

Partie A : Principes généraux mis en œuvre.

A1) Il s'agit de vérifier si les éléments fournis par le dossier de présentation ont été assimilés par le candidat. On donne F_e [4340 MHz, 4463 MHz], $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

A1.1 - Donnez la valeur numérique de K reliant l'altitude à la durée du signal « en dent de scie ».

A1.2 - Précisez son unité.

A2) Calculez toujours à l'aide du dossier de présentation :

A2.1 - Les altitudes h par rapport au sol en pieds.

A2.2 - Les altitudes z en pieds et en mètres.

A2.3 - Les durées de la dent de scie T_m .

Pour cela vous complétez le tableau ci - dessous.

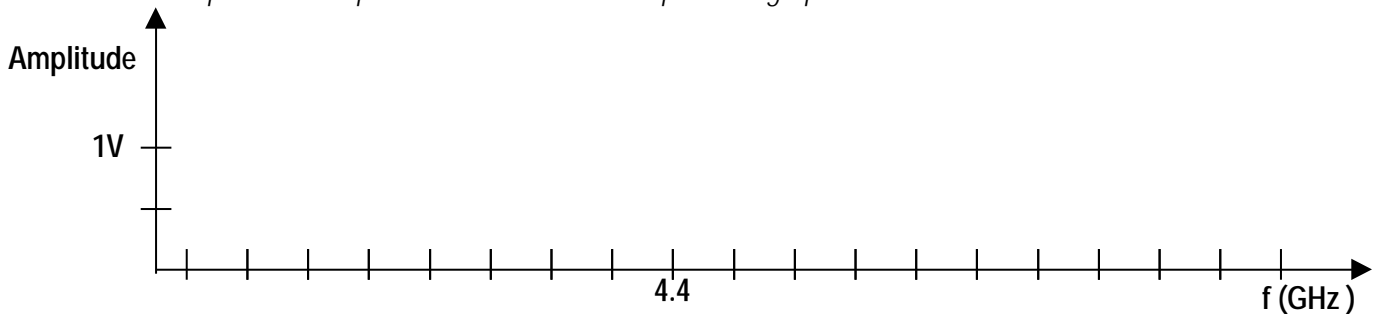
h en pieds	z en pieds	z en mètres	T_m en s
	30000		
		1000	
	40		

A3) Modulation en fréquence de l'émetteur.

A3.1 - Donnez l'excursion en fréquence δF de l'émetteur.

A3.2 - Rappelez dans le cadre d'une modulation de fréquence l'expression de l'indice de modulation m en fonction de l'excursion de fréquence δF et f_m la fréquence du modulant.

A3.3 - En supposant que m vaut 5 et que la porteuse est à 4.4 GHz, représentez en utilisant la table des fonctions de **Bessel** (document dossier technique **DT1**) le spectre d'amplitude. L'amplitude de la porteuse vaut 3.16V. Complétez le graphe ci-dessous :

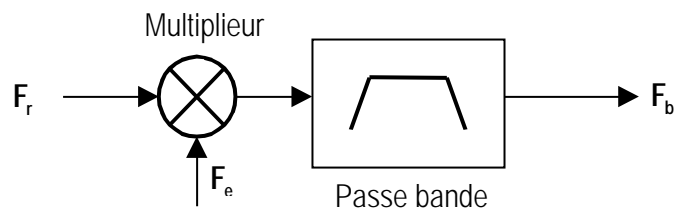


A3.4 - Calculez la puissance portée par l'ensemble des raies de ce spectre sur une antenne d'impédance 50Ω . Donnez l'avantage de la modulation de fréquence dans le cadre de l'émission de la puissance.

A3.5 - En utilisant la règle de **Carson** précisez la bande passante utile du signal émis.

A4) Principe de la soustraction de fréquence.

L'étage soustraction de fréquence répond au synoptique suivant :



A4.1- Expliquez le principe de la récupération de la fréquence F_b : Précisez en particulier le rôle du multiplieur, la fréquence centrale du filtre passe bande et sa bande passante.

A4.2 - Le multiplieur proposé dans la documentation peut-il convenir pour cette application ? Vérifiez que les plages de fonctionnement pour F_b , F_e et F_r sont compatibles avec les spécifications techniques du mélangeur.

Partie B : Bilan de liaison.

On rappelle que :

La puissance émise P_e depuis l'avion par l'antenne émettrice du Radio Altimètre est constante.

La puissance reçue P_r après réflexion au sol dépend de l'altitude de l'appareil et de la nature du sol.

Pour conserver à l'entrée du discriminateur (**FS24**) un niveau de tension constant de **10V** le radioaltimètre comporte une fonction amplification variable (**FS22**). Ces deux fonctions secondaires seront étudiées plus loin.

On va déterminer la variation du gain G due à une variation d'altitude de **40** à **30000** pieds et supposer que les conditions de propagation sont constantes : Pas de pertes dues à la réflexion de l'onde sur le sol ni à des variations de condition atmosphériques (pluie, brouillard, beau temps ...).

B1)

*B1.1 - Montrez que le **Gain G** entre la puissance reçue P_r à une altitude z (en pieds) et la puissance reçue quand l'avion est au sol P_{r0} peut se mettre sous la forme :*

(Voir dossier de présentation).

$$G = 20 \log \frac{40}{z}$$

B1.2 - Calculez ce gain pour les valeurs suivantes : **30000** pieds, **3276** pieds, **40** pieds.
 Complétez le tableau ci-dessous :

30000 pieds	3276 pieds	40 pieds

B1.3 - Connaissant l'étendue de mesure du radioaltimètre déterminez la dynamique de gain **DyG** en **dB** que doit posséder l'amplificateur à gain variable pour compenser la variation de puissance reçue selon l'altitude.

B2) On définit le **gain d'une antenne** $G_{e\text{dBi}}$ par : le rapport entre la puissance qu'il faudrait fournir à une antenne isotrope (qui rayonne la même densité de puissance dans toutes les directions de l'espace) et celle qu'il faut fournir à l'antenne considérée pour produire la même intensité de rayonnement dans une direction donnée (en **dB**i) .

$$G_{e\text{dBi}} = 10 \log \frac{P_e}{P_{e\text{isotrope}}}$$

Le gain d'une antenne isotrope vaut **0 dB**i. Le *i* dans **dB**i signifie isotrope.

L'antenne d'émission envoie de la puissance selon un diagramme de rayonnement qui en fait constitue une direction privilégiée de l'espace représentable par un angle solide.

Cette puissance rayonnée P_{er} par l'antenne sera la puissance émise fournie par l'émetteur P_e à l'antenne multipliée par le gain de l'antenne G_e .

En **dB** :

$$P_{er\text{dBm}} = P_{e\text{dBm}} + G_{e\text{dBi}}$$

A une distance **d** de l'antenne d'émission, la densité surfacique de puissance reçue vaut :

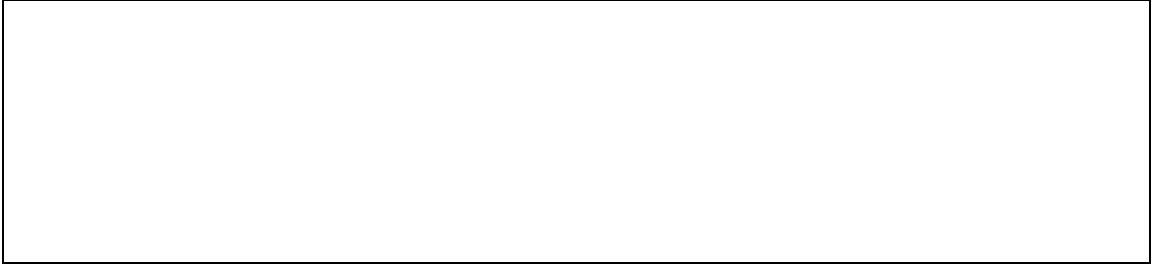
$$DP_r = \frac{P_{er}}{4\pi d^2} \text{ en W/m}^2$$

Le gain de l'antenne de réception G_r est relié à la longueur d'onde du signal émis λ et à la surface

