



به نام خدا
دانشگاه تهران
پردیس دانشکده‌های فنی
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر



درس الکترونیک دیجیتال

نیمسال اول (01-02)

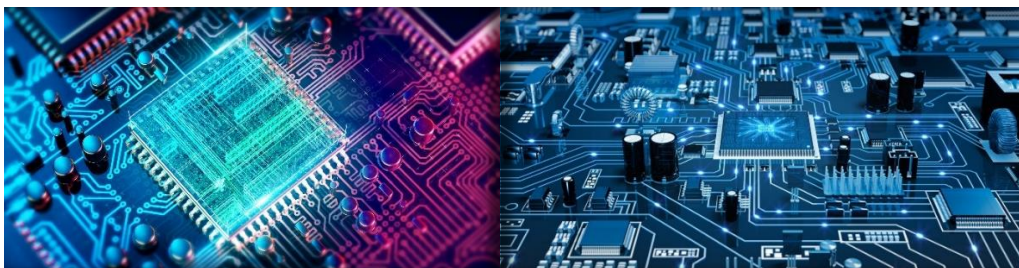
استاد درس: دکتر شقایق وحدت

تمرین کامپیوتری اول :

شبیه سازی وارونگر (Inverter)

محمد مهدی عبدالحسینی

810 198 434



Digital Electronic Circuits

فهرست مطالب

قسمت اول : بررسی مشخصه انتقالی یک وارونگر.....1

1..... الف) مشخصه ورودی به خروجی (VTC) :

2..... ب) مقادیر V_{OH} , V_{IL} , V_M , V_{OL} , V_{IH} :

3..... ج) شبیه سازی Transient :

قسمت دوم : استخراج پارامترهای مدل از شبیه سازی.....5

5..... الف) مشخصه I-V ترانزیستور NMOS :

6..... ب) استخراج k_p , λ , V_{T0} :

6..... ج) مدل جدید :

قسمت اول : بررسی مشخصه انتقالی یک وارونگر

الف) مشخصه ورودی به خروجی (VTC) :

