電工学講义

上册第一部分

（电路与磁路）

目　录

第一章　直流电路

§ 1.　电路的基本概念

电路的組成及电路物理量

保証电流沿以循行的集合体称为电路。近代技术中采用电路的目的可大别为二：(1) 用以传送及分配大量电能，亦即传輸电力。(2) 用以传送訊号（电信或控制訊号）。由于目的不同，因此对两类应用提出的技术要求也便不同（例如前者較多地着眼于传輸的效率，而后者較多地着眼于波形的失眞）；但是，从能量角度来看，組成电路的基本元件却不外三类：（图 1—1）

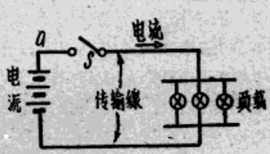


图 1-1

甲、电源：其作用是将其他形式能量轉换成电能。在电力应用情况下，电源的实例如乾电池或蓄电池（化学能变成电能），发电机（机械能变成电能），太阳电池……。在訊号传送的情况下电源的实例如各种訊号发生器、热电偶……。

乙、負載：其作用是将电能轉换成人們需要的其他形式能量以达到使用、控制或訊息传遞的目的。負載的实例如电爐（电能变成热能），电动机（电能变成机械能），电灯（电能变成热能及光能）……。

丙、联接导綫：是把电能由电源传送到負載的媒介。一般用导体构成。常用的导电材料是銅和鋁，但有时也用鋼綫或鉄綫。

电路理論的任务就是分析由这些基本元件組成的电路（在复杂电路中，这些元件的数目可能不止一个）中发生的现象，和它們所遵循的規律与計算方法。但是，如上所述，实际电路中的具体元件形形色色，种类繁多。因此，为了进行理論研究，必須首先找到各种不同电路导电过程的共同本質，加以科学抽象。列宁在哲学笔記中写道：“由具体事物提昇到抽象思維，不是更远离了眞理，而是更接近了它。哲学上的物質抽象，自然界的規律，政治經济学上的价値抽象：总之，一切正确的科学抽象把事物更忠实更完整更深刻地反映了出来。由生动的直观到抽象的思維，再由思維到实践，这就是認識眞理，認識客观现象的辯証过程。”在这里，問題也不例外，为了更完整更深刻地反映电路的本質，必須引用一些物理量来描述导电过程的特征。

先簡单地（但不甚严格地）把电路内导电的物理过程說明如下：（图 1—1）

当刀閘 S 未合下前，电路不能导电。此时由于电源內局外电場电动势的作用，电源的 a 端聚积正电荷，b 端聚积負电荷，因此 ab 两端电位不相等，存在电位差。当刀閘 S 合下后，此电位差便表现为作用在負載两端的电压，于是驅使正电荷由 a 端（高电位）經过負載內部流向 b 端（低电位）；与此同时，电源的电动势又将电荷不断从 b

端（低电位）經过电源内部驅向 a 端（高电位），这样，就构成在电路中循流的电流。电流的大小既与电动势大小有关，又与負載电阻的大小有关。

由此可見，发生在电路中的物理过程可以用电动势，电压，电流等物理量来描述，它們的严格意义已在物理学中叙述过，此处不再重复。我們現在只結合以后計算的需要，着重交代一下这些物理量的方向問題：

（甲）电动势E的方向規定为电源驅动正电荷的方向。也就是：規定从低电位到高电位的方向为电动势的方向，并用箭头表示在电路图上。換句話說：电动势箭头方向代表电位的昇高（电位昇），电动势的实用单位是伏特。

（乙）电压U的方向規定为从高电位到低电位，也就是：在电路图上电压的箭头方向表示电位的降低（电位降）。电压的实用单位也是伏特。

应該指出，虽然从物理意义上看，电动势和电压这两个概念有着本質的区别（例如，前者代表局外电場的綫积分，因此其数値与分积路径有关，而后者代表庫倫电場（靜电場）的綫积分，因此其数値与积分路径无关），但是在电路理論的范疇內，它們在数量上却都表现为两点間的电位差。因此，如果撇开物理意义不談只从数量上看，有时又称电动势 E 为电位昇，电压 U 为电位降。在实际計算工作中，常用电位昇或电位降来描述电路任意两点間电位的相对关系：

