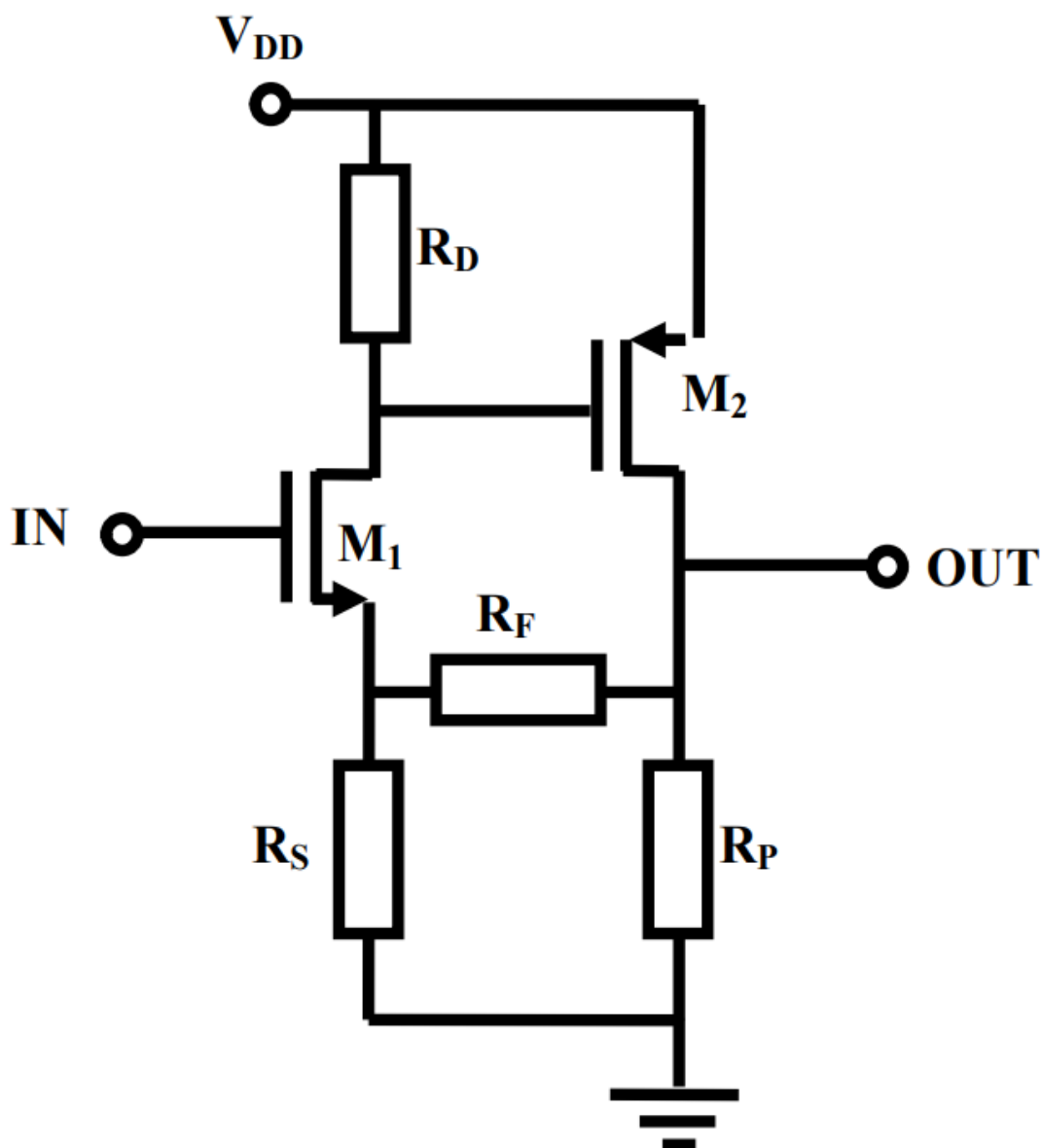


负反馈仿真

无04 2019012137 张鸿琳

对下面电路进行分析、仿真：

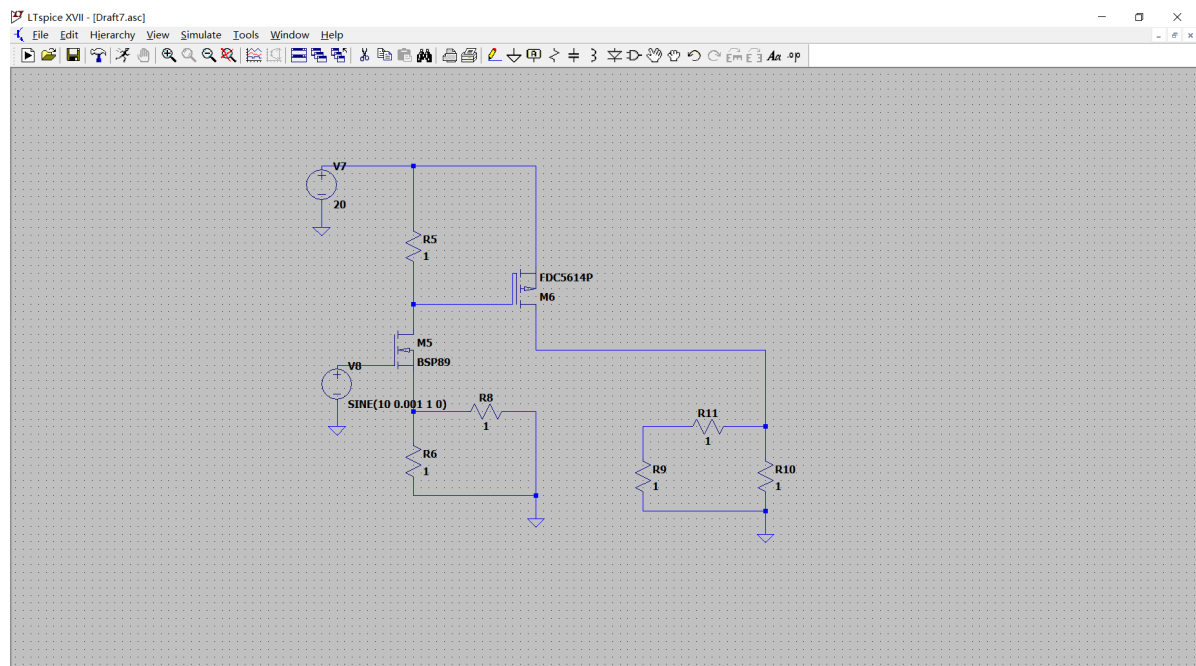


该电路的理论分析已经在习题中完成，可以得到该电路对应的开环放大器的输入电阻为 $r_{in} = \infty$ ，输出电阻为 $r_{out} = (R_S + R_F) // R_P$ ，电压增益为 $A_{v0} = \frac{g_{m1}g_{m2}R_D(R_P // (R_S + R_F))}{1 + g_{m1}(R_S // R_F)}$ 。

