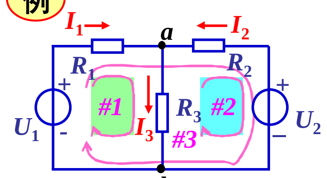
§1-8 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律
（克希霍夫定律，克氏定律）

描述电路中各部分电压或各部分电流间的关系，包括基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律两个定律。★

名词注释：
- 支路：通过同一电流的分支
- 结点：三个及以上元件的联结点
- 回路：支路组成的闭合路径

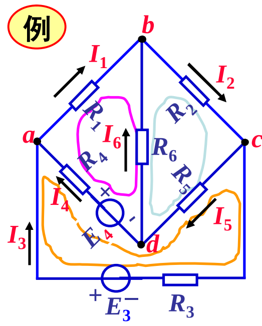
例



对平面电路，其内部不含任何支路的回路称网孔。

支路：共3条
结点：a、b（共2个）
回路：共3个
网孔：共2个

例

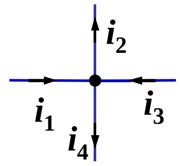


支路：共？条	6条
结点：共？个	4个
回路：共？个	7个
独立回路：？个	3个

注意　网孔数＝独立回路数

1. KCL (Kirchhoff's Current Law):

$$\sum i = 0$$



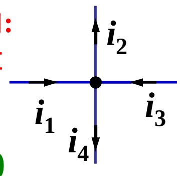
流入结点为正

$$i_1 - i_2 + i_3 - i_4 = 0$$

流出结点为正　$-i_1 + i_2 - i_3 + i_4 = 0$

注意　两套参考方向：方程和物理量

注意　两套参考方向：方程和物理量

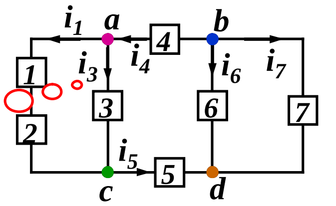


流入结点为正

$$i_1 - i_2 + i_3 - i_4 = 0$$

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

å $i_{入}$ = å $i_{出}$　　$i_1 + i_3 = i_2 + i_4$



结点a: $i_1 + i_3 - i_4 = 0$　　结点c: $-i_1 - i_3 + i_5 = 0$

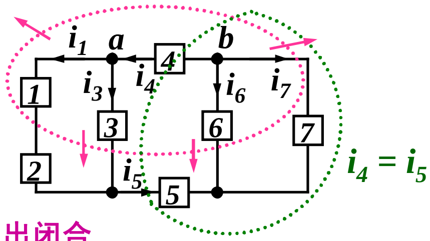
或：$i_1 + i_3 = i_4$　　或：$i_1 + i_3 = i_5$

结点b: $i_4 + i_6 + i_7 = 0$　　结点d: $i_5 + i_6 + i_7 = 0$

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

基尔霍夫电流定律的扩展

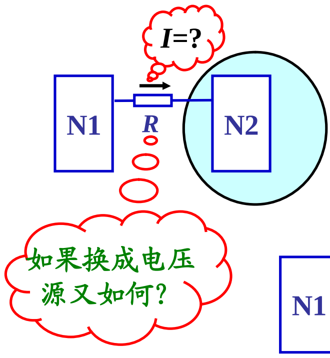
电流定律还可以扩展到电路的任意闭合面



$i_4 = i_5$

流出闭合面为正

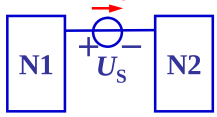
$i_1 + i_3 + i_6 + i_7 = 0$



$I=0$

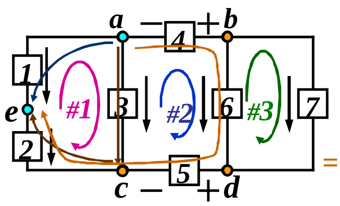
通过一个闭合面的支路电流的代数和总等于零。

$I=0$



2. KVL (Kirchhoff's Voltage Law):

$\sum u = 0$



$u_{ae} = u_1$

$= u_3 - u_2$

$= -u_4 + u_6 + u_5 - u_2$

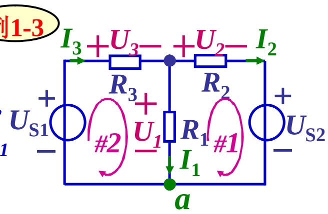
回路1: $-u_1 - u_2 + u_3 = 0 \Rightarrow u_1 = u_3 - u_2$