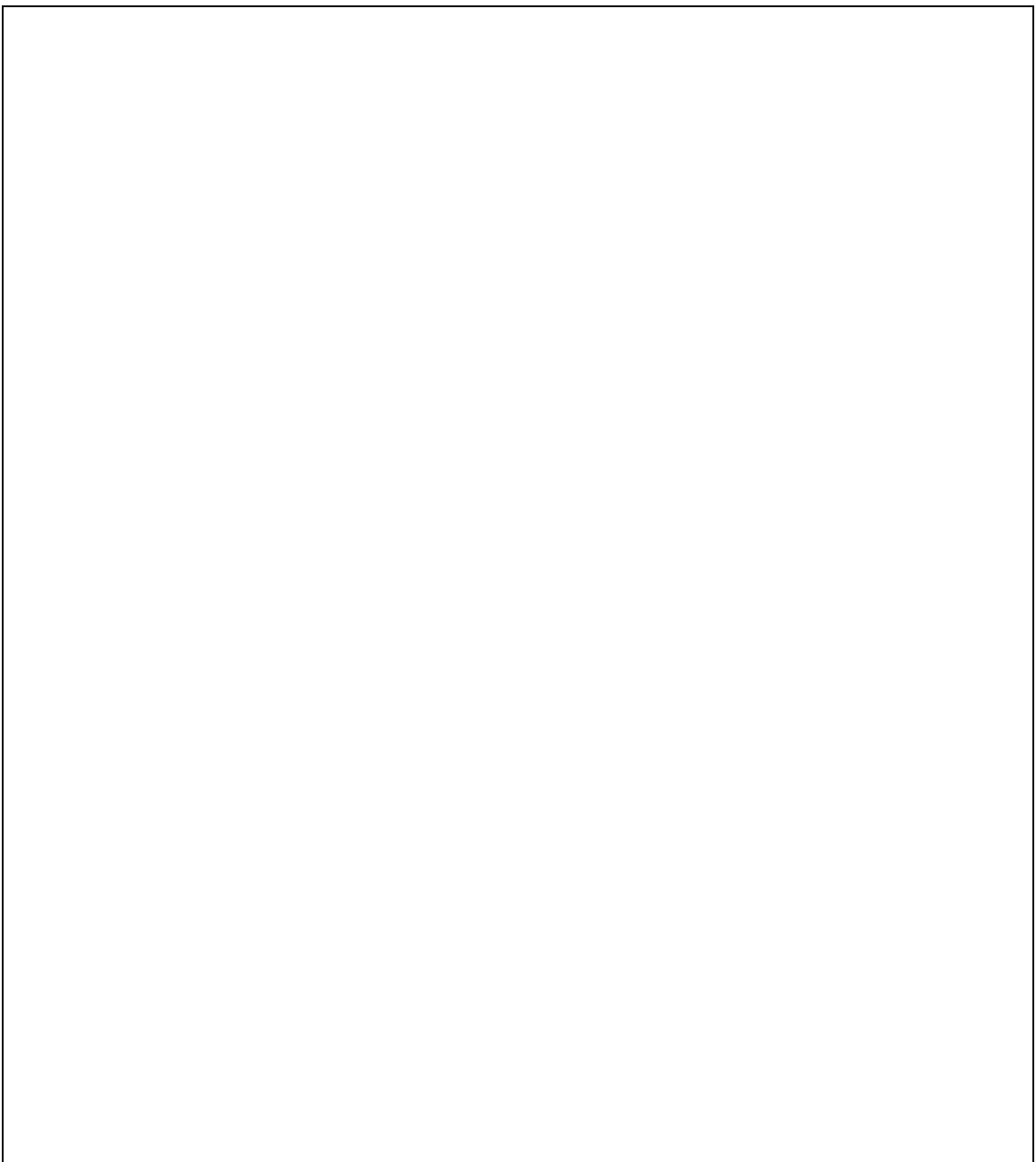
équivalente de réception S_{eq} par :

$$G_r = \frac{4\pi S_{eq}}{\lambda^2}$$

B2.1 - Etablissez la relation entre la densité de puissance reçue, la surface équivalente de réception et la puissance reçue P_r . Précisez les unités.



B2.2 - Montrez que en prenant le coefficient de pertes K_p égal à **1**, on obtient la formule liant P_r et P_e donnée dans le dossier de présentation.



B2.3 - Calculez en **dBm** la puissance reçue pour un signal émis de **0.1W**, de fréquence **4.4GHz** à une altitude de **30000** pieds sachant que les gains respectifs de l'antenne d'émission et de réception valent **21 dBi** et **21 dBi**.

B2.4 - Effectuez le même calcul pour une altitude de **40** pieds.(Application numérique seulement).

B2.5 - Donnez en volts la valeur efficace de la tension obtenue aux bornes de l'antenne V_{eff} de réception sachant que l'impédance de cette dernière vaut **50Ω**. On effectuera ce calcul pour les altitudes de **30000** et **40** pieds.

Partie C : Etude de la fonction FS22 : Amplificateur à gain variable

On se propose d'étudier le gain de **FS22** pour une fréquence de battement F_{bo} de **25 kHz** ainsi que le fonctionnement du convertisseur.

On se reporte au schéma structurel relatif à **FS22**. (Voir documentation constructeur en **DP22**). Utilisez la documentation technique concernant le **CNA AD 7524**. $N_{G\#}$ désigne le mot binaire $G_7 \dots G_0$

C1)

C1.1 - Pour un V_{ref} fixe et stable donnez la définition de la résolution et du quantum q . Précisez leur valeurs pour $V_{ref} = 1V$.

*C1.2 - Quel est le rôle de **MA1/1** ? Justifiez..*

*C1.3 - On considère maintenant que V_{ref} est une tension sinusoïdale V_r variable en fonction de l'altitude de l'avion, de fréquence **25kHz**. Montrez en utilisant la documentation constructeur citée précédemment que le Gain en tension de la structure composée par **MN1-MA1/1** peut se mettre sous la forme :*

$$\text{GAIN1} = 20 \log \frac{N_{G\#}}{256}$$

C1.4 - Calculez ce Gain pour $N_{G\#} = 1$ et $N_{G\#} = 256$.

C1.5 - Donnez la Dynamique du gain **DyG1** de cette structure **en dB**.

C1.6 - Calculez en fonction du bit **G8** le gain **GAIN2** de la structure composé de **MN1/2**, **Q3** et les **composants qui l'entourent**. Ceci pour la fréquence de **25kHz**.

C1.7 - Donnez la Dynamique du gain **DyG2** de cette structure en **dB**.(MN1/2 , Q3 ...)

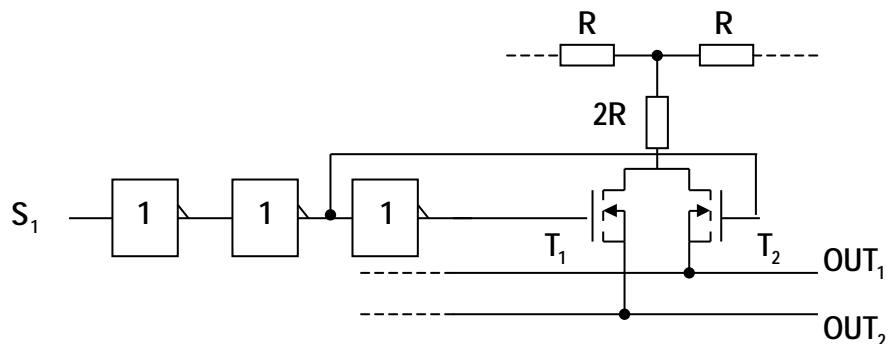
C1.8 - Donnez alors la dynamique totale du gain **DyT** que permet d'obtenir la structure relative à **FS22** en **dB**.

C1.9 - Complétez le tableau ci-dessous en précisant la valeur des bits de **G0** à **G8** pour les différentes altitudes de l'avion données.

z en pieds	G ₈	G ₇	G ₆	G ₅	G ₄	G ₃	G ₂	G ₁	G ₀
30000									
3276									
40									

C1.10 - De quelle marge de gain **DyP** en **dB** l'avion dispose-t-il dans le cas de mauvaises conditions de propagation ? Peut-elle compenser la variation de puissance due aux variations d'altitude de l'avion dans l'étendue de mesure de l'altimètre ?

C2) On considère ici que $V_{ref} = 1V$. Le schéma équivalent de la structure interne **R-2R** pour la commande d'un commutateur du convertisseur utilisé est le suivant :

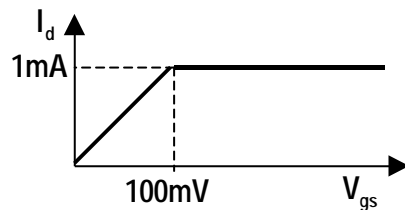


La valeur d'une résistance **R** est **10kΩ** avec une très grande précision.

Chaque commutateur de courant comprend 3 inverseurs logiques CMOS et **2 Transistors MOS à enrichissement canal N**.

C2.1 - Donnez les conditions de conduction des transistors T_1 et T_2 en fonction de la valeur de la tension sur leurs grilles.

On peut assimiler la caractéristique $I_d(V_{gs})$ d'un MOS à :



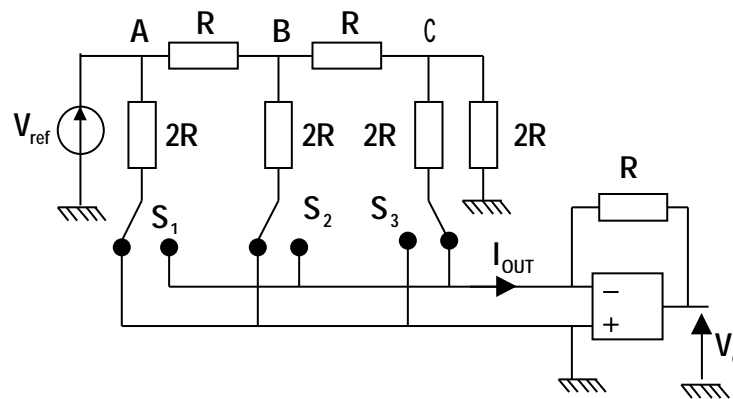
C2.2 - Calculez le courant maximal qui peut transiter au travers d'une résistance $2R$. D'après la caractéristique fournie ci-dessus, en déduire le mode de fonctionnement du transistor en conduction. Donnez le schéma équivalent d'un transistor dans ce mode.

C2.3 - Précisez sous forme littérale l'influence du commutateur sur la valeur de $2R$.

