第八章 线性动态电路暂态过程的时域分析

1. 换路定律与电容串并联

<1>: 不满足换路定律的情况: ① 换路后存在纯电容割集 (因此求不方便，更多试题之?)

② 换路后存在纯电容回路 (可能含电压源)

③ 电路存在冲激电源

<2>: 有多个电容串/并联: ① 满足换路定律

a. 等效为一个电容 C_{eq} $\tau = C_{eq}\cdot R_{eq}$

b. 求出 $U_{eq}(0^-)$ —— 串联: ΣU_i；并联: $C_{eq}U_{eq} = \Sigma C_iU_i$

c. 求出 $U_{ceq}(\infty)$，由三要素得 $U_{ceq}(t)$

d. $i = C_{eq}\cdot\frac{dU_{ceq}}{dt}$. $U_i = \frac{1}{C_i}\int_0^t i\,d\tau + U_i(0^+)$

切断其他支路电流时，若电路存在较大电阻，可能在开关两端产生巨大电压，需防止该现象

① 在大电阻两端并小电阻，将其短路

② 在开关两端并电容 (∴ U_c 故不会突变)

② 不满足换路定律

a. 相连两极板间电荷守恒 (注意极板带正负电)

$\pm C_1U_1(0^-) \pm C_2U_2(0^-) = \pm C_1U_1(0^+) \pm C_2U_2(0^+)$

b. 不满足说明存在纯电容回路，用KVL求 $U(\infty)$

c. 电源置零，将电容串并联等效，求 $\tau = C_{eq}R_{eq}$

d. 对各个电容用三要素

2. 冲激响应与阶跃响应

<1>: 阶跃响应是阶跃电源作用下的零状态响应，故单位阶跃响应也是

<2>: 单位阶跃响应 $s(t)$ 的量纲为 元/电阻/电导 意味着可根据相应单位(分母)的阶跃激励求得相应单位(分子)的阶跃响应

<3>: 矩形脉冲波 $\varepsilon(t)-\varepsilon(t-t_0)$ 面积为1，即脉冲强度为1

<4>: 激励/响应波形分段给出时，首先分别求得各段表达式，然后乘单位元"1"，即 $t_1\sim t_2$ 段的表达式乘 $\varepsilon(t-t_1)-\varepsilon(t-t_2)$

<5>: $\varepsilon(t)$ 可用于扩展时间区域 / 对非连续函数求导

<6>: $s(t)$ 的求法：可令激励为 $\varepsilon(t)$，即按1V直流电压/电流源计算响应，最后乘 $\varepsilon(t)$

<7>: 冲激响应的两种计算方式:

① 算初始值，然后按零输入 (需先等效为戴维南/诺顿电路)

a. $i_s = Q\delta(t)$ 作用于 RC并联电路，$U_c(0^+) = \frac{Q}{C} + U_c(0^-)$

b. $U_s = \Psi\delta(t)$ 作用于 RLUs 串联电路，$i_L(0^+) = \frac{\Psi}{L} + i_L(0^-)$

② 令激励为 $\varepsilon(t)$，求得 $s(t)$，因为 $h(t) = \frac{ds(t)}{dt}$，再乘冲激强度

出现阶跃引入 $\varepsilon(t)$ 及其导数 $\delta(t)$ 等

<4>: $\delta(t)$的一个重要性质筛分性:

$$\begin{cases} f(t)\delta(t) = f(0)\cdot\delta(t) \\ f(t)\cdot\delta(t-t_1) = f(t_1)\cdot\delta(t-t_1) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\delta(t)\,dt = f(0) \\ \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\delta(t-t_1)\,dt = f(t_1) \end{cases} \quad \int_{-\infty}^{+\infty}\delta(t)\,dt = 1$$