ساختار وارونگر را بصورت زیر شبیه سازی میکنیم:

```
*
*      ==> LIBRARY
*
*=====
.lib      '45nm_PTM.txt' 45nm

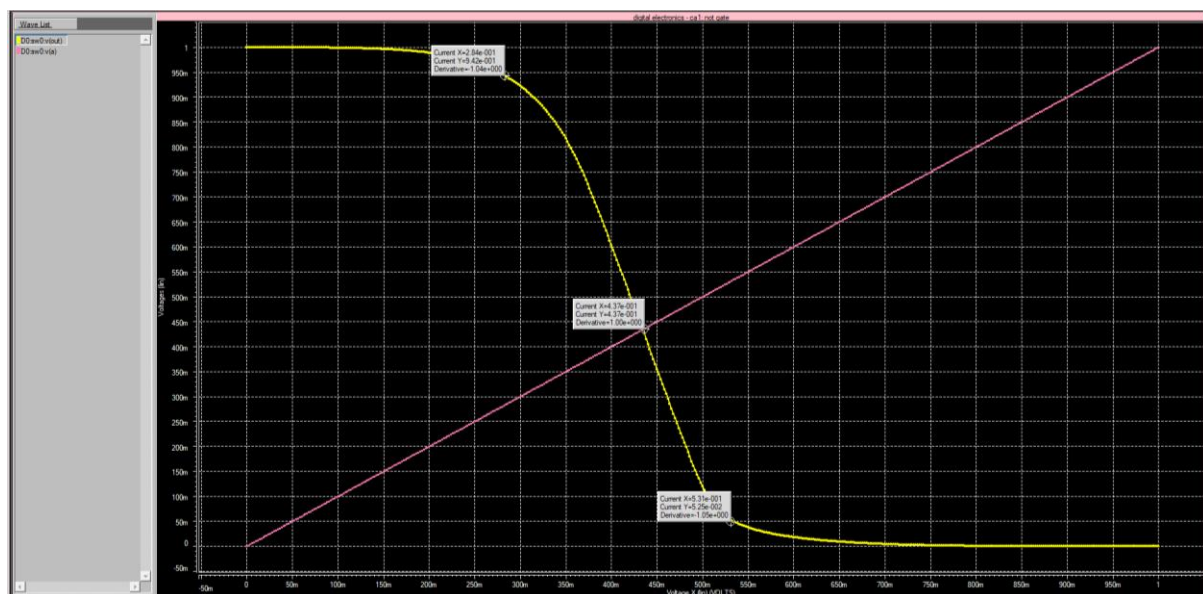
*
*      ==> PARAMETERS
*
*=====
.param      Wp = 90n
.param      Wn = 90n
.param      Beta = 10

*
*      ==> COMPONENTS
*
*=====

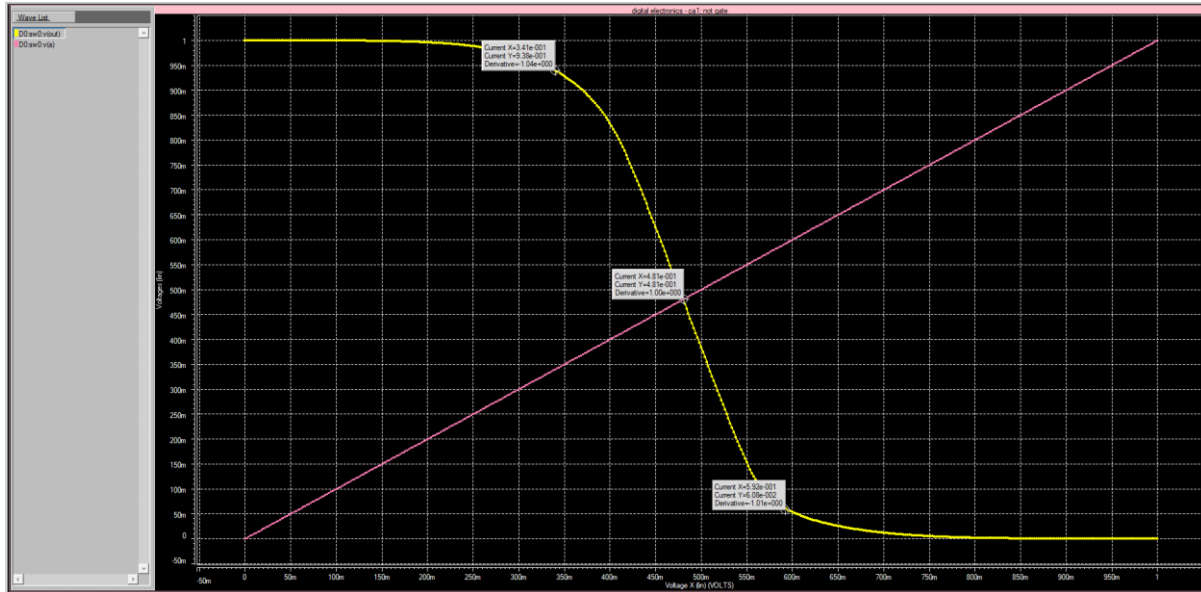
Vvdd      Vdd      Gnd      dc      1v
VA        A        Gnd
