



DIPARTIMENTO DI
ELETTROTECNICA
ED ELETTRONICA

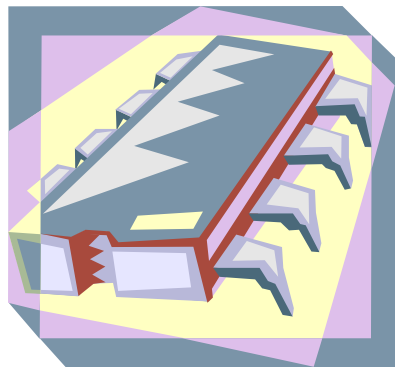


FACOLTA' DI INGEGNERIA
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA
A.A. 1997/1998

CORSO DI DISPOSITIVI ELETTRONICI
Prof. A. G. Perri

Relazione :

Studio di un MOSFET a canale n ad arricchimento



Studente :

Vito Marinelli *matr. 507566U*

Questa relazione potrete trovarla in formato HTML al sito : <http://digilander.iol.it/marinel/vito/dispositivi/dispositivi.htm>

Sempre nel sito : <http://digilander.iol.it/marinel> potrete trovare altro materiale didattico.

INTRODUZIONE

Lo scopo del progetto consiste nell'affrontare lo studio di un **MOSFET a canale n ad arricchimento** con l'ausilio del simulatore circuitale PSPICE.

Analizzeremo il comportamento statico del dispositivo determinando quindi le caratteristiche d'uscita (ID in funzione di VDS e VGS) e le transcaratteristiche d'ingresso (ID in funzione di VGS).

In particolare saranno determinate sia le caratteristiche d'uscita ideali che quelle illustranti l'effetto della modulazione della lunghezza del canale mettendo in evidenza le sostanziali differenze presenti nella regione di saturazione.

Inoltre sarà esaminato un altro effetto del secondo ordine che prende il nome di effetto di corpo e si presenta quando variamo la tensione di polarizzazione inversa applicata tra il source ed il substrato.

REALIZZAZIONE DEL MODELLO

Nella simulazione saranno considerati dei MOSFET con gate di silicio tipo n , pesantemente drogato, costruiti su substrati di silicio di tipo p, con concentrazione $N_A = 1.5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$.

I dispositivi sono larghi $50 \mu\text{m}$ e lunghi $10 \mu\text{m}$ mentre per tutti la mobilità degli elettroni è pari a $700 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, lo spessore dell'ossido sotto il gate è 1000 \AA e la densità di carica Q'_{ss}/q all'interfaccia ossido-silicio è pari a $4 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-2}$.

Attraverso questi dati siamo in grado di calcolare la tensione di soglia :

$$V_T = V_{FB} + 2|\Phi_p| + \frac{\sqrt{2\varepsilon_s q N_A} 2|\Phi_p|}{C'_{oss}}$$

dove, sostituendo si ha:

$$|\Phi_p| = \frac{kT}{q} \ln \frac{N_A}{n_i} = 0.36 \text{ V} \quad \text{e} \quad q\Phi_s = q\chi + \frac{E_g}{2} + kT \ln \frac{N_A}{n_i} = 4.15 + \frac{1.12}{2} + 0.36 \cong 5 \text{ eV}$$

$$V_{FB} = \Phi_{MS} - \frac{Q'_{ss}}{C'_{oss}} = (4.15 - 5) - \frac{4 \cdot 10^{10} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}}{\frac{3.9 \cdot 8.85 \cdot 10^{-14}}{1000 \cdot 10^{-8}}} = -1.04 \text{ V}$$

e quindi : $V_T = 1.44 \text{ V}$

Va comunque specificato che la simulazione verrà effettuata utilizzando il modello più semplice a disposizione nel PSPICE ,dal punto di vista della complessità e accuratezza (LEVEL = 1).

Si tratta in pratica del modello a controllo di carica , nel quale si tiene conto anche della modulazione della lunghezza del canale e dell'effetto di corpo.