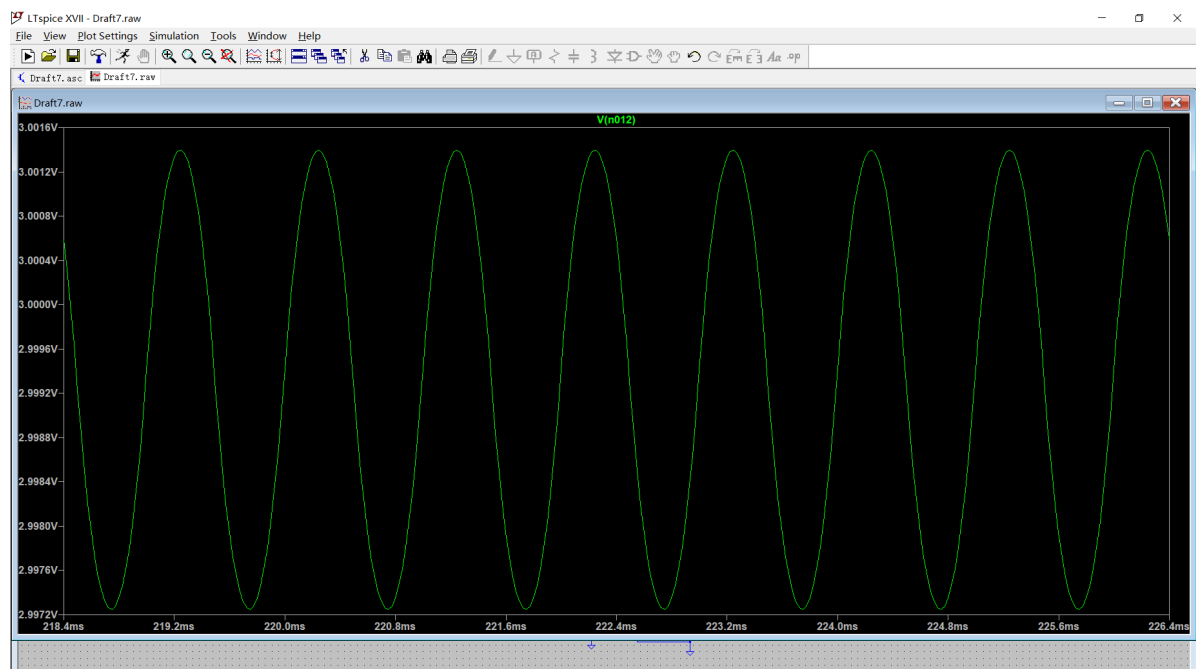
闭环放大器的输入电阻为 ∞ ，输出电导为 $g_{out} = g + \frac{gg_{m2}(1 - g_{m1}R_1)R_SR_D}{R_1 + R_D + (1 - g_{m1}R_1)R_S} + \frac{1}{R_P} + \frac{1}{R_2}$ ，其中 $g = \frac{R_1 + R_D + (1 - g_{m1}R_1)R_S}{(R_1 + R_D)(R_S + R_F) + (1 - g_{m1}R_1)R_SR_F}$ ， R_1 和 R_2 分别为两个MOSFET的等效内阻，而电压增益为 $A_f = \frac{A_{v0}}{1 + A_{v0}F_v}$ ，其中 $F_v = \frac{R_S}{R_F + R_S}$ 。

其中 g_{m1} 和 g_{m2} 分别为两个MOS的处于恒流区时的跨导增益，有 $g_m = \frac{2I_{D0}}{V_{od}}$ ，为了验证理论和实际是否相符，需要设计外围电路，取NMOS参数 $V_{TH} \approx 1.6V$ ，PMOS参数 $V_{TH} \approx 1.9V$ 。