Mpmos     Out      A        Vdd      Vdd      pmos      W = 'Wp*Beta'      L = 45n
Mnmos     Out      A        Gnd      Gnd      nmos      W = Wn      L = 45n

*
*      ==> SIMULATIONS
*
*=====
.option      post = 2
.dc      VA      0v      1v      0.001v
.end
```

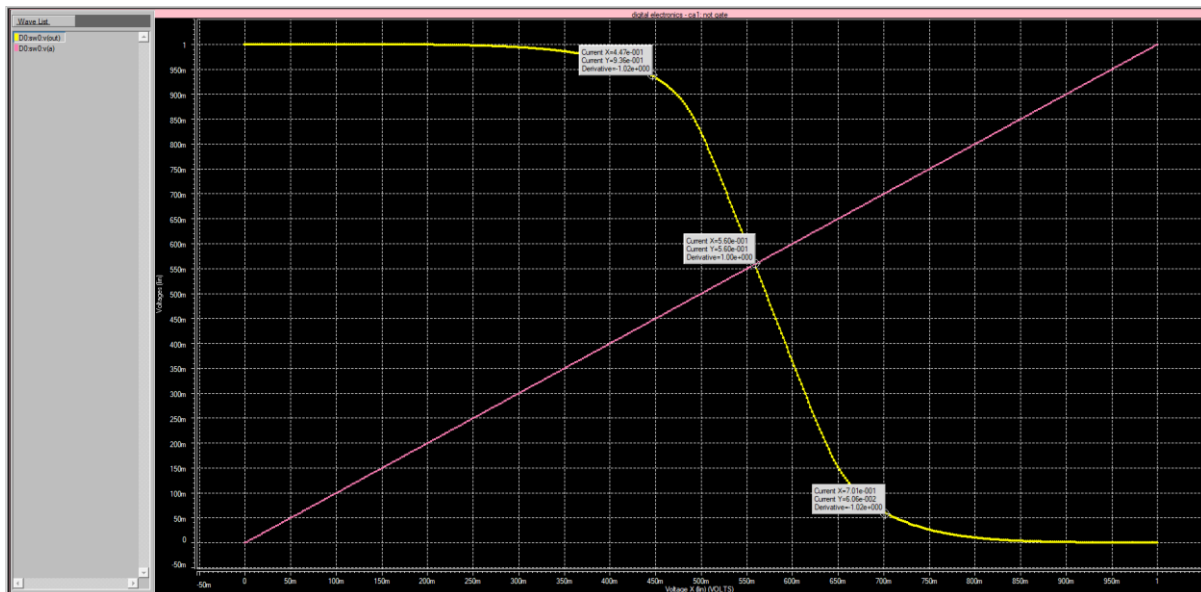
مشخصه خروجی به ورودی (VTC) به ازای مقادیر مختلف بتا بصورت زیر خواهد بود.