回路2: $-u_3 - u_4 + u_6 + u_5 = 0 \Rightarrow u_3 = -u_4 + u_6 + u_5$

回路3: $-u_6 + u_7 = 0$ 两点间电压计算和路径无关

例1-3

如图所示，电阻 R_1=1Ω，R_2=2 Ω，R_3=10 Ω，U_{S1}=3V，U_{S2}=1V，求电阻R_1两端的电压U_1。



解：对于回路1有： $-U_1 + U_{S2} + U_2 = 0$

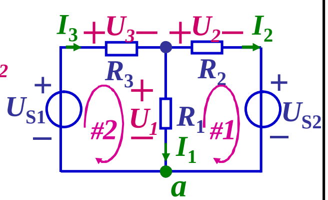
$\sum u_{降} = \sum u_{升}$ $\quad -R_1 I_1 + R_2 I_2 = -U_{S2}$

对于回路2有：$U_3 + U_1 - U_{S1} = 0$

$R_1 I_1 + R_3 I_3 = U_{S1}$

$-R_1 I_1 + R_2 I_2 = -U_{S2}$

$R_1 I_1 + R_3 I_3 = U_{S1}$



对于结点a有：

$I_1 + I_2 - I_3 = 0$

解得： $I_1 = 0.5A$

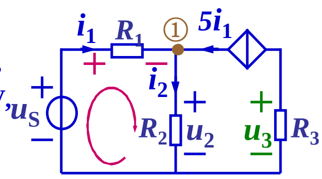
$U_1 = R_1 I_1 = 0.5V$

注意

此为支路分析法的一般过程

例1-4

R_1=2kΩ, R_2=500Ω, R_3=200Ω, u_S=12V, 求电阻R_3两端的电压u_3。

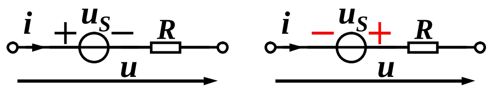


解： $\left.\begin{array}{l} u_S = R_1 i_1 + R_2 i_2 \\ i_2 = i_1 + 5 i_1 \end{array}\right\} \Rightarrow i_1 = 2.4mA$

