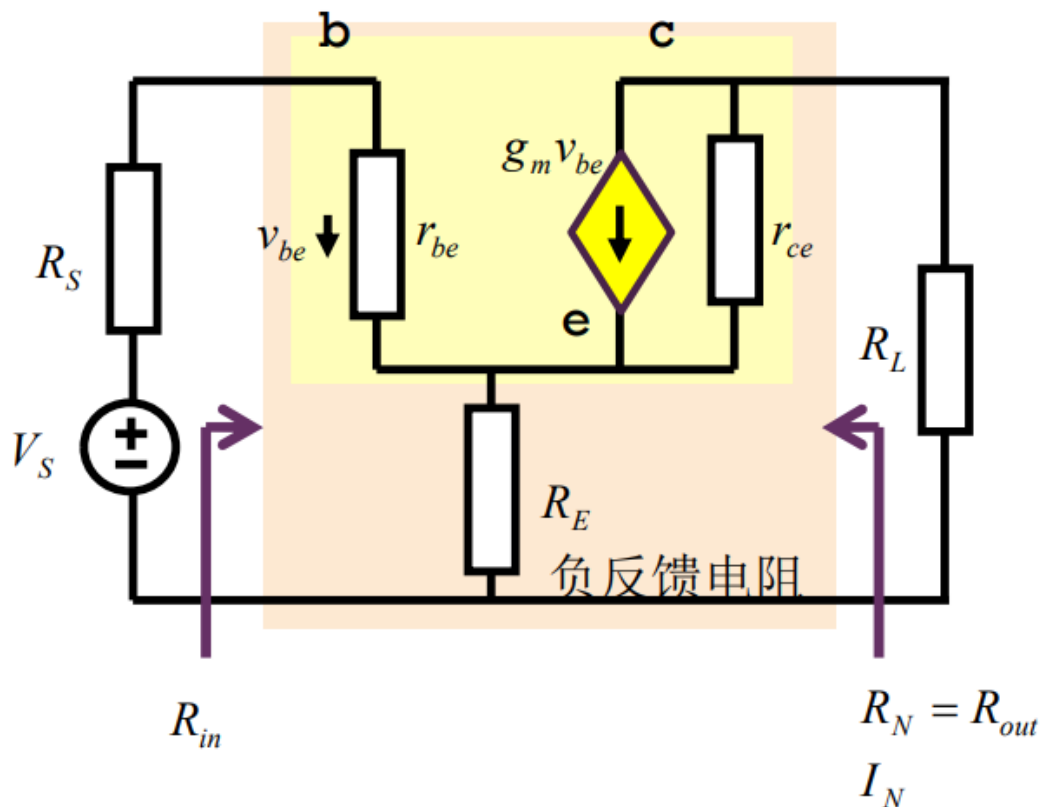


放大器验证

无04 2019012137 张鸿琳

对如下电路进行仿真：



根据作业中的计算结果，输入电阻为

$$R_{in} = r_{be} + R_E + g_m r_{be} R_E - \frac{(g_m r_{be} R_L + R_E + g_m r_{be} R_E) R_E}{r_{ce} + R_E + R_L} \quad (1)$$

输出电阻为

$$R_{out} = \left(1 + \frac{g_m R_E r_{be}}{R_S + r_{be} + R_E}\right) r_{ce} + \left(1 - \frac{R_E}{R_S + r_{be} + R_E}\right) R_E \quad (2)$$