以 U_{ab} 代表从 a 点到 b 点的电位降　即 $U_{ab}=\phi_a-\phi_b$。
以 U_{ba} 代表从 b 点到 a 点的电位降　即 $U_{ba}=\phi_b-\phi_a$。
以 E_{ab} 代表从 a 点到 b 点的电位昇　即 $E_{ab}=\phi_b-\phi_a$。
以 E_{ba} 代表从 b 点到 a 点的电位昇　即 $E_{ba}=\phi_a-\phi_b$。
（双足註的次序代表方向）

由此可見：

$$E_{ab}=-E_{ba}=U_{ba}=-U_{ab} \tag{1—1}$$

分析計算电路时，这个关系很是重要。

（丙）电流I的方向在負載内为从高电位到低电位（此时負載吸收电功率），而在电源内則从低电位到高电位（此时电源輸出电功率）。这个結論是今后判断元件在电路中究系处于电源状态还是处于負載状态的基本依据。电流的实用单位是安培。

此外，描述电路导电情况时也常引用“电阻”概念。它表示电路元件对电路呈显的阻力。实用单位是欧姆。对一根材料均匀、截面也均匀的长导綫，电阻可按下式計算：

$$R=\rho\frac{l}{S}$$

式中 l 为导綫长度，S 为截面积，ρ 是一个表示材料阻碍电流能力的系数，称为电阻系数，在电路图上电阻常用图 1—3(d) 所示符号来代表。

电源的基本特性及其电路图表示

电源是产生电能的泉源，它作用在外部电路上表現出的特点常用所謂“外特性”来

描述：当电源輸出电流增加时，它的端电压一般总要相应变化；外特性就是表示电源端电压 U 与輸出电流 I 間关系 $U=f(I)$ 的（图 1—2）。它是說明供电質量的重要依据。例如，当若干电灯并联接在电源上时，如果电源外特性下垂剧烈（图 1—2 上曲綫①），則灯光将随点燃灯数的增加而迅速变暗，不能保証正常照明。換句話說，在这种情况下对电源外特性的要求应如图 1—2 上典綫②——当輸出电流增加时端电压基本不变。

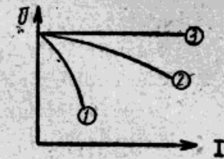
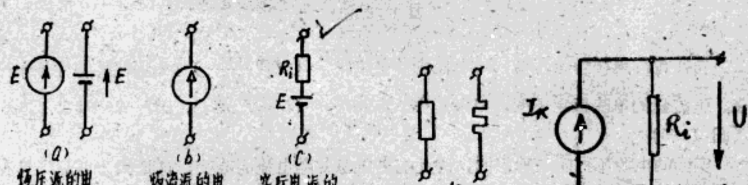


图 1-2

工业上应用的电源大都具有这种性質，称为恒压电源。理論分析时常将这一性質理想化，而引入理想恒压源（常簡称恒压源）概念。理想恒压源的特点是：不論輸出电流如何改变，端电压永远严格地維持恒定（图 1—2 上曲綫③）。

为了分析的便利研究电路时常用所謂“計算电路图”来代表实际电路。理想恒压源在电路图上的符号如图 1—3a。



(a) 恒压流的电路图符号　(b) 恒流流的电路图符号　(c) 实际电流的电路图符号　(d) 电阻的电路图符号　(e)

图 1-3

随着科学技术的发展，有时也需要另一种性質的电源：当外部負載改变时，电源輸出的电流基本恒定不变。例如，为了保証迴旋加速器內磁場严格恒定（图 1—4），必須要求通入电磁鉄綫圈中的电流严格恒定不变。将供电电源的电动势 E 保持恒定仍不能

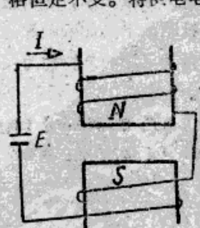


图 1-4

滿足这个要求，因为当电流通过綫圈时会引起导綫发热，从而使綫圈电阻改变，因此，根据欧姆定律，即使电压恒定不变，电流仍要改变；此时必須要求电源具有輸出电流不随負載电阻改变的特性。具有这种性質的电源称为恒流源*。