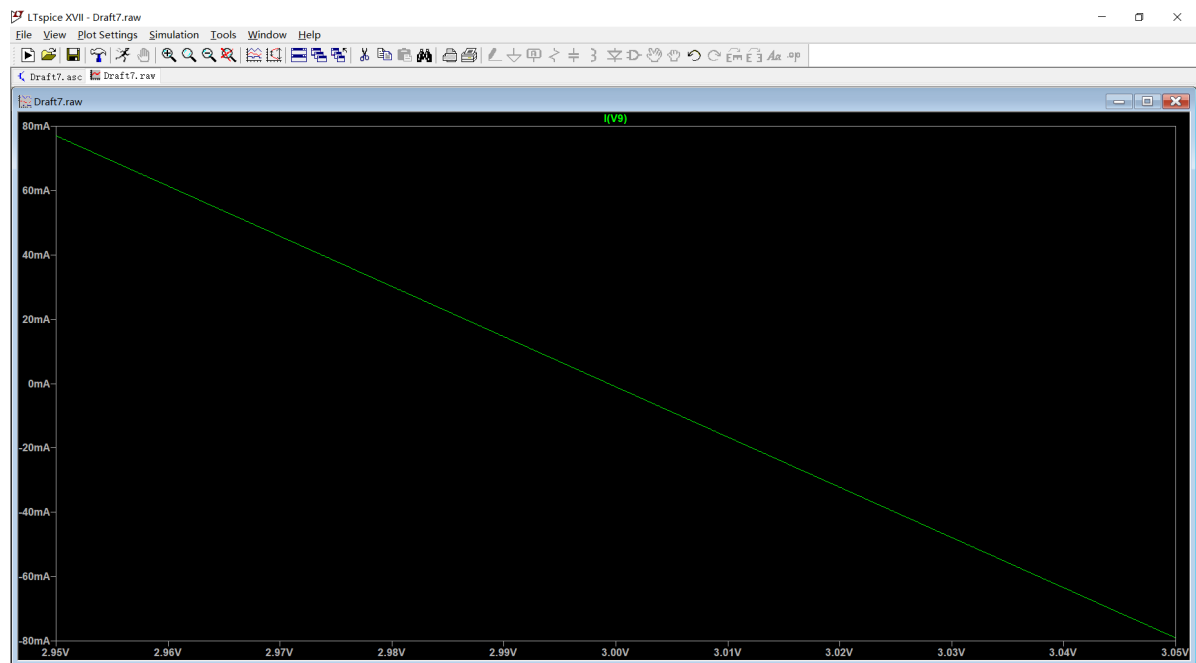
首先仿真开环放大器，采用如下仿真电路：



令 $V_{IN0} = 10V$ 为输入电压的直流偏置，取 $R_D = R_F = R_S = R_P = 1\Omega$ ，再取 $V_{DD} = 20V$ ，经仿真测试，此时两个MOS均已进入恒流区。当输入交流信号的频率为 $1kHz$ ，振幅为 $1mV$ ，可以得到输出电压如下：

