應用無線電叢書

線電應用數學

第一輯

直流電路

姚肇亭
金福田 編著者

曹仲淵 校閱者

應用無線電社出版

目　錄

(3) 電路之計算

(4) 計算實例

應用無線電叢書

無線電應用數學

直流電路

(1) 電之單位及歐姆定律

(1-1) 電單位之需要

電壓有高低之差，電流有強弱之分，電阻亦有大小之異。吾人如欲表明其差別，必須定以單位，始可有所較量。

電之爲物，雖不可以目視，又不可以耳聞，然能就其效用，應用間接之方法以測量之，則亦可得其大小與多寡之差別也。

電單位在科學原理上之基本制有二：一爲靜電制，(Electrostatic System)，一爲 c. g. s. 電磁制 (c. g. s. electromagnetic system) 亦曰絕對制 (Absolute system)。

此外尙有"國際單位"或"法定單位"，由各國政府協同以法律制定之。(例如"安培"與"歐姆"二單位之定義，在法律上逕以計量法規制定之，而電壓之單位再根據歐姆定律而求得)。

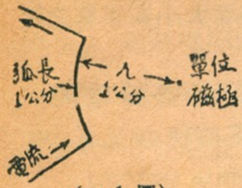
(1-2) 電單位之靜電制

靜電單位，係根據靜電之庫倫定律而制定。所用各名詞，常冠以 "Stat" 字樣，例如 "Statvolt" (靜電伏)及 "Statfarad" (靜電法拉)等。靜電制之單位，常用於測算容電器在幾何形上之電容，此外對於靜電現象之測算，亦多用之。

(1-3) 電單位之絕對制

絕對制之電單位，係根據磁力之庫倫定律而制定。例如電流之單位，可應用伯氏薩氏定律 (Biot - Savart law) (按 Biot, Jean Baptiste (1772-1862) 氏爲法國物理學家。Savart, Felix(1791-1841)爲法國著名醫師及物理學家)。而求得。此定律卽根據磁力之庫倫定律，測量一導線上之電流，對於一單位磁極所施之作用力也。

按電流絕對單位之制定，係假定一導線，彎成1公分長之圓弧，其半徑爲1公分，以電流通過此弧形導線，設所生電磁力對於在弧心之單位磁極之作用力爲1達因時，則所通電流之強度爲1個絕對制之電流單位，稱曰阿勃安培(Absolute ampere)。參閱第1圖，圖中所示通電圓弧所用之接線，係與圓弧之切線垂直，故接線上之電流對於單位磁極無作用力。



(第1圖)

至於其餘電之單位，卽可由此電流推求而得，例如電量Q爲電流與時間之乘積，故電量之絕對單位卽可由絕對電流而求得，餘類推。

絕對單位所用各名詞，常冠以"ab"或"abs"字樣，例如: "abvolt"(阿勃伏)，及"abampere"(阿勃安培)等。絕對單位在電磁力之計算上，多用之。而實用上之電單位，亦卽根據絕對單位而制定也。

(1-4) 電單位之實用制

西歷1935年，國際電工委員於"Scheveningen-Brussels"出席全體大會，一致通過電單位採用MKS制(Meter-Kilogram-Second System)。此種制度與現時實用上所採用者大體相同，其界說係根據公尺，公斤，秒而推算。蓋因絕對單位大部份較實用數量相差過甚，例如1阿勃伏僅爲實用伏之$\frac{1}{100,000,000}$(=10^{-8})倍，是以必須另訂較爲實用之單位。惟實用單位係根據絕對單位而制定，故實際二者僅在數量比率上之差別而已。例如：實用電流單位1安培爲阿勃安培之$\frac{1}{10}$

$(=10^{-1})$；實用電阻單位1歐姆爲阿勃歐姆之1,000,000.000即10^9倍；又實用電感單位1亨利爲阿勃亨利之100,000,000即10^9倍等。

設吾人欲應用第1圖之方法以制定實用電流之單位，在事實上當極困難。故須另由實用方法以制定之，惟在數量上須與原理上之界說相符合。玆述之如后：

（1-5）電量之實用單位

庫侖爲電量之實用單位，其實用制定法如次：在硝酸銀之溶液內（硝酸銀占全重百分之十五，水占全重百分之八十五），浸以銀片及鉑片各一，如由銀片通以電流，經溶液而至鉑片，則銀片將減少重量而鉑片則增高重量。由實驗所得：知減少與增高之重量適相等，蓋銀片所失之銀乃堆積於鉑片上，而此堆積之銀即屬流經溶液之電量。公認 .001118 克之積銀，爲法定電量之單位，名曰“庫侖”(Coulomb)（Coulomb 取名於法國哲學及物理學家 Charles A. Coulomb 氏，1736－1806年）。如積銀爲 .00559 克，則流經溶液之電量爲 $.00559 \div .001118 = 5$庫侖。

由是可知：所謂通電若干庫侖者，係指通電之總量，對於時間。並無關係。故庫侖多應用以表示靜電電量之多寡；如言某容電器所儲電量爲若干庫侖云云。猶之以器盛水，其量爲若干加侖，同一情理。

（1-6）電流之實用單位

在動電學上，多根據通電之强度而計算，即根據每秒內所能通過之電量爲標準。蓋所有電流之效果，須視通電之强度而定，譬如有10庫侖之電量，於一小時內通過一導體，必發生某溫度之熱效。設使此同等之電量，於一秒鐘內通過此導體，則所發生之熱效，必不相同。蓋後者之溫度，必較前

者爲高。是以在動電上，若根據通電之強度爲標準，自較有意義而重要。

安培爲電流之實用單位，卽表示通電强度之實用單位。爲一不變之電流，通過硝酸銀之水溶液時，能於每秒鐘內澱積0.001118克之銀。安培取名之意，所以紀念法國大科學家安培氏(Andre Marie Ampere 1775-1836)也。安培常以amp或a爲表記或簡稱“安”設以Q代表電量，單位爲庫侖；t代表時間，單位爲秒；以I代表電流，單位爲安培，則三者之關係如下式：

$$I=\frac{Q}{t}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

由上式，可知1安培之法定，卽在每秒內能積銀.001118克之電流也。阿勃安培與安培之關係如下：

$$1\text{安}=\frac{1}{10}\text{阿勃安}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

按1庫侖之電量，等於6.28×10^{18}個電子，故一安之電流，等於每秒所通電子有6.28×10^{18}個。日常所用各種電器，如電炬，電熨斗，電火爐及電動機等，所需電流，約自數安至數千安。又有數種電氣用具，其所需電流，祇爲千分之若干安，在無線電電路上，更有小至兆分之若干安者，故爲實用上之便利起見，又定有較小値之單位名詞，如毫安(Milliampere) 及微安(Microampere)。1毫安等於$\frac{1}{1000}$安，卽.001安；1微安等於$\frac{1}{1000,000}$安，卽.000001安。

測量電流之儀器統稱曰電流表，或曰電流計，其能指示安培値者曰安培計(Ammeter)；其能指示毫安値者曰毫安計(Milli-ammeter)；至於能指示更微弱之電流者，曰微安計(micro-ammeter)。

(1-7) 電動勢之實用單位

電動勢(Electro-motive-force)之實用單位爲"伏特"或簡稱伏(volt)，此因意大利物理學家伏特氏(Volta 1745-1827)於1800年，在盤非亞大學(University of Pavia)首次測量感體電位，故以此名之。通常以E或e代表電動勢，而以V代表電壓，（查電動勢之因次與電壓同，在實用上，亦如電壓以伏特量之，但電動勢E與電壓V之意義應嚴加區別。在一般初級書籍內，對於電動勢及電壓，大率混用，惟希學者在學理上仍須認清之）。1伏特之法定。係等於Weston電瓶在正常狀態下所生電動勢之$\frac{1}{1.01830}$倍。即爲一電動勢，能在一電阻爲1歐姆之導體內產生一電流，其强度爲1安培。

每一乾電瓶之電動勢，約爲1.5伏；每一普通蓄電瓶之電動勢，約爲2伏；家用電燈電源之電動勢，約爲110伏，或爲220伏；無線電收音眞空管之絲極電源電勢，可自1.5至數十伏，板路電勢，可自數十至數百伏。至於無線電收發機件內各部之電動勢，有高至數千伏以上，亦有低至數千分之一伏以下。

電動勢(或電壓 Voltage)之大小，其階段旣極廣大，故爲應用及稱謂上之便利，又定有各級單位：如千伏(Kilovolt)，爲伏特之一千倍(1千伏＝1000伏)；如毫伏(millivolt)，爲一千分之一伏(1毫伏＝$\frac{1}{1,000}$伏)；又如微伏(microvolt)，爲兆分之一伏(1微伏＝$\frac{1}{1,000,000}$伏)。

在C. G. S. 絕對單位制內，通常以E_{ab}或e爲電動勢，其單位爲阿勃伏特。其與實用單位伏特値之關係如下：

$$1\text{伏特}=10^8\text{阿勃伏特} \quad\cdots\cdots(3)$$

測量電動勢之儀器，曰電壓表或曰電壓計，能直接指示

電動勢之數值。其能指示伏特數者，可逕稱曰伏特表（Voltmeter）；其能指示毫伏數者，則逕稱曰毫伏表（millivoltmeter）；其能指示微伏者，則稱曰微伏表(micro-voltmeter)。（其構造詳拙篇無線電測量術一書）。

（1-8）電阻之實用單位（Resistance）

電阻之實用單位曰歐姆(Ohm)；係紀念德國數學家歐姆(George Simon Ohm 1787-1854)氏而採用。凡導體兩端所施之電壓值，與所經電流值之比率，等於1時，則此物體所呈之電阻爲1歐姆。例如在某物體兩端施以1伏之電壓，所得電流爲1安，則此物體之電阻爲1歐姆。

法定1歐姆之電阻，係等於長106.3厘米，橫截面積1平方毫米，重14.4521克之水銀柱，在攝氏零度時之電阻。1881年巴黎會議，決定實用電阻單位1歐姆，等於10^9 C.G.S.電阻單位。以式表示如下：

$$1\text{歐姆} = 10^9\text{阿勃歐姆} \qquad (4)$$

無線電機電路內之電阻，其阻值有小至百萬分之數歐姆者，亦有高至數千萬歐姆者，故在實用上，又定有較小與較大之單位，以便應用。較小之單位，如"微歐姆"(microhm)，等於$\frac{1}{1,000,000}$倍於1歐姆，較大之單位，如兆歐姆(megohm)，等於1,000 000倍於1歐姆。由上定義，可知 .0075歐姆，卽7500微歐姆（.0075 × 1,000,000 = 7500）；又8,500,000歐姆卽8.5兆歐姆(8,500,000 ÷ 1,000,000 = 8.5)。

電阻之意義，通常以字母R表示而以Ω代表歐姆二字，Ω卽希臘字Omega之簡寫，例如4歐姆，可寫作4Ω。亦有以"ω"代表歐姆二字，惟據美國電工學會所規定者，則以"ω"代表兆歐姆。本書爲避紛擾起見，概以"Ω"代表歐姆；而以"Meg Ω"代表兆歐姆。

測量電阻之儀器有多種，其能測量歐姆值者曰歐姆表(Ohmmeter)；其能測量高阻值，在兆歐姆以上者曰邁格表(megger)。

(1-9) 電導之實用單位 (Conductance)

