对换路时电容电压和电感电流发生跃变的情形的说明

当电路换路后，电路中存在由电压源、电容组成的回路或纯电容回路时，换路定则不再适用，各电容电压可能会跳变，此时电容电流不再是有限值。

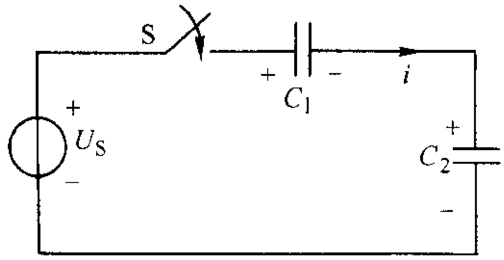
例：在如图所示电路中，已知$C_1 = 1\mathrm{F}$，$C_2 = 2\mathrm{F}$，$u_{c1}(0_-) = u_{c2}(0_-) = 1\mathrm{V}$,$U_S = 5\mathrm{V}$,在$t = 0$时，开关S闭合，求S闭合后瞬间$u_{c1}(0_+)$、$u_{c2}(0_+)$各为多少？

解：S闭合后瞬间，在$t = 0_+$时，有$u_{c1}(0_+) + u_{c2}(0_+) = U_S = 5\mathrm{V}$ (1)

电容电压必须跳变才能满足上式，若沿用换路定则就不可能满足上式。

由KCL得

$$i = C_1 \frac{du_{c1}}{dt} = C_2 \frac{du_{c2}}{dt}$$



$$C_2 \frac{du_{c2}}{dt} - C_1 \frac{du_{c1}}{dt} = 0$$

$$\int_{0_-}^{0_+} \left[C_2 \frac{du_{c2}}{dt} - C_1 \frac{du_{c1}}{dt}\right] dt = 0$$

$$C_2 u_{c2}(0_+) - C_1 u_{c1}(0_+) = C_2 u_{c2}(0_-) - C_1 u_{c1}(0_-) \quad (2)$$

式（2）表明换路前后电荷守恒，（这里出现了一个问题，是哪里的电荷守恒呢？）代入数据得

$$2u_{c2}(0_+) - u_{c1}(0_+) = 1 \quad (3)$$

联立求解(1)、(3)得

$$u_{c1}(0_+) = 3\mathrm{V}$$

$$u_{c2}(0_+) = 2\mathrm{V}$$

从计算结果可知

$$u_{c1}(0_+) \neq u_{c1}(0_-)，\ u_{c2}(0_+) \neq u_{c2}(0_-)$$

电容电压强迫跳变，电容电流不为有限值。

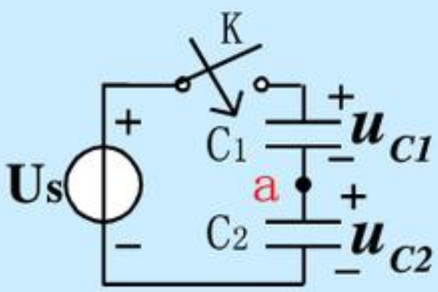
对于上面提出的问题，我们说是C_1和C_2连接的导线上任取一个节点 a，对这个节点来说，有$q_a(0+) = q_a(0-)$，下面我们来看一个直接这个式子来计算电容电压跃变的问题。