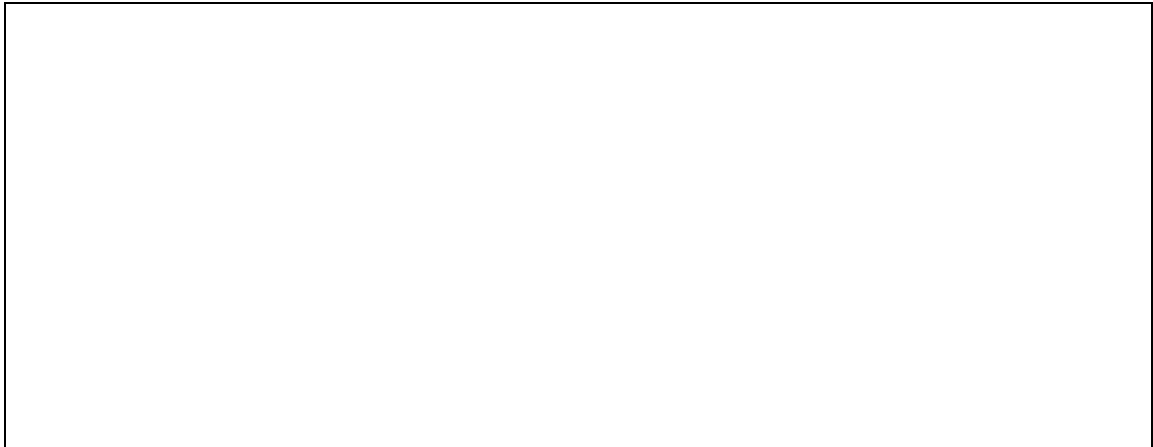
C2.4 - Quelle limitation la technologie CMOS impose t- elle au convertisseur ? Quel est le temps d'établissement d'un courant de sortie correspondant à un nombre $N_{G\#}$ donné ?

C3)

C3.1 - Dans le cas d'un convertisseur 3 bits donnez l'expression du courant I_{OUT} en fonction des bits s_1, s_2, s_3 de commande des commutateurs internes et de la tension V_{ref} . Il est demandé une démonstration claire et concise.



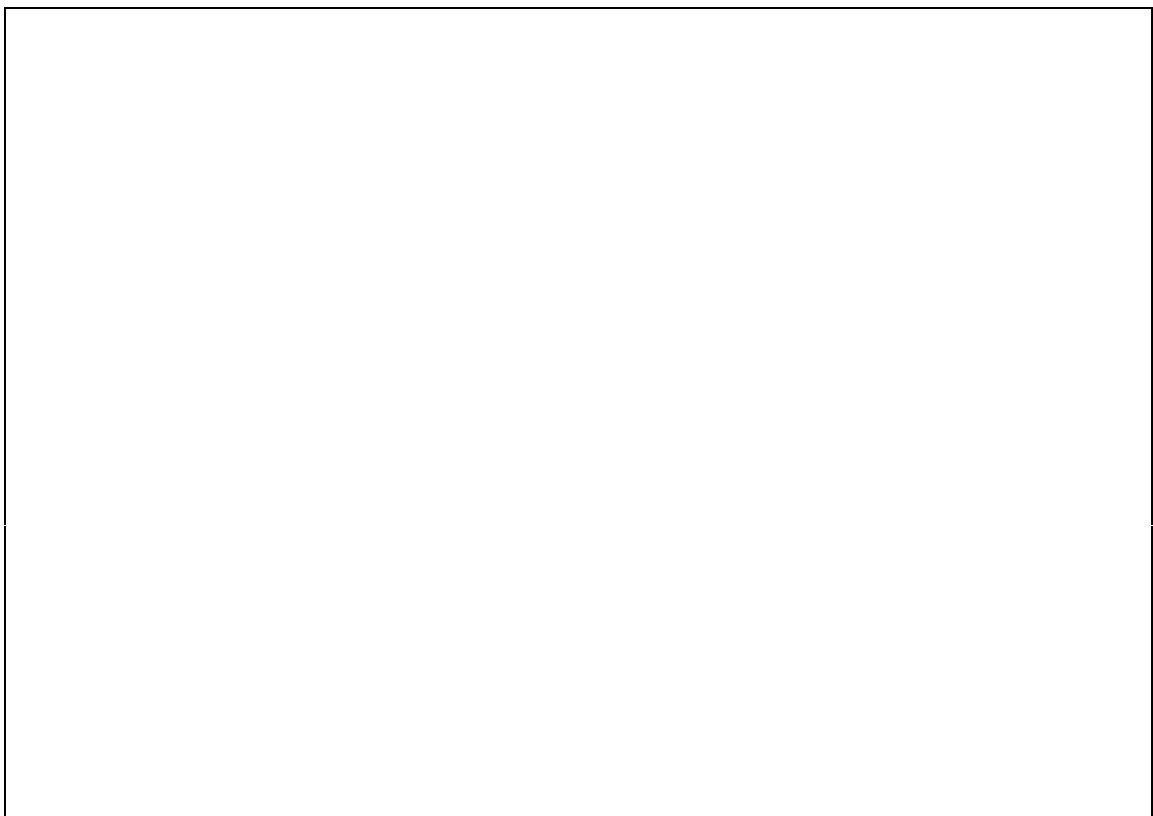
C3.2 - En se reportant au schéma structurel de **FS22**, déduire des calculs précédents l'expression de V_o sur la broche **1** de l'ALI **MA1/1** en fonction de $s_1, s_2 \dots s_8$ et V_{ref} . Puis en fonction de V_{ref} et de $N_{G\#}$.



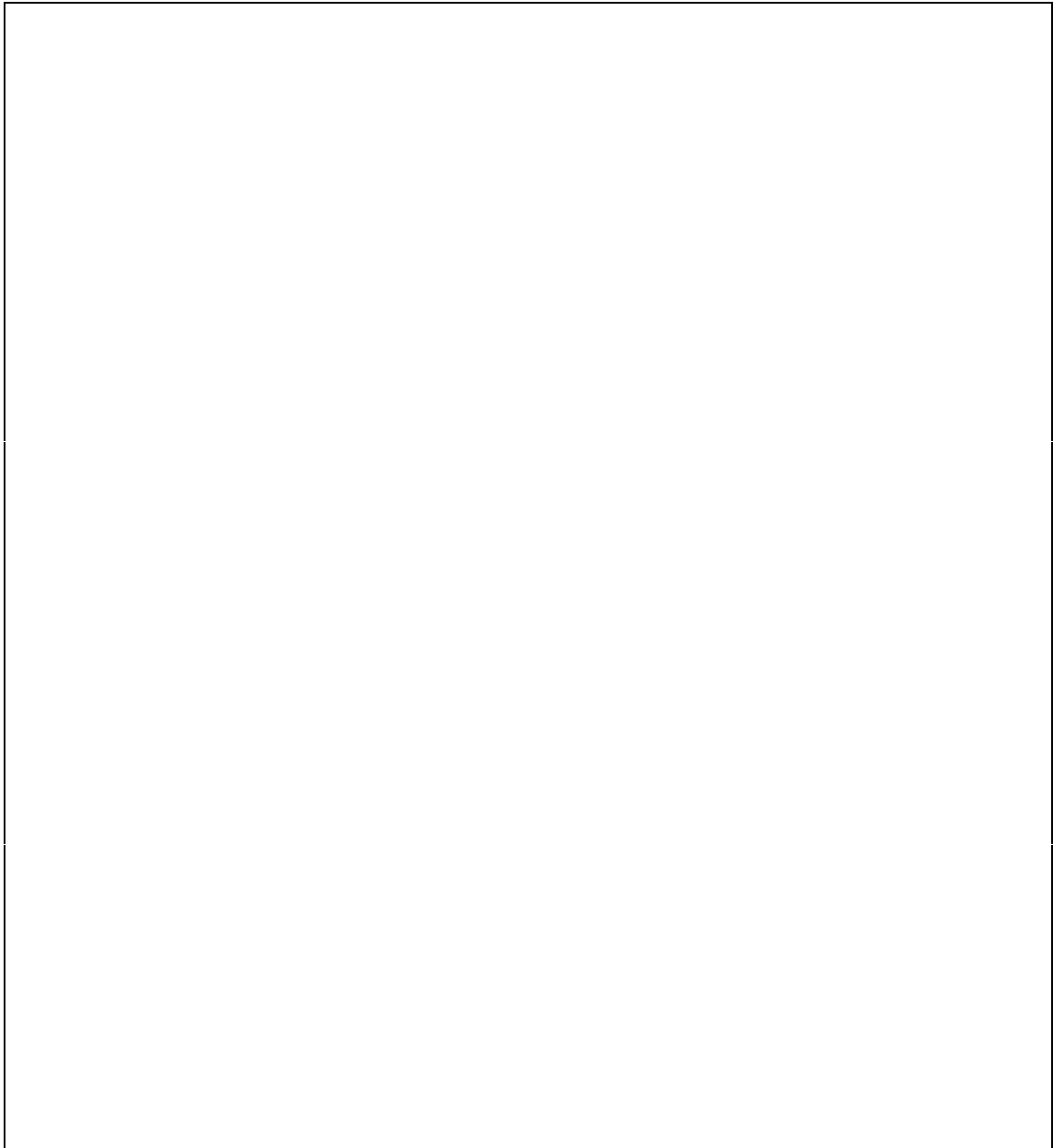
C3.3 - Justifiez à l'aide du document constructeur du convertisseur le rôle du condensateur **C9** connectée sur **MA1/1**. Quelle caractéristique de **MA1/1** compense t- il ?



