

苏州大学 模拟电路 课程试卷 (A) 卷 共 7 页

考试形式 闭 卷 2017 年 1 月

院系 电子信息学院 年级 专业

学号 姓名 成绩

总 分	题 号	一	二	三	四	五	六	七
	题 分	20	80					
合分人	得 分							

得分

一、课程教学目标 1 (共 20 分)

对教学目标 1 的掌握情况进行命题, 可以多种形式考题应能反映学生的能力掌握情况

本试卷设计一个温度测量和报警电路。温度测量采用电桥电路, 其中 R_t 为铂热电阻, 温度上升时 R_t 增大。与普通直流电桥电路不同, 该电桥采用交流电压 v_B 供电。 v_B 由正弦波振荡电路产生, 并经过功率放大电路供给电桥。电桥不平衡时, 电桥的输出电压差经过差分放大电路和运放构成的仪表放大器电路进行放大, 经过滤波器滤除干扰和噪声, 送到峰值检测电路, 检测正弦波的峰值, 此峰值在比较器中与预设的门限电压做比较, 当温度超过一定限值时给出报警信号。 v_H 处的峰值和 v_I 处的比较结果, 可以送单片机做进一步处理。

(本试卷中各试题可能存在依赖关系, 若某题有一参数未能求出或计算错误, 在其他题目中出现该参数时可用符号代替, 不再重复扣分。)

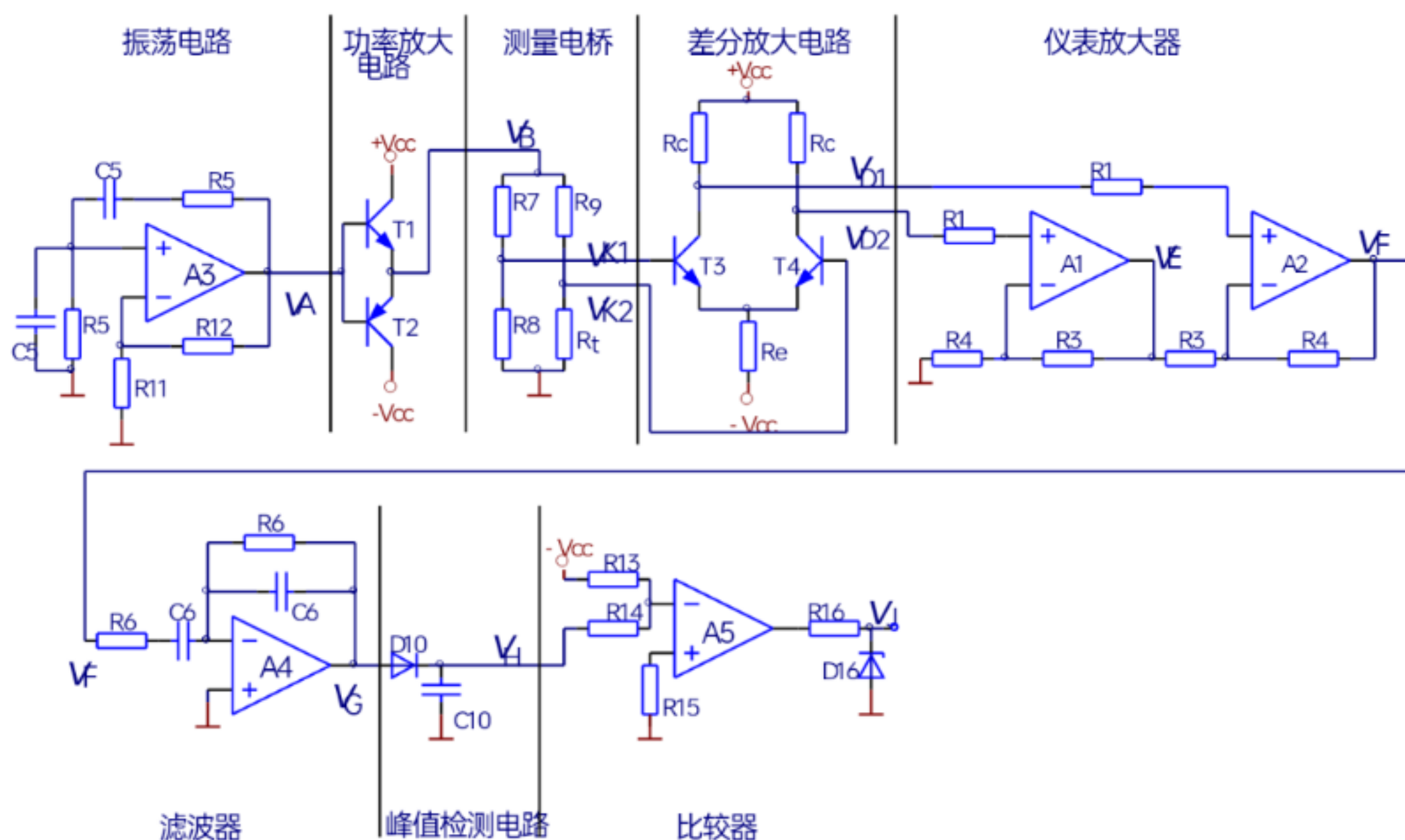


图 1 温度测量和报警电路

1. (10 分)

