复试_电路

本文档发布位置：github.com/x-Eric/NEEPU-EE，你可以在这里下载本文件的Markdown版本和其他文档。

我的微信：`xeric0`

加油💪

一、基本概念

1. 电路模型

- **集中参数与分布参数电路**
  - 集中参数电路：集中参数元件连接而成
  - 电流变化的最高频率f对应的**最短波长**λ与电路最大线性尺寸l之间满足$\lambda \geq 100l$ 时可作为集中参数电路研究。
- **关联参考方向**
  - 电阻电感电容 电压电流方向一致为关联参考方向
  - 电源 电压电流反向相反
- 电压V `伏特`：电场力把单位正电荷从A移向B所做的功（两点电位之差）

$$U_{ab}=\frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}q}=\int_a^b E\mathrm{d}l=V_a-V_b$$

- 电流A `安培`：$\mathrm{d}t$时间通过截面S的电荷量

$$i(t)=\frac{\mathrm{d}q(t)}{\mathrm{d}t}=C\frac{\mathrm{d}u(t)}{\mathrm{d}t}$$

- 功率W `瓦特`

$$P=\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}=ui$$

> 例题1-1

- 能量
- 基尔霍夫定律
  - 基尔霍夫**电流**定律（**KCL**）
    - 节点各支路电流代数和为0
    - 微观本质：电荷守恒
  - 基尔霍夫**电压**定律（**KVL**）
    - 回路电压代数和为0
    - 微观本质：能量守恒

元件特性

- 电阻R (Ω) 欧姆
  - 分为线性时不变、线性时变、非线性时不变、非线性时变
  - 电导G (S) 西门子
  - 线性时不变电阻
- 电容F 法拉
  - 线性时不变电容

$$q(t) = Cu(t)$$

    - **画电容电压波形**
    - 电容吸收的总能量

$$\omega_e(t) = \frac{1}{2}Cu^2(t) = \frac{q^2(t)}{2C}$$

    - 串联

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

      - 电压分压公式
- 电感H 亨利
  - 线性时不变电感

$$\Psi(t) = Li(t) \quad u(t) = L\frac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t}$$

    - 电感吸收的总能量

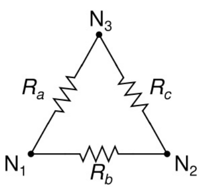
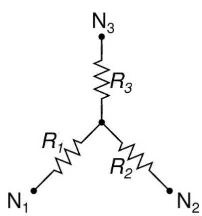
$$\omega_m(t) = \frac{1}{2}Li^2(t) = \frac{\psi^2(t)}{2L}$$

    - 并联

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$$

      - 电流分流公式

2. 等效电路

> ### 星三角变换
>
> 
>
> 
>

> $$(\triangle \Rightarrow Y)R_1 = \frac{R_aR_b}{R_a+R_b+R_c}\text{邻积除和}$$
> $$(Y \Rightarrow \triangle)R_a = R_2+R_3+\frac{R_2R_3}{R_1}$$

- 独立电压源与独立电流源的等效变换
- 受控电源
  - CCCS
  - CCVS
  - VCCS
  - VCVS

三、网络计算方法

支路电流法

- n节点只有n-1个独立节点，列写出n-1个独立的KCL方程
- 仅用于平面电路

步骤

1. 在给定电路图中，假定各支路电流的参考方向;
2. 选择(n-1)个独立节点，写出(n-1)个KCL方程;
3. 选择网孔为**独立回路**，并设定其绕行方向，列写出各网孔的KVL方程;
4. 联立求解上述独立方程，解出各支路电流。

节点电压法

做题！

- 节点电压方程实质上还是KCL方程，只不过是将电流表示成电导与电位相乘的形式而已。节点电压法只是求解支路电流的一种过渡手段， 适用于节点少而网孔多的电路。
- 各独立节点电压之间相互独立，不受KVL约束。它们不能互求，因此节点电压作为电路求解变量具有独立性。

步骤

1. 选取参考节点，令其电位为零;
2. 算出各节点的自电导，各节点之间的互电导及流入节点的电源电流代数和，建立节点电压方程组，其方程个数与独立节点个数相等。
3. 求解方程组，解出各节点电压的数值。
4. 用节点电压确定各支路电压。
5. 用欧姆定律和各支路电压，求解出各支路电流。

