电机及电机之簡單原理等。交流电亦自基本定义开始，包括各种交流电路的計算方法、复数及向量的运用、三相功率的測量、交流电的輸送問題、变压器的簡單原理等。最后并附入无线电路計算示范。全書共二十五章，除最后一章为各种重要公式及应用表格外，其余二十四章在每章开始，均先作一般性的簡單介紹，然后逐一举例，以示計算方法，适合于工厂中一般中等技术人員、技术学校學生、及大專學校非电机系學生參考之用。

实 用 电 工 計 算 法

ELECTRICAL POWERS CALCULATIONS WITH DIAGRAMS

原 著 者 (美) E. P. Anderson

原 出 版 年 1951 年 版

譯 者 謝 处 方 陈 貽 桂

科 技 卫 生 出 版 社 出 版

(上海南京西路2004号)

上海市書刊出版業營業許可証出093号

上海土山灣印刷厂印刷 新华書店上海发行所总經銷

*

統一書号：15 · 187

(原大东、科技版共印 18,020 册)

开本 787×1092 耗 1/27 · 印張 12 4/9 · 字數 250,000

1958 年 11 月 第 1 版

1958 年 11 月 第 1 次 印刷 · 印數 1—5,000

定 价：(10) 1.70 元

目 錄

第一編 直 流 電

第 一 章	電工學單位及歐姆定律	1
第 二 章	並聯電路	7
第 三 章	電池組之電路	14
第 四 章	電池組之電動勢及克希荷夫定律	21
第 五 章	面積之單位及電阻	29
第 六 章	電阻之溫度係數	38
第 七 章	功率、能量及熱工單位	41
第 八 章	直流電之測量	50
第 九 章	直流電輸送線之計算	81
第 十 章	磁路	104
第 十 一 章	直流電機	119

第二編 交 流 電

第 十 二 章	交流電之基本性質	166
第 十 三 章	容電器	179
第 十 四 章	交流電路之功率	185
第 十 五 章	電阻與電感之串聯	190
第 十 六 章	電阻與電容之串聯	198

第十七章	電阻電感與電容之串聯	205
第十八章	並聯電路之計算	214
第十九章	用復數計算交流電路	227
第二十章	功率之測量	243
第二十一章	功率因數之矯正	250
第二十二章	交流電輸送線	259
第二十三章	變壓器	271
第二十四章	無線電電路計算	296
第二十五章	附表及常用數據	316

第一章

電工學單位及歐姆定律

單位 電工學內所用的單位是用公制做基礎的。所謂公制就是在歐洲大陸上所採用的單位制度。

公制內所採用的單位為米、克、秒。一米等於在巴黎附近由國際標準局所保存的一支標準金屬尺的長度。

體積的單位(呎)與質量的單位(克)可由長度單位引導出來。這三個單位——米、呎與克——之間的關係頗為簡單，即一立方分米等於一呎，而一呎的水重是一公斤。

一米等於 39.37 吋或 3.281 呎。

本書並不預備討論電及磁的單位在歷史上的發展經過，而僅要說明所謂國際電學單位。國際電學單位以四個基本單位做基礎，即歐姆、安培、厘米及秒。其中第一個是電阻的單位，它是根據一定尺寸的某一種質地非常純粹的導體的電阻而規定的。安培是電流的單位，它是由電流的化學作用在一定時間內電流在某種溶液內所析出的銀量而規定的。其他的電學單位是按照電的科學推論引導出來的。

