

《电子电路与系统基础 I》期中考试试题

2019.4.20

学号:

姓名:

共四大题，卷面满分 108 分，超过 100 分按 100 分计。除第一大题第一小题在试题纸上画图外，其他所有答案均填在答题纸上。

一、 填空题（本题共 72 分。如果是两个连空，第一个空填一般性公式，第二个空则代入相关电路参量；或第一个空为公式，第二个空为具体数值结果。如果是选择填空题，可选项在题后<...>括号内选取。）

1、（8 分）请在图 1a 位置画出具有输入电阻 R_{in} 、输出电阻 R_{out} 和本征电压增益 A_{v0} 的基本电压放大器的电路模型，图中标记清楚模型中的电路元件连接关系及其符号，并在图 1b 位置给出用网络参量矩阵形式表述的端口描述方程，网络参量矩阵的元素应恰好和输入电阻 R_{in} 、输出电阻 R_{out} 和本征电压增益 A_{v0} 具有一一对应关系。



图 1a 电压放大器电路模型

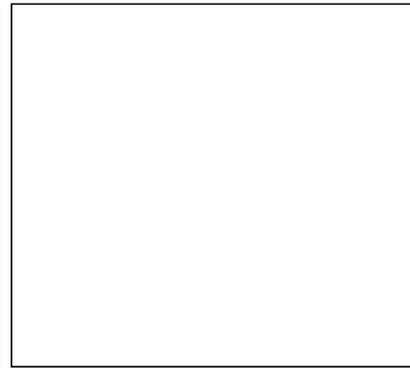


图 1b 端口描述方程

除上题需要直接答在试题纸上外，其后各题答案均应填到答题纸上，并标记清楚题号，填空标号

2、（10 分）有直流偏压的正弦电压信号 $v_s(t) = V_0 + V_{sp} \cos \omega t$ 经过求绝对值功能电路后输出为其绝对值， $v_{out}(t) = |v_s(t)|$ ，于是该输出电压信号中的直流分量为 $V_{out,DC} = (2a)$ ，有效值为 $V_{out,rms} = (2b)$ 。

3、（5 分）一个阻性无损三端口网络具有如下的 z 参量矩阵，

$$\mathbf{z} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} \\ Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} \end{bmatrix}$$

该 z 参量矩阵的元素必有如下性质：(3a)

4、（31分）如图2所示的虚框放大网络中，压控压源的压控系数 $A_{v0} \gg 1$ 。在输入端口接激励源，输出端口接负载电阻后，可以用回路电流法对其进行分析，在定义了如图所示的两个回路电流后，可列写如下的回路电流法方程（4a）。求解该方程，可获得两个回路电流，之后得到输出电压 $v_L = (4b)$ ，对该表达式做极端检查，令 $R_L \rightarrow \infty$ ，代入上述表达式，有 $v_L(R_L \rightarrow \infty) = (4c)$ ，对该表达式进行物理解释如下：（4d），该解释符合图2中将输出开路的结果，说明上述推导可以通过这个极端检查。

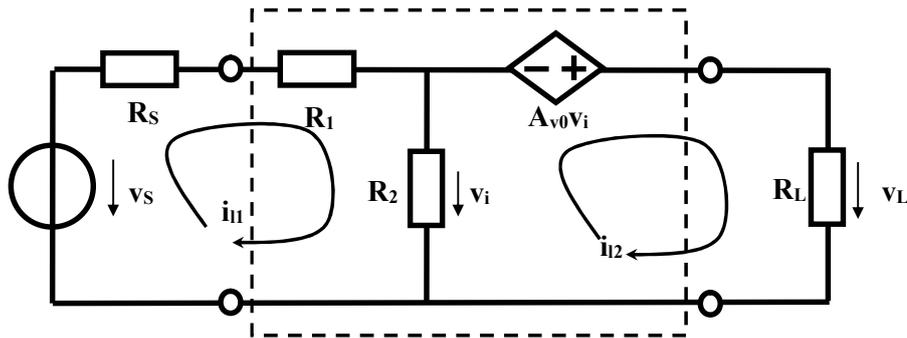


图2 某放大器电路

前述极端检查获得的电压同时也是负载向端口2看入的等效戴维南源电压 v_{TH} ，而负载向端口2看入的等效诺顿源电流为负载电阻短路时的回路2电流，取 $R_L = 0$ 代入前述计算回路电流 i_{l2} 表达式中，得到诺顿源电流为 $i_N = (4e)$ ，并可由此计算出负载向端口2看入的输出阻抗为 $z_{out} = (4f)$ 。