شکل 1) $\text{Beta} = 0.8$



شکل (2) $\beta = 2$



شکل (3) $\beta = 10$

ب) مقادیر V_{OH} , V_{IL} , V_M , V_{OL} , V_{IH} :

Beta	V_{OH}	V_{IL}	V_M	V_{OL}	V_{IH}
0.8	0.942	0.284	0.437	0.0525	0.531
2	0.938	0.341	0.481	0.0608	0.592
10	0.936	0.447	0.560	0.0606	0.701

ج) شبیه‌سازی Transient :

```

*oooooooooooooooooooooooooooooooooooo*
*      ==> LIBRARY                      *
*oooooooooooooooooooooooooooooooooooo*
.lib          '45nm_PTM.txt' 45nm

*oooooooooooooooooooooooooooooooooooo*
*      ==> PARAMETERS                  *
*oooooooooooooooooooooooooooooooooooo*
.param        Wp = 90n
.param        Wn = 90n
.param        Beta = 2
.param        Cout = 20fF

*oooooooooooooooooooooooooooooooooooo*
*      ==> COMPONENTS                  *
*oooooooooooooooooooooooooooooooooooo*
Vvdd           Vdd      Gnd      dc      1v
VA             A        Gnd      pulse(0 1 0ps 10ps 10ps 20ns 100ns)
Mpmos          Out      A        Vdd      Vdd      pmos      W = 'Wp*Beta'      L = 45n
Mnmos          Out      A        Gnd      Gnd      nmos      W = Wn          L = 45n
Cout           Out      Gnd      Cout

*oooooooooooooooooooooooooooooooooooo*
*      ==> SIMULATIONS                  *
*oooooooooooooooooooooooooooooooooooo*
.option        post = 2
.tran          0.1fs      200ns

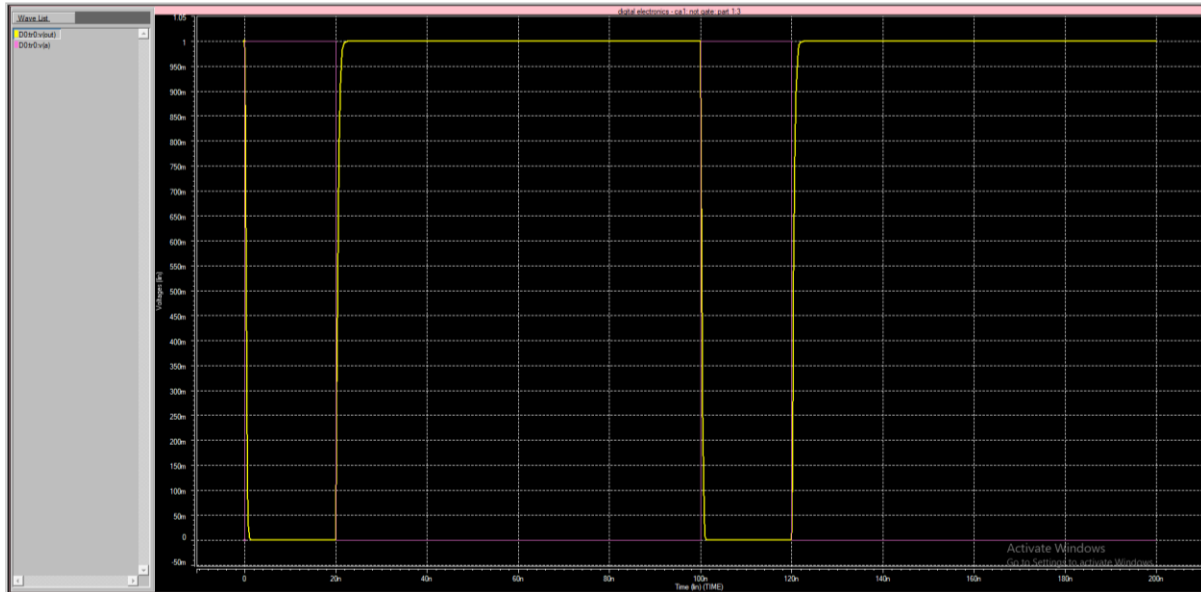
*oooooooooooooooooooooooooooooooooooo*
*      ==> MEASUREMENTS *
*oooooooooooooooooooooooooooooooooooo*
.MEASURE       TRAN      t_rise
+trig          V(Out)    val = '0.1'      rise = 1
+targ          V(Out)    val = '0.9'      rise = 1

.MEASURE       TRAN      t_fall
+trig          V(Out)    val = '0.9'      fall = 1
+targ          V(Out)    val = '0.1'      fall = 1

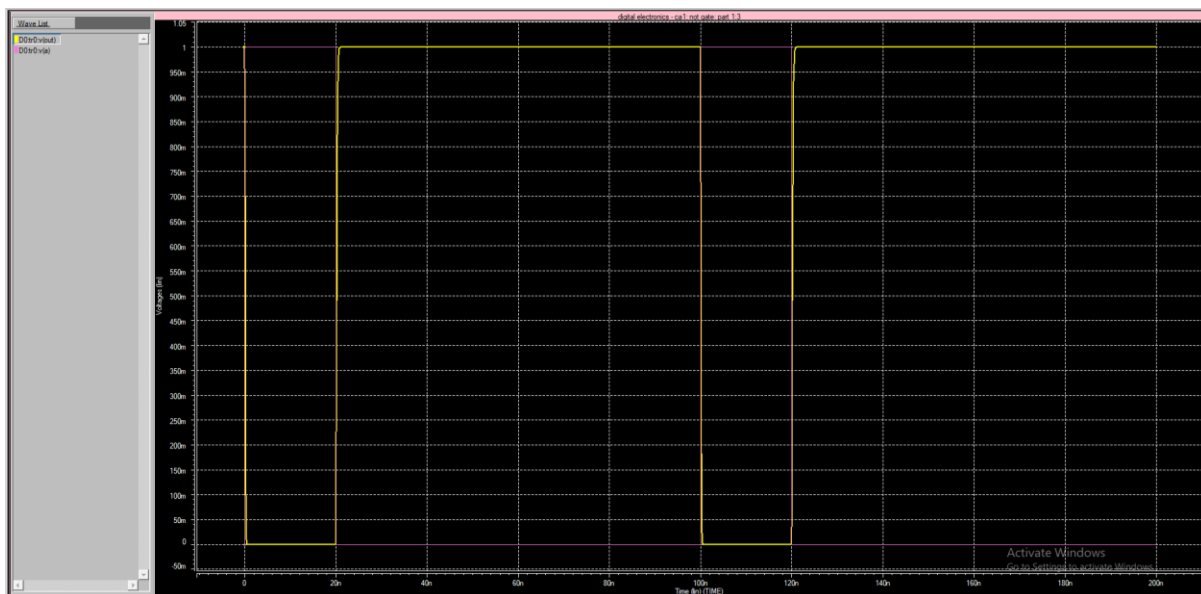
.end

```

با کاهش مقدار خازن، ثابت زمانی (RC) نیز کاهش میابد و سیستم سریع‌تر به حالت ماندگار میرسد. بنابراین انتظار می‌رود t_{rise} و t_{fall} زمانی که خازن کوچکتر است، مقدار کوچکتری داشته باشد.