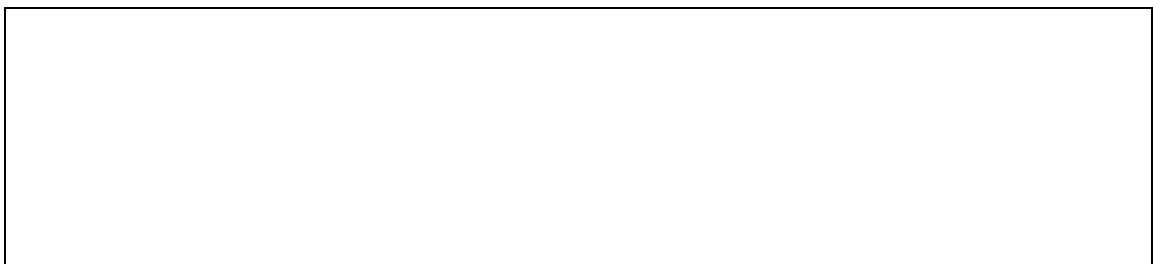
C3.4 - Calculez la résistance équivalente vue par l'entrée inverseuse de l'ALI **MA1/1**.



C3.5 - Calculez le gain et la phase de la fonction de transfert $\frac{V_o}{V_{ref}}$ et tracez sur le document réponse **DQ27** le diagramme de Bode pour $N_{G\#} = 64$.



C3.6 - Quel rôle peut avoir cette structure pour la stabilité de la tension obtenue en sortie de **FS22**. Le système est-il plus précis ? Justifiez.



Partie D : Etude de la fonction FS24 : Discriminateur

Cette partie concerne l'étude du discriminateur qui va donner une tension V_e caractérisé par l'écart entre la fréquence du signal reçu F_b et la fréquence F_{bo} : $V_e = K.(F_b - F_{bo})$

D1)

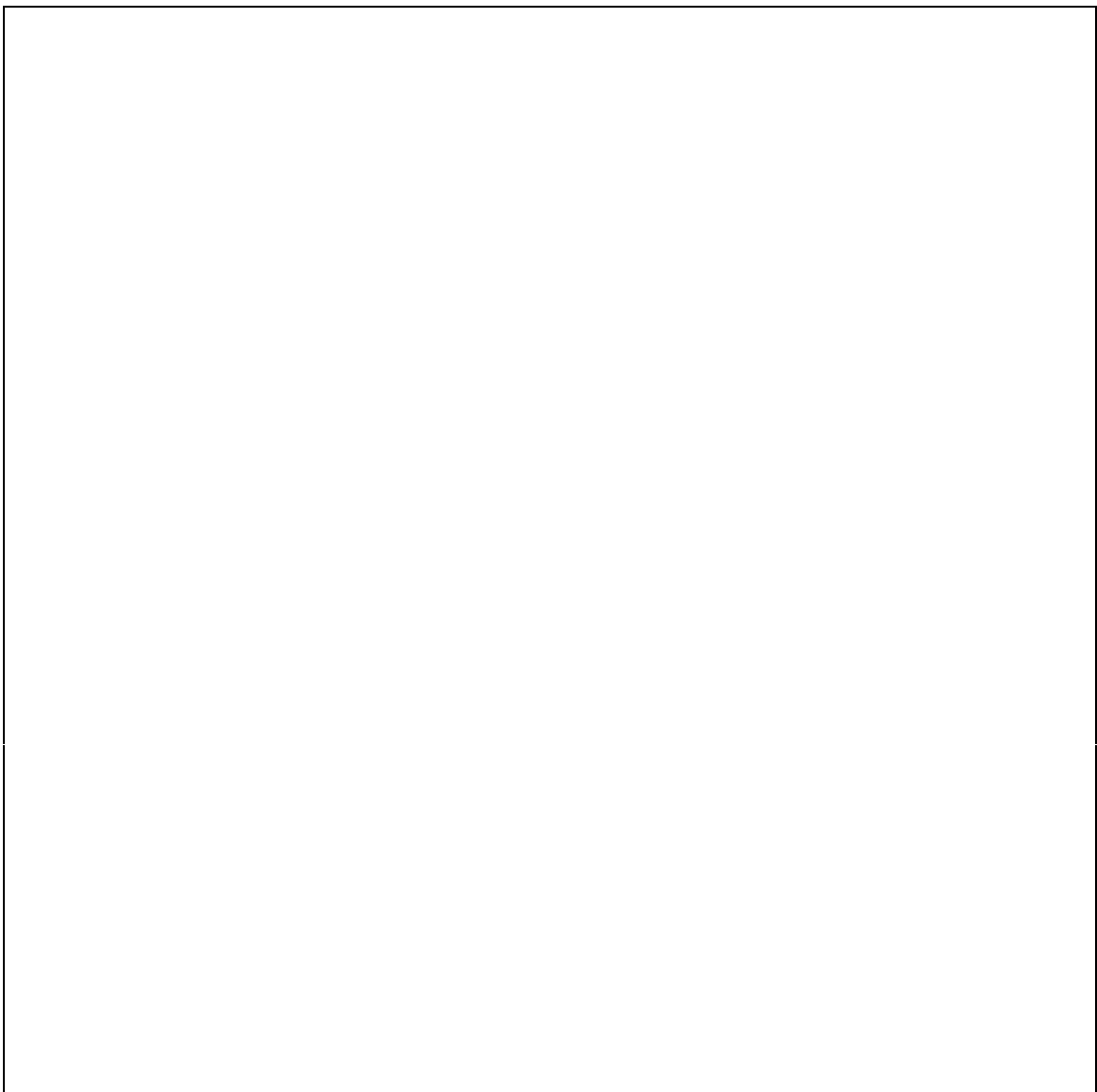
*D1.1 - Reconnaître la structure du filtre présent par deux fois dans la fonction **FS24**. On pose $C21 = C22 = C$. Calculez sa fonction de transfert. La mettre sous la forme :*

$$T(j\omega) = \frac{A_o}{1 + jQ_o \left(\frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_o}{\omega} \right)}$$

D1.2 - Quel est le type de filtre obtenu. Identifiez et exprimez à l'aide des composants **R31**, **R32**, **R33** et **C** le Facteur de Qualité Q_0 , la pulsation centrale ω_0 et l'amplification A_0 .



D1.3 - Calculez la bande passante à **-3dB** sous forme littérale.



D2)

D2.1 - Déterminez les valeurs de $R32$, $R33$ avec $C21 = C22 = 680\text{Pf}$ et $R31 = 48.7\text{k}\Omega$ pour obtenir : $A_{o1} = -1.026$, $f_{o1} = 26\text{kHz}$, $Q_{o1} = 5.55$. (Les résistance sont de précision à 0.1%).

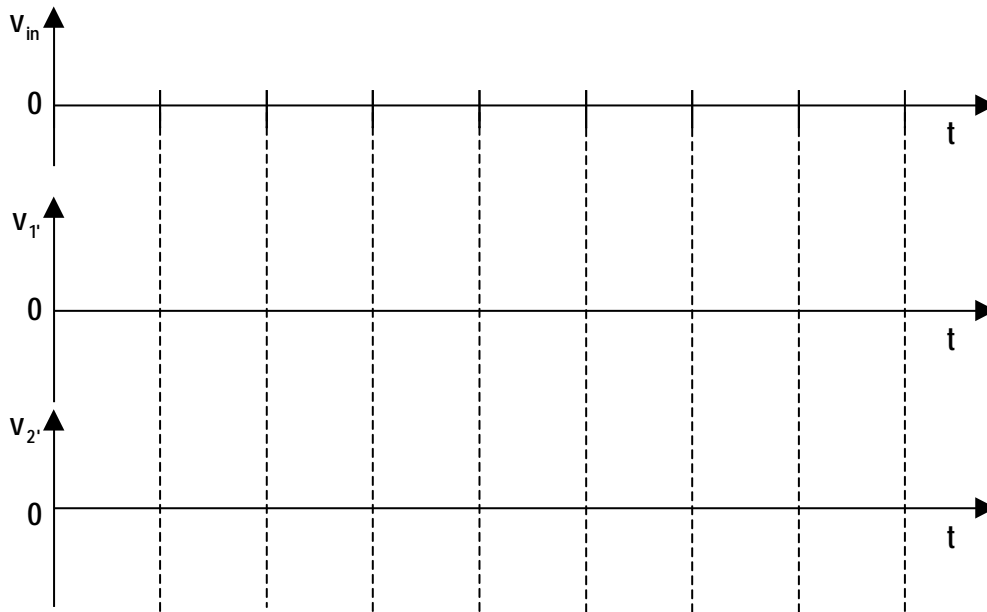
D2.2 - On donne $R34 = 48.7\text{k}\Omega$, $R35 = 953\Omega$, $R36 = 100\text{k}\Omega$ et $C23 = C24 = 680\text{pF}$.
Calculez A_{o2} , f_{o2} , Q_{o2} . Précisez la technologie des condensateurs.

D3)

D2.3 - Tracez le gain du diagramme de bode des deux filtres sur le document réponse **DQ28**.

D3.1 - L'amplitude du signal sinusoïdal à l'entrée du discriminateur vaut **10V**.
Pour $F_b = f_{o1}$ Calculez les amplitudes V_1 et V_2 des signaux $v_1(j\omega)$ et $v_2(j\omega)$ à la sortie des deux filtres. Faire de même pour $F_b = f_{o2}$.

D3.2 - On déconnecte le condensateur **C25** de la structure . Donnez l'allure des tensions v_1 et v_2 , après les diodes **D11** et **D12**.



D3.3 - On connecte **C25**. Quelle fonction réalise cette structure. Calculez sa fonction de transfert. v_1 et v_2 sont de la forme : $V_0 + V_{01}.\text{Sin}(\omega_b t) + V_{02}.\text{Sin}(2\omega_b t) + \dots$

On pose $R_{37} = R_{38} = R_{39} = R = 10k\Omega$.