理論分析时同样把这一性質理想化，而引入理想恒流源（常簡称恒流源）概念。理想恒流源的特点是：不論外部电路如何改变，电源的輸出电流严格地維持恒定不变。在計算电路图上，理想恒流源用图 1—3 所示符号来表示。

应該注意，恒压源与恒流源有着恰成对比的特性（图 1—5）

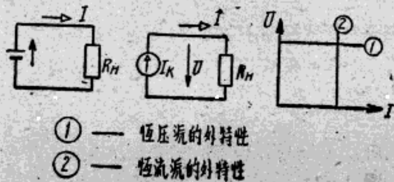


图 1—5

恒压源的电压恒定不变，但电流由外电路决定（$I=\frac{U}{R_H}$）， 因此外特性是水平綫。恒流源的电流恒定不变，但电压由外电路决定（$U=I_kR_H$），因此外特性是垂直綫（图 1—5）

实际的电源不可能是理想的，因此端电压总要随电流而改变，这是因为电源除具有电动势外，还有內阻的緣故。考慮內阻后，实际电源如应用恒压源方法则可用图 1—3*c* 所示符号来表示：电动势 E 与內阻 R_i 串联，显然当內阻 R_i 远小于負載电阻 R_H 时，电源性質便接近恒压。反之，当 $R_i \gg R_H$ 时，电源性質便接近恒流。

同样实际的恒流源其輸出电流也不可能是絕对恒定的，負載电阻的改变也总是要使电源的輸出电流发生变化。 此时电源如用恒流源的表示法表示时可用图 1—3(*e*) 的符号表示，此时电源的內阻 R_i 与一理想恒流源 I_k 相并联。

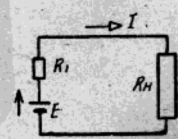
一个实际电源旣可以用恒压源方法来表示，也可以用恒流源方式来表示，它們对外电路的效应均是相等的。这可以証明如下。如令电源的端电压为 U， 輸出电流为 I，則根据恒压源［图 1—4(*a*)］可得其电源的外特性为：

---

* 構成恒流源的方法很多，这里試舉一個簡單例子：把一恒压源 E 和電阻 R_i 串联後，再接到負載電阻 R_H 上（附圖）只要 $R_i \gg R_H$，便有

$$I=\frac{E}{R_i+R_H}\approx\frac{E}{R_i}$$

可見，此時電流 I 將不隨負載電阻 R_H 改变。



$$U=E-IR_i$$

将上式变换一下卽可得

$$I=\frac{E}{R_i}-\frac{U}{R_i}=I_k-\frac{U}{R_i}$$

显然上式是恒流源所表示的外特性方程式，卽可由图 1—4(b) 的电路图表示。图中的恒定电流$I_k=\frac{E}{R_i}$，而恒流源表示法的內电阻是一并联电阻 R_i，其值卽为恒压源表示法中的串联內电阻 R_i。在并联內电阻 R_i 中的电流为 $I'=\frac{U}{R_i}$。此时电源的輸出电流为 $I=I_k-I'$，輸出电压为 U。

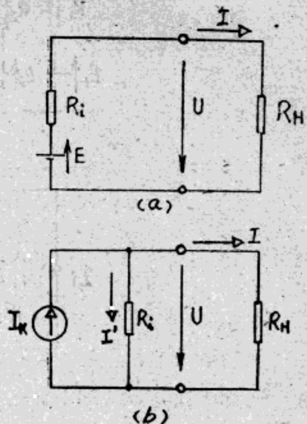


圖 1—6

图 1—4(a)(b) 两个电路对于負載电阻 R_H 来說是等效的，初学的讀者可能不習惯于图 1—4(b) 的电路，但只要仔細分析一下卽可得出这个結論。显然恒流 I_k 由两个电阻 R_i 与 R_H 来分流，

$$I'=\frac{R_H}{R_i+R_H}I_k$$

$$I=\frac{R_i}{R_i+R_H}I_k$$

当負載电阻 R_H 改变时(如減小)，則 R_i 与 R_H 中的分流比就改变（I' 減小而 I 增加）而此时負載端电压 $U=IR_H=I'R_i$ 也就随着改变（此时 U 減小）。外特性 U 与 I 的关系与恒压源表示法所得的結果是完全一样的。