例：设 $U_{C1}(0^-)=4V$，$U_{C2}(0^-)=2V$，

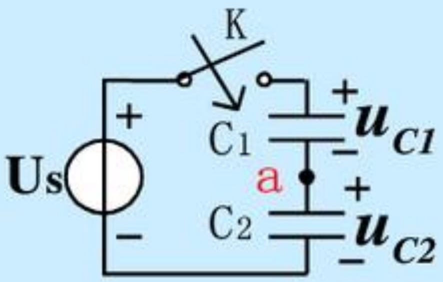
$U_S=12$，$C_1=2F$，$C_2=4F$，

开关原来打开，问**K**闭合后瞬间

$U_{C1}(0^+),U_{C2}(0^+)$。



解：电路闭合后，应满足**KVL**，即有



$$U_S=U_{C1}(0^+)+U_{C2}(0^+)$$

节点*a*电荷变换前后应保持一致　$q_a(0^+)=q_a(0^-)$

即：$-C_1U_{C1}(0^+)+C_2U_{C2}(0^+)=-C_1U_{C1}(0^-)+C_2U_{C2}(0^-)$

代入数据　$12=U_{C1}(0^+)+U_{C2}(0^+)$

$$-2U_{C1}(0^+)+4U_{C2}(0^+)=-8+8$$

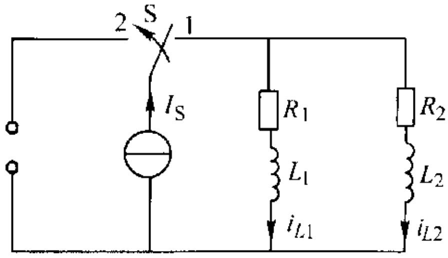
得：$U_{C1}(0^+)=8V,U_{C2}(0^+)=4V$

总结：(1)由KVL列写 0+时刻的回路电压方程；(2)列写电容连接点处的电荷守恒方程$\mathbf{q(0_+) = q(0_-)}$，求解方程组即可。

当电路换路后，电路中存在由电流源和电感组成的割集或纯电感割集时，换路定则亦不再适用，各电感电流可能要发生跳变，此时电感电压不再是有限值。

（注：割集这个概念很难，可以暂时不予以理会。）

例:如图所示电路,已知$R_1 = 1\Omega$,$R_2 = 2\Omega$,$L_1 = 2H$,$L_2 = 4H$,$I_S = 3A$,开关S原在1处已久,在$t = 0$时,开关S由1切换至2，求换路后瞬间的电感电流$i_{L1}(0_+)$、$i_{L2}(0_+)$为多少?



解：当$t < 0$时，开关S在1处已久，L_1、L_2相当于短接，则

$$i_{L1}(0_-) = I_S \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 2A$$

$$i_{L2}(0_-) = I_S \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 1A$$

在S由1切换至2后瞬间，$t = 0_+$时有

$i_{L1}(0_+) + i_{L2}(0_+) = 0$ (1)　注：KCL方程

$L_2 \frac{di_{L2}}{dt} + R_2 i_{L2} - \left[L_1 \frac{di_{L1}}{dt} + R_1 i_{L1}\right] = 0$ (2) 注：KVL方程

对式(2)从0_-到0_+积分，得

$$\left[\int_{0_-}^{0_+} L_2 \frac{di_{L2}}{dt} dt + \int_{0_-}^{0_+} R_2 i_{L2} dt\right] - \left[\int_{0_-}^{0_+} L_1 \frac{di_{L1}}{dt} dt + \int_{0_-}^{0_+} R_1 i_{L1} dt\right] = 0$$

因为i_{L2}、i_{L1}仍为有限值,（你怎么知道它们是有限值？判断依据是什么？）

且从0_-到0_+的时间间隔为无穷小，故

$\int_{0_-}^{0_+} R_1 i_{L1} dt = 0$，$\int_{0_-}^{0_+} R_2 i_{L2} dt = 0$，于是

$L_2 i_{L2}(0_+) - L_1 i_{L1}(0_+) = L_2 i_{L2}(0_-) - L_1 i_{L1}(0_-)$ (3)