In definitiva i parametri che definiremo nei modelli del MOSFET sono :

- la tensione di soglia :

$$V_{TO} = 1.44 \text{ V}$$

- il parametro di transconduttanza :

$$KP = \mu_n \cdot C'_{oss} = 700 \cdot \frac{3.9 \cdot 8.85 \cdot 10^{-14}}{1000 \cdot 10^{-8}} = 2.416 \cdot 10^{-5} \text{ A/V}^2$$

- parametro relativo all'effetto di corpo (solo per il 1° MOSFET) :

$$\text{GAMMA} = \frac{\sqrt{2 \epsilon_s q N_A}}{C'_{\text{oss}}} = 2.073 \text{ V}^{1/2}$$

- concentrazione di drogante del substrato :

$$N_{\text{SUB}} = 1.5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$$

- potenziale elettrico nella regione neutra di substrato :

$$\text{PHI} = 2 |\Phi_p| = 0.72 \text{ V}$$

- coefficiente di modulazione della lunghezza di canale (solo per il 3° MOSFET) :

$$\text{LAMBDA} = 0.08 \text{ V}^{-1}$$

- spessore dell'ossido :

$$\text{TOX} = 1000 \text{ \AA}$$

Questi sono quindi i dati utilizzati per realizzare i vari modelli del MOSFET presenti nel programma che, come si potrà notare nel circuito elettrico, sono tutti collegati in parallelo.

OSS.: si confrontino i valori della V_T , di seguito riportati, calcolati al variare della tensione di polarizzazione inversa applicata tra il source ed il substrato, V_{BS} , nel 1° MOSFET con quelli ottenuti dal grafico di $\sqrt{I_D}$ in funzione della tensione V_D ottenuti dalle caratteristiche come intercetta sull'asse delle tensioni :

per $V_{BS} = 0 \text{ V}$: $V_T = 1.44 \text{ V} = V_{T0}$

per $V_{BS} = -2 \text{ V}$: $V_T = 3.1 \text{ V}$

per $V_{BS} = -4 \text{ V}$: $V_T = 4.18 \text{ V}$

per $V_{BS} = -6 \text{ V}$: $V_T = 5.05 \text{ V}$

per $V_{BS} = -8 \text{ V}$: $V_T = 5.8 \text{ V}$

infatti ricordiamo che: $V_T = V_{T0} + \gamma \cdot \left(\sqrt{2 |\Phi_p| + |V_{BS}|} - \sqrt{2 |\Phi_p|} \right)$.

Inoltre si noti l'andamento delle transcaratteristiche d'ingresso in cui :

per $V_{DS} = 1 \text{ V}$: l'andamento è quadratico per $1.44 \text{ V} < V_{GS} < 2.44 \text{ V}$ (ossia $0 < V_{GS} - V_T < V_{DS}$: saturazione) mentre è lineare per $V_{GS} > 2.44 \text{ V}$ (ossia $V_{GS} - V_T > V_{DS}$)

per $V_{DS} = 3 \text{ V}$: l'andamento è quadratico per $1.44 \text{ V} < V_{GS} < 4.44 \text{ V}$ (ossia $0 < V_{GS} - V_T < V_{DS}$: saturazione) mentre è lineare per $V_{GS} > 4.44 \text{ V}$ (ossia $V_{GS} - V_T > V_{DS}$)

per $V_{DS} = 5 \text{ V}$: l'andamento è quadratico per $1.44 \text{ V} < V_{GS} < 6.44 \text{ V}$ (ossia $0 < V_{GS} - V_T < V_{DS}$: saturazione) mentre è lineare per $V_{GS} > 6.44 \text{ V}$ (ossia $V_{GS} - V_T > V_{DS}$)

MOSFET a canale n

.OPTIONS LIST ACCT NODE OPTS

*TENSIONE DRAIN-SOURCE (E TENSIONE GATE-SOURCE PER IL 1° MOSFET)

VDS 1 0 DC 7

*TENSIONE VBS BULK-SOURCE PER IL 1° MOSFET

VBS 2 0 DC 0

*TENSIONE VGS GATE-SOURCE PER IL 2° E 3° MOSFET

VGS 3 0 DC 2

M1 1 1 0 2 NMOS1 W=50u L=10u

.MODEL NMOS1 NMOS LEVEL=1 TOX=1000E-10 VTO=1.44

+ NSUB=1.5E16 PHI=0.72 KP=2.416E-5 GAMMA=2.073

M2 1 3 0 0 NMOS1 W=50u L=10u

M3 1 3 0 0 NMOS2 W=50u L=10u

.MODEL NMOS2 NMOS LEVEL=1 TOX=1000E-10 VTO=1.44

+ NSUB=1.5E16 PHI=0.72 KP=2.416E-5 LAMBDA=0.08

*Caratteristiche ID(VDS,VGS) del 2° E 3° MOSFET :

*simulazione dell'effetto della modulazione della lunghezza del canale

*.DC VDS 0 6 0.02 VGS 2 5 1

*Transcaratteristica d'ingresso (3° MOSFET)