現在將像這樣規定的某些單位的定義列舉如下。這些單位是國際科學會議所採用的標準單位，也是電工方面普遍應用的單位：

一歐姆 = 長 106.30 厘米，斷面積均勻的一平方毫米的水銀柱（在冰點時）的電阻。

一安培 = 在符合一定規定的硝酸銀水溶液內每秒鐘能析出 0.001118 克銀量的電流。

一伏特 = 穩定地加在電阻為一歐姆的導體上能產生一安培電流的電動勢。

一庫倫 = 一安培的電流在一秒鐘內所移送的電量。

一法拉 = 用一伏特的電位差，使容電器上具有一庫倫的電荷之容電器的容量。

一亨利 = 當電路內電流以每秒鐘一安培的速率改變，在此電路內被感應生一伏特的電動勢時，此電路之電感量稱為一亨利。

一瓦 = 一安培的電流通過一歐姆的電阻所消耗的功率。

一焦耳 = 一安培的電流通過一歐姆的電阻，在一秒鐘內所消耗的能量。

瓦與焦耳並不能算是電工學的基本單位，但討論電工上的單位中需要對這兩個單位有明確的認識，因為從事電工工作時，功率的需要和能量的消耗是最最重要的問題。

馬力在額定電機的容量時，有時用來當作功率的單位，一馬力等於 746 瓦。

一克卡是將一克的水升高攝氏溫度一度所需的熱量，一克卡約等於 4.18 焦耳。

除了庫倫外，另外一種電量的單位是安培小時，它是一安培的電流在一小時內所移送的電量，故一安培小時等於 3,600 庫倫。

電容的單位是微法拉 = 10^{-6} 法拉（一法拉的百萬分之一），與微微法拉 = 10^{-12} 法拉（一微法拉的百萬分之一）。這是因為用法拉作單位在實用上嫌太大的緣故。另外一種單位有時也用到的就是 C. G. S. 靜電容單位，以厘米表示電容量的單位，一厘米的電容量大約等於 1.11

微微法拉。

通常電感量所用的單位是微亨利 = 10^{-3} 亨利 (一亨利的千分之一) 與 微微亨利 = 10^{-6} 亨利 (一亨利的百萬分之一)。另外一種單位有時也用到的就是以厘米做電感量的單位，一厘米的電感量大約等於千分之一的微亨利。

歐姆定律 當電流在電路內流過時，電流的大小是由電路內的電動勢及電路的電阻來決定的。電阻的大小視所用導體的性質、導體的橫斷面積與長度而不同。

電流 (I)，電動勢 (E)，電阻 (R) 之間的關係，可用歐姆定律來表示，它可寫成：

$$I = \frac{E}{R} \quad (1)$$

或 $E = IR \quad (2)$

和 $R = \frac{E}{I} \quad (3)$

式中 I = 電流 (單位用安培)

E = 電動勢 (單位用伏特)

R = 電阻 (單位用歐姆)

例題 1.1 之電路內有 5 歐姆的電阻，設跨接在電阻兩端的電壓表的讀數是 10 伏特，問通過電阻的電流是多少？

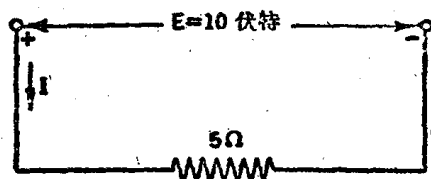


圖 1.1 當電壓及電阻已知時，電路內之電流即可決定。

解 由歐姆定律，電流為：

$$I = \frac{E}{R} = \frac{10}{5} = 2 \text{ 安培}$$

例題 設圖 1.2 的電阻是 25 歐姆，若通過它的電流是 4 安培，問需在電阻兩端接若干電壓？

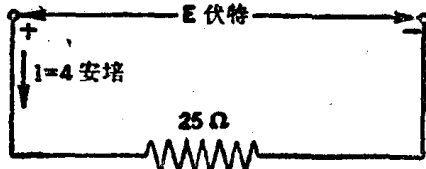


圖 1.2 當電流及電阻已知時，電路內所需之電壓即可決定。

解 由歐姆定律，電壓為：

$$E = IR = 4 \times 25 = 100 \text{ 伏特}$$

例題 如圖 1.3，試計算在 40 伏特電路內欲獲得 5 安培電流時應有之電阻為若干？

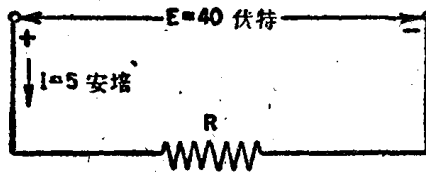


圖 1.3 當電流及電壓已知時，電路之電阻即可決定。

解 由歐姆定律，電阻為：

$$R = \frac{E}{I} = \frac{40}{8} = 8 \text{ 歐姆}$$

串聯電路 所謂串聯電路是將若干電阻首尾聯接而得的電路（即一端與另一端相接）。如圖 1.4 所示，顯然的，因為電路內並無分路，故在每一電阻內的電流均相同。全部電路的電壓降等於各個電阻上的電壓降之和，即：

