电子科技大学
University of Electronic Science and Technology of China

电路电子学基础

何 松 柏　教授
SMART数字射频混合集成电路实验室

SMART
SMART Hybrid Radio Lab.
Since 2003

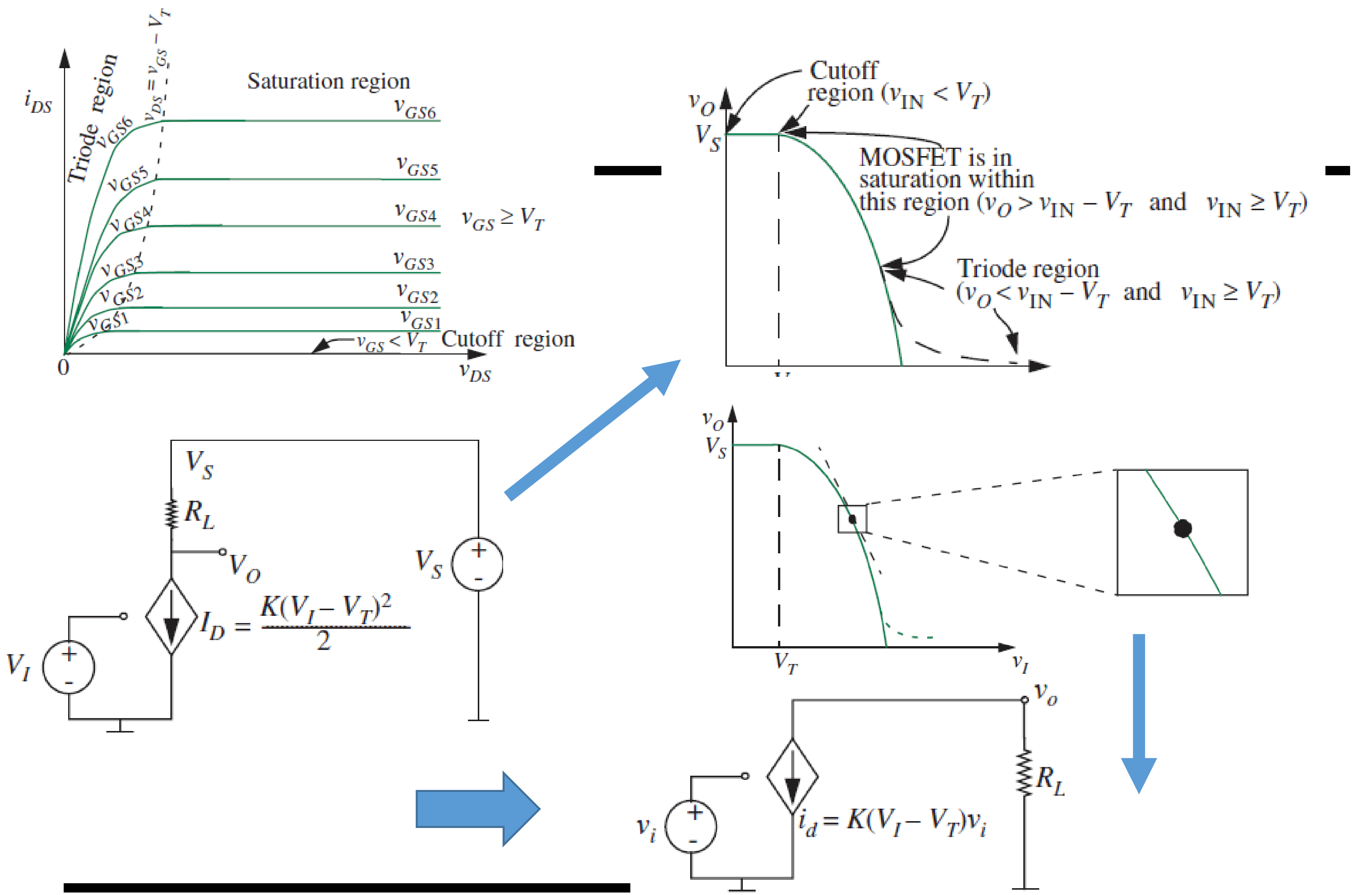
回顾7，8章关键词：

MOSFET SCS模型， 工作区域， 放大器，工作点

输入输出关系，范围，增益，

输入电阻，输出电阻

泰勒级数展开

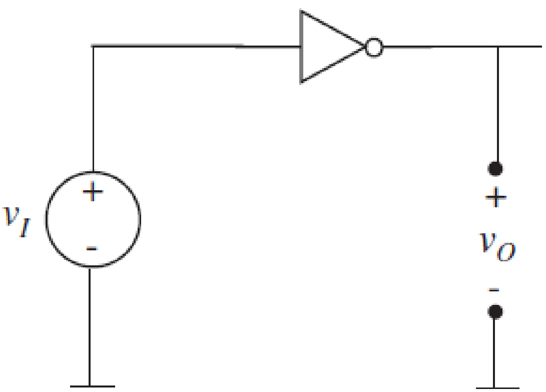


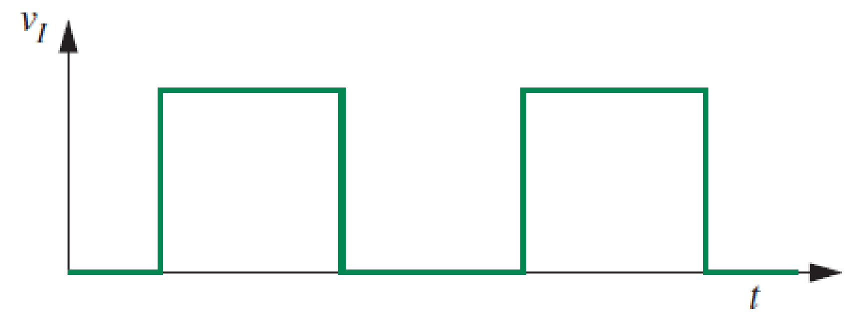
UESTC

sbhe@uestc.edu.cn

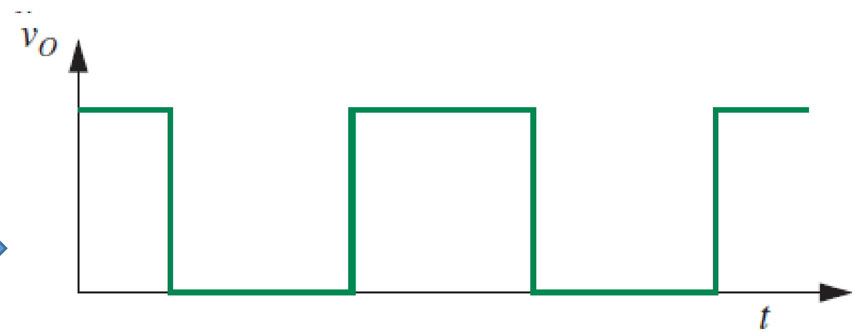
Analog Circuits

问题引入：

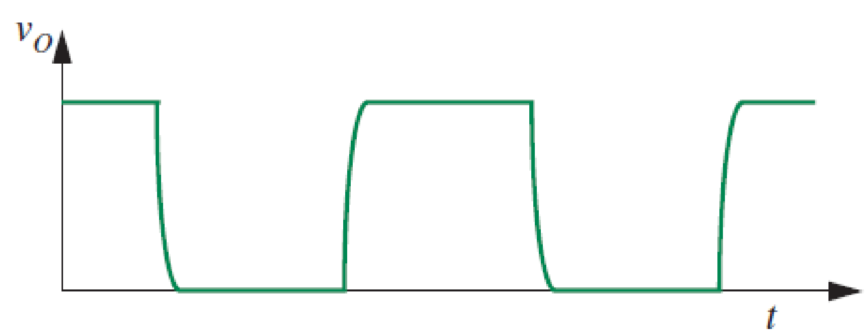




按照前面静态电路（电阻电路）



实际上可能



