



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. 5. 29

习题课提纲



西南交通大学
Southwest Jiaotong University

期中考试试题

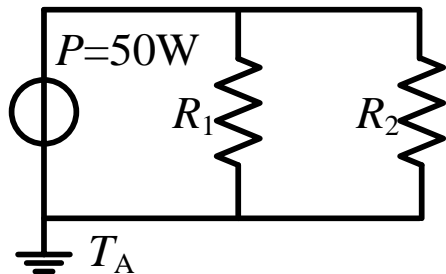
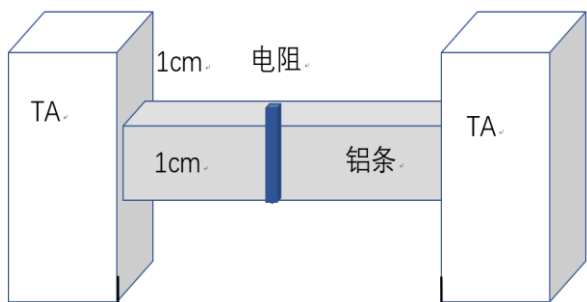


二、期中考试试题

► 试题1

一、 一个嵌在铝条中的电阻，电阻截面积 1cm^2 ，最高允许温度为 175°C ，环境温度

$T_A=75^\circ\text{C}$ ，问铝条最小长度？铝的导热系数为 $237\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 。



$$R_1 = R_2 = \frac{l}{KA} = \frac{l}{2.37\text{W}\cdot\text{cm}/\text{K}}$$

$$\Delta T = P \times \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$= 50\text{W} \times \frac{l}{2 \times 2.37\text{W}\cdot\text{cm}/\text{K}} \leq (175 - 75)^\circ\text{C}$$

