

《电子电路与系统基础 I》2015 年春季学期期末考试试题 A 卷

班级 _____ 学号 _____ 姓名 _____

卷面满分 108 分，超过 100 分按 100 分计。所有数值计算只需保留 3 位有效位数即可。

一、填空题（68 分，请在试题纸对应空位填空或画图。对于选择填空题，可选项在（ ）括号后<...>括号内选取）：

1、如图 1 所示，这是一个戴维南源驱动 PN 结二极管的电路，其中戴维南源电压 $V_{TH}=5V$ ，戴维南源内阻为 $R_{TH}=1k\Omega$ ，二极管伏安特性满足指数律关系，

$$i_D = I_{S0} \left(e^{\frac{v_D}{v_T}} - 1 \right),$$

其中 v_D ， i_D 是二极管由 P 端指向 N 端关联参考方向定义下的端口电压和端口电流， $I_{S0}=20fA$ 是二极管反向饱和电流，热电压 $v_T=26mV$ ，以二极管电压 v_D 为待求量，列写关于 v_D 的电路方程 $f(v_D)=0$ ，以 v_{TH} ， R_{TH} ，及 I_{S0} 、 v_T 等为已知参量，该电路方程为 $f(v_D)=$ () = 0。

我们采用牛顿拉夫逊迭代法求解该电路方程， v_D 的初始值取 $v_D^{(0)}=0.7V$ ，迭代一次获得的解 $v_D^{(1)}=$ () (数学表达式) = () V (具体数值解)。

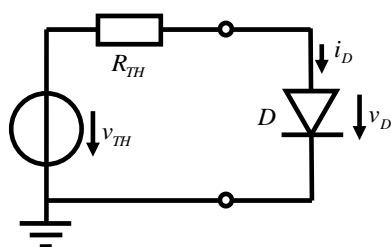


图 1 戴维南电压源驱动二极管

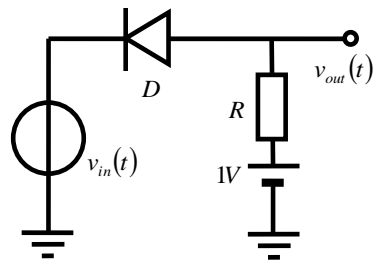


图 2 二极管削波电路

2、二极管采用导通 0.7V 恒压源模型，分析如图 2 所示电路的输入输出转移特性关系，该关系方程可表述为 $v_{out} = f(v_{in})=$ ()，

当输入信号 $v_{in}(t)=V_{im} \cos \omega t$ ， $V_{im} = 2V$ ，如图 3 虚线所示，请在该图上用实线画出输出信号 $v_{out}(t)$ 的波形。