阅读材料：参考书，PP301-304

为什么？

↓

引出：新的元器件L、C

↓

构成动态电路

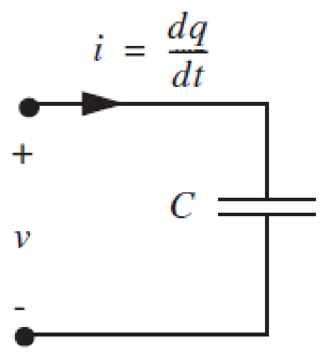
电容C

阅读材料：参考书PP304-308

讨论：电容导电机理？

电容C

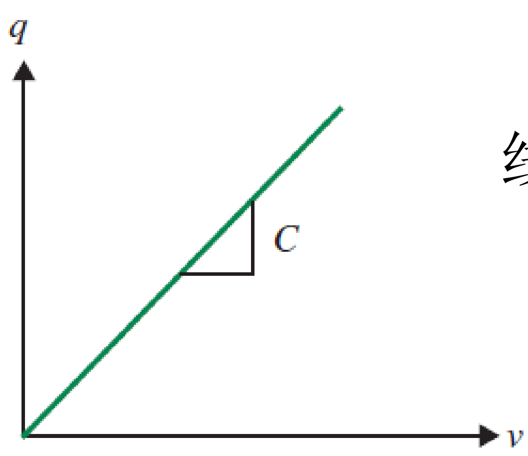
符号及元件特性



$$q(t) = C(t)v(t).$$

$$\frac{dq(t)}{dt} = i(t).$$

$$i(t) = \frac{d(C(t)v(t))}{dt}$$



线性时不变电容 $$i(t) = C\frac{dv(t)}{dt},$$

V-I不是代数关系，而是微（积）分关系

电容C

电容记忆特性

状态变量

$$q(t) = \int_{-\infty}^{t} i(t)dt$$

$$\begin{aligned} q(t_2) &= \int_{-\infty}^{t_2} i(t)dt \\ &= \int_{t_1}^{t_2} i(t)dt + \int_{-\infty}^{t_1} i(t)dt \\ &= \int_{t_1}^{t_2} i(t)dt + q(t_1). \end{aligned}$$

$$v(t) = \frac{1}{C}\int_{-\infty}^{t} i(t)dt.$$

$$\begin{aligned} v(t_2) &= \frac{1}{C}\int_{-\infty}^{t_2} i(t)dt \\ &= \frac{1}{C}\int_{t_1}^{t_2} i(t)dt + \frac{1}{C}\int_{-\infty}^{t_1} i(t)dt \\ &= \frac{1}{C}\int_{t_1}^{t_2} i(t)dt + v(t_1). \end{aligned}$$

电容C

能量储存

$$\text{Stored energy} = w_E(t) = \frac{q^2(t)}{2C} = \frac{Cv(t)^2}{2}$$

讨论：如何理解电容能量储存

功率

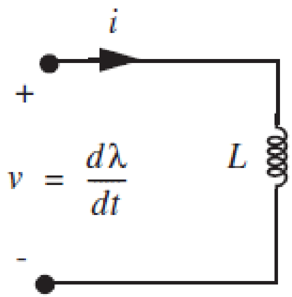
$$\frac{dw_E(t)}{dt} = i(t)v(t). \qquad dw_E = v\,dq.$$