$$E_1 = IR_1$$

$$E_2 = IR_2 \quad (4)$$

$$E_3 = IR_3$$

因爲 $E = E_1 + E_2 + E_3 \quad (5)$

又 $R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (6)$

故電路的總電壓方程式是：

$$E = IR_1 + IR_2 + IR_3 = I(R_1 + R_2 + R_3) \quad (7)$$

而電流是 $I = \frac{E}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{E}{R} \quad (8)$

例題 設圖 1.4 內各電阻為 5, 10 及 15 歐姆，欲使電路內有 0.5 安培的電流流過，問電池組的電壓需要若干？

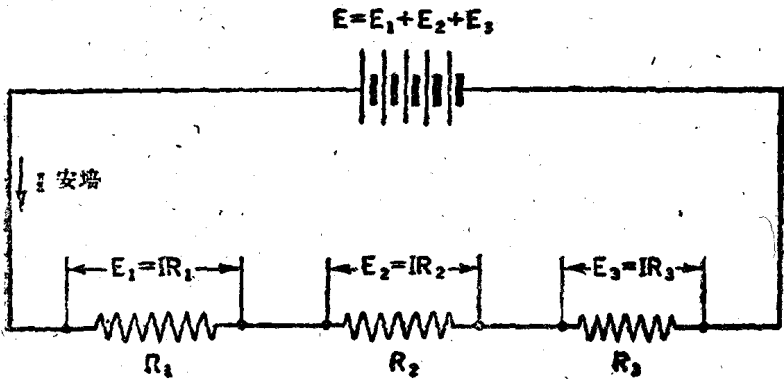


圖 1.4 電阻的串聯

解 總電阻

$$R = 5 + 10 + 15 = 30 \text{ 歐姆}$$

因此總電壓是：

$$E = 0.5 \times 30 = 15 \text{ 伏特}$$

我們可以計算出跨越在每個電阻上的電壓降來驗算以上所得的結果，即：

$$E_1 = 0.5 \times 5 = 2.5 \text{ 伏特}$$

$$E_2 = 0.5 \times 10 = 5.0 \text{ 伏特}$$

$$E_3 = 0.5 \times 15 = 7.5 \text{ 伏特}$$

而 $E = E_1 + E_2 + E_3 = 15$ 伏特，結果同前。

例題 爲了要決定一直流電源的電壓，可將三個各爲 10、15 與 30 歐姆的電阻串聯後，並接到此電源的兩端。設電路內的電流是 2 安培，問電源的電壓是多少？

$$\text{解 } E = I(R_1 + R_2 + R_3) = 2(10 + 15 + 30) = 2 \times 55 = 110 \text{ 伏特。}$$

例題 茲欲利用一 550 伏特的直流電源供給在隧道內照明用的安全燈。假使現在祇有 3 隻 110 伏特 50 瓦的燈泡，問電路應如何接法？

解 每隻燈泡燃熱時的電阻是：

$$R = \frac{E^2}{W} = \frac{110^2}{50} = 242 \text{ 歐姆}$$

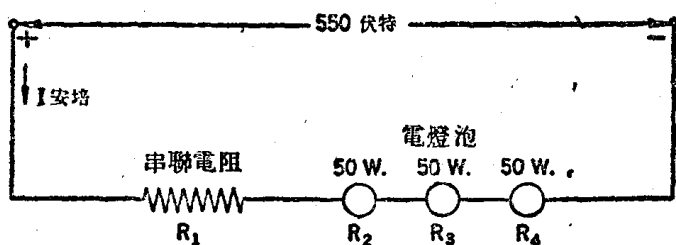


圖 1.5 裝接串聯電阻的 550 伏特電燈電路。

因爲每隻燈泡有 242 歐姆，三隻燈泡串聯後祇能接上 $3 \times 110 = 330$ 伏特的電壓，故與此三隻串聯燈泡相串聯的電阻應有：

$$R_1 = 2 \times 242 = 484 \text{ 歐姆}$$

電路的總電阻是：

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 5 \times 242 = 1,210 \text{ 歐姆}$$