$$l_{\max} = \frac{100 \times 2.37 \times 2}{50} = 9.48\text{cm}$$

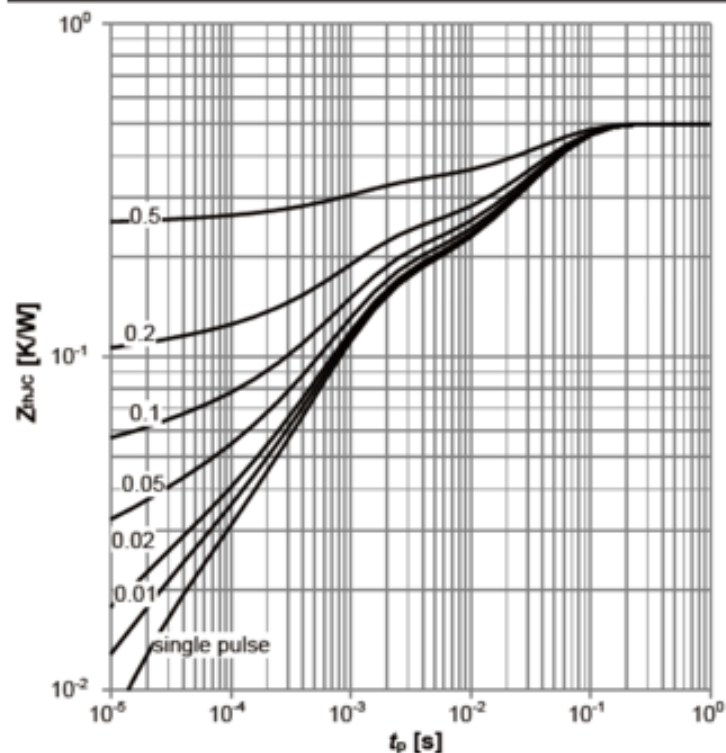
二、期中考试试题



➤ 试题2

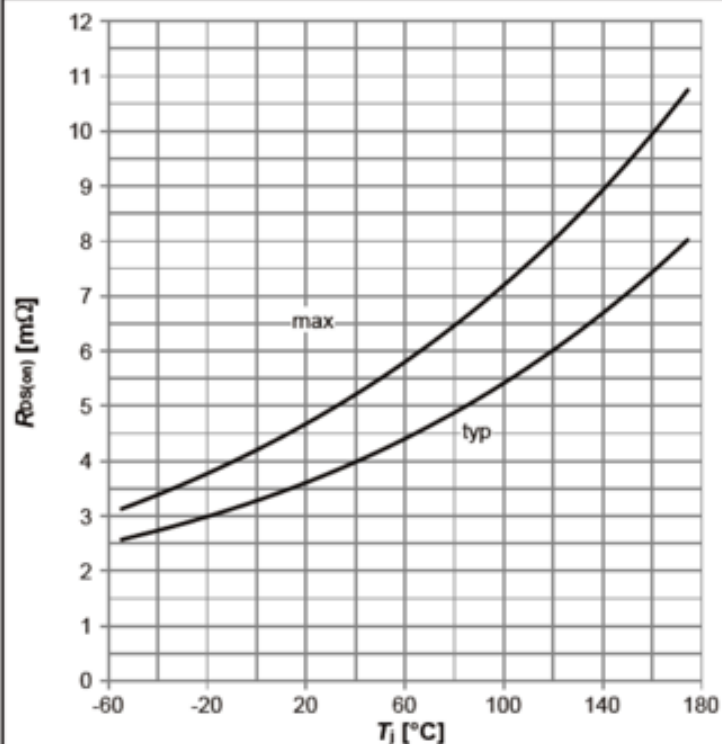
某 MOS 管允许最高结温 125°C ，通过 $100\mu\text{s}$ 的 500A 单脉冲，问 25°C 壳温下器件是否会损坏。

Diagram 4: Max. transient thermal impedance



$Z_{thJC}=f(t_p)$; parameter: $D=t_p/T$

Diagram 9: Drain-source on-state resistance



$R_{DS(on)}=f(T_j)$; $I_D=60\text{ A}$; $V_{GS}=10\text{ V}$

二、期中考试试题

➤ 试题2

由图可知，在100us的500A单脉冲条件下，瞬态热阻 $Z_{\theta jc}=0.03\text{K/W}$ ，且在结温为 125°C 条件下，导通内阻 $R_{ds(on)\max}=8.25\Omega$

此时，MOS管功耗为： $P = R_{ds(on)\max} \times I^2 = 8.25 \times 10^{-3} \times 500^2 = 2062.5\text{W}$

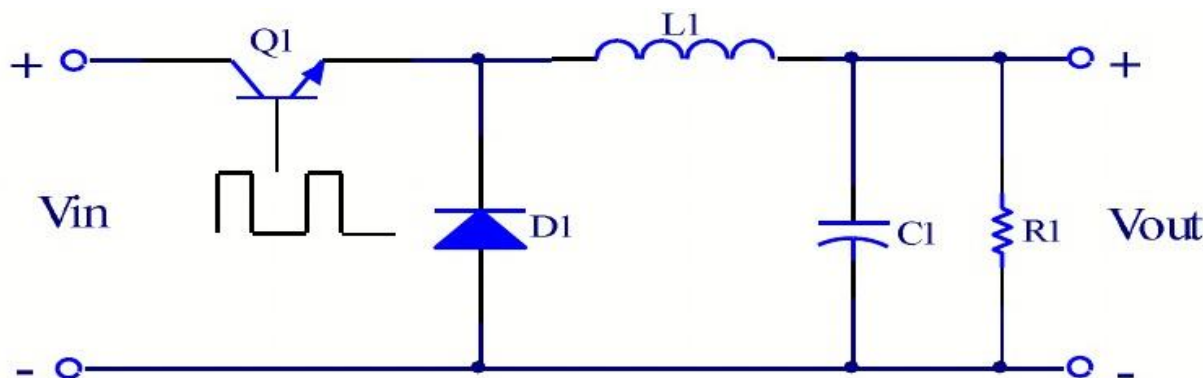
MOS管结温为： $T_j = \Delta T + T_c = P \times Z_{\theta jc} + T_c = 86.875^\circ\text{C} < 125^\circ\text{C}$