3. 一阶电路三要素公式

<1>: 强制分量: 由激励决定，变化规律与激励相同（特解）

自由分量: 与激励电源无关，决定于电路结构与元件参数，但是值与激励电源有关（通解）

反映于 $H(s)$ 的极点位置

<2>: 暂态分量: 随时间衰减（周期激励称稳态分量）

稳态分量: 随时间一直存在

<3>: 三要素公式: $f(t) = f_p(t) + [f(0_+) - f_p(0_+)]e^{-t/\tau}$

$f_p(t)$ 为特解，通常用强制分量（大多是稳态解）来作为

特别地，激励为直流/阶跃电源时，稳态响应为常数

~~$f_p(t)=$~~ $f(t) = f(\infty) + [f(0_+) - f(\infty)]e^{-t/\tau}$

<4>: 强制分量对应表: 激励为 $g(t)$

$g(t)$	$f_p(t)$
K	A
Kt	$A+Bt$
Kt^2	$A+Bt+Ct^2$
$Ke^{-bt}\ (b\neq\frac{1}{\tau})$	Ae^{-bt}
$Ke^{-bt}\ (b=\frac{1}{\tau})$	Ate^{-bt}
$K\cos(\omega t+\varphi)$	$A\cos(\omega t+B)$

代入后对比系数即可

4. 二阶电路

复频域更方便　对于(并联) RLC 串联电路，$\alpha = \frac{R}{2L}$ 为衰减系数

$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ 为谐振角频率

注: ① 时域法，三要素求出的是 $t>0$ 时的响应，对于 $t=0$ 时的非连续点（有可能0时刻为0，也可能有初始值跳变）要引入 $\varepsilon(t)$ 或 $\varepsilon(-t)$ 等，才能求得 $t=0$ 处可能的 $\delta(t)$

② 建议将注时域法，使用复频域分析，最后作拉氏逆变换才可直接得到 $t=0$ 处可能存在的 $\delta(t)$，甚至 $\delta'(t)$ 等

这就完成了 $t>0$ 的求解，$t<0$ 时自然为之前的状态/天然满足

第九章 线性动态电路暂态过程的复频域分析

1. 拉氏变换

<1>: 定义: $f(t) \to F(s) = \int_{0_-}^{+\infty} f(t) e^{-st} dt$

<2> 基本性质: ① 微分: $\mathcal{L}\{f(t)\} = F(s)$, $\mathcal{L}\{\frac{df(t)}{dt}\} = sF(s) - f(0_-)$

推论: $\mathcal{L}\{f^{(n)}(t)\} = s^n F(s) - s^{n-1} f(0_-) - s^{n-2} f^{(1)}(0_-) - \cdots - f^{(n-1)}(0_-)$

② 积分: $\mathcal{L}\{f(t)\} = F(s)$, $\mathcal{L}\{\int_{0_-}^{t} f(\xi) d\xi\} = \frac{1}{s} F(s)$

③ 延迟: $\mathcal{L}\{f(t)\} = F(s)$, $\mathcal{L}\{f(t-t_0)\varepsilon(t-t_0)\} = e^{-st_0} F(s)$

<3>: 常用变换: ① $\mathcal{L}\{\varepsilon(t)\} = \frac{1}{s}$　　$\mathcal{L}\{A\} = \frac{A}{s}$

② $\mathcal{L}\{e^{at}\} = \frac{1}{s-a}$

③ $\mathcal{L}\{\delta(t)\} = 1$

④ $\mathcal{L}\{\delta'(t)\} = s$

⑤ $\mathcal{L}\{t^n e^{-at}\} = \frac{n!}{(s+a)^{n+1}}$

<4>: $\mathcal{L}^{-1}$ 的部分分式展开:

① 有复根时, 设对应部分为 $\frac{A}{s-p} + \frac{A^*}{s-p^*}$

设取其中一个 $p = \alpha + j\beta$, $A = |A|\angle\theta$

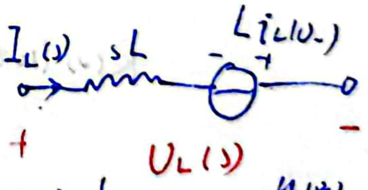
$f(t) = \mathcal{L}^{-1}\{\ \} = 2|A| e^{\alpha t} \cos(\beta t + \theta)$