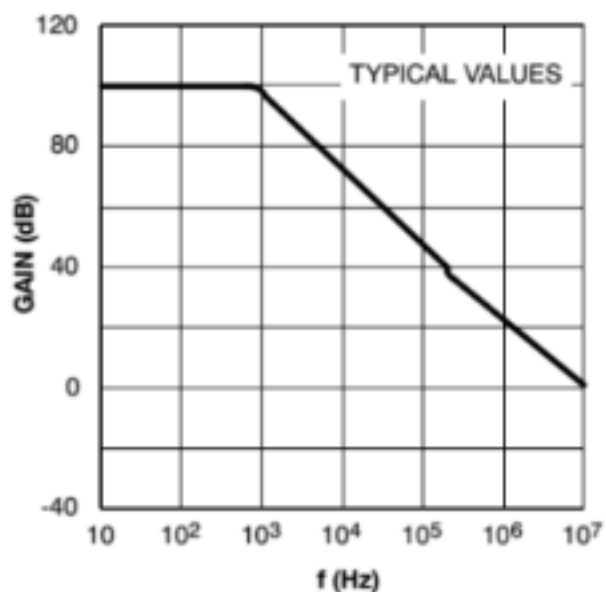
- (1) A3 和 R12、R11 构成什么类型的放大器？该放大器存在什么类型的反馈（电压/电流，串联/并联，正/负）？
- (2) 运放 A3 构成什么类型的正弦波振荡电路？该电路如果要增加稳幅环节，可以采用什么元器件？
- (3) T1、T2 构成什么类型的功率放大电路？该电路存在什么失真？采用什么电路可以消除此类失真？
- (4) D10 和 C10 构成峰值检测电路。若二极管 D10 采用恒压降模型分析，则用此电路检测正弦波峰值时有什么缺点？

- RC 桥式
电源互补
功放
- (1) 同相放大，电压串联负反馈
- (2) RC 正弦波振荡电路，稳压二极管
- (3) 乙类功率放大电路，交越失真，甲类功率放大电路，甲乙类电路
- (4) 正弦波峰值检测电路无法检测，二极管有导通压降

2. (10 分) 图 1 中，运放 A3 采用 NE5532 芯片，数据手册上的某特性曲线如图 2 所示，部分参数表如表 1 所示。

表 1 NE5532 参数表

PARAMETER	TEST CONDITIONS ⁽¹⁾	MIN	TYP	MAX	UNIT
V_{IO} Input offset voltage	$V_O = 0$		0.5	4	mV
				5	
I_{IO} Input offset current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		10	150	nA
	$T_A = \text{Full range}^{(2)}$			200	
I_{IB} Input bias current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		200	800	nA
	$T_A = \text{Full range}^{(2)}$			1000	
V_{ICR} Common-mode input-voltage range		± 12	± 13		V
CMRR Common-mode rejection ratio	$V_{IC} = V_{ICR \text{ min}}$	70	100		dB
k_{SVR} Supply-voltage rejection ratio ($\Delta V_{CC\pm}/\Delta V_{IO}$)	$V_{CC\pm} = \pm 9 \text{ V to } \pm 15 \text{ V}, V_O = 0$	80	100		dB



$$\frac{10^6}{80}$$

图 2 开环差模电压增益的频率特性响应

- (1) 根据图 2 可以得到开环电压增益的什么结论？由图可知 NE5532 单位增益带宽是多少 MHz？
- (2) 从表 1 任意选 3 个参数，根据课程所学知识，说明其中文名称。
- (3) 若用 NE5532 构成图 1 中 A3 反馈放大电路，与开环相比，引入反馈后，其电压增益大小、电压增益稳定性、输入电阻、输出电阻、通频带会如何变化？

- (1) 开环增益随频率的升高而下降，频率为 10^7 Hz 时，增益为 0。
- (2) V_{IO} : 输入失调电压 I_{IO} : 输入失调电流 CMRR: 共模抑制比
- (3) 电压增益 \downarrow ，稳定性 \uparrow ， $R_i \uparrow$ ， $R_o \downarrow$ ，通频带 \uparrow

10 MHz
1.25 $\times 10^{-3}$ MHz

二、课程教学目标 2 (共 80 分)

