

Diseño y simulación de transistores MOSFET

Demian Alejandro Lorenzana Gómez Daniel Josué Rodríguez
Agraz Tomás Venegas de la Torre

OBJETIVOS

El alumno se familiarizará con el procedimiento para realizar el barrido de curvas de operación del transistor MOSFET en el software de simulación SPICE, además se le presentará la forma de realizar mediciones básicas sobre curvas de respuesta usando los comandos especializados del simulador.

INTRODUCCIÓN

Se realizará las simulaciones en LTspice del comportamiento de transistores MOSFET ante variaciones en el voltaje de la compuerta y en el voltaje de drain. Se obtendrán sus curvas de corrientes correspondientes y se realizarán cálculos de resistencia para distintos puntos.

DESARROLLO

Primero se definieron los parámetros del circuito del transistor N -MOS, y las características de construcción de este, como se muestra en la figura 1.

V_{GS}	1V
V_{Sat}	0.7V
l	$0.6\mu m$
W	$6\mu m$

(a) Parámetros para la simulación del transistor N – MOS para $V_{GS} = 1V$.

V_{GS}	-1V
V_{Sat}	0.9V
l	$0.6\mu m$
W	$6\mu m$

(c) Parámetros para la simulación del transistor P – MOS para $V_{GS} = 1V$.

V_{GS}	1.5V
V_{Sat}	0.7V
l	$0.6\mu m$
W	$6\mu m$

(b) Parámetros para la simulación del transistor N – MOS para $V_{GS} = 1.5V$.

V_{GS}	-1.5V
V_{Sat}	0.9V
l	$0.6\mu m$
W	$6\mu m$

(d) Parámetros para la simulación del transistor P – MOS para $V_{GS} = 1.5V$.

Fig. 1: Características de los circuitos simulados del transistor MOS-FET

Después se realizaron 2 simulaciones para cada tipo de transistor con voltajes en compuerta de 1V y 1.5V, con los parámetros que se muestran en las Tablas 1a y 1b para los transistores N -MOS, y en las Tablas 1c y 1d para los transistores P -MOS, respectivamente.

La Figura 2 muestra los diseños de los circuitos que permiten el funcionamiento de los transistores CMOS.

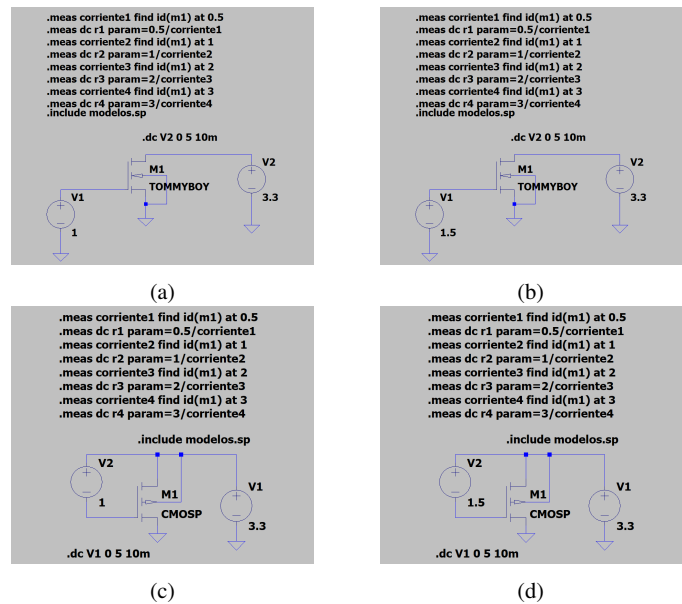


Fig. 2: Layout de transistores CMOS

Después se realizaron mediciones de corriente ante voltajes drain de 0.5V, 1V, 2V y 3V, y se calcularon las resistencias correspondientes para cada punto con ayuda de los comandos de spice, como se muestra en la figura 2.

Finalmente utilizando las reglas de diseño que se muestran en la Tabla. Se utilizan los valores de ancho y largo que se definieron anteriormente en la Figura 1 realizan los planos de fabricación para los transistores MOSFET tipo P y tipo N, como se muestra en la Figura 4.

Width	1.5V
Height	0.7V

(a) Parámetros para la simulación del transistor N – MOS para $V_{GS} = 1V$.

