

ELECTRÒNICA I

TRANSISTORS: FETs (JFET i MOSFET)

1. INTRODUCCIÓ

En aquesta pràctica estudiarem el comportament dels transistors d'efecte de camp, (Metal Oxid Semiconductor (MOSFET) i d'unió (JFET)). S'obtenen les corbes característiques dels diferents transistors.

2. CORBES CARACTERÍSTIQUES DEL MOSFET

El transistor MOSFET s'especifica utilitzant la instrucció

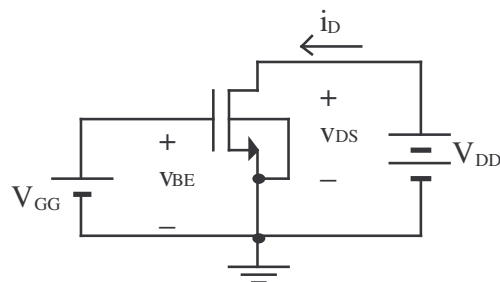
`MNOM <D> <G> <S> <B> <model> <W={val}> <L={val}>`

A on MNOM és el nom del dispositiu (fixau-vos que sempre ha de començar per M); <D>, <G>, <S> i són respectivament els terminals de drenador, porta, surtidor i substrat. W i L són les dimensions del canal del transistor, i s'han d'especificar per cada un dels transistors que es fan servir al disseny, ja que aquestes no tenen perquè ser les mateixes per tots ells. <model> és el nom del model que es farà servir.

El MOSFET no té característiques d'entrada donat que el corrent de porta i_G és nul. Les característiques de sortida del dispositiu són les gràfiques de la forma

$$i_D(v_{DS})|_{v_{GS}=Cte}$$

Per a representar-les amb SPICE editarem el circuit de la figura



Variant el valor dels generadors d'alimentació V_{DD} i V_{GG} varien simultàniament les tensions i corrents en el transistor. Per a visualitzar les corbes característiques és necessari fer un escombrat simultani de V_{DD} a dins l'escombrat de V_{BB} , utilitzant la instrucció

.DC < escombrat de V_{DD} > < escombrat de V_{GG} >

Començarem simulant transistors, diguem ideals, on el model de transistor emprat és el que s'ha analitzat a les classes teòriques. Per això especificarem els següents models :

```
.model NMOS_ACUM NMOS (KP=20u VTO=1V LAMBDA=0)
.model PMOS_ACUM PMOS (KP=10u VTO=-1.2V LAMBDA=0)
```

(Q1) Representar les característiques de sortida per a un transistor n-MOS d'acumulació amb $W = 3 \mu\text{m}$ i $L = 3 \mu\text{m}$. Varia V_{DD} entre 0 i 10 V en increments de 0.1 V donant a V_{GG} els valors 0, 1, 2, 3, 4 i 5 V.

(Q2) Comparau el resultat obtingut a la qüestió anterior amb els resultats vists al model explicat a classe. Repetiu la simulació anterior canviant el valor de LAMBDA a 0.05. Comparau i comentau el resultat.

(Q3) Representar les característiques de sortida per a un transistor p-MOS amb $W = 3 \mu\text{m}$ i $L = 3 \mu\text{m}$. Variar V_{DD} entre 0 i - 10 V en increments de - 0.1 V i donar a V_{GG} els valors 0, -1 , -2 , -3, -4 i -5 V.

(Q4) Comparau el resultat obtingut a la qüestió anterior amb els resultats vists al model explicat a classe.

(Q5) Calculau els valors de W i L que ha de tenir el transistor p-MOS per a que tengui el mateix valor de β que el transistor n-MOS amb $W = 3 \mu\text{m}$ i $L = 3 \mu\text{m}$. Simulau i comparau els corrents per els dos transistors. Discussiu el resultat.

Finalment passarem a simular un model de MOSFET d'acumulació corresponent a una tecnologia de fabricació de circuits integrats reals.

```
.MODEL NMOS NMOS
+ LEVEL      = 1      TOX      = 4.5E-08      VTO      = 0.8      UO      = 520
+ NSUB       = 2E+16   RSH      = 25          LAMBDA= 0.01
+ CJ         = 440U    MJ       = 0.5          CJSW     = 600P    MJSW    = 0.33
+ CGDO       = 320P    CGSO     = 320P         JS      = 10U     PB      = 0.7

.MODEL PMOS PMOS
+ LEVEL      = 1      TOX      = 4.5E-08      VTO      = -0.9     UO      = 210
+ NSUB       = 5E+15   RSH      = 80          LAMBDA= 0.03
+ CJ         = 150U    MJ       = 0.6          CJSW     = 600P    MJSW    = 0.33
+ CGDO       = 320P    CGSO     = 320P         JS      = 10U     PB      = 0.6
```

(Q6) Representar les característiques de sortida per a un transistor n-MOS amb $W = 3 \mu\text{m}$ i $L = 3 \mu\text{m}$. Varia V_{DD} entre 0 i 10 V en increments de 0.1 V donant a V_{GG} els valors 0, 1, 2, 3, 4 i 5 V.

(Q7) Dibuixau sobre la gràfica obtinguda a (Q7) les característiques de sortida del transistor n-MOS calculades amb el model vist a teoria, per la zona de saturació. Calculau β a partir de les dades del model, sabent que

$$\beta = \mu C_{OX} (W/L) = \mu (\epsilon_{OX}/T_{OX})(W/L)$$

a on μ és la mobilitat dels portadors en el canal, indicada en el model com UO ($\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$), i C_{OX} és la capacitat de l'òxid de porta per unitat de superfície i val $C_{OX} = \epsilon_{OX}/T_{OX}$, sent ϵ_{OX} la constant dielèctrica del silici ($3.45 \cdot 10^{-13} \text{ F/cm}$) i T_{OX} el gruix de l'òxid, indicat en metres en el model.

(Q8) Representar les característiques de sortida per a un transistor p-MOS amb $W = 3 \mu\text{m}$ i $L = 3 \mu\text{m}$. Variar V_{DD} entre 0 i -10 V en increments de -0.1 V i donar a V_{GG} els valors 0, -1, -2, -3, -4 i -5 V.

(Q9) Dibuixar sobre la gràfica de (Q9) les característiques de sortida del p-MOS calculades amb el model aproximat en la regió de saturació. Calculau β a partir de les dades del model.

(Q10) Calculau els valors de W i L que ha de tenir el transistor p-MOS per a que tenguí el mateix valor de β que el transistor n-MOS amb $W = 3 \mu\text{m}$ i $L = 3 \mu\text{m}$. Suposau que a n'aquesta tecnologia està limitat el valor mínim que pot tenir qualsevol dispositiu a $3 \mu\text{m}$.

3. CORBES CARACTERÍSTIQUES DEL JFET

El transistor JFET s'especifica utilitzant la instrucció

JNOM <D> <G> <S> <model>

A on JNOM és el nom del dispositiu (fitxau-vos que sempre ha de començar per J); <D>, <G>, i <S> són respectivament els terminals de drenador, porta i surtidor. <model> és el nom del model que es farà servir.

Com a model ideal es faran servir els següents :

```
.model n_jfet NJF (beta=1M VTO=-4V LAMBDA=0)
.model p_jfet PJF (beta=1M VTO=-2V LAMBDA=0)
```

Noteu que amb SPICE tan els transistors n com p es modelen amb VTO negatiu.

(Q11) Seguint l'esquema circuital emprat al transistor MOSFET, i polaritzant adequadament en cada cas, representau les corbes de funcionament dels transistors JFET de canal N i P dels models anteriors.