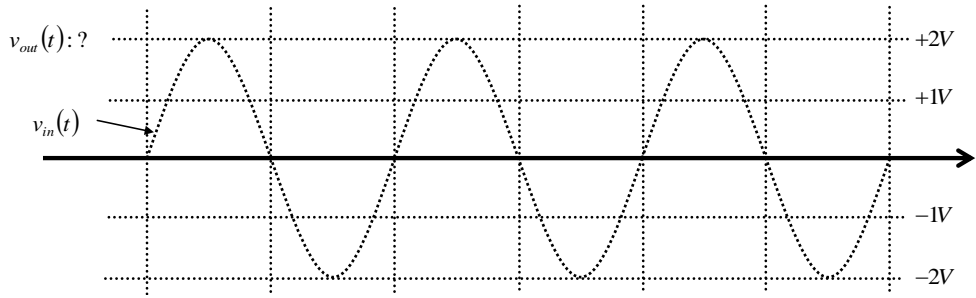


图 3 图 2 削波电路输入输出信号波形

3、如图 4 所示，这是一个由线性电阻网络做负反馈网络的负反馈放大器，在图上标注合适的输入电压 v_{in} 或输入电流 i_{in} 、反馈电压 v_f 或反馈电流 i_f 、误差电压 v_e 或误差电流 i_e 、输出电压 v_{out} 或输出电流 i_{out} 等符号及其参考方向箭头。图示连接关系为 () <串联/并联/串并/并串> 连接，反馈网络检测晶体管放大网络的 ()，形成 ()，从 () 中扣除，形成的 () 作用到放大网络输入端口，稳定放大网络的 () <前面 5 个空选填：输入电压/输入电流/反馈电压/反馈电流/误差电压/误差电流/输出电压/输出电流>，从而形成接近理想的 ()。对该负反馈放大器进行分析，() 相加，总参量矩阵 (记为 p 矩阵) 的 12 元素 p_{12} 单独取出则形成理想反馈网络，() <电压/电流/跨阻/跨导> 反馈系数 () < $F_v/F_i/R_f/G_f$ > 等于 () 元素，剩下的三个元素则是开环放大器基本放大参量，其中，开环放大器的输入电阻 r_{in} 等于 ()，输出电阻 r_{out} 等于 ()，开环 () <电压/电流/跨导/跨阻> 增益 () < $A_{v0}/A_{i0}/G_{m0}/R_{m0}$ > 等于 ()。对前述求和参量矩阵再求逆，获得闭环放大器的最适网络参量，定义环路增益 $T =$ ()，则闭环放大器的输入电阻 r_{inf} 是开环放大器输入电阻 r_{in} 的 () 倍，闭环放大器的输出电阻 r_{outf} 是开环放大器输出电阻 r_{out} 的 () 倍，闭环放大器的闭环 () 增益 () < $A_{vf}/A_{if}/G_{mf}/R_{mf}$ > 是开环增益的 () 倍，在满足深度负反馈条件 () 前提下，闭环增益近似为反馈系数的倒数，即 ()。

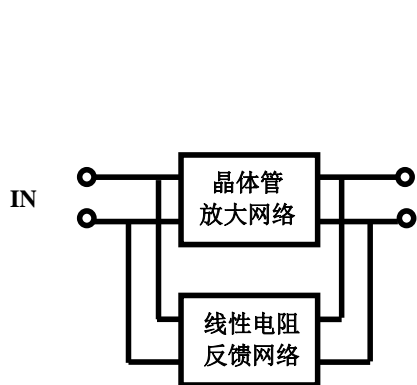


图 4 某种连接关系的负反馈放大器

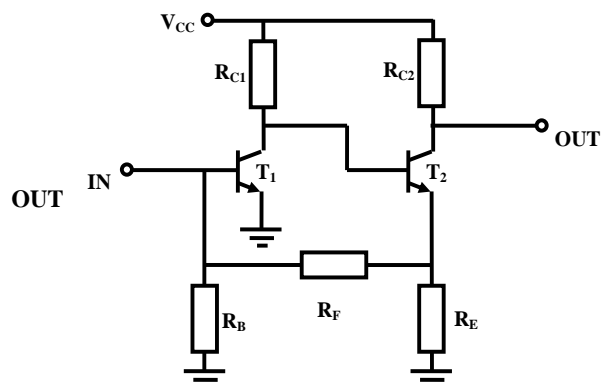


图 5 某负反馈放大器

4、图 5 所示是一个负反馈放大电路，用如下文字说明它是负反馈连接：假设晶

体管 T_1 基极电压有一个向上的扰动，()，
 可见扰动信号环路一周后，向上的扰动被抑制了，所以这是一个负反馈连接方式。
 显然，它是 () <串串/并并/串并/并串>连接方式，假设深度负反馈条件满足，则闭环本征 () <电压/电流/跨导/跨阻>增益近似完全由稳定性高的电阻决定，等于 () <具体表达式>。

5、如图 6 所示虚框所围电路可以作为电流放大器使用，假设所有晶体管的厄利电压均为 50V，过驱动电压均为 0.2V，左支路直流电流为 $100\mu\text{A}$ ，右支路晶体管宽长比是左支路晶体管宽长比的 10 倍，则右支路直流电流为 () mA。如图所示的虚框二端口网络如果作为交流小信号电流放大器，其输入电阻 $r_{in} =$ () $\text{k}\Omega$ ，输出电阻 $r_{out} =$ () $\text{k}\Omega$ ，本征电流增益 $A_{i0} =$ ()。

