Electrònica

Pràctica 3: Mosfet

Blai Ras i Albert Morales

1r Torn, 10:00 – 12:00

1. Introducció

En aquesta tercera pràctica entrem dins del món dels transistors, concretament, veurem una de les seves utilitats: el seu comportament com a portes lògiques. Aquest estudi, el farem mitjançant la construcció de diferents circuits els quals analitzarem i en coneixerem la porta que representen.

1. Material

* *Protoboard*
* Cables
* Font de tensió contínua
* Multímetre
* Transistors NMOS model IRF510.
* Dues resistències, de 1 kΩ i 2 de 200 Ω
* LED

1. Exercicis

* Porta inversora NOT
  + **Comportament elèctric de la porta NOT**
    - Realitzeu una taula (Taula 1) amb els valors de tensió d’entrada *V*i i de sortida *V*o, i realitzeu un gràfic de la tensió de sortida *V*o en funció de la tensió d’entrada *V*i .

|  |  |
| --- | --- |
| Vi = Vs (V) | Vo = Vd (V) |
| 0 | 5 |
| 0,514 | 5 |
| 1,045 | 5 |
| 1,496 | 5 |
| 1,99 | 5 |
| 2,52 | 5 |
| 3,04 | 3,59 |
| 3,05 | 3,33 |
| 3,1 | 2,55 |
| 3,15 | 1,223 |
| 3,2 | 0,216 |
| 3,21 | 0,206 |
| 3,22 | 0,163 |
| 3,25 | 0,1403 |
| 3,3 | 0,1226 |
| 3,35 | 0,1111 |
| 3,4 | 0,1061 |
| 4 | 0,0876 |
| 4,5 | 0,0844 |
| 5,5 | 0,0838 |
| 6 | 0,0831 |

* + - Doneu una estimació del valor de *V*G,Isat (valor pel qual comença a conduir el canal del dispositiu MOSFET).

Tal i com veiem al circuit, en aquest MOSFET Vg és igual a Vi. En la nostra taula, podem veure que el canvi brusc es produeix al voltant de 2.52 i 3.04 Volts. Al laboratori, hauríem d’haver fet una aproximació més exacte entre aquests dos valors per aproximar Vg millor.

* + **Corrent consumit en una porta NMOS-estàtica**
    - Realitzeu una taula de la intensitat pels diferents valor de *V*i e indiqueu l’expressió que heu utilitzat per calcular la intensitat.

La intensitat compleix el següent:

Amb els valors de Vdd = 5 V i una R de 1 KΩ, en surt la següent taula:

|  |  |
| --- | --- |
| Vi (V) | I (mA) |
| 0 | 0 |
| 0.514 | 0 |
| 1.045 | 0 |
| 1.496 | 0 |
| 1.99 | 0 |
| 2.52 | 0 |
| 3.04 | 1.41 |
| 3.05 | 1.67 |
| 3.1 | 2.45 |
| 3.15 | 3.777 |
| 3.2 | 4.784 |
| 3.21 | 4.794 |
| 3.22 | 4.837 |
| 3.25 | 4.86 |
| 3.3 | 4.889 |
| 3.35 | 4.894 |
| 4 | 4.913 |
| 4.5 | 4.916 |
| 5.5 | 4.917 |
| 6 | 4.917 |

* + - Realitzeu una representació gràfica del corrent consumit en funció de la tensió *V*i.
    - Quina és la interpretació que doneu a la variació de *I* en funció de *V*i considerant el MOSFET com a un interruptor?

Quan Vi és zero o propera a zeros, considerem que no hi circula intensitat. En canvi, quan la Vi passa “a saturació”, és a dir, al voltant de 2.52 i 3.04 Volts, la intensitat canvia bruscament i agafa valors màxims. Això té una clara interpretació com a interruptor, ja que ràpidament passem de zero (apagat) a “1”, en el sentit de intensitat màxima (encès).

* + - Escriviu les expressions matemàtiques que descriuen l’estat de conducció d’un MOSFET. Mitjançant aquestes expressions, i fent servir les dades de la Taula 1, indiqueu l’interval de tensió *V*i aplicada que correspon a cada estat possible del transistor (tall, saturació o tríode).

En un MOSFET es compleixen matemàticament les següents condicions:

Llavors, com que sabem que la Vi ha d’estar 2,52 i 3,04 Volts, prenem per exemple una Vi de 2,65 Volts. Fins que Vi no és 2,65 Volts, la intensitat és zero, i sabem que si Id és zero, el transistor està en tall. Per tant, Vt és 2,65 Volts.

Saturació, en conseqüència, estarà entre aquest valor de tall, 2.65, i fins que la intensitat “s’estabilitza”, és a dir, fins aproximadament 3,15 Volts, tal i com podem veure a la taula.

Tríode finalment estarà doncs a partir aproximadament de 3,15 Volts.