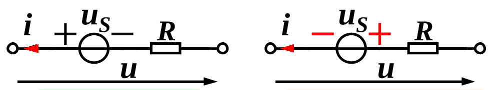
$u_3 = -R_3 \times 5 i_1 = -2.4V$

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

3. 有源支路的欧姆定律



$u = u_S + R\,i$ $\qquad$ $u = -\,u_S + R\,i$



$u = u_S - R\,i$ $\qquad$ $u = -\,u_S - R\,i$

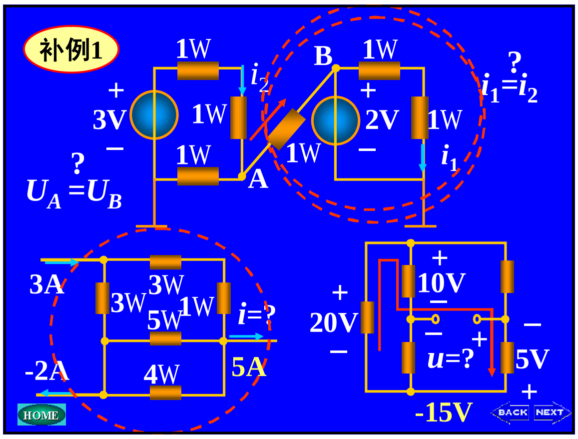
KCL、KVL小结：

①KCL是对支路电流的线性约束，KVL是对回路电压的线性约束。

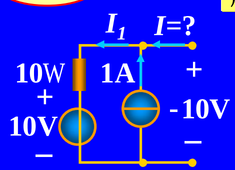
②KCL、KVL与组成支路的元件性质及参数无关。

③KCL表明在每一结点上电荷是守恒的；KVL是能量守恒的具体体现(电压与路径无关)。

④ KCL、KVL只适用于集总参数的电路。



补例2 求电流 I

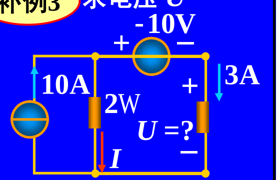


解 $10I_1 + 10 - (-10) = 0$

$I_1 = -2A$

$I = I_1 - 1 = -3A$

补例3 求电压 U

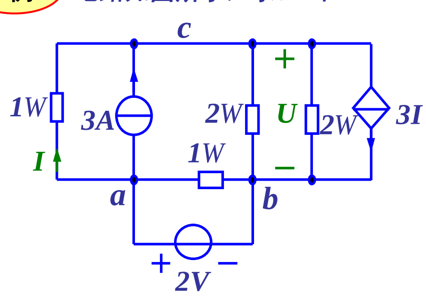


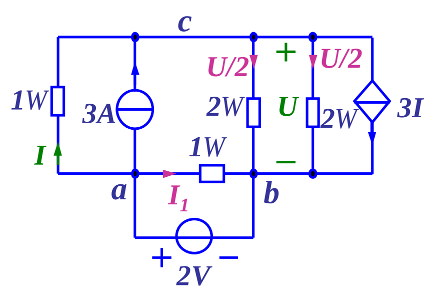
解 $I = 10 - 3 = 7A$

$-10 + U = 2I$

$U = 24V$

补例4 *电路如图所示，求：I 和 U*

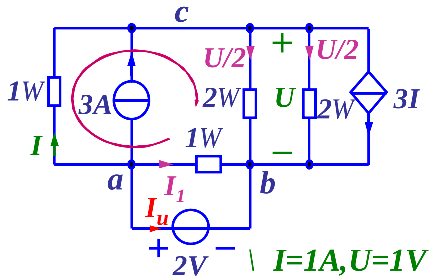




解：首先可以求出的是I_1： $I_1=2/1=2A$

列c点的KCL方程：$I+3=U/2+U/2+3I$

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

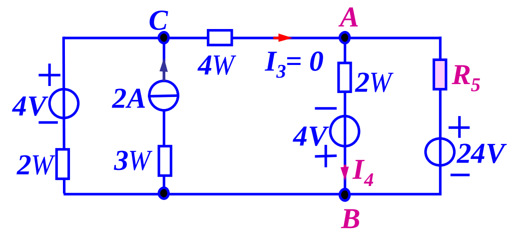


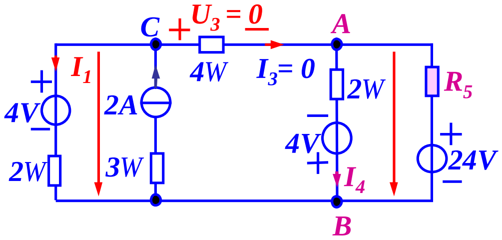
对图示回路列KVL方程：$I+U-I_1=0$

列a点的KCL方程：$I_1+\cancel{I+3}=0$ $I_1+I+3+I_u=0$

补例5

电路如图所示，已知$I_3=0$，求：U_{AB}、I_4和R_5

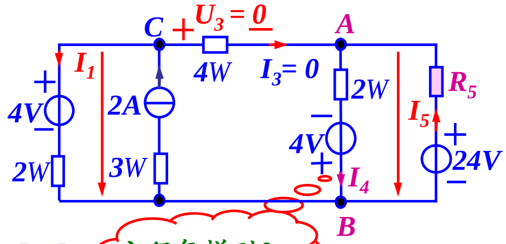




解：$I_3=0 \Rightarrow U_3=0$ $\therefore U_{AB}=U_{CB}$

对C点列 KCL：$I_1+I_3-2=0$ $\therefore I_1=2A$

有源支路的欧姆定律：$U_{AB}=4+2\times 2=8V$



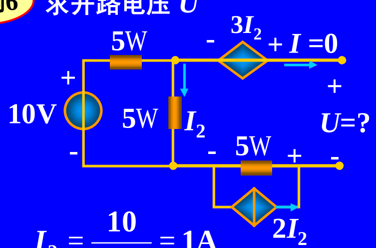
$I_5=I_4$ 方程怎样列?