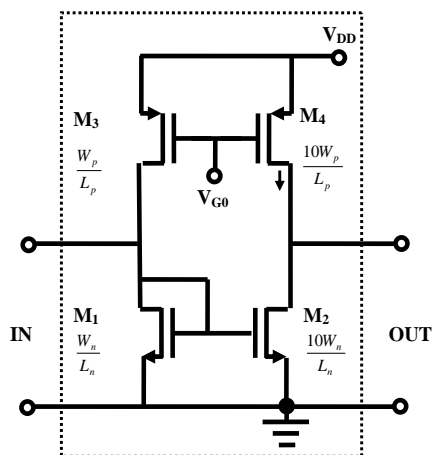


图 6 电流放大器

6、某 NMOSFET 的 $\mu_n C_{ox} = 100 \mu\text{A}/\text{V}^2$ ， $V_{TH} = 0.7\text{V}$ ，现希望该 NMOSFET 工作在恒流导通区，设计时希望其恒流导通 $I_D = 2\text{mA}$ 工作时的过驱动电压为 0.2V，那么设计电路时应取该晶体管的 $W/L =$ ()。该晶体管在某电路中其源极电压被设置为 1.0V，其栅极电压为 () V 且其漏极电压大于 () V 时，可确保其恒流导通且 $I_D = 1\text{mA}$ 。上述分析中均不考虑厄利效应。

7、将 MOSFET 的栅极和漏极连为一个端点，和源极端点构成一个单端口网络，它被称为 MOS 二极管，该二极管（单端口网络）的端口电压和端口电流分别记为 v_D 和 i_D ，则其端口描述方程为：()。

已知 MOSFET 的工艺参量 β_n ， V_{TH} ，不考虑厄利效应。

8、A 类放大器的最高理论效率为 ()；B 类放大器的最高理论效率为 ()。

9、741 运放为了获得高的电压增益，它采用了如下措施 ()。

<尽可能多地列举，用 (1) (2) (3) 分隔>

10、‘互易网络是无源网络’这一论断（ ）<正确/错误>，‘单向网络是有源网络’这一论断（ ）<正确/错误>。

11、BJT 被称为双极结型晶体管，其双极 Bipolar 的含义是（ ）。

12、图 7a 是 NPN-BJT-CE 组态放大电路。图 7b 晶体管伏安特性曲线图上已画出了直流负载线，其上给出了直流工作点位置： $V_{CE0} = 6V$ ， $I_{C0} = 1mA$ 。

- (1) 请在图上直接画交流负载线，标明交流负载线在两个坐标轴上的截距大小。
- (2) 该放大器线性放大输出正弦波的最大峰值电压为（ ）V。
- (3) 该放大器的电压放大倍数为（ ）dB，计算可取热电压 $v_T = 25mV$ 。