電導之意義與電阻相反，其值卽爲電阻值之倒數，通常以G爲代表，其實用單位爲漠，卽將 ohm 倒寫爲 mho 之譯音。漠之記號爲"℧"以式表示之如下：

$$G=\frac{1}{R} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(5)$$

例如某導線之電阻爲20歐姆，其電導當爲：

$$G=\frac{1}{R}=\frac{1}{20}=0.05 \text{ 漠。}$$

電導之單位，在實用上除漠以外，又有微漠，Micromho，等於兆分之一漠$\left(\frac{1}{1000,000}\text{漠}\right)$。

(1-10) 歐姆定律

我人知以唧筒打水，在水管之內，所成水流強度係與唧筒之壓力成正比例，而與水管之阻力成反比例。至於導體內之電流，亦屬同一情形，蓋與所存在之電壓成正比例，而與導體之電阻成反比例。卽$I \propto V$及$I \propto \frac{1}{R}$，此種關係，首由歐姆氏於1827年宣佈，並經其將電阻單位配合適當，成一簡明之定律，是曰歐姆定律 (Ohm's Law)。其言曰**『任何一段電路內之電流值，必等於該段電路二端所存在之電壓值除以該電路內電阻值所得之商數』**。
以算式表示之如下：

$$I=\frac{V}{R} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$

或：

$$V = IR \quad \cdots\cdots (7)$$

或：

$$R = \frac{V}{I} \quad \cdots\cdots (8)$$

（當計及電動勢時，上列各式內之V應改為E）。

例題(1)：某眞空管燈絲之電阻為20歐姆，當兩端施以5伏之電動勢時，可有若干安之電流通過。

解：　$I = \frac{E}{R} = \frac{5}{20} = .25$安。

例題(2)：在某一揚聲器兩端之電壓為90伏，所通電流，由於毫安計之指示，知為30毫安，求此揚聲器之電阻値。

解：　$R = \frac{V}{I} = \frac{90}{.03} = 3000$歐姆。

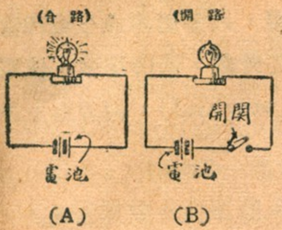
例題(3)：某眞空管之燈絲電阻為50歐姆，在正常工作時所需之絲流為.06安，試問應施以若干伏之電動勢方得此正確之電流。

解：　$E = IR = .06 \times 50 = 3$伏。

(2) 電路之結構

(2-1) 合路，開路，斷路

電流在導線或導體上之行程，概稱電路(Electric circuit)。在電路內任何一點，無不連續，而能使電流通行者，謂之合路（closed circuit or completed circuit）如第2圖(A)所示。在電路任何一點，有意使之間斷而不欲使電流通行者，謂之開路(Open circuit)，如圖(B)所示。在電路任何點，因故障而斷連者，曰斷路(Broken circuit)。



(第2圖)

吾人裝置電路時，有時欲其閉合，以通電流，有時欲其開斷，以絕電流，此種啓閉，常藉開關(Switch)或電鍵(Key)以司理之。開關之啓閉，有藉人力，有爲自動，其式類極多 而功用則一。惟電路之開合，有時因電路內自生障礙而使電流不能通行者，亦有因障礙而使電流意外通行者，則電路內必發生損害或其他不需要之作用，故設計電路時，必須預爲防止之，

(2-2) 內路，外路

在電源兩極內部之電路，曰內路(internal circuit)，所含電阻曰內電阻(Internal resistance)，普通以 R_i 代表之。在電源兩極以外之電路，曰外路(External circuit)；所含電阻曰外電阻(External resistance)，普通以R_e代表之。

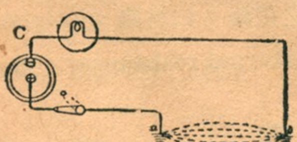
(2-3) 短　路

今設施於某電路之電壓爲常數，則此電路內之電阻愈小，電流愈大。若電路因某種原由而致電阻過小時，則通過之電流過大，發生危險，如燒毀各種電器用件，或釀成火災等患害，此種因電阻過小之電路，稱曰短路(Short circuit)，或曰近路。防止短路之危險，通常於電路內串接一段熔絲(Fuse)，倘電路接合後發生過限之電流，則此等熔絲，不待其他用件之被毀，已先行毀斷，立使電流停止，危險因以免除，故熔絲又名保險絲。

通常在電路或一電器用件之兩端，以金屬線或金屬棒直接通連時，曰短路。對於電源所負之荷載，過份增強，使電源不勝負荷而毀壞時，謂曰"過荷"（overload），但習俗上亦稱"短路"。

（2-4）導線電路，通地電路

如圖2之電路，其接連於電源內外電路間者，皆爲導線，此種電路，可稱曰導線電路（Metallic Circuit）。除導線電路之外，又有所謂通地電路者（Grounded circuit），卽在電路之某一點，以導線通連至地；或在電路之某一部份，係利用大地以完成電流之行程者，如圖3所示之情形。圖中 a 與 b 表示通地處，a b 間之虛線表示 a b 間之大地，爲電路之一部份，電流可由此一通地接線端而達彼一通地接線端。通地電路於實際應用上甚普遍，蓋大地實爲一極佳之導電體也。



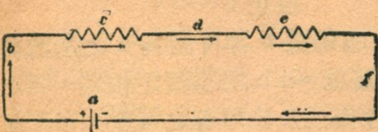
（第 3 圖）

（2-5）通地之意義

"通地"二字，通常又應用於並非實際通地之電路，例如汽車內蓄電池之一極，永接於金屬車身上，其另一極則用導線連接。此種接於車身上之方法，雖不實際與大地相連，但通常謂之通地（Grounded）。又在無線電工程上，電源之一極亦多接至金屬機架上，此法亦曰通地，蓋通常視金屬機架，猶之大地之能完成電路，有同一情形也。第3圖 a b 二端所繪平行長短線，卽爲通地之符號。

(2-6) 串連電路

凡諸導體或阻抗首尾啣接，而在此電路內有等值之電流，流經各導體或阻抗者，稱曰串連電路(Series circuit)。其接法曰串連接法(Series Connection)。例如圖 4 之合電路，包含電池 a，接線 b，電阻器 c，接線 d，電阻器 e，接線f，依次魚貫連接，自電池 a 正極出發之電流，必經所有接線與電阻，且必依圖中矢向而循環繼續流動。在串連電路之任何一接點或導體本身，有斷連或破裂，即能停止電流之繼續流動。



(第 4 圖)

圖中之矢向係表示電流之行程及動向，由矢向所示，可見經過各電阻及各接線之電流，實爲同一電流，既爲同一電流，其強度當必相等。由是可知；在串連電路內，不論各點之阻值是否相等，而流經各點之電流則彼此相等。(惟各段電路內電流之速率不一定相等)。

註：一接綫法簡圖中常用下列符號：

┤├ 代表電池或他種常定之電流源。

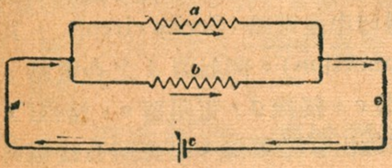
—~~~~- 代表導體有顯著之電阻者。

—— 代表導體，或表示導線接連，其電阻頗小，可以略去者。

(2-7) 並聯電路

凡諸導體或阻抗首與首相接，尾與尾相接，再分別接至電源極端之間，而在此電路內之電流，係分別流行於各導體或阻抗上，分於一公共接點而合於另一公共接點者，是稱並連電路 (Parallel circuit)。其接法曰並聯接法 (Parallel connection)。

第5圖爲一雙枝之並聯電路，全部電流由電池c出發，經導線d而分爲二部，一部流經導體a，另一部流經導體b，再行合併流經導線e而回至電池c再經電源內路而自正極流出，如此循環流行，直至電動勢失去而後止。



（第5圖）

導體a可謂爲b之岔流器，而導體b亦可謂爲a之岔流器，因a與b實互爲電流之岔路也。a b二導體之相接，謂之並聯，並聯之應用極廣，家用商用及公用等之電燈，常用並聯接法，而無線電收音機所用眞空管之燈絲，亦有用並聯法。若並聯電路內之任一導體毀壞，或其接線斷去，不致停止其他導體上之電流。

在並聯電路內，電流旣分道而行，其通行情形，須視各岔路所含電阻之大小而定，各岔路所含電阻旣不一律，則通行各岔路上之電流，其強度當亦不一律。由是可知：在並聯電路內，各岔路上之電流不一定相等，至於在總線上之電流，當爲各岔流之和。

（2-8） 串並聯電路

以串連接法及並聯接法混合於同一電路內者，曰串並聯電路。計算串並聯電路之總阻，可先將電路分析爲各段串連及並聯電路，而後計算之。其法見後。

（2-9） 網路

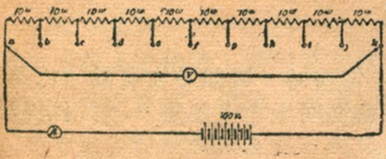
凡電路之結構，極爲複雜者，稱曰網路（Network）。網路內之導線，縱橫交錯，聯絡無常；其電流有如經脈之紛紜，分合不定。可藉克希荷夫定律及其他方法計算之。

(3) 電路之計算

(3-1) 電壓降

電流之流經電阻，電壓必逐步降落，是猶水流之流經水管，水壓亦必逐步降落。電壓之降落稱曰電壓降(Voltage drop)，或曰電位降(Fall of potential)，亦稱電勢降。

例如以100伏之電動勢施於一電阻體之兩端，使產生某強度之電流，則知此100伏之電動勢，自必全部存在於此電阻之二端間，換言之，卽有100伏之電壓，降落於此電阻電路之全部份。然電壓降不獨發生於電路之全部，而在電路之任何兩點間亦有之。今以第6圖解釋之，圖中之電阻分作十段(亦可視爲十個獨立電阻體所串連而成者)，每段有 10 歐姆之電阻，總共100歐姆。V爲電壓表，不論將其跨接於任何兩點或任何一段電阻上，均能指示相當之電壓降。例如接於ab二點，則電壓降爲10伏；接於ac二點，則爲20伏；接於ak二點，則爲100伏。(註：所用電壓表之內阻須極高，方可準確)。



(第 6 圖)

電壓降旣爲電流流經電阻時所產生，而由圖又可見各段電壓降，適爲各段電阻與所通電流之乘積，故電壓降亦稱曰IR之電壓降(IR drop)。

例題：　第6圖之總電阻爲100歐姆，所施電動勢爲 100 伏，求電路內之電流。求ab及af二點間之電壓降。

解：　由歐姆定律，可知此電路內之電流爲：

$$I=\frac{E}{R}=\frac{100}{100}=1\text{安。}$$

在串連電路內，各段上之電流均相等，於是在 a b 二點間之電壓降爲：

$$V_{ab}=IR_{ab}=1\times10=10\text{伏},$$

又在 af 二點間之電壓降爲：

$$V_{af}=IR_{af}=1\times50=50\text{伏}。$$

依此類推，可應用歐姆定律而算知任何二點之電壓降。

電壓降在電路上，有時視爲極有損害之因素。蓋欲維持電路內之相當電流值，須使所施電動勢特別增高，以補足導線間之電壓降，致使設施困難。惟電壓降亦可加以利用，如燈絲電阻，內電阻，板電阻，分壓電阻以及電位器上之降壓等等，均爲利用電壓降之實例也。

(3-2) 電功

以相當之電動勢，施於一電燈時，燈卽發光發熱，光與熱既爲功能，則電流通過燈絲後所生之光與熱，實由電能(Electrical Energy)轉變而成。

以相當之電動勢，施於各種電動機時，機卽自動旋轉；電動機之旋轉既爲機械能，則電流通過電動機時所生之動能，亦實由電能轉變而成。

繩是以推，可知驅使電流，通過任何導體，均有電能之耗費，或化爲光能與熱能，或化爲磁能與機械能。一言以蔽之，由電能所轉變成之各種功能，均可視爲電所造成之功，稱曰電功(Electrical work)。換言之：電能卽電功。

電功既爲由電所作之功，當指通電全部時間而言。今若以E伏之電動勢，施於一電器用具上，設於某全部時間內所通之電量爲Q庫侖，則所得之電功，當爲：

$$W=QE \text{(焦耳} \cdots\cdots\cdots\cdots (9)$$

式中：W卽Work之縮寫，代表全部時間內所作之電功，單位爲焦耳(Joule)所以紀念英國物理學家 James Prescott Joule (1818-1889) 氏。功之絕對單位(卽 c.g.s. 制)爲歐格(erg)或達因厘米(dyne-centimeter)，一歐格之功，卽一物體抵抗一達因之力而行一厘米所需之功也。此種絕對單位在應用上常嫌太小，故另以焦耳爲功之實用單位，1焦耳等於10,000,000 (卽10^7) 歐格。

