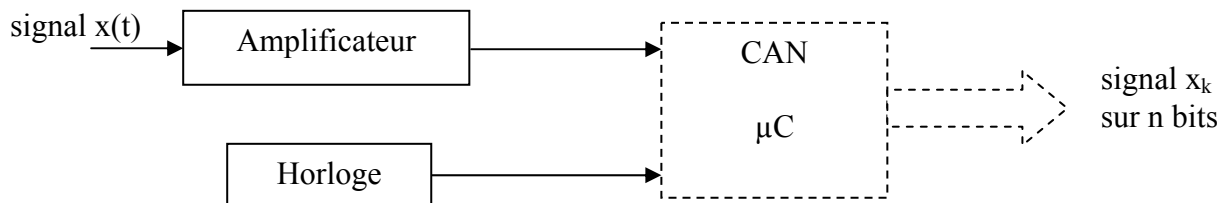


**Aucun document autorisé, toute calculatrice autorisée.**

Le problème est constitué de trois parties. A l'intérieur de chacune d'elles vous pouvez répondre à des questions indépendamment des autres questions ou des autres parties. Pensez-y en cas de blocage. Il y a une annexe à remettre même vierge et un formulaire en dernière page.

Dans le cadre de Travaux de Réalisation (TR) un binôme doit réaliser une carte de circuit imprimé (PCB) alimentée en 0-15V et sur laquelle doit figurer :

- un amplificateur d'instrumentation pour faibles signaux (<1mV),
- une horloge pour commander,
  - o un microcontrôleur, dont le CAN digitalisera le signal de sortie de l'amplificateur.



**Figure 1 : Synoptique de la carte électronique à réaliser**

L'amplificateur possède un produit "*Gain x Bande*" (soit  $A_v \cdot f_n$ ) de 3MHz et une sensibilité d'entrée de 0,1mV. Sa fonction de transfert est  $T(p) = \frac{A_v}{1 + \tau p}$ , ou encore  $T(j\omega) = \frac{A_v}{1 + j \frac{\omega}{\omega_n}}$ . On rappelle que pour un tel

système,  $\omega_n$  est égale à la pulsation de coupure à -3dB,  $\omega_c(-3dB)$ .

L'horloge fonctionne à 1MHz grâce à un condensateur de 1nF. La tension  $v_c(t)$  à ses bornes varie linéairement de 0 à 15V avec un rapport cyclique de 0,75. Le courant  $i_c(t)$  met 100ns pour passer d'un état à un autre.

Nous allons étudier du point de vue CEM le routage de la carte réalisée par le binôme, en particulier le courant d'alimentation de l'amplificateur et l'influence du circuit d'horloge sur celui-ci.

### Étude du module de l'amplificateur.

1. L'amplificateur est monté de façon à avoir un gain en tension  $A_{vdB} = 36$  dBV. Calculer le gain algébrique  $A_v$  correspondant. Arrondir la valeur à la dizaine inférieure.

$$A_v = 10^{\frac{36}{20}} = 63 \text{ d'où } A_v = 60.$$

2. En déduire la fréquence  $f_n$  ou  $f_c(-3dB)$ , fréquence à laquelle se coupent les asymptotes BF et HF.

$$f_c(-3dB) = 3E6/60 = 50kHz.$$

3. Compte tenu de ce qui précède, tracer sur la feuille de papier semi-log en annexe, les asymptotes du module de  $T(p)$ , avec des dB en ordonné et la fréquence en abscisse. Celle-ci commencera à 1kHz.

### Etude du routage de la carte

La Figure 2 reproduit une partie du PCB réalisé. Les pistes ont une épaisseur de  $105\ \mu\text{m}$ . La piste d'alimentation  $V_{CC}$  de l'amplificateur mesure 8 cm de long et 2 mm de large. La piste de masse a une largeur de 3 mm et mesure 4 cm entre GND et le point M et 1 cm entre le point M et l'amplificateur.