$U_{AB}=2\times I_4-4$

$U_{AB}=-R_5\times I_5+24$ $\Rightarrow I_4=(8+4)/2$ $=6A$

$\Rightarrow R_5=(-8+24)/6=2.67\Omega$

补例6 求开路电压 U

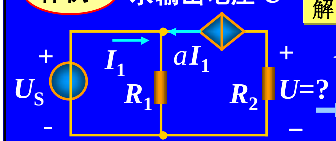


解

$$I_2=\frac{10}{5+5}=1A$$

$$U=3I_2+5I_2-5\times 2I_2=-2I_2=-2V$$

补例7 求输出电压 U



解 $U=-R_2\alpha I_1$

$I_1+\alpha I_1=U_S/R_1$

$$\Rightarrow I_1=\frac{U_S}{R_1(1+\alpha)}$$

$$\Rightarrow U=-\frac{\alpha R_2 U_S}{R_1(1+\alpha)}$$

$$\left|\frac{U}{U_S}\right|=\frac{R_2}{R_1}\frac{\alpha}{(1+\alpha)}$$

$$P_S=U_S I_1=\frac{U_S^2}{R_1(1+\alpha)}$$

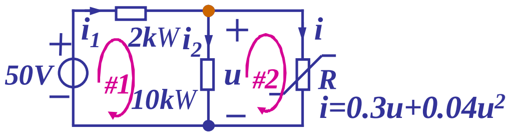
$$\left|\frac{P_o}{P_S}\right|=\frac{R_2}{R_1}\frac{\alpha^2}{(1+\alpha)}$$

$$P_o=R_2\alpha^2\frac{U_S^2}{R_1^2(1+\alpha)^2}$$

选择参数可以得到电压和功率放大。

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

补例8 求 u



解：

$$\left.\begin{aligned} 50 &= 2k\, i_1 + 10k\, i_2 \\ u &= 10k\, i_2 \\ i_1 &= i_2 + i \\ i &= 0.3u+0.04u^2 \end{aligned}\right\} \Rightarrow u = 82.27mV$$

THE END

HOME BACK

第六章 储能元件

§6-1 电容元件

§6-2 电感元件

§6-3 电容元件、电感元件的串联与并联

HOME

本章重点：

电容元件和电感元件的特性

THE END

HOME BACK

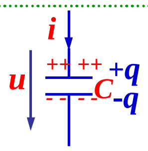
§6-1 电容元件

1. 电容 C 单位电压下存储的电荷 ★

（单位：F）

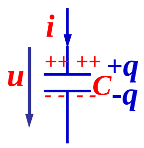
是一种能储存电荷或储存电场能量的器件。

注意 电导体由绝缘材料分开就可以产生电容



$$C = q/u$$

HOME NEXT



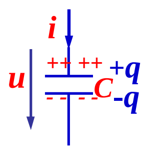
$$C = q/u$$

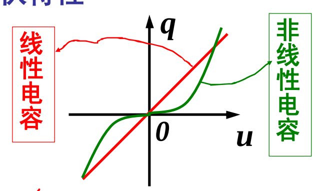
电容符号

无极性 有极性

HOME BACK NEXT

2. 电容的库伏特性





$$C = q/u = const$$

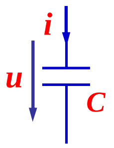
$$q = Cu$$

HOME BACK NEXT

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

3. 电容上电压、电流的关系（*VCR*）

$$q = Cu$$



$$i = \frac{dq}{dt} = C\frac{du}{dt}$$

若 $u = U$，$i = ?$

$$i = 0$$

直流电路中电容相当于断路（开路）

由 $i = \dfrac{dq}{dt} = C \cdot \dfrac{du}{dt}$ 有

$$q = \int i\,dt = \int_{-\infty}^{t} i\,dx = \int_{-\infty}^{t_0} i\,dx + \int_{t_0}^{t} i\,dx = q(t_0) + \int_{t_0}^{t} i\,dx$$

$$u = \frac{q}{C}$$

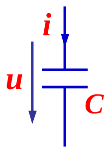
初始状态

$$u(t) = u(t_0) + \frac{1}{C}\int_{t_0}^{t} i\,dx$$

记忆元件

---

4. 电容元件消耗的功率*p*:



$$p = ui = Cu\frac{du}{dt}$$

*p*可能为负值

---

5. 电容元件吸收的电场能量为:

$$W_C(t) = \int_{-\infty}^{t} u(x)i(x)dx = \frac{1}{2}Cu^2(t) - \frac{1}{2}Cu^2(-\infty)$$