令虚框二端口网络端口2开路，获得端口1输入阻抗为 $z_{in,2open} = (4g)$ ，令虚框二端口网络端口2短路，获得端口1输入阻抗为 $z_{in,2short} = (4h)$ ，如是获得输入端口特征阻抗 $Z_{01} = (4i) = (4j)$ ；令虚框二端口网络端口1开路，获得端口2输出阻抗为 $z_{out,1open} = (4k)$ ，令虚框二端口网络端口1短路，获得端口2输出阻抗为 $z_{out,1short} = (4l)$ ，如是获得输出端口特征阻抗 $Z_{02} = (4m) = (4n)$ 。对该二端口网络，只要其端接负载满足（4o），即可获得最大功率增益 $G_{p,max} = (4p)$ 。

5、（18分）在对如图3所示的由线性电阻构成的T形桥二端口网络进行研究时，某同学决定分析其导纳参量矩阵，于是他在两个端口加测试电压源 $v_1(t)$ 、 $v_2(t)$ ，希望测得两个端口电流 $i_1(t)$ 、 $i_2(t)$ 。考虑到两个端口上结点电压已知，仅有结点A电压未知，故而以电路中的G结点为参考地结点，A结点电压 v_A 为未知量，列写关于A点的结点电压法（结点A的KCL）方程如下（5a）（提示：可以用 G_i 代替 $\frac{1}{R_i}$ 以简化表述），并由此获得结点A电压 v_A 用两个端口测试电压 v_1 、 v_2 表述如下，（5b）。进一步，可求得 R_1 电阻电流为 $i_{R1} = (5c)$ ， R_2

电阻电流为 $i_{R2} = (5d)$, R_p 电阻电流为 $i_{Rp} = (5e)$ 。再由这三个电阻上的电流表述两个端口电流如下, $i_1 = (5f)$, $i_2 = (5g)$, 最终, 得到如下的用端口电压表示端口电流的 y 参量矩阵方程 $(5h)$ 。

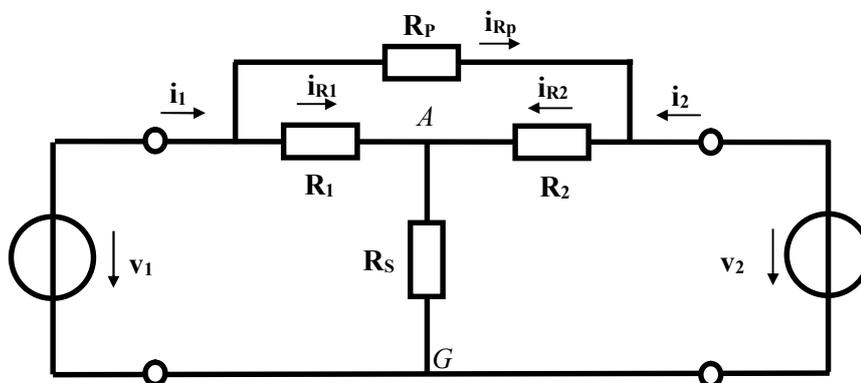


图 3 T 形桥网络

如果纯粹从网络构成来看, 由于网络是由互易的有损线性电阻构成, 可知网络是互易网络和无源网络。但是如果该网络被封装, 其结构未知, 单单从前述测得的 y 参量矩阵看, $(5i)$ 表明该网络为互易网络, $(5j)$ 表明该网络为无源网络。如果希望该网络是对称网络, 由网络参量应满足的 $(5k)$ 性质推知对网络内部电阻的要求为 $(5l)$ 。

二、 (10 分) 小明把一个最低档 250W/最高档 1000W 的三档手持式电吹风机拆开, 经分析, 其电路结构如图 4 所示: 加热管中有两段加热电阻丝, 电扇鼓风将加热电阻丝产生的热量以热风形式吹出加热管。当开关滑块位于位置 0 时, 该滑块会分别连通位置 0 上面的两个金属接触点和下面的两个金属接触点, ...。

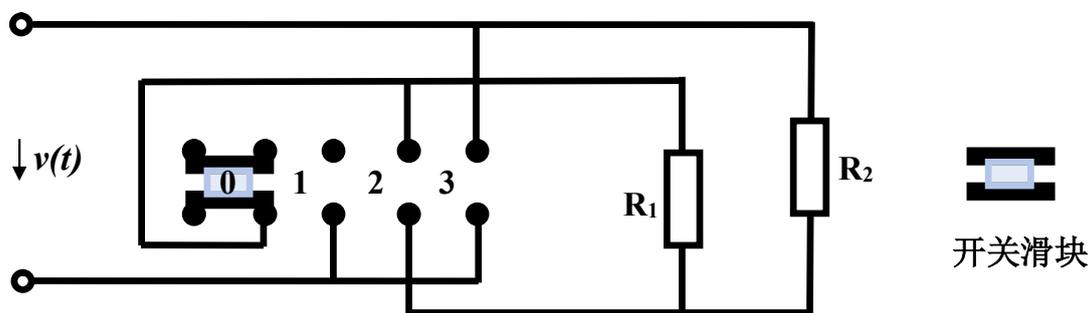


图 4 电吹风机电路图

a) 请画出当开关滑块在位置 0/1/2/3 滑动时, $220V_{rms}$ 市电看到的输入端口电阻 R_{in} 分别为什么?

- b) 请分析加热电阻 R_1 和 R_2 分别为多大?
 c) 开关滑块位于位置 0/1/2/3 时, 该电吹风机消耗的电热功率分别为多少瓦?

三、 (14分) 如图所示, 已知网络 b 是网络 a 的等效电路。

- a) 请给出用网络 a 电路参量表述的网络 b 电路参量。
 b) 分析什么情况下, 等效电路 b 中有一个元件可以取消其作用, 网络 b 用两个元件就足以描述, 并给出此条件下的网络 b 的两个等效元件表达式。

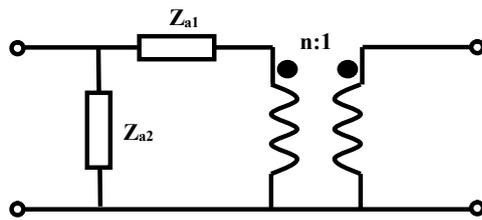


图 5a 网络 a

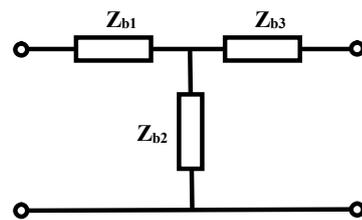


图 5b 网络 b

四、 (12分) 请设计一个如图 6 所示的 π 型电阻衰减器, 两个端口特征阻抗均为 Z_0 , 衰减系数为 $L(\text{dB})$ 。

- a) 通过分析, 给出设计公式。要求有详尽的分析过程。
 b) 将 $Z_0 = 50\Omega$, $L = 30\text{dB}$ 代入前述公式, 给出你设计的应用于 50Ω 系统中的 30dB - π 型电阻衰减器。
 c) 用 50Ω 网络分析仪对该衰减器进行 s 参量测量, 测量出来的 s 参量矩阵应该是怎样的?

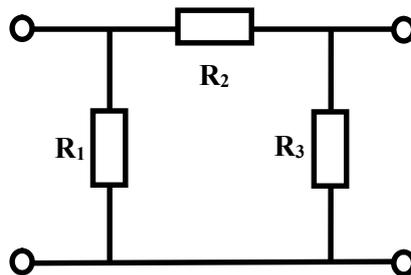


图 6 π 型电阻衰减器

卷面满分 108 分，超过 100 分按 100 分计。前三题在试题纸空格位置写出答案，后两题在答题纸上写出详尽过程。

一、(13 分) 运放如果是负反馈连接的，则可用理想运放的虚短和虚断特性进行电路分析，这是由于负反馈可以保证运放能够工作在 () 区，该工作区理想运放的虚短和虚断抽象自 ()。

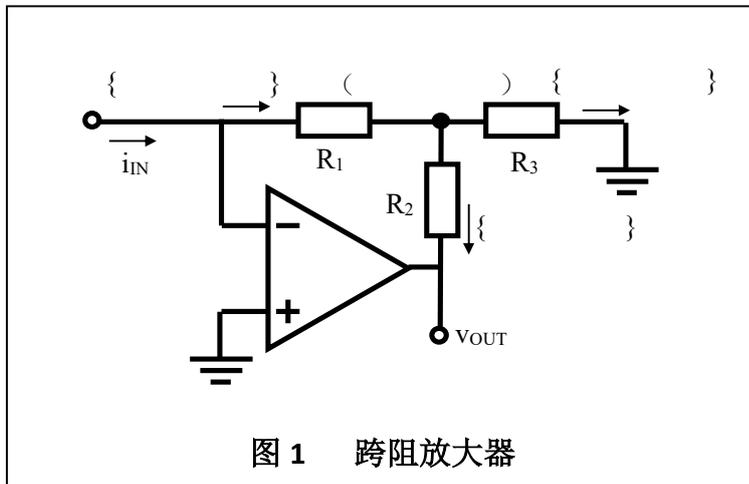


图 1 跨阻放大器

对图 1 所示的跨阻放大电路，由于运放是负反馈连接方式，故而可采用理想运放的虚短虚断特性进行分析：已知输入电流为 i_{IN} ，请在图中 3 个箭头标记的支路参考电流方向附近的花括弧“{”中填入该支路电流大小（由激励量 i_{IN} 表示），在黑点表示的结点附近圆括号“()”内填入该结点电压大小。

分析表明， v_{OUT} 和 i_{IN} 之间的跨阻增益为 ()。如果 $R_1 = R_2 = R_3 = R$ ，那么该跨阻放大器具有的线性跨阻增益 () 仅在 $i_{IN} \in$ () 时成立，当 () 时输出电压为负饱和电压，当 () 时输出为正饱和电压。

二、(21 分) 如图 2a 所示的负反馈放大器原理图中，A、B、C、D 四个符号分别代表端口 A、...、端口 D 四个端口，在图 2b/2c/2d 中，用 A、B、C、D 标记清楚对应端口。显然，这是一个 () 负反馈连接形式的负反馈放大器，在图中合适位置标记适当的电量参考方向及电量符号，其后对该电路原理图有如下的规范性说明：负反馈网络检测放大网络的 ()，形成 ()，从 () 中扣除，形成的 () 稳定 ()，由是该负反馈放大器将形成接近理想的 ()。在对该负反馈放大器进行原理性分析时，首先分析其反馈系数，请在图 2b 位置画出分析反馈系数的电路原理图，如是 () 反馈系数 () = ()，在深度负反馈条件满足条件下，闭环 () 增益近似等于 ()。

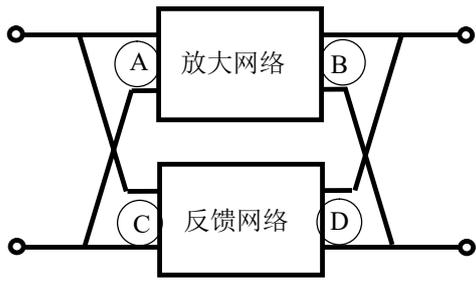


图 2a 负反馈放大器分析原理图

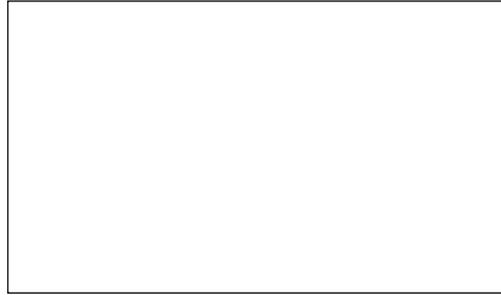


图 2b 反馈系数分析原理图

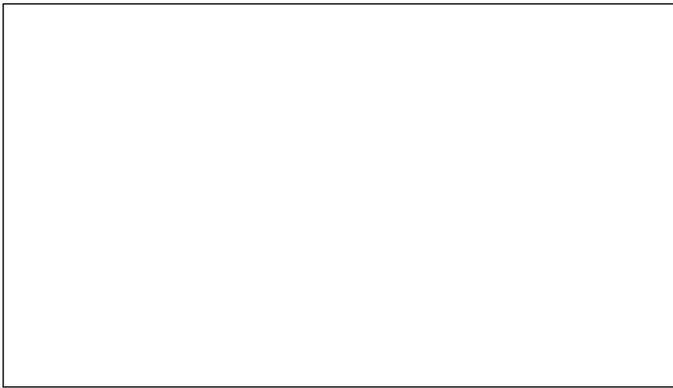


图 2c 开环放大器分析原理图

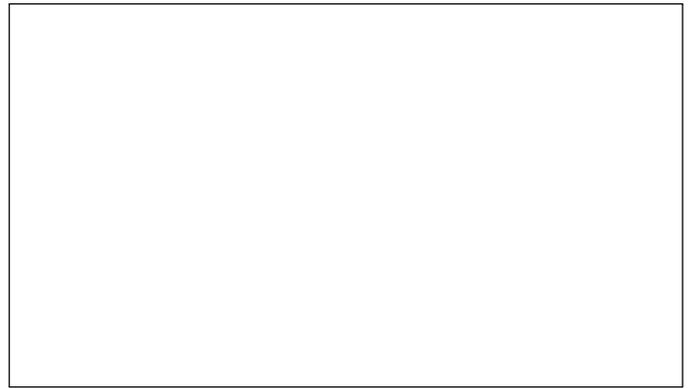


图 2d 开环放大器分析电路图

如果对闭环放大器输入电阻和输出电阻感兴趣，则需进一步获得开环放大器参量，请在图 2c 位置画出分析开环放大器的电路原理图。进一步地，如果原始放大网络的输入电阻为 R_i ，输出电阻为 R_o ，本征电压增益为 A_{v0} ，同时反馈网络提供的端口 1(端口 C)负载效应电阻为 R_{1f} ，端口 2(端口 D)负载效应电阻为 R_{2f} ，

请在图 2d 位置画出开环放大器分析电路图。由此电路图可知，开环放大器输入电阻 $r_{ino} = (\quad)$ ，输出电阻 $r_{outo} = (\quad)$ ，开环()增益() = ()，进一步获得环路增益 $T = (\quad)$

和闭环放大器输入电阻 $r_{inf} = (\quad)$ ，输出电阻 $r_{ouf} = (\quad)$ 。

三、(20 分) 如图 3a 所示晶体管电路。在做直流分析或大信号分析时，忽略基极电流和厄利效应的影响。图中，已知 T_2 晶体管结面积与 T_3 晶体管结面积之比为 $\gamma = 5$ 。对左侧支路列写 KVL 方程可以确知该支路电流 $I_{C3} = (\quad)$ 。

对于右侧支路，晶体管 T_1 的作用为 ()，

晶体管 T_2 的作用为 ()。

对该电路进行交直流分析，已知 $V_{CC} = 3.3V$ ， $R = 2.6k\Omega$ 。首先做直流分析，假

设所有晶体管均工作于恒流区，于是可知右侧支路两个晶体管直流电流为（第一空填公式，第二空填数值） $I_{C1} = I_{C2} = (\quad) = (\quad)$ ，其次做交流小信号分析，已知所有晶体管的 $\beta = 400$ ， $V_A = 100V$ ，在图 3b 位置画出从输入到输出的交流小信号电路模型（电路元件旁标记元件参量符号，受控源标记正确的电压电流参考方向），显然该二端口网络的输入电阻

$r_{in} = (\quad) = (\quad)$ ，输出电阻为 $r_{out} = (\quad) = (\quad)$ ，本征电压增益为 $A_{v0} = (\quad) = (\quad) = (\quad)$ dB（ \quad ）<同相/反相>。

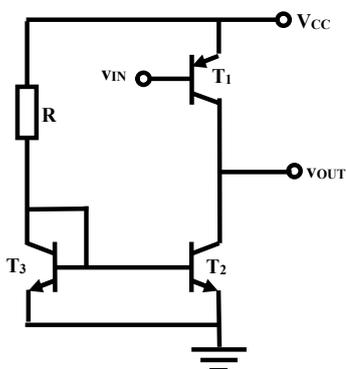


图 3a 晶体管电路



图 3b 交流小信号分析电路

四、（20 分）如图 4 所示电路，这是一个双二极管双运放电路。其中，两个二极管 D_1 和 D_2 具有正偏 0.7V 恒压反偏截止特性，两个运放具有 $\pm V_{sat}$ 饱和电压且线性区无穷大增益特性，图中所有电阻大小相等 $R_0 = R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ 。

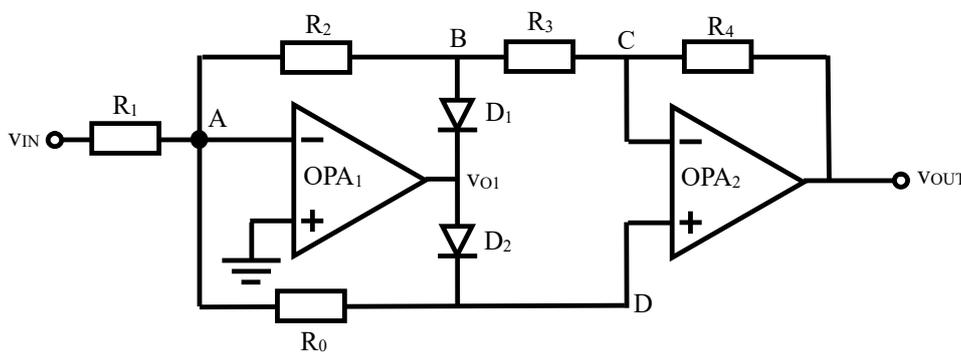


图 4 运放-二极管电路

- (1) 请判定不同输入情况下，两个二极管的导通截止情况；
- (2) 分析输入输出转移特性关系 $v_{OUT} = f(v_{IN})$ ，详述分析过程；
- (3) 在前述分析基础上，画出两个特性曲线图 $v_{OUT} = f(v_{IN})$ 和 $v_{O1} = f_1(v_{IN})$ 。画图时假设 $V_{sat} = 12V$ 。

五、(34分)对于图5虚框内的晶体管放大电路,已知 $V_{CC} = +12V$, $R_{B1} = 90k\Omega$, $R_{B2} = 10k\Omega$, $R_{C1} = 18k\Omega$, $R_{E1} = 1k\Omega$, $R_{C2} = 9k\Omega$, $R_{E2} = 3.3k\Omega$, $R_F = 15k\Omega$,图中电容 C_B 、 C_C 、 C_E 、 C_F 均为大电容,且两个晶体管具有完全一致的工艺参量 $\beta_1 = \beta_2 = 400$, $V_{A1} = V_{A2} = 100V$ 。在该放大器输入端口加内阻 $R_S = 10k\Omega$ 的激励源,在输出端口加 $R_L = 1k\Omega$ 的负载电阻。提示:下面的分析过程,均需先给公式,再给具体数值结果,无公式直接给错误数值结果者无分。如果前面小问没有给出数值结果的,并不影响后面数问公式的符号运算表述。

(1) 直流分析

- a) 获得两个晶体管的直流工作点;
- b) 验证晶体管工作在恒流区,给出两个晶体管的恒流区微分元件参量。

(2) 交流小信号分析:

- a) 画出交流分析电路,描述说明放大电路内部存在的包含 R_F 在内的这个反馈环路是负反馈连接关系;
- b) 论述负反馈连接类型及其形成的受控源类型;
- c) 根据受控源类型说明激励源类型(是电流源还是电压源),之后求反馈网络的反馈系数,给出闭环放大器深度负反馈条件满足下的理论闭环增益。

如果我们对负载电阻上的电压 v_L 感兴趣,进一步给出理论增益 $A_v = \frac{v_L}{v_S}$

(如果前问判定为电压源激励)或 $R_m = \frac{v_L}{i_S}$ (如果前问判定为电流源激励);

- d) 求开环放大器参量(输入电阻,输出电阻,开环增益);
- e) 求闭环放大器参量(输入电阻,输出电阻,闭环增益),假设满足单向化条件;
- f) 给出虚框二端口放大器参量(输入电阻,输出电阻,本征增益(对输出电压感兴趣)),假设满足单向化条件。

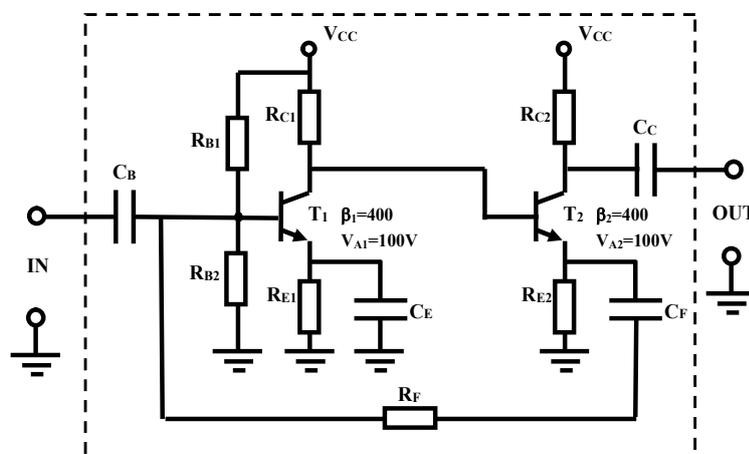


图5 负反馈晶体管放大电路