

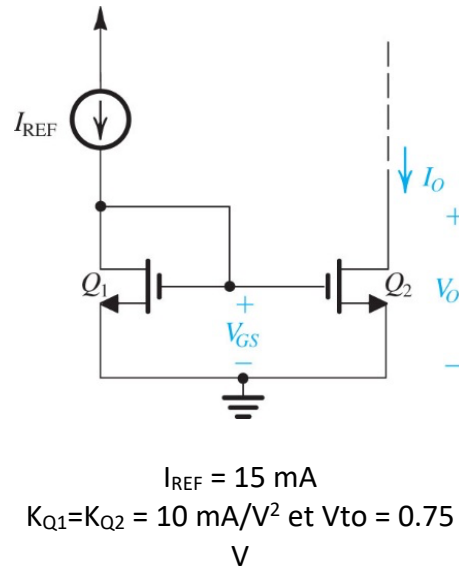
S2e APP5 – Examen formatif – solutionnaire

Hiver 2022

Le miroir de courant

Considérez le circuit suivant où les deux transistors Q_1 et Q_2 sont identiques et idéaux (sans effet Early, $r_o = \infty$).

- a) Dans quel régime est le transistor Q_1 ?
- b) Que vaut V_{GS} ?
- c) Dans quel régime est le transistor Q_2 ?
- d) Que valent la tension V_o et le courant I_o ?
- e) Que devient I_o si le $K_{Q2} = 3 \times K_{Q1}$?



Solution

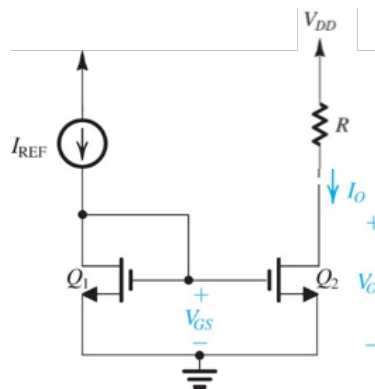
- a) On note que $V_{GS} = V_{DS}$ grâce au fils placé entre la grille et le drain.
Ainsi la condition de saturation $V_{DS} > V_{GS} - V_{to}$ est toujours respectée : Q_1 est forcément en saturation (I_{REF} n'impose aucune condition sur V_{DS}).
- b) La source I_{REF} impose un courant dans Q_1 : les tensions V_{GS} et V_{DS} sont induites de telle sorte que le courant I_{REF} circule dans Q_1 .
Ceci est possible parce que $V_{GS} = V_{DS}$ grâce au fils placé entre la grille et le drain.
On part ainsi de l'équation du courant de saturation
$$i_D = K(v_{GS} - V_{to})^2$$
pour laquelle seul V_{GS} n'est pas défini.
En isolant, on obtient $V_{GS} = 1.97 \text{ V}$.
- c) Q_2 n'est pas en cut-off car son $V_{GS,Q2}$ est égal au $V_{GS,Q1}$ de Q_1 .
Cependant, comme rien ne permet de déterminer la tension V_{DS} , on ne peut affirmer qu'il est en saturation.
- d) Considérant la conclusion de c), il y aura 2 solutions possibles :
Hypothèse 1 : en saturation $V_{DS,Q2} > V_{GS,Q2} - V_{to}$
Le courant I_o sera identique à I_{REF} si $V_o = V_{DS,Q2} > 1.22 \text{ V}$

Hypothèse 2 : en triode $V_{DS,Q2} < V_{GS,Q2} - V_{to}$
Il faut utiliser l'équation propre à ce régime.
Comme le courant est fonction de V_o et que celui-ci n'est pas spécifié, on ne peut donner le courant dans ce cas.

e) Le courant I_o sera triplé

Le miroir de courant (suite)

Quelle est la plus grande valeur de R qui permet de maintenir Q_2 en saturation?



$$I_{REF} = 15 \text{ mA}, V_{DD} = 5 \text{ V}$$

$$K = 10 \text{ mA/V}^2 \text{ et } V_{to} = 0.75 \text{ V}$$

Solution

Le courant I_o provoque une chute de tension dans R qui force V_o à

$$V_o = V_{DD} - RI_o$$

Considérant la condition $V_o > 1.22 \text{ V}$ trouvée en d), on en conclut que

$$V_{DD} - RI_o > 1.22 \text{ V}$$

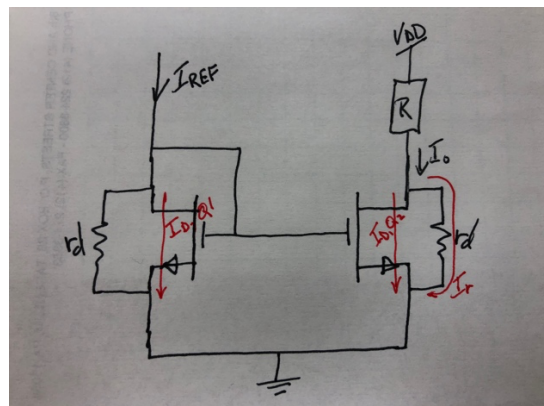
$$RI_o < V_{DD} - 1.22 \text{ V}$$

$$R < \frac{V_{DD} - 1.22 \text{ V}}{I_o} = 252 \Omega$$

Complément

Un transistor non idéal présente une dépendance de I_D en fonction de V_{DS} , i.e. I_D n'est pas constant en régime de saturation (Fig. 11.21 de Hambley).

Le circuit équivalent du miroir de courant ressemble plutôt à celui-ci où à chaque transistor idéal, on associe une résistance parasite qui relie le drain et la source.



Le courant $I_{D,Q1} = I_{REF} - I_{r,Q1} = I_{D,Q2}$ est le même si Q_1 est en saturation mais le courant dans r_d augmente lorsque V_{DS} augmente.

Le courant I_o n'est donc égal au courant I_{REF} qu'à la condition stricte $V_{DS,Q2} = V_{DS,Q1}$.