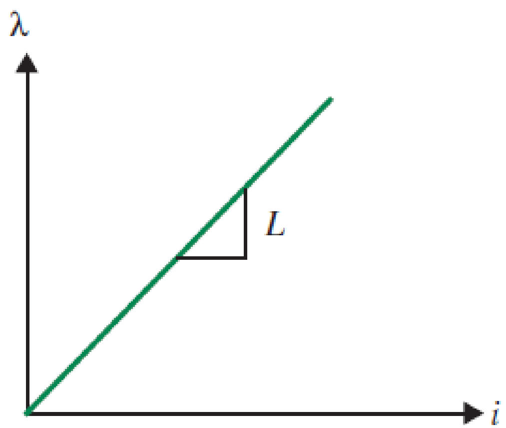
$$w_E = \int_0^q v(x)dx$$

电阻消耗功率，电容储存能量

电感L

阅读材料：参考书PP308-311





线性时不变L

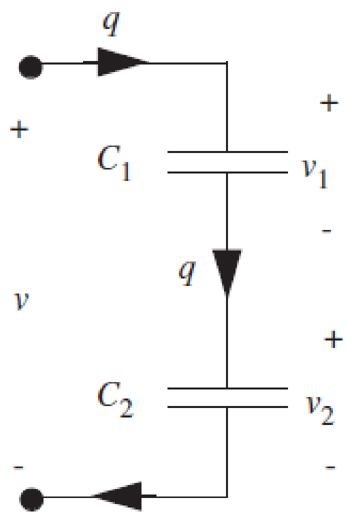
$$v(t) = L\frac{di(t)}{dt},$$

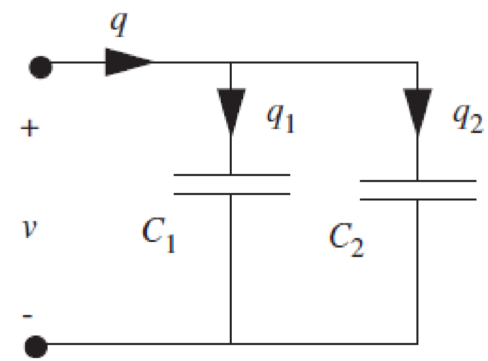
与电容类似：

- V-I不是代数关系，而是微（积）分关系
- 状态变量是磁通或者电流
- L储存能量

$$\text{Stored energy} = w_M(t) = \frac{\lambda^2(t)}{2L} = \frac{Li(t)^2}{2}$$

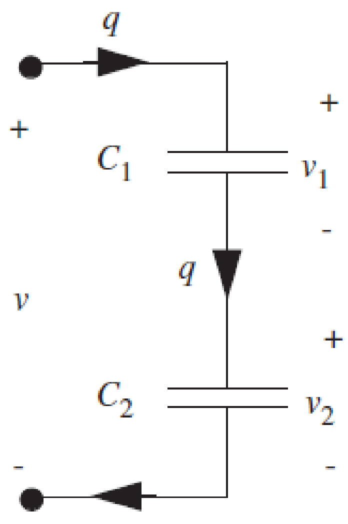
动态元件（L,C）简单连接：

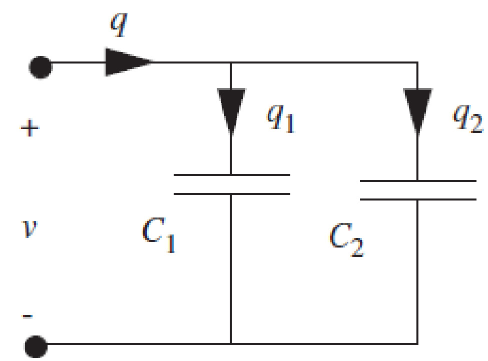




讨论：与电阻比较有什么特点？

动态元件（L,C）简单连接：





Q不变，电流不变

$$q(t) = C_1 v_1(t) = C_2 v_2(t).$$

$$v(t) = v_1(t) + v_2(t).$$

$$\frac{1}{C} = \frac{v(t)}{q(t)} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2},$$

串联总电容 $$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

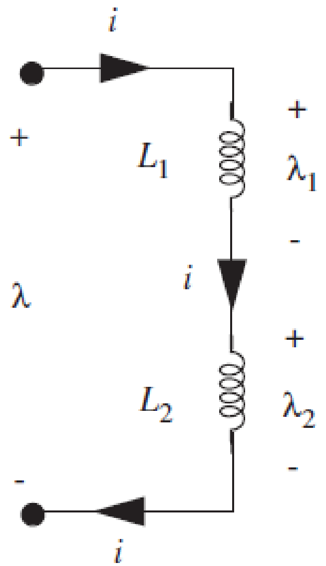
$$v(t) = \frac{q_1(t)}{C_1} = \frac{q_2(t)}{C_2}.$$

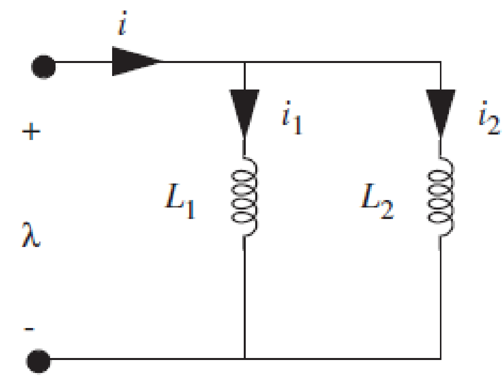
$$q(t) = q_1(t) + q_2(t).$$

$$C = \frac{q(t)}{v(t)} = C_1 + C_2$$

并联总电容

动态元件（L,C）简单连接：





磁通不变

电流不变

$$i(t) = \frac{\lambda_1(t)}{L_1} = \frac{\lambda_2(t)}{L_2}.$$

$$\lambda(t) = \lambda_1(t) + \lambda_2(t).$$

$$\lambda(t) = L_1 i_1(t) = L_2 i_2(t).$$

$$i(t) = i_1(t) + i_2(t).$$

$$\frac{1}{L} = \frac{i(t)}{\lambda(t)} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2},$$