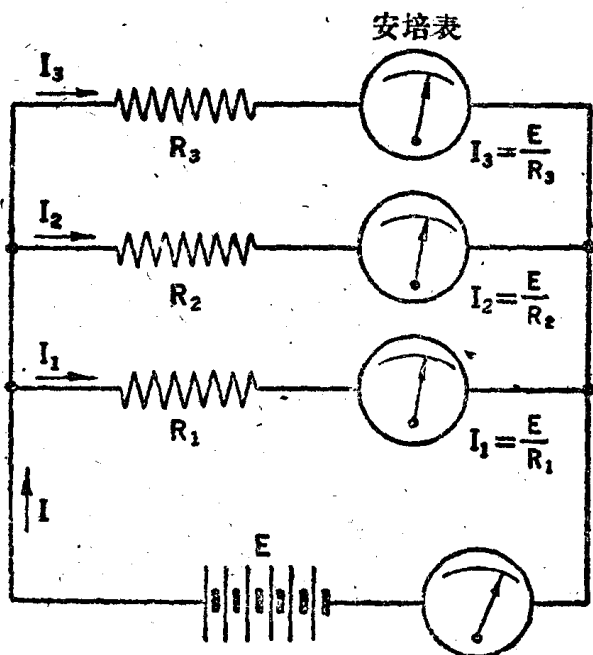
總電流是：

$$I = \frac{E}{R} = \frac{550}{1,210} = 0.454 \text{ 安培}$$

第二章

並聯電路

在并聯(有時稱為分流)電路裏,如圖 2.1 所示,每個電阻上的電壓均相同。每個電阻內流過的電流大小與電阻成反比,但各電流之和該等于由電池組 E 流出的總電流。因此



$$I = I_1 + I_2 + I_3 = E \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

圖 2.1 電阻的並聯

$$E = I_1 R_1 = I_2 R_2 = I_3 R_3$$

及

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

若將歐姆定律應用到個別的電阻上去，則得到：

$$I_1 = \frac{E}{R_1}; \quad I_2 = \frac{E}{R_2}; \quad \text{及} \quad I_3 = \frac{E}{R_3}。$$

故

$$I = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2} + \frac{E}{R_3}。$$

或

$$I = E \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

因為 $I = \frac{E}{R}$ ，故幾個電阻並聯後的等值電阻 R 的倒數是：

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (1)$$

因此，我們得到一個結論：任何多個電阻互相並聯後可以用一等值電阻來代替，這個等值電阻的大小等於各個電阻的倒數和的倒數〔參見公式(1)〕。

$1/R$ 這個值稱為電路的電導，它的單位是姆歐，常用 g 或 G 來表示電導。

電導可寫成：

$$g = \frac{1}{R} \quad (2)$$

當祇有兩個電阻互相並聯時，則：

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (3)$$

像圖 2.1 的情形，若有三個電阻互相並聯，則：

$$R = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1} \quad (4)$$

此電路的電導是：

$$g = \frac{1}{R} = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_1 R_2 R_3} \quad (5)$$