对教学目标 2 的掌握情况进行命题，可以多种形式考题应能反映学生的能力掌握情况

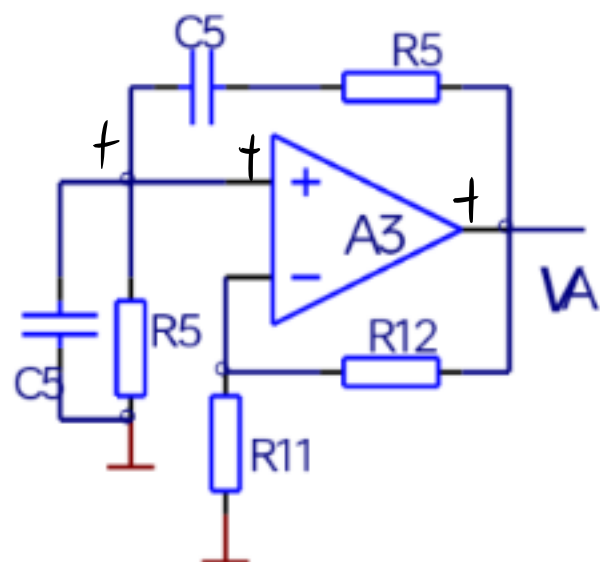
得分

3. (10 分) 对于图 1 中正弦波振荡电路,

(1) 使用相位平衡条件判断是否可能产生正弦波振荡。

(2) 若要求输出频率 $f_0 = 1\text{kHz}$, 取 $C_5 = 0.047\mu\text{F}$, 求 R_5 。

(3) 为满足振幅平衡条件, 若取 $R_{11} = 10\text{k}\Omega$, 求 R_{12} 。



1) $\varphi_a + \varphi_f = 0$ 可能振荡

2) $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$

$R_5 = \frac{1}{2\pi C f_0} = 3.39\text{k}\Omega$

3) $|AF| = 1$ $A = 3$ 又: 同相放大 $\frac{R_{12}}{R_{11}} = 2$

$1 + \frac{R_{12}}{R_{11}} = 3$ $R_{12} = 2R_{11} = 20\text{k}\Omega$

4. (10 分) 对于图 1 中功率放大电路, $V_{CC} = 12\text{V}$, 负载电阻 R_L 为后

接电桥的 4 个桥臂电阻 R_7 、 R_8 、 R_9 、 R_t 的总等效电阻,

电桥平衡时 $R_7 = R_8 = R_9 = R_t = 100\Omega$, 有 $R_L = 100\Omega$ 。设功率管 T_1 和 T_2

的饱和压降 $V_{CES} = 2\text{V}$, 忽略三极管发射结导通电压 V_{BE} ,

(1) 求此功放电路的最大电压输出幅度 V_{om} 和最大输出功率 P_{om} 。

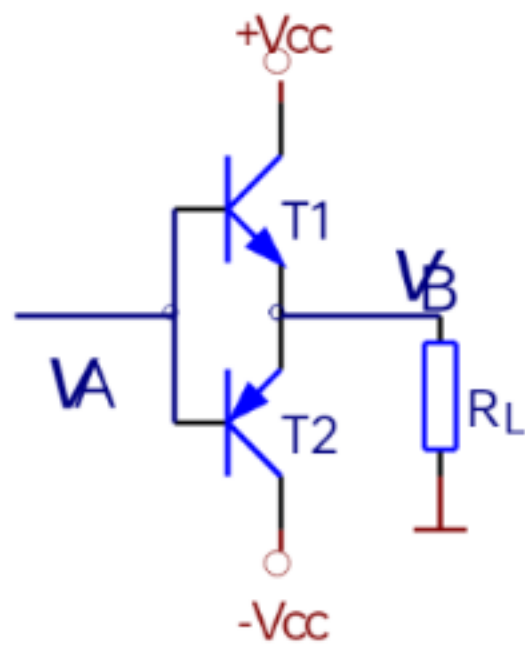
(2) 在最大输出功率时, 计算此时的效率 η 、直流电源提供的功率

P_V 、

两个功率管的总管耗 P_T 。

(3) 选择功率管型号时, 其集电极最大电流 I_{CM} 、集电极最大耗散功率

P_{CM} 、反向击穿电压 $V_{(BR)CEO}$ 应满足什么条件?