回路电流法

- 一般选择网孔作为独立回路

步骤

1. 将电路中所含的电流源支路等效变换为电压源支路。
2. 以网孔为回路，选取一组独立回路，并标注各回路电流的参考方向，一般回路电流参考方向均选为顺时针方向或逆时针方向。
3. 根据电路结构计算出各回路的自电阻，两回路相互间的互电阻和各回路中电压源电压的代数和，再按式(3-8) 方程形式写出方程组，方程的个数应与回路个数相等。
4. 求解联立方程组，计算各回路电流值。
5. 求解出回路电流后，根据式(3-6) 形式，可求出各支路电流。
6. 用欧姆定律和各支路电流，求解出各支路电压。

网孔电流法

五、网络定理

叠加定理

- 叠加性=齐次性+可加性
  - 齐次性：响应与激励的比值是定值
  - 可加性：两个激励叠加产生的响应=原有两个相应相加
- 叠加定理: 在线性电路中，任一支路的电压或电流，都是电路中各个独立源单独作用时，在该支路中产生的电压或电流的代数和。
- 注意：
  - 叠加定理只适用于线性电路中电压和电流的叠加，非线性电路不适用。
  - 叠加定理一般不能用来计算功率。因为功率与电压、电流之间不是线性关系。
  - 某个电源单独作用时，其他不作用的电源应置零。**压短流开**。而电路中的所有电阻都不要更动，受控源要保留在各个等效分电路中。
  - 应用叠加定理时，要标明原电路和各等效分电路中待求量的参考方向，求和时注意各分量前的正负号。

> 例题5-2，5-3

齐性定理

> 例题5-4

替代定理

- 简化定义：如果知道电压，用电压源代替；知道电流，用电流源代替
- 含有电压或电流已知的非线性元件，也可代替
- 唯一条件：电路变量有唯一解
- 电流为零用开路替代；电压为零用短路替代

戴维南&诺顿定理

- 应用

  - 只计算网络中某一支路的电压和电流；
  - 分析某一元件参数变动的影响；
  - 分析含有一个非线性元件的电路。

戴维南定理

- 戴维南定理：任意含有独立源和线性电阻的有源二端网络，对外电路而言，可以用一个**电压源**和**电阻**的**串联**支路等效
  - U_{OC}：有源二端网络的端口**开路电压**
  - R_{eq}：有源二端网络全部**电源置零**后的输入**电阻**
- 可应用于非线性电路
- 等效部分还得是线性电路

诺顿定理

- 诺顿定理：任意含有独立源和线性电阻的有源二端网络，对外电路而言，可以用一个**电流源**和**电阻**的**并联**组合等效替代。
  - I_{SC}：有源二端网络的端口**短路电流**
  - R_{eq}：有源二端网络全部**电源置零**后的输人**电阻**(戴维南等效电阻)

特勒根定理

- 定理1：各支路吸收的功率的代数和等于零，也叫**功率守恒**定理
- 定理2：相同的拓扑结构，任意电路的电压与任意电路的电流对应乘积为零，**似功率**定理

互易定理

- 简化定义：线性网络中**响应**和**激励**的**位置**可以**互换**
- 条件：仅含电阻，不含电源和受控源
- 电压源-电压源
- 电流源-电流源
- 电压源-电流源

六、单相交流电路

基本概念

- 正弦量的三要素：**幅值**，**周期**，**初相角**
- 正弦电流瞬时值表达式：

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$$

- 有效值：

$$I = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2 \mathrm{d}t}$$

- 平均值：

$$I_d=\frac{1}{T}\int_0^T I_m\sin(\omega t+\varphi)\mathrm{d}\omega t$$

- 同频率正弦量的相量关系
- 正弦量的相量表示

$$\dot{I}=I_m\angle\varphi=\alpha+j\beta$$

	电阻	**电感**	**电容**
方程	$\dot{U}=R\dot{I}$	$U=\omega LI=X_LI$	$I=\omega CU=B_CU$
导纳(S)	G	$B_L=\frac{1}{\omega L}$	$B_C=\omega C$
瞬时功率p	$UI(1-\cos 2\omega t)$	$UI\sin 2\omega t$	$UI\sin 2\omega t$
平均功率P	$UI=I^2R=\frac{U^2}{R}$		
无功Q		$Q_L=U^2B_L$	$Q_C=U^2B_C$
	功率表测有功P		电流超前电压90°

