

Examen Final: Circuits Intégrés Mixtes Analogique-Numérique

2ème Partie. Cours: H. Aboushady et D. Galayko

22 janvier 2007

- Durée 1h30.
- Tous les documents sont autorisés.
- L'examen est composé de 3 exercices:
- Poids indicatif de chaque exercice:
 - EXERCICE I : 6 points (H. Aboushady)
 - EXERCICE II : 10 points (H. Aboushady)
 - EXERCICE III : 4 points (D. Galayko)

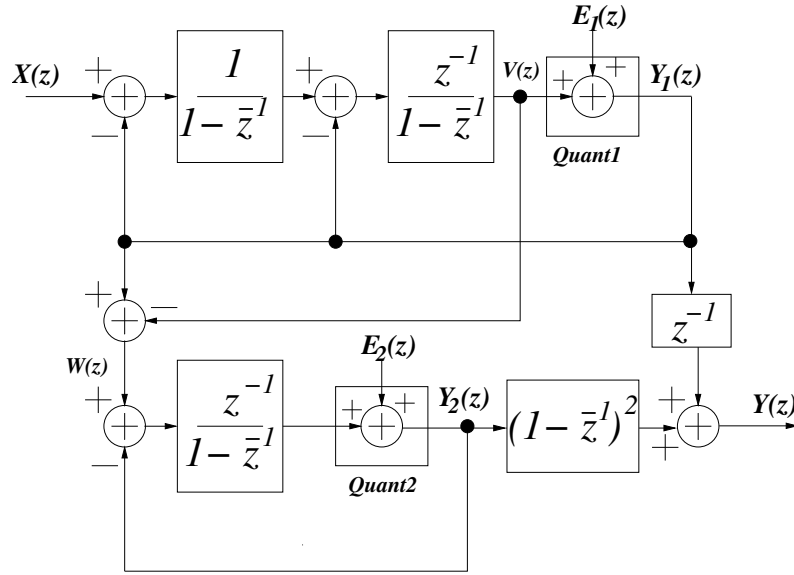


Figure 1:

Exercice I: (6 points)

Le modulateur Sigma-Delta, illustré dans la figure 1, contient 2 quantificateurs $Quant1$ et $Quant2$. Ces quantificateurs sont modélisés avec des modèles linéaires à l'aide des 2 sources de bruit $E_1(z)$ et $E_2(z)$.

- (I.1) Exprimez la sortie du 1^{er} quantificateur, $Y_1(z)$, en fonction de l'entrée, $X(z)$, et le bruit du 1^{er} quantificateur, $E_1(z)$.
- (I.2) Exprimez la sortie du 2^{eme} quantificateur, $Y_2(z)$, en fonction du signal, $W(z)$, et le bruit du 2^{eme} quantificateur, $E_2(z)$.
- (I.3) Exprimez le signal, $W(z)$, en fonction de $E_1(z)$. En déduire une expression pour $Y_2(z)$, en fonction de $E_1(z)$ et $E_2(z)$.
- (I.4) Exprimez la sortie du modulateur, $Y(z)$, en fonction de $Y_1(z)$ et $Y_2(z)$. En déduire une expression pour $Y(z)$, en fonction de $E_1(z)$, $E_2(z)$ et le signal d'entrée $X(z)$.
- (I.5) Quelle est la fonction de transfert du signal et la fonction de transfert du bruit de ce modulateur ? En déduire l'ordre de ce modulateur.
- (I.6) Quels sont les avantages et les inconvénients de cette architecture par rapport aux architectures classiques?

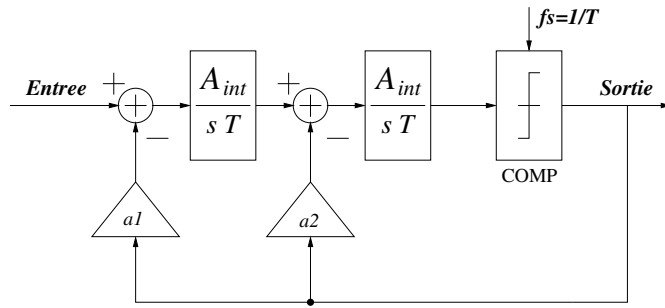


Figure 2:

Exercice II: (10 points)

Nous voulons réaliser un modulateur Sigma-Delta temps-continu (Figure 2) pour un convertisseur analogique numérique ayant les spécifications suivantes:

- Resolution = 8 bits.
- Bande passante du signal = 1 MHz.
- Ordre du modulateur = 2.
- Le rapport de suréchantillonnage, $OSR = 32$.
- Les gains des intégrateurs, $A_{int1} = A_{int2} = 0.5$.
- Les coefficients de rebouclage, $a_1 = 1$, $a_2 = \frac{3}{4}$.