上式之結構，在力學上亦有同様之情理，例如用M磅之力，於某時間內提升一重物至H呎，則於此全部時間內所作之功亦爲：W＝MH 磅呎。

查電量Q爲電流I安與時間t秒之乘積(卽Q＝It)，故上式亦可寫爲：

$$W=EIt \cdots\cdots\cdots\cdots (10)$$

上式E與I之乘積，稱曰電功率(參閱下節)，其單位爲瓦特，故電功之單位，根據上式而言，亦曰瓦特秒(Watt-second)；換言之：1 瓦特秒等於 1 焦耳。

例題： 設有8歐姆電阻之電路，所通之電流爲3安，則在兩小時內所得之電功爲若干焦耳。

解： $W=EIt=I^2Rt=(3)^2\times 8\times(2\times 60\times 60)=9\times 8\times 7200=518{,}400$ 焦耳。

此外又有所謂瓦時者(Watt-hour)，卽表示某電路在若干小時內所耗電能或所作電功之單位。縮寫爲"W-hr"係瓦特與小時之乘積，故1瓦時，卽以1瓦特之電力，耗費至1小時久所需之電能也。例如某一電路，以2瓦特之電力，耗費至3小時之久，則其所作之功爲2×3 6瓦時，若以1瓦特之電力，耗費至6小時之久，則其所作之功，亦爲1×6＝6瓦時。

1 焦耳係 1 瓦特之電力在 1 秒內所作之電功，而 1 小時有 3,600 秒，故 1 瓦時之電功，實較1焦耳之電功大3600倍。

倘有仟瓦時者 (Kilowatthour)，縮寫爲 "Kw-hr"，係仟瓦與小時之乘積，卽根據仟瓦特之電力，在若干小時內所作電功之單位。故以 3 仟瓦特之電力，耗費於某一電路內至 4 小時之久，則所作之工爲 $3\times4=12$ 仟瓦時。因 1 仟瓦等於 1000 瓦特，故 1 仟瓦時較 1 焦耳大 $3600\times1000=3{,}600{,}000$ 倍。市電供給，卽根據仟瓦時以計算電費之多寡。習俗所稱 "火表" 者，卽直接測計仟瓦時之儀器。

(3-3) 電功率

在力學上，每單位時間內(卽每秒內)所作之功，曰功率 (Power)。於電學上，以電動勢驅使電量在每秒內所作之功，曰電功率，(Electrical Power) 亦曰電力，以 "P" 爲表記，其實用單位爲瓦特 (Watt) 或簡稱瓦，所以紀念蘇格蘭科學家JamesWatt(1736—1819)氏。電功率旣爲每秒內之電功，而焦耳爲電功之單位，故：焦耳 / 秒(Joules per second)當爲電功率之單位，卽 1 焦耳 / 秒等於 1 瓦特。依同樣情形，可知—10^7 歐格/秒亦等於 1 瓦特。

設以 E 伏之電動勢，施於某電路上，於 t 秒內所通電量計 Q 庫侖，則此電路在每秒內所有之電能卽電功率爲：

$$P=E\frac{Q}{t}\cdots\cdots\cdots\cdots(11)$$

式中 Q/t 爲每秒內之電量，卽電流I，故 11 式亦可列爲：

$$P=EI\cdots\cdots\cdots\cdots(12)$$

查 $E=IR$；而 $I=\frac{E}{R}$ 故 12 式又可列爲：

$$P=I^2R\cdots\cdots\cdots\cdots(13)$$

$$P=\frac{V^2}{R} \cdots\cdots\cdots\cdots(14)$$

上列最後之公式，適用於僅含電阻之荷載電路段，若電路內尙有電動勢·如電池或發動機等，則不適用。

例題(1)：設一30號眞空管，其燈絲電流規定爲 06 安，而燈絲電壓規定爲 2 伏，則此管燈絲所需之電力爲若干瓦。

解：　$P=EI=2\times.06=.12$ 瓦。

例題 2)：與眞空管燈絲串連之可變電阻，當其調節至絲流爲 0.06 安時，加入電路內之電阻爲 12 歐姆。求耗費於此段電阻上之電功率。

解：　$P=I^2\ R=(0.06)^2\times 12$

$=0.0432$瓦。

瓦特之爲單位，有時在實用上尙嫌太小，故又以 1 瓦特之1000倍，爲較大之單位，曰千瓦(Kilowatt)縮寫爲 Kw 。

力學上通用之功率單位爲馬力 Horsepower)，縮寫爲 hp，1 馬力與 746 瓦特之電功率相當，故瓦特數化爲馬力數時，亦有稱爲電氣馬力者 (Electrical Horsepower)。其關係可以下式表示之：

$$1\text{馬力}=746\text{瓦特}=0.746\text{千瓦}\cdots\cdots\cdots\cdots(15)$$

$$1\text{千瓦}=1000\text{瓦特}=1.34\text{馬力}\cdots\cdots\cdots\cdots(16)$$

例題：　某電動機所需電流爲28安，所需電壓爲 500 伏。效率爲89%，問此電動機能供給若干馬力。

解：　輸入電動機之電功率爲：

$P=EI\quad 550\times 28\quad 15{,}400$ 瓦特，

由電動機輸出之電功率爲：

$$P = 15{,}400 \times \frac{89}{100} = 13{,}700\text{瓦特},$$

此輸出電功率之相當馬力爲：

$$H.P. = \frac{P}{746} = \frac{13{,}700}{746} = 18.37\ \text{hp.}$$

電功與電功率，猶之汽車之行程與其速率爲截然二事，不可混淆。吾人出資用電，所購得者爲電功，非電功率也。故計算電費時，常云每千瓦時需費若干，若用每千瓦需費若干者，則誤矣。玆舉例說明之：

例題： 設電廠對電氣用戶依每千瓦時取費1萬元，今所收電費計2萬元，問有若干千瓦售出。

解： 此問題因未曾說明用電之時間。故爲一無意義之問題。若假定用電之時間爲1小時，則：

值價2萬元之電能 $= \frac{2}{1} = 2\text{Kw-hr}$，

在此情形下之電功率爲：

$$\frac{2\text{Kw-hr}}{1\ \text{hr}} = 2\ \text{Kw.};$$

若假定用電之時間爲 0.5 小時，則其電功率爲：

$$\frac{2\text{Kw-hr}}{0.5\ \text{hr}} = 4\ \text{Kw.},$$

又若假定用電之時間爲 0.001 小時，則其電功率爲：

$$\frac{2\text{Kw-hr}}{0.001\ \text{hr}} = 2{,}000\ \text{Kw.},$$

由是可知，電力公司收電費2萬元，可有任何之千瓦售出，須視用電時間之久暫而定。

同上情形，可知馬力爲功作之率（Rate of doing work），等於每分鐘 33,000 磅呎(ft-lb)。例如一電動機之馬力爲

$\frac{1}{8}$hp.，則在8分鐘內可工作$\frac{1}{8}\times 8=1$ hp. $=33,000$ 磅呎。通常以馬力小時(Horsepower-hour)表示電動機所作之功，卽馬力値與小時數之乘積。

例題：　某電動機之馬力爲2 hp.，今工作5小時，(a)求所作之工爲若干。(b)相當於若干電功。

解：　(a)機械工能＝馬力×小時$=2\times 5=10$馬力小時

(b)因1 hp＝746瓦特，故2 hp$=2\times 746=1,492$瓦特，故10馬力小時之機械功能相當之電功爲：

$1492\times 5=7460$ 瓦時。

(3-4) 熱能

熱能可轉變機械能及電能，而機械能與電能亦可轉變爲熱能。此在電功及無線電工程上所常見之事實，故對於熱能之單位及其與電功之關係，不可不有以知之。

熱能之單位，在英制爲 B. t. u. (British thermal unit)，1 B. t. u. 卽等於使水一磅之溫度，升高華氏1度所需之熱量也。其相當機械能爲778磅呎。

在c. g. s. 制，則熱能之單位爲克卡路里 (Gram-calory) 以"Cal"爲標記(稱小卡路里 Small or lessor calory)，卽1克 (Gram) 之水昇高攝氏一度時所需之熱量。若以1千克(Kilogram)之水昇高攝氏一度時所需之熱量，則爲千克卡路里(Kilogram-calory)稱大卡路里 (Great or large calory)

1 克卡路里$=4.2\times 10^7$ 歐格，

$=4\,2$ 瓦秒或焦耳。

$$熱量=\frac{1}{4\,2}I^2\ Rt=0.24\ I^2\ Rt\ cal.\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\ (17)$$

例題：(1)某110伏脫之白熱燈，規定電流0.5安，今以之

浸在含有 2000 cc 水量之水缸內，設不計其散熱量，則每分鐘內此水溫度升高若干度。

解： $0.24\ I^2\ Rt = 0.24\ EIt = 0.24 \times 110 \times 0.5 \times 60 = 792$ cal

792 cal 爲每分鐘內所生之熱量，若加於 1cc 之水內，則每分鐘可提高溫度 792 度，今加於 2000cc 之水內，則每分鐘所提高之溫度爲：

$$\frac{792}{2000} = 0.396\ 度(攝氏)。$$

例題：（2）某唧水筒有10個馬力，能使水 400 加侖於每分鐘內通行於某水冷裝置器內。問此水由此唧水筒所升高之華氏溫度爲若干。

解： $10\ \text{hp.} = 10 \times 33{,}000 = 330{,}000\ \text{ft-lb}$(每分鐘)

$$\frac{330{,}000}{778} = 424\ \text{B. t. u.}\ (每分鐘)$$

$$400\ 加侖 = 400 \times 8.34 = 3{,}336\ \text{lb.}$$

$$\frac{424}{3{,}336} = 0.13^\circ\ (華氏)。$$

(3-5) 克希荷夫定律

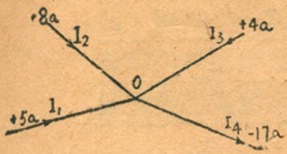
應用歐姆定律以計算簡單電路，固甚便利：但一遇較煩複之電路，則每感困難。克希荷夫氏(Kirchhoff, Gustav Robert 1824-1887 德國物理學家)特添列二式，藉以計算繁複電路，稱曰克希荷夫定律(Kirchhoff's Laws)。

第一定律： 在電路任何一點，假定流向此點之電流爲正，離去此點之電流爲負，則所有流向此點與離去此點諸電流之代數和，必等於零。

以算式表示之，則爲：

$$\Sigma i_k = 0 \cdots\cdots\cdots\cdots (18)$$

上式中 i 代表各電路中之電流。



（第 7 圖）

由第7圖，可見流向0點之電流，必全數離去0點而他往，故流向0點諸電流之和，必等於離去0點諸電流之和，即：

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4$$

或：　$I_1 + I_2 + I_3 - I_4$　$5+8+4-17=0$

故：　$\Sigma i_k = 0$

因電流經過之導體系中，無有一處電荷繼續囤積者，故自導體系中一點流出之電量必等於同時間向該點流入之電量，Kirchhoff 氏第一定律乃爲當然之結果。

第二定律：　在導體系中任意取一自成閉合之電路，則該電路各段 $i_k R_k$ 相乘積之和，或各段電壓 V_k 之和，恒等於該電路內所有電動勢E之和，對於全系而言亦爲合理。以式表示之：—

$$\Sigma E = \Sigma i_k R_k = \Sigma V_k \cdots\cdots\cdots\cdots (19)$$

上式中 R_k 爲一導體內任一段之電阻，i_k 爲流經該段之電流，V_k 爲該段之電壓。因在一閉合之導體系中苟有一電流源存在，其電動勢恆等於導體系中各段電壓，故電動勢亦可以電壓之單位量之；在實用制中，此單位爲「伏特」。一般初級電學書籍內，對於電動勢及電壓因之均以“E”代表之，本書亦每多混用之處，惟學者在觀念上，應加以區別。

(3-6)　克希荷夫第二定律運用正負號之法則

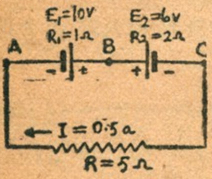
在應用克希荷夫定律時，對於任何電路內之各段電動力及電壓降之數值，其應加之正負符號，可依下述規則運用之：

在任一合路內，先假定電流方向，再依計算順序前進，凡遇電位升高時之電動勢或電壓降作爲正，前置一"＋"號，而遇電位降落時之電動勢或電壓降作爲負，前置一"－"號。則所有電動勢與電壓降之代數和，必等於零。