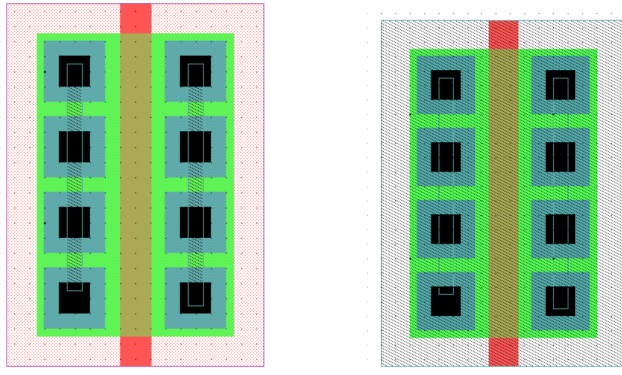
Width	1.5V
Height	0.7V

(b) Parámetros para la simulación del transistor N – MOS para $V_{GS} = 1.5V$.

Width	1.5V
Height	0.7V

(c) Parámetros para la simulación del transistor P – MOS para $V_{GS} = 1V$.

Fig. 3: Características de los circuitos simulados del transistor MOS-FET



(a) Layout del transistor P -MOS. (b) Layout del transistor N -MOS.

Fig. 4: Layout de la representación en silicio de transistores CMOS

RESULTADOS

Resultados N -MOS para $V_{GS} = 1V$

En la Figura 5 se muestran los resultados de la simulación del circuito para un transistor N -MOS con un voltaje de compuerta de $1V$, donde se pueden apreciar los valores de corriente correspondientes para distintos voltajes de V_{DD} , así como los valores de resistencia R_{DS} del transistor.

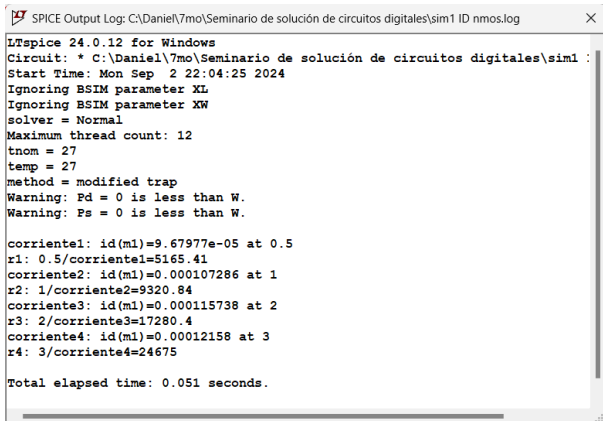


Fig. 5

Los resultados de la simulación y los distintos valores de resistencias para un transistor MOSFET tipo n con voltaje de compuerta de $1V$ se resumen en la Tabla I.

V_{DD}	I_D	R
0.5V	96.79 μA	5.16 $k\Omega$
1V	107.28 μA	9.32 $k\Omega$
2V	115.73 μA	17.28 $k\Omega$
3V	121.58 μA	24.67 $k\Omega$

TABLE I: Parámetros para la simulación del transistor N -MOS para $V_{GS} = 1V$.

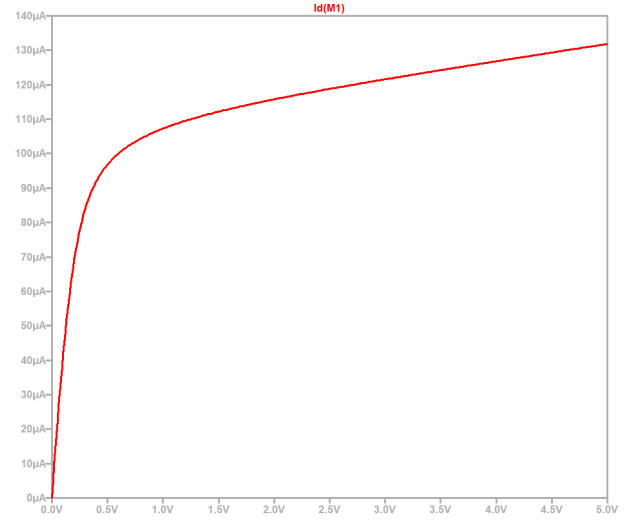


Fig. 6: Gráfico de simulación de la curva de corriente del transistor MOSFET tipo n ante un voltaje en la compuerta de $1V$.