* + **Potència consumida en una porta NMOS-estàtica**
    - Realitzeu una taula amb les variables *V*i, *V*o, *I*, *P*R (potencia consumida a la resistència) i *P*D (potencia dissipada al dispositiu NMOS).

Seguint que:

Tenim la següent taula:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Vi (V) | Vo (V) | I (mA) | PR (mW) | PD (mW) |
| 0 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| 0.514 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| 1.045 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| 1.496 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| 1.99 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| 2.52 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| 3.04 | 3.59 | 1.41 | 1.9881 | 5.0619 |
| 3.05 | 3.33 | 1.67 | 2.7889 | 5.5611 |
| 3.1 | 2.55 | 2.45 | 6.0025 | 6.2475 |
| 3.15 | 1.223 | 3.777 | 14.26573 | 4.619271 |
| 3.2 | 0.216 | 4.784 | 22.88666 | 1.033344 |
| 3.21 | 0.206 | 4.794 | 22.98244 | 0.987564 |
| 3.22 | 0.163 | 4.837 | 23.39657 | 0.788431 |
| 3.25 | 0.14 | 4.86 | 23.6196 | 0.6804 |
| 3.3 | 0.111 | 4.889 | 23.90232 | 0.542679 |
| 3.35 | 0.106 | 4.894 | 23.95124 | 0.518764 |
| 4 | 0.087 | 4.913 | 24.13757 | 0.427431 |
| 4.5 | 0.084 | 4.916 | 24.16706 | 0.412944 |
| 5.5 | 0.083 | 4.917 | 24.17689 | 0.408111 |
| 6 | 0.083 | 4.917 | 24.17689 | 0.408111 |

* + - En funció de la tensió d’entrada *V*i, feu un gràfic de la potència *P*R dissipada per la resistència i un gràfic de la potència *P*D dissipada pel transistor.
    - Tenim en compte els dos gràfics, quin es l’avantatge de tenir un dispositiu CMOS en lloc d’un NMOS-estàtic tal com s’ha utilitzat a la pràctica?

Els transistors CMOS van néixer de la unió dels NMOS amb els PMOS. D’aquesta manera, conté propietats dels dos. Per tant, el canvi brusc que es produeix el regularia millor canviant la tensió entre la seva part NMOS amb la seva part PMOS. A més a més, el CMOS és més senzill d’implementar, no necessita cap resistència.

* + **3. Funcionament d’una porta NOT**
    - Fent servir la Taula 1, afegiu-li una columna on assigneu el valor lògic de sortida del circuit en funció del voltatge *V*i aplicat. Expliqueu el criteri emprat per assignar el valor de “0” o “1” en tots els casos dubtosos.

Seguint també la Taula dos, veiem que fins que no arribem a la nostra tensió llindar (Vt) gairebé no hi ha intensitat. A partir de 2.65, doncs, comença a passar intensitat, i tot que és bastant petita, ja considerem que canviem l’estat lògic a 1.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Vi = Vs (V) | Vo = Vd (V) | Valor Lògic |
| 0 | 5 | 0 |
| 0,514 | 5 | 0 |
| 1,045 | 5 | 0 |
| 1,496 | 5 | 0 |
| 1,99 | 5 | 0 |
| 2,52 | 5 | 0 |
| 3,04 | 3,59 | 1 |
| 3,05 | 3,33 | 1 |
| 3,1 | 2,55 | 1 |
| 3,15 | 1,223 | 1 |
| 3,2 | 0,216 | 1 |
| 3,21 | 0,206 | 1 |
| 3,22 | 0,163 | 1 |
| 3,25 | 0,1403 | 1 |
| 3,3 | 0,1226 | 1 |
| 3,35 | 0,1111 | 1 |
| 3,4 | 0,1061 | 1 |
| 4 | 0,0876 | 1 |
| 4,5 | 0,0844 | 1 |
| 5,5 | 0,0838 | 1 |
| 6 | 0,0831 | 1 |

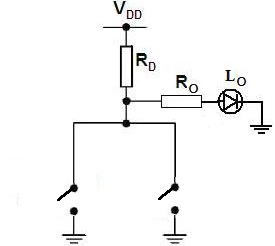
* **Porta LOG1** 
  + Convertiu els voltatges experimentals de la taula LOG1 en la taula de la veritat de la porta lògica LOG1 i expliqueu quina mena de funció lògica heu implementat amb el circuit.

Segons el nostre Excel, la porta LOG1 correspon a una porta lògica NOR, amb la seva taula de veritat corresponent, on en l’estat “ON” tenim un voltatge a Vo de 2,05 V i “OFF” un valor molt proper a zero:

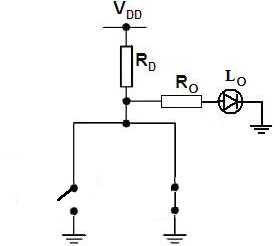
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Vi 1 | Vi 2 | Output |
| 0 | 0 | ON  OFF  OFF  OFF |
| 0 | 5 |
| 5 | 0 |
| 5 | 5 |

* + Dibuixeu 4 esquemes (anàlegs a les Figures 3.2 i 3.3) per als estats corresponents a les 4 combinacions possibles de *V*i,1 i *V*i,2, indicant per a cada cas el camí del corrent elèctric al llarg del circuit. Afegiu la explicació corresponent, en termes d’interruptors oberts/tancats i circuïts divisors de corrent. Verifiqueu que el voltatge *V*o mesurat al laboratori correspon al valor calculat amb una anàlisi teòrica del circuit.