D'après les simulations au niveau système, ce modulateur atteint un rapport signal sur bruit de quantification maximum de 52 dB. Ce SNR_Q est obtenu pour une amplitude du signal d'entrée de 0.5.

L'intégrateur mode courant, illustré dans la figure 3, possède les caractéristiques suivantes:

- la tension d'alimentation est de $v_{dd} = 1.6V$.
- les noeuds d'entrée et de sortie sont polarisés à $v_{dd}/2$.
- la tension drain-source de tous les transistors est égale à $v_{dd}/4$.
- la tension effective de grille du transistor M3, $V_{EG3} = 0.2V$.
- tous les transistors ont leurs "Bulk" relié à la "Source", $V_{BS} = 0V$.
- tous les transistors ont la même longueur, $L = 8\mu m$.
- l'indice de modulation de ce circuit $m = 1$.

Dans notre modulateur Sigma-Delta nous voulons que le bruit de quantification soit le bruit dominant. Pour cela, nous allons dimensionner ce circuit pour un rapport signal sur bruit thermique ($SNR_{TH} = 60dB$). (NB: Négliger l'effet du bruit en $1/f$).

- (II.1) Calculez la valeur de la capacité d'intégration, C_{int} .
- (II.2) Calculez la transconductance g_m du transistor M1. En déduire le courant de polarisation, I_0 .

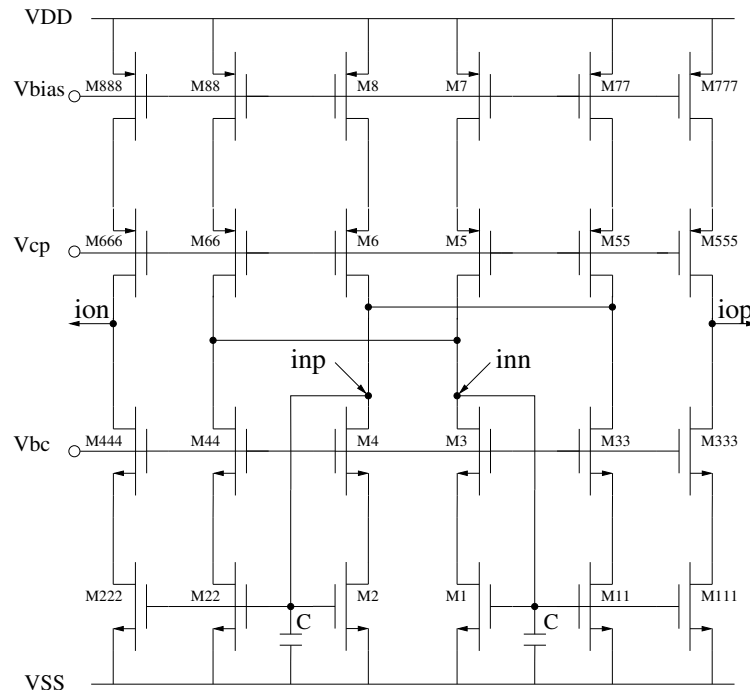


Figure 3:

- (II.3) Calculez les dimensions des transistors M1 et M3 (utiliser le tableau de la figure 4).
- (II.4) En supposant que les capacités grille-source des transistors sont les capacités parasites dominantes, quelle est la somme des capacités parasites aux noeuds *inp* et *inn*? ($C_{GS} = \frac{2}{3}C_{ox}WL$).
- (II.5) Quelle doit être, dans ce cas, la valeur de la capacité C ?
- (II.6) Proposez des valeurs pour les gains des intégrateurs, A_{int1} et A_{int2} , et les coefficients de rebouclage, a_1 et a_2 , afin d'obtenir une valeur plus adéquate pour la capacité C ?
- (II.7) Répétez les exercices (II.1) à (II.5) pour ces nouveaux gains et coefficients.