② 有重根时, 先乘 $(s-p_n)^n$, $s \to p_n$ 求 B_n

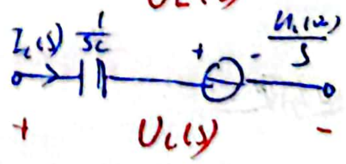
再对式子求一次导, $s \to p_n$ 求 B_{n-1}

2. 复频域模型

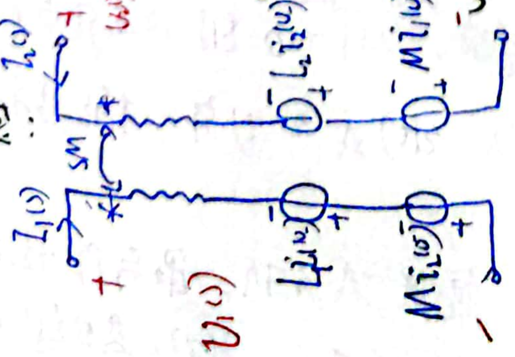
<1>: 电感: $U_L(s) = sL\, I_L(s) - L i_L(0_-)$



<2>: 电容: $U_C(s) = \frac{1}{sC} I_C(s) + \frac{u_C(0_-)}{s}$



<3>: 互感:



电感内附加电压源的方向与对应电流成非关联

互感附加电压源的方向与对应电流相对同名端相反

3. 网络函数

<1> 求法：① 求 $Y(s)$，$X(s)$ 作比

② 求响应与激励的微分方程，作拉氏变换

③ 先求 $h(t)$，再作拉氏变换

<2> 一个关系：$H(s) = \mathcal{L}\{h(t)\}$

<3> 极点与分量：$Y(s) = H(s) \cdot X(s) = \frac{N(s)}{D(s)} \cdot \frac{P(s)}{Q(s)}$

① $D(s)$ 的极点来自于 $H(s)$，反应网络自身的性质，为自由分量（通解）

② $Q(s)$ 的极点来自于 $X(s)$，与激励规律相同，为强制分量（特解）

<4> 两域关系：用 $j\omega$ 代替 s 所得 $H(j\omega)$，但 $H(j\omega)$ 只能反映稳态，无法反映暂态

激励为正弦时，$\therefore H(j\omega)$ 为稳态解（∵稳态时响应与激励频率相同）

<5> 网络函数与全响应：① 网络函数描述的是无源、无状态的网络性质

② $Y(s) = H(s) \cdot X(s)$ 得到的是零状态响应

其中包括自由分量与强制分量，分别反映于 $D(s)$，$Q(s)$

③ 当网络有状态时，还需计算零输入响应，其中只有

自由分量，可根据 $D(s)$ 极点形式得出含待定系数的自由分量，

再根据初始条件求解

第七章 频率特性和谐振现象
↳ 端口电压电流同相位

1. 网络函数与频率特性

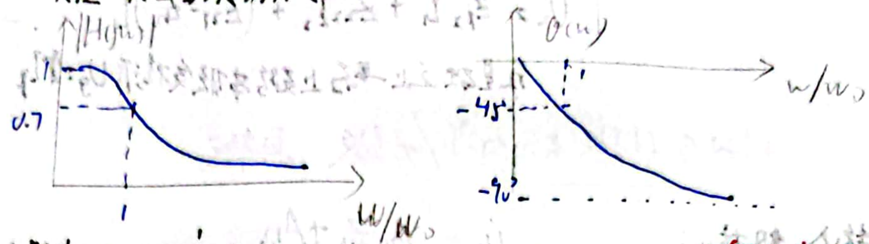
<1>: 定义：正弦电路中 响应 / 激励，$H(j\omega) \overset{def}{=} \frac{\dot{Y}}{\dot{X}}$

<2>: 特点：由网络本身决定

<3>: 频率特性：包括幅频特性，相频特性

对于RC电路，以$\dot{U}_C$为响应 $|H(j\omega)| = U_C/U$ $\theta(\omega) = \psi_C - \psi$

反应 响应与激励幅值比　　反应 响应与激励相位差



<4>: 一个参量：RC电路中 $\omega_0 = \frac{1}{RC}$ 称为RC电路的固有频率 / 自然频率（一般的定义为H(1)的起点）

<5>: 几种网络：低通、高通、带通、带阻

<6>: 截止频率：$|H(j\omega)|$ 下降为 $\frac{1}{\sqrt{2}}|H(j\omega)_{max}|$ 所对应的频率

2. 串联谐振电路 (电压谐振)

研究 R, L, C 串联

<1>: 阻抗：$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} \Rightarrow Z = R$，呈阻性