D3.4 - On suppose que $\frac{3}{RC} \ll \omega_b$. Dimensionnez **C25** afin de ne récupérer que la composante continue des tensions v_1 et v_2 après les diodes **D11** et **D12**. Calculez sous forme littérale la valeur moyenne de v_1 et v_2 pour un signal d'entrée V_{in} de fréquence F_b .

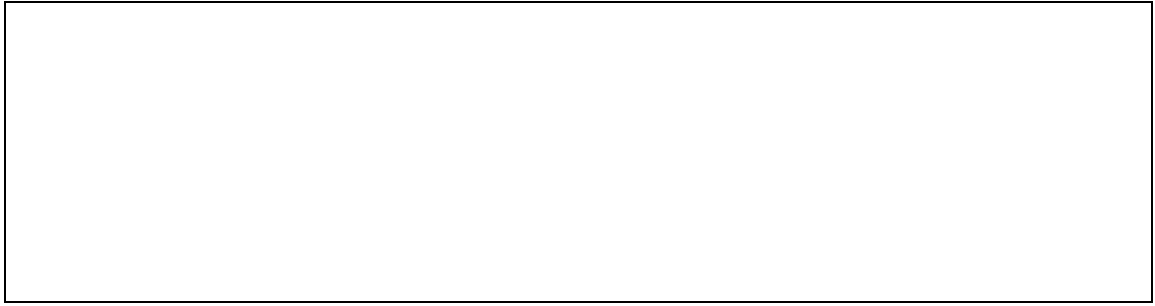
D3.5 - Calculez la valeur de la tension $V_e(F_b)$ en fonction de la valeur moyenne de v_1 et v_2 .

D4)

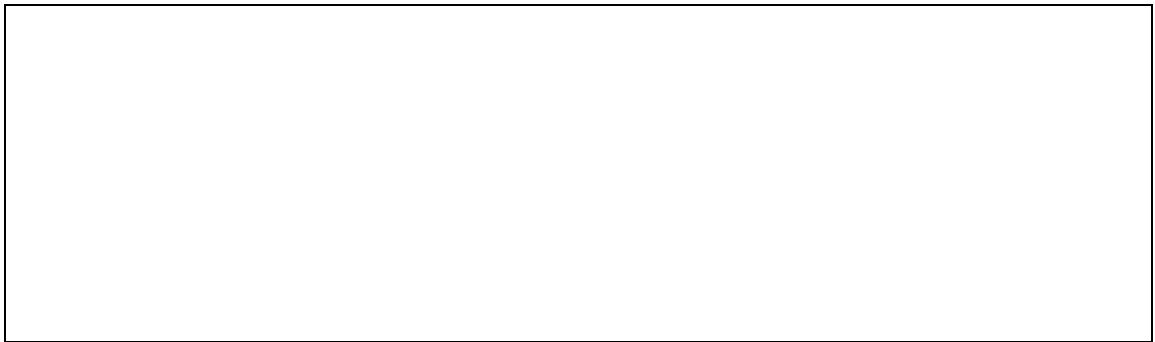
On suppose que la tension de sortie est une **fonction linéaire de F_b** .

D4.1 - Calculez **A** et **B** dans l'expression de $V_e(F_b) = A.F_b + B$

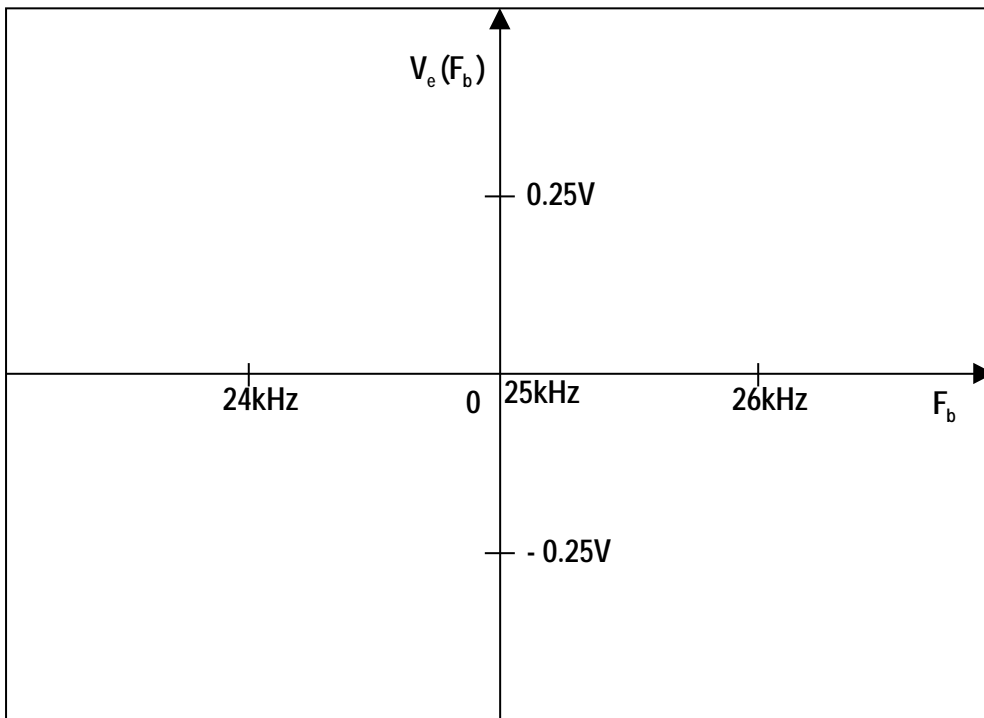
D4.2 - Montrez que l'on peut mettre $V_e(F_b)$ sous la forme $K(F_{b0} - F_b)$.



D4.3 - Calculez K et F_{b0} .



D4.4 - Représentez l'évolution de $V_e(F_b)$ pour F_b compris entre f_{01} et f_{02} .



Partie E : Synthèse de la fonction FP3

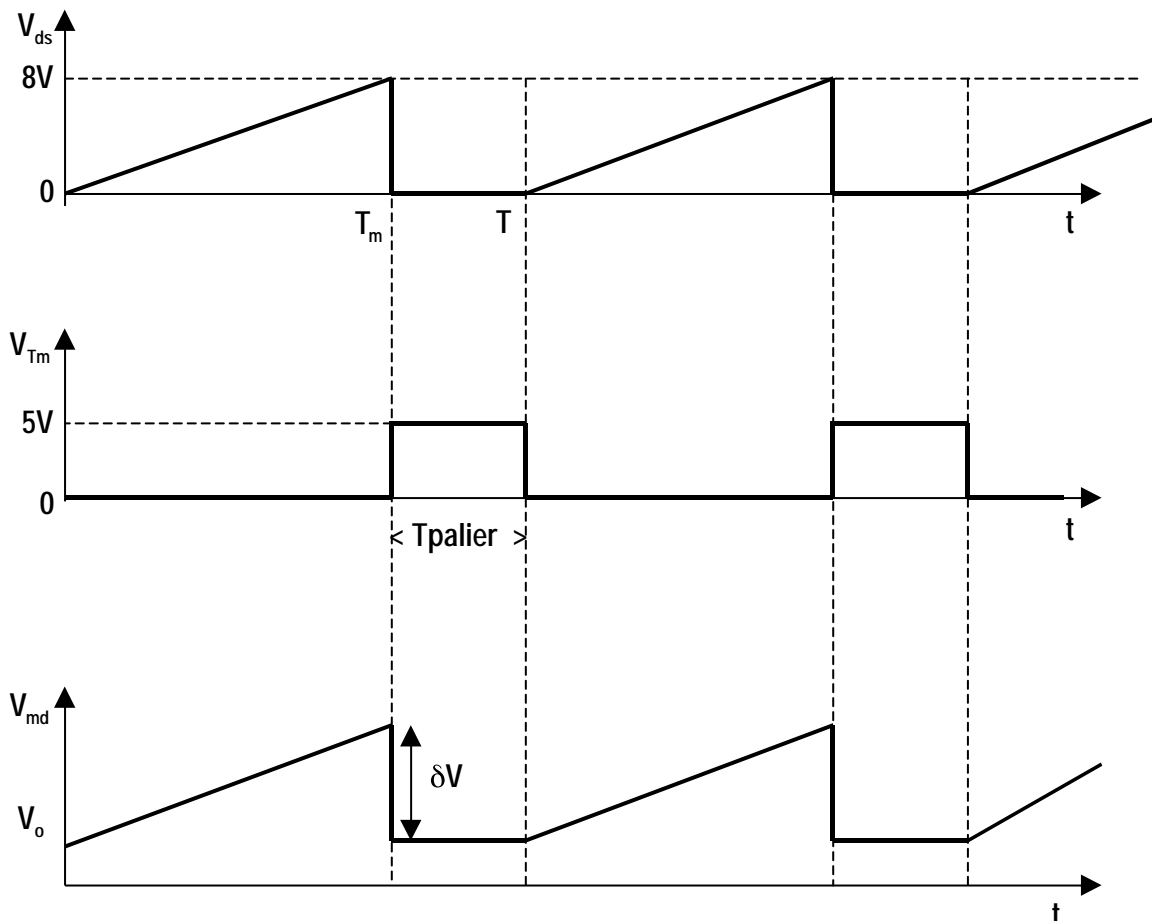
Génération de « la dent de scie »

On se propose d'élaborer une structure pour **FP3** correspondant aux spécifications du dossier de présentation : Générer la tension V_{md} qui va moduler la porteuse de l'onde émise.