例如依一定計算方向前進，在經過一電池時，如由負極至正極，則電位係升高，當用"＋"號；如由正極至負極，則電位係降落，當用"－"號。

但經過一電阻時，不論爲內阻或外阻，如前進向與電流向相同，則電位係降低，當用"－"號；如前進向與電流向相反，則電位係升高，當用"＋"號。注意：電壓降之正負符號，當依電流之方向而運用之，與電動勢之正負極無涉。

例如第 8 圖之合電路，電流之方向如圖中矢向所示。今自 A 點依 ABCA 之程序前進，應用第二定律列式如下：－



（第 8 圖）

自A至B： 電動勢 E_1 之電位係升高，故 E_1 爲正，即：$+E_1$，
電壓降 IR_1 之電位係降低，故 IR_1 爲負，即：$-IR_1$，

自B至C： 電動勢 E_2 之電位係降低，故 E_2 爲負，即：$-E_2$
電壓降 IR_2 之電位係降低，故 IR_2 爲負，即：$-IR_2$，

自C至A： 電壓降 IR 之電位係降低，故 IR 爲負，即：$-IR$，

是於：

$$+E_1-IR_1-E_2-IR_2-IR=0$$

$$+10-0.5\times1-6-0.5\times2-0.5\times5=0$$

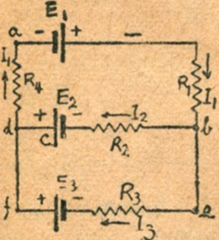
$$+10-10=0$$

若自 A 點起始，依 ACBA 之程序進行，則所得結果相同，卽：$+IR+E_2+IR_2+IR_1-E_1=0$。

由上圖可見 E_1 與 E_2 方向相反，其總電動勢爲 10－6＝4 伏，又電路內之電阻爲 R_1，R_2，R，此三電阻爲串連，結果電阻係相加，即 $R_1+R_2+R=1+2+5=8$ 歐姆（各電阻串連後，其總電阻等於各電阻之和。其理猶各水管串連後，水流之總電等於各水管阻力之和，）於是由歐姆定律可證明。

$$I=\frac{E}{R}=\frac{4}{8}=0.5\text{安}。$$

今有電路如第 9 圖，各電池內阻假定甚小而不計入，電流之方向如圖矢向所示。茲先依電路 abcda，應用克希荷夫第二定律自 a 點起始作爲計算順序：



（第 9 圖）

$$+E_1-I_1R_1-I_2R_2+E_2-I_1R_4=0 \quad (一)$$

再依電路 febcdf，自 f 點起始：

$$-E_3+I_3R_3-I_2R_2+E_2=0 \quad (二)$$

茲查第 9 圖假定有三個未知之電流値，當例三個方程式以求之。按第（三）方程式，原可由電路 febadf 而列出，但第（三）與第（一）或與第（二）方程式合併時，將仍爲第（二）或第（一）方程式，故須另行設法，可應用克希荷夫第一定律以列出第（三）方程式，以 b 點爲標準：

$$+I_1-I_2-I_3=0 \quad (三)$$

例題： 今設第 9 圖所示各電動勢之伏値，及各段電阻之歐姆値如下：

$E_1=4V$，$E_2=2V$，$E_3=3V$，

$R_1=0.5\Omega$，$R_2=3\Omega$，$R_3=1\Omega$，$R_4=1\Omega$，

試求各段電路內之電流及其電壓降？

解： 在 abcda 電路內：

$$+4-(0.5I_1)-(3I_2)+2-(1I_1)=0$$

或：

$$1.5I_1+3I_2=6 \quad (一)$$

同理電路 febcdf：

$$-3+(1I_3)-3I_2+2=0$$

或：$$3I_2-I_3=-1 \qquad (二)$$

在 b 點之電流：$$+I_1-I_2-I_3=0$$

或：$$I_1=I_2+I_3 \qquad (三)$$

將方程式(三) I_1 之相等值代入方程式(一)，得：

$$1.5(I_2+I_3)+3I_2=6$$

$$4.5I_2+1.5I_3=6 \qquad (四)$$

以 3 乘(二)，以 2 乘(四)，得：

$$9I_2-3I_3=-3$$

$$9I_2+3I_3=12$$

相減得：$$6I_3=15$$

$$I_3=2.5\ \text{amp.} \qquad (答案一)$$

將2.5代入(二)，得：$$3I_2-2.5=-1$$

$$I_2=0.5\ \text{amp.} \qquad (答案二)$$

於是：$$I_1=I_2+I_3=0.5+2.5=3\ \text{amp.} \quad (答案三)$$

如欲校核上列答案，可取尙未採用之電路 abefda，而應用克希荷夫第二定律爲之：

$$+4-(3\times.5)-(1\times2.5)+3-(1\times3)=0 \qquad (校核無誤)$$

(3-7) 應用克希荷夫定律提要

在應用克希荷夫定律時，下列規則應須遵守，可免計算時之錯誤：

(1) 克希荷夫第一定律，應充份使用，使每一未知值之電流，至少有一次被列入方程式。

(2) 克希荷夫第二定律，應充份使用，使每一段電路，至少有一次被列入方程式。

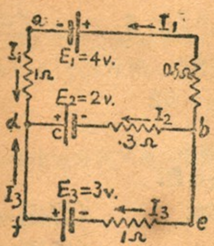
(3) 計算時，應將組合電路正確繪出，再註以相當之符號及數量。

（4）假定每段電路之電流方向，而註以 I_1 I_2 I_3 等代數字。惟電流之代數字，可應用克希荷夫第一定律以減少之，結果可減少方程式。

（5）校核各方程式內之正負符號，以免錯誤。

（3-8） 應用克希荷夫定律對於電流向之假定

應用克希荷夫定律時，各段電路之電流向，可任意假定。如所定方向與實際電流向相反時，則求出之電流値爲負號。惟電流方向一經假定後，切不可中途變更。



（第 10 圖）

例如第10圖所假定之電流向，各段電流均流向 d 點，當屬不可能。姑計算之如下：—

在電路 abcda, 自 a 點起始，得：

$$+4+0.5I_1-3I_2+2+I_1=0$$
$$1.5I_1-3I_2+6=0$$

在電路 febcdf，自 f 點起始，得：

$$-3+I_3-3I_2+2=0$$
$$I_3-3I_2-1=0$$

依 d 點爲標準：

$$I_1+I_2+I_3=0$$

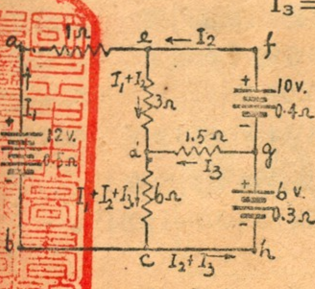
解方程式後，得：

$I_1=-3$ amp.　（答案一）

$I_2=0.5$ amp.　（答案二）

$I_3=2.5$ amp.　（答案三）

由上列答案，可見 I_1 之數値爲負號，可知所定 I_1 之流向係與實際相反；而所定 I_2 與 I_3 之流向，則與實際相同。



（第 11 圖）

例題：　今有如第11圖之電路，求各段電流及ed與dc間之電壓降。

解：　在電路 abcdea 得：

$$-12.+0.5I_1+6(I_1+I_2+I_3)+3(I_1+I_2)+(1)I_1=0$$

或：　$10.5\,I_1+9\,I_2+6\,I_3=12$ 　(一)

在電路 efgde，得：

$$-10+.4\,I_2-1.5\,I_3+3(I_1+I_2)=0$$

或　$3\,I_1+3.4\,I_2-1.5\,I_3=10$ 　(二)

在電路 cdghc，得：

$$+6(I_1+I_2+I_3)+1.5I_3-6+0.3(I_2+I_3)=0$$

$6\,I_1+6.3\,I_2+7.8\,I_3=6$ 　(三)

由(一)(二)兩式之合併，得消去 I_3：

$$22.5\,I_1+22.6\,I_2=52$$

由(二)(三)兩式之合併，得消去 I_3：

$$32.4\,I_1+35.9\,I_2=87$$

由是可求得：　$I_1=-1.244$ amp. 　(答案一)

$I_2=+3.540$ amp. 　(答案二)

$I_3=-1.126$ amp. 　(答案三)

I_1 及 I_2 之數值，既爲負號，可知假定之流向與實際流向相反。其餘答案如下：

ed　間之電流 $=I_1+I_2=+2.296$ amp. 　(答案三)

dc　間之電流 $=I_1+I_2+I_3=+1.17$ amp. 　(答案四)

chg 間之電流 $=I_2+I_3=+2.414$ amp. 　(答案五)

ed　間之電壓 $=+2.296\times3=6.89$ V. 　(答案六)

dc　間之電壓 $=+1.17\times6=7.02$ V. 　(答案七)

ce　間之電壓 $=12-(-1.244)(1.5)=13.9$ V. (答案八)

玆依未經採用之電路 abchgfea，以校核上列答案：

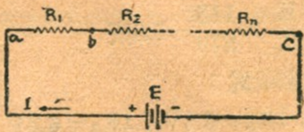
$$-12+(-1.244)\,5+6-(2.414)\,3+10-(3.54)\,4+(-1.244)1=0$$

$+16-16=0$ 　(校核無誤)

(3-9) 串連電阻之計算

以若干電阻串連相接(第12圖)，則其總電阻等於各電阻之和，以計算式表示之，則爲：

$$R_t = R_1 + R_2 + \cdots\cdots + R_n \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (20)$$



(第 12 圖)

上述公式可證明如下：一

設以 R 代表電路之總電阻，依歐姆定律，其值爲：

$$R_t = \frac{E}{I},$$

又根據克希荷夫第二定律，知：

$$E - IR_1 - IR_2 - \cdots\cdots - IR_n = 0$$

或：

$$E = +IR_1 + IR_2 + \cdots\cdots + IR_n$$
$$= I(R_1 + R_2 + \cdots\cdots + R_n)$$

或：

$$\frac{E}{I} = (R_1 + R_2 + \cdots\cdots + R_n)$$

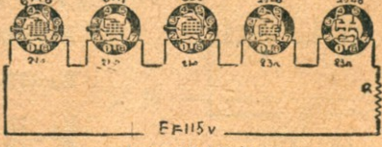
R_t 旣等於$\frac{E}{I}$，可知：

$$R_t = R_1 + R_2 + \cdots\cdots + R_n$$

若各串連電阻阻值相等。各爲 R 歐姆，則：

$$R_t = nR$$

例題： 第13圖爲五個眞空管燈絲與一150歐姆之電阻器R串連，接於115伏之電源上，求總電阻爲若干。



(第 13 圖)

解：

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6$$
$$= 21 + 21 + 21 + 83 + 83 + 150$$
$$= 379 \text{ 歐姆。}$$

通過之電流爲：

$$I = \frac{E}{R_t} = \frac{115}{379} = 0.3\text{安}$$

各段電阻上之電壓降爲；

$IR_1 = 6.3V$；$IR_2 = 6.3V$；$IR_3 = 6.3V$；$IR_4 = 25V$；$IR_5 = 25V$；$R_6 = 46.1V.$

$\Sigma IR = 6.3 + 6.3 + 6.3 + 25 + 25 + 46.1 = 115$伏。

由此觀之，電阻串連電路之性質，可概括之如下：—

(一)各段電壓降之和等於總電壓。

(二)各點之電流相等。

(三)各段電阻之和等於總電阻。

根據上述電阻串連電路之性質，可知：

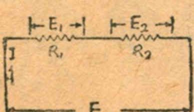
(一)欲減低一電阻器兩端之電壓者，可以其他相當電阻器，與之串連。

(二)欲減小一電阻器上所通之電流值，可以其他相當電阻器，與之串連。

(三)欲求較大電阻值之電阻器，可利用串連法以增大之。

(3-10)　串連電阻與各段電壓成正比例

設有電阻 R_1 與 R_2，串連於電壓 E 伏脫上，如第 14 圖所示，於是：



(第 14 圖)

$$E_1 = IR_1,$$
$$E_2 = IR_2,$$
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{IR_1}{IR_2},$$

於是：

$$\frac{E_1}{E_2}=\frac{R_1}{R_2}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(21)$$

由是可知，在電阻串連電路內，凡二串連電阻上電壓之比，等於此二電阻阻值之比。

例題： 設上圖電壓$E_1=6$伏脫，$R_1=8$歐姆，$R_2=12$歐姆，求E_2?