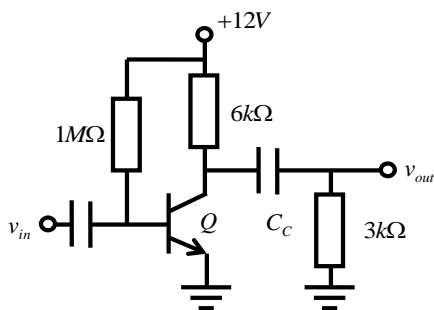


图 7a NPN-BJT-CE 组态放大电路

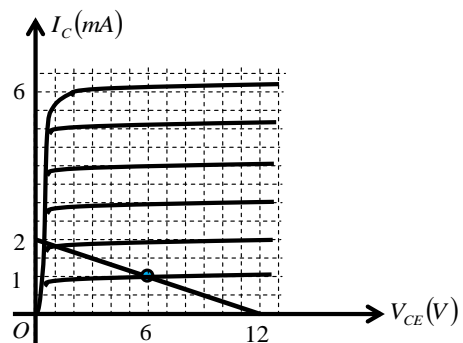
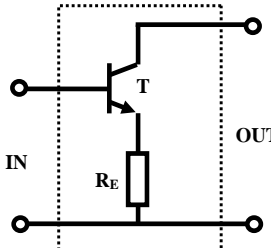
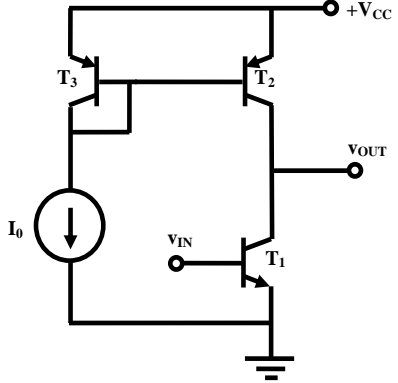
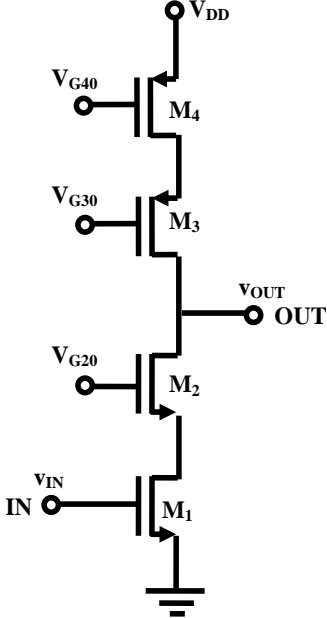
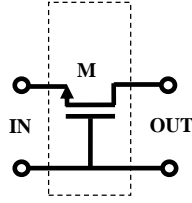
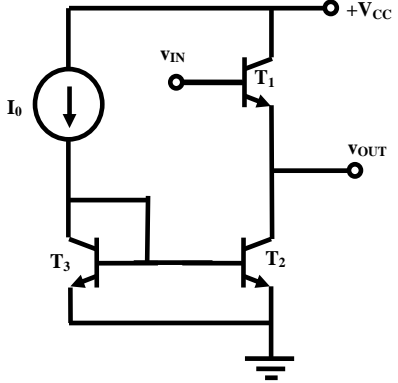
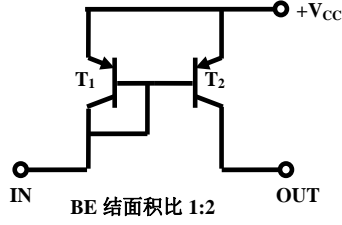
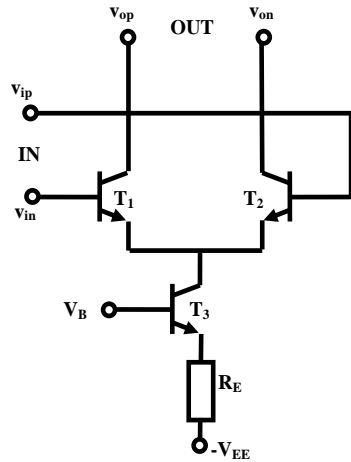