<2>: 电流：$\dot{I}_0 = \frac{\dot{U}}{Z} = \frac{\dot{U}}{R}$，达到最大

<3>: 电压：$|\dot{U}_L| = |\dot{U}_C|$ (二者相互抵消) $= Q \cdot |\dot{U}|$ (信号被放大Q倍)

<4>: 几个参量：① 谐振角频率 (RLC)：$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

② 特性阻抗：$\rho = \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \sqrt{\frac{L}{C}}$

③ 品质因数：$Q = \frac{\rho}{R}$

<5>: 频率特性：① $H_R(j\omega)$：以$\dot{U}_R$为响应

带

带通：$\Delta\omega = \frac{\omega_0}{Q}$

超前滞后：$\omega/\omega_0 < 1$，超前　$\omega/\omega_0 > 1$ 滞后

② $H_C(j\omega)$：以$\dot{U}_C$为响应

低通：

滞后网络

③ $H_L(j\omega)$ 以$\dot{U}_L$为响应

高通

超前

④ 以U_{LC}为响应时 为带阻网络：$\omega/\omega_0 = 1$时 $|H(j\omega)| = 0$

扫描全能王 创建

3. 并联谐振电路

研究 G,C,L 并联 和 R,L串联再与C并联

<1>导纳：模最小，为G

<2>电压：达到最大，$U_0=\frac{I}{Y}=\frac{I}{G}$

<3>电流：在电感电容中产生较大电流

<4>谐振角频率：$w_0=\frac{1}{\sqrt{LC}}$

<5>谐振阻抗：$R_0=\frac{1}{Y}=\frac{R^2+w_0L^2}{R}=\frac{L}{RC}$

<6>谐振角频率：$w_0=\sqrt{\frac{1}{LC}-\frac{R^2}{L^2}}$

第一章 电路元件与电路基本定律

1. 功率：UI 关联参考方向 代表吸收功率，UI 非关联参考方向代表发出功率

对电源 常取 非关联，其余取 为关联

2. 电容：<1>基本：$q=CU$　　$1F=10^6\mu F=10^{12}pF$

$i=\frac{dq}{dt}=C\frac{du}{dt}$ (关联参考方向)　　$u=u(t_0)+\frac{1}{C}\int_{t_0}^{t}i(\xi)d\xi$

$W_C=\frac{1}{2}CU^2=\frac{q^2}{2C}$

<2>串并联：①并：$C_{eq}=\sum_{i=1}^{n}C_i$

②串：$\frac{1}{C_{eq}}=\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{C_i}$

3. 电感：<1>基本：$\psi=L\cdot i$　　$1H=10^3mH=10^6\mu H$

$u=\frac{d\psi}{dt}=L\frac{di}{dt}$ (关联参考方向)　　$i=i(t_0)+\frac{1}{L}\int_{t_0}^{t}u(\xi)d\xi$

$W_m=\frac{1}{2}Li^2=\frac{\psi^2}{2L}$

<2>串并联：①并：$\frac{1}{L_{eq}}=\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{L_{eq}}$

②串：$L_{eq}=\sum_{i=1}^{n}L_i$

电源：U_s置零 相当于开个短路，I_s置零 相当于开路

U_s可开路　　I_s可短路

结构：b 支路，n 节点

独立节点：$n-1$　　独立回路：$b-(n-1)$

为保证独立行，可选网孔 或 每次搭选一回路时，至少包含一个新支路

第十章 二端口网络

1. 四种常用参数矩阵

<1>: Y参数（导纳参数）

$$\begin{pmatrix}\dot I_1\\ \dot I_2\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}Y_{11}&Y_{12}\\ Y_{21}&Y_{22}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\dot U_1\\ \dot U_2\end{pmatrix}$$

<2>: Z参数（阻抗参数）

$$\begin{pmatrix}\dot U_1\\ \dot U_2\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}Z_{11}&Z_{12}\\ Z_{21}&Z_{22}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\dot I_1\\ \dot I_2\end{pmatrix}$$

<3>: A参数（传输参数）

$$\begin{pmatrix}\dot U_1\\ \dot I_1\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}A_{11}&A_{12}\\ A_{21}&A_{22}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\dot U_2\\ -\dot I_2\end{pmatrix}$$

<4>: H参数（混合参数）

$$\begin{pmatrix}\dot U_1\\ \dot I_2\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}H_{11}&H_{12}\\ H_{21}&H_{22}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\dot I_1\\ \dot U_2\end{pmatrix}$$