解：

$$\frac{E_1}{E_2}=\frac{R_1}{R_2}$$

$$\frac{6}{E_2}=\frac{8}{12}$$

$$E_2=6\times\frac{12}{8}=9\text{伏。}$$

又第 14 圖，如總電阻為 R，則：

$$E=IR$$

$$E_1=IR_1$$

於是：

$$\frac{E}{E_1}=\frac{R}{R_1}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(22)$$

由是可知：凡在串連電阻電路內，在一電阻上之電壓與總電壓之比，等於此電阻與總電阻之比。

例題： 設第 14 圖之總電阻 R 為 20 歐姆，R_1 為 8 歐姆，總電壓 E 為 12 伏，求 E_1。

解： $\frac{E}{E_1}=\frac{R}{R_1}$，$E_1=E\times\frac{R_1}{R}=12\times\frac{8}{20}=4.8$伏。

由上述第24公式，可知 $E_1=\frac{R_1}{R_2}E_2$，其中 $E_2=\frac{R_2}{R}E$，又因$R=R_1+R_2$ (R_1 與 R_2 串連後之電阻)。故又可知：

$$E_1=\frac{R_1}{R_1+R_2}\times E\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(23)$$

依相似情形，可知：

$$E_2=\frac{E_2}{R_1+R_2}\times E\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(24)$$

上列二公式適用於二個串連電阻之電路內。

(3-10 τ) 倍壓作用

在電動勢恆定之電阻電路內，添串一電阻於任何二點間，即能倍加此二點間之電壓，同時此二點間之電流亦必減弱。此種作用，是稱倍壓作用。

具有倍壓作用之電阻器，稱曰倍壓器（Multi plier），倍壓器之電阻愈大，倍壓作用愈大。第13圖之 R即爲倍壓器。

例題：　今設第12圖之 R_1 爲4Ω，R_2 與 4Ω，R_n 爲倍壓器，其阻值爲 4 歐姆，E 爲 6 伏。求 R_2 單獨接入 bc 二點間時電壓 E_{bc} 爲若干？電流 I 爲若干？又 R_2 與 R_n 串入 bc 二點間時電壓 E_{bc} 爲若干？電流 I 又爲若干？

解：　當 R_2 單獨接於 bc 二點間時：—

$$I=\frac{E}{R_1+R_2}=\frac{6}{4+4}=0.75\text{ 安。}$$

$$E_{bc}=I\,R_2=0.75\times4=3\text{ 伏。}$$

當 R_n 與 R_2 串接於 bc 二點間時：—

$$I=\frac{E}{R_1+R_2+R_n}=\frac{6}{4+4+4}=0.5\text{ 安。}$$

$$E_{bc}=I\,(R_2+R_n)=0.5\times(4+4)4\text{ 伏。}$$

可知當 R_n 串入時，bc 間之電壓可由 3 伏倍增爲 4 伏。

(3-11) 並聯電阻之計算

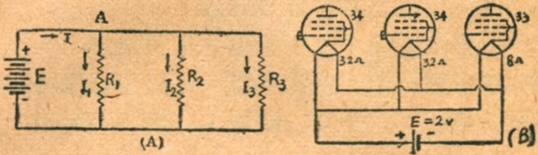
以若干電阻並聯相接（第15圖），則其總電阻之倒數，等於各段電阻倒數之和，以算式表示之，則爲：

$$\frac{1}{R_t}\quad\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\cdots\cdots\cdots+\frac{1}{R_n}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\quad(25)$$

或： $$R_t=\frac{1}{\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\cdots\cdots+\frac{1}{R_n}}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(26)$$

上述公式可證明如下：

應用克希荷夫第一定律，以 A 點(圖 A)為標準，知：



(第 15 圖)

$$I-I_1-I_2-\cdots\cdots\cdots-I_n=0$$

或： $$I=I_1+I_2+\cdots\cdots\cdots+I_n$$

即： $$\frac{E}{R_t}=\frac{E}{R_1}+\frac{E}{R_2}+\cdots\cdots\cdots\frac{E}{R_n}$$

兩邊各除以 E，得：

$$\frac{1}{R_t}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\cdots\cdots\cdots\frac{1}{R_n}$$

若各電阻相等而各等於 R 歐姆，則：

$$\frac{1}{R_t}=\frac{n}{R}$$

或： $$R_t=\frac{R}{n}$$

例題： 第15圖之(B)為三個真空管燈絲之並聯電路，接於2伏之電源上，求總電阻為若干。

解； $$\frac{1}{R_t}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}-\frac{1}{R_3}$$

$$=\frac{1}{32}+\frac{1}{32}+\frac{1}{8}=\frac{6}{32}$$

$\therefore$ $R_t=5.33$ 歐姆，

總電流： $$I=\frac{E}{R_t}=\frac{2}{5.33}=.375\text{安，}$$

流經各燈絲之電流爲：.0625 安，.0625 安，與 .25 安，其和等於總電流 .375 安。

由此觀之，對於電阻並聯電路之性質，可簡言之如下：

(一)各並聯段之電壓降相等。

(二)各部電流之和等於總電流。

(三)總電阻較任一並聯電阻之阻值爲小。

(四)欲求電阻較小之電阻器，可利用並聯法以得之。

設有二電阻：一爲 R_1 歐姆，一爲 R_2 歐姆，則二者並聯後之阻值，依電阻並聯公式，可簡化成下式：

$$R_t=\frac{R_1\,R_2}{R_1+R_2}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(27)$$

如爲 R_1 R_2 R_3 三個電阻並聯者，則總阻爲：

$$R_t=\frac{R_1\,R_2\,R_3}{R_1\,R_2+R_2\,R_3+R_3\,R^1}\cdots\cdots\cdots\cdots(28)$$

依此類推，可知當四個電阻並聯後，其阻值將爲：

$$R_t=\frac{R_1\,R_2\,R_3\,R_4}{R_1\,R_2\,R_3+R_2\,R_3\,R_4+R_3\,R_4\,R^1+R_4\,R^1\,R_2}\cdots\cdots(29)$$

例題(1)：今設 $R_1=2$歐姆，$R_2=4$ 歐姆，$R_3=8$ 歐姆，問三者並聯後之總電阻爲若干。

解：

$$R_t=\frac{R_1\,R_2\,R_3}{R_1R_2+R_2R_3+R_3R_1}=\frac{2\times4\times8}{2\times4+4\times8+8\times2}$$

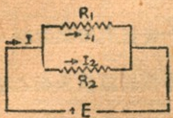
$$=\frac{64}{+8+3216}=1.143\text{歐姆。}$$

例題(2)：今設 $R_1=4\Omega$，$R_2=6\Omega$，$R_3=8\Omega$，$R_4=10\Omega$，問四者並聯後之總電阻爲若干。

解：$R_t=\dfrac{4\times6\times8\times10}{4\times6\times8+6\times8\times10+3\times10\times4+10\times4\times6}=1.56$ 歐姆。

（3-12）並聯電路之阻值與電流成反比例

設有電阻 R_1 與 R_2，並聯於電壓 E 伏特上，如第 16 圖所示，則：



（第 16 圖）

$$I_1=\frac{E}{R_1},$$

$$I_2=\frac{E}{R_2},$$

$$\frac{I_1}{I_2}=\frac{E}{R_1}\times\frac{R_2}{E},$$

於是：

$$\frac{I_1}{I_2}=\frac{R_2}{R_1}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(30)$$

由是可知：在電阻並聯電路內，凡二並聯電阻上所通電流之比，等於此二電阻之倒比。惟當任一岔路內含有電動勢時，則上述公式不適用。

例題：　設上圖電流 I_2 爲 4 安，R_1 爲 8 歐姆，R_2 爲 12 歐姆，求 I_1。

解：

$$\frac{I_1}{I_2}=\frac{R_2}{R_1},$$

$$\frac{I_1}{4}=\frac{12}{3}$$

$$I_1=\frac{12}{8}\times 4=6\text{安。}$$

如第 16 圖之總電阻爲 R，則：

$$I=\frac{E}{R},$$

$$I_1=\frac{E}{R_1}\text{。}$$

於是：

$$\frac{I}{I_1}=\frac{R_1}{R}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(31)$$

由是可知：凡在並聯電阻電路內，通過任 電阻上之電流與此並聯電阻上總電流之比，等於此一電阻與總電阻之倒比。

例題（1）：設第 16 圖之總電阻 R 爲 4.8 歐姆，R_1 爲 8 歐姆，I 爲 12 安，求 I_1。

解：

$$\frac{I}{I_1}=\frac{R_1}{R},$$

$$I_1=\frac{R}{R_1}I=\frac{4.8}{8}\times 12=7.2\text{安。}$$

例題（2）： 一檢流表之內阻爲 190 歐姆，茲用一電阻與此表並聯，使岔去通過電表電流之$\frac{19}{20}$，(因檢流表常串接於阻值甚高之電路內，故並聯一電阻有岔流之功效)。問此電阻應需若干歐姆。

解： 命：R_g 代表檢流表之內阻，R_s 代表岔流電阻之電阻，I_g 代表通過檢流表之電流，I 代表通過岔流電阻之電流。於是：

$$\frac{I_g}{I_s}=\frac{R_s}{R_g},$$

$$\frac{1}{19}=\frac{R_s}{190}$$

$$R_s=\frac{190}{19}=10\text{歐姆。}$$

由上列第各公式，可知：$I_1=\frac{R_2}{R_1}I_2$，其中$I_2=\frac{R}{R_2}I$，又因 $R=\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}$，(R 爲 R_1 與 R_2 並聯後之電阻)故又可知：

$$I_1=\frac{R_2}{R_1+R_2}\times I \quad\cdots\cdots(32)$$

依相似情形，亦可知：

$$I_2=\frac{R_1}{R_1+R_2}\times I \quad\cdots\cdots(32a)$$

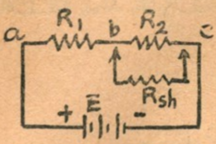
上列二公式適用於二個並聯電阻之電路。

(3-12*a*) 岔流作用

在電動勢恆定之電阻電路內，並聯一電阻於任何二點間，卽能岔去該段電阻上原有電流之一部份，且該二點間之電位差必降小。此種作用，是稱岔流作用。

(一)具有岔流作用之電阻器，稱曰岔流器 (Shunt)，岔流器之電阻愈小，岔流作用愈大。(按岔流器多用於測流計內)。

例題： 今設第16a圖之$E=6_v$，$R_1=4\Omega$，R_1可視為電源之內阻，即為電路內串連電阻之一部份。$R_2=4\Omega$；$R_{sh}=4\Omega$，當R_{sh}未曾接入電路時，求R_2上之電流及bc間之電壓？當R_{sh}並聯於bc二點間時，求R_2上之電流及bc間之電壓？



（第 16a 圖）

解： 當R_{sh}未接入電路時。R_2上之電流即為電流I，其值為：

$$I=\frac{E}{R_1+R_2}=\frac{6}{4+4}=0.75\text{安。}$$

$$E_{bc}=E-E_{ab}=E-(IR_1)=6-(.75\times4)=3$$ 伏。

當R_{sh}接入bc二點間時，R_2之電流命為I_2，其值可逐步求得之：—

$$I=\frac{E}{R_1+\frac{R_2R_{sh}}{R_2+R_{sh}}}=\frac{6}{4+\frac{4\times4}{4+4}}=1\text{ 安。}$$

$$E_{ab}=I\ R_1=1\times4=4V.$$

$$E_{bc}=E-E_{ab}=6-4=2V.$$

$$\therefore\qquad I_2=\frac{E_{bc}}{R_2}=\frac{2}{4}=0.5\text{ 安。}$$

$$\therefore\qquad I_{sh}=\frac{E_{bc}}{R_{sh}}=\frac{2}{4}=0.5\text{ 安。}$$

$$I_{sh}=\frac{E_{bc}}{R_{sh}}=\frac{2}{4}=0.5\text{ 安。}$$

$$I=I_2+I_{sh}=0.5+0.5=1\text{ 安。}$$

（二）如電源內阻極小而可以忽略時，則在外電阻上並聯一電阻，對於該外電阻上原有之電流，並無岔流作用，其二端電位差亦不變。

例題： 今設第16a圖R_1為電源內阻，假定其值太小而不必計及之，$R_2=4\Omega$，$R_{sh}=4\Omega$，E 6V. 求R_{sh}未接時之I_2及E_{bc}各若干？又求R_{sh}接上時之I_2 I_{sh}及E_{bc}各若干？

