

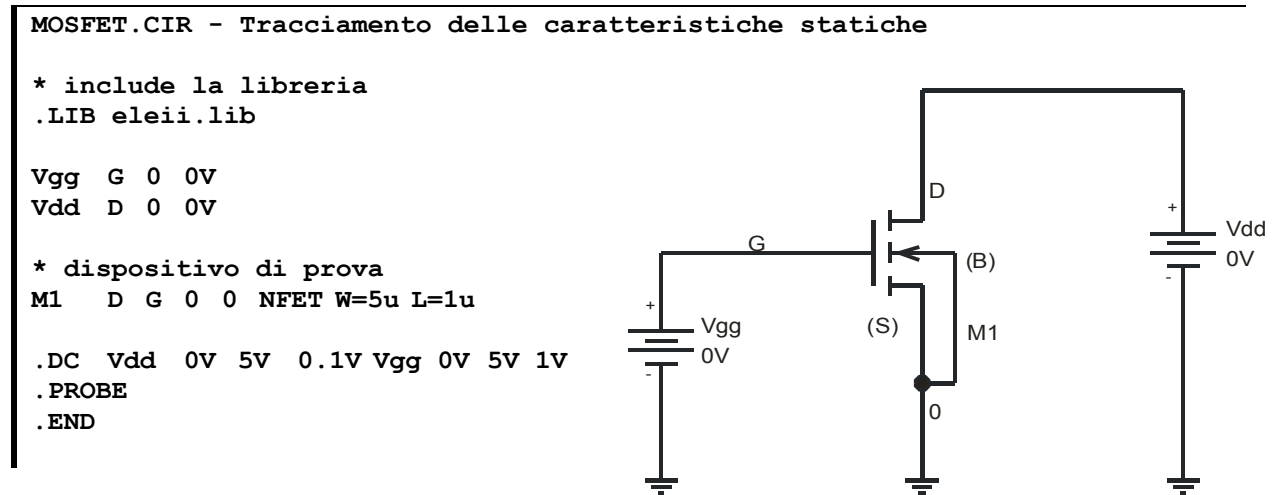
Esercitazione di Elettronica Digitale

Ing. F. Iannuzzo - A.A. 2004/2005

Il transistore MOSFET

In questa esercitazione si studieranno le caratteristiche del transistore MOSFET.

Qui di seguito è riportato il circuito SPICE che produce la visualizzazione delle caratteristiche statiche del MOSFET. In Appendice 1 è riportato il contenuto del file `ELEII.LIB` che incorpora il modello del transistore da utilizzare.



Si noti che in PSPICE il dispositivo MOSFET ha la seguente sintassi:

```
M1 <drain> <gate> <source> [<body>] <modello> [<parametri opzionali>]
```

L'analisi proposta esegue uno spazzolamento (in Inglese "sweep") nidificato delle tensioni di drain, V_{dd} , e di gate, V_{gg} .

- Si effettui l'analisi proposta e si visualizzino le caratteristiche di uscita del MOSFET.
- Si visualizzi anche la *curva limite di pinch-off*. [Suggerimento: l'espressione del k (kappa minuscolo) si ricava dal parametro KP presente nel modello in libreria, mediante la relazione $k=KP/2$].
- L'effetto *Early* dipende dal parametro Λ , presente in libreria. Si verifichi la sensibilità delle caratteristiche del dispositivo al variare di tale parametro.
- Si provi a cambiare ripetutamente i valori di W ed L , e si verifichi la conseguente variazione della corrente.

Invertitore NMOS con carico resistivo

Si rediga un nuovo file `NMOS-R.CIR` per analizzare la caratteristica di trasferimento ingresso-uscita di un invertitore con interruttore a MOSFET e carico resistivo ("Logica NMOS con carico resistivo").

```
NOT.CIR - Invertitore NMOS con carico resistivo

* include la libreria
```

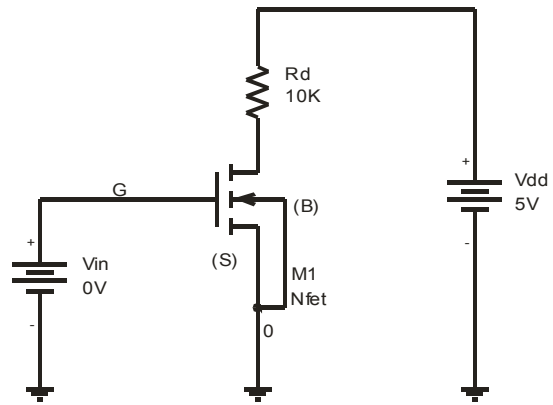
```

.LIB eleii.lib
Vin G 0 0V
Vdd 1 0 5V
Rd 1 D 10K

* MOSFET
M1 D G 0 0 NFET W=5u L=1u


.DC Vin 0V 5V .1V
.PROBE
.END

```

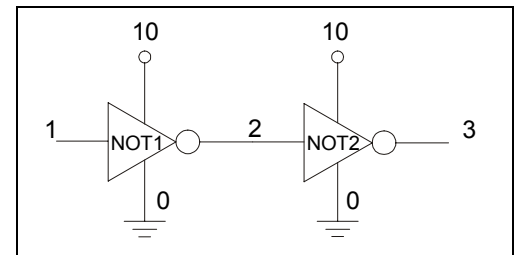


- e) Tracciare la caratteristica di trasferimento ingresso-uscita e verificare che il circuito si comporti effettivamente da invertitore.
- f) Per misurare i valori estremi di ingresso V_{IL} e V_{IH} occorre identificare i punti della caratteristica a pendenza uguale a -1. Per fare ciò, graficare, su un asse Y aggiuntivo (Menu **Plot/Add Y Axis**), la derivata della tensione di uscita rispetto alla tensione di ingresso. Se, ad esempio, il nodo di uscita dell'invertitore è il nodo 2, ciò si ottiene inserendo la traccia seguente:

`dV(2)`

Mediante l'uso dei cursori , identificare le ascisse (tensioni di ingresso) a cui tale derivata è pari a -1.