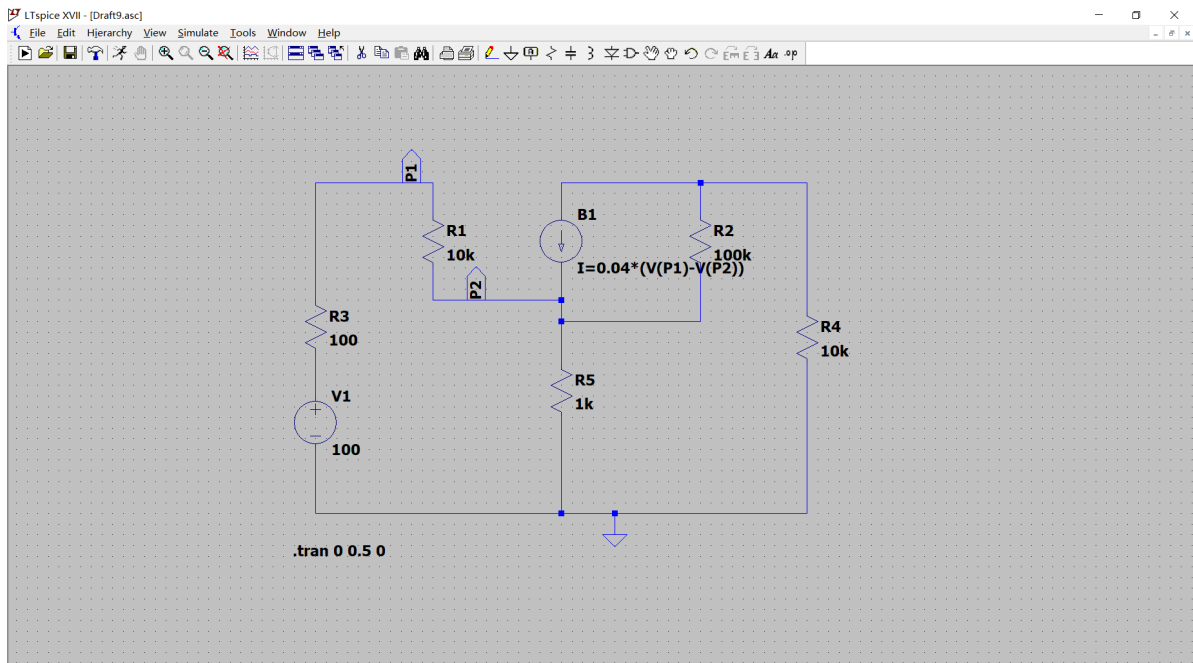
等效诺顿电流为

$$I_0 = \frac{V_S}{r_{ce}} - \frac{V_S \left(1 + \frac{R_E}{r_{ce}}\right) (r_{be} + R_S + g_m r_{be} r_{ce})}{(r_{ce} + r_{be} + R_S + g_m r_{be} r_{ce}) R_E + (r_{be} + R_S) r_{ce}} \quad (3)$$

电压放大倍数为

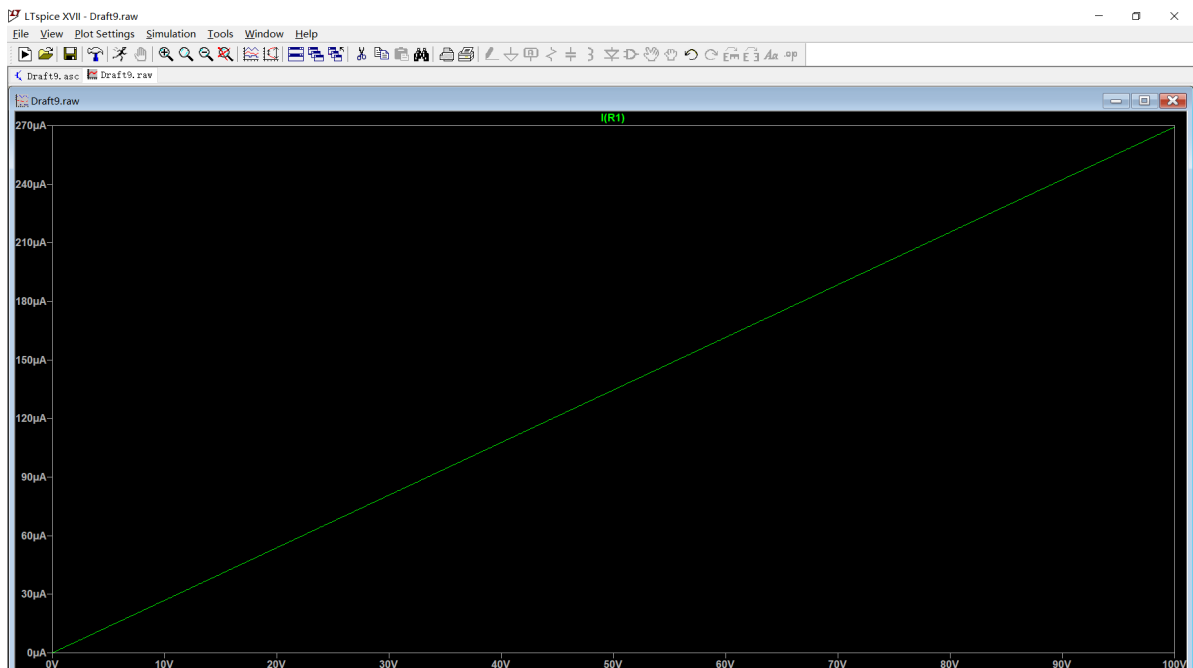
$$\begin{aligned} A_v &= \frac{R_L R_{out} I_0}{V_S (R_{out} + R_L)} \\ &= \frac{R_L (R_E - g_m r_{be} r_{ce})}{(R_S + r_{be} + R_E + g_m R_E r_{be}) r_{ce} + (R_S + r_{be}) R_E + (R_S + r_{be} + R_E) R_L} \end{aligned} \quad (4)$$