故MOS管不会损坏

二、期中考试试题

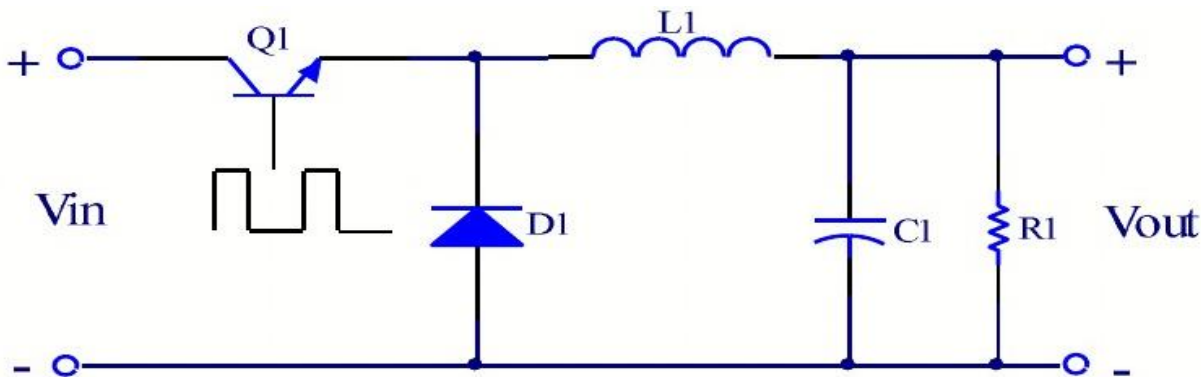
► 试题3

经典 Buck 电路，输入电压 1000V，输出电压 500V，输出电感 1mH，负载电阻 5Ω ，开关频率 5kHz，稳态占空比 0.5；采用 IGBT 器件，导通压降 $V_{ce}=1.5V$ ，开通损耗 $E_{ons}=35mJ$ ，关断损耗 $E_{offs}=40mJ$ ，结壳热阻 $R_{jc}=0.083K/W$ ，壳-散热器热阻为 $R_{cs}=0.029K/W$ ，允许最高工作结温 $110^{\circ}C$ ，环境最高温度 $45^{\circ}C$ 。计算 IGBT 的开关损耗，计算散热器的最小热阻。



二、期中考试试题

➤ 试题3



对于该Buck电路，其输出电流大小为：
$$I_{\text{out}} = \frac{V_{\text{out}}}{R} = \frac{500\text{V}}{5\Omega} = 100\text{A}$$

此时，IGBT的导通损耗为：
$$P_{\text{loss}} = P_{\text{on}} + P_{\text{sw}} = 0.5 \times I_{\text{out}} \cdot V_{\text{ce}} + (E_{\text{ons}} + E_{\text{offs}}) \cdot f_s$$
$$= 75 + 375 = 450\text{W}$$

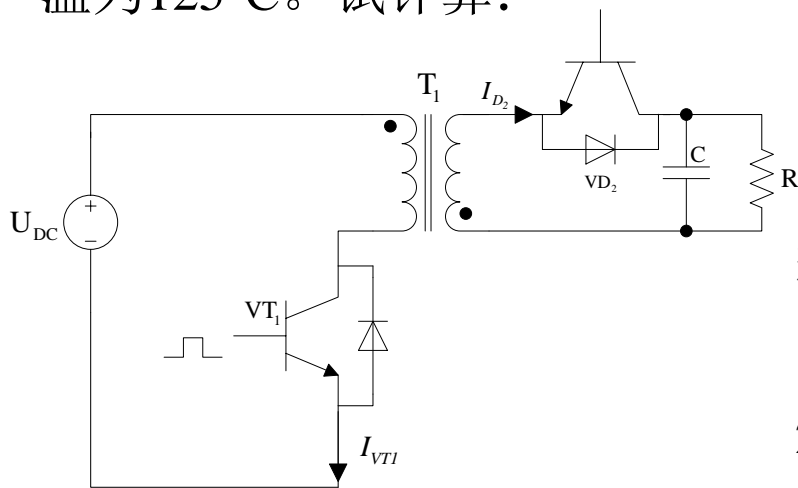
由于最大允许温升 ΔT_{max} 为 65°C ，且IGBT温升为： $\Delta T = P_{\text{loss}} (R_{\theta\text{jc}} + R_{\theta\text{cs}} + R_{\theta\text{sA}})$

故散热器的最大热阻为：
$$R_{\theta\text{sA_max}} = \frac{\Delta T_{\text{max}}}{P_{\text{loss}}} - (R_{\theta\text{jc}} + R_{\theta\text{cs}}) = 0.0324\text{K} / \text{W}$$

二、期中考试试题

► 试题4

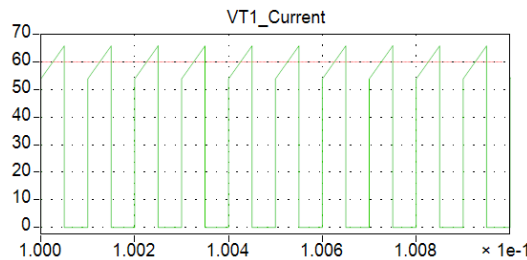
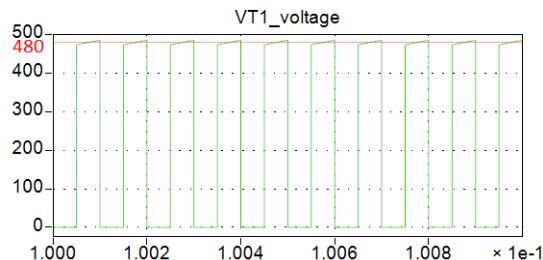
如图所示反激变换器，输入电压 $U_{DC} = 240\text{ V}$ ， $R = 2\ \Omega$ ，变压器变比为2:1，IGBT开关占空比为0.5，开关频率 $f = 10\text{ kHz}$ ， I_{D2} 为120A的方波脉冲。该反激变换器中 V_{T1} 和 V_{D2} 分别采用一个IGBT模块。IGBT PN结到外壳热阻 $R_{thjCi} = 0.22^\circ\text{C/W}$ ，外壳到散热片热阻 $R_{thCHi} = 0.03^\circ\text{C/W}$ ；二极管PN结到外壳热阻 $R_{thjCd} = 0.42^\circ\text{C/W}$ ，外壳到散热片热阻 $R_{thCHd} = 0.06^\circ\text{C/W}$ ，工作结温为 125°C 。试计算：