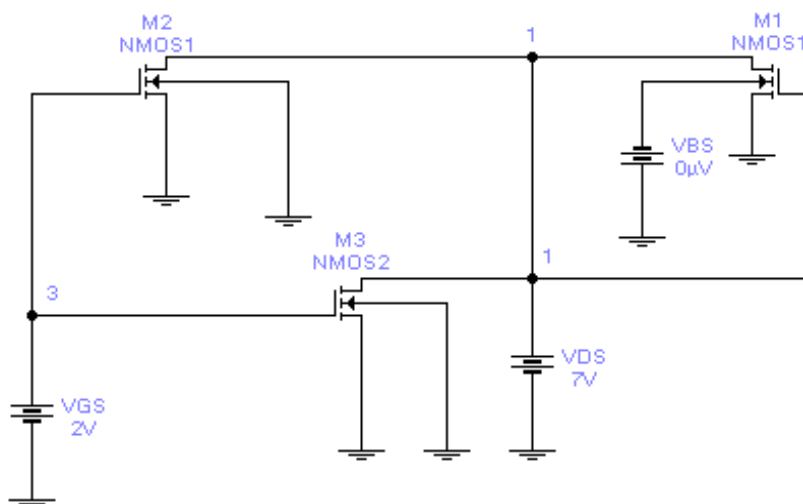
*.DC VGS 0 7 0.02 VDS 1 5 2

*Simulazione dell'effetto di corpo (1° MOSFET)