解: 1) $V_{om} = V_{CC} - V_{CES} = 10\text{V}$

$P_{om} = \frac{V_{om}^2}{2R_L} = 0.5\text{W}$

2) $P_V = \frac{2V_{CC} V_{om}}{\pi R_L} = 0.76\text{W}$

$\eta = \frac{P_{om}}{P_V} \times 100\% = 65.8\%$

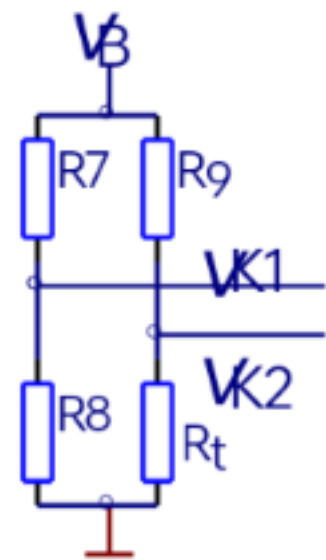
$P_T = P_V - P_{om} = 0.26\text{W}$

3) $V_{(BR)CEO} > V_{om} - (-V_{CC}) = 2V_{CC} - V_{CES} = 22\text{V}$

$I_{CM} > \frac{V_{om}}{R_L} = \frac{V_{CC} - V_{CES}}{R_L} = 0.1\text{A}$

$P_{CM} > \frac{V_{CC}^2}{\pi^2 R_L} = 0.146\text{W}$

5. (10 分) 对于图 1 中的交流电桥电路, 桥臂电阻 $R_7 = R_8 = R_9 = 100\Omega$, 热电阻 R_t 型号为 Pt100, $R_t = R_0(1 + aT)$, $a = 3.9 \times 10^{-3}$, $R_0 = 100\Omega$, 电桥供电电压 $v_B = 10\sin(2\pi \times 1000t)V$, 温度测量范围 $0 \sim 10^\circ\text{C}$, 忽略后级放大器的输入电阻。



$$2+aT - (2+2aT)$$

(1) 求 $T = 10^\circ\text{C}$ 时, 电桥不平衡输出电压 $\Delta V_K = V_{K1} - V_{K2}$ 。

(2) ΔV_K 与温度 T 是线性关系吗?

$$\text{解: (1)} \quad T = 10^\circ\text{C}$$

$$\therefore R_t = R_0(1 + aT) = 103.9\Omega$$

$$\therefore V_{K1} = \frac{1}{2} V_B = 5\sin(2\pi \times 1000t)$$

$$V_{K2} = \frac{R_t}{R_t + R_9} V_B = 5.1\sin(2\pi \times 1000t)$$

$$\therefore \Delta V_K = V_{K1} - V_{K2} = -0.1\sin(2\pi \times 1000t)$$

$$\begin{aligned} (2) \quad V_{K1} &= \frac{1}{2} V_B \\ V_{K2} &= \frac{R_t}{R_t + R_9} V_B \\ &= \frac{1+aT}{2+aT} V_B \end{aligned}$$

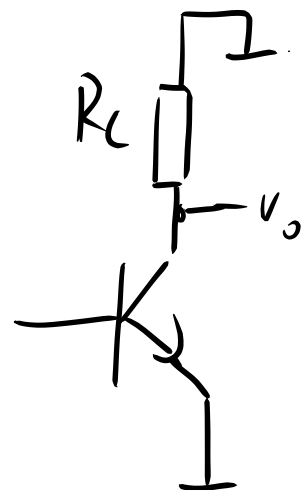
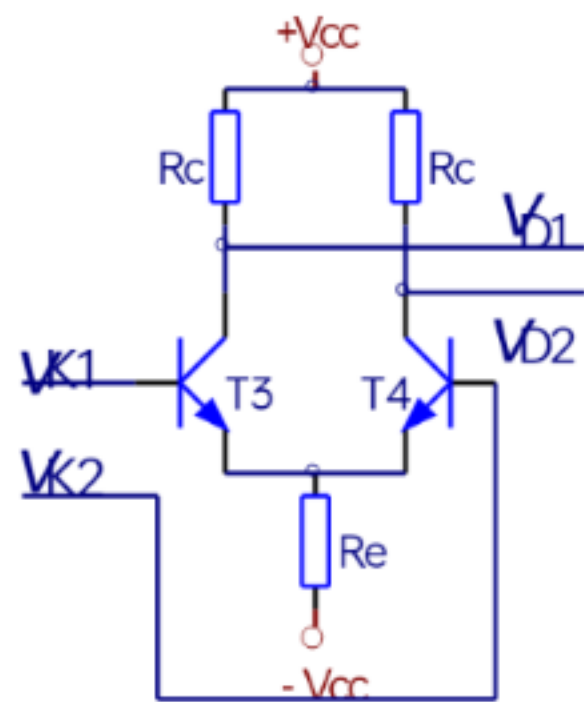
$$\begin{aligned} \Delta V_K &= V_{K1} - V_{K2} = \frac{1}{2} V_B - \frac{1+aT}{2+aT} V_B \\ &= \frac{3aT}{2(2+aT)} V_B \end{aligned}$$

非线性关系

6. (10 分) 对于图 1 中的差分放大电路, 两个三极管 $\beta = 50$, $r_{bb'} = 200\Omega$, $V_{BEQ} = 0.7V$, $V_{CC} = 12V$, $R_e = 51k\Omega$, $R_c = 1.5k\Omega$

(1) 求静态时 ($V_{K1} = V_{K2} = 0$), 三极管 T_3 的集电极电流 I_{CQ} 、集电极对地电位 V_{CQ} 、集电极和发射极间的电压 V_{CEQ} 、基极电流 I_{BQ} 。比较第 5 题桥臂电阻中流过的电流和 I_{BQ} 的大小, I_{BQ} 是否会影响电桥的正常工作?

