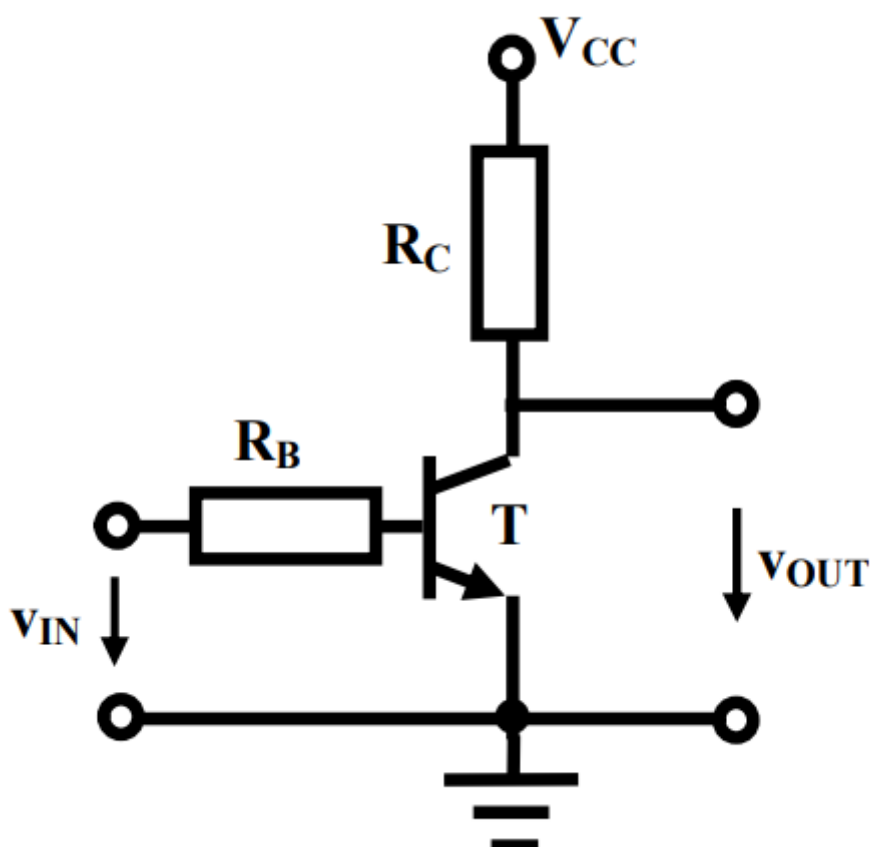


反相器仿真

无04 2019012137 张鸿琳

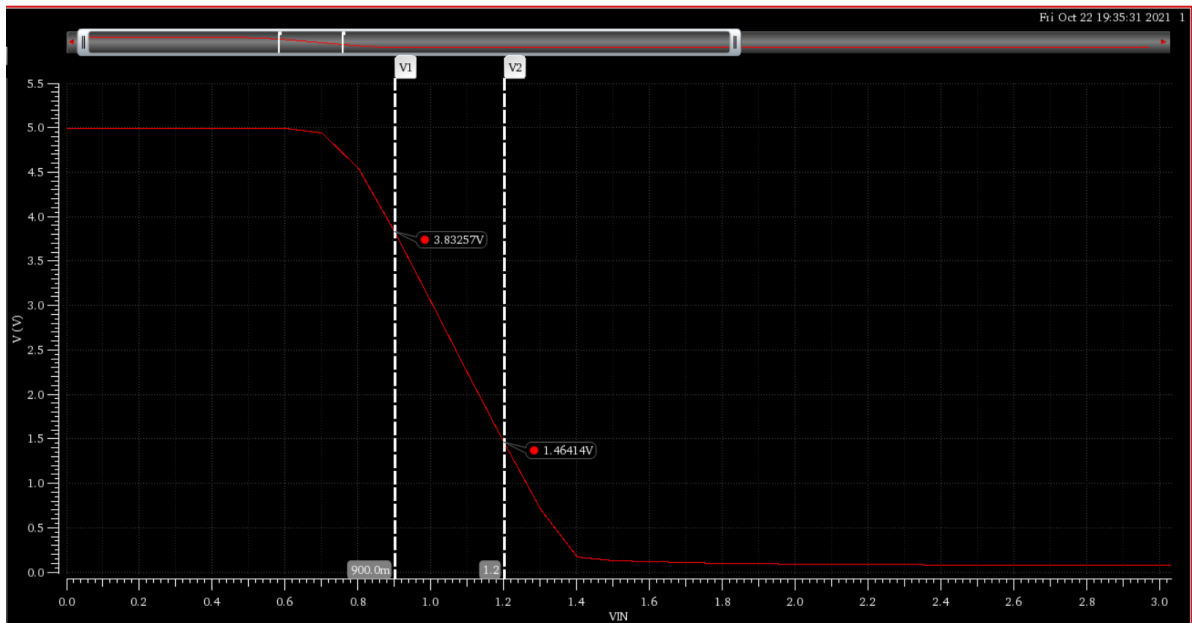
电路结构1

首先设计如下的结构：



当 v_{IN} 较小时， V_{BE} 较小，此时BJT处于截止区，当 v_{IN} 增大到 V_{on} 时，BJT的BE结正偏导通，而此时BC结也为正偏，处于饱和区，当 v_{IN} 进一步增大，BJT即进入恒流区，此时 $i_C = \beta i_B$ ，其中 $i_B \approx \frac{v_{IN} - V_{on}}{R_B}$ ，那么 $v_{OUT} = V_{CC} - i_C R_C = V_{cc} - \beta R_C \frac{v_{IN} - V_{on}}{R_B}$ ，那么曲线斜率为 $-\beta \frac{R_C}{R_B}$ ，与 β 值有关。