解： R_{sh} 未接時：—

$$I_2=\frac{E_{bc}}{R_2}=\frac{E}{R_2}=\frac{6}{4}=1.5\text{安}。$$

$$E_{bc}=I_2R_2=1.5\times4=6\text{伏}。$$

$$I=I_2=1.5\ \text{安}。$$

R_{sh} 接入電路時：—

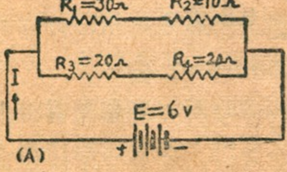
存在於R_2二端之電壓為E_{bc}仍等於電源電壓E，此因假定R_1甚小而無降壓所致。故I_2仍為1.5安，其電流並未被R_{sh}岔去絲毫。至於R_{sh}上之電流則為：

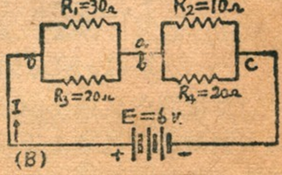
$$I_{sh}=\frac{E_{bc}}{R_{sh}}=\frac{6}{4}=1.5\text{安}。$$

$$I=I_2+I_{sh}=1.5+1.5=3\text{安}。$$

（3-13）串並聯電阻之計算

以若干組之串連電阻，並聯相接，如第17圖(A)，或以若干組之並聯電阻，串連相接，如第17圖(B)，均為電阻之串並聯電路。要求此種電路內之總電阻，與各段之電壓降及電流等，均可引用前述串連及並聯公式，分別求出之。





(第 17 圖)

例題(1)：求圖(A)之 I=？，總電阻 R_t=？，又各岔路上之電流。

解：

$$\frac{1}{R_t}=\frac{1}{R_1+R_2}+\frac{1}{R_3+R_4}$$

$$=\frac{1}{30+10}+\frac{1}{20+20}=\frac{1}{20}$$

∴ $R_t=20$歐姆。

總電流爲：

$$I=\frac{E}{R_t}=\frac{6}{20}=0.3\text{安。}$$

全部電阻上之電壓降爲：

$IR_t=0.3\times 20=6$伏。

通過 R_1 及 R_2 上之電流相同，假定其爲 I_1，則其值爲：

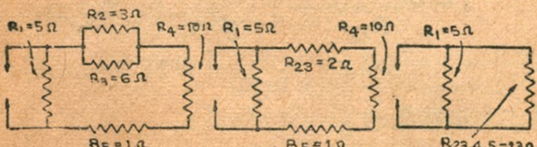
$$I_1=\frac{E}{R_1+R_2}=\frac{6}{30+10}=0.15\text{安。}$$

設 I_2 爲通過 R_3 及 R_4 上之電流，其值爲：

$$I_2=\frac{E}{R_3+R_4}=\frac{6}{20+20}=0.15\text{安。}$$

讀者試求圖(B)之總電阻爲若干。各段電阻上之降壓爲若干，又經過各段電阻上之電流爲若干。

例題(2)：今有如第18圖(A)之串並聯電路，各電阻之阻值如圖所示。試求其總電阻爲若干。



(A) (B) (C)

(第18圖)

(1) 先求圖 (A) R_2 及 R_3 並聯後之阻值，而後將此電路化成如圖 (B) 之電路：

$$R_{2,3}=\frac{R_2R_3}{R_2+R_3}=\frac{3\times6}{3+6}=2\text{歐姆。}$$

(2) 求圖 (B) R_{23} R_4 及 R_5 串連後之阻值，而後將其化成圖(C)之電路：

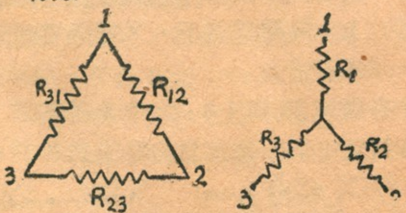
$$R_{23,4,5}=R_{23}+R_4+R_5=2+10+1=13\text{ 歐姆。}$$

(3) 求圖 (C) R_1 及 $R_{23,4,5}$ 並聯後之阻值，此阻值卽為圖(A)之總阻值：

$$R_t=\frac{R_1R_{23,4,5}}{R_1+R_{23,4,5}}=\frac{5\times13}{5+13}=3.6\text{歐姆。}$$

(3-14) 等值網絡

網形組織之電阻電路，可應用等值網絡法 (Equivalent Delta and star (or Y) Systems)而計算之。卽將網形電阻電路中之三角形與星形，變成星形與三角形，依次轉輾變形，可將一網形電路變成極簡單之電路。蓋在計算上，如將任何二點間之阻值維持不變，則雖變化其連接之形式，可無妨害也。惟以無電動勢參雜電阻網 (Passive resistances) 內為限。玆述三角形與星形之互變公式如下：—



(a) (b)

(第 19 圖)

(一) 變三角形為星形：

第 19 圖(a)所示在 1,2,3 三點間之電阻為三角形接法，包含三個電阻 R_{12}, R_{23}, 及 R_{31}。今將此三點間之阻值維持

不變，而變其形態為星形，如第 19 圖 (b) 所示，由此圖可見含有電阻三個，即 R_1，R_2，及 R_3。由上述變形之規定，則在圖(a)任何兩點間之阻值，必須等於圖(b)相當兩點間之阻值，例如：

在(a)(b)二圖1—2兩點間之電阻須相等，即：

$$R_1+R_2=\frac{R_{12}(R_{31}+R_{23})}{R_{12}+R_{23}+R_{31}}$$

同樣在 2—3 兩點間之電阻須相等，即：

$$R_2+R_3=\frac{R_{23}(R_{12}+R_{31})}{R_{12}+R_{23}+R_{31}}$$

又在 3—1 兩點間之電阻須相等，即：

$$R_3+R_1=\frac{R_{31}(R_{23}+R_{12})}{R_{12}+R_{23}+R_{31}}$$

命： $\Sigma R_n=R_{12}+R_{23}+R_{31}$，而將上列三式同時化合之，可得：

$$R_1=\frac{R_{12}\ R_{31}}{\Sigma R_n}\qquad\qquad(33)$$

$$R_2=\frac{R_{23}\ R_{12}}{\Sigma R_n}\qquad\qquad(34)$$

$$R_3=\frac{R_{31}\ R_{23}}{\Sigma R_n}\qquad\qquad(35)$$

(二)變星形為三角形：

變星形為三角形之公式，可即應用上述公式而求得如下：

將公式(33)與(34)相乘，(34)與(35)相乘，(35)與(33)相乘，而將等號各邊之乘積相加，得：

$$R_1R_2+R_2R_3+R_3R_1=\frac{R_{12}^2R_{23}R_{31}+R_{12}R_{23}^2R_{31}+R_{12}R_{23}R_{31}^2}{(R_{12}+R_{23}+R_{31})^2}$$

$$=\frac{R_{12}R_{23}R_{31}(R_{12}+R_{23}+R_{31})}{(R_{12}+R_{23}+R_{31})^2}$$

$$=\frac{R_{12}R_{23}R_{31}}{(R_{12}+R_{23}+R_{31})}=\frac{R_{12}R_{23}R_{31}}{\Sigma R_n}$$

命：
$$\Sigma R_0 = R_1R_2+R_2R_3+R_3R_1$$

於是：
$$\Sigma R_0 = \frac{R_{12}R_{23}R_{31}}{\Sigma R_n},$$

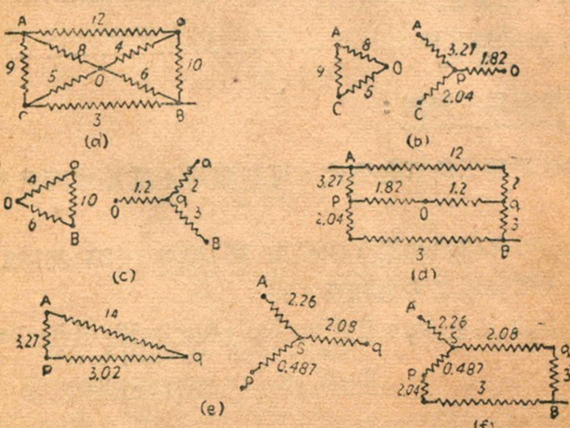
或：
$$R_{12} = \frac{\Sigma R_0 \ \Sigma R_n}{R_{23}R_{31}},$$

但由公式(35)可知：
$$R_{23}R_{31} = R_3\Sigma R_n$$

於是：
$$R_{12} = \frac{\Sigma R_0}{R_3} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (36)$$

依相似情形可得：
$$R_{23} = \frac{\Sigma R_0}{R_1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (37)$$
$$R_{31} = \frac{\Sigma R_0}{R_2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (38)$$

例題：　第 20 圖 (a) 爲一電阻網 AB。圖中在各段電阻旁所註之數值，卽爲各段電阻之歐姆值。試問在 AB 二點間之總阻值爲若干。



（第 20 圖）

解(1)： 將圖(a) AOC 及 aOB 之三角形變成相等之星形，如圖(b)及圖(c)所示。

對於圖(b)應用公式(33(34)及(35)，可得：

$AP=\frac{8\times 9}{22}=3.27$；$OP=\frac{8\times 5}{22}=1.28$；$CP=\frac{5\times 9}{22}=2.04$。

對於圖(c)亦應用同樣公式，可得：

$Oq=\frac{4\times 6}{20}=1.20$；$aq=\frac{4\times 10}{20}=2.00$；$Bq=\frac{10\times 6}{20}=3.00$。

(2) 將圖(b)及圖(c)之星形代入圖(a)，使圖(a)變成圖(d)之形態。隨後再將圖(d)之 AqP 三角形變成相當之星形，如圖 (e) 所示，應用同上公式，可得：

$As=\frac{3.27\times 14}{20.29}=2.26$；$qs=\frac{3.02\times 14}{20.29}\ 2.08$；$Ps=\frac{3.27\times 3.02}{20.29}=0.487$

(3) 將圖(e)之星形代入圖(d)，使圖(d)變成圖(f)之形態。圖 (f) 之電阻網僅爲一簡單之串並聯電路故 AB 二點間之電阻值，可直接算得如下：—

$$R_{AB}=2.26+\frac{(3.0+2.08\ (0.487+2.04+3.0)}{3.0+2.08+0.487+2.04+3.0}=2.26+2.65$$

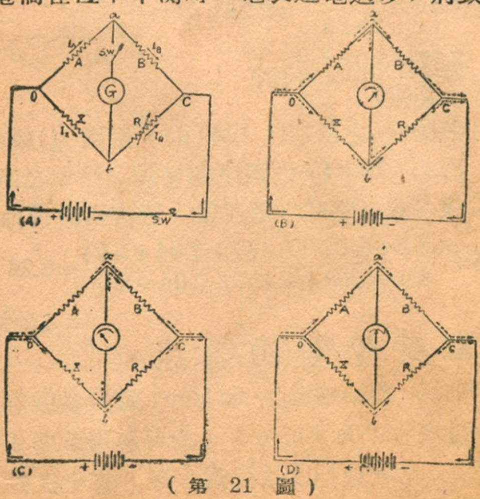
$$=4.91\text{歐姆}。$$

(3-15) 韋斯登電橋電路

韋斯登電橋(Wheatstone Bridge)爲測量儀器之一種，舉凡電阻電感電容以及互感等等，均可應用韋斯登電橋以測量之。所測結果常較他種測量法爲正確，故一般多樂用之。

且韋斯登電橋電路，對於無線電工程上，應用頗多，例如電能供給之全波整流器，及收音機中之晶體濾波器等等，莫不根據此電橋電路之原理而構成。是以學者對於此電路之原理，不可不有所瞭解。