由图 1—4(b) 可見，当 $R_i \gg R_H$ 时，則 $I' \ll I$，因此可以忽略 I'，卽可以取走 R_i，由而卽得理想恒流源。

由此可見，对于一个实际电源来說，其恒压源与恒流源的两种表示法可以互換。它們都可以用来表示同一个实际电源对外电路的作用*。这各互換有时可以簡化电路的計算与分析。

例 1　已知图 1—7a 中有三个电源并联（以恒压源方法表示），并已知 $R_1=R_2=R_3=1\Omega$，$R=2\Omega$ $E_1=1$ 伏，$E_2=1.5$ 伏，$E_3=2$ 伏，求 R 中的电流 I。

将三个电源均变换成恒流源表示法，如图 1—7b，图中，

$$I_1=\frac{E_1}{R_1}=1\text{ 安，}$$

* 当然对於理想恒压源与理想恒流源則上述互換是不適用的。

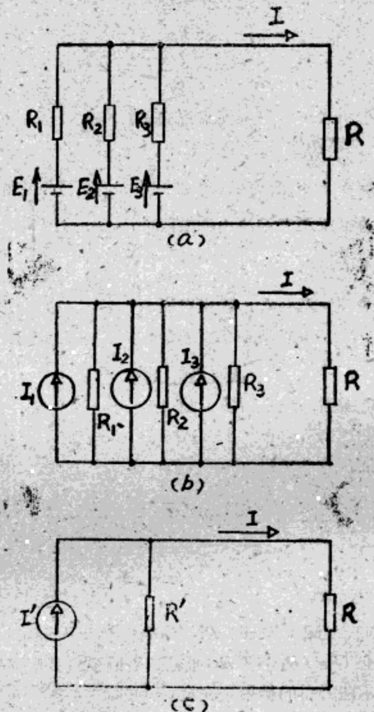


圖 1—7

$$I_2=\frac{E_2}{R_2}=1.5\ 安,$$

$$I_3=\frac{E_3}{R_3}=2\ 安,$$

由而可以进一步簡化电路如图 1—7c，卽得

$$I'=I_1+I_2+I_3=4.5\ 安,$$

$$R'=\frac{1}{6}\Omega$$

$$\therefore I=I'\frac{R'}{R+R'}=\frac{4.5}{7}\text{安}=0.643\text{ 安，}$$

由此例可見，在計算多个电源并联时的电路用恒流源表示法較为方便。

§ 2. 电路的基本規律

基本規律闡明电路物理量的內在联系，它們是：

欧姆定律——闡明一段电路两端电压与其中电流的內在联系。

克氏定律——闡明一完整电路各处电压、电流的內在联系。分别叙述于下。

欧姆定律

設 a、b 两端間接有电阻 R（图 1—8a）。如以 U_{ab} 表示由 a 点到 b 点的电位降（电压）I_{ab} 表示从 a 点到 b 点的电流，則根据实驗結果 I_{ab} 的大小与 U_{ab} 成正比，而与 ab 段内的电阻成反比。即：

$$I_{ab}=\frac{U_{ab}}{R}=\frac{\phi_a-\phi_b}{R} \qquad (1—2)$$

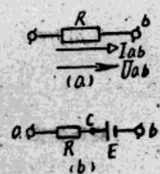


图 1—8

这就是有名的欧姆定律

实用上常将下标省略而将上式簡写成

$$I=\frac{U}{R}$$

应用（1—2）式时一定不要忘記：

(1) U 和 I 是有方向的，而且两者的假設方向必須一致，即：U 如指由 a 到 b 的电位降，則 I 必須指从 a 到 b 的电流。

(2) U 指电阻两端的电位降。例如在图 1—8b 上，我們只能說：

$$I=\frac{\phi_a-\phi_c}{R}$$

如果要把 I 表为支路两端电位 ϕ_a 与 ϕ_b 的函数，則考慮到 $\phi_c=\phi_b+E$

故
$$I=\frac{\phi_a-\phi_b-E}{R}$$

后一情况有时被称为广义的欧姆定律，在計算电路时也很重要。

广义的欧姆定律可以更一般地表示如下：在一段有电势的支路上設 ϕ_a ϕ_b 分別为支路两端的电位，I_{ab} 为由 a 端流向 b 端的电流，ΣE 为支路內全部电动势的代数和，ΣR 为支路內的全部电阻，則：

