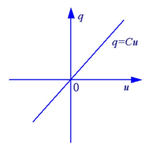
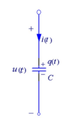
第三章

电容元件

- 我们研究线性非时变电容元件
  - q-u关系
    - $q(t)=Cu(t)$
    - $u(t)=\frac{q(t)}{C}$
    - *q-u* 关系曲线



    - $\boxed{u(t)=u(0)+\frac{1}{C}\int_0^t i(t')dt'}$
    - T0=0时：
  - c-电容元件的电容量，是与电荷量q、电压U无关的常量
  - 单位法拉F、微法uF（10^-6）、nF（10^-9）、pF（10^-12）
  - 电容对直流相当于开路，具有隔直流的作用
  - 线性电容元件的U-I关系
    - ◆ *u*、*i*取一致参考方向
    - $i(t)=\frac{dq(t)}{dt}$，$q(t)=Cu(t)$ → $\boxed{i(t)=C\frac{du(t)}{dt}}$
    - 微分关系　　动态元件
    - 非一致参考方向时，结果取负即可
  - 积分形式
    - **积分形式**
    - $u(t)=\frac{1}{C}\int_{-\infty}^t i(t')dt'$
    - $=\frac{1}{C}\int_{-\infty}^{t_0} i(t')dt'+\frac{1}{C}\int_{t_0}^t i(t')dt'$
    - $=u(t_0)+\frac{1}{C}\int_{t_0}^t i(t')dt'$
    - $u(t_0)$——电容电压的初始值 (initial value)



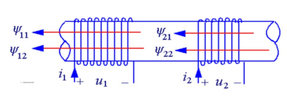
  - 基本性质
    - 电容元件具有记忆特性
    - 电容电流为有限值，电容电压不跳变
    - 电容元件是储能元件
    - 电容元件是无源元件
  - 能量
    - $W(t)=\frac{1}{2}Cu^2(t)$
    - 若电容的初始储能为0，则任意时刻t储存在电容中的能量为：
  - 电容元件的串联和并联
    - 两个初始电压为零的电容元件串联
      - $C=\frac{C_1C_2}{C_1+C_2}$
    - 两个初始电压为零的电容元件并联
      - $C=C_1+C_2$

耦合电感元件

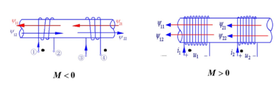
- 电感和电容的对偶关系

电　容	电　感
$q(t)=Cu(t)$	$\psi(t)=Li(t)$
$i=C\frac{du}{dt}$	$u=L\frac{di}{dt}$
$u(t)=u(t_0)+\frac{1}{C}\int_{t_0}^t i(t')dt'$	$i(t)=i(t_0)+\frac{1}{L}\int_{t_0}^t u(t')dt'$
$W(t)=\frac{1}{2}Cu^2(t)$	$W(t)=\frac{1}{2}Li^2(t)$

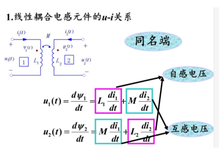
- 自感磁通链和互感磁通链
  - i1在线圈1中产生自感磁通链11，其中一部分与线圈2交链，即互感磁通链21
  - i2在线圈2中产生自感磁通链22，其中一部分与线圈1交链，即互感磁通链12



  - 总磁通链
    - $\psi_1(t)=\psi_{11}(t)+\psi_{12}(t)$
    - $\psi_2(t)=\psi_{22}(t)+\psi_{21}(t)$
    - $\psi_{11}(t)=L_1i_1$　$\psi_{22}(t)=L_2i_2$
      - 自感系数取正
    - $\psi_{12}(t)=M_{12}i_2$　$\psi_{21}(t)=M_{21}i_1$
      - 两个线圈产生的磁场相互加强取正，否则取负
    - $\psi_1(t)=L_1i_1+Mi_2$
    - $\psi_2(t)=L_2i_2+Mi_1$
      - M的正负与电流方向和线圈绕行方向有关
      - M可正可负
- 同名端
  - 两个端点：当两个电流各自从分属于两个线圈的这两端流入，它们所产生的自感磁链与互感磁链相互加强，这两个端点就是同名端，用.或者*表示



- 耦合系数
  - k表示两个线圈的耦合程度
    - $k=\sqrt{\frac{\psi_{12}\psi_{21}}{\psi_{11}\psi_{22}}}=\sqrt{\frac{Mi_2Mi_1}{L_1i_1L_2i_2}}=\frac{|M|}{\sqrt{L_1L_2}}\le 1$
    - $k\to 1$：紧耦合　　$k=1$：全耦合
    - k 远小于1：松耦合
- 线性耦合电感元件