例題 圖 2.2 電路的等值電阻是多少？

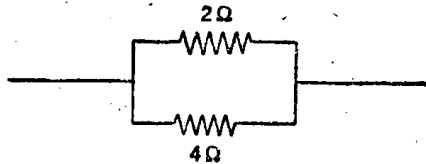


圖 2.2 兩個電阻的並聯

解 由公式(3)可得：

$$R = \frac{2 \times 4}{2 + 4} = \frac{8}{6} = 1\frac{1}{3} \text{ 歐姆。}$$

例題 計算圖 2.3 電路的等值電阻，設三個分路的電阻各為 2, 3 及 4 歐姆。

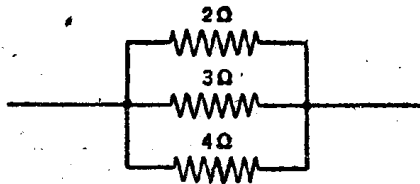


圖 2.3 互相並聯的三個電阻

解

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} = 0.5 + 0.333 + 0.25 = 1.083 \text{ 姆歐}$$

$$R = \frac{1}{1.083} = 0.923 \text{ 歐姆}$$

例題 一根 2 歐姆電阻與三個互相並聯的電阻線串聯，這三個電阻各為 4, 5 與 20 歐姆。試計算此電路的等值電阻。

解 並聯部份的電導是：

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{20} = 0.25 + 0.20 + 0.05 = 0.5 \text{ 姆歐}$$

$$R = \frac{1}{0.5} = 2 \text{ 歐姆 (並聯部分的等值電阻)}$$

因為現在電路已被變換成兩個 2 歐姆的電阻相串聯，故電路的等值電阻是 $2 + 2 = 4$ 歐姆。

例題 有兩根導線各為 2 與 6 歐姆互相並聯成一組電路，再將此電路與另一組電路相串聯，設另一組電路是由各為 1、3 與 6 歐姆的導線並聯而成的。又設將此兩組電路串聯起來的導線具有電阻 1.5 歐姆，試計算全部電路的等值電阻是多少？

解 用 R_1 代替 2 與 6 歐姆的並聯電阻

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} = 0.5 + 0.167 = 0.667 \text{ 姆歐}$$

$$\text{故 } R_1 = 1.5 \text{ 歐姆}$$

用 R_2 代替由三個電阻並聯組成的一組電阻

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{1} + \frac{1}{3} + \frac{1}{6} = 1.000 + 0.333 + 0.167 = 1.5 \text{ 姆歐}$$

$$R_2 = \frac{1}{1.5} = 0.667 \text{ 歐姆}$$

現在此電路已經變換成三個串聯的電阻。它們的值是 1.5、1.5 及 0.667 歐姆，故等值電阻是：

$$R_{\text{總}} = R + R_1 + R_2 = 1.5 + 1.5 + 0.667 = 3.667 \text{ 即 } 3 \frac{2}{3} \text{ 歐姆}$$

例題 求圖 2.4 到圖 2.7 各電路的等值電阻。

解 應用公式(3)，可得圖 2.4 的等值電阻如下：

$$R = 20 + \frac{150 \times 300}{150 + 300} = 20 + 100 = 120 \text{ 歐姆}$$

圖 2.5 的電路裏包含着兩個並聯電路，左邊一組電路的電導是：

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{100} + \frac{1}{200} + \frac{1}{300} = 0.01 + 0.005 + 0.00333$$