第 21 圖(A)所示者，爲韋斯登電橋之基本電路。圖中爲電橋之四臂 (Arms)，A 與 B 常爲固定值之電阻，稱曰比率臂，(Ratio arms) A, B, R, X 其值多爲 10 之倍數，如 1, 10, 100, 及1000歐姆等。R 常爲可變電阻，稱曰平衡臂，(Ballance arm)或曰可變臂，(Rheostat arm)，其值可自 1 歐姆調節至甚高之歐姆數。X 爲未知之電阻，而須量度者。在 a b 二點間接有精細檢流表“G”，與此表常串接一開關，當電橋未平衡時可使電表脫離電路，以免意外之燒燬。在oc二端間接有相當電動勢之電流源，用以供給電流。與電源常串接一開關，多用撳鈕式，當運用電橋時，祇須將撳鈕按撳一下，即能見電表指針之偏動情形，此按撳時間，毋須過久，否則倘電橋在極不平衡時，電表通電過多，將致燒燬。



（第 21 圖）

今設電橋電路內各開關接合，電橋內卽有電流通行，一路自0點經 A B 而至 C，另一路自0點經 X R 而至 C，ab 二點間旣有檢流表接通，當可有電流通行，惟其流向須視ab 二點之電位孰爲高低而定，在實際上可直接由檢流表指針之指向而斷定之。今假定 a 點電位高於 b 點，則通過 A 臂上之電流，必有一部份假道 G 而通過 R，如圖(B)所示；設 a 點電位低於 b 點，則通過 X 臂上之電流，必有一部份假道 G 而通過 B 如圖(C)所示。簡言之：當 ab 二點間有電位差時，I_A 不等於 I_B，同時 I_X 亦不等於 I_R。

若調節 R，直至 G 內指數爲零時而止，卽使 ab 間無電流通行。此時通過A臂之電流 I_A，等於通過B臂之電流 I_B；同時通過 X 臂之電流 I_X，亦必等於通過 R 臂之電流 I_R，如圖(D)所示。ab 間旣無電流通行，則 ab 二點間當無電位差，於是電壓降：

$$V_{oa} = V_{ob};\quad V_{ac} = V_{bc},$$

卽：

$$I_{oa}A = I_{ob}X;\ I_{ac}B = I_{bc}R,$$

卽：

$$I_{oa}A : I_{ac}B = I_{ob}X : I_{bc}R,$$

或：

$$\frac{I_{oa}A}{I_{ac}B} = \frac{I_{ob}X}{I_{bc}R},$$

但：

$$I_{oa} = I_{ac},\ I_{ob} = I_{bc},$$

故上述比例式可化爲：

$$\frac{I_{ac}A}{I_{ac}B} = \frac{I_{bc}X}{I_{bc}R},$$

卽：

$$\frac{A}{B} = \frac{X}{R} \quad \cdots\cdots(39)$$

可知：

$$X = \frac{A}{B}R \quad \cdots\cdots(40)$$

上述二公式，卽爲韋斯登電橋電路平衡時之性質。如三臂爲已知値，其餘一臂之數値，卽可由上述公式求出。

韋斯登電橋電路，在實用上式樣甚多 所用各臂，不一定爲電阻。又施於oc間之電壓不一定爲直流。惟各臂結構雖異，全電路之工作原理則一。

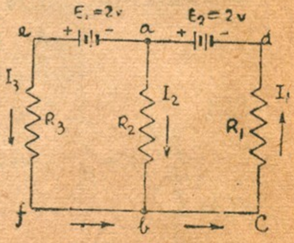
惟須注意電橋電路內之檢流表，其內阻雖甚小，但不能爲零，故當電流流經此表時，卽有電壓降之產生，因是ab二點卽有電位差，若假定檢流表之內阻爲零，則電橋電路將等於第 17 圖(B)之電路，結果 A 與 X 二端間之電壓降，永遠相等，卽ab合成一點，永無電位差之存在，而此四邊之電阻，因所通電流不一定相等，當亦不能互爲比例矣。

(3-16) 平衡電路

今有如第 22 圖所示之電路，設$E_1=E_2$，其內阻亦相等，又 $R_1=R_3$，則 ab 二點間電位相等，在 R_2 上可無電流通行。電路在此情形下。稱曰平衡電路（Ballanced circuit）。此種電路，實卽電橋電路，不過在形式上稍形改變而已。

其應用甚廣，例如直流放大器及眞空管放大式對講電話等線路，均根據此種平衡電路之原理組成，茲以下述例題證明之：

例題：第 22 圖 E_1 與 E_2 均爲 2 伏，其內阻相等，均甚小而不計之)，R_1 與 R_3 均爲 2 歐姆，R_2 爲 4 歐姆，假定各段電路內電流之方向如圖中矢向所示。求I_1，I_2及I_3各爲若干。



（第 22 圖）

解： 在 abcda 電路內，應用克希荷夫第二定律，得：

$$E_2 - I_2 R_2 - I_1 R_1 = 0$$

$$2 - 4 I_2 - 2 I_1 = 0 \quad \cdots\cdots\cdots (一)$$

在 aefba 電路內，應用克希荷夫第二定律，得：

$$E_1 - I_3 R_3 + I_2 R_2 = 0$$

$$2 - 2 I_3 + 4 I_2 = 0 \quad \cdots\cdots\cdots (二)$$

以 b 點作標準，應用克希荷夫第一定律，得：

$$+I_3 + I_2 - I_1 = 0$$

$$I_1 = I_3 + I_2 \quad \cdots\cdots\cdots (三)$$

以算式(三)代入算式(一)，得：

$$2 - 6 I_2 - 2 I_3 = 0 \quad \cdots\cdots\cdots (四)$$

以算式(四)與(二)合併，得：

$$10 I_2 = 0$$

故： $I_2 = 0$ 安。

以此答數代入算式(一)，得：

$$2 - 0 - 2 I_1 = 0$$

故： $I_1 = 1$ 安。

又將 I_2 之實數代入算式(二)，得：

$$2 - 2 I_3 + 0 = 0$$

故： $I_3 = 1$ 安。

由是可知電路在平衡狀態下，ab 二點間之電位為零，R_2 上無電流通行，且 I_1 等於 I_3。

(4) 計 算 實 例

(4-1) 各種應用計算法

1. 一變壓管屏柵極規定電壓為 100 伏特，電流為 8 毫安培，惟乙電壓為 250 伏特，問所需降壓電阻器 R 之值？

解：

$$電阻=\frac{乙電壓-所需電壓}{電流}$$

$$=\frac{250-100}{\frac{8}{1000}}=\frac{150\times1000}{8}$$

$$=18750\ 歐姆$$

2. 設另有一眞空管，其屏柵電壓與上題眞空管相同，惟電流爲 2.4 毫安，現與上題之眞空管合用一個電阻器，則電阻器之阻值應爲若干？

解：

$$電阻=\frac{250-100}{\frac{8}{1000}+\frac{2.4}{1000}}=\frac{150}{\frac{10.4}{1000}}$$

$$=\frac{150\times1000}{10.4}=14423\ 歐姆$$

3. 一聲頻放大器所用三極管之板極電流爲 1.1 毫安培；負載電阻 R_L 之值爲 100000 歐姆，解耦電阻器 R_d 之值爲 10000 歐姆，問板極電路中之電壓降落總數若干？又乙電壓爲 250 伏特，則板極實際之電壓爲若干？

解：

$$總電壓降\ 經R_d之電壓降+經R_L之電壓降$$

$$=IR_d+IR_L$$

$$=(1.1\times10)+(1.1\times100)=11+110$$

$$=121\ 伏特$$

$$板極電壓=乙電壓-板極電路中之電壓降落$$

$$=250-121$$

$$=129\ 伏特$$

4. 上題所用之 R_d 與 R_L 兩電阻器，應有若干瓦特數爲安全？

解：　　瓦特數＝伏特數×安培數

$$=121\times\frac{1.1}{1000}$$

$$=0.13\text{ 瓦特}$$

故 $\frac{1}{4}$ 瓦特之電阻器可以適用。

5.　又第1及第2題之電阻器，最小應需用若干瓦特數者爲安全？

解：　第1題所用電阻器之瓦特數 $=(250-100)\times\frac{8}{1000}$

$$=150\times\frac{8}{1000}$$

$$=1.2\text{ 瓦特}$$

第2題所用電阻器之瓦特數 $=(250-100)\times\left(\frac{8}{1000}+\frac{2.4}{1000}\right)$

$$=150\times\frac{10.4}{1000}$$

$$=1.5\text{（強）瓦特}$$

故第1題之電阻器最小應採用 $1\frac{1}{2}$ 瓦特者爲安全，第2題之電阻器，最小應採用2瓦特者爲安全。

6.　某電路需一降壓電阻器，其值如第2題所計算者，即14423歐姆，現有一個10000歐姆電阻器，應如何配置，可適合計算之數？

解：　按電阻串聯並聯及串並聯所示，顯然可知，欲增加阻值，則應將電阻串聯。

所加電阻數 (R_a) ＝所需要電阻數 (R_t) —現有電阻數 (R)

$$=14423-10000=4423\text{歐姆}$$

7.　有五隻眞空管，燈絲電流相同，均爲0.3安培，惟燈絲電壓6.3伏特者爲三隻，25伏特者二隻，今以串聯給熱法以作110伏特電源電壓交直流兩用，問燈絲降壓電阻器之數值爲若干？又此電阻器之瓦特數應爲若干？

解：　$$\text{燈絲降壓電阻}=\frac{\text{電源電壓}-(\text{所有眞空管電壓之和})}{\text{燈絲電流}}$$

$$=\frac{110-(6.3+6.3+6.3+25+25)}{0.3}=\frac{41.1}{0.3}$$

$=137$ 歐姆

瓦特數 $=(110-68.9)\times 0.3=41.1\times 0.3=12.33$ 瓦特。

故須應用15瓦特以上之電阻器或電阻線，方爲安全。

8.　設有一15000歐姆電阻器，欲減小至3000歐姆，問應如何配置？

解：　由(3-11)節知：欲求電阻較小之電阻器，可利用並聯法以得之。本題之解法當爲：—

$$\frac{1}{\text{所添並聯電阻}}=\frac{1}{\text{總電阻}}-\frac{1}{\text{現有電阻}}$$

即　$$\frac{1}{R_a}=\frac{1}{R_t}-\frac{1}{R}$$

$$\frac{1}{R_a}=\frac{1}{3000}-\frac{1}{15000}$$

$$=\frac{5-1}{15000}=\frac{4}{15000}$$

$\therefore\ R_a=\dfrac{15000}{4}$　3750歐姆(所添並聯電阻器之値)

9.　一電功率放大管，在甲類放大工作時，其板極電流爲34毫安培，屏柵極電流爲6.5毫安培，規定柵偏電壓爲16.5伏特，問產生自給偏壓之丙電阻爲若干歐姆？電阻器之瓦特數爲若干？

解：　$$\text{丙電阻 } R_c=\frac{\text{需要之柵偏電壓}\times 1000}{\text{流經陰極之電流(毫安培)}}$$

$$= \frac{16.5 \times 1000}{34 + 6.5}$$

$$= 407.42 \text{ 歐姆}$$

$$\text{瓦特數} = 16.5 \times \frac{40.5}{1000} = 0.668 \text{ 瓦特}$$

因流過此電阻器之電流較大，須採用2瓦特以上者可保安全。

10. 一柄 150 瓦特之電烙鐵，測得其電阻線之阻力爲 400 歐姆，則通過該電烙鐵之電流當爲若干？

解： 由(3—3)節知

$$P = I^2 R$$

$$\therefore I = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

以上述各數據代入，當爲

$$\text{電流} = \sqrt{\frac{150}{400}}$$

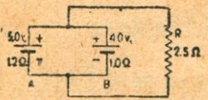
$$= \sqrt{0.375} = 0.6124 \text{ 安培}$$

習　　題

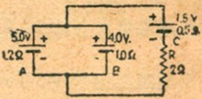
1. 電單位之制度有幾種。
2. 試言解電單位及絕對單位之根據。
3. 實用單位與絕對單位之分別何在？
4. 試言電量電流電動勢電阻及電導之實用單位。
5. 試佐以公式說明歐姆定律。
6. 一鎢絲電燈在白熱時之電阻爲 10,000 歐姆，所接電壓爲 220 伏，問通有電流若干安？
7. 一110 伏脫之電燈，通有電流 0.044 安，問此燈燈絲之電阻爲若干？
8. 某眞空管之燈絲電壓爲 5 伏，應通電流 2 安，問燈絲之電阻爲若干。
9. 一 400 歐姆之電阻線，問應施以若干伏之電壓。可得 0.05 安之電流？
10. 某甲身體所具之電阻爲 10,000 歐姆，若通電在 0.01安以上時，卽能致死，問危險電壓，在若干伏以上？
11. 何謂合路與開路？