串联总电感

$$L = \frac{\lambda(t)}{i(t)} = L_1 + L_2$$

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

并联总电感

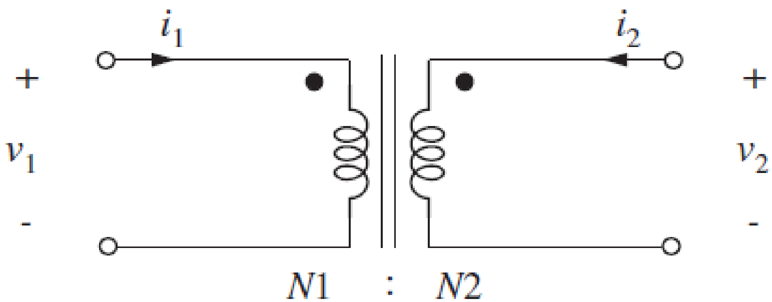
阅读材料：

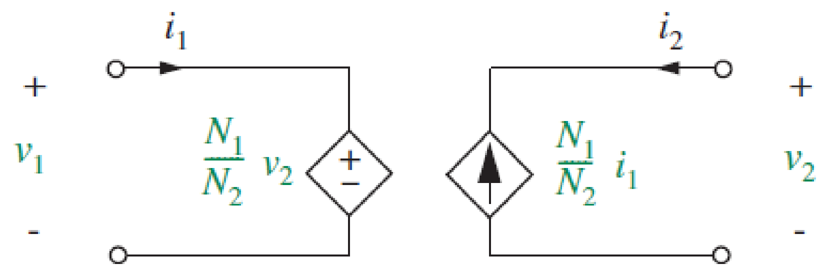
MOSFET栅极电容：参考书PP313-315

导线回路电感：参考书PP315-317

集成电路（IC）应用

变压器





两边都有相同的磁通量

$$v_1 = N_1 \frac{d\Phi(t)}{dt}$$

$$v_2 = N_2 \frac{d\Phi(t)}{dt}$$

$$\frac{v_1(t)}{N_1} = \frac{v_2(t)}{N_2}.$$

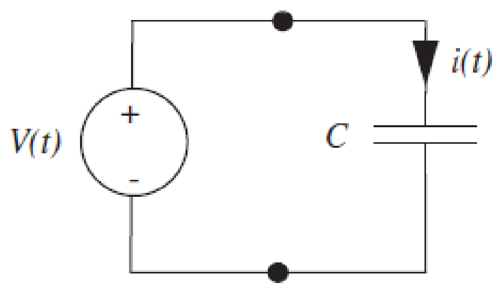
$$N_1 i_1(t) = -N_2 i_2(t).$$

$$v_1(t) i_1(t) = -v_2(t) i_2(t).$$

理想变压器不储存能量

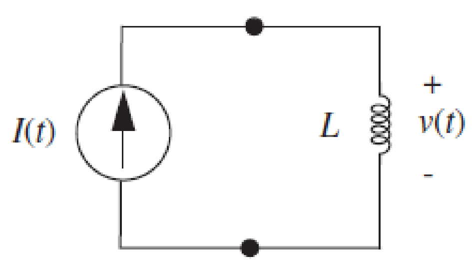
讨论：变压器两端阻抗变换情况？

动态元件对信号的响应（积分、微分）



阅读材料：参考书PP318-326

输入电压是正弦信号，流过电容上的电流是？



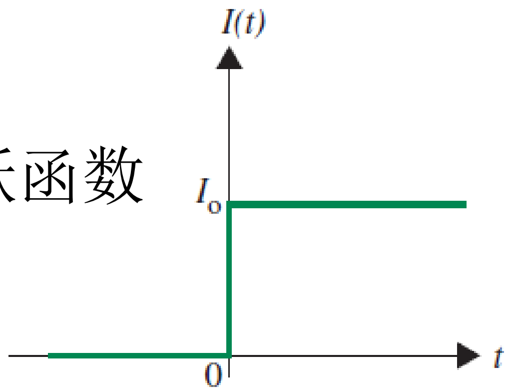
类似情况？

动态元件对信号的响应（积分、微分）

为了模拟开关动作，两个新的信号