شکل 4) $c = 50\text{fF}$

$t_{\text{rise}} = 854.5044\text{p}$	$t_{\text{arg}} = 20.9319\text{n}$	$t_{\text{trig}} = 20.0774\text{n}$
$t_{\text{fall}} = 584.9854\text{p}$	$t_{\text{arg}} = 643.7189\text{p}$	$t_{\text{trig}} = 58.7334\text{p}$

شکل 5) $c = 20\text{fF}$

$t_{\text{rise}} = 340.0950\text{p}$	$t_{\text{arg}} = 20.3819\text{n}$	$t_{\text{trig}} = 20.0418\text{n}$
$t_{\text{fall}} = 226.0803\text{p}$	$t_{\text{arg}} = 254.0398\text{p}$	$t_{\text{trig}} = 27.9595\text{p}$

قسمت دوم : استخراج پارامترهای مدل از شبیه سازی

الف) مشخصه I-V ترانزیستور NMOS :

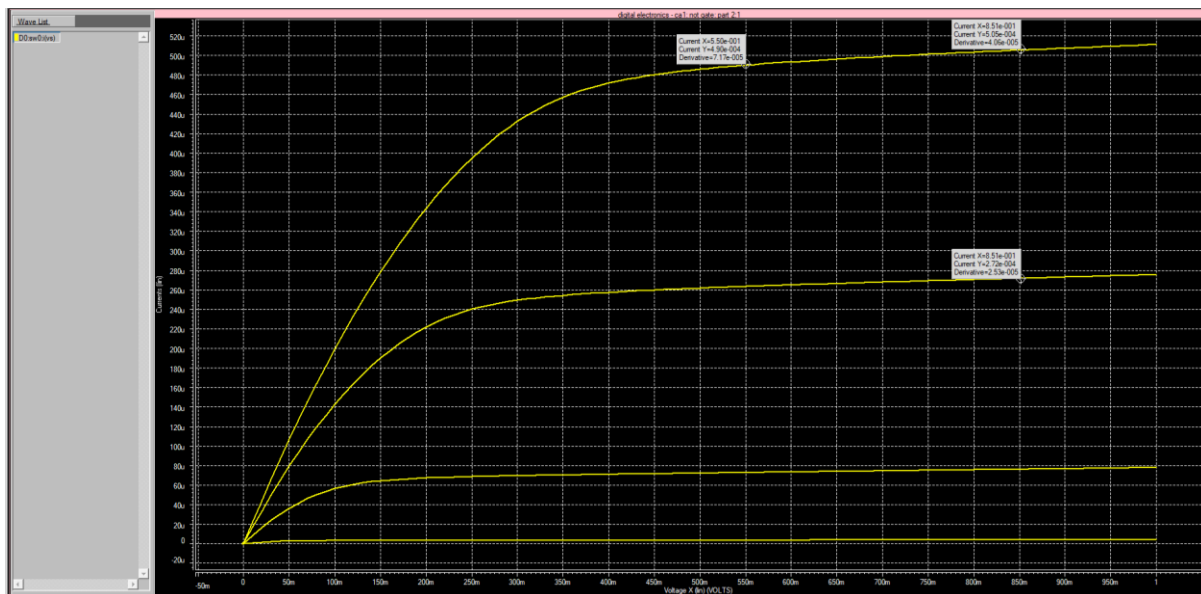
```

*oooooooooooooooooooooooooooooooooooo*
*      ==> LIBRARY                      *
*oooooooooooooooooooooooooooooooooooo*
.lib      '45nm_PTM.txt' 45nm

*oooooooooooooooooooooooooooooooooooo*
*      ==> COMPONENTS                  *
*oooooooooooooooooooooooooooooooooooo*
Vg      Vg      Gnd
Vd      Vd      Gnd
Vs      Vs      Gnd      dc      0v
M1      Vd      Vg      Vs      Vs      nmos      W = 1u      L = 100n

*oooooooooooooooooooooooooooooooooooo*
*      ==> SIMULATIONS                  *
*oooooooooooooooooooooooooooooooooooo*
.option      post = 2
.dc      Vd      0v      1v      0.01v      sweep      Vg      0.4v      1v      0.2v
.end

```



شکل (6) مشخصه I-V ترانزیستور NMOS

ب) استخراج k_p , λ , V_{T0} :

با توجه به نمودار رسم شده در بخش قبل، داریم:

1	$I_{D1}=0.490\text{mA}$	k_p	$W/L=10$	$V_{GS1}=V_{GS2}=1\text{V}$	V_{T0}	λ	$V_{DS1}=0.550\text{V}$
2	$I_{D2}=0.505\text{mA}$	k_p	$W/L=10$	$V_{GS2}=V_{GS1}=1\text{V}$	V_{T0}	λ	$V_{DS2}=V_{DS3}=0.851\text{V}$
3	$I_{D3}=0.272\text{mA}$	k_p	$W/L=10$	$V_{GS3}=0.8\text{V}$	V_{T0}	λ	$V_{DS3}=V_{DS2}=0.851\text{V}$