Pour cela il faut générer la tension V_{ds} signal périodique formé d'une rampe de durée variable suivi d'un palier de durée fixe. La pente de V_{ds} sera asservie à la tension V_e obtenue en sortie du discriminateur. Le signal V_{ds} ainsi obtenu sera calibré par le signal numérique **Cal#** afin d'obtenir le signal V_{md} .

A partir de V_{ds} on génère le signal V_{Tm} binaire porteur de l'information T_m , ou T_m représente la durée pendant laquelle l'onde émise de fréquence F_e passe de F_o à $F_o + \delta F$.

Les chronogrammes des signaux à obtenir sont les suivants.



$T_{palier} = 0.5ms = \text{Constante}$

E1) Synthèse de **FS31**

E1.1- Donnez les conditions de conduction et de blocage d'un commutateur analogique réalisée par un transistor **JFET** canal **N**. On précisera les valeurs à appliquer sur V_{gs} . (Voir documentation technique). Faites de même pour un canal **P**.

E1.2 - A l'aide des composants proposés dans la documentation technique élaborer une structure permettant de générer le signal V_{ds} . Vous complétez pour cela le cadre **n°1** du document réponse **DQ29 (FS31)**.

E1.3 - Le signal V_{Tm} conditionne la génération du signal V_{ds} par imposition du palier de durée **Tpalier** lorsque V_{ds} à atteint sa valeur maximale. Complétez pour cela le cadre **n°2** du document réponse **DQ29 (FS31)**.

E1.4 - La structure du cadre **n°3** permet d'obtenir le palier du signal V_{Tm} . Proposez une structure qui va maintenir V_{ds} à **0** pendant une durée de **0.5ms**. Complétez le cadre **n°3** du document réponse **DQ29 (FS31)** afin de satisfaire à cette condition.

E2) Synthèse de **FS32**.

E2.1- On rappelle que le convertisseur **AD7524** peut être utilisé en résistance variable pilotée par la valeur du mot numérique présent sur ses entrées. La démonstration en à déjà été faite à la question **C3-4**. Complétez la structure du document réponse **DQ30** (toujours en utilisant les composants à disposition dans la documentation technique et d'autres si nécessaire) qui satisfait la relation $V_{md} = A.V_{ds} + V_0$.

E2.2 - Donnez le mot numérique contenu dans **Cal#** pour obtenir $V_0 = 1.2V$ et $\delta V = 6.5V$.

E2.3 - A l'aide de la documentation du varactor **VTO 8000**, faire un choix technologique et vérifiez que le δV du circuit choisi permet d'obtenir la plage de δF nécessaire à la modulation de l'onde émise.

Partie F : TRAITEMENT NUMERIQUE

Le micro contrôleur **MC68HC811E2** est utilisé pour effectuer la gestion de l'ensemble du radioaltimètre.

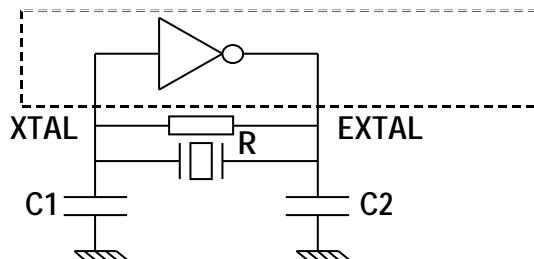
F1)

F1.1 - Complétez le schéma structurel de **FP4** sur le document réponse **DQ31** concernant le raccordement du **68HC811E2** aux autres fonctions principales grâce à ses ports sachant qu'il est nécessaire d'avoir les ressources suivantes (désigner toutes les liaisons) :

- **9 bits** pour envoyer **G#** sur l'amplificateur à gain variable.
- **2 Octets** pour contrôler la fonction **FS32** (commande **Cal#**).
- **1 entrée de capture** du timer pour la mesure de T_m .
- **1 entrée de capture** du timer pour le signal S_c .
- **1 entrée binaire** pour le signal **Cde**.
- **1 sortie binaire** pour envoyer l'information **Alt** sur un indicateur visuel pour le pilote.
- **1 sortie binaire** pour envoyer l'information **Alm** en cas de défaut.
- Prévoir **les signaux de contrôle** nécessaires pour piloter les convertisseurs et les autres circuits d'interface (244 ...) si nécessaire.

F1.2 - Proposez une structure pour le circuit de commande du **RESET** (signal **Rest**). Initialisation de la fonction à la mise sous tension. Complétez le **DQ31**.

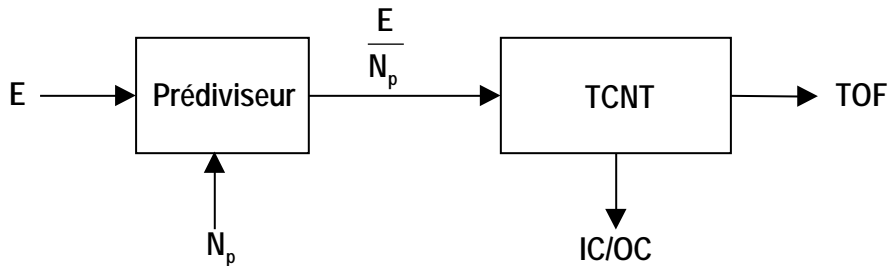
F1.3 - L'horloge du circuit numérique est constitué par un circuit oscillant à Quartz.



Le circuit interne connecté entre **XTAL** et **EXTAL** est un inverseur logique **CMOS**.
Quel est le rôle : des condensateurs **C1** et **C2**, de la résistance **R**. On veut que l'ensemble réalise un oscillateur. Comment doit être la réactance du quartz dans ce mode de fonctionnement.

F2) Mesure de temps.

On se propose d'étudier ici le fonctionnement et la mise en œuvre du timer interne au **MC68HC811E2**.



E : Signal d'horloge du micro contrôleur divisé par 4.

E/N_p : Horloge du compteur **TCNT**.

IC/OC : Vers les registres d'entrée/sortie **TIC 1-3** et **TOC 1-5**

TIC : **timer input capture**, **TOC** : **timer output compare**.

TOF : **timer overflow**. Utilisé en mode interruption.

Le signal **V_{tm}** porteur de l'information **T_m** est envoyé sur une des entrées de capture qui à été choisie à la question **F1.1**.

Le timer comporte un compteur **TCNT** de 16 bits évoluant sans cesse au rythme de son horloge.

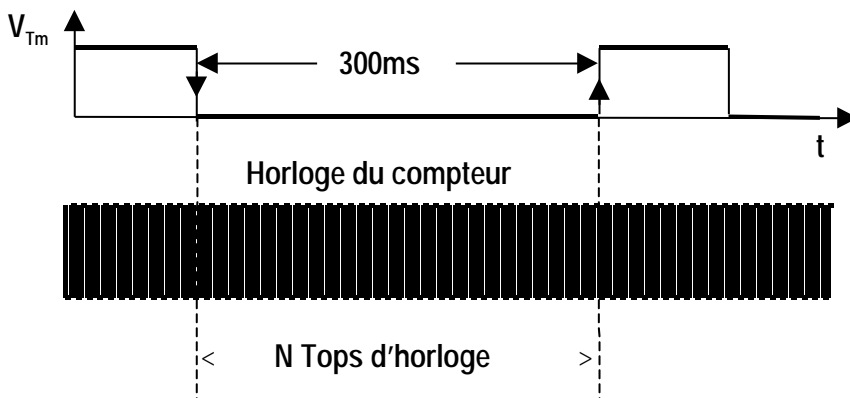
Un prédiviseur piloté par l'horloge interne du micro contrôleur **E** (la fréquence du quartz /4) permet de disposer de quatre prédivisions possibles 1, 4, 8, 16.

*F2.1 - A l'aide des pages de la documentation sur le timer, indiquer la valeur à mettre dans le registre **TCTL2**, afin de prendre en compte tous les fronts se présentant sur l'entrée de capture choisie.*

F2.2 - A chaque front actif de l'entrée de capture, la valeur du compteur **TCNT** est transférée dans le registre de capture mis en œuvre. Indiquer la procédure de sauvegarde permettant de prendre en compte le temps séparant **2** fronts actifs sur l'entrée de capture choisie.

F2.3 - Citez le registre du micro contrôleur concerné pour conditionner la valeur N_p du prédiviseur.
 Donner la valeur du registre pour obtenir une prédivision par **16**.
 Indiquer la capacité maximale de comptage de **TCNT**.

F2.4 - A **30000** pieds le temps T_m à mesurer est de **300m**



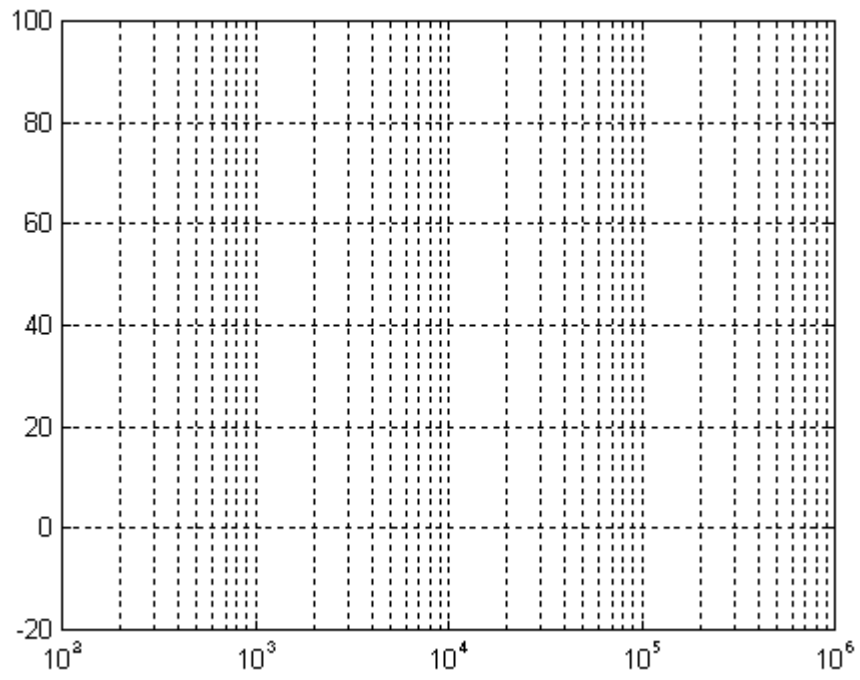
Donner le taux de prédivision à appliquer sur l'horloge E afin que le nombre de tops d'horloge sur $TCNT$ soit inférieur à la capacité maximale du compteur pendant une durée de **300 ms**. Calculez la valeur N_p pour l'exemple considéré. En déduire la précision de la mesure de T_m .