- 复阻抗$Z=R+jX$，复导纳$Y=G+jB$
- 正弦交流电路功率
  - 瞬时功率
  - 平均功率（有功功率）：
    - $P=UI\cos\varphi=\frac{1}{T}\int_0^T=I^2R=U^2G$
    - $P=\sum_{i=1}^{n}I_I^2R_I$
  - 无功功率：
    - $Q=UI\sin\varphi=I^2X=U^2B$
    - $Q=\sum_{i=1}^{m}I_i^2X_{Li}-\sum_{i=1}^{n}I_i^2X_{Ci}$ (感性为正)
  - 视在功率$S^2=P^2+Q^2$，功率因数$\cos\varphi$：
  - 复功率：$\tilde{S}=P+jQ$

电压电流关系

- $\cos\varphi=0.95$(滞后)（多数情况），即$\varphi>0$， 电流滞后于电压，负荷为**感性负荷**，$Q>0$（电压在逆时针方向前面）
- $\cos\varphi=0.95$(超前)，即$\angle U-\angle I=\varphi<0$，电流超前于电压，负荷为**容性负荷**，$Q<0$
- 发电机是无功电源，都是发出无功$Q>0$。待补充
- 负荷也是感性的居多，消耗无功 $Q>0$。

- 最大功率P传输条件 - 电源电压一定，负载阻抗Z_L变化时获得最大功率时（都可调） - 和以前一样的做法，条件（**共轭匹配**）：

$$X_L = -X_s$$
$$R_L = R_s$$

- $Z_L = z_L \angle \varphi$，φ一定，负载阻抗的模值可调 - 条件（**共模匹配**）：

$$Z_L = \sqrt{R_s^2 + X_s^2} = Z_s$$

正弦稳态电路分析计算

- 常用方法：
    1. 向量图
        1. 确定参考向量
            1. 串联电路-选电流
            2. 并联电路-选电压
            3. 混合型-选后面的
        2. 从负载向电源画图
    2. 功率不同的表示
        1. $UI\cos\varphi = I^2R_1 + I^2R_2$
    3. 物理量的不同算法
        1. $U = I \mid Z \mid$ 等

谐振

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

RLC串联谐振

1. 阻抗最小
2. 电感电压和电容电压发生谐振
3. 电磁能量
4. 品质因数Q

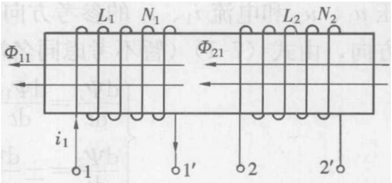
RLC并联谐振

1. 导纳最小
2. 电感电流和电容电流发生谐振
3. 电磁能量
4. 品质因数Q

网络函数

七、耦合元件

耦合元件



$$
\begin{aligned}
u_1 &= \quad L_1\frac{\mathrm{d}i_1}{\mathrm{d}t} \pm M\frac{\mathrm{d}i_2}{\mathrm{d}t} \\
u_2 &= \pm M\frac{di_1}{dt} + L_2\frac{di_2}{dt}
\end{aligned}
$$

- 同名端取“+”号，产生磁场相互增强

> 例题7-1 面试题

- **耦合系数**：耦合系数越大，互感系数越大
  - $k = \dfrac{M}{\sqrt{L_1L_2}}$
  - 与两个线圈的结构，相互位置，磁介质有关
  - 线圈相互垂直，耦合系数为0

耦合元件串联

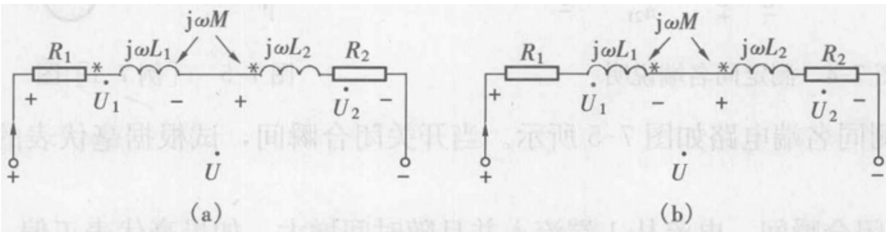


图 7-6　耦合电感元件的串联

(a) 顺向串联；(b) 反向串联

$$
\begin{aligned}
L_\Sigma = L_1 + L_2 \pm 2M \\
L_1 \pm M \quad L_2 \pm M
\end{aligned}
$$