式(3)表明换路前后磁链守恒。

在式(1)、(3)中代入数据，联立求解得

$$i_{L1}(0_+) = i_{L2}(0_+) = 0$$

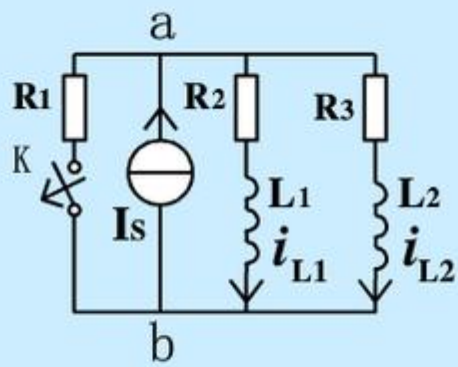
从计算结果可知，$i_{L1}(0_+) \neq i_{L1}(0_-)$，$i_{L2}(0_+) \neq i_{L2}(0_-)$。在换路前后电感电流发生强迫跳变，电感电压不为有限值。

下面我们再来看一个直接用磁链守恒来计算电感电流跳变的题目。

例：$R_1=R_2=R_3=10\Omega$ ，$L_1=2H$

$L_2=1H, I_S=6A, K$ 原来闭合，

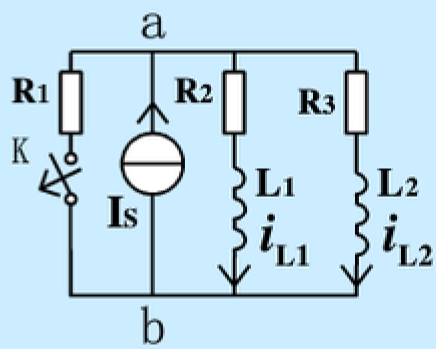
求：K打开后 $i_{L1}(0^+), i_{L2}(0^+)$。



解： $i_{L1}(0^-)=i_{L2}(0^-)=\dfrac{I_S}{3}=2A$

由KCL，开关打开后 $t=0^+$ 时

$$I_S=i_{L1}(0^+)+i_{L2}(0^+)$$



回路磁链守恒：$\psi(0^+)=\psi(0^-)$

（磁链方向与回路方向一致）

$$L_1 i_{L1}(0^+)-L_2 i_{L2}(0^+)=L_1 i_{L1}(0^-)-L_2 i_{L2}(0^-)$$

代入数据 $6=i_{L1}(0^+)+i_{L2}(0^+)$， $2i_{L1}(0^+)-i_{L2}(0^+)=4-2$

得：$i_{L1}(0^+)=8/3A$， $i_{L2}(0^+)=\dfrac{10}{3}A$

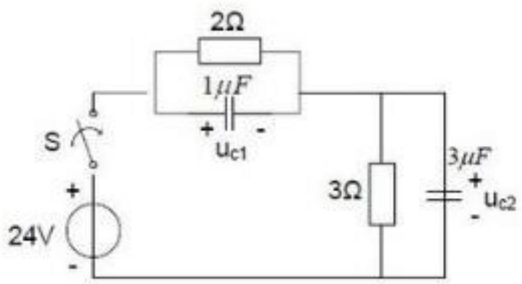
总结：(1) 由 KCL 列写 0+时刻的节点电流方程；

(2) 列写电感回路的磁链守恒方程$\psi(0_+) = \psi(0_-)$，求解方程组即可。

需要注意的是，还有一种情况是可以使电容电压和电感电流产生突变的，那就是：当激励源无限大，即激励源为冲激信号的时候。这种情况在这里我们暂时不分析，大家知道有这么个事情就可以了。

另外本 MOOC 课程中不包含电容电压和电感电流发生跳变的题目，但是需要知道有跳变的情形存在。最后附上一道发生跳变的题目。这是一道电气工程师执业资格考试的题目哦。

15. 图示电路中，t=0 闭合开关 S，且 $u_{c1}(0_-)=u_{c2}(0_-)=0$，则 $u_{c1}(0_+)$ 等于：



(A) 6V
(B) 18V
(C) 4V
(D) 0

解：选 B。此时电容电压发生突变，$\boxed{u_{c1}(0_+)=\frac{C_2}{C_1+C_2}U}=\frac{3}{1+3}\times 24=18V$。

2007 年度全国注册电气工程师（供配电）执业资格考试基础试卷（下午）答案第 7 页 共 33 页

到底电容电压会不会突变啊。。。