F2.5 - A **3276 pieds** peut-on changer ce taux de prédivision, et quel effet cela aura t- il sur la précision de la mesure de T_m ?

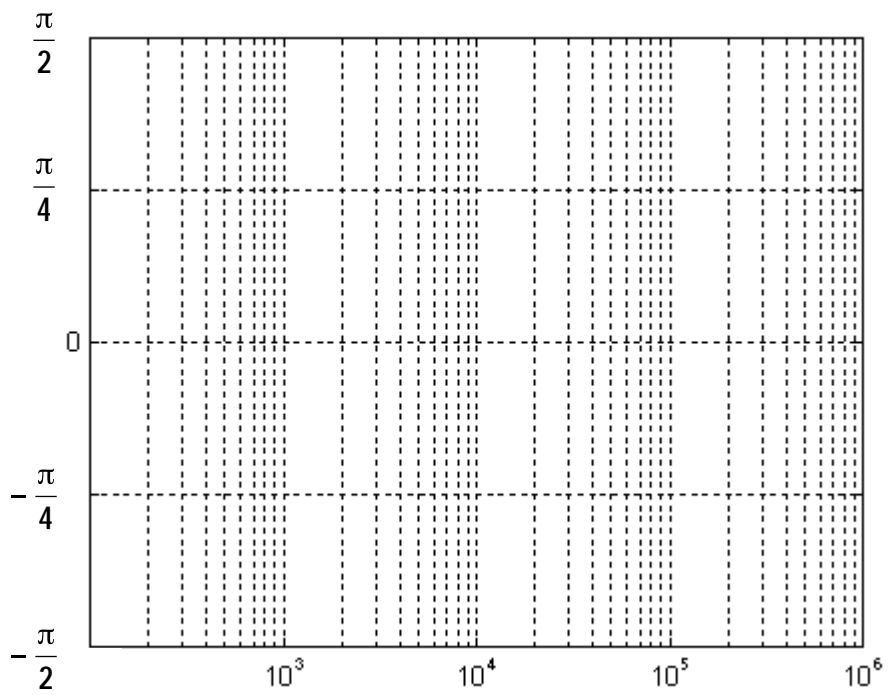
F2.6 - Evaluer la précision de la mesure selon la valeur du taux de prédivision choisi. Justifiez votre réponse.

F2.7 - Proposez un algorithme de la mesure du temps T_m . On précisera la configuration des registres nécessaires au bon fonctionnement du timer. On considère que la capacité maximale du compteur n'est pas dépassée.