Relations utiles:

- La constante de boltzman à température ambiante: $4kT = 1.66 * 10^{-20}VC$.
- $C_{ox} = \frac{\epsilon_{ox}}{t_{ox}}$, la perméabilité de l'oxyde de silicium: $\epsilon_{ox} = 34.5 * 10^{-12}F/m$

Table 2.1 Level 1 SPICE Models for NMOS and PMOS Devices.

NMOS Model			
LEVEL = 1	VTO = 0.7	GAMMA = 0.45	PHI = 0.9
NSUB = 9e+14	LD = 0.08e-6	UO = 350	LAMBDA = 0.1
TOX = 9e-9	PB = 0.9	CJ = 0.56e-3	CJSW = 0.35e-11
MJ = 0.45	MJSW = 0.2	CGDO = 0.4e-9	JS = 1.0e-8
PMOS Model			
LEVEL = 1	VTO = -0.8	GAMMA = 0.4	PHI = 0.8
NSUB = 5e+14	LD = 0.09e-6	UO = 100	LAMBDA = 0.2
TOX = 9e-9	PB = 0.9	CJ = 0.94e-3	CJSW = 0.32e-11
MJ = 0.5	MJSW = 0.3	CGDO = 0.3e-9	JS = 0.5e-8

VTO: threshold voltage with zero V_{SB} (unit: V)

GAMMA: body effect coefficient (unit: $V^{1/2}$)

PHI: $2\Phi_F$ (unit: V)

TOX: gate oxide thickness (unit: m)

NSUB: substrate doping (unit: cm^{-3})

LD: source/drain side diffusion (unit: m)

UO: channel mobility (unit: $cm^2/V/s$)

LAMBDA: channel-length modulation coefficient (unit: V^{-1})

CJ: source/drain bottom-plate junction capacitance per unit area (unit: F/m^2)

CJSW: source/drain sidewall junction capacitance per unit length (unit: F/m)

PB: source/drain junction built-in potential (unit: V)

MJ: exponent in CJ equation (unitless)

MJSW: exponent in CJSW equation (unitless)

CGDO: gate-drain overlap capacitance per unit width (unit: F/m)

CGSO: gate-source overlap capacitance per unit width (unit: F/m)

JS: source/drain leakage current per unit area (unit: A/m^2)

Figure 4: Attention aux unités de la mobilité !

Exercice III: (4 points)

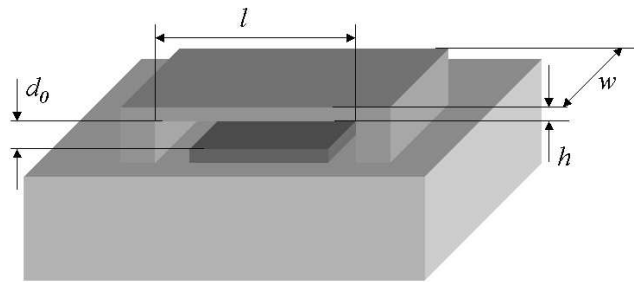


Figure 5:

Le résonateur microélectromécanique, illustré dans la figure 5, a été réalisé dans une technologie MEMS de couche mince. La structure comporte :

- un élément résonant de type poutre encastrée-encastrée réalisée en polysilicium dopé ;
- un transducteur capacitif réalisé grâce à une électrode en métal posée en dessous de la poutre.

Ainsi, le résonateur peut vibrer dans le sens vertical au substrat. Le dessin donne les dimensions géométriques de la structure : pour le résonateur (longueur l , largeur w , épaisseur h) et pour le transducteur (gap d_0). La superficie du transducteur capacitif est S_t .

QUESTION A CHOIX MULTIPLES:

Quelle est la manière la plus efficace de minimiser la résistance motionnelle R_x du résonateur?

1. Multiplier S_t par deux .
2. Multiplier d_0 par deux .
3. Diviser d_0 par deux .
4. Diviser S_t par deux .

Commentez la réponse.

(NB: la résistance motionnelle R_x : c'est l'impédance électrique du résonateur à la fréquence de résonance).