电容元件吸收的能量以电场能量的形式储存在元件的电场中。储能元件

无源元件 $W_C(t) = \dfrac{1}{2}Cu^2(t) \geq 0$

---

t_1~ t_2 电容吸收的能量

$$W_C = \frac{1}{2}Cu^2(t_2) - \frac{1}{2}Cu^2(t_1) = W_C(t_2) - W_C(t_1)$$

电容充电时；$W_C > 0$

电容放电时；$W_C < 0$

补例1 0.5mF电容的 $u_C(t) = 1 - 2e^{-2t}V\ (t \geq 0)$，求 i_C, p, W_{max}

解:

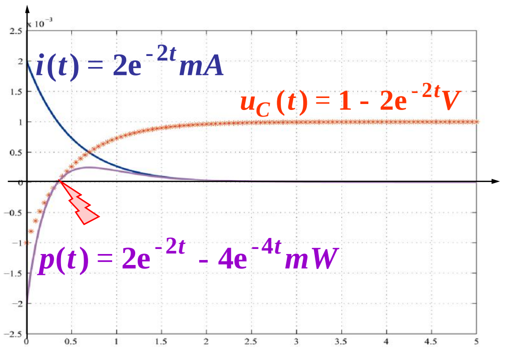
$$i_C = C\frac{du_C}{dt} = 2e^{-2t}mA$$

$$p = u_C i_C = 2e^{-2t} - 4e^{-4t}mW$$

$$W_C(t) = \frac{1}{2}Cu_C^2(t)$$

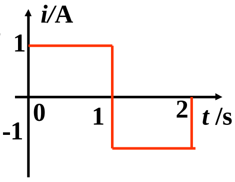
$$W_{max} = \frac{1}{2}Cu_{max}^2 = 0.25\ mJ$$

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn



补例2 已知电流求电容电压

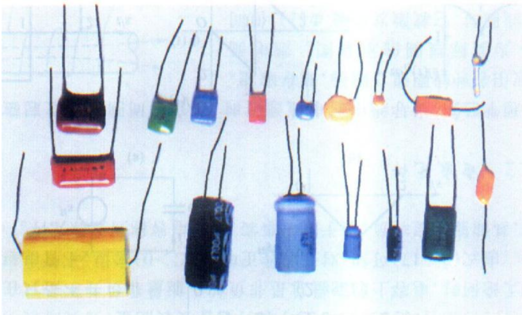
$$i(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 1 & 0 \le t < 1s \\ -1 & 1 \le t < 2s \\ 0 & t \ge 2s \end{cases}$$



$0 \le t \le 1s \quad u_C(t) = \frac{1}{C}\int_{-\infty}^{0} 0 d\xi + \frac{1}{C}\int_{0}^{t} 1 d\xi = 0 + 2t = 2t$