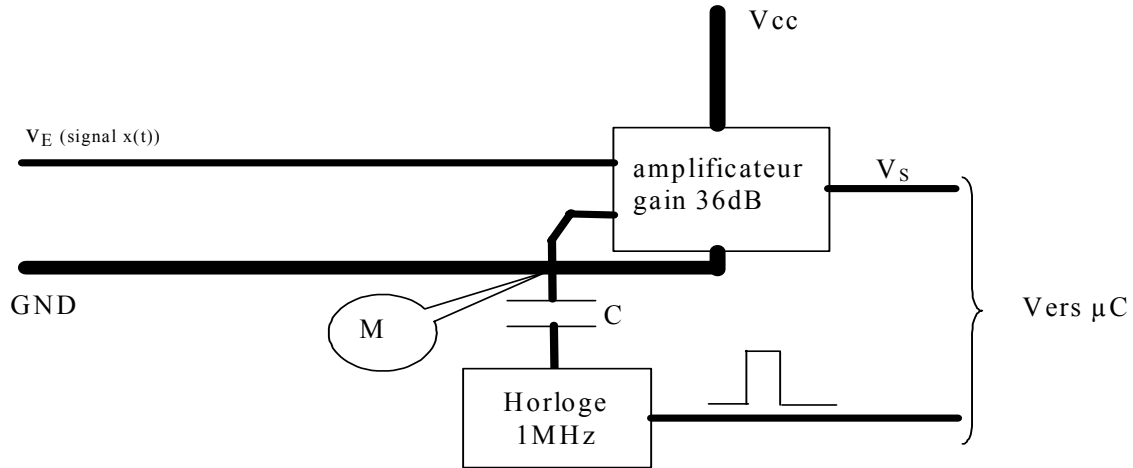


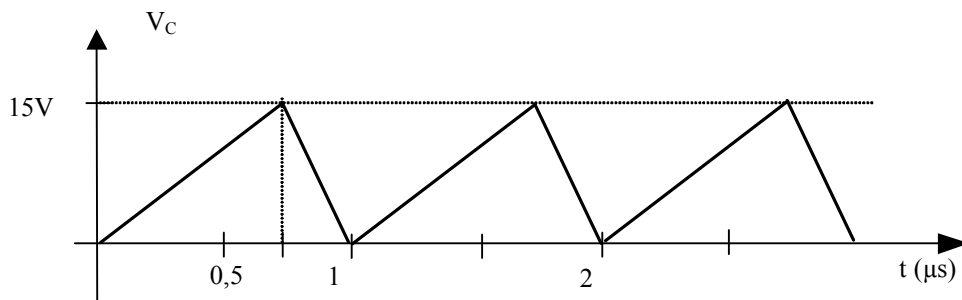
Figure 2 : extrait de routage de la carte électronique

4. A quel type de couplage devons nous faire face, si l'une des fonctions perturbe l'autre en émission conduite ?

*Couplage par impédance commune.*

5. Etude de l'horloge

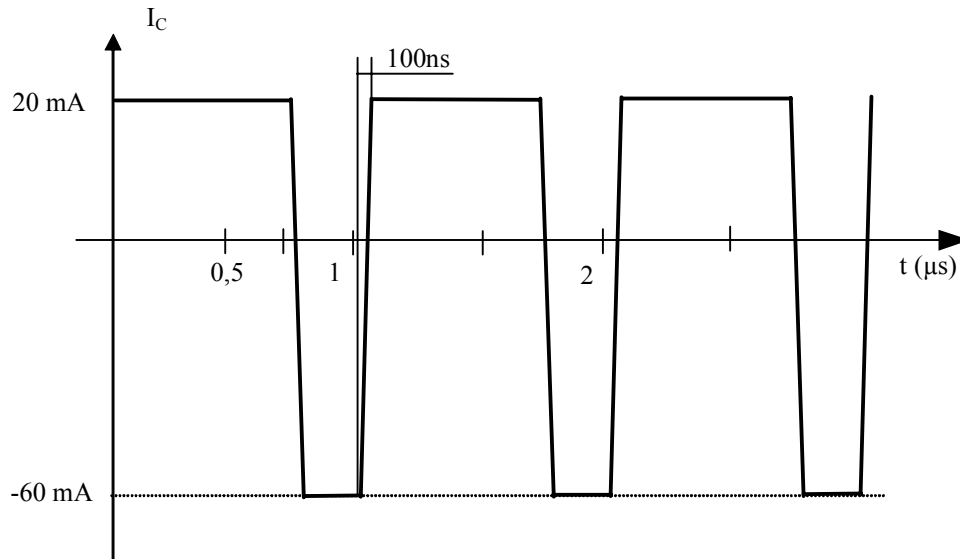
- a. Tracer, sur votre feuille, au moins 2 périodes de la tension  $v_c(t)$ . Prendre 2 cm pour  $T$ .



- b. Calculer et tracer, sous  $v_c(t)$ , le courant  $i_c(t)$  (faire apparaître les temps de commutation).

$$i_c = C \frac{dV_c}{dt} \text{ donc lorsque } V_c \text{ est croissant : } i_c = C \frac{dV_c}{dt} = 1 \cdot 10^{-9} \frac{15V}{0,75\ \mu s} = 20\text{mA}$$

$$\text{et lorsque } V_c \text{ est décroissant : } i_c = C \frac{dV_c}{dt} = 1 \cdot 10^{-9} \frac{-15V}{0,25\ \mu s} = -60\text{mA}$$



6. Calculer l'inductance et la résistance de la piste de masse,  $P_M$ , entre GND et M.

$$L_{P_M} = 30,1 \text{ nH}, R_{P_M} = 2,2 \text{ m}\Omega$$

7. Déterminer l'évolution de la tension  $v_{P_M}(t)$  aux bornes du tronçon de piste GND-M, en négligeant le courant venant de l'entrée de l'amplificateur devant celui qui vient du condensateur :

- a. Quand le courant est constant, de quel paramètre dépend la tension aux bornes de la piste ?  
Calculer alors la tension pour chaque niveau.