在仿真软件中取一个 $\beta = 12.54$ 的BJT（通过查阅model文件得到其 β 值，并通过电流关系进行验证），那么如果希望曲线斜率为 -10 ，只需 $\frac{R_C}{R_B} = \frac{10}{12.54} \approx 0.7974$ ，不妨取 $R_C = 7.974k\Omega$ ， $R_B = 10k\Omega$ ， $V_{CC} = 5V$ ，仿真得到转移特性曲线为：

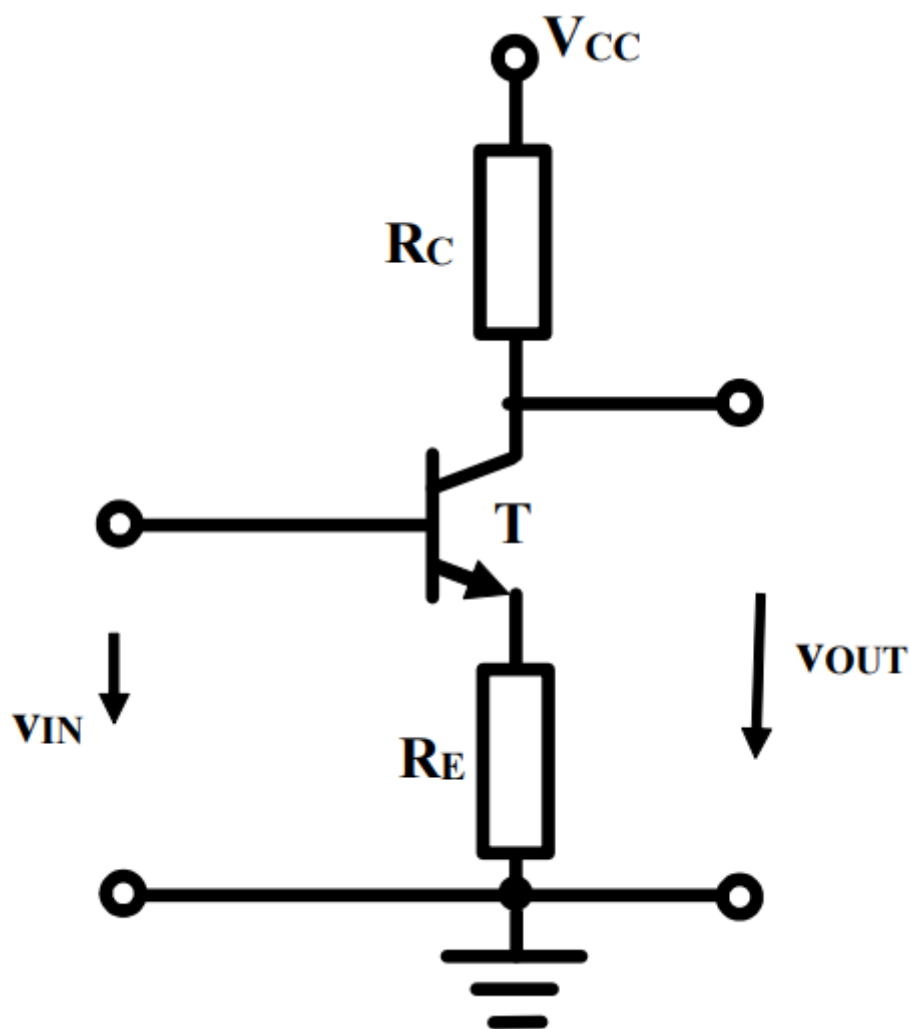


可以计算得到曲线斜率为 $\frac{1.46414-3.83257}{0.3} \approx -7.8948$ ，也就是说按照上面的设计没有达到 -10 ，不妨增大 R_C 的值，测试得到当 $R_C \approx 10.25k\Omega$ ， $R_B = 10k\Omega$ 时，斜率约为 -10 。

下面利用分段折线法，分析其特性曲线，当 v_{IN} 较小时，由于处于截止区， $v_{OUT} = 5V$ ，直到 $v_{IN} > V_{on}$ 时，BJT 进入恒流区，即第一个分界点约为 $0.7V$ ，与上图基本相符，此后 $v_{OUT} = V_{CC} - i_C R_C = V_{cc} - \beta R_C \frac{v_{IN} - V_{on}}{R_B}$ ，也就是基本为负斜率的直线，此后当 $v_{IN} > R_B \frac{V_{CC} - V_{CE,sat}}{\beta R_C} + V_{on}$ ，也就是说上图中第二个分界点约为 $1.2V$ ，与上图也基本相符，BJT 进入饱和区，BJT 两端电压基本保持恒定为 $V_{CE,sat}$ ，那么 $v_{OUT} = V_{CE,sat}$ ，基本保持恒定，观察上面的仿真曲线，基本与分析一致。