耦合元件并联

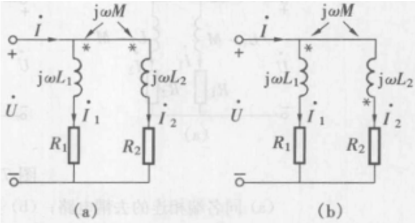


图 7-7 耦合线圈的并联
(a) 同名端相连；(b) 异名端相连

$$M + (L_1 - M)//(L_2 - M) \qquad \text{(同名端)}$$

$$-M + (L_1 + M)//(L_2 + M) \qquad \text{(异名端)}$$

理想变压器

- 空心变压器：绕在非铁磁物质上，耦合系数低，但无铁损。
- 理想变压器：
  - 无能量损耗
  - 无漏磁通，耦合系数$k = 1$
  - L_1，L_2，M无穷大，比值$N_1/N_2 = n$不变

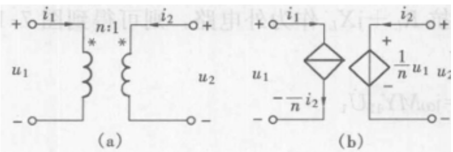


图 7-13 理想变压器
(a) 理想变压器模型；(b) 等效电路

八、三相交流电路

- 三相电力系统是由**三相电源**、**三相负载**、**三相输电线路**三部分组成。
- 对称三相电源是由三个频率相同、幅值相等和初相角依次相差120°的正弦电压源按一定方式连接而成，依次称为A、B、C相。

$$\begin{cases} \dot{U}_A = U\angle 0^\circ \\ \dot{U}_B = U\angle -120^\circ = \alpha^2 \dot{U}_A \\ \dot{U}_C = U\angle \quad 120^\circ = \alpha\,\dot{U}_A \end{cases}$$

功率的测量

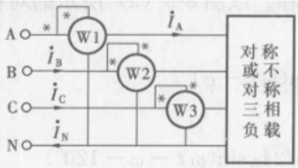


图 8-15 三瓦计法

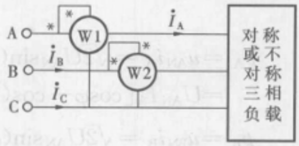


图 8-16 两瓦计法

九、周期非正弦电路

1. 当周期函数的波形在横轴上、下部分包围的**面积相等**时，傅里叶级数中的$A_0 = 0$，即直流分量不存在。
2. 当周期函数为**偶函数**，即$f(t) = f(-t)$时，函数对称于纵轴，此时傅里叶级数中$b_k = 0$。
3. 当周期函数为**奇函数**，即$f(t) = -f(-t)$时，函数对称于原点，此时傅里叶级数中$a_k = 0$。
4. 当周期函数为**奇谐波函数**，即满足$f(t) = -f(t + T/2)$时，函数具有镜对称性质。就是说，将波形移动半个周期后与原波形关于横轴对称，此时傅里叶级数中仅含奇次谐波项，即$a_k = 0$，$b_k = 0$。

- 周期非正弦**有效值**为各次谐波有效值的**平方和**。
- 平均功率P
  - 根据三角函数的正交性，不同次谐波电压、电流乘积的平均值为0

周期非正弦电路计算

1. 分解傅里叶级数
2. 求出恒定分量和各次谐波的响应
3. 叠加

高次谐波

此部分待补充

1. 如果没有零序谐波
   1. $U_L = \sqrt{3}U_P$（电源三角形连接）
   2. $\dot{U_{L1}} = \sqrt{3}\dot{U_{P1}}\angle 30^\circ$
   3. $\dot{U_{L5}} = \sqrt{3}\dot{U_{P5}}\angle -30^\circ$
2. 有零序谐波
   1. $U_{L3} = 0$
   2. $U_L < \sqrt{3}U_P$，可用来判断是否有零序谐波（电源星形连接）
   3.