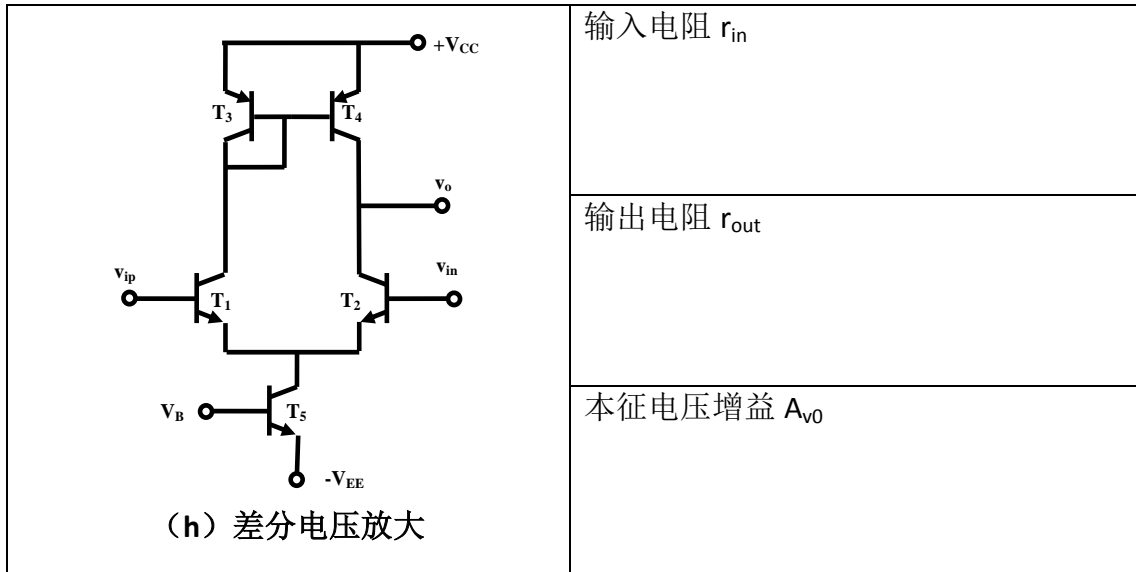
图 7b CE 组态放大电路负载线

13、假设下表图 8 中的所有晶体管均工作于恒流导通区，且形成的二端口网络均可在图标应用条件下进行单向化处理，请给出这些单向化处理后的二端口网络的交流小信号输入电阻、输出电阻和本征增益表达式，表达式中请直接利用晶体管微分元件参量如 g_m ， r_{be} ， r_{ce} ， r_{ds} 等作为已知量。表达式可以是近似公式，表述应尽可能简单，例如无穷大用 ∞ 表述，两个电阻 R_1 和 R_2 的并联用 $R_1 || R_2$ 表述，用 $R_1 < g_m > R_2$ 表述 $R_1 + R_2 + g_m R_1 R_2$ 等，同时对晶体管自身而言， $g_m r_{be} \gg 1$ ， $g_m r_{ce} \gg 1$ ， $g_m r_{ds} \gg 1$ ，晶体管外接电阻 R_E 满足 $g_m R_E \gg 1$ ， $R_E \ll r_{be}, r_{ce}$ 。若 $|a| \gg |b|$ ，可取 $a + b \approx a$ 。

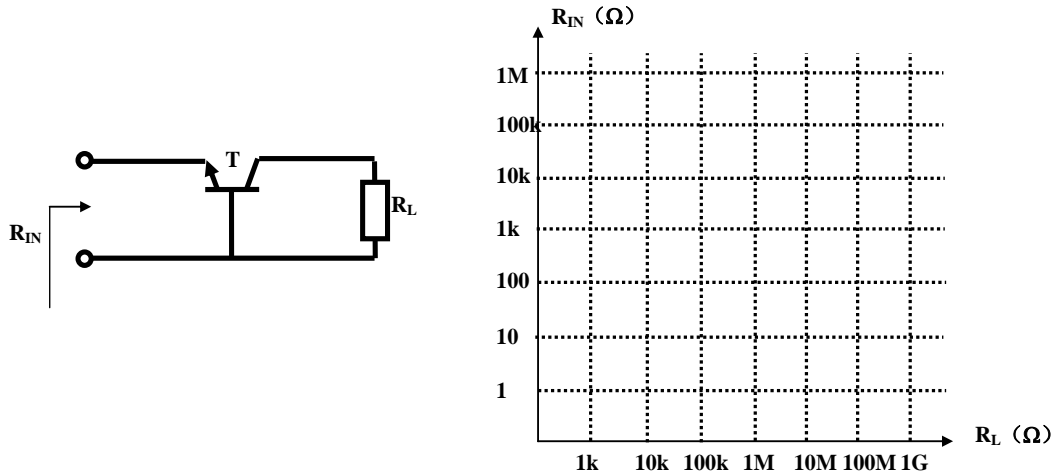
图 8：放大器二端口网络 (输入端口 IN，输出端口 OUT)	放大器基本参量		
 <p>(a) 串串负反馈跨导放大</p>	输入电阻 r_{in}	输出电阻 r_{out}	本征跨导增益 G_{m0}

 <p>(b) 反相电压放大</p>	<p>输入电阻 r_{in}</p> <p>输出电阻 r_{out}</p> <p>本征电压增益 A_{v0}</p>
 <p>(c) cascode 结构高增益电压放大</p>	<p>输入电阻 r_{in}</p> <p>输出电阻 r_{out}</p> <p>本征电压增益 A_{v0}</p>
 <p>(d) 共栅组态电流缓冲</p>	<p>输入电阻 r_{in}</p> <p>输出电阻 r_{out}</p> <p>本征电流增益 A_{i0}</p>

 <p>(e) 电压缓冲</p>	输入电阻 r_{in}
	输出电阻 r_{out}
	本征电压增益 A_{v0}
 <p>(f) 电流缓冲</p>	输入电阻 r_{in}
	输出电阻 r_{out}
	本征电流增益 A_{i0}
 <p>(g) 全差分跨导放大</p>	输入电阻 r_{in}
	输出电阻 r_{out}
	本征跨导增益 G_{m0}



二、(7 分) 共基组态晶体管是双向网络，故而其输入电阻和负载电阻相关。用加压求流或加流求压法获得图 9a 所示共基组态晶体管的输入电阻表达式，其中晶体管已被直流偏置于恒流导通区。请在图 9b 位置画出随负载电阻变化输入电阻变化的曲线（可分段折线化处理），其中晶体管交流小信号微分元件参量取 $g_m = 10mS$ ， $r_{be} = 10k\Omega$ ， $r_{ce} = 100k\Omega$ 。