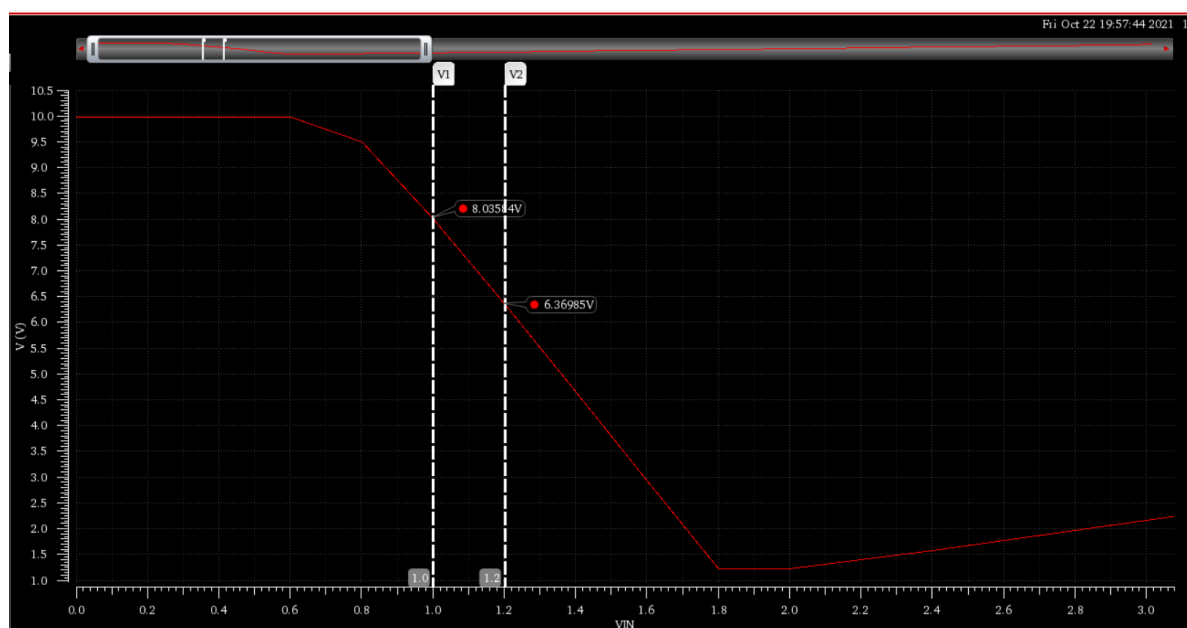
电路结构2

当采用如下结构时：



当BJT处于恒流区时, $i_C = \beta i_B$, 而 $V_{BE} = V_{IN} - i_C R_E \approx V_{on}$, 故而可以得到 $i_C \approx \frac{V_{IN} - V_{on}}{R_E}$, 输出电压为 $v_{OUT} = V_{CC} - i_C R_C = V_{CC} - R_C \frac{V_{IN} - V_{on}}{R_E}$, 故而曲线斜率为 $-\frac{R_C}{R_E}$, 与 β 值无关。

取仿真软件中任意 β 的一个BJT, 取 $R_C = 10k\Omega$, $R_E = 1k\Omega$, $V_{CC} = 10V$, 仿真得到转移特性曲线为:



可以得到曲线斜率为 $\frac{6.36985 - 8.03584}{0.2} \approx -8.32995$, 与理论还有所差距, 经测试取 $R_C = 12k\Omega$ 时, 斜率基本为 -10 。

下面利用分段折线法分析，首先当 $v_{IN} < V_{on}$ 时，BJT处于截止区，第一个分界点为 $v_{IN} = V_{on} = 0.7V$ ，与仿真结果基本相符，相当于开路， $v_{OUT} = V_{CC} = 10V$ ，此后当 $v_{IN} > V_{on}$ 时，BJT进入横流区，此时由上面的分析有， $v_{OUT} = V_{CC} - i_C R_C = V_{CC} - R_C \frac{v_{IN} - V_{on}}{R_E}$ ，为负斜率的直线，当 $v_{IN} > \frac{R_E(V_{CC} - V_{CE,sat})}{R_C + R_E} + V_{on}$ 时，BJT进入饱和区，也就说第二个分界点为 $v_{IN} \approx 1.59V$ ，与仿真结果基本相符，此后BJT两端电压基本恒为 $V_{CE,sat}$ ， $v_{OUT} = i_C R_C + V_{CE,sat} = v_{IN} - V_{on} + V_{CE,sat}$ ，即曲线基本与 v_{IN} 成斜率为1的线性关系，而从下图也可看出，该关系成立。