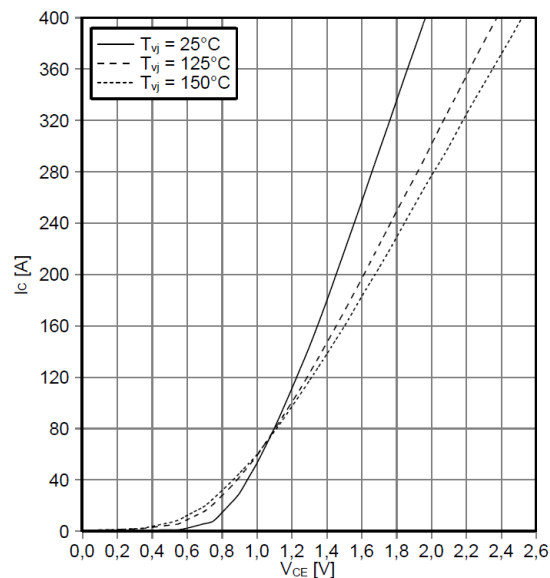
- (1) 开关管 V_{T1} 的通态损耗 $P_{con,i}$ 、开关损耗 $P_{sw,i}$;
- (2) V_{T2} 反并联二极管 D_2 导通损耗 $P_{con,d}$ 、关断损耗 $P_{off,d}$;
- (3) 当散热器的热阻为 0.05°C/W ，环境温度为 25°C 时，分别计算两个模块的温升。

二、期中考试试题

试题4

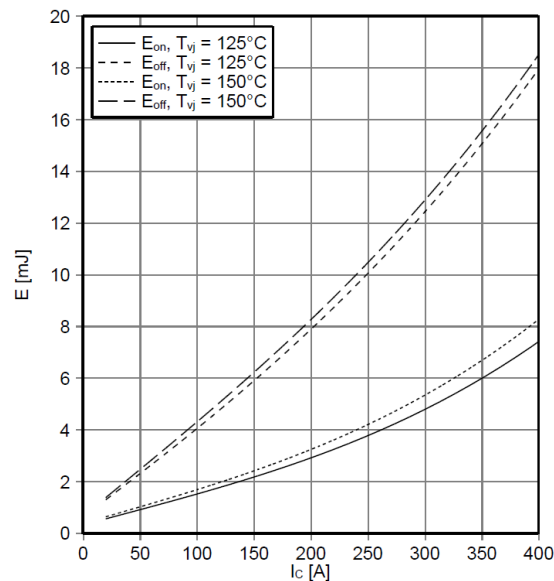


output characteristic IGBT, Inverter (typical)
 $I_C = f(V_{CE})$
 $V_{GE} = 15\text{ V}$



switching losses IGBT, Inverter (typical)

$E_{on} = f(I_C), E_{off} = f(I_C)$
 $V_{GE} = \pm 15\text{ V}, R_{Gon} = 3.9\ \Omega, R_{Goff} = 3.9\ \Omega, V_{CE} = 300\text{ V}$



(1)由图可知, V_{T1} 导通时的平均电流为60A, 该条件下的导通管压降 V_{ce} 约为1V; 开关电压为480V, 此时开关能量

$$E_{on} = 1 \times \frac{480}{300} = 1.6\text{mJ}$$

$$E_{off} = 2.3 \times \frac{480}{300} = 3.68\text{mJ}$$

此时, V_{T1} 的导通损耗为:

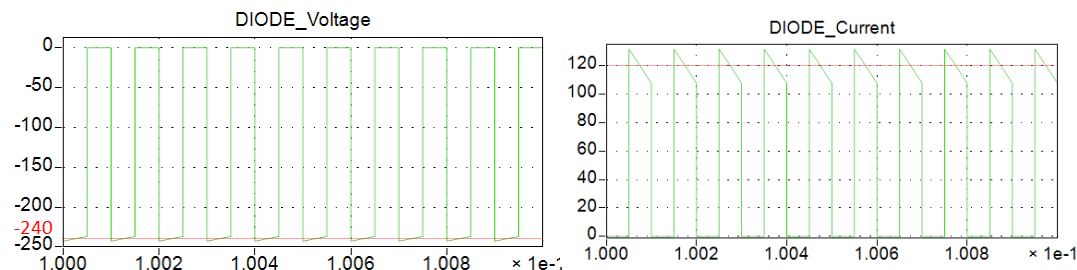
$$P_{con,i} = 0.5 \times I_{out} \cdot V_{ce} = 30\text{W}$$

开关损耗为:

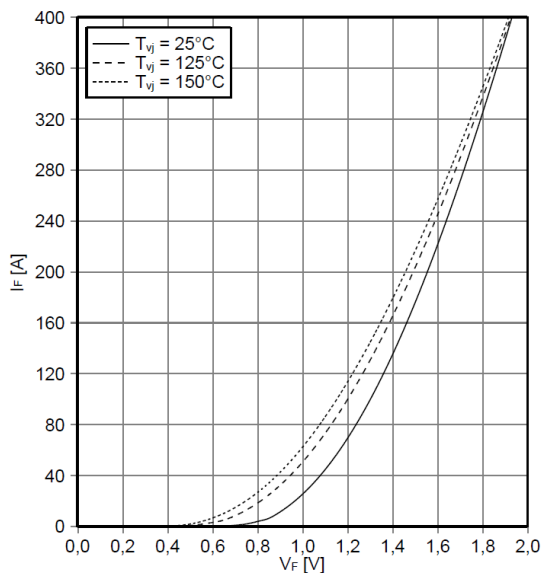
$$P_{sw,i} = (E_{on} + E_{off}) \cdot f_s = 52.8\text{W}$$

二、期中考试试题

➤ 试题4

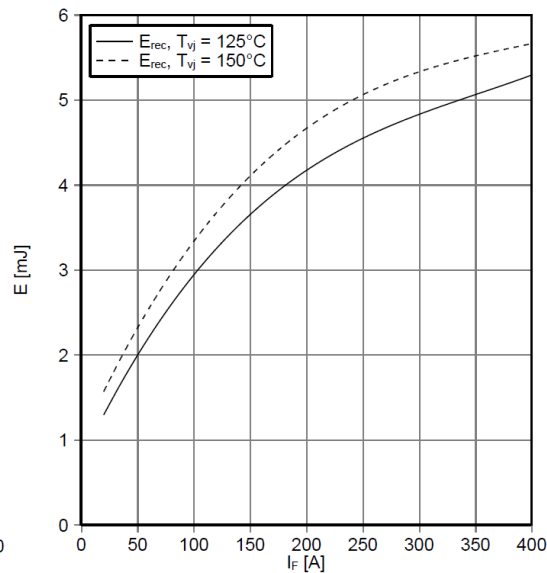


forward characteristic of Diode, Inverter (typical)
 $I_F = f(V_F)$



switching losses Diode, Inverter (typical)

$E_{rec} = f(I_F)$
 $R_{Gon} = 3.9 \Omega, V_{CE} = 300 V$



(2) 由图可知， V_{T2} 的二极管导通的平均电流为120A，此时管压降 V_F 约为1.27V；开关电压为240V，此时开关能量

$$E_{rec} = 3.7 \times \frac{240}{300} = 2.96 \text{ mJ}$$

此时， V_{T2} 的二极管导通损耗为：

$$P_{con,d} = 0.5 \times I_F \cdot V_F = 76.2 \text{ W}$$

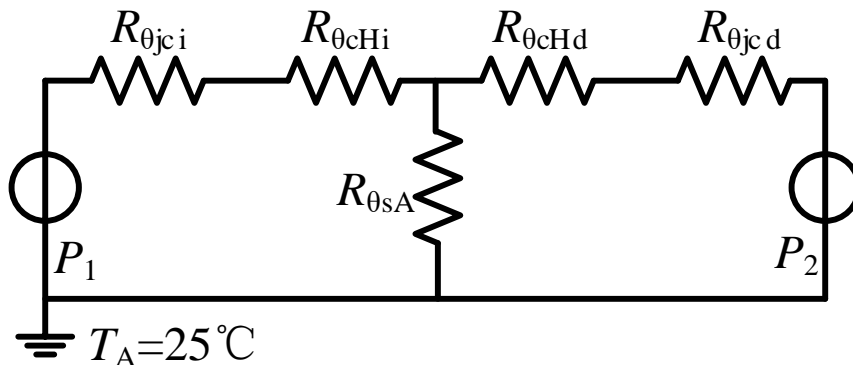
开关损耗为：

$$P_{sw,i} = E_{rec} \cdot f_s = 29.6 \text{ W}$$

二、期中考试试题

➤ 试题4

(3) 热模型示意图如下图所示



V_{T1} 的总功耗为:

$$P_1 = P_{\text{con},i} + P_{\text{sw},i} = 82.8\text{W}$$

V_{T2} 的二极管导通损耗为:

$$P_{\text{con},d} = 0.5 \times I_F \cdot V_F = 188.6\text{W}$$

故两个模块的温升分别为:

$$\begin{aligned}\Delta T_1 &= P_1 (R_{\theta_{jci}} + R_{\theta_{chi}}) + (P_1 + P_2) R_{\theta_{sA}} \\ &= 82.8 \times 0.25 + 188.6 \times 0.05 = 30.13^\circ\text{C}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta T_2 &= P_2 (R_{\theta_{jcd}} + R_{\theta_{chi}}) + (P_1 + P_2) R_{\theta_{sA}} \\ &= 105.8 \times 0.48 + 188.6 \times 0.05 = 60.214^\circ\text{C}\end{aligned}$$

二、期中考试试题

► 试题5

计算图示一个电感器的电感值，在中柱上有线圈 $N=20$ 匝，磁心的相对磁导率为 $\mu_c=2000$ ，空气磁导率 $\mu_0=4\pi \times 10^{-7}$ 特斯拉·米/安培，中柱与两个边柱的横断面分别为 $A_1=4 \times 4.8\text{mm}^2$ 、 $A_2=2 \times 4.8\text{mm}^2$ ， $l_1=12\text{mm}$ ， $l_2=8\text{mm}$ 。

当此电感无气隙时，磁路模型可建立：

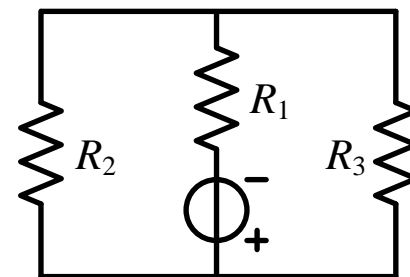
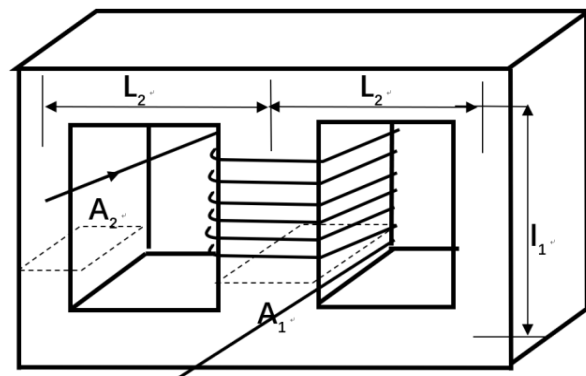
其中，中柱和两个边柱的磁阻分别为：

$$R_1 = \frac{l_1}{\mu_c \mu_0 A_1} = \frac{12 \times 10^{-3}}{2000 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 4 \times 4.8 \times 10^{-6}} = 0.249 \times 10^6 (\text{H}^{-1})$$

$$R_2 = R_3 = \frac{l_1 + 2l_2}{\mu_c \mu_0 A_1} = \frac{(12 + 8 \times 2) \times 10^{-3}}{2000 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 2 \times 4.8 \times 10^{-6}} = 1.161 \times 10^6 (\text{H}^{-1})$$

$$L = \frac{N\Phi}{I} \quad \Phi = \frac{N \cdot I}{R_1 + R_2 // R_3}$$

$$L = \frac{N \cdot N \cdot I}{I(R_2 + R_1 // R_3)} = \frac{400}{(0.249 + 0.580) \times 10^6} = 482.5 \mu\text{H}$$



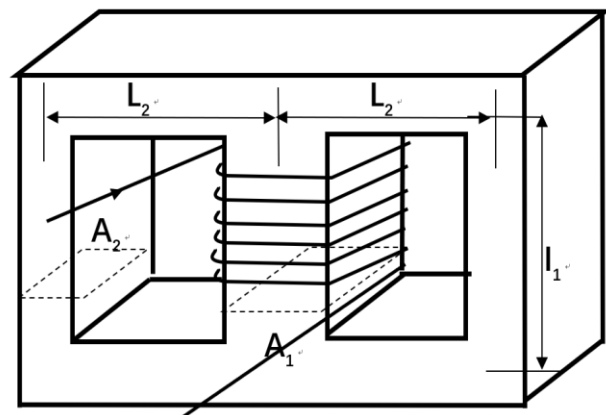
二、期中考试试题

► 试题6

如果上图所示的电感, 磁芯 $B_s=0.3\text{T}$, 那么电感最大电流是多少? 如果需要通过 2 倍最大电流, 在中间磁柱上开气隙, 至少开多大才不至于发生磁饱和。