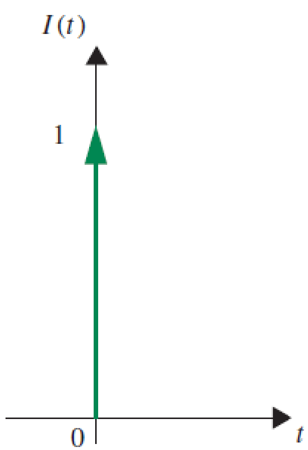
阅读材料：参考书PP318-326

阶跃函数



$$I(t)=\begin{cases}0 & t\le 0\\ I_o & t>0.\end{cases}$$

冲激函数



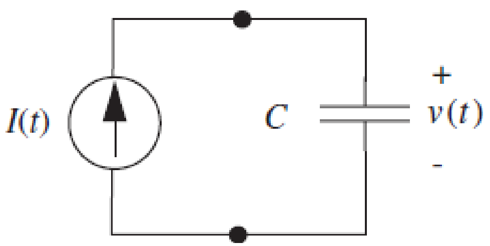
$$\delta(t)=0 \quad \text{for} \quad t\neq 0$$

$$\int_{-\infty}^{t}\delta(t)dt=u(t) \quad \Leftrightarrow \quad \delta(t)=\frac{du(t)}{dt}$$

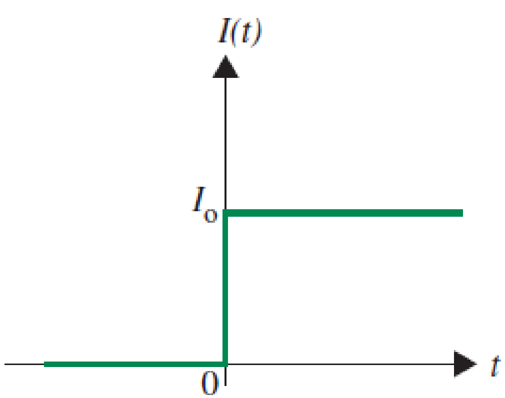
$$\int_{-\infty}^{\infty}\delta(t)dt=1.$$

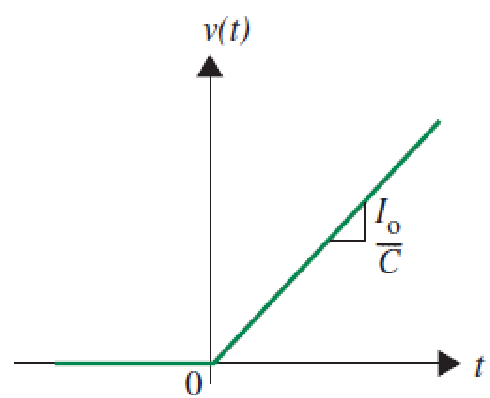
动态元件对信号的响应（积分、微分）

阅读材料：参考书PP318-326



讨论：电容上电压是？





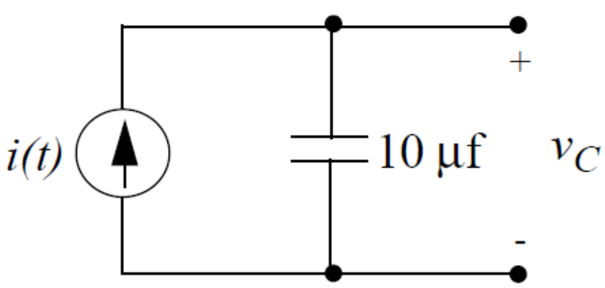
问题：如何理解反相器延迟？(图9.3）

主观题 10分

设置

例：电路如图所示，$i(t) = 100\ \mu\text{A},\ 0 < t < 1$
其余时间为0，

At time $t = 2$, the voltage $v_C = 5$ volts. What is v_C at time $t = -1$ second?