*La partie inductive n'a aucune influence, donc quand :*

$$i_c(t) = 20 \text{ mA}, \text{ on a } V_{P_M} = R_{P_M} * I_c = 44 \mu\text{V},$$

$$i_c(t) = -60 \text{ mA}, \text{ on a } V_{P_M} = R_{P_M} * I_c = -132 \mu\text{V}.$$

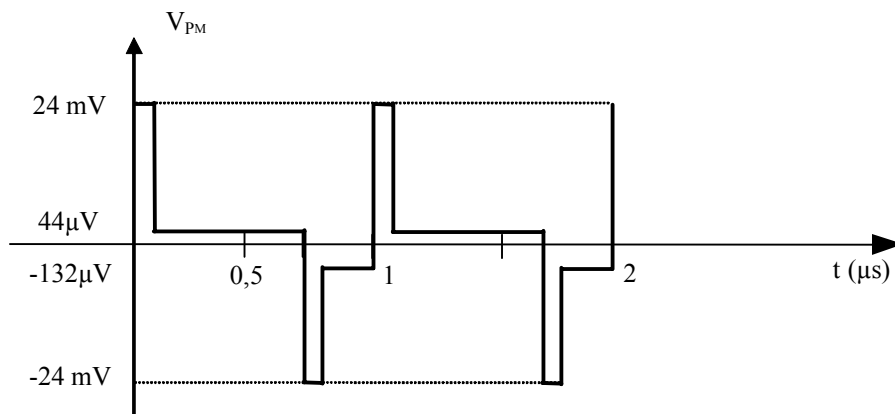
- b. Quand le courant varie, de quel paramètre dépend la tension aux bornes de la piste ?  
Calculer alors la tension pour chaque front.

*Lorsqu'il y a variation de courant, au dessus de 2 kHz, seule l'inductance est à prendre en compte.  $V_{P_M} = L_{P_M} * di/dt$*

$$\text{Sur front montant, } V_{P_M} = 30,1E-9 * 80E-3 / 100E-9 = 24,1 \text{ mV}$$

$$\text{Sur front descendant, } V_{P_M} = 30,1E-9 * -80E-3 / 100E-9 = -24,1 \text{ mV}$$

- c. Faire la représentation graphique de la tension aux bornes de la piste pour un cycle.



### **Nous allons étudier l'influence de la variation de potentiel de $v_{PM}(t)$ sur l'amplificateur.**

La tension minimale que l'amplificateur est capable d'amplifier est de 0,1 mV. On dit qu'il possède une sensibilité en entrée de 0,1mV.

8. Compte tenu des résultats obtenus à la question 7, pensez-vous que la tension  $v_{PM}(t)$  a une incidence sur le fonctionnement de l'amplificateur ?

*La sensibilité à l'entrée de l'amplificateur étant de 0,1mV, il est possible que cette tension ait une incidence sur la sortie de l'amplificateur, (cela dépend de la réjection).*

9. Si oui, quel type de courant (constant, variable) est le plus préjudiciable ?

*Les parties où le courant est constant sont négligeables car les valeurs des tensions générées sont inférieures ou proches ( $44\mu V$  et  $0,13mV$ ) du seuil de sensibilité.*

**La fonction de transfert donnée en début de ce problème pour l'amplificateur, montre que ce dernier atténue plus ou moins les hautes fréquences. Nous allons donc étudier comment l'amplificateur transmet les perturbations mises en évidence ci-dessus. En cas de dissymétrie du signal  $V_{PM}$ , on prend le cas le plus défavorable en valeur absolue.**

10. En utilisant la fonction de transfert de l'amplificateur tracée en ANNEXE (ou par le calcul), déterminer le gain  $A_{v(1MHz)}$  (en dB et algébrique) que l'on obtient à la fréquence de l'horloge.

$$A_{v(1MHz)_{dB}} = 10dBV \text{ d'où } A_{v(1MHz)} = 3,16$$

11. Calculer la valeur en dBV de la tension la plus défavorable de  $V_{PM}(t)$ , établie à la question 7.

$$20\text{Log}(24E-3) = -32,4 \text{ dBV ou } 87,6\text{dB}\mu V$$

12. Quelle sera alors la valeur en dBV et en V de la tension la plus défavorable à la sortie de l'amplificateur ?

$$-32,4 + 10 = -22,4 \text{ dBV soit } 75,9 \text{ mV} \quad (24 * 3,16 = 75,9\text{mV})$$