  - M的正负与电压电流的参考方向是否一致无关，它只与同名端有关，当电流都从同名端流入或流出，M为正，反之为负。
- 结论
  - 耦合电感元件中自感恒为正，互感可以为负
  - 判断M是正还是负只需要看两电感元件的电流的参考方向是否是由同名端进入或离开元件的，是则为正，不是则为负
  - 如果电感元件2中没有电流通过，则元件2中无自感电压，元件1中无互感电压，此时假设电感元件的电流与其电感电压为一致参考方向

初始条件和初始状态

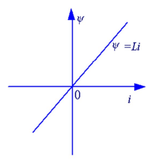
- 过渡状态
  - 电路由一个稳态过渡到另一个稳态需要经历的过程（瞬态、暂态）
  - 产生过渡状态的原因：1.电路内部含有储能元件L\M\C，能量的储存和释放都需要一定的时间来完成 2.电路结构发生变化
- 换路定则
  - **当电容电流为有限值时**
    - $u_C(0_+)=u_C(0_-)$
    - $q(0_+)=q(0_-)$
  - **当电感电压为有限值时**
    - $i_L(0_+)=i_L(0_-)$
    - $\psi(0_+)=\psi(0_-)$
- 原始状态
  - **独立的$u_c(0_-)$、$i_L(0_-)$或$q(0_-)$、$\Psi(0_-)$的数值的集合称为电路的原始状态(initial state)**
- 初始状态
  - **独立的$u_c(0_+)$、$i_L(0_+)$或$q(0_+)$、$\Psi(0_+)$的数值集合称为电路的初始状态(original state)**
- 零状态：零原始状态
- 求初始值的具体步骤
  - **求初始值的具体步骤：**
    - **1）由换路前 t=0⁻时刻的电路（一般为稳定状态）求$u_C(0_-)$或$i_L(0_-)$；**
    - **2）由换路定律得$u_C(0_+)$和$i_L(0_+)$；**
    - **3）画 t=0₊ 时刻的等效电路： 电容用电压源替代，电感用电流源替代（取 0_+ 时刻值，方向与原假定的电容电压、电感电流方向相同）；**
    - **4）由 0_+ 电路求所需各变量的 0_+ 值。**

动态元件和动态电路导论

- 动态元件
  - 伏安关系是微分或积分的元件
    - 电容元件
    - 电感元件
    - 耦合电感元件
- 动态电路
  - 含有动态元件的电路，描述电路的方程是以电压、电流为变量的微分方程

电感元件

- 我们讨论线性时不变电感元件
  - 单位:亨利H，毫亨mH，微亨uH
- *ψ-i* 关系曲线
  - X线性电感元件的



- 线性电感元件的U-i关系
  - ➢*u*、*i*取一致参考方向
  - $e=-\frac{d\psi}{dt}$，$u=-e$，$\psi=Li$ → $\boxed{u(t)=L\frac{di(t)}{dt}}$
  - 非一致参考方向时，结果取负就可以
- 电感对直流（稳态）相当于短路
- 积分形式
  - $i(t)=\frac{1}{L}\int_{-\infty}^t u(t')dt'$
  - $=\frac{1}{L}\int_{-\infty}^{t_0} u(t')dt'+\frac{1}{L}\int_{t_0}^t u(t')dt'$
  - $=i(t_0)+\frac{1}{L}\int_{t_0}^t u(t')dt'$
  - $i(t_0)$——电感电流的初始值
  - $\boxed{i(t)=i(0)+\frac{1}{L}\int_0^t u(t')dt'}$
  - t0=0时，
- 基本性质
  - 电感元件具有记忆特性
  - 电感电压为有限值，电感电流不跳变
  - 电感元件是储能元件
  - 电感元件是无源元件
- 能量：若电感元件的初始储能为零，则任意时刻t储存在电感中的能量为：
  - $W(t)=\frac{1}{2}Li^2(t)$
- 电感元件的串联和并联
  - 两个初始电流为零的电感元件串联
    - $L=L_1+L_2$
  - 两个初始电流为零的电感元件并联
    - $L=\frac{L_1L_2}{L_1+L_2}$

动态电路的输入-输出方程

- 输入：作为输入激励的电压或电流
- 输出：作为待求响应的电压或电流
- 输入输出方程：联系输入变量和输出变量之间关系的单一变量微分方程
- 时域分析步骤
  - 1.根据KVL、KCL和元的VCR列写电路的微积分方程组
  - 2.导出以某一变量表示的微分方程
  - 3.根据换路前和换路后的瞬时的电路，确定电路的初始状态和解微分方程时所需的初始条件
  - 4.求解微分方程
  - 5.对求出的解进行分析，归纳出带结论性的、具有普遍意义的概念。
- 结论
  - 电路中含有几个独立的储能元件，所列的微分方程就是几阶微分方程
  - 针对同一个电路，采用不同的变量作为求解变量，所得到的微分方程所对应的特征方程均相同
  - 特征方程只与电路自身的参数和结构有关