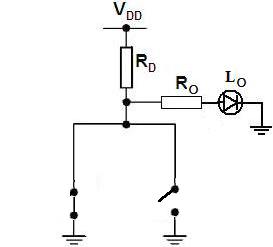
En la imatge a continuació veiem que els dos transistors estan en tall i per tant “funcionen” com dos interruptor oberts, causant així que el pas de la intensitat (marcat amb una fletxa blava) se’n vagi cap al LED, el qual s’il·lumina. Vgs dels dos transistors = 0; < Vt (2,65V)



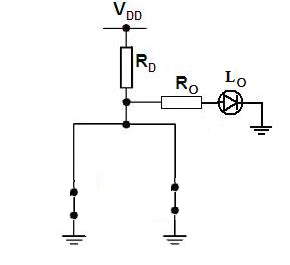
En la imatge a continuació podem veure que el transistor esquerre està en tall, i no hi passa corrent. El transistor dret, però, com que té una Vgs d’aproximadament 5 Volts, no està en tall (Vgs > Vt) i permetrà en conseqüència el pas del corrent. De la mateixa forma, la diferència de potencial que tenim a R2 és zero, causant així que no hi hagi intensitat i que el LED no s’il·lumini.



En aquest cas passa exactament el mateix que al cas anterior però amb l’alter transistor, és a dir, l’esquerre està tancat i el dret està en tall, causant el mateix efecte de que el LED no s’encengui.



En aquest quart i últim cas els dos transistors no estan en tall, ja que la Vgs d’ambdós transistors és més gran que la Vt (2,65 V). Com als casos anteriors, sabem que si no estan en tall hi circula un corrent, i que per tant els seus voltatges són zero. Si ambdós són ceros, la diferència de potencial a Ro és zero igualment, de manera que el LED no s’il·lumina.



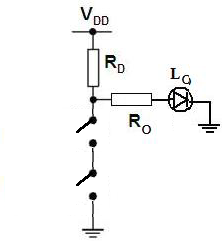
* + Convertiu els voltatges experimentals de la taula LOG2 en la taula de la veritat de la porta lògica LOG2 i expliqueu quina mena de funció lògica heu implementat amb el circuit.

Segons el nostre Excel, la porta LOG2 correspon a una porta lògica NAND, amb la seva taula de veritat corresponent, on en l’estat “” tenim un voltatge a Vo de 2,05 V i “OFF” un valor molt proper a zero:

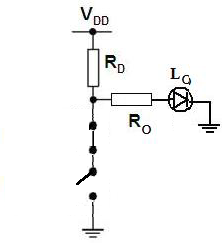
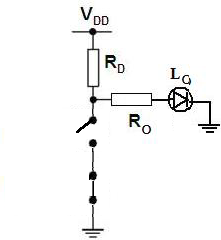
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Vi 1 | Vi 2 | Output |
| 0 | 0 | ON  ON  ON  OFF |
| 0 | 5 |
| 5 | 0 |
| 5 | 5 |

* + Dibuixeu 4 esquemes (anàlegs a les Figures 3.2 i 3.3) per als estats corresponents a les 4 combinacions possibles de *V*i,1 i *V*i,2, indicant per a cada cas el camí del corrent elèctric al llarg del circuit. Afegiu la explicació corresponent, en termes d’interruptors oberts/tancats i circuïts divisors de corrent. Verifiqueu que el voltatge *V*o mesurat al laboratori correspon al valor calculat amb una anàlisi teòrica del circuit.

Aquest primer cas es anàleg amb el primer cas de la porta anterior, ja que també tenim els dos transistors en tall (Vt > Vgs dels dos) i per tant la intensitat només pot anar cap al LED, forçant així una diferència de potencial que provoca que s’il·lumini el LED.



En canvi, en aquests dos següents casos només que el transistor superior estigui en tall, força que independentment del estat del segon transistor (l’inferior), hi circuli una intensitat que causi que el seu voltatge sigui zero. En conseqüència, la diferència de tensió en la Ro (V = R · I) sigui zero ja que tenim una intensitat nul·la.



En aquest últim cas els dos transistors no estan en tall, ja que les seves Vgs són més grans que la seva Vt, ja que 5 > 2,65 V. Això provoca que ambdós deixin passar el corrent, simulant un interruptor tancat. Per tant, tenim que els seus dos voltatges són zero, de manera que la diferència de potencial a la resistència Ro (V = R · I) també es zero. En conseqüència, no s’il·lumina el LED.