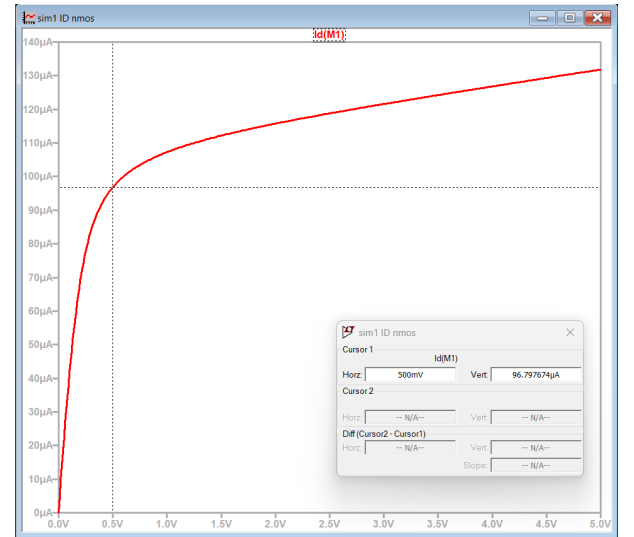


Fig. 7

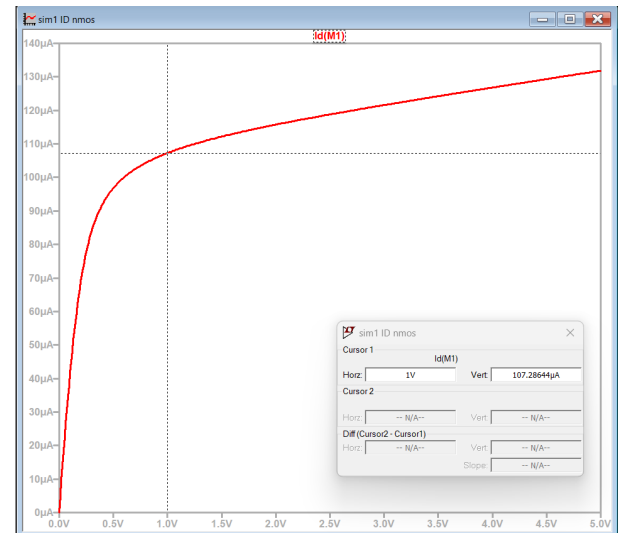


Fig. 8

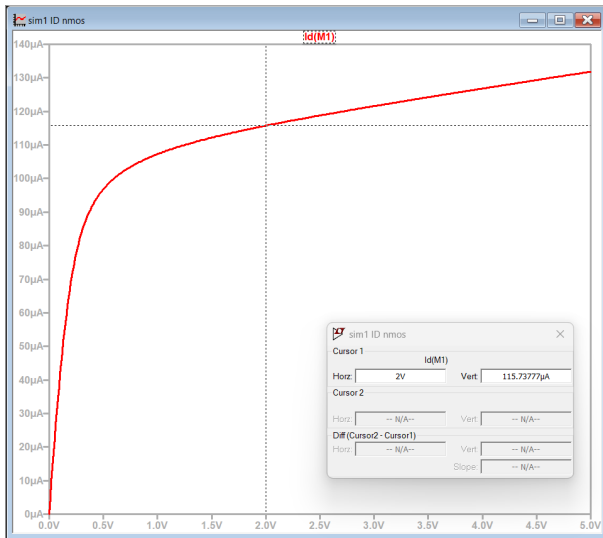


Fig. 9

Resultados N-MOS para $V_{GS} = 1.5V$

En la Figura 11 se muestran los resultados de la simulación del circuito para un transistor N-MOS con un voltaje de compuerta de $1.5V$, donde se pueden apreciar los valores de corriente correspondientes para distintos voltajes de V_{DD} , así como los valores de resistencia R_{DS} del transistor.

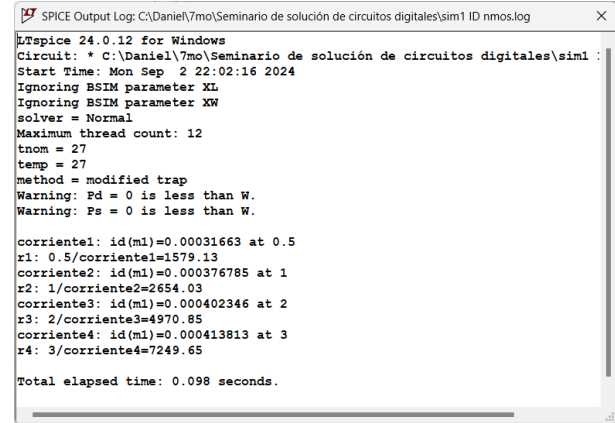


Fig. 11

Los resultados de la simulación y los distintos valores de resistencias para un transistor MOSFET tipo n con voltaje de compuerta de $1.5V$ se resumen en la Tabla I.

V_{DD}	I_D	R
0.5V	316.66μA	1.57kΩ
1V	376.67μA	2.65kΩ
2V	402.34μA	4.97kΩ
3V	413.81μA	7.25kΩ

TABLE II: Parámetros para la simulación del transistor N-MOS para $V_{GS} = 1V$.