2. 参数求法

<1>: Y参数：① 定义法：对应支路短路，$\dot U_i=0$

② 节点电压法：对比参数 ✗

<2>: Z参数：① 定义法：对应支路开路，$\dot I_i=0$

② 回路电流法：对比参数 ✗

<3>: A参数与H参数：① 定义法：对应支路开路/短路

② 求Z，Y参数后整理方程（节点电压/回路电流）

3. 互易性与对称性

<1>: Y参数：① 互易：$Y_{12}=Y_{21}$ ② 对称性：$\begin{cases}Y_{12}=Y_{21}\\ Y_{11}=Y_{22}\end{cases}$

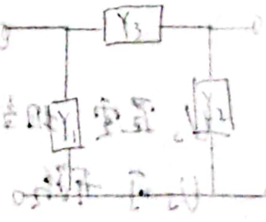
<2>: Z参数：① 互易：$Z_{12}=Z_{21}$ ② 对称性：$\begin{cases}Z_{12}=Z_{21}\\ Z_{11}=Z_{22}\end{cases}$

<3>: A参数：① 互易：$\Delta A=1$ ② 对称：$\begin{cases}\Delta A=1\\ A_{11}=A_{22}\end{cases}$

<4>: H参数：① 互易：$H_{12}=-H_{21}$ ② 对称：$\begin{cases}H_{12}=-H_{21}\\ \Delta H=1\end{cases}$

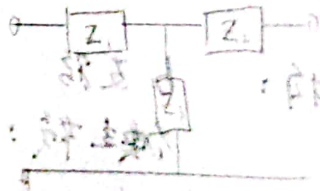
等效电路

互易：①：Y参数：使用π形等效，$\begin{cases}Y_1=Y_{11}+Y_{12}\\ Y_2=Y_{22}+Y_{21}\\ Y_3=-Y_{12}\end{cases}$



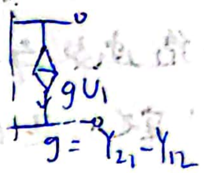
针对互易网络

②：Z参数：使用T形等效，$\begin{cases}Z_1=Z_{11}-Z_{12}\\ Z_2=Z_{22}-Z_{12}\\ Z_3=Z_{12}\end{cases}$



<2>: 非互易: ① Y参数:

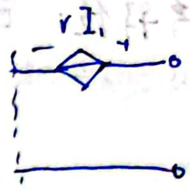
$$\begin{cases}\dot I_1 = Y_{11}\dot U_1 + Y_{12}\dot U_2 \\ \dot I_2 = \underbrace{Y_{12}\dot U_1 + Y_{22}\dot U_2}_{互易} + \overbrace{(Y_{21}-Y_{12})\dot U_1}^{受控源}\end{cases}$$



在基础之上最右端并联受控源 $\dot I_g = g\dot U_1$，方向向下

② Z参数:

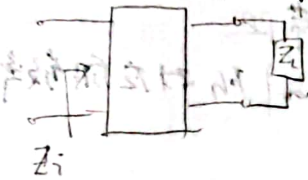
$$\begin{cases}\dot U_1 = Z_{11}\dot I_1 + Z_{12}\dot I_2 \\ \dot U_2 = Z_{12}\dot I_1 + Z_{22}\dot I_2 + (Z_{21}-Z_{12})\dot I_1\end{cases}$$



在基础之上最右上支路串联受控源 $U_g = r\dot I_1$　　$r = Z_{21}-Z_{12}$

A参数与H参数先化为Y/Z参数 再转换

<3>: 参数输入阻抗: $Z_i = \frac{\dot U_1}{\dot I_1} = \frac{A_{11}Z_L + A_{12}}{A_{21}Z_L + A_{22}}$



<4>: 参数戴维宁: 计算 U_{oc}，而后 ① 外加激励

② 计算 I_{sc}，$R_{eq} = \frac{U_{oc}}{I_{sc}}$ (I_{sc} 流入正极端口 上正下负)

③ 端口特性

$R_\Delta = 3R_Y$

回路电流方程列，电位升取正，电位降取负，

若无电压源，要计算同一支路总电阻再取倍数

存电流源时电压计入!