(1) 由于
$$B_s = \frac{\Phi}{A_1} = \frac{N \cdot I}{(R_1 + R_2 // R_3) A_1}$$

故最大电流为:
$$I = \frac{B_s \cdot A_1 \cdot (R_1 + R_2 // R_3)}{N} = 0.239\text{A}$$



(2) 若需最大电流增大两倍, 则 Φ 同样也增大两倍, 在中间磁柱上开气隙后, 气隙磁阻应大于 $R_g=R_2+R_1//R_3$, 才不至于使电感磁饱和

气隙磁阻为:
$$R_g = \frac{g}{\mu_0 A_1} \geq R_2 + R_1 // R_3$$

故气隙大小应满足:
$$g \geq \mu_0 A_1 (R_1 + R_2 // R_3) = 0.829 \times 10^6 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 4 \times 4.8 \times 10^{-6} \\ = 0.020\text{mm}$$

二、期中考试试题

➤ 试题7

解释集肤效应，它的危害是什么。+

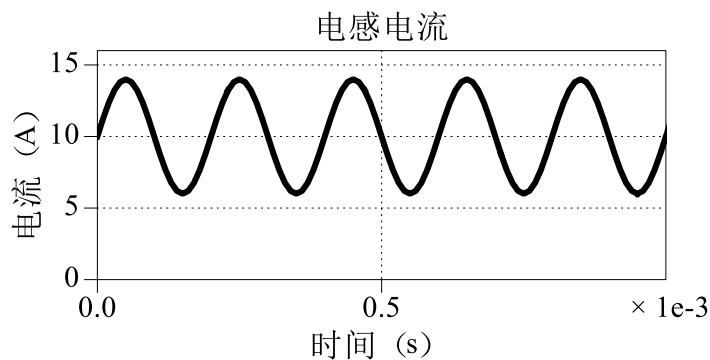
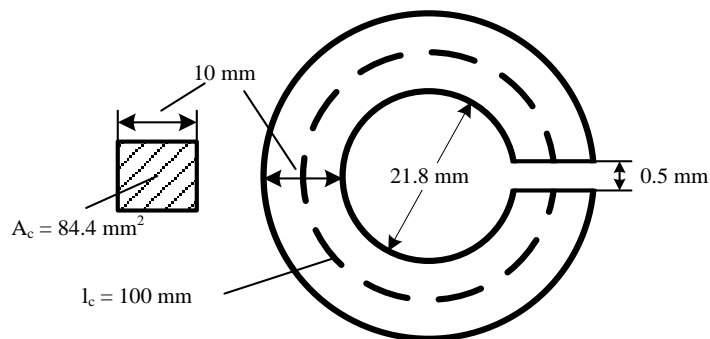
当导体中有交流电或者交变电磁场时，导体内部的电流分布不均匀，电流集中在导体的“皮肤”部分，也就是说电流集中在导体外表的薄层，越靠近导体表面，电流密度越大，导体内部实际上电流较小。结果使导体的电阻增加，使它的损耗功率也增加。这一现象称为趋肤效应。（3分）

由于趋肤效应，当频率较高的电流流过导体时，导体的有效截面积小于导体的实际截面积。截面积小，意味着有更大的电阻，也就意味着会产生更大的热量，造成更多的功率损耗。（2分）

二、期中考试试题

➤ 试题8

如下图所示环形电感磁芯, $B_s = 0.8 \text{ T}$, $\mu_c = 10^4 \mu_0$, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$. 该电感工作工作电流如图所示, 为一 10 A 直流电流与峰值为 4 A 的 5 kHz 的正弦电流的叠加, 其有效值为 10.4 A . (25 分)