$$= 0.01833 \text{ 姆歐}$$

$$R = \frac{1}{0.01833} = 54.54 \text{ 歐姆}$$

右邊一組電路的電導是：

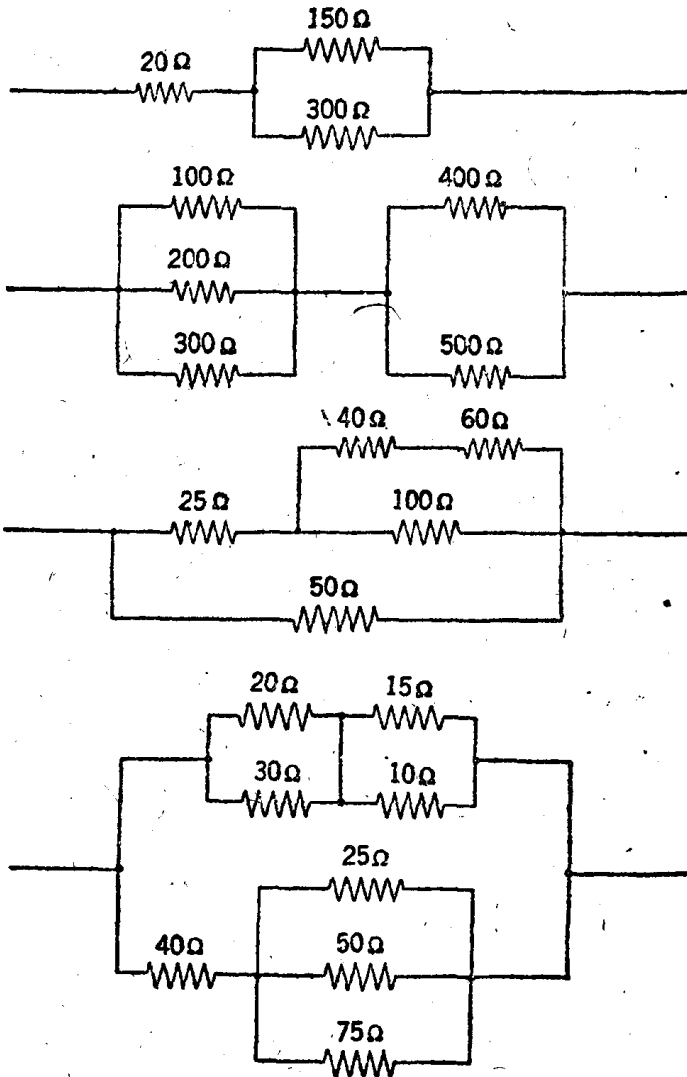


圖 2.4 到 圖 2.7 各種混聯和並聯的電阻

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{400} + \frac{1}{500} = 0.0025 + 0.002 = 0.0045 \text{ 姆歐}$$

$$R = \frac{1}{0.0045} = 222.22 \text{ 歐姆}$$

故圖 2.5 的總等值電阻是：

$$54.54 + 222.22 = 276.76 \text{ 歐姆}$$

圖 2.6 的等值電阻也可用同樣的步驟計算出來。第一步將右上角的三個電阻用一等值電阻來代替，然後再用普遍方法計算其餘的並聯部分。因此，可以寫出由 40、60 和 100 歐姆所組成的一部分電路的關係式：

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{40+60} + \frac{1}{100} = 0.02 \text{ 姆歐}$$

$$R = \frac{1}{0.02} = 50 \text{ 歐姆}$$

若將電路的其餘部分按已述的方法算出，即可求出全部電路的等值電阻是 30 歐姆。

用同樣方法，可算出圖 2.7 電路的等值電阻。先看上面一部分 20 與 30 歐姆的電路：

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{20} + \frac{1}{30} = 0.05 + 0.0333 = 0.0833 \text{ 姆歐}$$

$$R = \frac{1}{0.0833} = 12 \text{ 歐姆}$$

15 與 10 歐姆電路的等值電阻 R 是：

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{15} + \frac{1}{10} = 0.0667 + 0.1 = 0.1667 \text{ 姆歐}$$

$$R = \frac{1}{0.1667} = 6 \text{ 歐姆}$$

這兩個等值電阻是互相串聯的，現在可以將這兩個等值電阻加在

一起。其和為 $12+6=18$ 歐姆。

電路內的 $25-50-75$ 歐姆部分的等值電阻 R 是：

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{25} + \frac{1}{50} + \frac{1}{75} = 0.04 + 0.02 + 0.01333$$
$$= 0.07333 \text{ 姆歐}$$

$$R = \frac{1}{0.07333} = 13.64 \text{ 歐姆}$$

現在，此電路已經化簡為兩個枝路組成的並聯電路。上部的電阻是 18 歐姆，下部是 $40+13.64=53.64$ 歐姆，我們最後得到：

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{18} + \frac{1}{53.64} = 0.0555 + 0.0187 = 0.0742 \text{ 姆歐}$$

$$R = \frac{1}{0.0742} = 13.48 \text{ 歐姆}$$

此數即為全部電路的等值電阻。