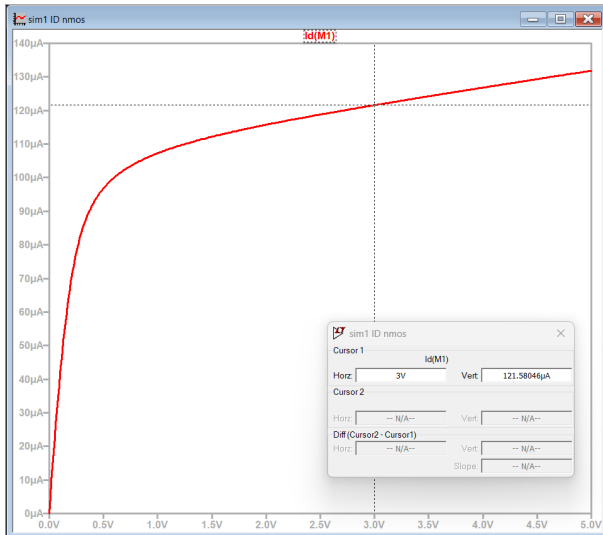


Fig. 10

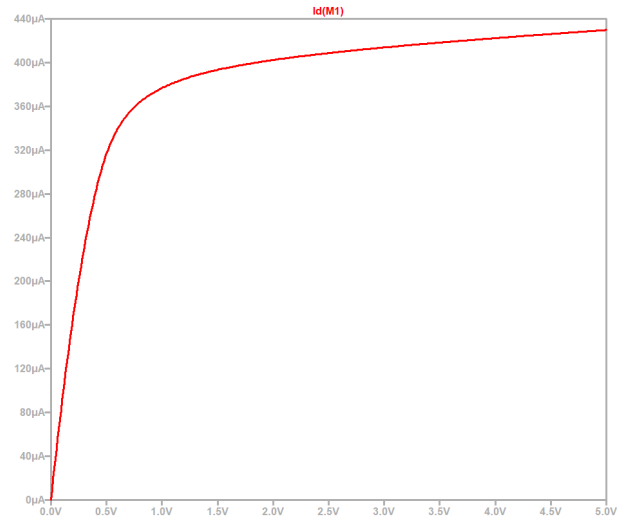


Fig. 12

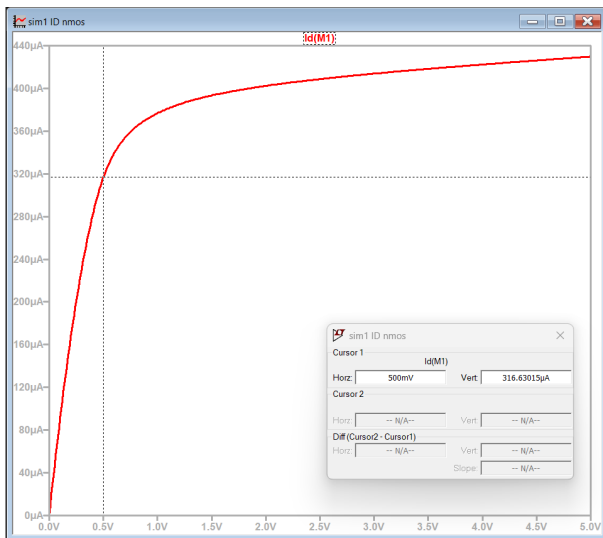


Fig. 13

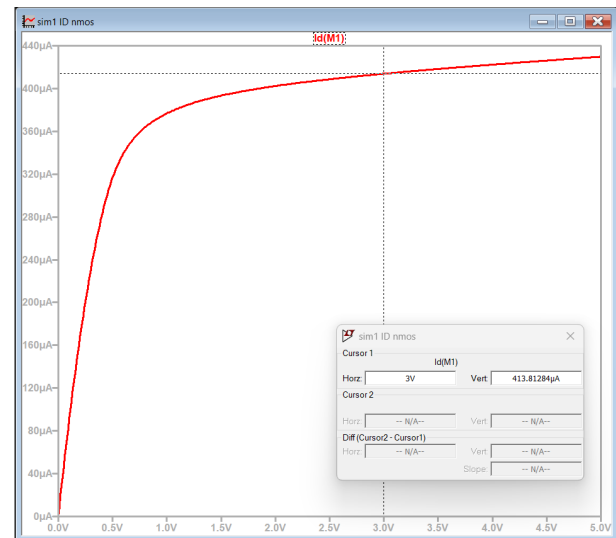


Fig. 16

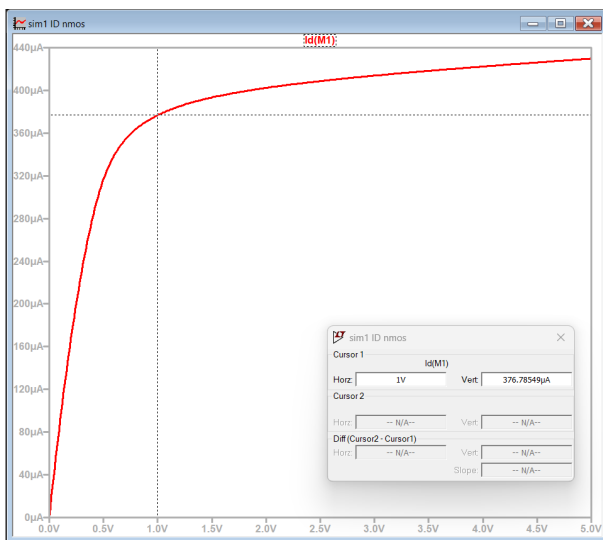


Fig. 14

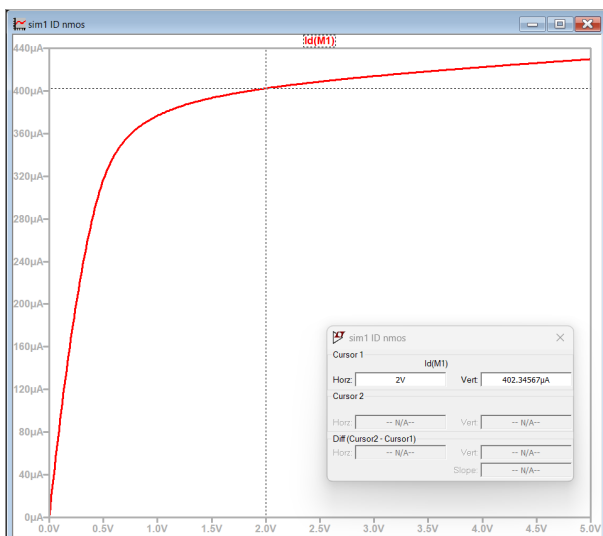


Fig. 15

Resultados P-MOS para $V_{GS} = 1V$

En la Figura 17 se muestran los resultados de la simulación del circuito para un transistor N -MOS con un voltaje de compuerta de $1V$, donde se pueden apreciar los valores de corriente correspondientes