(2) 求差模电压增益 A_{vd} 、差模输入电阻 R_{id} 、输出电阻 R_o 。



$$\text{解: (1)} \quad I_{CQ} = \beta I_{BQ}$$

$$V_{BEQ} = 0 - (-V_{CC} + I_{CQ} R_e) = V_{CC} - I_{CQ} R_e$$

$$2V_{CC} = I_{BQ} R_c + V_{CEQ} + I_{CQ} R_e$$

$$\begin{cases} I_{CQ} = 0.22\text{mA} \\ I_{BQ} = 4.4\mu\text{A} \\ V_{CEQ} = 12.8\text{V} \end{cases}$$

$$\therefore V_{EQ} = -0.7\text{V} \quad V_{CQ} = 11.8\text{V}$$

$$V_{CQ} = V_{CEQ} + V_{EQ} = 12.1\text{V}$$

$$I_{1\text{max}} = \frac{V_B}{R_7 + R_8} = 0.07\text{A} \gg I_{BQ}$$

I_{BQ} 不影响电桥正常工作

$$(2) \quad A_{vd} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_{01} - V_{02}}{V_{K1} - V_{K2}} = \frac{V_{01}}{V_{K1}}$$

$$r_{ce} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{V_T}{I_C}$$

$$= 6.23k\Omega \quad 17.3k\Omega$$

$$A_{vd} = \frac{V_{01}}{V_{K1}} = \frac{-\beta I_{BQ} R_c}{I_{BQ} r_{ce}} = -\beta \frac{R_c}{r_{ce}}$$

$$= -12.6$$

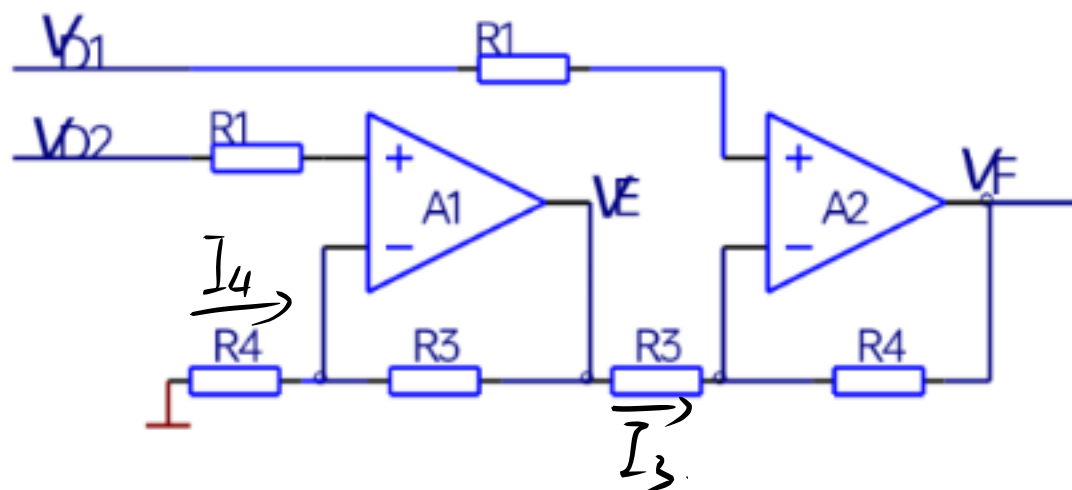
$$R_{id} = 2r_{ce} = 12.46k\Omega > 4.6k\Omega$$

$$R_o = 2R_c = 3k\Omega$$

7. (10 分) 对于图 1 中的仪表放大器，输入 V_{D1} 、 V_{D2} 已知，

(1) 求 A1 输出电压 V_E 的表达式。

(2) 求整个电路电压增益 $A_v = \frac{V_F}{V_{D1} - V_{D2}}$ 的表达式。



解: (1) $I_4 = \frac{V_{D2}}{R_4}$

$V_E = I_4 (R_4 + R_3) = \frac{R_4 + R_3}{R_4} V_{D2} = (1 + \frac{R_3}{R_4}) V_{D2}$

(2) $I_3 = \frac{V_{D1} - V_E}{R_3}$ $V_F = I_3 (R_3 + R_4) + V_E = (1 + \frac{R_4}{R_3}) (V_{D1} - V_E) + V_E$
 $= (1 + \frac{R_4}{R_3}) V_{D1} - \frac{R_4}{R_3} V_E$

$= (1 + \frac{R_4}{R_3}) V_{D1} - (1 + \frac{R_4}{R_3}) V_{D2} \cdot \frac{R_4}{R_3}$

$= (1 + \frac{R_4}{R_3}) V_{D1} - (1 + \frac{R_4}{R_3}) V_{D2}$

$= (1 + \frac{R_4}{R_3}) (V_{D1} - V_{D2})$

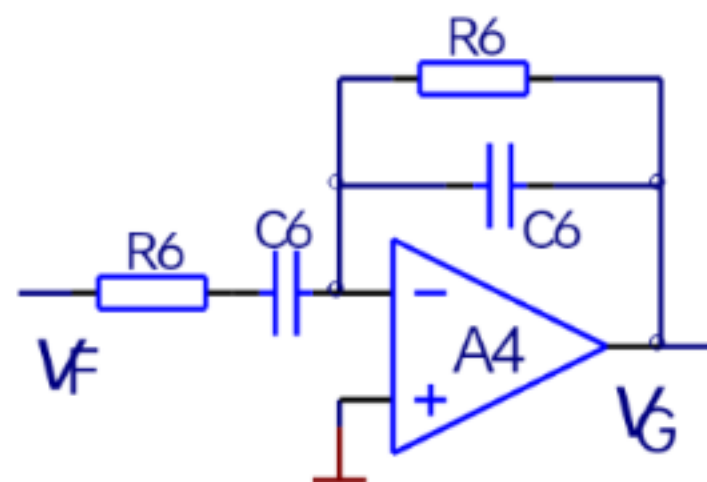
$A_v = \frac{V_F}{V_{D1} - V_{D2}}$

8. (10 分) 对于图 1 中的滤波器电路，

(1) 求传递函数 $A_v(j\omega) = \frac{V_G(j\omega)}{V_F(j\omega)}$

(2) 根据传递函数，判断是什么类型的滤波电路（高通/低通/带通/带阻），以及滤波器的阶数。

(3) 该滤波器的类型是否满足图 1 的设计需求？根据前面各小题的信息，滤波器的截止频率（若为高通/低通）或中心频率（若为带通/带阻）应该设计为多少？



解: (1) $I_6 = \frac{V_F}{R_6 + \frac{1}{j\omega C_6}}$

$V_G = I_6 (R_6 \parallel \frac{1}{j\omega C_6}) = \frac{R_6 \parallel \frac{1}{j\omega C_6}}{R_6 + \frac{1}{j\omega C_6}} V_F$

$A_v(j\omega) = \frac{R_6 \parallel \frac{1}{j\omega C_6}}{R_6 + \frac{1}{j\omega C_6}} = \frac{\frac{R_6}{j\omega C_6}}{R_6 + \frac{1}{j\omega C_6}} = \frac{j\omega R_6 C_6}{1 + j\omega R_6 C_6 + (j\omega R_6 C_6)^2}$

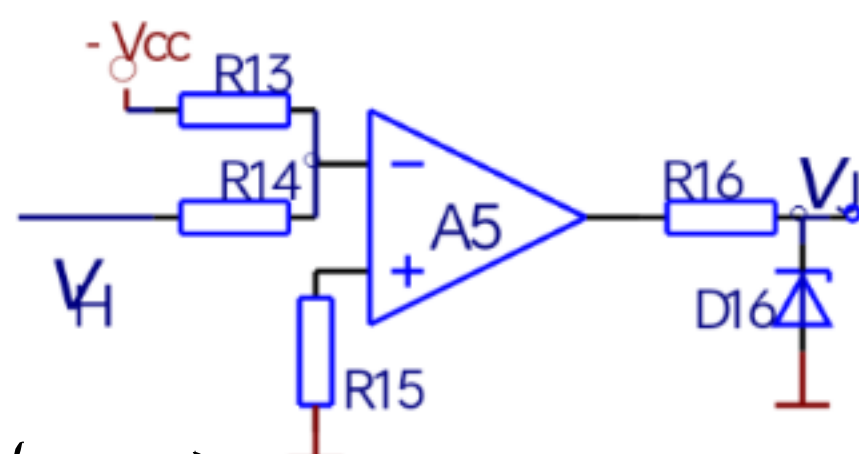
(2) 二阶带通

(3) $f_0 = \frac{1}{2\pi R_6 C_6} = 1 \text{ kHz}$

9. (10 分) 对于图 1 中的比较器报警电路，温度测量范围 $0 \sim 10^\circ\text{C}$ 时，输入电压

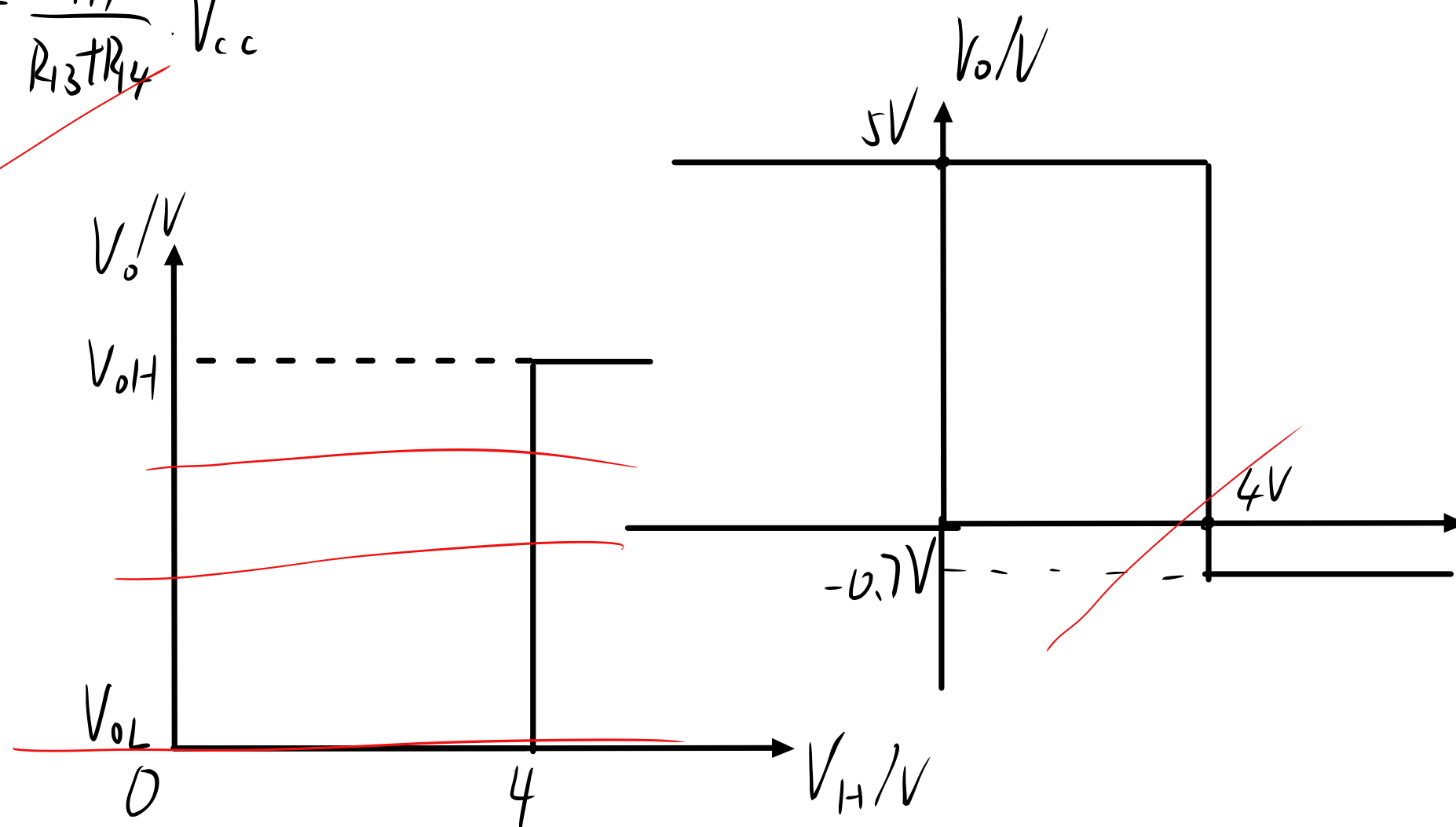
$v_H = 0 \sim 5V$ ，要求温度超过 $8^\circ C$ 时（此时 $v_H = 4V$ ）， v_J 输出变为低电平。稳压管 D_{16} 的稳定电压 $V_Z = 5V$ ，正向导通电压 $V_{on} = 0.7V$ 。 $-V_{CC} = -12V$ ，取 $R_{13} = 3k\Omega$ 。运放 A5 的最大输出为 $\pm 10V$ 。

- (1) 求阈值电压 V_T 表达式。为符合上述报警要求，确定 R_4 大小。
- (2) 求输出高电平 V_{OH} 和输出低电平 V_{OL} ，并画出电路的传输特性。