- 分解傅里叶级数后
  - 三相的1次、 7 次等谐波组成**正序**对称分量；
  - 三相的3次、 9 次等谐波组成**零序**分量；
  - 三相的5次、11次等谐波组成**负序**对称分量；

> 例题9-8

十、二端口网络

- 一个端口的两个端钮电流大小相等，网络内部无独立源，线性元件，零状态，无和外电路有关的互感元件和受控源

参数方程

导纳型参数Y

$$\begin{bmatrix}\dot{I}_1\\ \dot{I}_2\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}Y_{11} & Y_{12}\\ Y_{21} & Y_{22}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{U}_1\\ \dot{U}_2\end{bmatrix}$$

$$Y_{12}=\frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_2}\mid(\dot{U}_1=0)$$

其余同理。

阻抗型参数Z

$$\begin{bmatrix}\dot{U}_1\\ \dot{U}_2\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}Z_{11} & Z_{12}\\ Z_{21} & Z_{22}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{I}_1\\ \dot{I}_2\end{bmatrix}$$

$$Z_{12}=\frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_2}\mid(\dot{I}_1=0)$$

其余同理。

传输型参数T

$$\begin{bmatrix}\dot{U}_1\\ \dot{I}_1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}A & B\\ C & D\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{U}_2\\ -\dot{I}_2\end{bmatrix}$$

混合型参数H

$$\begin{bmatrix}\dot{U}_1\\ \dot{I}_2\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}H_{11} & H_{12}\\ H_{21} & H_{22}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{I}_1\\ \dot{U}_2\end{bmatrix}$$

互异性与对称性

- 互异性

$$\begin{gathered}Y_{12}=Y_{21}\\ Z_{12}=Z_{21}\\ AD-BC=1\\ H_{12}=-H_{21}\end{gathered}$$

- 对称性

$$
\begin{gathered}
Y_{11}=Y_{22} \\
Z_{11}=Z_{22} \\
A=D \\
H_{11}H_{22}-H_{12}H_{21}=1
\end{gathered}
$$

连接

- 级联用传输参数描述：$T=T_1 \cdot T_2$
- 并联用Y参数描述：$Y=Y_1+Y_2$
- 串联用Z参数描述：$Z=Z_1+Z_2$

含受控源

十一、时域分析

1. 什么情况有暂态
    1. 必须含有储能元件
    2. 换路
2. 初始值(0_+)
    1. **换路定律**：电感电流，电容电压**有限值**时换路前后不变
    2. 除了电感电流，电容电压的物理量使用(0_+)参数

> 例题11-1，2

一阶电路的响应

- 只含有一个储能元件
- 描述的方程是**一阶**常系数线性微分方程
- **直流**激励

零输入响应

- 换路后不含有独立电源（没有输入）

1. RC电路：

$$u_C(t)=u_C(0^+)e^{-\frac{t}{\tau}}$$

    1. $\tau=RC$ 电压由1降低为0.368所需的时间
2. RL电路：

$$i_L(t)=i_L(0^+)e^{-\frac{t}{\tau}}$$

    1. $\tau=\frac{L}{R}$ 同上

> 例题11-4、6、7、8

零状态响应

- 零初始状态，初试状态RL不储能

1. RC电路：

$$u_C(t)=u_C(\infty)(1-e^{-\frac{t}{\tau}})$$

2. RL电路：

$$i_L(t)=i_L(\infty)(1-e^{-\frac{t}{\tau}})$$

全响应

- 激励作用于非零初始状态所产生的响应
- 稳态响应-**强制分量**；暂态响应-**自由分量**

1. RC电路：

$$\begin{aligned}u_C(t)&=\underbrace{u_C(0^+)e^{-\frac{t}{\tau}}}_{\text{零输入}}+\underbrace{u_C(\infty)(1-e^{-\frac{t}{\tau}})}_{\text{零状态}}\\&=\underbrace{u_C(\infty)}_{\text{稳态响应}}+\underbrace{\left[u_C(0^+)-u_C(\infty)\right]e^{-\frac{t}{\tau}}}_{\text{暂态响应}}\end{aligned}$$

2. RL电路：

$$i_L(t)=\underbrace{i_L(\infty)}_{\text{稳态响应}}+\underbrace{\left[i_L(0^+)-i_L(\infty)\right]e^{-\frac{t}{\tau}}}_{\text{暂态响应}}$$