正常使用主观题需2.0以上版本雨课堂

作答

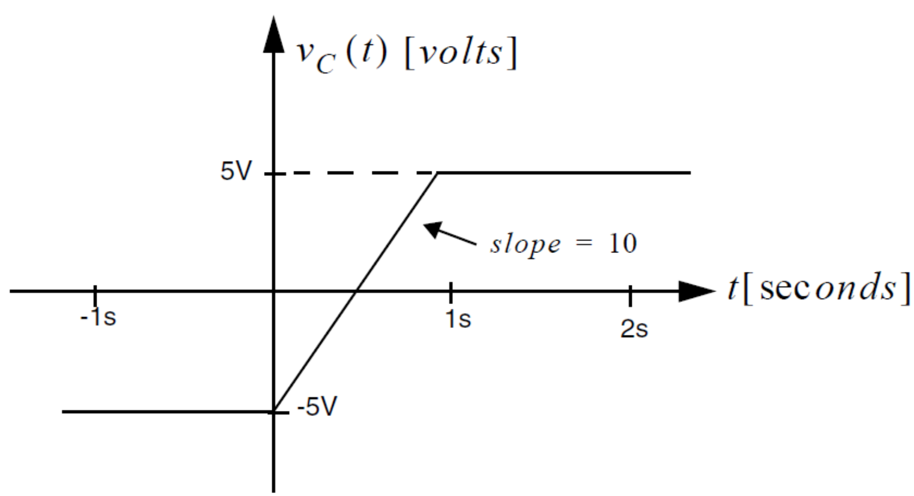
分析

$$i_c = C \cdot \frac{dv_c}{dt}$$

$$v_c = \frac{\int i_c}{C} = 10t \;\; \text{for} \;\; 0 < t < 1 \; second$$

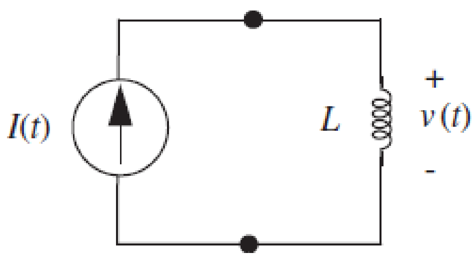
$$v_c = \frac{\int i_c}{C} = \; \text{a constant, otherwise, when } i_c = 0$$

$$v_c(t = -1 \text{ second}) = -5V$$

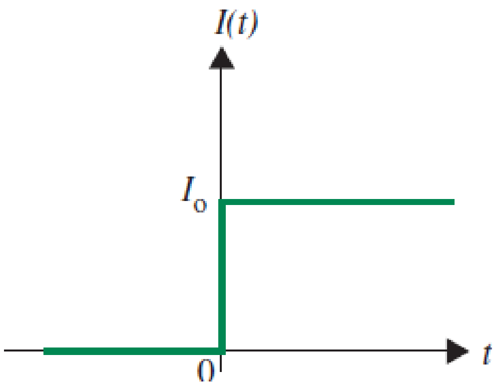


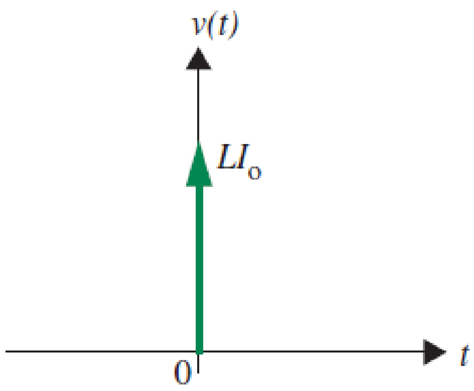
动态元件对信号的响应（积分、微分）

阅读材料：参考书PP318-326



电感上电压？





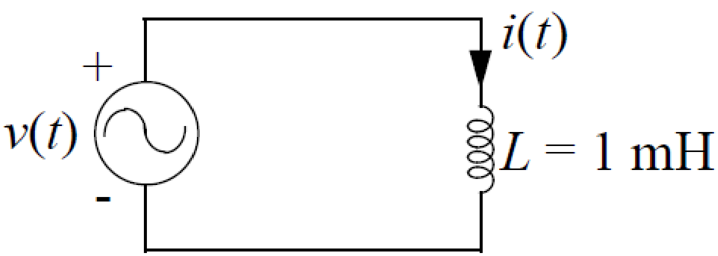
解释：电机（汽车）启动时电流（油耗）高？

主观题 10分

设置

例：如图所示电路， $v(t) = 5\text{mV}$ for $0 < t < 1$ seconds.
其余时间为0，

$t = 4$ seconds, $i(t) = 7\text{A}$. What is $i(t)$ at time $t = -1$ second?