$$I_{ab}=\frac{\phi_a-\phi_b+\Sigma E}{\Sigma R} \qquad (1—3)$$

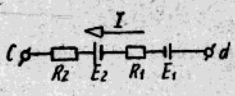


圖 1—8c

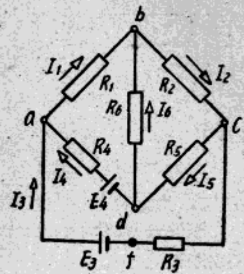


图 1-9

作用方向朝向 b 点的电动势符号为正；反之，为负。例如，对于图 1—8c：

$$I=\frac{\phi_d-\phi_c+E_2-E_1}{R_1+R_2}$$

克氏定律

叙述克氏定律之前，先介紹几个有关电路結构的名詞：在复杂电路內电流可以沿着不同的途径流动，凡是三个以上不同途径电流的会聚点称为节点，而連接两节点的部分电路叫作支路。例如在图 1—9內，a，b，c，d 是节点，而 e 和 f 点就不是节点，因为在这两点上会聚的导体少于三个。图中所示电路由六条支路組成，其中四条仅含电阻，而其余二条则包括电阻和电动势。电路中的任一閉合路綫称为迴路，如图 1—9，$abda$、$bcdb$、$adca$ 都是迴路。

克氏定律分两部分。第一定律闡明节点处諸支路电流間的关系。即：在节点处电流的代数和为零。（如以流入节点的电流为正，则流出节点的电流为負）

$$\Sigma I=0. \tag{1—4}$$

例如，对于图 1—9 的节点 a；$I_3+I_4-I_1=0$.

克氏第二定律闡述电路的任一迴路內电位昇和电位降的关系，即：当循行一迴路时，迴路內电位升的代数和恒等于电位降的代数和，

$$\Sigma E=\Sigma U \tag{1—5}$$

对直流电路来說，如 U 一律指电路两端的电压，则 $U=IR$，因此上式通常又写成：

$$\Sigma E=\Sigma IR. \tag{1—6}$$

各项符号的正負如下决定：

电动势 E 方向如与循行迴路的方向相同则为正电位升，如相反则为負电位升。

电流 I 的方向如与循行迴路的方向相同则电阻两端电压为正电位降，如相反则为

負电位降。

例如，在图 1—9 上，如沿 $adca$ 迴路循行，則得：

$$+E_3-E_4=I_3R_3-I_4R_4-I_5R_5.$$

实际上第一定律就是电流連續性的表現，第二定律就是电位单値性的表現。

克氏第二定律又常被利用来研究电路任意两点間的电位差（电位升或电位降），此时又可将定律表达为：在电路的任意两点間，总电位昇（或降）等于各段电位昇（或降）的代数和。即：

$$E_{总}=\Sigma E_{分} \text{ 或 } U_{总}=\Sigma U_{分} \tag{1—7}$$

例如，在图 1—9 上

$$U_{df}=U_{dc}+U_{ca}+U_{af}$$

$$E_{ec}=E_{ed}+E_{dc}$$

例 1—1：在計算电路时，有时不把电源画出，而只在輸入两端标以电压，如图 1—10，ge 間加有电压 U_1，de 間接有电动势 E，求 U_{gk} 等于若干？