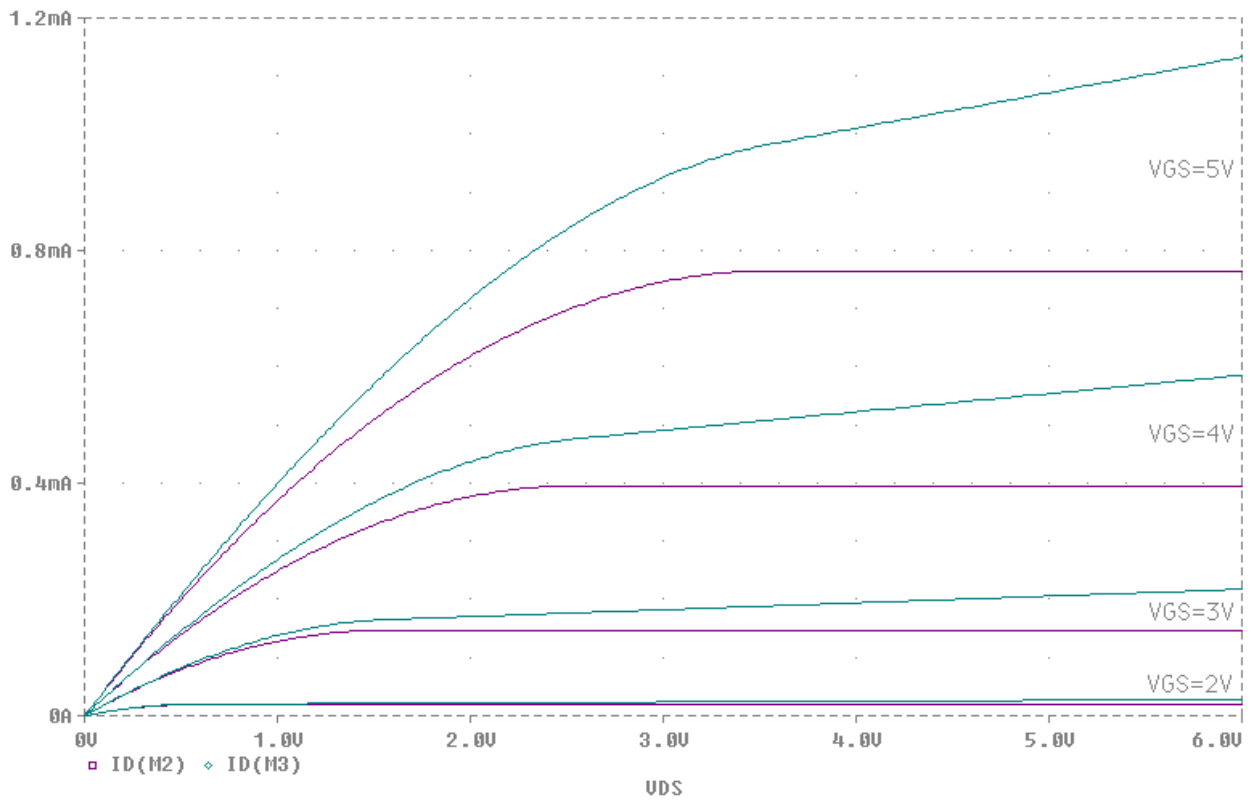
.DC VDS 0 10 0.01 VBS 0 -8 2

.PROBE

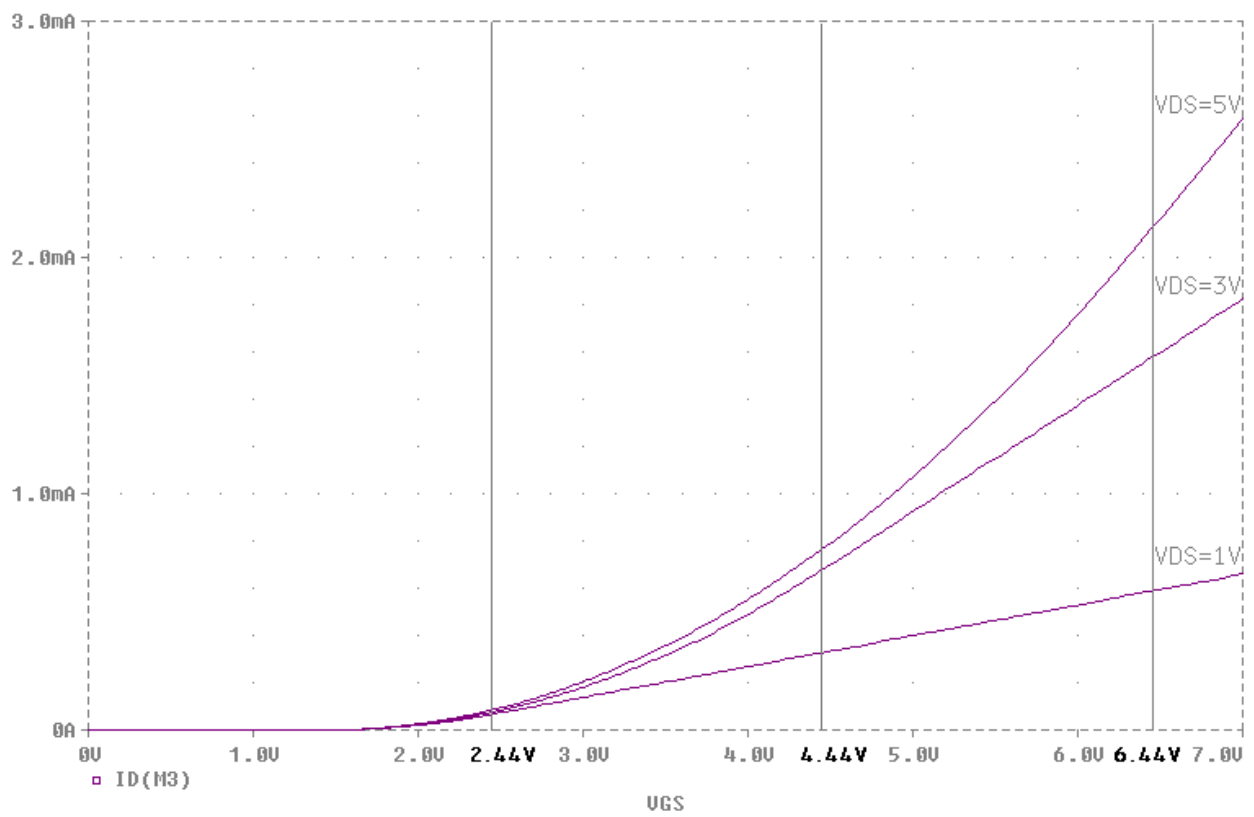
.END



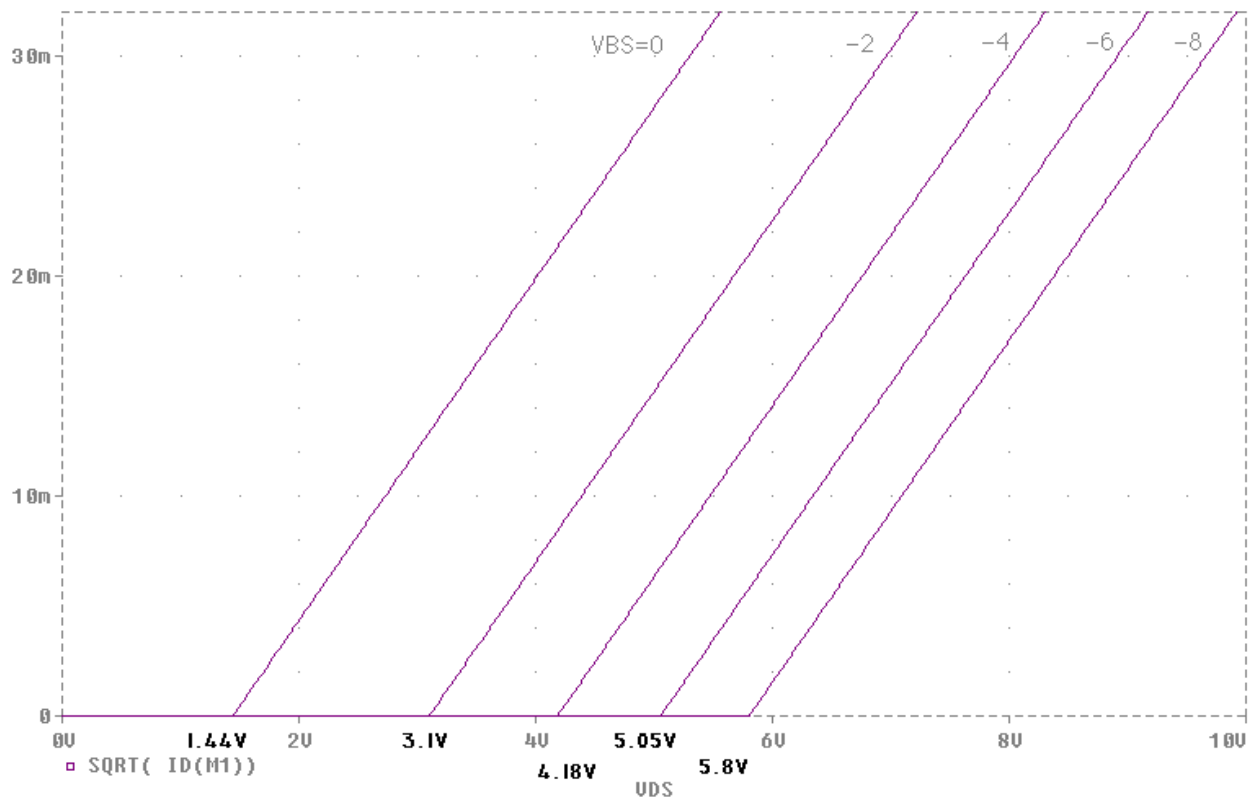
Caratteristiche ID(VDS,VGS) del 2° E 3° MOSFET
simulazione dell'effetto della modulazione della lunghezza del canale



Transcaratteristica d'ingresso (3° MOSFET)



Simulazione dell'effetto di corpo (1° MOSFET)



**** 06/28/98 15:56:59 ***** PSpice 6.0 (Jan 1994) ***** ID# 78327 ****

MOSFET a canale n

**** CIRCUIT DESCRIPTION

pag. 3

**** 06/28/98 15:56:59 ***** PSpice 6.0 (Jan 1994) ***** ID# 78327 ****

MOSFET a canale n

**** ELEMENT NODE TABLE

0	M1	M2	M2	M3	M3
	VBS	VDS	VGS		
1	M1	M1	M2	M3	VDS
2	M1	VBS			
3	M2	M3	VGS		

**** 06/28/98 15:56:59 ***** PSpice 6.0 (Jan 1994) ***** ID# 78327 ****

MOSFET a canale n

**** MOSFET MODEL PARAMETERS

	NMOS1	NMOS2
	NMOS	NMOS
LEVEL	1	1
L	100.000000E-06	100.000000E-06
W	100.000000E-06	100.000000E-06
VTO	1.44	1.44
KP	24.160000E-06	24.160000E-06
GAMMA	2.073	2.043484
PHI	.72	.72
LAMBDA		.08
PBSW	.8	.8
CJ	394.467100E-06	394.467100E-06
NSUB	15.000000E+15	15.000000E+15
TOX	100.000000E-09	100.000000E-09

**** 06/28/98 15:56:59 ***** PSpice 6.0 (Jan 1994) ***** ID# 78327 ****

MOSFET a canale n

**** CIRCUIT ELEMENT SUMMARY

**** INDEPENDENT SOURCES

NAME	NODES	DC VALUE	AC VALUE	AC PHASE
VDS	1 0	7.00E+00	0.00E+00	0.00E+00 degrees
VBS	2 0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00 degrees
VGS	3 0	2.00E+00	0.00E+00	0.00E+00 degrees