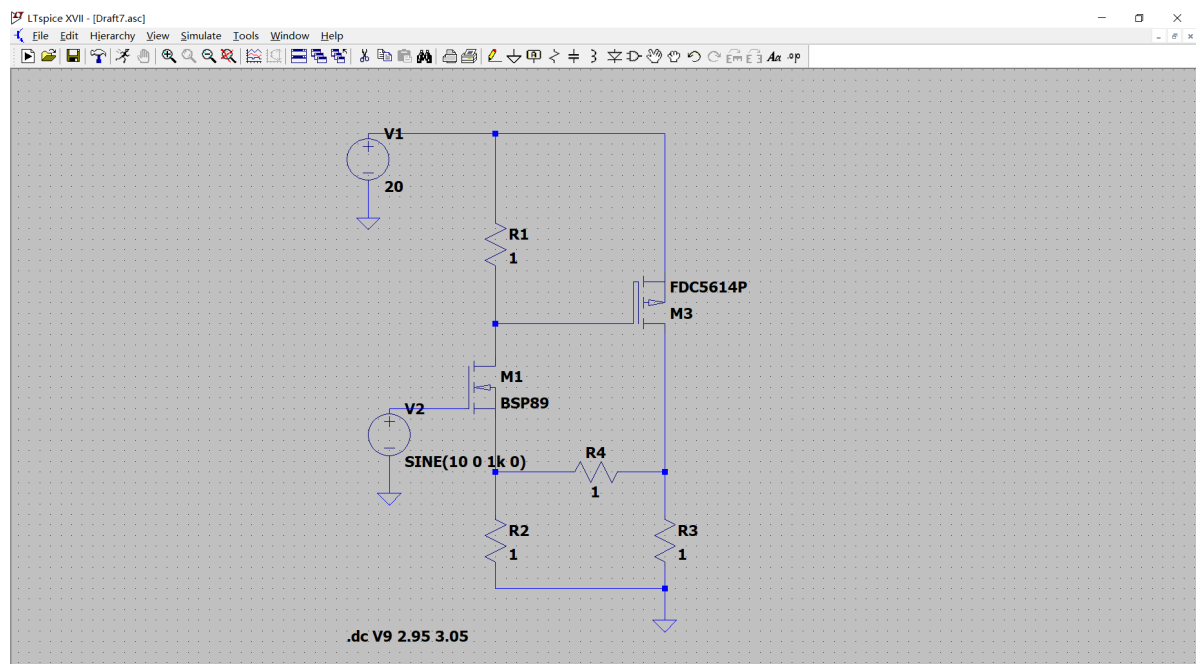


电压增益为 $A_v = \frac{1.4m+2.8m}{2m} = 2.1$ ，而根据理论计算可知理论增益为 $A_{v0} \approx \frac{0.80285 \times 9.83 \times 2}{3 \times (1 + 0.80285 \times 0.5)} \approx 3.75$ ，理论与实际略有差异，可能与寄生电容，以及MOSFET等效内阻有关。而开环放大器的输入电阻经测试几乎为无穷大，而输出电阻经仿真得到下图：

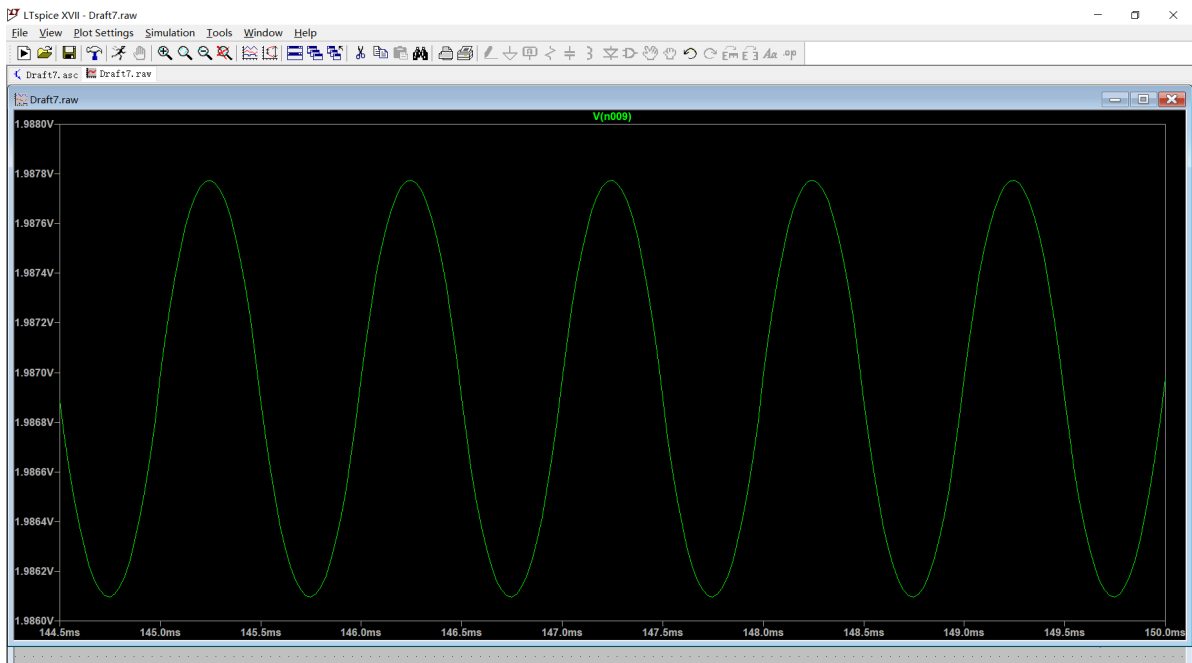


输出电阻为 $r_{out} \approx \frac{160m}{0.1} = 1.6\Omega$ ，而理论值为 $r_{out} = 0.667\Omega$ ，二者比较接近，但是还存在一定差距，可能与MOSFET的内阻相关。

