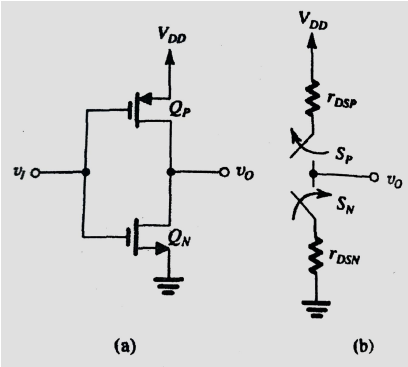
四：CMOS反相器的电路结构和静态工作

Monday, October 21, 2019 1:00 AM

1. 电路结构：



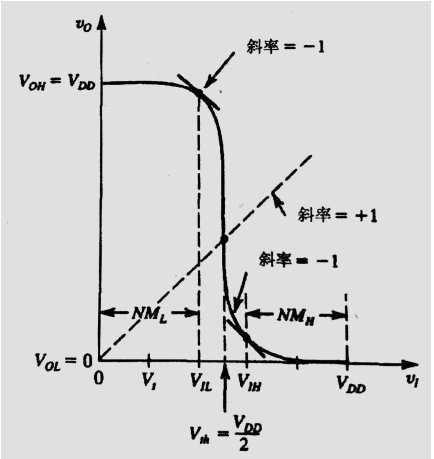
   a. 反相器由一对互补MOSFET组成，它由输入电压v_i控制状态切换；
   b. 图中没有画出，但需要注意每一个器件的源极都和衬底相连，以消除衬底效应；
   c. 通常门限电压和在幅度上是一致的，即$V_{tn} = |V_{tp}| = V_t$，范围是$0.2V$到$1V$，现代小尺寸工艺(沟道长度$0.5\mu m$到$0.1\mu m$或更小)制成的晶体管可以达到这个范围的低端；
   d. 反相器的工作原理可以用一对工作在互补情况下的开关表示，开关是用一个有限的导通电阻来模拟的，电阻值是晶体管在$|V_{DS}| = 0$附近的漏源之间的电阻；

$$r_{DSN} = \frac{1}{k_n'\left(\frac{W}{L}\right)_n (V_{DD} - V_t)}$$

$$r_{DSP} = \frac{1}{\mathrm{k_p'}\left(\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{L}}\right)_\mathrm{p} (\mathrm{V_{DD}} - \mathrm{V_t})}$$

2. 静态工作：

   Q_N和Q_P匹配时$CMOS$反向器的电压转移特性曲线



   a. 当$v_I = 0$时，$v_O = V_{OH} = V_{DD}$，输出节点通过上拉晶体管Q_P的r_{DSP}连接到V_{DD}；
   b. 当$v_I = V_{DD}$时，$v_O = V_{OL} = 0$，输出节点通过下拉晶体管Q_N的电阻r_{DSN}连接到地；
   c. 静态时，V_{DD}和地之间没有直通的路径，静态电流和静态功耗都等于0(漏电流

c. 静态的，V_{DD}和地之间没有直通的路径，静态电流和静态功耗都等于0(漏电流一般可以忽略，尤其是对大特征尺寸器件)；

d. CMOS与其他MOS逻辑不同的特性是V_{OL}和V_{OH}与器件尺寸无关，几乎等于0和V_{DD}；

e. CMOS反相器的开关门限V_{th}(或V_M)为：

$$V_{th}=\frac{V_{DD}-|V_{tp}|+\sqrt{\frac{k_n}{k_p}}V_{tn}}{1+\sqrt{\frac{k_n}{k_p}}}$$

其中，$k_n=k_n'\left(\frac{W}{L}\right)_n$，$k_p=k_p'\left(\frac{W}{L}\right)_p$；

i. 通过恰当地改变晶体管的尺寸，CMOS反相器可以被制成在逻辑摆幅(0 V_{DD})的中点(即$\frac{V_{DD}}{2}$)进行开关动作；

ii. 对于典型的情况$V_{tn}=|V_{tp}|$，若$V_{th}=\frac{V_{DD}}{2}$，则$k_n=k_p$，即：

$$k_n'\left(\frac{W}{L}\right)_n=k_p'\left(\frac{W}{L}\right)_p$$

iii. 匹配：当器件被设计成有相同的跨导工艺参数时就可得到一个对称的传输特性曲线；

iv. 因为μ_n是μ_p的2到4倍，因此通过令$\left(\frac{W}{L}\right)_p$是$\left(\frac{W}{L}\right)_n$的2倍到4倍(即$\frac{\mu_n}{\mu_p}$倍)可以使晶体管匹配：

$$\left(\frac{W}{L}\right)_p=\frac{\mu_n}{\mu_p}\left(\frac{W}{L}\right)_n$$

v. 通常两个器件有相同的沟道长度L，它是给定工艺所允许的最小尺寸。NMOS晶体管的最小宽度W通常是沟道长度L的1.5到2倍，而NMOS晶体管的最小宽度W是沟道长度L的2到3倍；

vi. 如果反相器需要驱动相对较大的电容负载，则要求晶体管比较宽；

vii. 为了节省芯片面积，大多数反相器都具有最小尺寸。把最小尺寸反相器的NMOS晶体管的$\left(\frac{W}{L}\right)_n$记作$n$，把PMOS晶体管的$\left(\frac{W}{L}\right)_p$记作$p$；

viii. 反向器的面积：$W_nL_n+W_pL_p=(W_n+W_p)L$；

1) 最小尺寸反向器的面积：$(n+p)L^2$；

2) 面积的近似指数(面积指数)：$(n+p)$；

ix. Q_N和Q_P跨导工艺参数匹配能够保证门的门限放在逻辑摆幅的中心；

1) 当反相器的门限$V_{th}=\frac{V_{DD}}{2}$时，噪声容限NM_H和NM_L相同，并且它们的值时最大的：

$$\mathrm{NM_H}=\mathrm{NM_L}=\frac{3}{8}\left(\mathrm{V_{DD}}+\frac{2}{3}\mathrm{V_{th}}\right)$$

2) 反相器的直流输入电流实际上等于0，噪声容限不依赖于门的扇出数；

x. 匹配也能够保证反相器在两个方向(上拉和下拉)都具有相同的电流驱动能力；

xi. 匹配也能使$r_{DSN}=r_{DSP}$，因此可以使一个由匹配晶体管组成的反相器具有相同的传播延迟t_{PLH}和t_{PHL}；

xii. 如果$k_n>k_p$，则V_{th}接近于0。如果$k_n<k_p$，则V_{th}接近于V_{DD}；

f. 转换区的斜率虽然很大，但其是个有限制，为：

$$-(g_{mN}+g_{mP})(\frac{r_{oN}\cdot r_{oP}}{r_{oN}+r_{oP}})$$