12. 何謂內路與外路？
13. 何謂短路，何以短路有危險？避免短路之方法如何？
14. 試述導線電路與通地電路之意義。
15. 在無線電 路上，所謂通地者，其意義如何？
16 試述串連電路與並聯電路之區別。
17. 何謂電壓降？試以水壓降比喻之。
18. 今有100歐姆之電阻，所通電流為0.5安，問電壓降為若干？若通電為5安，則電壓降又為若干？
19. 一電燈接於220伏脫電壓之間，於一小時內共通電量為900庫倫，問所得之電工為若干焦耳？平均所通電流為若干安，又此燈之電阻為若干歐姆？
20. 一100伏脫之電燈，白熱時之電阻為1000歐姆，下午六時開啓，至十時關熄，問每日所通電量若干？電功若干？電功率若干？設電燈廠按每千瓦特小時十萬元計算，問每日所納電費若干？
21. 某電路接於220伏電壓之間，半小時內，共通電量900庫倫，求此電路上之電流(即每秒內所通之電量)及電阻。
22. 試述電功率(Electric Power)之單位及其定義。
23. 試述電能(Electric Energy)之單位及其定義。
24. 按能與功率之意義有別，今以電能為 Electric Power 之譯名，是否妥善？
25. 瓦特與馬力之關係若何？
26. 某電阻器通電0.12安，其電阻為10,000歐姆，問所耗之電功率為若干瓦特？
27. 一25匹馬力230伏之電動機，在規定荷載時之效率為0.87。求(a)輸入馬力；(b)輸入電力；(c)規定之電流。
28. 茲有110伏脫40瓦特之鎢絲燈，燃點5小時，問(a)所得電功若干瓦時。(b)若每瓩特小時需費十萬元，則在5小時內需費若干？
29. 吾人若云每秒之瓦特數，是否合理？
30. 試問吾人向電力公司所購得者，為電功(Electric energy)抑為電力(Electric power)？電力公司給與吾人之發票所註明者為瓩特抑為瓩特小時？
31. 某甲向某乙曰，彼處電力公司向電力用戶按每瓩特取費1元，試解釋其意義？
32. 在110伏脫之電源上，裝有6安之熔絲，間60瓦特之無線電機，最多能接數隻，不致燒毀熔絲。
33. 某電路烙鐵接於110伏之電源，通電5安，今使用2小時，所耗電能若干。若電力公司依每瓩特小時收費2角計算，須納電費若干？
24. 一電流熱水器，效率80%，接於110伏脫電源上時，通電3安。今欲其使1.25磅之水自攝氏20度升至沸點，問：(a)需時若干？(b)若電力公司依每瓩特小時收費十萬元計算，須納電費若干。
35. 試述克希荷夫二個基本定律。

36.　吾人運用克希荷夫定律時，設所假定之電流向，與實際不符，則計算結果將如何？



(第 23 圖)

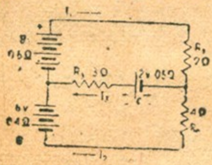


(第 24 圖)

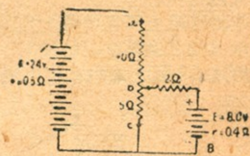
37.　求第 23 圖 R 上之電流？A B 電池各通電流若干？

38.　求第 24 圖 ABC 三電池內之電流。

39.　求第 25 圖 I_1 I_2 及 I_3 各為若干。



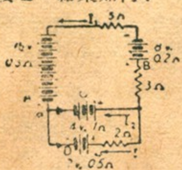
(第 25 圖)



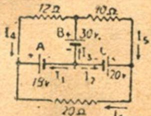
(第 26 圖)

40.　求第 26 圖通過 AB 二電池之電流各若干？移動 b 點，使電池 B 無電流通行，問此時 ab 與 bc 間之電阻各為若干，ac 間之電阻固定不變。

41.　第 27 圖所示電流 I_1 I_2 及 I_3 均流向 a 點，求各電流之安培值。設將電池 D 倒接之，結果如何？



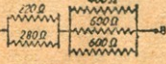
(第 27 圖)



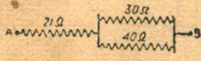
(第 28 圖)

42.　設第 28 圖 ABC 三電池之內阻均甚小而忽略之，試求各段電路上之電流及其實際流行方向。

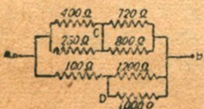
43.　求第 29 圖及第 30 圖AB間之總電阻。



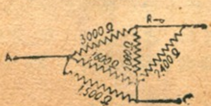
(第3—29圖)



(第3—30圖)



(第 31 圖)



(第 32 圖)

44. 求第 31 圖 ACB，ADB 及 AB 間之電阻各爲若干？

45. 求第 32 圖 AB，BC，及 AC 間之電阻各爲若干？若 C 與 A 合併，則 AB 間之電阻爲若干？

46. 茲有並聯電阻，各爲 10,20,30 歐姆，設總電流爲 2 安，求各電阻上之電流？

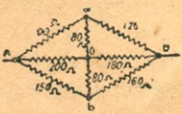
47. AB 二電阻之比爲 2：3，當其串連時，測得 A 之電壓爲 40 伏脫，求 B 之電壓？當並聯時，測得 A 之電流爲 5 安，求 B 之電流？

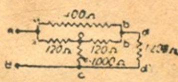
48. 今有三電阻之比爲 2：3：4，當串連時，測得 A 之電壓爲 30 伏脫。求總電壓？當並聯時，測得 C 之電流爲 8 安，求總電流？

49. 三串連電阻降壓之比爲 1：3：5，設最小之電阻爲 15 歐姆，求其餘二個電阻之阻值？

50. 三並聯電阻上所通電流之比爲 1：3：5，若通電最大之電短爲 15 歐姆，求其餘二個電阻之阻值？

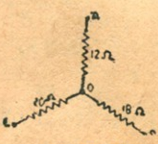
51. 試將第 33 圖之星形電阻電路化成相當之三角形電阻電路。

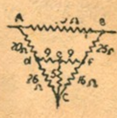

(第 33 圖)


(第 34 圖)

52. 試應用三角形與星形之互變法，求第 34 圖 AB, BC, 及 CA 間之電阻。若於 AC 間施以 10 伏脫之電壓，求在 de 一段電阻上之電流。

53. 求第 35 圖 AB 間之電阻？若於 AB 間施以 100 伏脫之電壓，求 AO 上及 OB 上之電流。


(第 35 圖)


(第 36 圖)

54. 若於第 36 圖 AB 間施以 20 伏脫之電壓，求 AB 間之電流？

55. 設第 21 圖電橋電路，各臂之電阻爲：oa 爲 5 歐姆，ob 爲 10 歐姆，ac 爲 20 歐姆，bc 爲 40 歐姆，電池電壓爲 110 伏脫，求 oa，ob 及 ab 間之電流。

56. 上題若 bc 間之電阻爲 30 歐姆，則 oa，ob 及 ab 間之電流若何？

57. 設第 22 圖 R_1 爲 2 歐姆，R_2 爲4歐姆，R_3 爲8歐姆，求I_1 I_2及I_3。

58. 當第 22 圖在平衡狀態下，R_2 可否除去。

應用題

（歐姆定律及直流電路）

1．以4歐姆之電阻絲，跨接於某一蓄電池極端之間，此時電池之端電壓爲6.08伏；求電路內電流若干安培？

2．一50瓦白熾燈之燈絲，在白熱時之電阻爲260歐姆，其兩端受有直電壓115伏，求燈絲電流？

3．某炭絲燈之燈絲，其熱電阻爲250歐姆，冷電阻爲640歐姆，若將此燈接於110伏電源綫上，則當開關啓通之一瞬間，燈絲上通有電流若干安？時間延長後，絲流又爲若干安？

4．某60瓦110伏氣體鎢絲燈之燈絲，其冷電阻爲18.4歐姆，正常工作之熱電阻爲202歐姆，問此燈在開通之初瞬間，通電流若干？正常工作時通有電流若干？

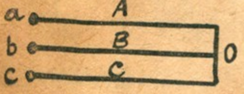
5．某繼電器之電阻爲286歐姆，須通以0.024安之電流方能工作，問此器二端應施電壓若干伏？

6．某可變電阻器之最大電阻爲2.4歐姆，最小電阻爲.84歐姆，今設通過此器之電流維持不變，卽在任何阻值均爲.284安，問此器在最大及最小電阻時，二端之降壓各爲若干伏？

7．某有綫電報繼電器之電阻爲260歐姆，工作電流應需一毫安。接於一對電報綫之遠端，電報綫之電阻爲160歐姆。問在此電報綫之近端（卽發報端）應加以若干伏之電壓方能啓動此繼器電？

8．某一繼電電路含有ABC三根導綫，在遠端處爲一跨搭鍵所短路，今在ab二端加以6伏之電壓，測得電流3安；若在bc二端加以7.2伏之電壓，測得電流3.13安；若在ac二端加以6.75伏之電壓，測得電流2.5安；問ABC三根導綫之電阻各爲若干歐姆？

（習題8）

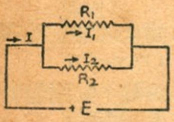


9．茲有9.4；8.6；7.9；及10.5歐姆之電阻綫四根，串連於6伏之電源上，求總電阻，電流及各電阻綫上之電壓降？

10．二並聯電阻值爲4.8歐姆及8歐姆，前者通有電流12安培，問8歐

姆電阻器上通有電流若干？

11．今有R1及R2二電阻並聯相接如附圖，電阻之比爲2比3，今知R1爲20歐姆，總電流爲0.5安，求R2；I1；I2；電壓E及總電阻R各爲若干？



12．茲有並聯電阻各爲10，20，30歐姆，總電流爲2安。求總電阻；各電阻上之電流；總電壓若干？

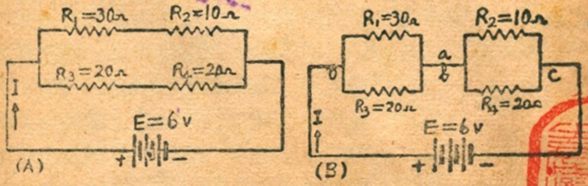
13．AB二電阻之比爲2：3，當二者串連於某電源電壓時，測得A之降壓40伏；求電阻R之降壓？當二者並聯時，測得A之電流爲5安，求B之電流？求電源電壓？求AB二電阻各若干歐姆？

14．ABC三電阻之比爲2：3：4，當串連於某電源電壓時，A之降壓爲30伏，求總電壓？當並聯時測得C通有電流8安，求總電流？求ABC三電阻各若干歐姆。

15．三串連電阻降壓之比爲 1：3：5，設最小者爲15歐姆，求其餘二者之電阻？

16．三並聯電阻上所通電流之比爲1:3:5，若通電最大之電阻爲15歐姆，求其餘二電阻之阻值？又三並聯電阻二端之降壓若干？總電阻爲若干？

（習題18）



17．某檢流表之內阻爲190歐姆，擬接一分流器，俾能分去檢流表電流之20分之19，（此檢流表應串接於電阻頗高之電路內），求此分流器之阻值應爲若干歐姆？

18．附圖（A）及（B）均爲串並聯電阻電路，茲欲求：—

㈠　圖（A）之I＝？總電阻Rt＝？各電阻上之電流？

㈡　圖（B）之I＝？0b間及bc間電壓I1＝？I2＝？I3＝？I4＝？

有

無

編

校

出

發

總

印

七 - 七月初版

每冊售價國幣　　　元