با استفاده از رابطه زیر و مقادیر نوشته شده در جدول، میتوان با حل سه معادله و سه مجهول، مقادیر خواسته شده را بدست آورد.

$$I_{DA} = \frac{1}{2} k_p \frac{W}{L} (V_{GSA} - V_{T0})^2 (1 + \lambda V_{DSA})$$

k_p	V_{T0}	λ
0.163775 mA/V^2	0.2483939 V	$0.10772766 \text{ V}^{-1}$

ج) مدل جدید :

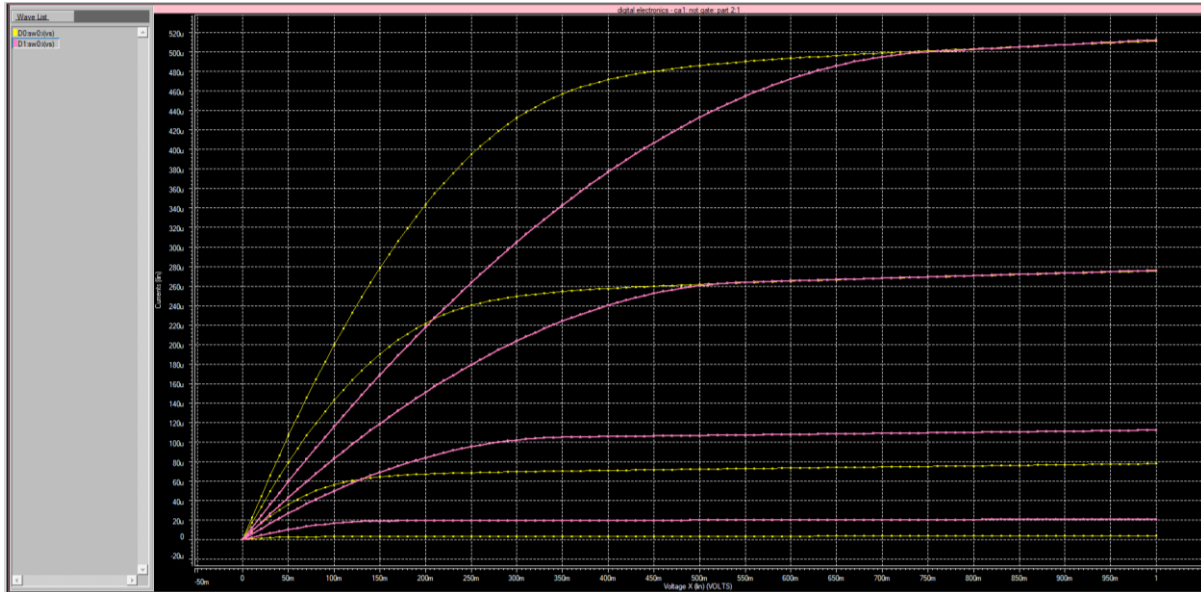
```

*oooooooooooooooooooooooooooooooooooo*
*      ==> MY NMOS MODEL              *
*oooooooooooooooooooooooooooooooooooo*
.model my_Nmos NMOS (    LEVEL = 1
+                               VT0 = 0.2483939
+                               KP  = 0.163775m
+                               LAMBDA = 0.10772766
+                               PHI  = 0.6
+                               )

*oooooooooooooooooooooooooooooooooooo*
*      ==> COMPONENTS                  *
*oooooooooooooooooooooooooooooooooooo*
Vg      Vg      Gnd
Vd      Vd      Gnd
Vs      Vs      Gnd      dc      0v
M1      Vd      Vg      Vs      Vs      my_Nmos      W = 1u      L = 100n

*oooooooooooooooooooooooooooooooooooo*
*      ==> SIMULATIONS                  *
*oooooooooooooooooooooooooooooooooooo*
.option      post = 2
.dc          Vd      0v      1v      0.01v      sweep      Vg      0.4v      1v      0.2v
.end

```

شکل 7) مشخصه I-V ترانزیستور NMOS (نمودار زرد) و مدل جدید (نمودار صورتی)

هنگام استخراج مقادیر در بخش قبل، از رابطه جریان حالت اشباع استفاده کردیم، لذا مدل جدید این حالت را به خوبی شبیه‌سازی میکند، اما در شبیه‌سازی ناحیه خطی خطای زیادی خواهیم داشت.