- 零输入响应是由非零初始状态产生的；零状态响应是由外加激励产生的。（可叠加）

> 例题11-9、10、11 本章就是套公式

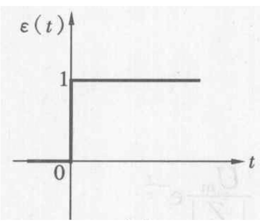
三要素法

$$f(t)=f(\infty)+\left[f(0^+)-f(\infty)\right]e^{-\frac{t}{\tau}}$$

阶跃响应

- 电路对**阶跃**函数输入的**零状态响应**

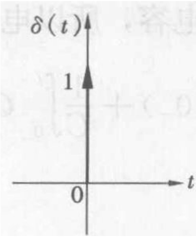
$$K\epsilon(t)=\begin{cases}0 & t\le 0_-\\ K & t\ge 0_+\end{cases}$$



冲激响应

- 一阶电路在**冲激**函数激励作用下的**零状态响应**

1. 积分为阶跃函数
2. “筛分”性质：把0时刻的值筛分出来



$$\begin{cases}\delta(t)=0 \quad t\neq 0\\ \int_{-\infty}^{\infty}\delta(t)=1\end{cases}$$

电容电压，电感电流的跳变

- 时域角度分析
    1. 计算使LC的突变值
    2. 零输入公式

> 例题11-18、19

十二、复频域分析

拉普拉斯变换

原函数$f(t)$	象函数$F(s)$
$A\delta(t)$	A
$\epsilon(t)$	$\frac{1}{s}$
$e^{-\alpha t}$	$\frac{1}{s+\alpha}$
$te^{-\alpha t}$	$\frac{1}{(s+\alpha)^2}$

拉普拉斯反变换

$$F(s)=\frac{N(s)}{D(s)}$$

1. 实数单根
    1. 设$D(s)=0$有n个单根，分别为$s_1,s_2,\cdots,s_n$，展开成分式之和
    2. $K_i=(s-s_i)F(s)\Big|_{s=s_i}$ （或$K_i=\frac{N(s)}{D'(s)}\Big|_{s=s_i}$）
    3. 求解$f(t)$

2. 共轭复根 1. 设$D(s)=0$有共轭复根$s_{1,2}=-\alpha\pm j\omega$ 2. 计算

$$K_1=\frac{N(s)}{D'(s)}\bigg|_{s=-\alpha+j\omega}=|K_1|e^{j\theta}$$
$$K_2=\frac{N(s)}{D'(s)}\bigg|_{s=-\alpha-j\omega}=|K_1|e^{-j\theta}$$

3. 求解

$$f(t)=2|K_1|e^{-\alpha t}\cos(\omega t+\theta)$$

3. 重根 1. 设$D(s)=0$有m重根，含有因式$(s-s_i)^m$

$$F(s)=\frac{K_{12}}{s-s_1}+\frac{K_{11}}{(s-s_1)^2}+\sum_{i=2}^{n}\frac{K_i}{s-s_i}$$

2. 计算

$$K_{11}=\quad (s-s_1)^2F(s)\bigg|_{s=s_1}$$
$$K_{12}=\frac{d}{ds}[(s-s_1)^2F(s)]\bigg|_{s=s_1}$$

3. 求解$f(t)$

> 例题12-7、8、9、10

元件复频域形式

- 电阻

$$U(s)=I(s)R$$

- 电感

$$U(s)=sLI(s)-Li(0_-)$$

“Pasted image 20240206180527 1.png” could not be found.

- 电容

$$U(s)=\frac{I(s)}{sC}+\frac{u(0_-)}{s}$$

“Pasted image 20240206180550 1.png” could not be found.

> 例题12-12、13、14、15

网络函数

- 网络函数是**零状态**下网络输出的象函数与输入的象函数之比。

$$H(s)=\frac{R(s)}{E(s)}$$

- 激励和响应属于同一端口时，网络函数称为**策动点函数**；
    - **不属于**称为**转移函数**。
- 网络函数$H(s)$的分母为零，正是微分方程的特征方程。
- 网络函数$H(s)$就是单位冲激响应$\delta(t)$的象函数

> 例题12-7、8、20

“Pasted image 20240217180334 1.png” could not be found.

十三、状态变量

状态变量与状态方程

十六、非线性电阻电路

直流非线性电阻电路