搭建如下仿真电路：



取 $r_{be} = 10k\Omega$, $r_{ce} = 100k\Omega$, $g_m = 40mS$, $R_E = 1k\Omega$, $R_S = 100\Omega$, $R_L = 10k\Omega$, 下面分别验证输入电阻、输出电阻、等效诺顿电流源以及电压放大倍数。

首先加压求流，测量输入电阻，得到如下仿真图像：

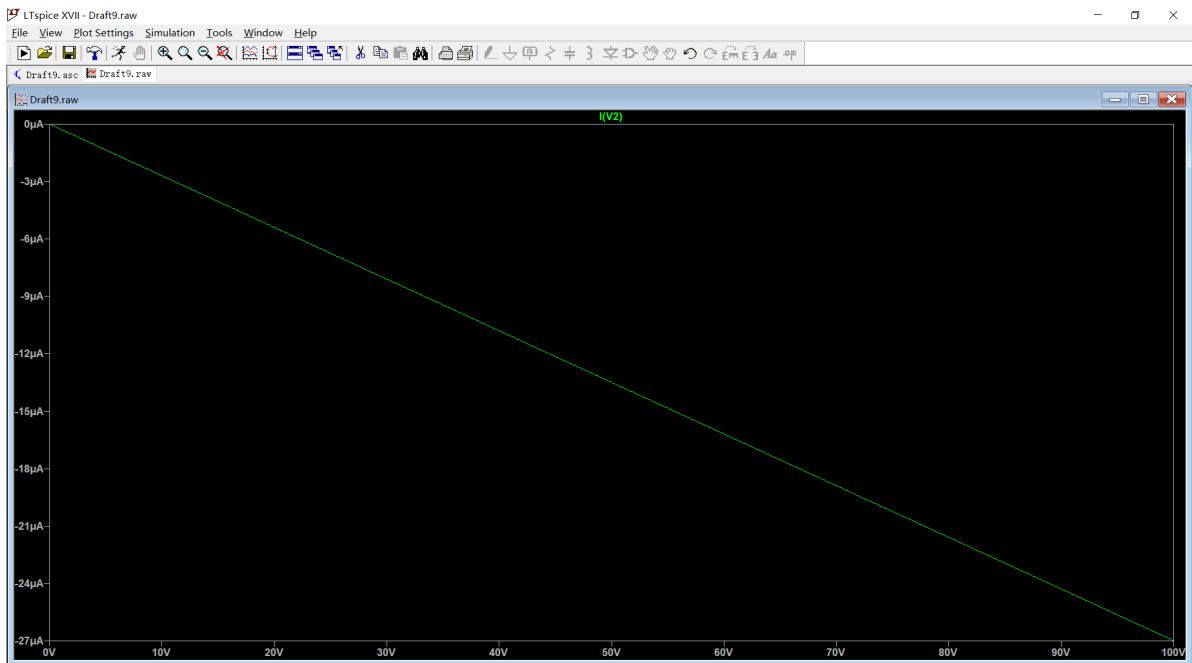


可以得到输入电阻实际为 $R_{in} \approx \frac{100V}{270\mu A} \approx 370.37k\Omega$ ，而理论值为

$$R_{in} = 10k\Omega + 1k\Omega + 40mS \cdot 10k\Omega \cdot 1k\Omega - \frac{(40mS \cdot 10k\Omega \cdot 10k\Omega + 40mS \cdot 10k\Omega \cdot 1k\Omega) \cdot 1k\Omega}{100k\Omega + 1k\Omega + 10k\Omega} \approx 371.36k\Omega$$