(a) 共基组态连接关系图

(b) 输入阻抗随负载阻抗变化

图 9 共基组态晶体管的输入阻抗

三、(11 分) 如图 10 所示是一个用晶体管实现的电流源电路，已知 $V_{DD} = 8V$ ，

$R_1 = 20k\Omega$ ， $R_2 = 20k\Omega$ ，现希望实现一个输出短路电流为 $1mA$ 的电流源，问：

(1) R_5 电阻如何取值？已知工作于恒流导通区的晶体管满足如下约束方程，

$$I_D = \beta_n (V_{GS} - V_{TH})^2 \left(1 + \frac{V_{DS}}{V_A} \right), \text{ 其中 } \beta_n = 100 \text{ mA/V}^2, V_{TH} = 0.7 \text{ V}, V_A = 50 \text{ V}。$$

- (2) 虚框单端口网络等效诺顿电流源的内阻为多少？
 (3) 对该电流源的负载电阻 R_L 有何要求以确保电流源的 1mA 恒流输出？

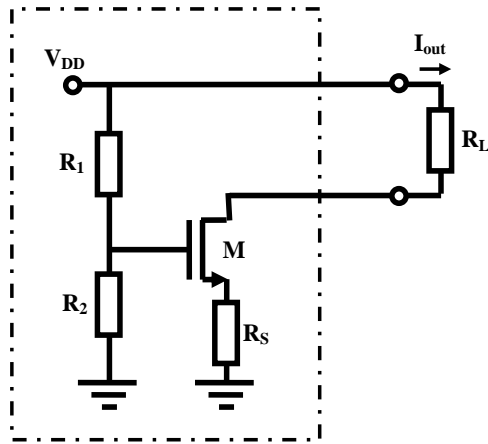


图 10 晶体管电流源

四、(22 分) 如图 11a/b 所示的两个单晶体管电路均可用来实现反相电压放大功能。下述分析中，晶体管采用分段折线模型。

- (1) 请分别分析并给出两个电路的输入输出电压转移特性关系方程。
 (2) 画转移特性曲线，为了方便作图，取 $V_{CC} = +12 \text{ V}$ ， $R_C = 10 \text{ k}\Omega$ ，其中 R_B 或 R_E 的取值使得这两个电路做反相电压放大器使用时，电压增益为 -10，请说明 R_B 和 R_E 的具体取值，并说明哪个电路的电压增益稳定性更高，为什么？其中晶体管的 $\beta = 500$ ，不考虑厄利效应。画特性曲线时，图上标清楚关键点的坐标数值。
 (3) 当输入信号中同时有直流分量和交流分量时， $v_{IN} = V_{IN0} + v_{in}(t)$ ，分别说明两个电路的输入直流分量 V_{IN0} 取多大时，反相电压放大器具有最大的线性范围。其中具体电路参量设定同 (2) 问。

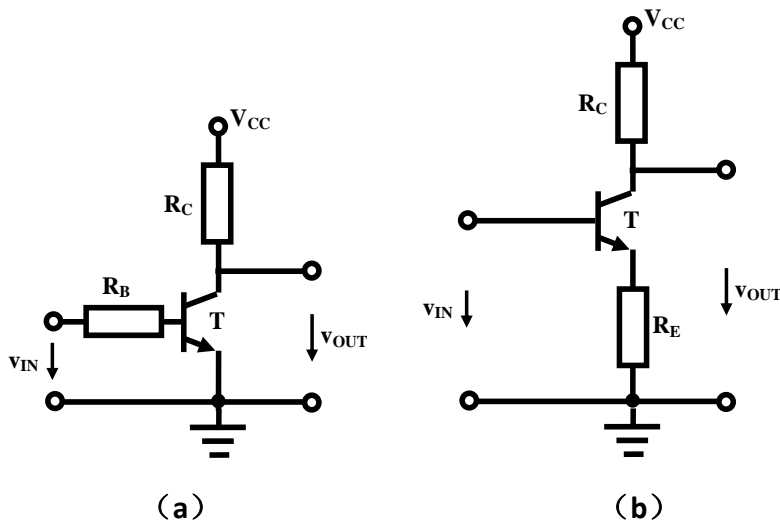


图 11 单晶体管电路