$1 \le t \le 2s \quad u_C(t) = u(1) + \frac{1}{0.5}\int_{1}^{t}(-1)dx = 4 - 2t$

$2 \le t \quad u_C(t) = u(2) + \frac{1}{0.5}\int_{2}^{t} 0 dx = 0$



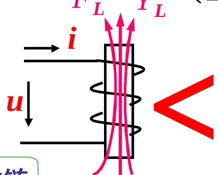
实际电容器

电力电容

§6-2 电感元件

1. 电感 L： 单位电流产生的磁通链 ★

（单位：H）



$$L = N \cdot \frac{\Phi_L}{i}$$

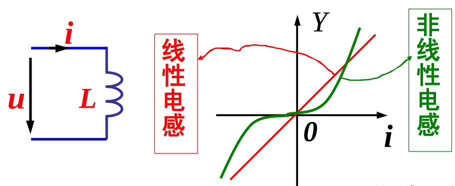
磁通

线圈匝数

磁链

$$\Psi_L = N \cdot \Phi_L = L \cdot i$$

2. 电感 L 的韦安特性



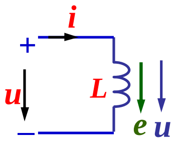
空心线圈 $L = \Psi / i = const$

$\Psi = Li$

带铁心的电感线圈

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

3. 电感中电压、电流的关系（*VCR*）



$$e=-N\frac{d\phi}{dt}=-L\frac{di}{dt}$$

$$u=-e=L\frac{di}{dt}$$

若 $i=I$，$u=?$

$u=0$

直流电路中电感相当于短路

由 $i=\frac{1}{L}\int u dt$ 有

$$i=\frac{1}{L}\int_{-\infty}^{t}u dx$$

$$=\frac{1}{L}\int_{-\infty}^{t_0}u dx+\frac{1}{L}\int_{t_0}^{t}u dx$$

初始状态

$$=i(t_0)+\frac{1}{L}\int_{t_0}^{t}u dx$$

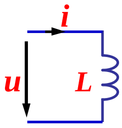
或

$$\Psi_L=\Psi_L(t_0)+\int_{t_0}^{t}u dx$$

记忆元件

---

4. 线性电感元件消耗的功率*p*:



$$p=ui=Li\frac{di}{dt}$$

*p*可能为负值

---

5. 线性电感元件吸收的磁场能量为：

$$W_L(t)=\frac{1}{2}Li^2(t)=\frac{1}{2}\frac{\psi_L^2}{L}$$

电感元件吸收的能量以磁场能量的形式储存在元件的磁场中。储能元件

无源元件 $W_L(t)=\frac{1}{2}Li^2(t)\geq 0$

---

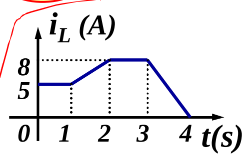
t_1~ t_2 电感吸收的能量

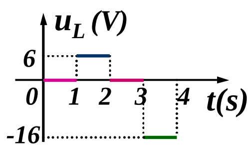
$$W_L=\frac{1}{2}Li^2(t_2)-\frac{1}{2}Li^2(t_1)$$
$$=W_L(t_2)-W_L(t_1)$$

$|i|$增加时；$W_L>0$

$|i|$减少时；$W_L<0$

补例 *2H电感电流波形如下图，求u_L*





解：

$u_L=L\frac{di_L}{dt}$

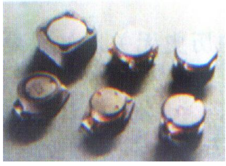
$0\leq t\leq 1s$, $i_L(t)=5A$;

$1s\leq t\leq 2s$, $i_L(t)=3t+2\ \ A$;

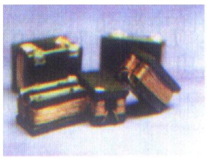
$2s\leq t\leq 3s$, $i_L(t)=8A$;

$3s\leq t\leq 4s$, $i_L(t)=-8t+32\ \ A$

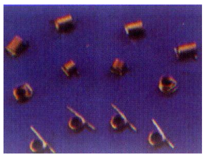
PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn




贴片型功率电感

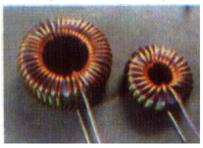



贴片电感



贴片型空心线圈

可调式电感

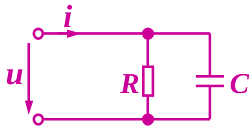


环形线圈

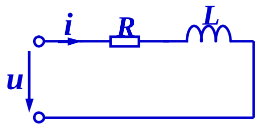
立式功率型电感


电抗器

电容器的实际模型



线圈的实际模型



§6-3 电容、电感的串联和并联

一、电容元件的串联

$$\frac{1}{C} = \sum_{k=1}^{n} \frac{1}{C_k}$$

分压公式：

$$u_k = \frac{Cu}{C_k}$$

二、电容元件的并联

$$C = \sum_{k=1}^{n} C_k$$

分流公式：

$$i_k = \frac{C_k i}{C}$$

三、电感元件的串联

$$L = \sum_{k=1}^{n} L_k$$

分压公式：

$$u_k = \frac{L_k u}{L}$$

四、电感元件的并联

$$\frac{1}{L} = \sum_{k=1}^{n} \frac{1}{L_k}$$

分流公式：

$$i_k = \frac{Li}{L_k}$$

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn