



西南交通大学
Southwest Jiaotong University

电力电子装置与控制

(习题课)

西南交通大学电气工程学院



习题课提纲

一、热设计与热管理

二、磁性元件

三、门极驱动电路



习题课提纲

一、热设计与热管理

二、磁性元件

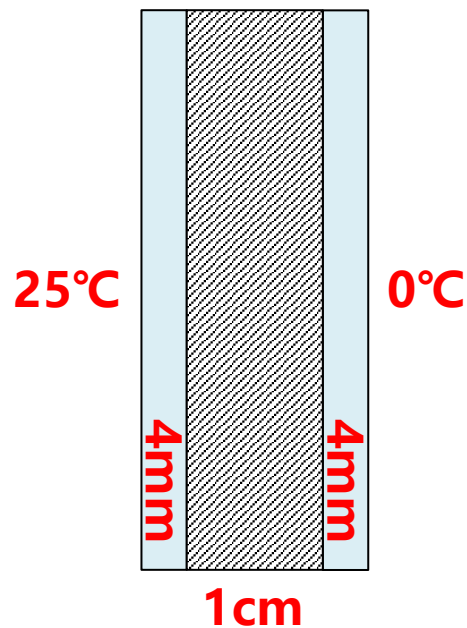
三、门极驱动电路



一、热设计与热管理

➤ 习题1

双层窗由两块4mm厚玻璃间隔1cm构成。玻璃热阻率为 $100^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$ ，空气的热阻率为 $3050^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$ 。若室内温度为 25°C ，室外温度为 0°C ，则每平方米传导的热功率是多少？



$$R_{thglass} = \frac{\rho_{glass} L_{glass}}{A} \quad R_{thair} = \frac{\rho_{air} L_{air}}{A}$$

$$R_{th} = 2R_{thglass} + R_{thair} = \frac{2\rho_{glass} L_{glass} + \rho_{air} L_{air}}{A}$$

$$\frac{P}{A} = \frac{\Delta T}{R_{th}} = \frac{\Delta T}{2\rho_{glass} L_{glass} + \rho_{air} L_{air}}$$

$$= \frac{\Delta T}{2\rho_{glass} L_{glass} + \rho_{air} L_{air}} = \frac{25}{2 \times 1 \times 0.004 + 30.5 \times 0.01}$$

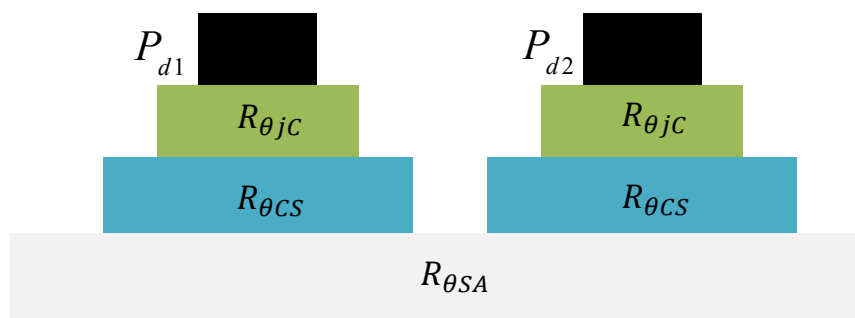
$$= 79.87 \text{ W}/\text{m}^2$$

一、热设计与热管理

➤ 习题2

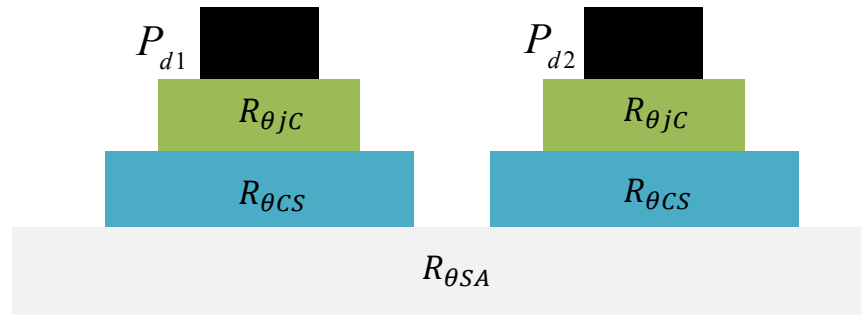
两个相同器件放置在同一个散热器上。器件PN结-管壳间热阻 $R_{\theta jc}=1.2^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ，绝缘片热阻 $R_{\theta cs}$ 为 $0.2^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ，散热器与空气间的热阻 $R_{\theta sa}$ 为 $0.8^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ，求：

- 绘出分析用热模型；
- 若两个器件功耗相同，环境温度 $T_A=40^{\circ}\text{C}$ ，器件最高结温 $T_{j\max}=150^{\circ}\text{C}$ ，器件的允许功耗是多少瓦？
- 若只有一个器件工作，则器件的允许功耗是多少瓦？



一、热设计与热管理

➤ 2(a)



➤ 2(b) *

$$T_s - T_A = (P_{d1} + P_{d2})R_{SA}$$

$$T_{C1} - T_S = P_{d1}(R_{jc} + R_{cs})$$

$$T_{C2} - T_S = P_{d2}(R_{jc} + R_{cs})$$

$$P_{d1} = P_{d2} = P_d \longrightarrow T_{c1} = T_{c2} = T_c$$

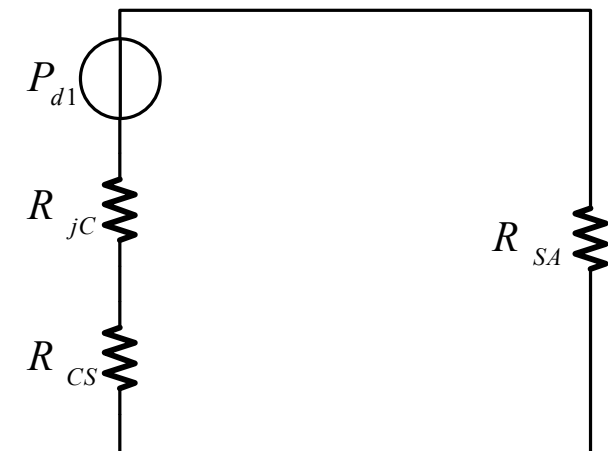
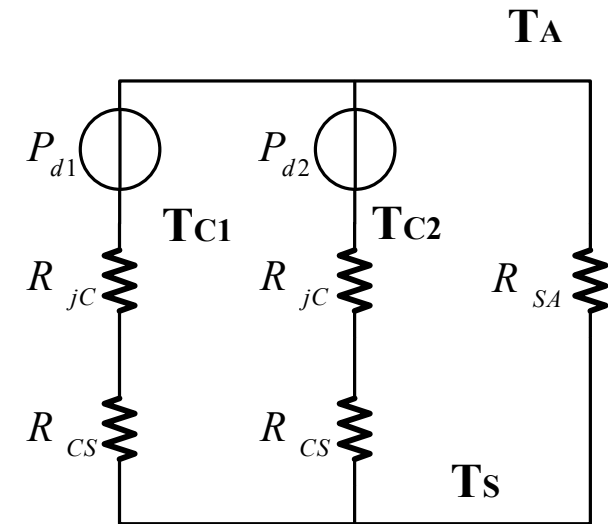
$$T_c - T_A = P_d(2R_{SA} + R_{jc} + R_{cs})$$

$$P_d = 36.67\text{W}$$

➤ 2(c)

$$T_c - T_A = P_{d1}(R_{SA} + R_{jc} + R_{cs})$$

$$P_d = 50\text{W}$$



一、热设计与热管理

➤ 习题3

一个TO3封装器件, $R_{\theta jc}=1.0^{\circ}\text{C}/\text{W}$, 安装在散热器上。已知, 绝缘片厚度0.1mm, 其热阻率为 $635^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$, TO3底座面积约 5cm^2 , $R_{\theta SA}$ 为 $2^{\circ}\text{C}/\text{W}$, $T_A=75^{\circ}\text{C}$.求:

a. 绘出分析用热模型;

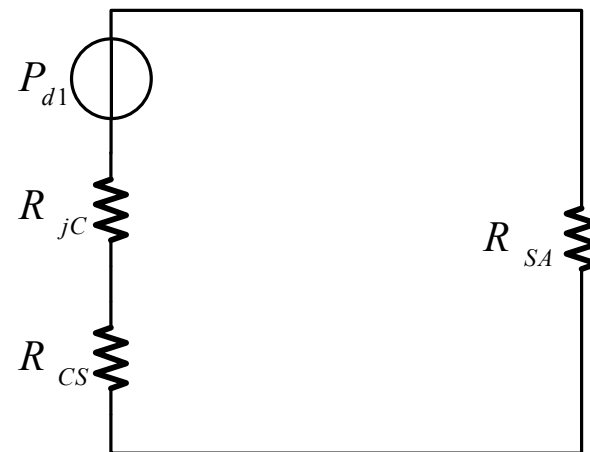
b. 若 $T_{jmax}=150^{\circ}\text{C}$, 求最大允许功耗。

➤ 3(b) $R_{CS} = 6.35 \times 0.1 \times 10^{-3} / (5 \times 10^{-4})$

$$R_{CS} = 1.27^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

$$P_{max} = \frac{T_{jmax} - T_A}{R_{jc} + R_{CS} + R_{SA}} = 17.56\text{W}$$

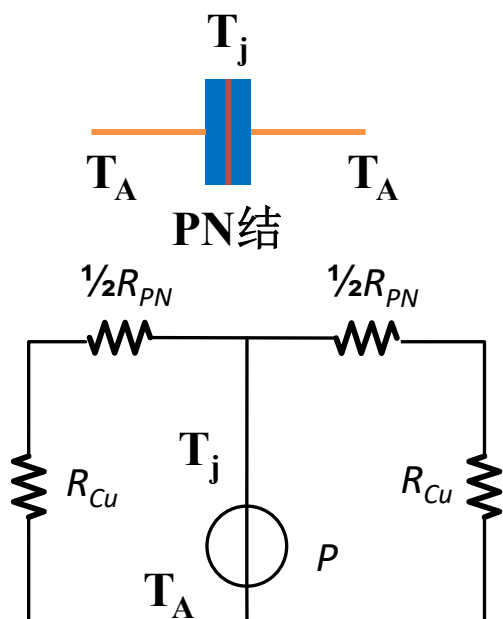
➤ 3(a)



一、热设计与热管理

➤ 习题4(*)

一个结型整流二极管，PN结截面为 $0.25\text{cm} \times 0.25\text{cm}$ ，厚 0.05cm ，功耗可认为发生在PN结中央，引线直径 2mm ，为铜线，长度各 1cm 安装在 $T_A = 75^\circ\text{C}$ 的材料上。若 $T_{j\max} = 225^\circ\text{C}$ ，硅的热阻率为 $1.2^\circ\text{C} \cdot \text{cm}/\text{W}$ ，铜的热阻率为 $0.25^\circ\text{C} \cdot \text{cm}/\text{W}$ 。求：绘出分析用热模型并计算最大允许功耗。



$$R_{PN} = \frac{1.2 \times 10^{-2} \times 0.05 \times 10^{-2}}{0.25 \times 0.25 \times 10^{-4}} = 0.96^\circ\text{C}/\text{W}$$

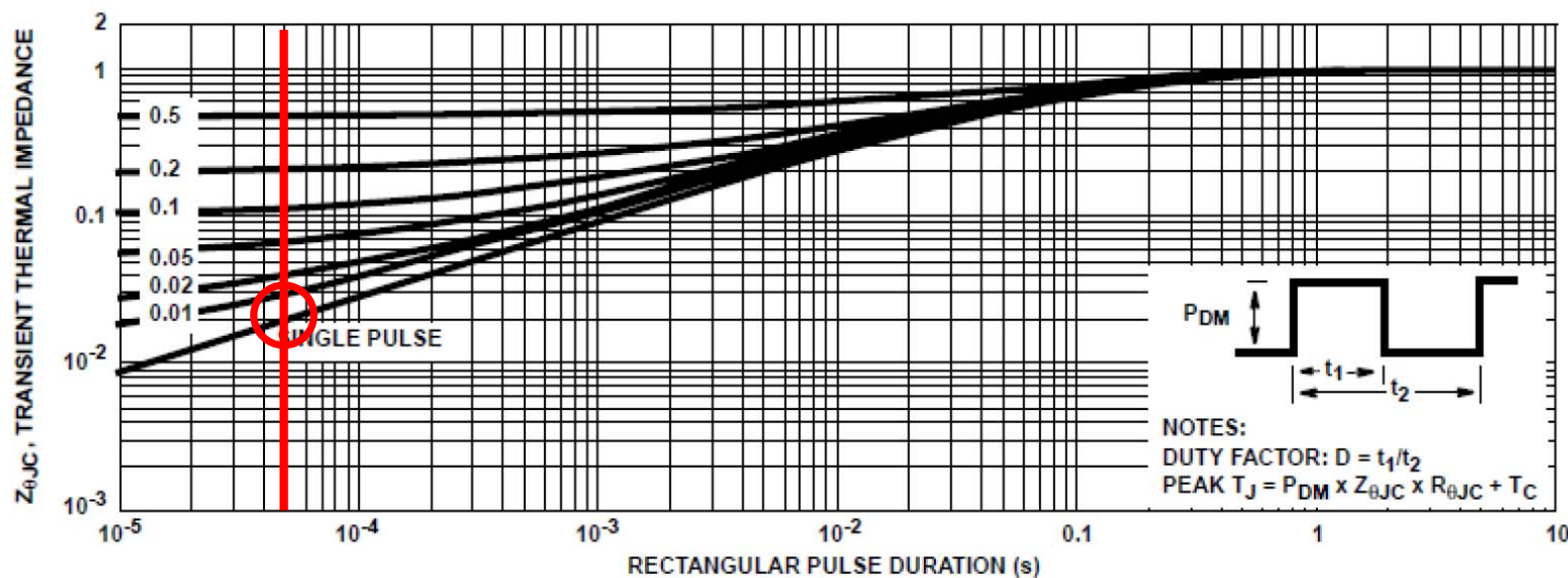
$$R_{Cu} = \frac{0.25 \times 10^{-2} \times 1 \times 10^{-2}}{\pi \times 1 \times 1 \times 10^{-6}} = 7.96^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$P_{\max} = \frac{T_{j\max} - T_A}{0.5(0.5R_{PN} + R_{Cu})} = 35.55\text{W}$$

一、热设计与热管理

➤ 习题5

IRF440的工作结温已经稳定在 125°C ，过流保护动作时间为 $50\mu\text{s}$ 。求当结温 $\leq 150^{\circ}\text{C}$ 时允许的最大功耗和最大电流值。已知 $R_{\theta\text{JS}}=0.83^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ， 150°C 时器件内阻为1.8欧。提示：查单脉冲热阻曲线。



一、热设计与热管理

➤ 习题5

IRF440的工作结温已经稳定在125℃，过流保护动作时间为50us。求当结温≤150℃时允许的最大功耗和最大电流值。已知 $R_{\theta js}=0.83^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ，150℃时器件内阻为1.8欧。提示：查单脉冲热阻曲线。

以单脉冲曲线为例，查表可得：

$$Z_{\theta jc}=0.02$$

$$P_{max} = \frac{T_{jmax} - T_A}{Z_{\theta jc} R_{\theta jc}} = \frac{150 - 125}{0.83 \times 0.02} = 1560\text{W}$$

$$I_{max} = \sqrt{\frac{P_{max}}{R}} = 28.93\text{A}$$

习题课提纲

一、热设计与热管理

二、磁性元件

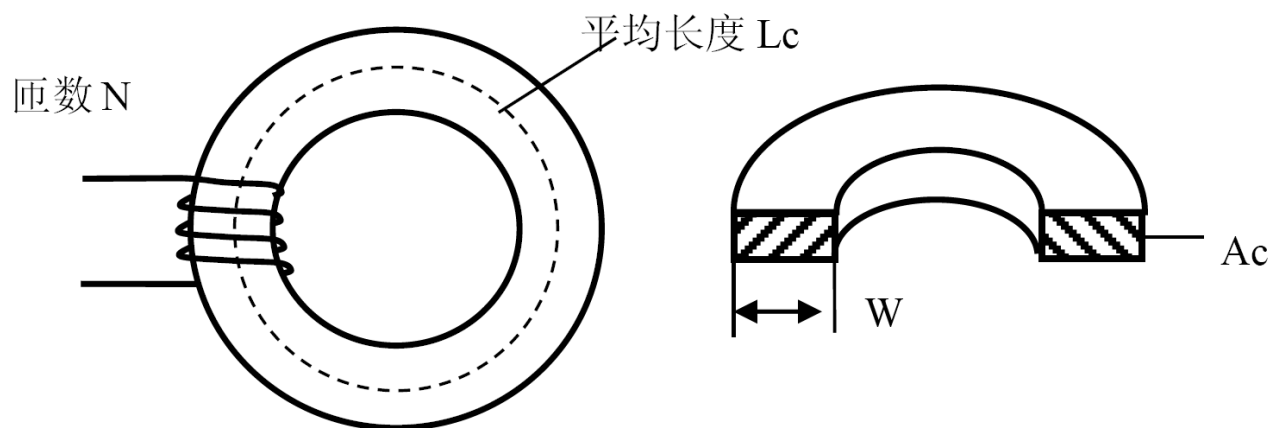
三、门极驱动电路



二、磁性元件

➤ 习题1

推导图示环形电感的计算式。已知磁心平均磁路长度 L_c ，内径比磁芯径向尺寸 w 大得多。磁心截面为 A_c ，线圈匝数为 N ，磁心的相对磁导率为 μ_c 。



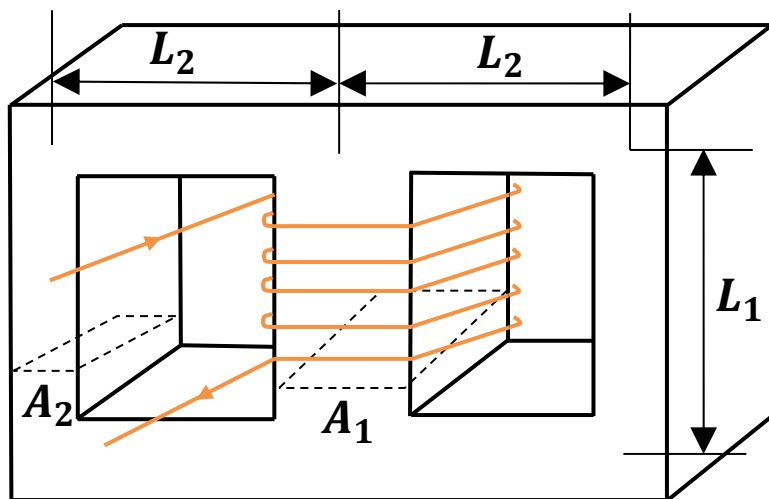
安培环路定理： $\oint_{l_c} \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \mu_c N I$ ，有磁感应强度(磁密) $B = \frac{\mu_0 \mu_c N I}{L_c}$

磁通 $\Phi = B A_c = \frac{\mu_0 \mu_c A_c N I}{L_c}$ ，磁链 $\Psi = N \Phi = \frac{\mu_0 \mu_c A_c N^2 I}{L_c}$ ，电感 $L = \frac{\Psi}{I} = \frac{\mu_0 \mu_c A_c N^2}{L_c}$ 。

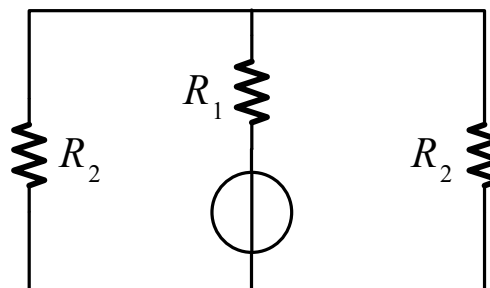
二、磁性元件

➤ 习题2

计算图示一个电感器的电感值，在中柱上有线圈N匝，磁心的相对磁导率为 μ_c ，中柱与两个边柱的横断面分别为 A_1 、 A_2 。



$$R_1 = \frac{L_1}{\mu_0 \mu_c A_1}, \quad R_2 = \frac{L_1 + 2L_2}{\mu_0 \mu_c A_2}$$



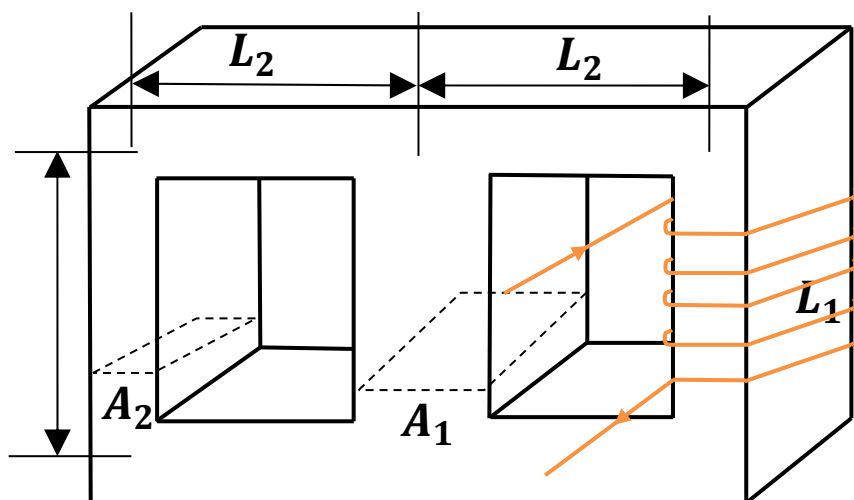
$$\Phi = \frac{NI}{R_1 + \frac{R_2}{2}} = \frac{2A_1 A_2 \mu_0 \mu_c NI}{2A_2 L_1 + A_1 (L_1 + 2L_2)}$$

$$L = \frac{N\Phi}{I} = \frac{2A_1 A_2 \mu_0 \mu_c N^2}{2A_2 L_1 + A_1 (L_1 + 2L_2)}$$

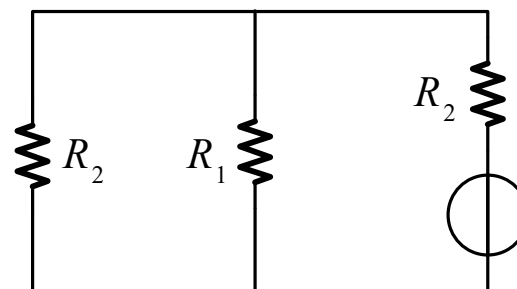
二、磁性元件

➤ 习题3

题图同题2。若将中柱线圈（N匝）移到一个边柱上。其它条件不变。推导其电感的计算式。



$$R_1 = \frac{L_1}{\mu_0 \mu_c A_1}, \quad R_2 = \frac{L_1 + 2L_2}{\mu_0 \mu_c A_2}$$



$$\Phi = \frac{NI}{R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}} = \frac{\mu_0 \mu_c NI}{\frac{L_1 + 2L_2}{A_2} + \frac{L_1(L_1 + 2L_2)}{A_2 L_1 + A_1(L_1 + 2L_2)}}$$

$$L = \frac{N\Phi}{I} = \frac{\mu_0 \mu_c N^2}{\frac{L_1 + 2L_2}{A_2} + \frac{L_1(L_1 + 2L_2)}{A_2 L_1 + A_1(L_1 + 2L_2)}}$$

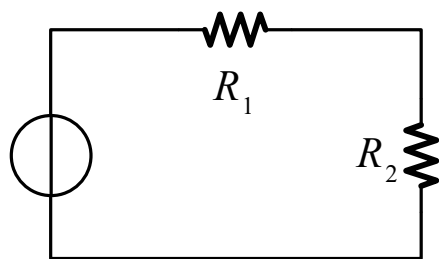
二、磁性元件

► 习题4

磁路如图。其中的气隙长度为 g ，磁心截面积为 A ，磁路平均长度为 L_c ，线圈匝数为 N ，磁心的相对磁导率为 μ_c ，空气的磁导率为 μ_0 。求：

a: 推导该电感器的电感计算式

b: 推导该电感器的储能计算式

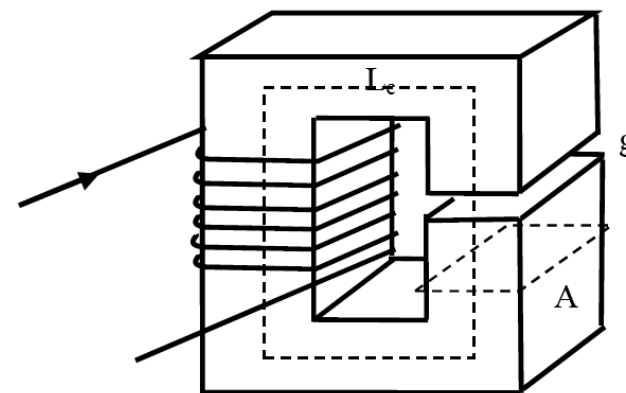


$$R_1 = \frac{L_c - g}{\mu_0 \mu_c A}, \quad R_2 = \frac{g}{\mu_0 A}$$

$$\Phi = \frac{Ni}{R_1 + R_2} = \frac{Ni}{\frac{L_c - g}{\mu_0 \mu_c A} + \frac{g}{\mu_0 A}} = \frac{\mu_0 \mu_c ANi}{(L_c - g) + \mu_c g}$$

$$L = \frac{N\Phi}{i} = \frac{\mu_0 \mu_c AN^2}{(L_c - g) + \mu_c g} \quad \text{if } L_c \gg g$$

$$W = \frac{1}{2} Li^2 = \frac{\mu_0 \mu_c AN^2 i^2}{2[(L_c - g) + \mu_c g]}$$



$$L \approx \frac{\mu_0 AN^2}{g + L_c/\mu_c}$$

$$W = \frac{1}{2} Li^2 = \frac{\mu_0 AN^2 i^2}{2(g + L_c/\mu_c)}$$

二、磁性元件

➤ 习题5

由电感储能 $W_m = 1/2 \cdot Li^2$ 推导出 $W_m = 1/2 \mu \cdot B^2 V_c$ ，其中 V_c 是磁芯体积， μ 是磁芯的磁导率。

令磁芯截面积为 A ，磁路长度为 L_c ，则：

$$L = \frac{N\Phi}{i} = \frac{NBA}{i}$$

根据安培环路定理：

$$BL_c = \mu Ni \Rightarrow i = \frac{BL_c}{\mu N}$$

带入可得：

$$W_m = \frac{1}{2} Li^2 = \frac{1}{2} \cdot NBA \cdot \frac{BL_c}{\mu N} = \frac{B^2 AL_c}{2\mu} = \frac{B^2 V_c}{2\mu}$$

证毕。

单位体积磁能

$$w_m = \frac{B^2}{2\mu} = \frac{1}{2} BH$$

二、磁性元件

➤ 习题6

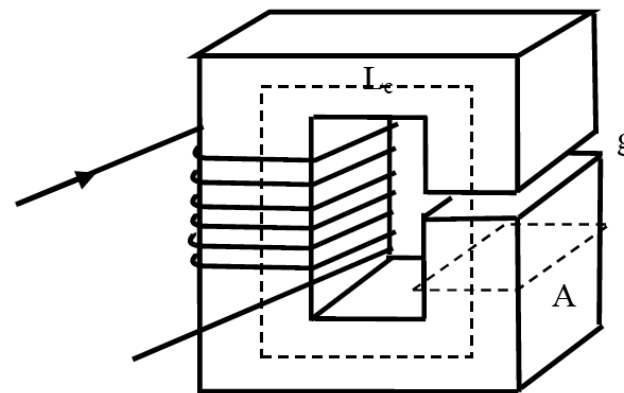
题4图示磁路中磁路截面积 A_c =气隙截面积 $A_g=12\text{mm} \times 15\text{mm}$, 气隙长 $g=0.5\text{mm}$, 磁路平均长 $L_c=10.3\text{ cm}$, $N=5$ 匝。磁心相对磁导率 $\mu_r=2000$ 。求: (a)磁心的磁阻 (单位: AT/Wb , 安匝/韦伯); (b)气隙的磁阻; (c)磁密 $B=0.2\text{T}$ 时的磁通 (单位: Wb , 韦伯); (d) 磁心和气隙中各自的磁场强度 H (单位: A/m , 安/米)。

➤ 6(a)

$$L_c \gg g$$

$$R_c \approx \frac{L_c}{\mu_0 \mu_c A_g} = \frac{0.103}{2000 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 0.012 \times 0.015}$$

$$R_c = 2.28 \times 10^5 \text{ AT/Wb}$$



二、磁性元件

➤ 6(b)

$$R_g = \frac{g}{\mu_0 A_g} = \frac{0.5 \times 10^{-3}}{4\pi \times 10^{-7} \times 0.012 \times 0.015}$$
$$= 2.21 \times 10^6 \text{ AT/Wb}$$

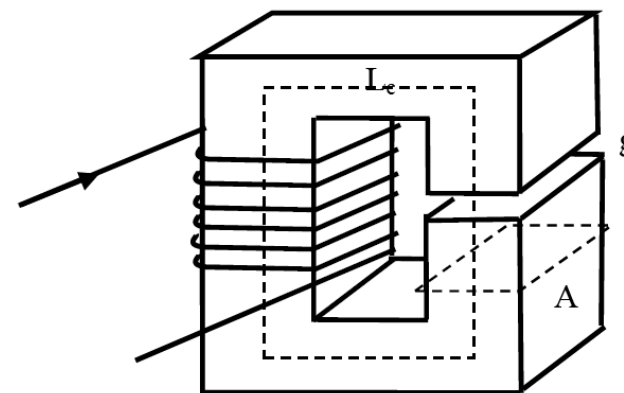
➤ 6(c)

$$\Phi = BA_g = 0.2 \times 0.012 \times 0.015$$
$$= 3.6 \times 10^{-5} \text{ Wb}$$

➤ 6(d)

$$H_c = \frac{B}{\mu_0 \mu_c} = \frac{0.2}{2000 \times 4\pi \times 10^{-7}} = 79.58 \text{ A/m}$$

$$H_g = \frac{B}{\mu_0} = \frac{0.2}{4\pi \times 10^{-7}} = 159.15 \text{ A/m}$$



习题课提纲

一、热设计与热管理

二、磁性元件

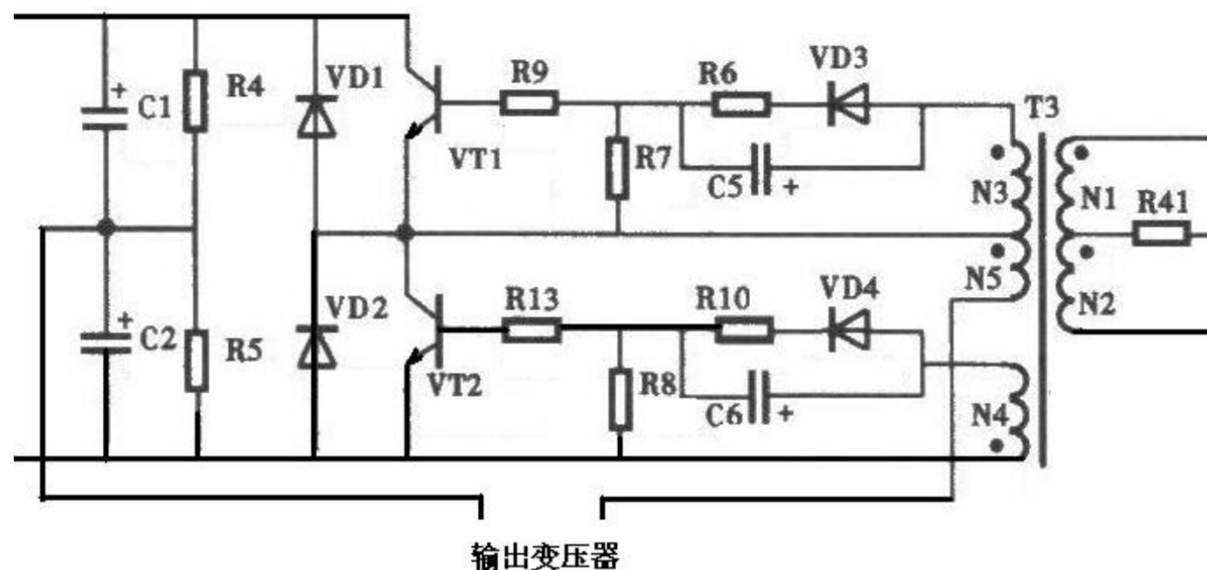
三、门极驱动电路



三、门极驱动电路

➤ 习题1

图示半桥变换电路中电容C5、C6的作用是什么？说明绕组N5的作用。



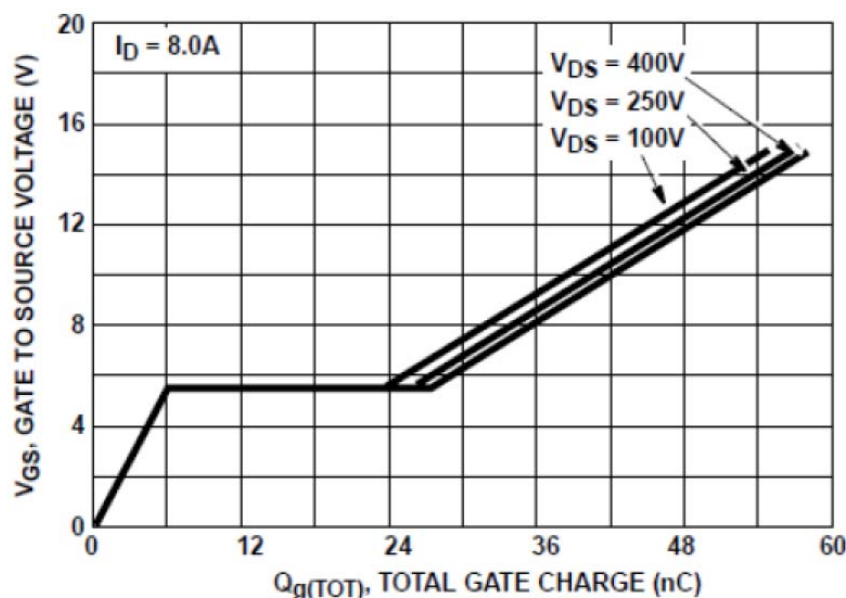
C5, C6为加速电路，产生瞬间大电流，N3, N4有电时，C5, C6通过全部电流，R6, VD3以及R10, VD4短路，由于R7, R8, R9, R8, R13阻值较小，使得VT1和VT2快速导通。

N5为输出变压器提供主电源。

三、门极驱动电路

➤ 习题2

IRF440的栅荷特性如图所示。若驱动电压从-5V到+15V间变化，开关频率为100kHz， $V_{DS}=100V$ ，求驱动器的平均输出电流与功率。若驱动器最大电流为1.0A，求漏极电流下降时间。



查表得驱动器的栅极电荷变化

$$Q = 55 - (-5.5) = 60.5 \text{ nC}$$

驱动器平均输出电流和平均功率

$$I = Q \times f = 60.5 \text{ n} \times 100 \text{ k} = 6.05 \text{ mA}$$

$$P = \Delta U \times I = 121 \text{ mW}$$

漏极电流下降时间

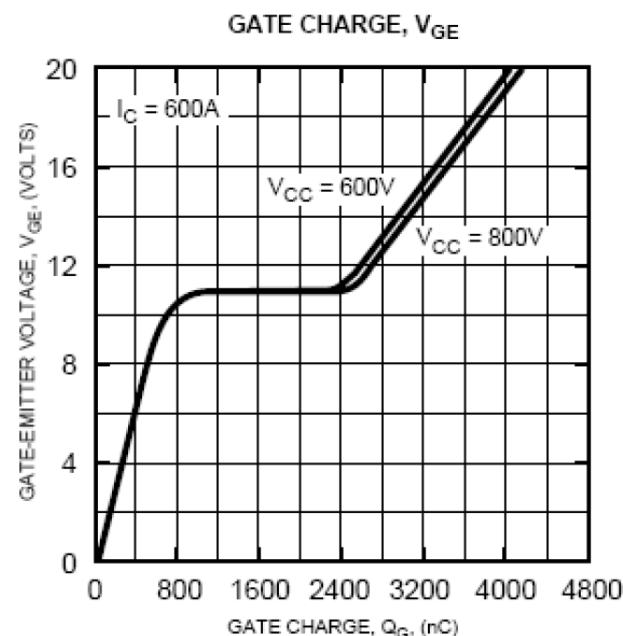
$$t_f = \frac{\Delta Q_m}{i_m} = \frac{24 \text{ nC} - 6 \text{ nC}}{1 \text{ A}} = 18 \text{ nS}$$

三、门极驱动电路

➤ 习题3

CM600HA-28H IGBT的门极电荷特性如图。假定 V_{CC} 为800伏，IGBT关断时采用-8V偏压，最大开通电压为15V，开关频率2kHz。计算：

- 确定IGBT门极电荷。
- 计算驱动功率。
- 若 R_{Gmin} 为 2.1Ω ，计算驱动器输出电流的峰值和平均值。



三、门极驱动电路

➤ 3(a)

导通时3400nC，关断时-500nC。

$$Q = 3400 - (-500) = 3900 \text{ nC}$$

➤ 3(b)

$$\begin{aligned} P &= \Delta U \times Q \times f \\ &= [15 - (-8)] \times 3900 \text{ n} \times 2 \text{ k} \\ &= 179.4 \text{ mW} \end{aligned}$$

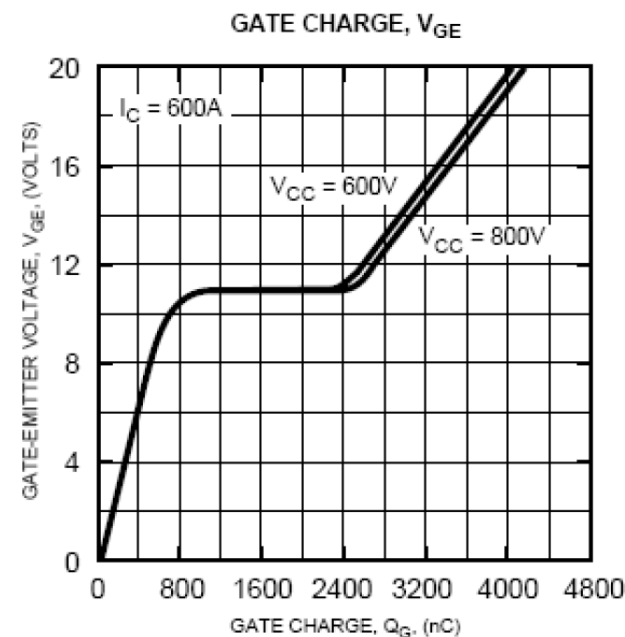
➤ 3(c)

平均电流

$$I = Q \times f = 3900 \text{ n} \times 2 \text{ k} = 7.8 \text{ mA}$$

峰值电流(忽略IGBT门极内部电阻)

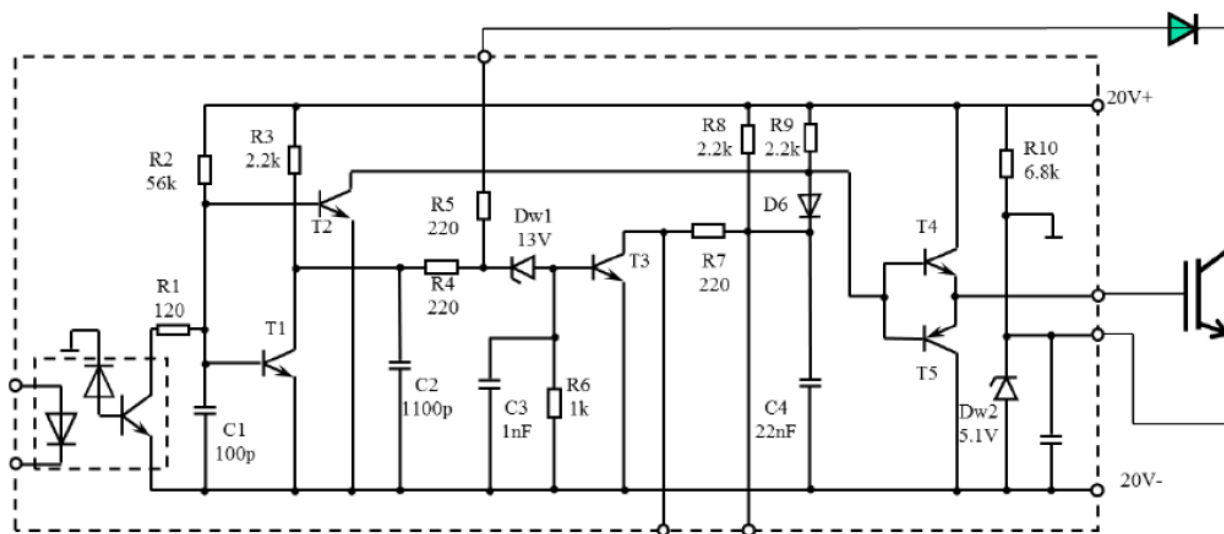
$$i_{\max} = \frac{V_{g+} - V_{g-}}{R_g} = \frac{15 - (-8)}{2.1} = 10.95 \text{ A}$$



三、门极驱动电路

➤ 习题4

图示IGBT 驱动器电路EX841。说明电路的短路保护过程。



IGBT短路，IGBT承受大电流而管压降升高，T3基极电压升高，T3导通，C4通过R7，T3放电，电位下降后，D6导通使得T4，T5基极点位下降，T4慢关断，IGBT栅极电位逐渐下降，慢速关断IGBT。



西南交通大学
Southwest Jiaotong University

电力电子装置与控制

(习题课二)

西南交通大学电气工程学院

2020. 6. 12

习题课提纲

四、保护及检测电路

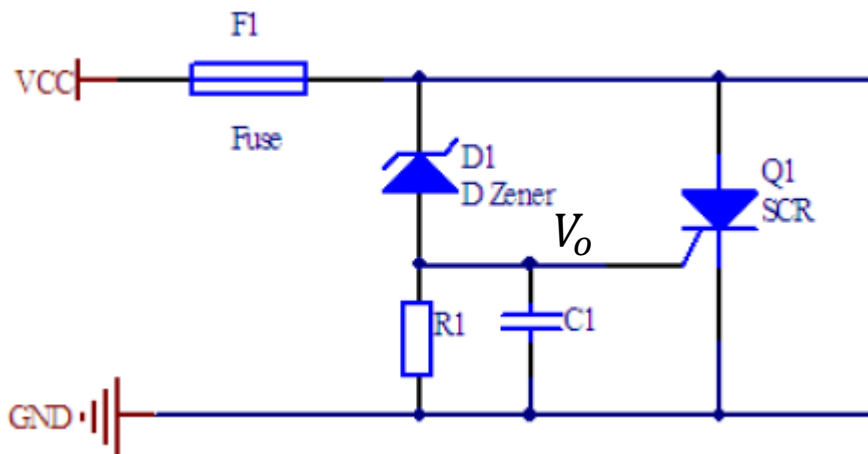


四、保护及检测电路

► 习题1

1. 图示为撬棍（crowbar）保护电路。假定稳压管稳压值为 100V，内阻 100 欧，SCR 最小触发电压为 5V。电容 C1 为 0.1uF，电阻 10K 欧，过电压为 110V 方波。求保护动作的延迟时间。

当Vcc超过100V后，假设SCR未动作，触发电流为0



$$\frac{v_{cc} - 100 - v_o}{R_z} = \frac{v_o}{R_1} + C_1 \frac{dv_o}{dt}$$
$$\Rightarrow \begin{cases} \frac{v_{cc} - 100}{R_z} = \frac{v_o}{R_1 // R_z} + C_1 \frac{dv_o}{dt} \\ v_o|_{t=0} = 0, v_{cc} - 100 = 10 \end{cases}$$
$$\Rightarrow v_o(t) = 9.9(1 - e^{-t/9.9 \times 10^{-6}})$$

当Vo=5V时，t=6.96us

四、保护及检测电路

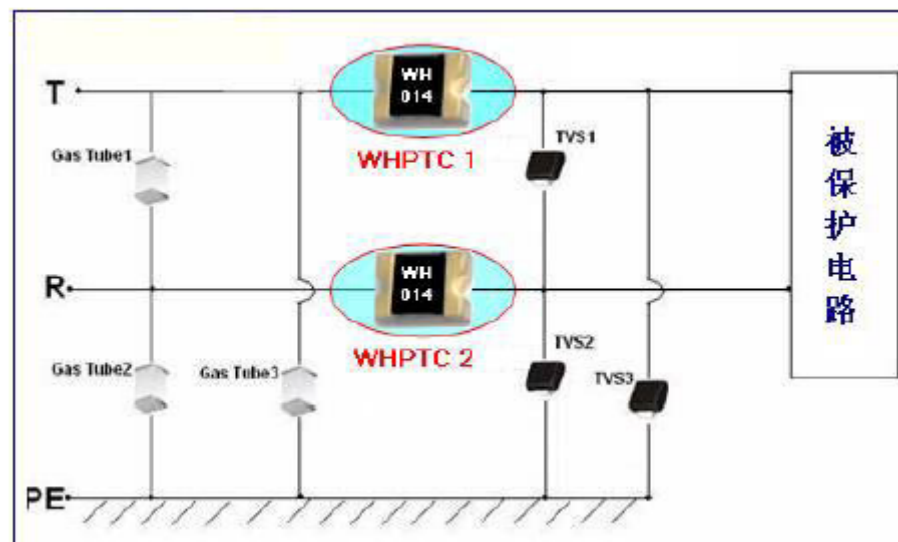
➤ 习题2

2. 图示过压保护电路。气体放电管能否用于直流系统？为什么？图中 WHPTC 是热敏电阻，它的温度系数是正还是负？TVS 管的作用是什么？

(1) 不能，当气体放电管击穿后，无法恢复截止状态，因此不能使用于直流系统。

(2) 正温度系数。

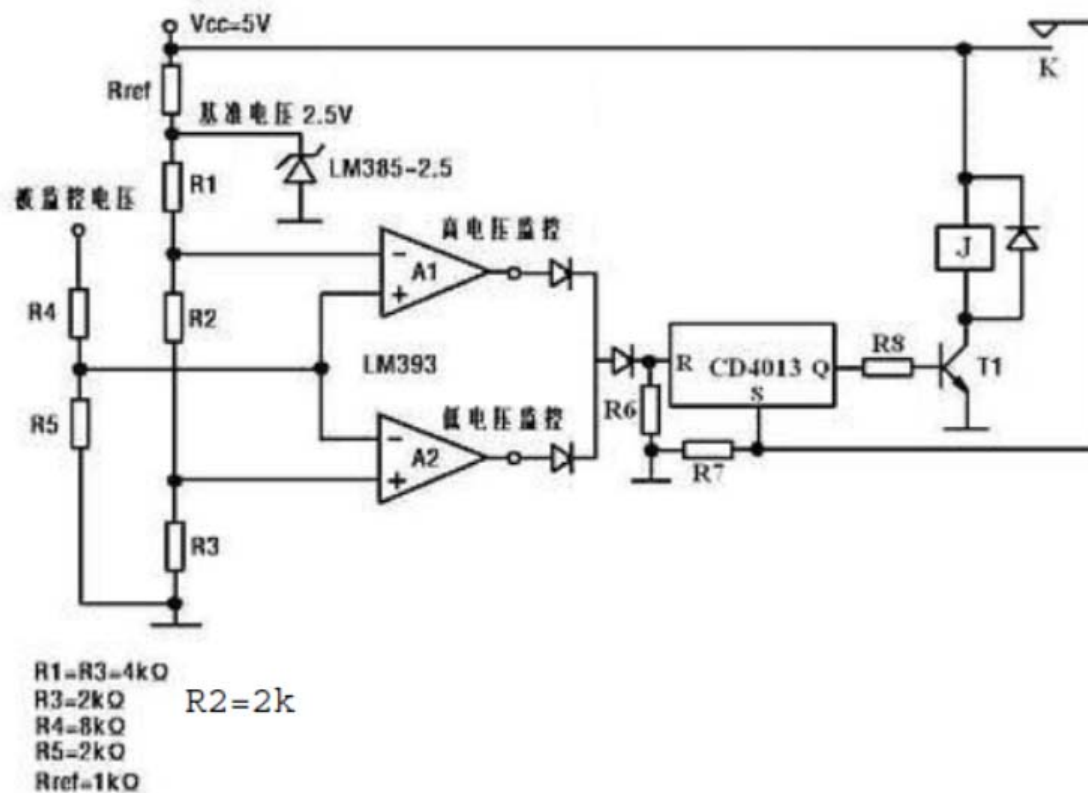
(3) TVS管可将浪涌电压限制在电力电子器件允许的电压范围之内，实现电压保护。



四、保护及检测电路

► 习题3

3. 图示为欠/过压保护电路。计算它的保护值。



四、保护及检测电路

► 习题3

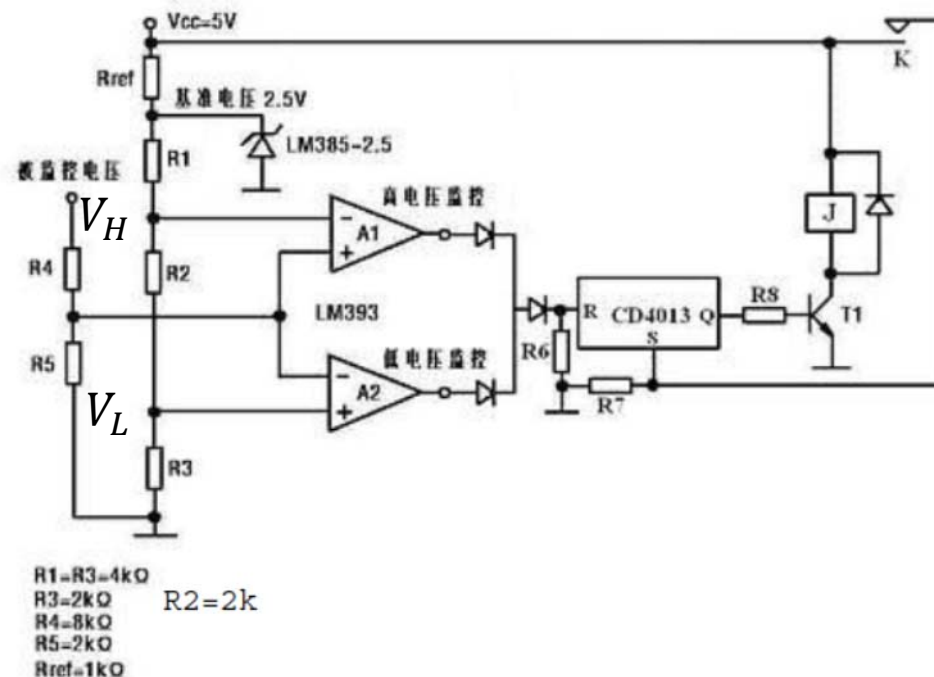
$$\frac{2.5}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{V_H}{R_2 + R_3}$$

$$\frac{2.5}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{V_L}{R_3}$$

$$V_H = 1.5V, V_L = 1V$$

$$\frac{V_O - 1.5}{R_4} = \frac{1.5}{R_5} \Rightarrow V_O = 7.5V$$

$$\frac{V_O - 1}{R_4} = \frac{1}{R_5} \Rightarrow V_O = 5V$$



保护范围：小于5V以及大于7.5V。

四、保护及检测电路

► 习题4

4. 图示为滞回过流保护电路。若 $R_1=R_2$, $V_Z=\pm 6V$, $V_P=8V$, 电流传感器电流比为 1000/1A, 电阻 $R_3=10$ 欧。计算它的保护值。

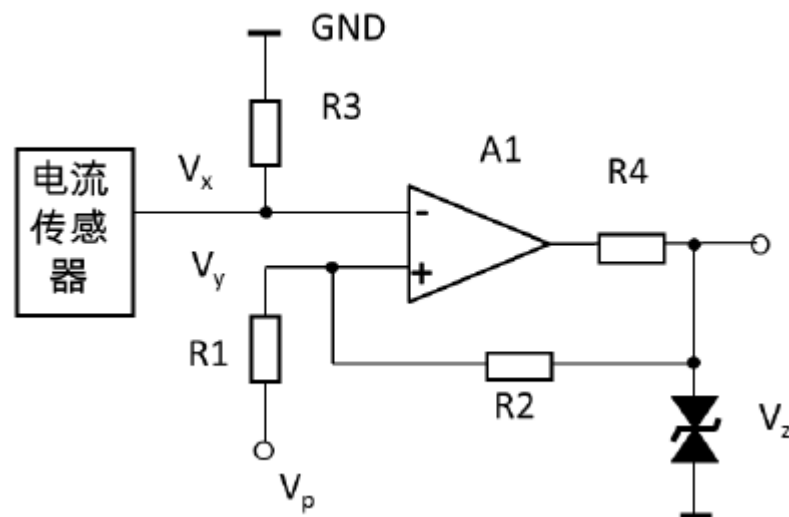
$$\frac{V_P - V_Y}{R_1} = \frac{V_Y - 6}{R_2} \Rightarrow V_Y = 7V$$

$$\frac{7}{R_3} \times 1000 = 700A$$

$$\frac{V_P - V_Y}{R_1} = \frac{V_Y - (-6)}{R_2} \Rightarrow V_Y = 1V$$

$$\frac{1}{R_3} \times 1000 = 100A$$

保护值：100A以及700A。

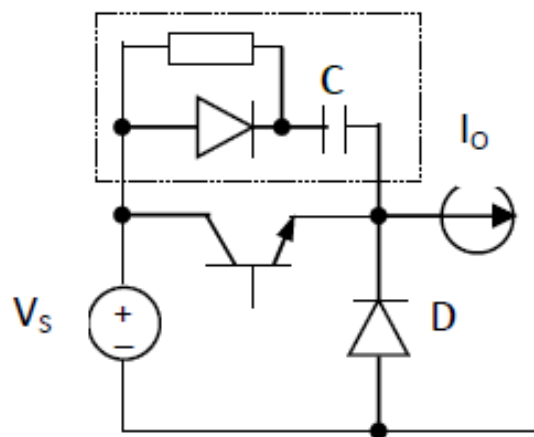


四、保护及检测电路

➤ 习题5*****

5. 电路如图示。设在关断过程中流过三极管的电流按线性规律变化。求：

b. 无缓冲吸收电路时，若给三极管加上关断信号到流过三极管的电流为零的时间为 0.5 微秒，电源电压为 400 伏，负载电流为 50 安，计算一个关断过程中的功率损耗。



题 4 图

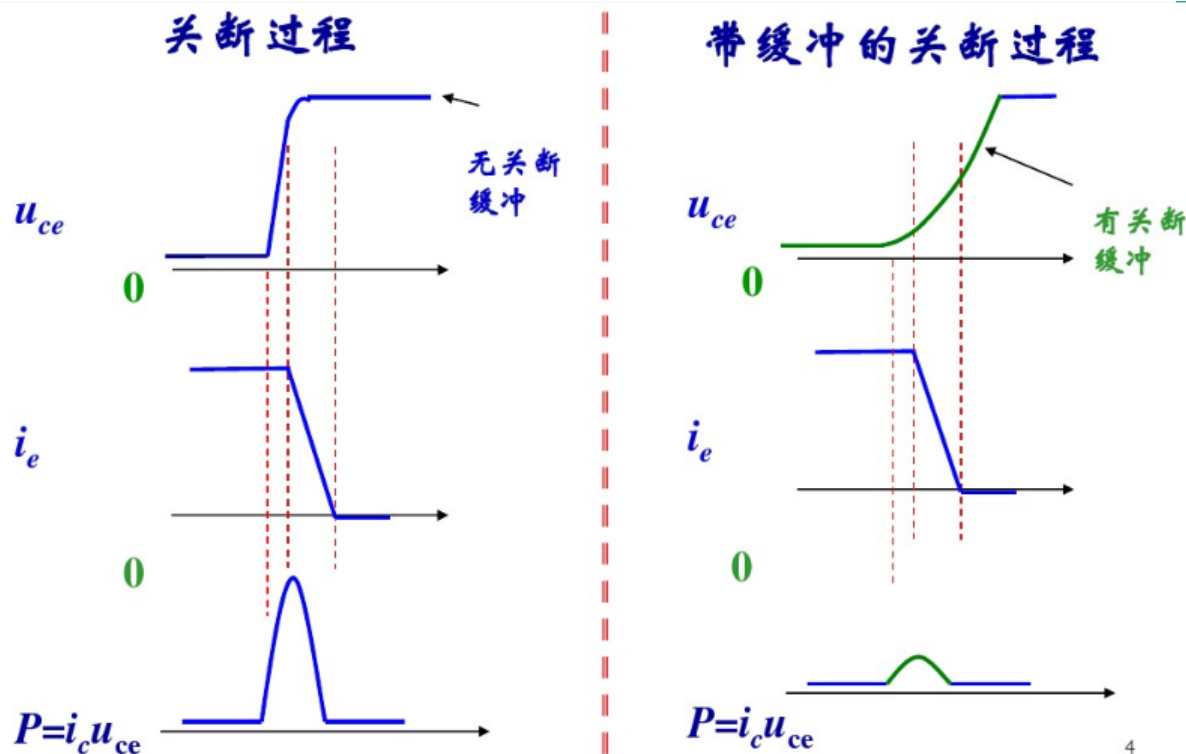
忽略电压上升过程的功耗，仅考虑
电流下降过程的功耗

$$\begin{aligned} E &= 400 \times \int_0^{0.5 \times 10^{-6}} (-10^8 t + 50) \cdot dt \\ &= 400 \times \left(-0.5 \times 10^8 t^2 + 50t \right) \Big|_0^{0.5 \times 10^{-6}} \\ &= 5 \text{mJ} \end{aligned}$$

四、保护及检测电路

➤ 习题5

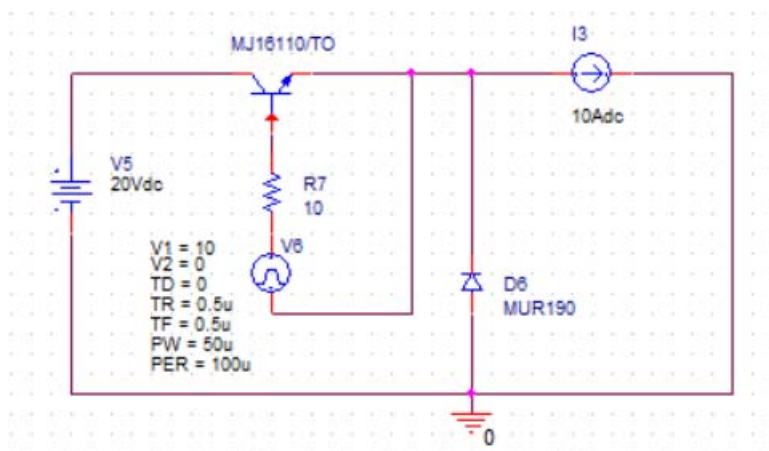
5. 电路如图示。设在关断过程中流过三极管的电流按线性规律变化。求：
- 作出无缓冲吸收电路时，在关断过程中流过三极管的电流与三极管两端的电压波形。
 - 加上缓冲吸收电路后，作出关断过程中流过三极管的电流与三极管两端的电压波形。



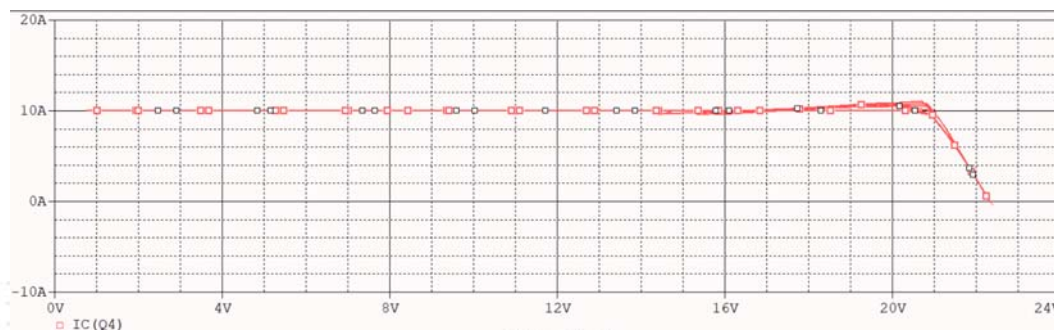
四、保护及检测电路

➤ 习题5

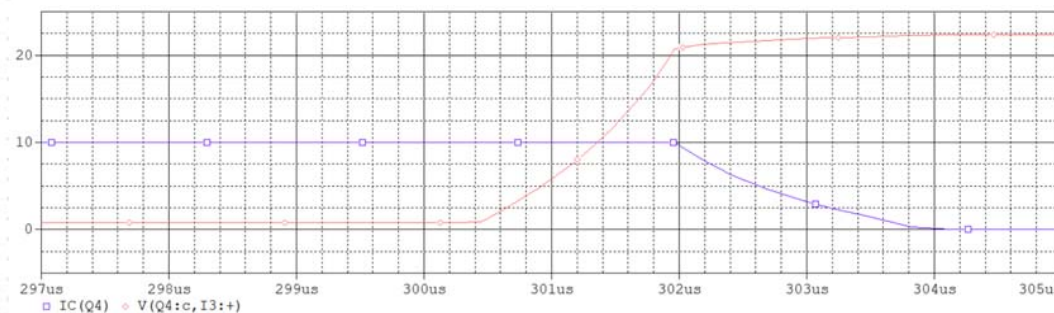
电路仿真：三极管型号MJ6110



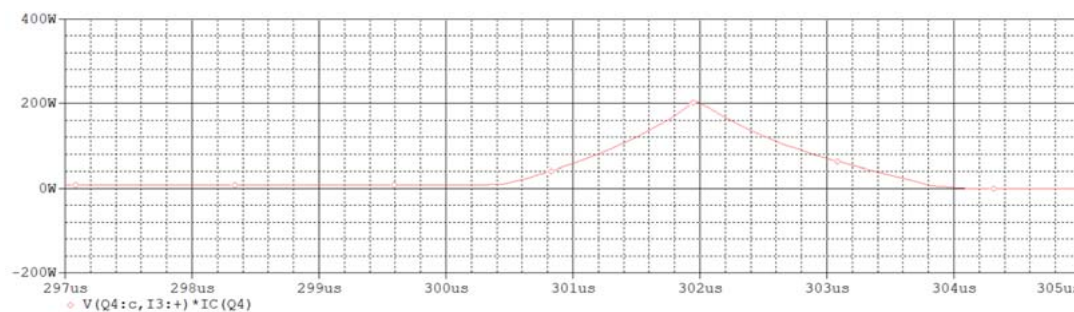
没有缓冲电路



三极管从饱和区经过放大区进入截止区



电压上升后，电流下降

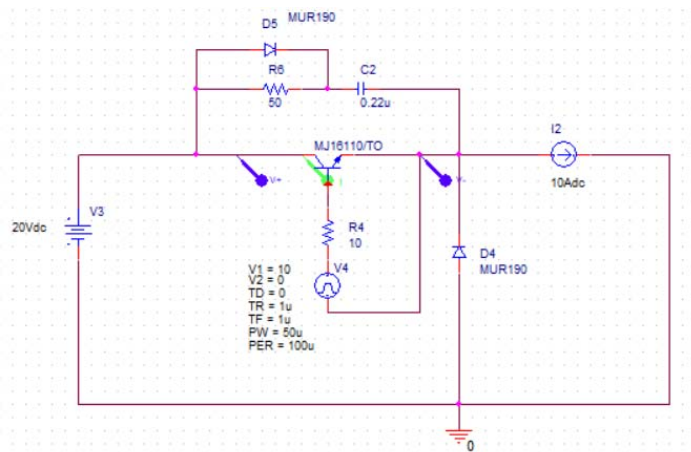


功耗曲线

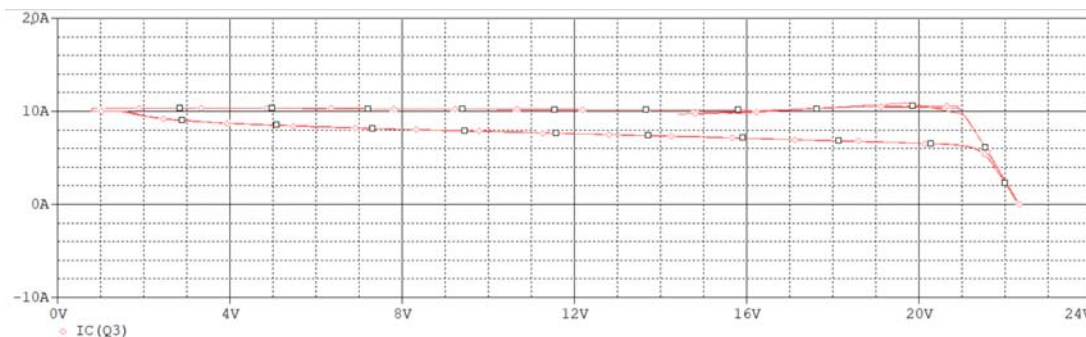
四、保护及检测电路

► 习题5

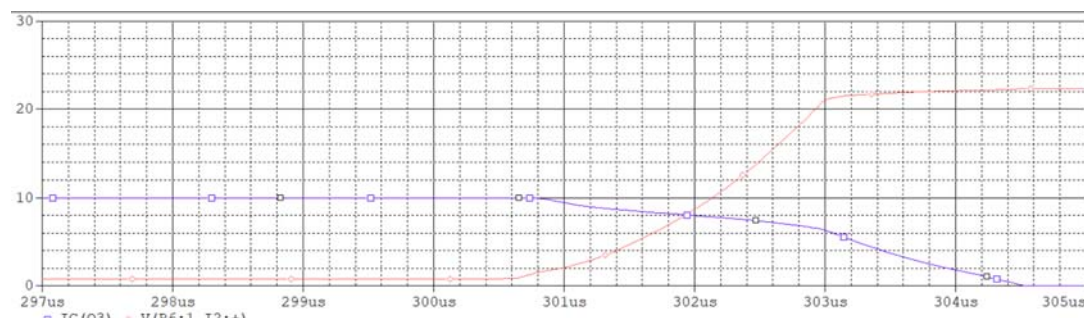
电路仿真：三极管型号MJ6110



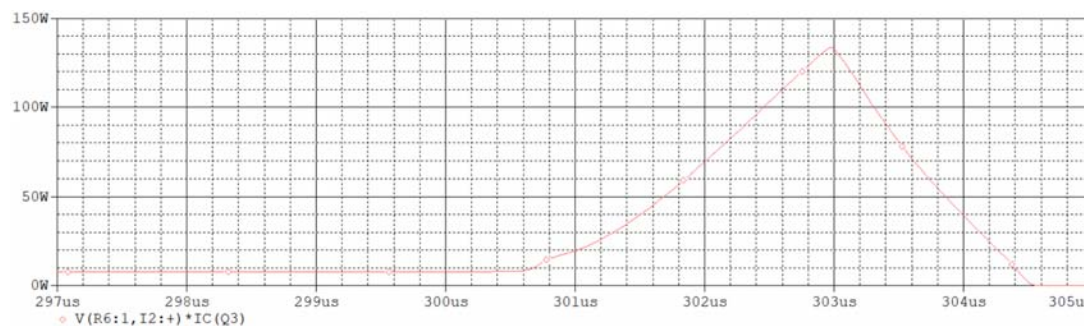
缓冲电路



三极管从饱和区经过放大区进入截止区



电压上升后，电流下降



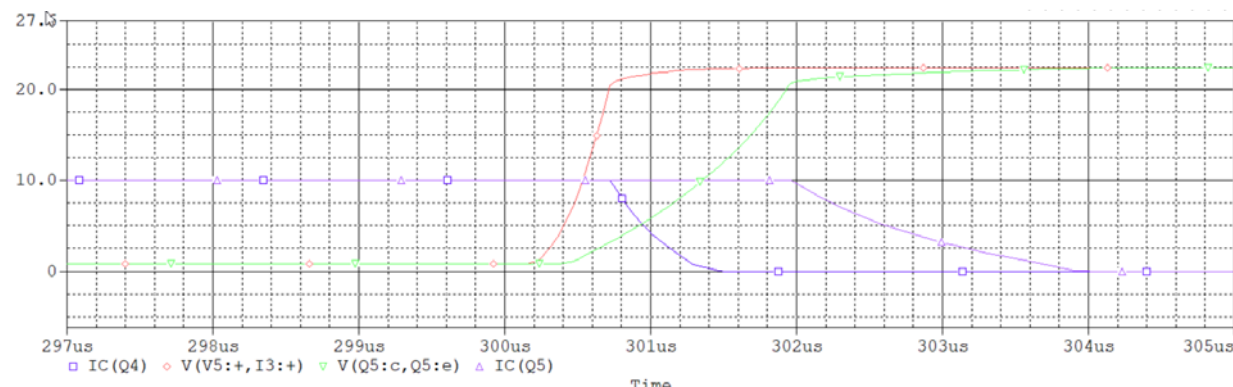
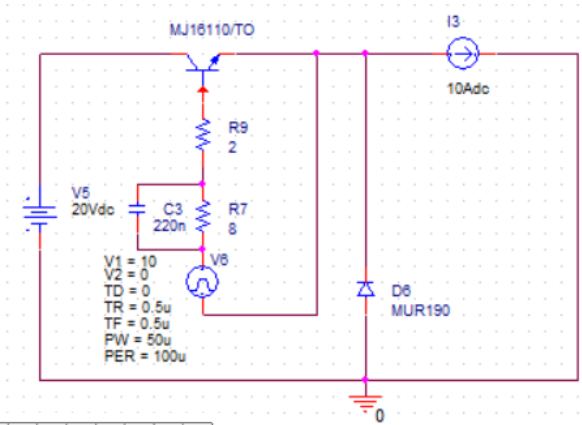
功耗曲线

四、保护及检测电路

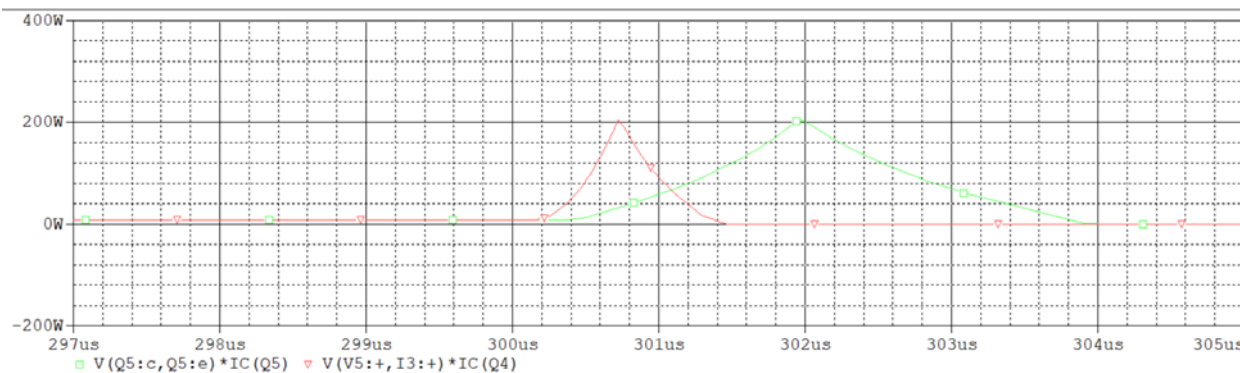
➤ 习题5

加速电路

电路仿真：三极管型号MJ6110



开关速度加快

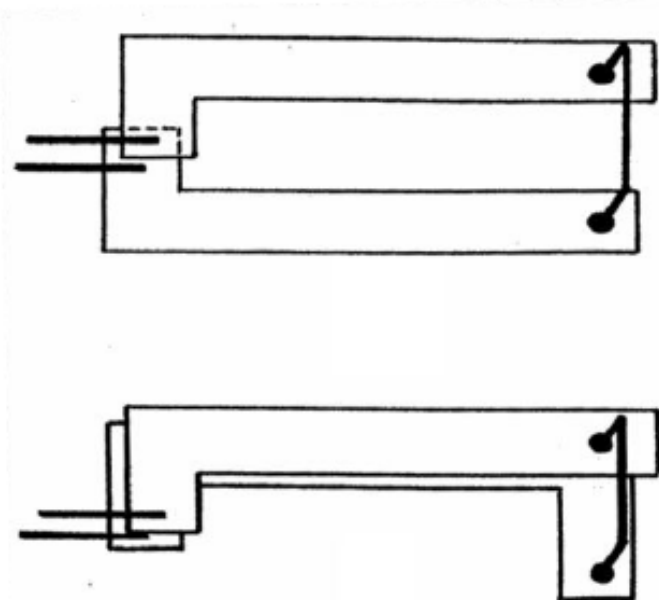


功耗曲线

四、保护及检测电路

► 习题6

6. 低电感母线是通过()设计, 消除或减小分布()对电路的影响。其思路是使母线正负导体(), 其中的电流大小相等方向(), 结果母线产生的合成磁场为(), 分布()也就为零。图中哪个方案等效电感值较小?



层叠; 电感; 层叠平行分布;

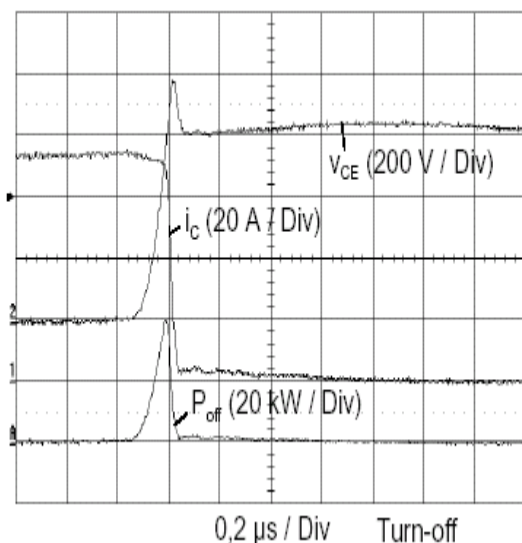
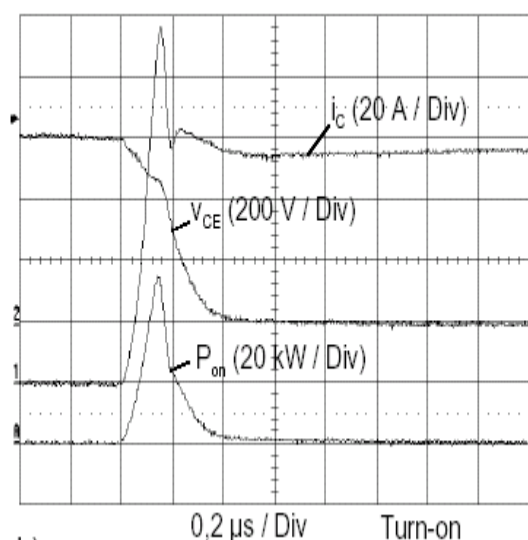
相反; 零; 电感。

第2种方案更小。

四、保护及检测电路

➤ 习题7

7. IGBT开关过程电路波形如下，试计算线路杂散电感的等效值，如果增加RCD吸收电路，设计电容和电阻值，使得关断过压不超过100V。如果延长开关时间，使过压不超过100V，关断时间大约是多少，此时关断功耗有何变化。



线路杂散电感的等效值

$$L_s = \frac{\Delta u}{di/dt} \approx \frac{\Delta u}{\Delta i / \Delta t}$$

从关断波形中看出来，在40ns内电流从75A下降为0，杂散电感产生尖峰电压200V

$$L_s = \frac{200}{75/40n} \approx 106.67nH$$

四、保护及检测电路

从关断波形中看出来，在40ns内电流从75A下降为0，那么电感上的需要转移的能量为

$$W = \frac{1}{2} Li^2 = \frac{1}{2} \times 106.67nH \times 75^2 = 0.3mJ$$

假设关断过程中，电感上的需要转移的能量全部转移到吸收电容上，电容电压变化不超过100V，则电容至少值为

$$\frac{1}{2} C(U + \Delta U)^2 - \frac{1}{2} CU^2 \geq W = 0.3mJ$$
$$C \geq \frac{2W}{(U + \Delta U)^2 - U^2} = \frac{0.6mJ}{(600 + 100)^2 - 600^2} = 4.6nF$$

假设电容选择22nF，考虑电容放电时间不超过200ns

$$3RC \leq 20ns$$

$$R \leq 3\Omega$$

如果取电阻3Ω，放电电流最大约200A

假设电容选择10nF，考虑电容放电时间不超过200ns

$$3RC \leq 20ns$$

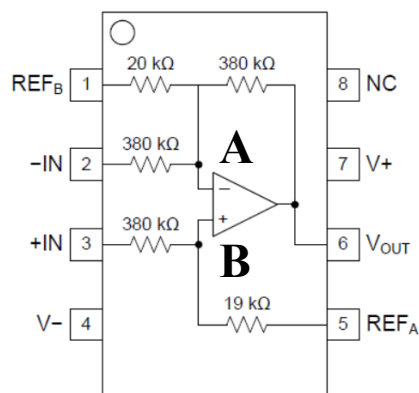
$$R \leq 6.67\Omega$$

如果取电阻6Ω，放电电流最大约100A

四、保护及检测电路

► 习题8

8. 集成差分运放内部结构如图所示，推导输入输出关系。



根据运放性质 $V_A = V_B$

对于A点

$$\frac{V_{in-} - V_A}{380} + \frac{V_{REFB} - V_A}{20} + \frac{V_{out} - V_A}{380} = 0$$

$$V_{in-} + 19V_{REFB} + V_{out} - 21V_A = 0$$

对于B点

$$\frac{V_{in+} - V_B}{380} + \frac{V_{REFA} - V_B}{19} = 0$$

$$V_{in+} + 20V_{REFA} - 21V_B = 0$$

两式相减有

$$V_{in-} - V_{in+} + 19V_{REFB} - 20V_{REFA} + V_{out} = 0$$

整理

$$V_{out} = V_{in+} - V_{in-} + (20V_{REFA} - 19V_{REFB})$$

NAME	NO.	
-IN	2	Inverting input
+IN	3	Noninverting input
NC	8	No internal connection
REF _A	5	Reference input
REF _B	1	Reference input
V-	4	Negative power supply
V+	7	Positive power supply ⁽¹⁾
V _{OUT}	6	Output

四、保护及检测电路

► 习题9

9. 100A闭环霍尔电流传感器，资料如下，如果需要检测最大120A的电流，期望100A时，输出检测的电压为8V，设计霍尔传感器的输入电源和采样电阻值。

Electrical data					
I_{PN}	Primary nominal rms current	100			A
I_{PM}	Primary current, measuring range	0 ... ±150			A
R_M	Measuring resistance @	$T_A = 70\text{ °C}$	$T_A = 85\text{ °C}$		
		$R_{M\min}$ $R_{M\max}$	$R_{M\min}$ $R_{M\max}$		
	with ±12 V @ ±100 A _{max}	0 50	0 42		Ω
	@ ±120 A _{max}	0 22	0 14		Ω
	with ±15 V @ ±100 A _{max}	0 110	20 102		Ω
	@ ±150 A _{max}	0 33	20 25		Ω
I_{SN}	Secondary nominal rms current	50			mA
K_N	Conversion ratio	1 : 2000			
U_C	Supply voltage (±5 %)	±12 ... 15			V
I_C	Current consumption	10 (@ ±15 V) + I_S			mA

General data					
T_A	Ambient operating temperature	-40 ... +85			°C
T_S	Ambient storage temperature	-40 ... +90			°C
R_S	Resistance of secondary winding	@ $T_A = 70\text{ °C}$	120		Ω
		@ $T_A = 85\text{ °C}$	128		Ω
m	Mass	18			g
	Standards	EN 50178: 1997			
		UL 508: 2010			

根据设计需求，设计电路工作环境温度不超过85°C，在输入电源没有限制条件下，优先选择较高电源工作，选择工作电压±15V

$$K_N = 2000$$

测量端电流为100A时，被测端电流为50mA，取样电阻选取设计允许的最大值25欧姆，输出检测电压为1.25V，达不到设计要求的8V，此时需要增加后级放大电路，放大倍数为6.4倍

四、保护及检测电路

► 习题10

10. 500V闭环霍尔电压传感器，资料如下，检测200V占空比50%方波电压，设计相应的原副边电阻值和功耗，如果采用的电阻精度为1%，功率不超过0.5W，那么检测电压的精度为多少？将电阻精度提高至0.5%，测量精度可以提高到多少？在实验中，波形如图所示，解释为什么检测信号会发生畸变？

Accuracy - Dynamic performance data

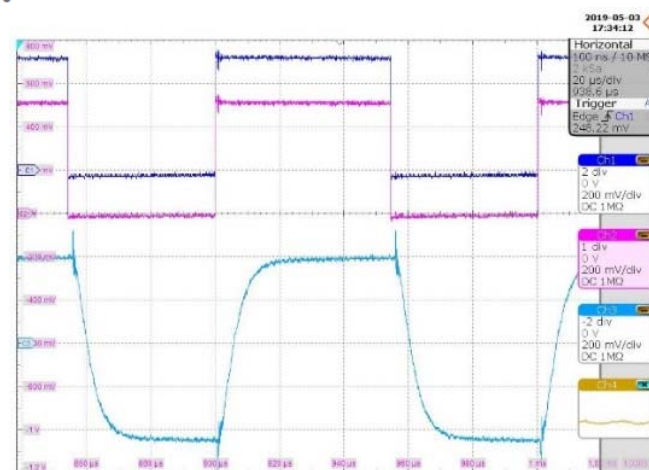
X_G	Overall accuracy @ I_{PN} , $T_A = 25^\circ\text{C}$ @ $\pm 12 \dots 15 \text{ V}$	± 0.9	%
	@ $\pm 15 \text{ V}$ ($\pm 5 \%$)	± 0.8	%
ε_L	Linearity error	< 0.2	%
I_O	Offset current @ $I_P = 0$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	Typ: ± 0.15 Max: ± 0.15	mA
I_{OT}	Temperature variation of I_O	$0^\circ\text{C} \dots +25^\circ\text{C}$: ± 0.06 $+25^\circ\text{C} \dots +70^\circ\text{C}$: ± 0.10	± 0.25 ± 0.35 mA
t_r	Response time ¹⁾ to 90 % of I_{PN} step	40	μs

General data

T_A	Ambient operating temperature	$0 \dots +70$	$^\circ\text{C}$
T_S	Ambient storage temperature	$-25 \dots +85$	$^\circ\text{C}$
R_P	Primary coil resistance @ $T_A = 70^\circ\text{C}$	250	Ω
R_S	Secondary coil resistance @ $T_A = 70^\circ\text{C}$	110	Ω
m	Mass	22	g
	Standard	EN 50178: 1997	

Electrical data

I_{PN}	Primary nominal current rms	10	mA
I_{PM}	Primary current, measuring range	$0 \dots \pm 14$	mA
R_M	Measuring resistance	$R_{M \min}$ $R_{M \max}$	Ω
	with $\pm 12 \text{ V}$ @ $\pm 10 \text{ mA}_{\max}$	30	190
	@ $\pm 14 \text{ mA}_{\max}$	30	100
	with $\pm 15 \text{ V}$ @ $\pm 10 \text{ mA}_{\max}$	100	350
	@ $\pm 14 \text{ mA}_{\max}$	100	190
I_{SN}	Secondary nominal current rms	25	mA
K_N	Conversion ratio	2500 : 1000	
V_C	Supply voltage ($\pm 5 \%$)	$\pm 12 \dots 15$	V
I_C	Current consumption	$10 (@ \pm 15 \text{ V}) + I_S$	mA



四、保护及检测电路

根据设计需求，设计电路工作环境温度不超过85℃，在输入电源没有限制条件下，优先选择较高电源工作，选择工作电压±15V

原边检测电压为200V，设计此时对应原边电流10mA，由于最大原边电流为14mA，检测有一定的裕量，同时尽可能充分利用检测范围，此时原边需要匹配电阻为20kΩ，对应总功耗为2W，每个电阻功耗不超过0.5W，可以采用四个5kΩ电阻串联或者四个80电阻并联

副边电阻根据资料可以选择250 Ω，最大功耗156.25mW

检测电压的精度，考虑所有部件的极限情况，假设采用四个5kΩ电阻串联时，输入200V时，输出电压的上下误差极限值

原边检测电流极限值 $\frac{200}{5k*0.99*4} = 10.101\text{mA}$ $\frac{200}{5k*1.01*4} = 9.901\text{mA}$

根据资料 ±15V时传感器的精度±0.8%，副边电流的极限值为

$$10.101 * (1 + 0.008) = 10.182\text{mA} \quad 9.901 * (1 - 0.008) = 9.821\text{mA}$$

四、保护及检测电路

根据资料 $\pm 15V$ 时传感器的精度 $\pm 0.8\%$ ，副边电流的极限值为

$$10.101 * (1 + 0.008) = 10.182mA \quad 9.901 * (1 - 0.008) = 9.822mA$$

考虑副边电阻精度也是 1% 时，检测值的极限值

$$10.182 * 250 * 1.01 = 2.571V \quad 9.822 * 250 * 0.99 = 2.431V$$

折算原边电压分别对应 $205.7V$ 和 $194.5V$ ，误差为 -2.76% 和 2.84%

电阻精度提高至 0.5% ，测量精度可以提高到多少（略）

波形发生畸变主要是电压传感器带宽较低，上升时间比较长