Gain

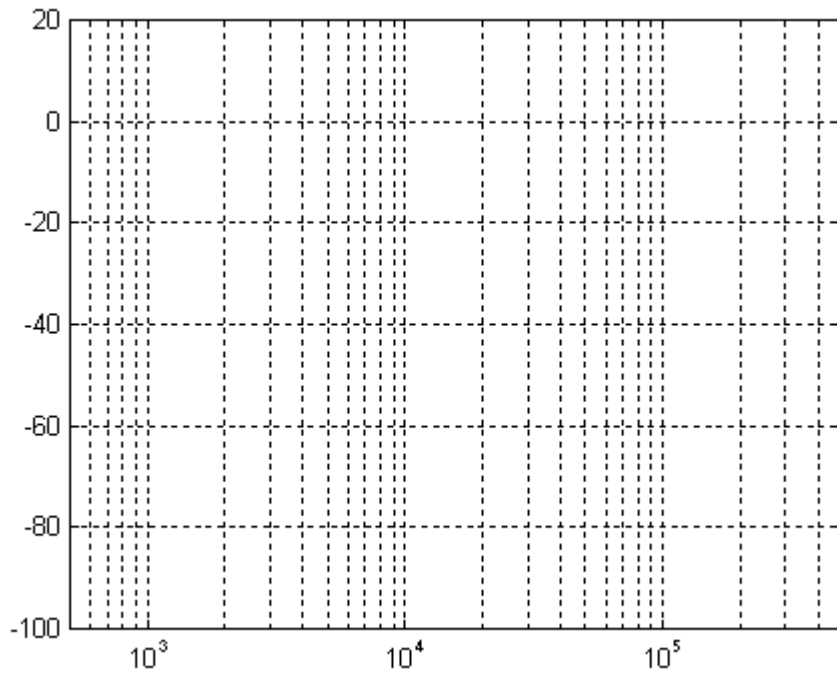


Phase

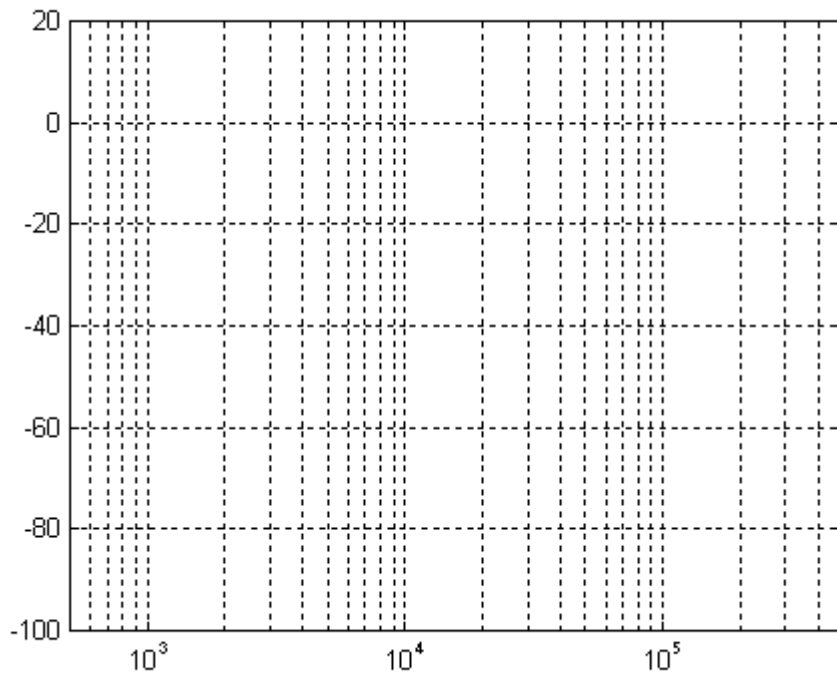


Document réponse à la question C3.5

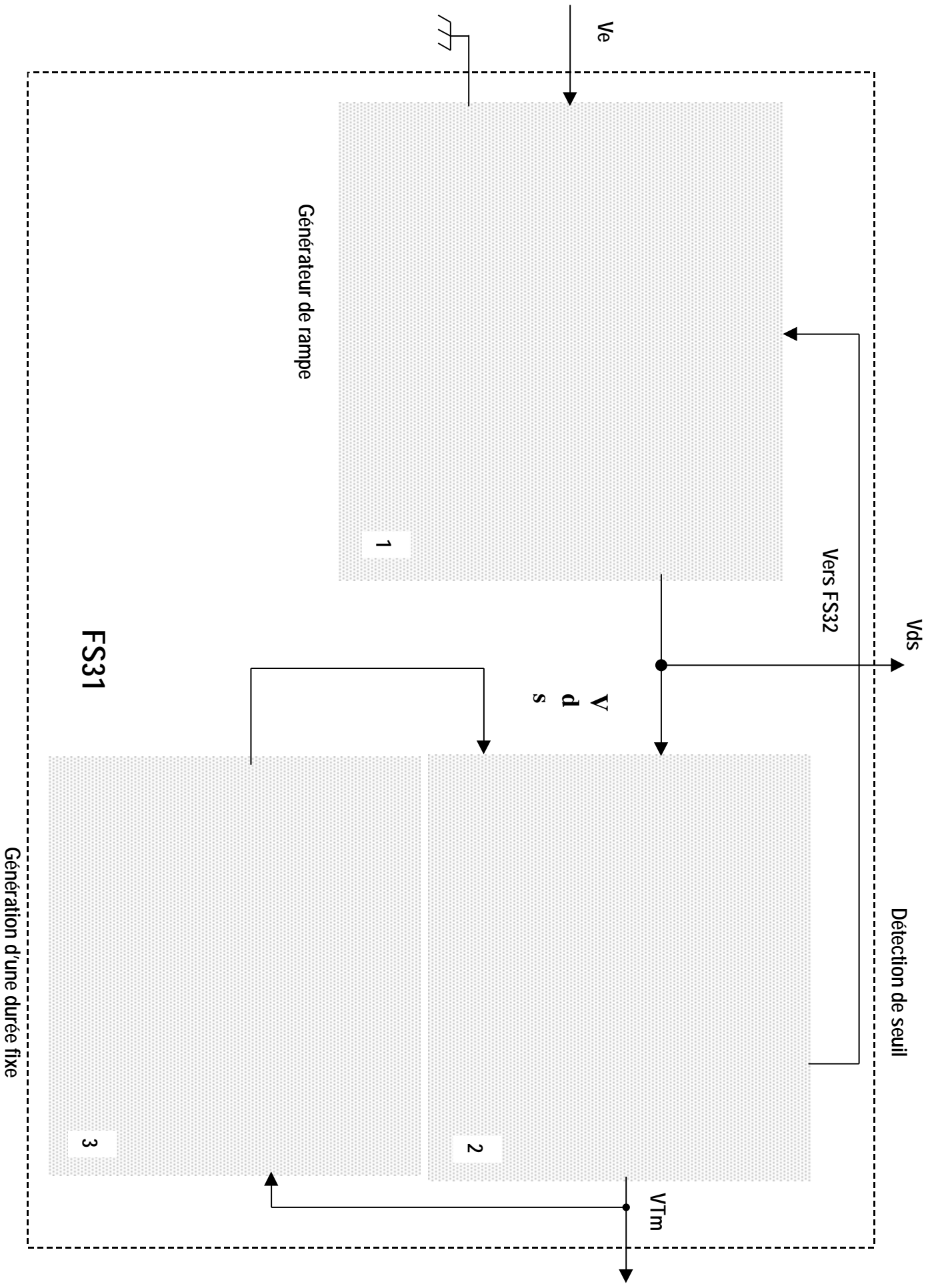
Gain Filtre 1

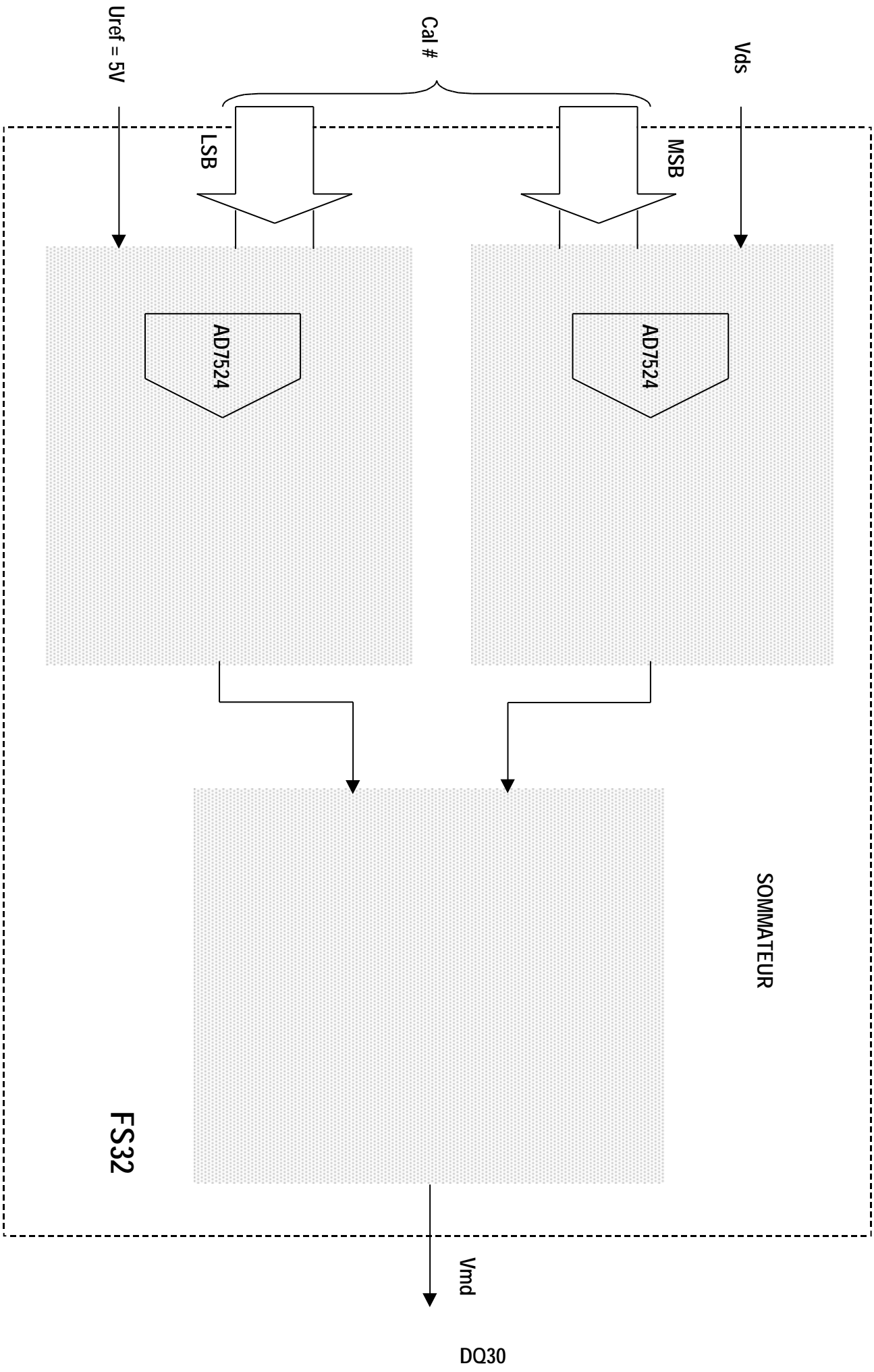


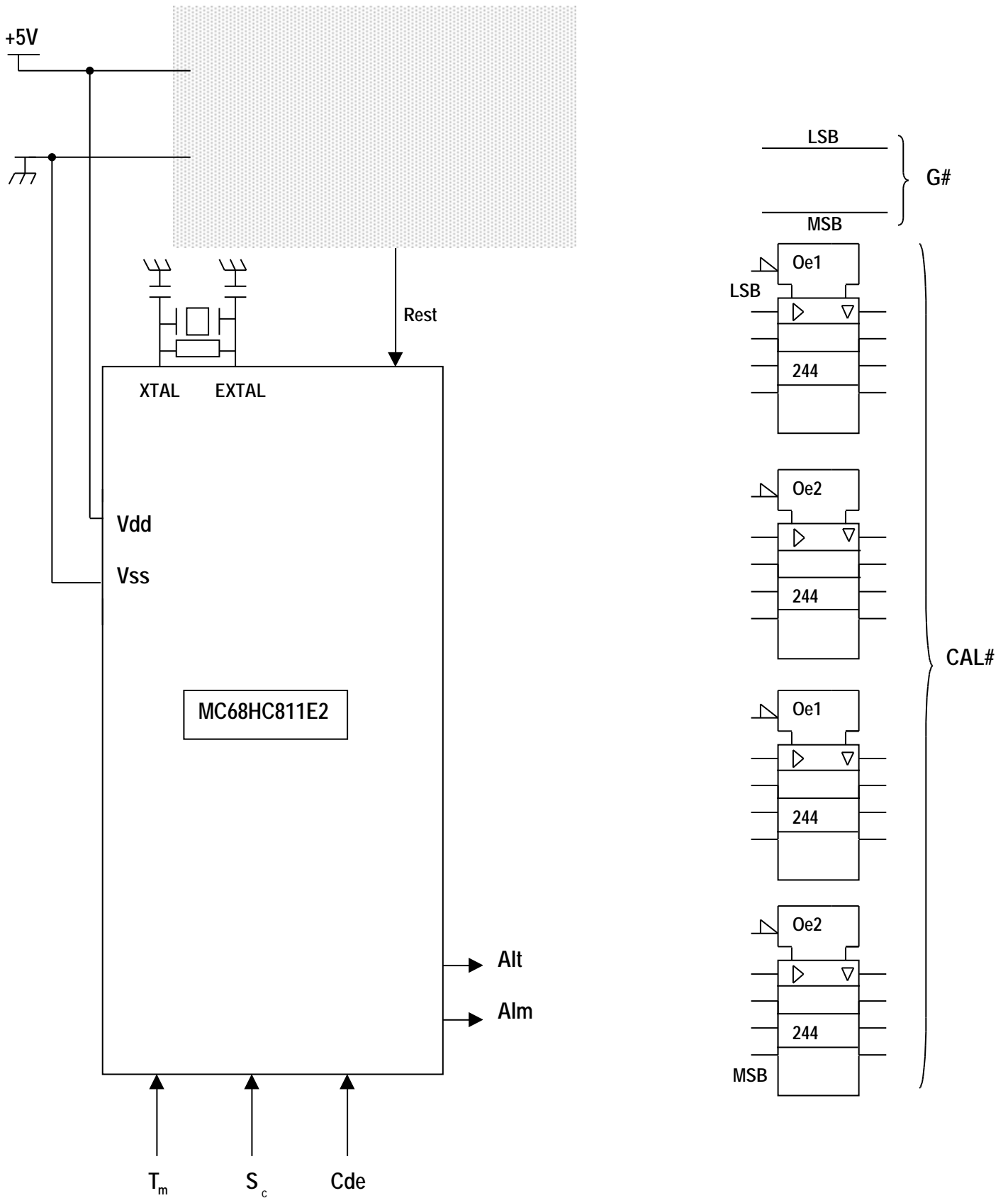
Gain Filtre 2



Document réponse à la question D2.3







Représentez sur le micro contrôleur les noms des ports et des broches utilisées et représentez les liaisons avec FS22 et FP3.