- g) Per ricercare i valori di V_{OH} e di V_{OL} si ricorre usualmente alla cascata di due invertitori. Si costruisca il circuito di figura, in cui ciascuna porta NOT è l'insieme di MOSFET e resistore di carico.



NB: I due MOSFET ed i due resistori devono avere nome diverso tra loro!

Si diano ai nodi intermedi i nomi: 1, 2, 3 anziché G e D.

A questo punto, la misura di V_{OH} e di V_{OL} può essere agevolmente effettuata per via grafica sovrapponendo la caratteristica ingresso/uscita alla sua inversa, ottenuta scambiando gli assi. Per ottenere ciò in ambiente PROBE, impostare l'asse X sulla variabile **V(2)** (dal menu **Plot/Axis settings.../X Axis/Axis Variable...**), corrispondente alla tensione al nodo intermedio tra i due invertitori, e graficare le variabili **V(3)** e **V(1)** che forniscono, rispettivamente, la caratteristica diretta ed inversa.

- h) Calcolare, con carta e penna, i margini di rumore a partire dai dati acquisiti:

$$NM_L = V_{IL} - V_{OL};$$

$$NM_H = V_{OH} - V_{IH}.$$

Analisi dinamica

- i) Per misurare i tempi di propagazione, si piloti l'ingresso della cascata di invertitori con il seguente segnale:

```
Vsignal 1 0 PULSE 0V 5V 0s 100ps 100ps 1ns 2ns
```

e si misurino i ritardi del primo e del secondo invertitore. [Suggerimento: la commutazione del secondo invertitore deve essere resa realistica applicando alla sua uscita un carico capacitivo equivalente ad un ulteriore invertitore. Si calcoli tale carico considerando che la capacità di

ingresso è pari a $C_L=C_{GATE}$, e che tale capacità risulta fornita dalla classica formula per il condensatore ad armature piane e parallele:

$$C_{GATE} = \epsilon_{SiO_2} \cdot \frac{W_{NMOS} \cdot L_{NMOS}}{t_{OX}}$$

con $\epsilon_{SiO_2}=\epsilon_0 \cdot \epsilon_{r,SiO_2}$, dove $\epsilon_0=8.85 \cdot 10^{-14}$ F/cm, $\epsilon_{r,SiO_2}=3.9$ e $t_{OX}=15$ nm.]

j) Come si può misurare la potenza statica? E quella dinamica?

Appendice 1: Libreria per il corso di Elettronica Digitale

Si copi nella directory di lavoro C:\elettronica il file ELEII.LIB, disponibile nel sito web.

Per verifica, si apra il file con **File/Open...** e se ne verifichi il contenuto. Si riconoscano quali sono i comandi .MODEL relativi ad alcuni tipi di dispositivi MOSFET.

```
* ELEII.LIB
*
* Componenti utilizzati nel corso di Elettronica II
*
* transistor NPN
*
.MODEL nbjt NPN(IS=5E-16, BF=50, BR=1, RB=150, RC=10, RE=1,
+ VAF=50, VAR=50, CJE=90f, MJE=0.5, VJE=1, CJC=45f, MJC=0.33,
+ VJC=0.69, CJS=100f, MJS=0.4, VJS=0.6, TF=60p, TR=10n)
*$
*
* MOSFET a canale N
*
.MODEL nfet NMOS(LEVEL=1, KP=135u, VTO=0.8, LAMBDA=0.02,
+ GAMMA=0.5, PHI=0.7, TOX=15E-9,
+ CJ=4E-4, CJSW=1E-10, MJ=0.5, MJSW=0.5, PB=0.9,
+ CGSO=2.5E-10, CGDO=2.5E-10, CGBO=2.5E-10)
*$
*
* MOSFET depletion a canale N
*
.MODEL dnfet NMOS(LEVEL=1, KP=135u, VTO=-2.3, LAMBDA=0.02,
+ GAMMA=0.5, PHI=0.7, TOX=15E-9,
+ CJ=4E-4, CJSW=1E-10, MJ=0.5, MJSW=0.5, PB=0.9,
+ CGSO=2.5E-10, CGDO=2.5E-10, CGBO=2.5E-10)
*$
*
* MOSFET a canale P
*
.MODEL pfet PMOS(LEVEL=1, KP=54u, VTO=-0.8, LAMBDA=0.02,
+ GAMMA=0.5, PHI=0.7, TOX=15E-9,
+ CJ=4E-4, CJSW=1E-10, MJ=0.5, MJSW=0.5, PB=0.9,
+ CGSO=2.5E-10, CGDO=2.5E-10, CGBO=2.5E-10)
*$
```