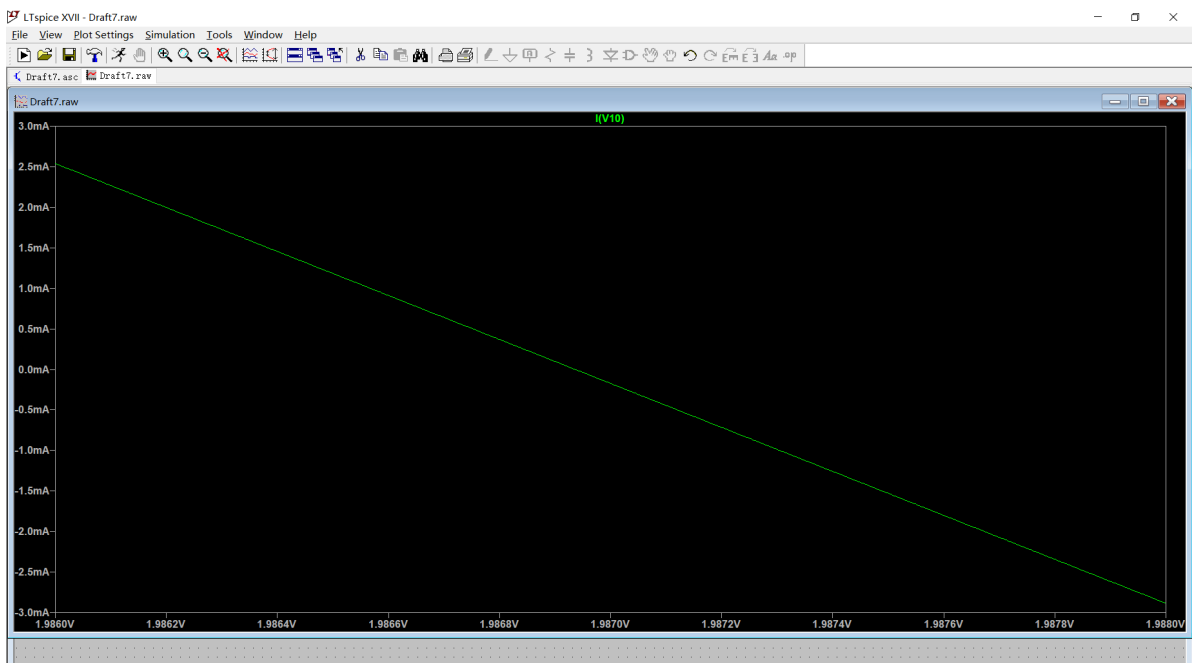
之后分析闭环放大器。采用如下仿真电路：



外围电阻以及电压采用与上面一致的参数。首先测量电压增益，得到下图：



电压增益为 $A_v \approx \frac{1.9878-1.9861}{1m} = 1.7$ ，而理论增益为 $A_f = \frac{A_{v0}}{1+A_{v0}F_v} \approx \frac{2.4498}{1+2.4498 \times 0.5} \approx 1.1$ ，理论与仿真略有差异，也可能与MOSFET参数不太准确以及存在等效电阻和寄生电容有关。输出电阻易得为无穷大，而输出电阻，经测试，得到下图：



可计算得到输出电阻为 $r_{out} = \frac{0.002}{2.5m+3m} \approx 0.364\Omega$ ，而理论值有 $r_{out} = \frac{1}{g_{out}} \approx \frac{1}{1/2+1} = 0.667\Omega$ ，二者也略有差异。

本次仿真感觉整体效果不是很理想，各处数据都有一定误差，主要原因可能是实际MOS的非理想特性造成，同时理论上的一些近似可能是不可取的，也表明了自身对微小信号放大器电路理解不深。