13. Quelles sont, à votre avis, les conséquences sur des signaux  $x(t)$  dont l'amplitude est  $\leq 100\text{mV}$  ?

*La sensibilité à la sortie est de  $0,1 * 60$  soit  $6\text{mV}$ . Donc la perturbation va générer des tensions parasites de l'ordre de  $80\text{mV}$  qui seront "visibles" en sortie. On peut considérer que les signaux inférieurs à  $100\text{mV}$  ne pourront pas être traités correctement.*

14. Quelles solutions proposez-vous pour améliorer cette partie du routage ?

*De la solution la moins performante vers la solution la plus performante, on a :*

- élargir la piste,*
- diminuer la longueur de piste,*
- faire deux pistes séparées reliées en un seul point près de la source,*
- faire un plan de masse.*

### **Etude de l'auto perturbation de l'amplificateur**

On considère maintenant l'amplificateur seul et ses pistes d'alimentation.

15. Calculer les inductances  $L_{VCC}$  et  $L_{GND}$  des pistes d'alimentation du circuit.

*Longueur totale de la piste de masse :  $4+1=5\text{cm}$ .*

$$L_{GND} \approx 40\text{nH} \text{ et } L_{VCC} = 77,4\text{nH}$$

Une analyse montre que le signal  $x(t)$  que l'on recueille produit une consommation de courant qui peut être décrite par une sinusoïde pure équivalente de fréquence  $f_{equ} = (\pi t_m)^{-1} = 50\text{kHz}$  et d'amplitude de courant crête à crête de 0,140A.

16. Comment appelle-t-on ce courant en CEM ?

*Courant de mode différentiel.*

17. Déterminer la tension résiduelle que génère ce courant au point M.

$$V_M = L_{GND} * 2\pi f I = 30,1E-9 * 2\pi * 50E-3 * 0,14/2 = 0,66mV$$

18. Compte tenu de la fréquence du courant, de la sensibilité d'entrée de l'amplificateur, ce courant risque-t-il de perturber le fonctionnement du montage ?

*Oui, il y a un risque d'auto-perturbation du montage car la tension perturbatrice est supérieure à la sensibilité d'entrée et la fréquence est à peine atténuée (-3dB).*

**Nous allons maintenant déterminer les valeurs des paramètres d'une solution électronique qui permet de ramener la perturbation sous le seuil de sensibilité de l'entrée.**

19. Quel composant électronique peut être utilisé pour limiter la perturbation due à la consommation de courant ? Où doit-il être placé ?

*Il suffit de mettre un condensateur de découplage aux bornes de l'amplificateur ce qui "déporte" la source de tension.*

20. Si on ne prend en compte que la source d'alimentation, les pistes et le composant de la question 19, quel type de circuit électrique équivalent obtient-on ? Faire un schéma en indiquant l'entrée et la sortie.

*C'est un circuit RLC série, l'alimentation est l'entrée et le condensateur est la sortie.*

21. Calculer l'atténuation  $A_{\text{mini}}$  qu'il faut que le circuit de la question 20 réalise pour que la perturbation soit au dessous du seuil de sensibilité d'entrée de l'amplificateur.

$$A_{\text{mini}} = 0,66/0,1 = 6,6$$

22. On choisit une atténuation A de 10 soit  $A_{\text{dB}}=20\text{dB}$ . Compte tenu des caractéristiques du circuit déterminé à la question 20 :

- indiquer la pente et l'équation de l'asymptote HF,  
*on a une asymptote HF de -40dB/décade d'où l'équation  $-40\text{Log}(\omega)$ ,*
- exprimer la fréquence f en fonction de la fréquence naturelle  $f_n$  (ou de la fréquence de résonance  $f_r$  car  $z \ll 0,7$ ) pour laquelle on a l'atténuation souhaitée,  
*les -20dB sont obtenus pour  $f=3,16f_n$  ( $10^{0,5}$ )*
- en utilisant les résultats connus de l'électronique et/ou de l'automatique, calculer la valeur du composant que vous souhaitez ajouter pour filtrer la perturbation de 50kHz.

*Il suffit de choisir  $3f_n = 50\text{kHz}$  pour réaliser le découplage souhaité. Comme  $R \approx 0$  alors  $z \ll 0,7$  et*

$$f_r = f_n = 1/2\pi\sqrt{L_{\text{tot}}C}. \text{ D'où } \frac{50E3}{3} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{\text{tot}}C}} \text{ soit : } C_{\text{min}} = \frac{1}{4\pi^2 L_{\text{tot}} f^2} = \frac{1}{4\pi^2 (117,4E-9) * (16,6E3)^2} = 783\mu F$$

*au minimum si on veut plus filtrer il suffit d'augmenter C.*

**ANNEXE**  
**A remettre avec votre copie, même vierge**

**Nom, Prénom :** ..... **Gr. :** .....