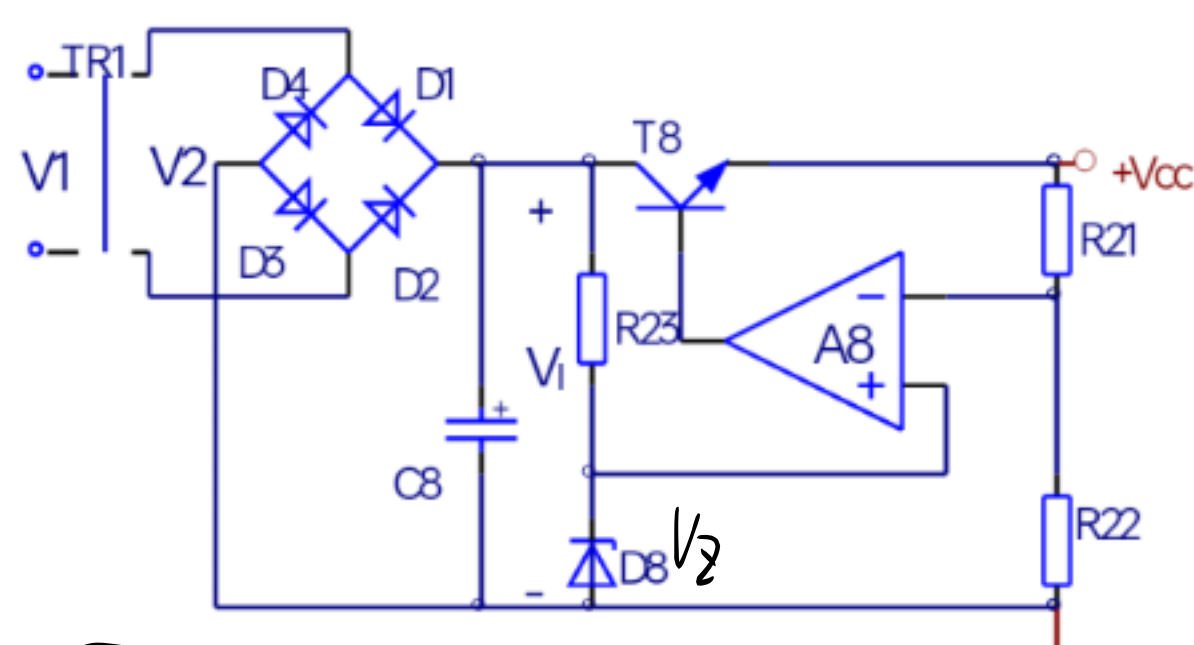
解 (1) $V_T = \frac{R_{13}}{R_{13} + R_{14}} V_H - \frac{R_{14}}{R_{13} + R_{14}} V_{CC}$
 由条件 $V_P = V_N$ 得
 $\therefore R_4 = 1k\Omega$

(2) $V_{OH} = 5V$
 $V_{OL} = -0.7V$



10. (10 分) 采用下图所示稳压电源电路为图 1 温度测量和报警电路供电。下图提供 $+V_{CC} = +12V$ ， $-V_{CC}$ 电路与此相仿。TR₁ 为电源变压器，将 $V_1 = 220V$ 的交流电压降压为 $V_2 = 15V$ ，后经整流、滤波和稳压，产生 $+V_{CC}$ 。稳压管 D₈ 的稳定电压为 $V_Z = 5.1V$ ，调整管 T₈ 的饱和压降 $V_{CES} = 3V$ ，取 $R_{22} = 5.1k\Omega$ ， $C_8 = 100\mu F/25V$ ，

- (1) 计算每个整流二极管 (D₁~D₄) 承受的最大反向电压 V_{RM} 。
- (2) 根据经验公式估算整流、滤波后在 C_8 上产生的直流电压 V_{C8} 。
- (3) 在稳压电路中，推导输出电压 $+V_{CC}$ 和稳压管稳定电压 V_Z 的表达式。根据题意设计要求确定 R_{21} 大小。
- (4) 考虑 T₈ 的饱和压降，输出电压 $+V_{CC}$ 最大值是多少？能否达到 $+12V$ ？



(1) $V_{RM} = 15\sqrt{2} = 21.2V$

(2) ~~$V_{C8} = \frac{V_2}{1.1} = 13.6V$~~ $V_{C8} = 1.1V_2 = 16.5V$

(3) $V_{CC} = \frac{V_Z}{R_{22}}(R_{22} + R_{21}) = (1 + \frac{R_{21}}{R_{22}})V_Z$

$\therefore R_{21} = 6.9k\Omega$

(4) $V_{CCmax} = V_{C8} - V_{CES} = 10.6V < 12V$
 ~~$13.5V > 12V$~~

不能达到
能达到