按克氏定律 $\quad U_{gk}=U_{ge}+U_{ed}+U_{dk}.$

但 $\quad U_{ge}=U_1$，$U_{ed}=-E_{ed}=-E$，$U_{dk}=-U_{kd}=-IR_k.$

故 $\quad U_{gk}=U_1-E-IR_k.$

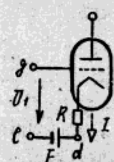


图 1-10

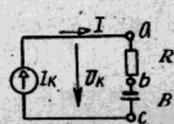


图 1-11

例 1—2：在图 1—11 电路上，求电路中的电路及恒流源两端的电压 U_k。已知 $E=100$ 伏，$I_k=10$ 毫安，$R=5$ 仟歐

因为恒流源輸出电流恒定不变，因此电路中的电流

$$I=I_k=10 \text{ 毫安。}$$

又，根据克氏定律：

$$U_k=U_{ab}+U_{bc}$$

$$=IR-E$$

$$=10\times 5-100^{*}$$

$$=-50 \text{ 伏}$$

负号說明 a，c 两端电位差的实际情况是 c 点比 a 点高 50 伏。

§ 3. 复杂电路的計算

电路分析的任务是：在电路参数及电源已知的条件下，把电路各处电压电流的分佈情况求出来。从計算方法上看，問題的核心是：假設一定数量的未知数，并根据克氏定律对这些未知数列出数量足够的独立方程式，从而解出这些未知数。根据假設未知数方法的不同，計算法可以分类如下

支路电流法

此法已在物理課上学过，它的特点是：对每一支路假設一未知电流，并将这些支路电流直接解出来。讓我們結合图 1—9 电路来說明。

步 驟 及 說 明	具 体 計 算
1. 假設未知数——每一支路設一未知电流，这些电流的方向可以任意假設，未知电流的总数等于电路內支路的数目 m。	本題共有六条支路，所以有六个未知支路电流，I_1—I_6
2. 利用第一定律列电流方程式。 如电流有 N 个节点，则可以列 $N-1$ 个独立方程，（剩下一个方程必定可由这 $N-1$ 个方程推出来），也就是說：N 个节点中只有 $N-1$ 个是独立的。	本題有 4 个节点，故可列电流方程 $(4-1)=3$ 个可以任选三个节点来列： 对 a 点：$I_3+I_4-I_1=0$ (a) 对 b 点：$I_1+I_6-I_2=0$ (b) 对 c 点：$I_2-I_3-I_5=0$ (c)

* 在 $U=IR$ 中，如 I 以毫安（10^{-3}安）为單位，R 以仟欧（10^3 欧）为單位，則電压單位为伏

（續表）

步驟及說明	具体計算
3. 利用第二定律补足尙缺的 $m-n+1$ 个方程。 此时应先选定 $m-n+1$ 个独立廻路。所謂独立廻路卽它們的电压方程式互相独立，为了保証这一点，选择廻路时应使新廻路不能由旧廻路（已写过方程的廻路）通过去除共有支路而得出。	尙缺 $6-4+1=3$ 个方程用克氏第二定律来补足。为此，选定三个独立廻路，通常習慣是：对每一網眼取一廻路，如图 1—9 所示。 对 $abda$： $E_4=I_4R_4+I_1R_1-I_6R_6$ （d） 对 $bcdb$： $0=I_2R_2+I_5R_5+I_6R_6.$ （e） 对 $adca$： $E_3-E_4=I_3R_3-I_4R_4-I_5R_5$ （f）
4. 联解所得方程式組，便可求出諸支路电流，而支路电流求得后，电流各处的电位差便可按前节的叙述求得。	从略

应該着重指出：因为电流的方向开始时是任意假設的，因此求出結果中电流可能是負数。这便意味着电流的实际方向与假設方向相反。换句話說：图上所标示的电流方向只是电流的正方向。在假設好正方向后，实际方向由数值的正負来决定。在以后进一步分析交流电路时可以看到分清正方向与实际方向这两个概念是十分重要的。

从理論上看支路电流法，虽然已能解决一切綫性电路的分析問題，但在实际工作中应用却不够便利。这一方面是由于解題时假設的未知数过多。因而計算繁瑣。另一方面也是由于所得方程組包含电流方程与电压方程两种形式，統一性不突出，因而不便于利用来作电路理論的一般推导。为了工程計算的便利这里再介紹两种电路計算法。

廻路電流法

如把上节例題的 a b c 三式改写成：

$$I_4=I_1-I_3$$

$$I_5=I_2-I_3$$

$$I_6=I_2-I_1$$

按此式的指示，把 I_4，I_5，I_6 諸支路电流人为地想象成电流 I_1，I_2，I_3 的叠加，如图 1—12a 所示， 不难看出实际电流可以想象成三个分别沿廻路 $abda$，$bcdb$，$cadc$