**** MOSFETS

NAME	D	G	S	B	MODEL
(line 2) L	AD	PD	RD	RG	M
(line 3) W	AS	PS	RS	RB	

```

M1      1      1      0      2 NMOS1
      1.00E-05 0.00E+00 0.00E+00 0.00E+00 0.00E+00 1.00E+00
      5.00E-05 0.00E+00 0.00E+00 0.00E+00 0.00E+00 0.00E+00

M2      1      3      0      0 NMOS1
      1.00E-05 0.00E+00 0.00E+00 0.00E+00 0.00E+00 1.00E+00
      5.00E-05 0.00E+00 0.00E+00 0.00E+00 0.00E+00 0.00E+00

M3      1      3      0      0 NMOS2
      1.00E-05 0.00E+00 0.00E+00 0.00E+00 0.00E+00 1.00E+00
      5.00E-05 0.00E+00 0.00E+00 0.00E+00 0.00E+00 0.00E+00

```

**** 06/28/98 15:56:59 ***** PSpice 6.0 (Jan 1994) ***** ID# 78327 ****

MOSFET a canale n

**** OPTION SUMMARY

NODE LIST OPTS ACCT

DC ANALYSIS -

```

ITL1 = 40
ITL2 = 20
RELTOL = 1.0000E-03
ABSTOL = 1.0000E-12
VNTOL = 1.0000E-06
GMIN = 1.0000E-12

```

TRANSIENT ANALYSIS -

```

ITL4 = 10
CHGTOL = 10.0000E-15

```

MISCELLANEOUS -

```

NUMDGT = 4
WIDTH = 80
DEFL = 100.0000E-06
DEFW = 100.0000E-06
DEFAD = 0
DEFAS = 0
TNOM = 27

```

DIGITAL -

```

DIGMNTYMX = 2
DIGIOLVL = 1
DIGINITSTATE = 2
DIGERRLIMIT = 0
DIGERRDEFAULT = 20
DIGFREQ = 10.0000E+09
DIGDRVF = 2
DIGDRVZ = 20.0000E+03
DIGOVRDRV = 2.5
DIGMNTYSCALE = .4
DIGTYMXSCALE = 1.6

```

JOB CONCLUDED

**** 06/28/98 15:56:59 ***** PSpice 6.0 (Jan 1994) ***** ID# 78327 ****

MOSFET a canale n

**** JOB STATISTICS SUMMARY

```

NUNODS  NCNODS  NUMNOD  NUMEL  DIODES  BJTS  JFETS  MFETS  GASFETS
  4    4    4    6    0    0    0    3    0

NDIGITAL  NSTOP  NTTAR  NTTBR  NTTOV  IFILL  IOPS  PERSPA
  0    7    13    13    35    0    19  73.469

NUMTTP  NUMRTP  NUMNIT  DIGTP  DIGEVT  DIGEVL  MEMUSE
  0    0    0    0    0    0    66604

```

Caratteristiche ID(VDS,VGS)

	SECONDS	ITERATIONS
MATRIX SOLUTION	.05	9
MATRIX LOAD	.43	
READIN	.06	
SETUP	0.00	
DC SWEEP	2.11	3624
BIAS POINT	0.00	0
AC and NOISE	0.00	0
TRANSIENT ANALYSIS	0.00	0
OUTPUT	0.00	
OVERHEAD	.01	
TOTAL JOB TIME	2.18	

Transcaratteristica d'ingresso

	SECONDS	ITERATIONS
MATRIX SOLUTION	.07	7
MATRIX LOAD	.50	
READIN	.08	
SETUP	0.00	
DC SWEEP	1.81	3169
BIAS POINT	0.00	0
AC and NOISE	0.00	0
TRANSIENT ANALYSIS	0.00	0
OUTPUT	0.00	
TOTAL JOB TIME	1.90	

Simulazione dell'effetto di corpo

	SECONDS	ITERATIONS
MATRIX SOLUTION	.35	11
MATRIX LOAD	2.07	
READIN	.06	
SETUP	0.00	
DC SWEEP	8.82	15030
BIAS POINT	0.00	0
AC and NOISE	0.00	0
TRANSIENT ANALYSIS	0.00	0
OUTPUT	0.00	
OVERHEAD	.03	
TOTAL JOB TIME	8.90	