para distintos voltajes de V_{DD} , así como los valores de resistencia R_{DS} del transistor.

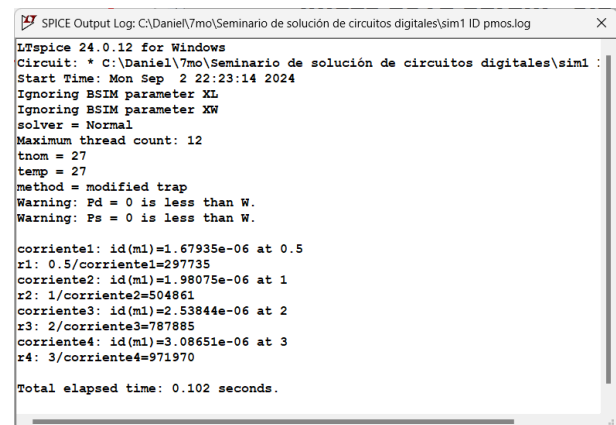


Fig. 17

Los resultados de la simulación y los distintos valores de resistencias para un transistor MOSFET tipo p con voltaje de compuerta de $1V$ se resumen en la Tabla III.

V_{DD}	I_D	R
$0.5V$	$1.679\mu A$	$297.73k\Omega$
$1V$	$1.980\mu A$	$504.86k\Omega$
$2V$	$2.538\mu A$	$787.88k\Omega$
$3V$	$3.086\mu A$	$971.97k\Omega$

TABLE III: Parámetros para la simulación del transistor $N - MOS$ para $V_{GS} = 1V$.