循行的所謂“迴路电流” i_1 i_2 i_3 叠加后的总結果（图 1—12b）。因此，我們得到簡化計算的启示：

如果解題时，不去直接求解各支路电流，而把它們用一組独立的迴路电流来代替并求解，就可以使未知数减少，从而簡化計算。事实上，只要能求出这組迴路电流，各支路电流也就迎刃而解，因为支路电流总可視为迴路电流的綫性組合。

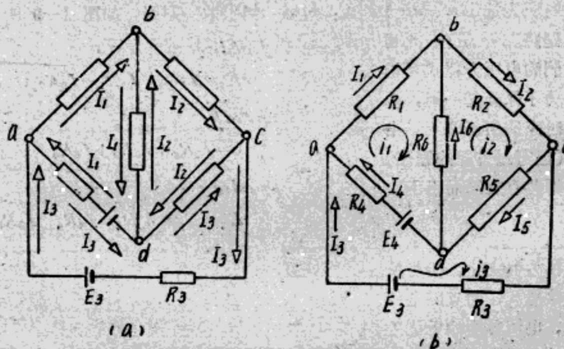


圖 1—12

对这些迴路电流列克氏方程式时，由于各节点上迴路电流总是一出一入，自动满足了第一定律，因此只要利用克氏第二定律来列电压方程。

仍結合图 1—12b 电路来說明計算步驟：

步 驟 及 說 明	具 体 計 算
1. 假定一組独立的迴路电流，并在图上标出它們的正方向。未知的迴路电流数等于 $m-N+1$.	本題中 $m=6$，$N=4$，故未知迴路电流数 $=6-4+1=3$。 通常迴路电流可以按網眼来假設
2. 按照克希柯夫第二定律列出方程式。注意点： i）列克氏方程式时宜沿回路电流环流的路徑循行，而且循行方向亦宜与迴流方向一致。 ii）电位升和电位降的正負符号規律与第二节所述一样	沿 i_1 的迴路： $i_1(R_1+R_4+R_6)-i_2R_6-i_3R_4=E_4$. (a) 沿 i_2 的迴路： $-i_1R_6+i_2(R_2+R_5+R_6)-i_3R_5=0$ (b) 沿 i_3 的迴路： $-i_1R_4-i_2R_5+i_3(R_3+R_4+R_5)=E_3$. (c)

步驟及說明	具体計算
4. 解联立方程式	求出 i_1，i_2 及 i_3 可用行列式来解。
5. 求各支路电流如所求出之数值为负数，便表明电流的眞实方向与所假定正方向相反	$I_1=i_1$，$I_2=i_2$，$I_3=i_3$ $I_4=i_1-i_3$　$I_5=i_2-i_3$　$I_6=i_2-i_1$.

可以看出在这种方法下写方程是有規則的：

i）沿某一迴路写方程时，沿該迴路循行的迴路电流应乘以該迴路中的全部电阻（称为自电阻），且此电阻为正値；而不沿該迴路循行的迴路电流則应乘以与該迴路共有的电阻（称为共电阻）；此共电阻可能为正値，亦可能为負値，視該电阻中两电流方向相同抑相反而定。

ii）方程式的另一方应为沿該迴路作用的全部电动势的代数和（称为迴路电势）

当然循行的迴路与迴路电流的迴路也可以不一致，只是此时写方程式时要更加細心愼重。

例 1—3. 用迴路法解图 1—13 电路

先在图中标出迴路电流 i_1 与 i_2 的正方向，于是

i_1 的自电阻：——$R_{11}=2+5+1+0.1=8.1\Omega$

i_2 的自电阻：——$R_{22}=1+10+2+0.1=13.1\Omega$

i_1 与 i_2 的共电阻——$R_{12}=R_{21}=-2\Omega$（因为在 2 欧电阻中 i_1 与 i_2 方向相反，故共电阻为負值）

于是列出方程：

$$8.1\,i_1-2\,i_2=2.2$$

$$-2\,i_1+13.1\,i_2=4.4$$

解　$i_2=2.391$ 安

$i_1=0.368$ 安

因此　$I_1=i_1=0.368$安，$I_2=i_2=0.391$安，$I_3=i_1-i_2=-0.23$安

有时电路的某一支路电流是已知的，这时，选择迴路电流时应該設法利用这一特点，以減少未知迴路电流的数目。