(a) 当线圈匝数 $N = 22$ 时, 计算电感值

对于该电感, 其磁阻包含磁芯磁阻 R_c 与气隙磁阻 R_g , 磁阻计算值为:

$$R_c = \frac{l_c}{\mu_c \mu_0 A_l} = \frac{(2\pi \times (21.8 + 10) - 0.5) \times 10^{-3}}{10^4 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 84.4 \times 10^{-6}} = 0.188 \times 10^6 (\text{H}^{-1})$$

$$L = \frac{N\Phi}{I} \quad \Phi = \frac{N \cdot I}{R_c + R_g}$$

$$R_g = \frac{l_g}{\mu_0 A_l} = \frac{0.5 \times 10^{-3}}{4\pi \times 10^{-7} \times 84.4 \times 10^{-6}} = 4.714 \times 10^6 (\text{H}^{-1})$$

$$L = \frac{N \cdot N \cdot I}{I \cdot (R_c + R_g)} = 98.7 \mu\text{H}$$

二、期中考试试题

➤ 试题8

(b)由题，集肤深度为：

$$\Delta = \sqrt{\frac{2K}{\omega\mu\gamma}} = \sqrt{\frac{2 \times 1.23}{2\pi \times 5 \times 10^3 \times 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{1}{1.724 \times 10^{-8}}}} = 1.04\text{mm}$$

(c)由表可知，AWG-10与AWG-12难以满足趋肤深度要求，与AWG-16相比，AWG-14具有更低的电阻率，故可选用AWG-14。

线号	直径（mm）	电阻（Ω/km）	单位面积匝数 （匝/平方厘米）
AWG-10	2.59	3.99	14
AWG-12	2.05	6.34	21
AWG-14	1.63	10.1	34
AWG-16	1.29	16	51

二、期中考试试题

► 试题8

(d)计算磁感应强度中的交流分量 B_{ac} 。

导线总长度为： $l = 22 \times 2 \times \left(10 + 8.44 + 4 \times \frac{1.63}{2} \right) = 954.8 \text{mm}$

导线绕线电阻为： $R_{ESI} = 10.1 \times 954.8 \times 10^{-6} = 9.64 \text{m}\Omega$

流过电感的电流有效值为10.4A，此时电感铜耗为： $P_{cu_loss} = 10.4^2 \times 9.64 \times 10^{-3} = 1.04 \text{mW}$

(e)磁感应强度的交流分量为：

$$B_{ac} = \frac{\Phi_{ac}}{A_l} = \frac{N \cdot I_{ac}}{A_l \cdot (R_c + R_g)} = \frac{22 \times 2 \sqrt{2}}{84.4 \times 10^{-6} \times 4.902 \times 10^6} = 0.154 \text{T}$$

二、期中考试试题

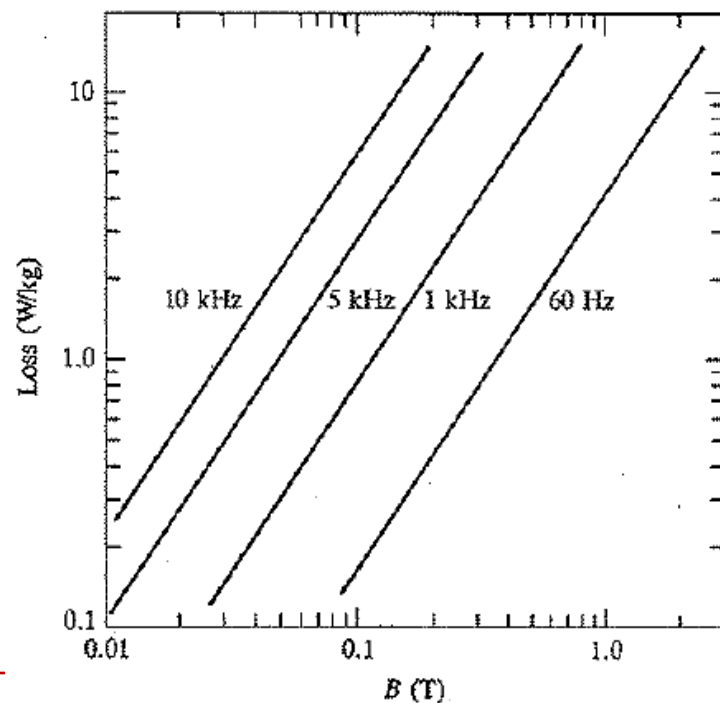
➤ 试题8

(f)由图可知，在该条件下，磁芯损耗密度约为4.5W/kg；当磁芯质量密度为8g/cm³时，磁芯质量为：

$$m = 84.4 \times 10^{-2} \times \left[\left(\frac{2.18}{2} + 1 \right)^2 \pi - \left(\frac{2.18}{2} \right)^2 \pi \right] \times 10^{-1} \cdot 8 = 68.82 \text{g}$$

此时，磁芯损耗为：

$$P_{\text{fe_loss}} = 68.82 \times 4.5 \times 10^{-3} = 309.69 \text{mW}$$





西南交通大学
Southwest Jiaotong University

Q&A

(习题课二)

西南交通大学电气工程学院

2019. 6. 11