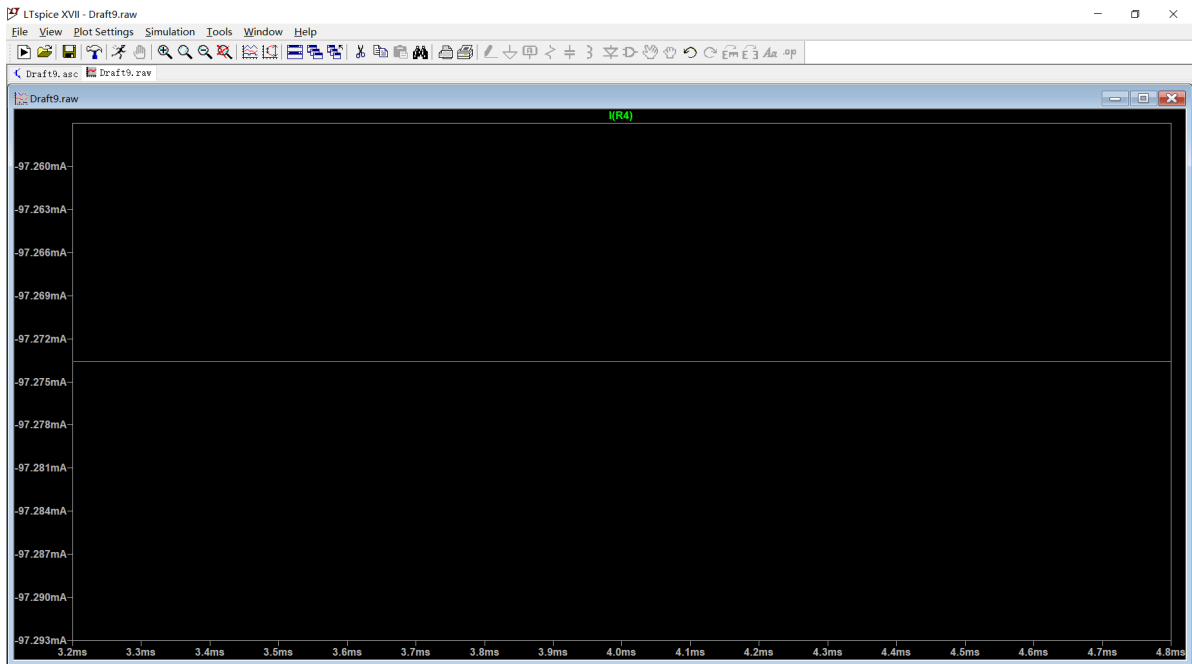
，可见理论值与实际值基本一致。

再将内部电压源置零，加压求流，测量输出电阻，得到仿真图像如下：



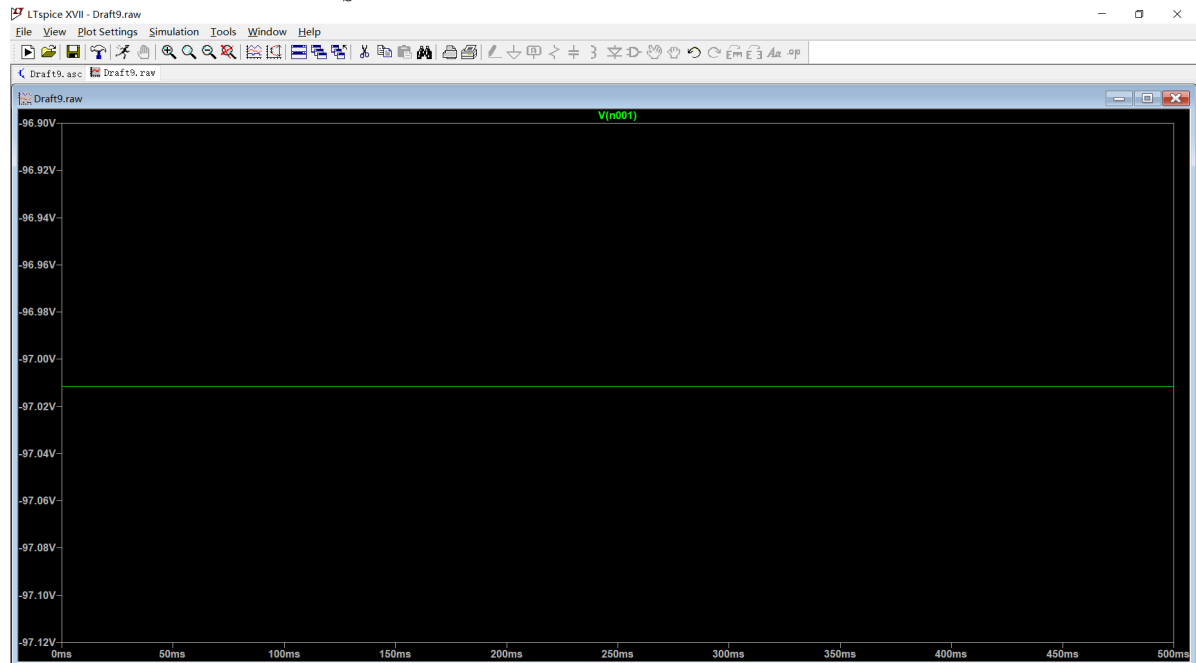
可以计算得到输出电阻为 $R_{out} \approx \frac{100V}{27\mu A} \approx 3.704M\Omega$ ，而理论值为 $R_{out} = (1 + \frac{40mS \cdot 1k\Omega \cdot 10k\Omega}{100\Omega + 10k\Omega + 1k\Omega})100k\Omega + (1 - \frac{1k\Omega}{100\Omega + 10k\Omega + 1k\Omega})1k\Omega \approx 3.7045M\Omega$ ，可见理论与仿真结果也一致。

下面再测量等效诺顿电流，不妨取 $V_S = 100V$ ，测量得到下图：



可看出短路电流 $I_0 \approx -97.27mA$ ，而理论值为 $I_0 = \frac{100V}{100k\Omega} - \frac{100V \cdot (1 + \frac{1k\Omega}{100k\Omega})(10k\Omega + 100\Omega + 40mS \cdot 10k\Omega \cdot 100k\Omega)}{(100k\Omega + 10k\Omega + 100\Omega + 40mS \cdot 10k\Omega \cdot 100k\Omega)1k\Omega + (10k\Omega + 100\Omega)100k\Omega} \approx -97.27mA$ ，理论与仿真结果一致。

最后验证电压放大倍数，设 $V_S = 10V$ ，得到输出电压为：



故而电压放大倍数为 $A_v \approx 9.701$ ，而理论放大倍数为

$$A_v = \frac{10k\Omega(1k\Omega - 40mS \cdot 10k\Omega \cdot 100k\Omega)}{(100\Omega + 10k\Omega + 1k\Omega + 40mS \cdot 1k\Omega \cdot 10k\Omega)100k\Omega + (100\Omega + 10k\Omega)1k\Omega + (100\Omega + 10k\Omega + 1k\Omega)10k\Omega} \approx -9.701$$
，理论结果与仿真一致。