正常使用主观题需2.0以上版本雨课堂

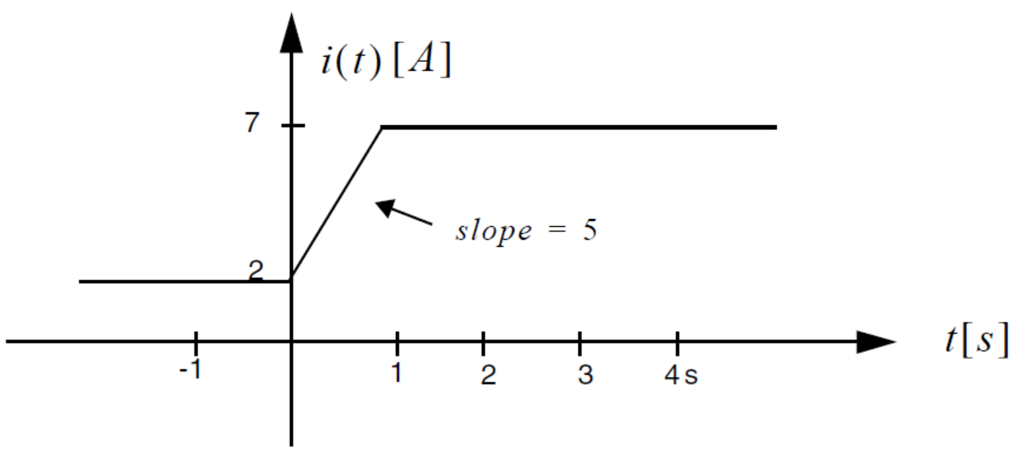
作答

分析

$$v_L = L \cdot \frac{di}{dt}$$ When $0 < t < 1$,

$$i = \int \frac{v_L}{L} = 5 \cdot t$$

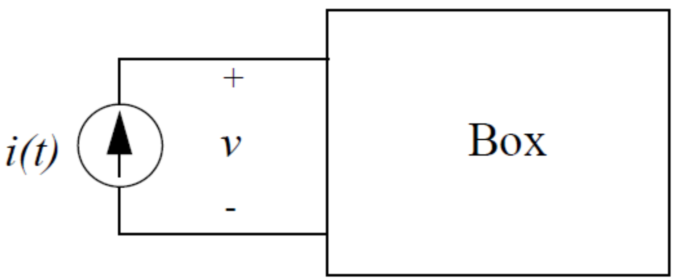
$$i(-1) = 2A$$

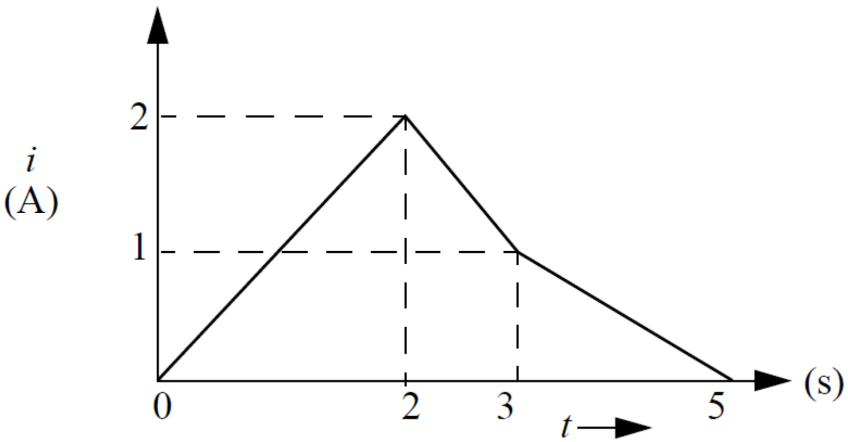


主观题 10分

设置

例：如图所示电路，BOX只含线性元件（不含独立源），t<0，电压v为0，0<t<2s, v=1V.给出盒子一种可能的简单电路，分析2<t<5s, v=?



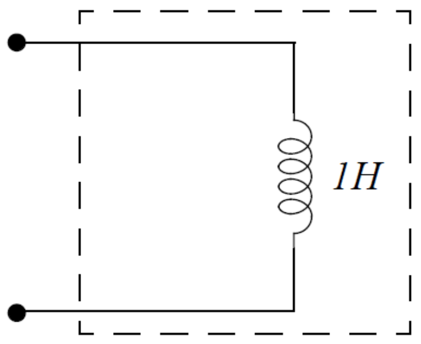


正常使用主观题需2.0以上版本雨课堂

作答

分析

$0 < t < 2$ $v = \frac{di}{dt} = 1$ V.



$v = -1 volt$ for $2 < t < 3$

$v = -1/2 volt$ for $3 < t < 5$

本章关键词：

时间常数，延迟

微分方程

电路基本分析方法

练习：9.3，9.6

问题：9.4，9.8

欢迎大家讨论交流！