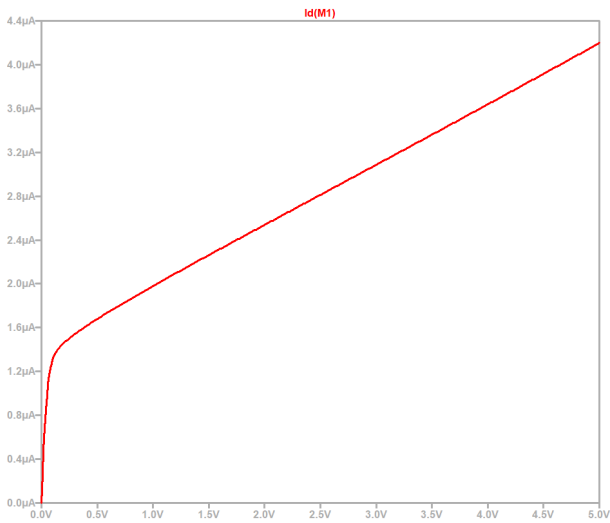


Fig. 18

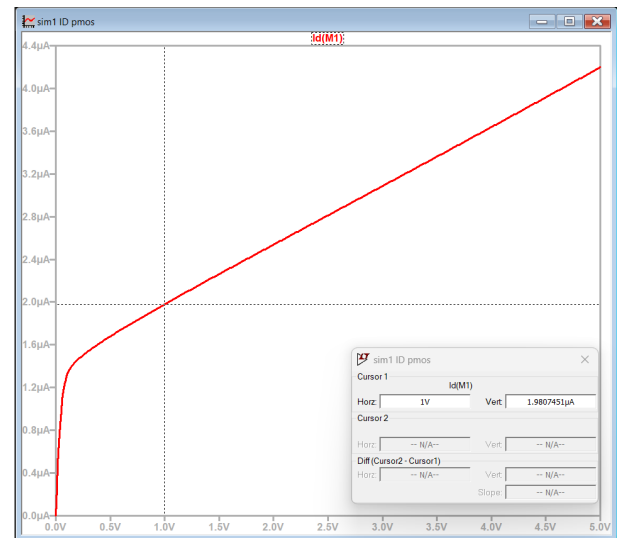


Fig. 21

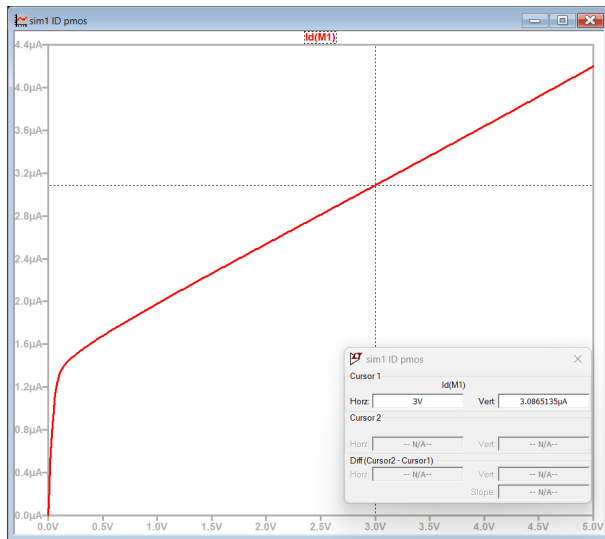


Fig. 19

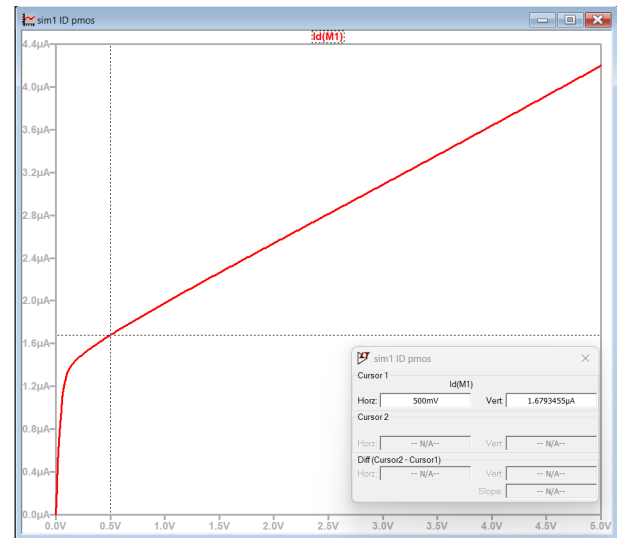


Fig. 22

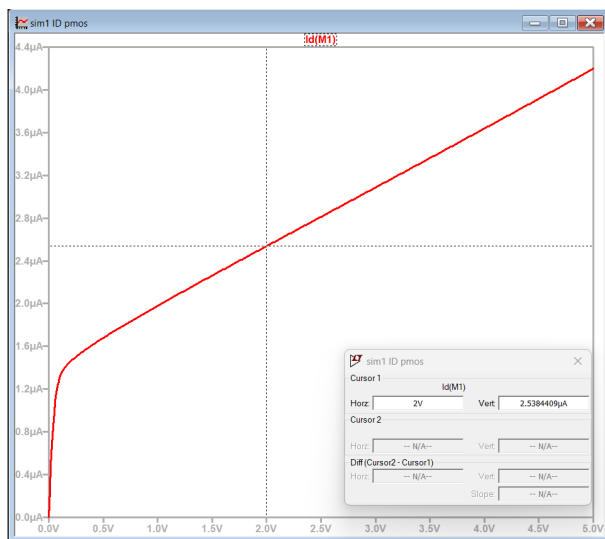


Fig. 20

Resultados P-MOS para $V_{GS} = 1.5V$

En la Figura 23 se muestran los resultados de la simulación del circuito para un transistor N-MOS con un voltaje de compuerta de 1V, donde se pueden apreciar los valores de corriente correspondientes para distintos voltajes de V_{DD} , así como los valores de resistencia R_{DS} del transistor.

```

SPICE Output Log: C:\Daniel\7mo\Seminaro de soluci3n de circuitos digitales\sim1 ID pmos.log
LTspice 24.0.12 for Windows
Circuit: * C:\Daniel\7mo\Seminaro de soluci3n de circuitos digitales\sim1 :
Start Time: Mon Sep 2 22:35:08 2024
Ignoring BSIM parameter XL
Ignoring BSIM parameter XW
solver = Normal
Maximum thread count: 12
tnom = 27
temp = 27
method = modified trap
Warning: Pd = 0 is less than W.
Warning: Ps = 0 is less than W.

corrientel: id(m1)=6.6182e-05 at 0.5
r1: 0.5/corrientel=7554.92
corriente2: id(m1)=7.8276e-05 at 1
r2: 1/corriente2=12775.3
corriente3: id(m1)=9.09263e-05 at 2
r3: 2/corriente3=21995.8
corriente4: id(m1)=0.000100186 at 3
r4: 3/corriente4=29944.2

Total elapsed time: 0.099 seconds.

```

Fig. 23

Los resultados de la simulaci3n y los distintos valores de resistencias para un transistor MOSFET tipo p con voltaje de compuerta de 1.5V se resumen en la Tabla IV.

V_{DD}	I_D	R
0.5V	66.18 μA	7.55k Ω
1V	78.27 μA	12.77k Ω
2V	90.92 μA	21.99k Ω
3V	100.18 μA	29.94k Ω

TABLE IV: Par3metros para la simulaci3n del transistor *P*-MOS para $V_{GS} = 1.5V$.

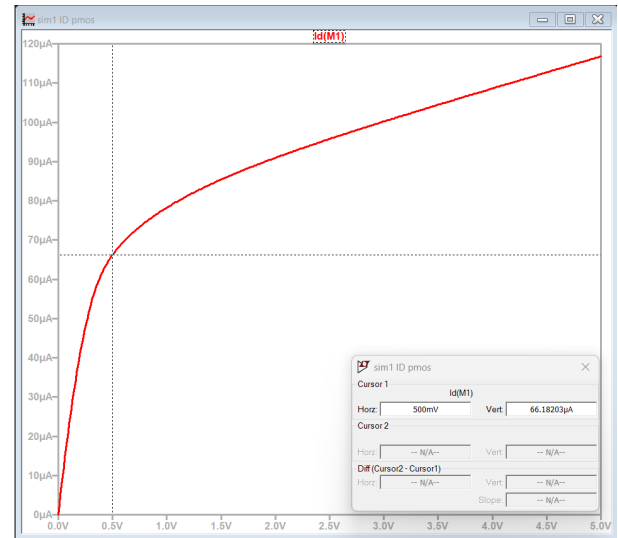


Fig. 25

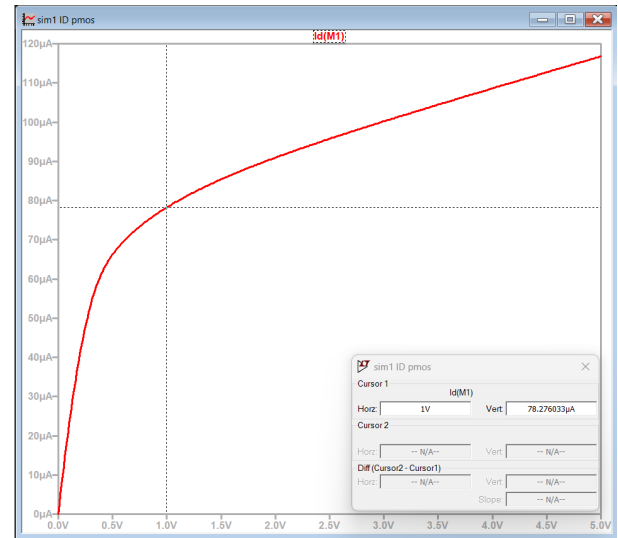


Fig. 26

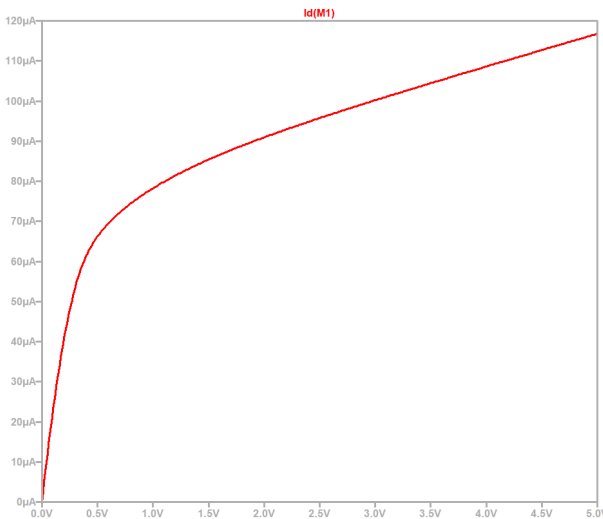


Fig. 24

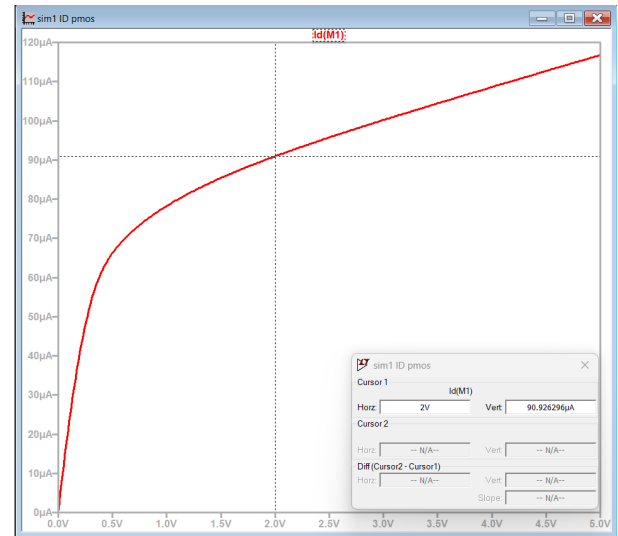


Fig. 27

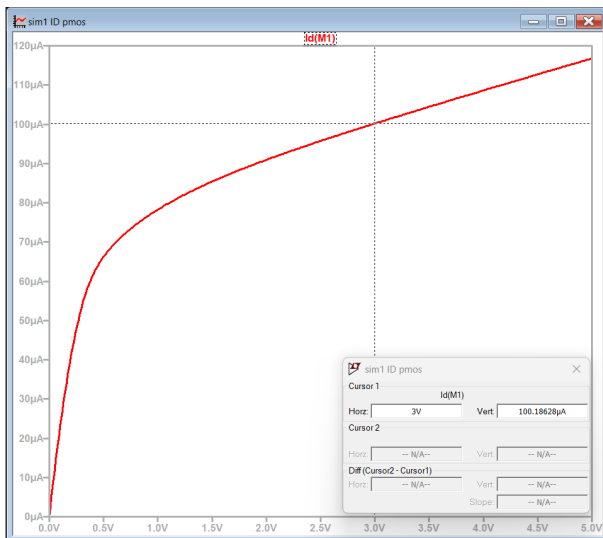


Fig. 28

A. Tabla comparativa de resistencias

En la Tabla V se hace una comparación de las resistencias de los transistores MOSFET al cambiar el voltaje en la compuerta y para transistores tipo N y tipo P.

V_{DD}	N-MOS $R(k\Omega)$ $1V_{GS}$	a	N-MOS $R(k\Omega)$ $1.5V_{GS}$	a	P-MOS $R(k\Omega)$ $1V_{GS}$	a	P-MOS $R(k\Omega)$ $1.5V_{GS}$	a
.5V	5.16k Ω		1.57k Ω		297.73k Ω		7.55k Ω	
1V	9.32k Ω		2.65k Ω		504.86k Ω		12.77k Ω	
2V	17.28k Ω		4.97k Ω		787.88k Ω		21.99k Ω	
3V	24.67k Ω		7.25k Ω		971.97k Ω		29.94k Ω	

TABLE V: Tabla comparativa de resistencias

CONCLUSIONES

El transistor MOSFET es la base de la electrónica digital y la microelectrónica. El correcto modelado nos permite hacer calculos de consumo y de capacidad de cargas, que soporta a la salida, además de que para el control de periféricos es necesario conocer la resistencia del puerto; nos ayuda para hacer calculos para protocolos de comunicaciones y maximizar la potencia que llega al receptor. Las herramientas como spice son excelentes para el diseño y simulación de circuitos. Se consiguió con éxito la simulación de transistores con distintos voltajes de compuerta y el calculo de la resistencia en distintos puntos de la gráfica de corriente.