

EXERCICE N°1 : Mesure d'une fréquence cardiaque (Centrale 2014)

Certains manèges proposent aux passagers d'évaluer leur « peur » en mesurant leur rythme cardiaque. Le rythme cardiaque varie d'environ 60 battements par minute pour un sujet au repos jusqu'à 200 battements lors d'un effort physique intense ou d'une forte émotion. La contraction d'un muscle, le cœur en particulier, crée un signal électrique. La détermination du rythme cardiaque sur les manèges passe par la mesure de la différence de potentiel électrique entre les deux mains du passager. Sur le garde corps du manège, sont fixées deux électrodes où le passager pose ses deux mains. La différence de potentiel est de l'ordre de quelques dizaines de mV. Le rapport signal sur bruit est en général plutôt faible. Il est donc nécessaire de mettre en forme le signal avant de pouvoir extraire la fréquence cardiaque. Cette partie se propose d'étudier les différentes étapes de mise en forme du signal.

Pour tout signal sinusoïdal $u(t)$, la grandeur complexe associée sera notée $\underline{u}$. Tous les amplificateurs opérationnels sont supposés idéaux.

II.C – Après amplification et filtrages, l'allure du signal obtenu est donnée [figure 6](#).

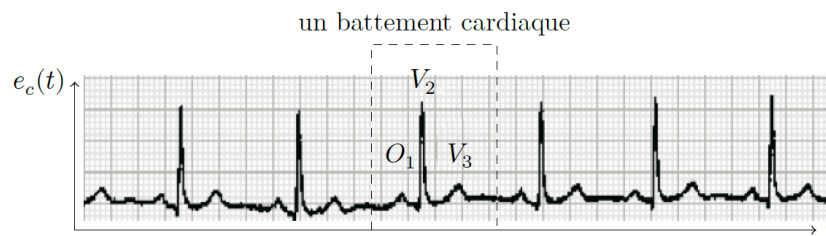


Figure 6

Le signal électrique $e_c(t)$ émis au cours d'un battement cardiaque est complexe. En effet, la [figure 6](#) montre trois phases distinctes : la première (O_1) correspond à l'action des oreillettes, alors que les deux autres phases (V_2 et V_3) correspondent à l'action des ventricules. Pour rendre la mesure de la fréquence cardiaque possible à l'aide d'un compteur numérique (non étudié), le signal électrique du cœur est transformé en un signal créneau d'amplitude donnée, où seul le signal de la phase V_2 est sélectionné. Cependant, malgré les opérations de mise en forme, le signal de la phase V_2 reste complexe, comme le met en évidence la figure 7 qui représente le détail d'un battement cardiaque.

II.C.1) Le signal électrique $e_3(t)$ correspondant aux battements cardiaques est appliqué sur l'entrée + de l'amplificateur opérationnel du montage de la figure 8. La tension V_0 est une tension continue et positive.

Expliquer le fonctionnement de ce dispositif. Que va être la réponse de ce circuit à un signal du type de celui de la figure 7 ? Ce circuit est-il adapté à la détermination de la fréquence cardiaque ? Justifier la réponse (on pourra s'aider d'un schéma).

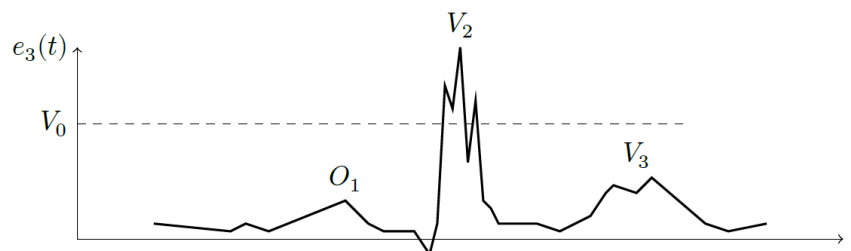


Figure 7

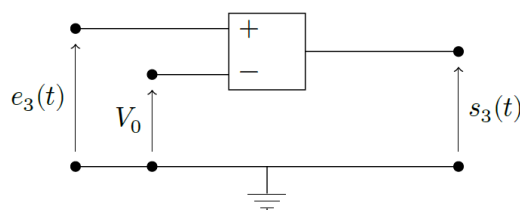


Figure 8

II.C.2) En réalité, le circuit utilisé est donné [figure 9](#). La tension V_0 est une tension continue et positive. On considère dans un premier temps un signal d'entrée sinusoïdal $e_4(t) = E_0 \cos(\omega t)$. Justifier qualitativement que l'amplificateur opérationnel ne peut pas fonctionner en régime linéaire.

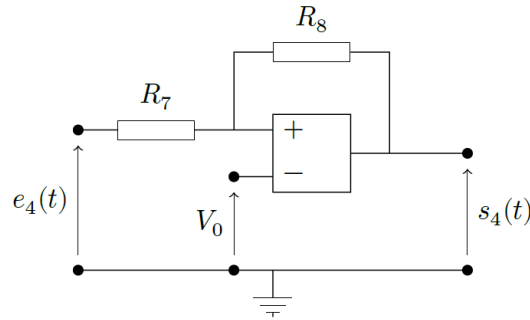


Figure 9

On souhaite que $s_4(t) = +V_{\text{sat}}$, V_{sat} étant la tension de saturation de l'amplificateur opérationnel. Montrer que $e_4(t)$ doit être supérieure à une tension U_1 dont on donnera l'expression en fonction de V_0 , V_{sat} et des résistances du circuit.

On souhaite maintenant que $s_4(t) = -V_{\text{sat}}$. Montrer que $e_4(t)$ doit être inférieure à une tension U_2 dont on donnera l'expression en fonction de V_0 , V_{sat} et des résistances du circuit.

Pour quelle valeur de $e_4(t)$ se fait le basculement de $s_4(t) = +V_{\text{sat}}$ à $s_4(t) = -V_{\text{sat}}$? Même question pour le basculement de $s_4(t) = -V_{\text{sat}}$ à $s_4(t) = +V_{\text{sat}}$.

Donner la condition pour que U_1 soit positive.

Dans ce cas et en supposant que $E_0 > U_2$, représenter sur un même graphe les fonctions $e_4(t)$ et $s_4(t)$ en fonction du temps, en faisant apparaître les tensions E_0 , U_1 , U_2 et V_{sat} . Comment s'appelle un tel montage ?

II.C.3) Le signal d'entrée $e_4(t)$ est à présent le signal cardiaque $e_c(t)$ représenté sur les figures 6 et 7. Représenter sur une même figure l'allure du signal cardiaque et celle du signal $s_4(t)$ que l'on souhaite obtenir par le filtre. À quelles conditions sur U_1 et U_2 la fréquence du signal $s_4(t)$ obtenu correspond-elle effectivement à la fréquence du rythme cardiaque ? Quel est l'intérêt du circuit effectivement utilisé par rapport à celui de la [figure 8](#) ?

EXERCICE N°2 :

B1.3- Multivibrateur monostable à amplificateurs opérationnels (AOP)

Un multivibrateur monostable est un oscillateur dont la sortie possède deux niveaux, un niveau « haut » correspondant à un « 1 logique » et un niveau « bas » correspondant à un « 0 logique ». La particularité de ce circuit est qu'un niveau est stable alors que l'autre est instable. Ainsi, après application d'un signal de commande, la sortie du système passe de l'état stable à l'état instable pendant une durée τ puis revient à son état stable initial.

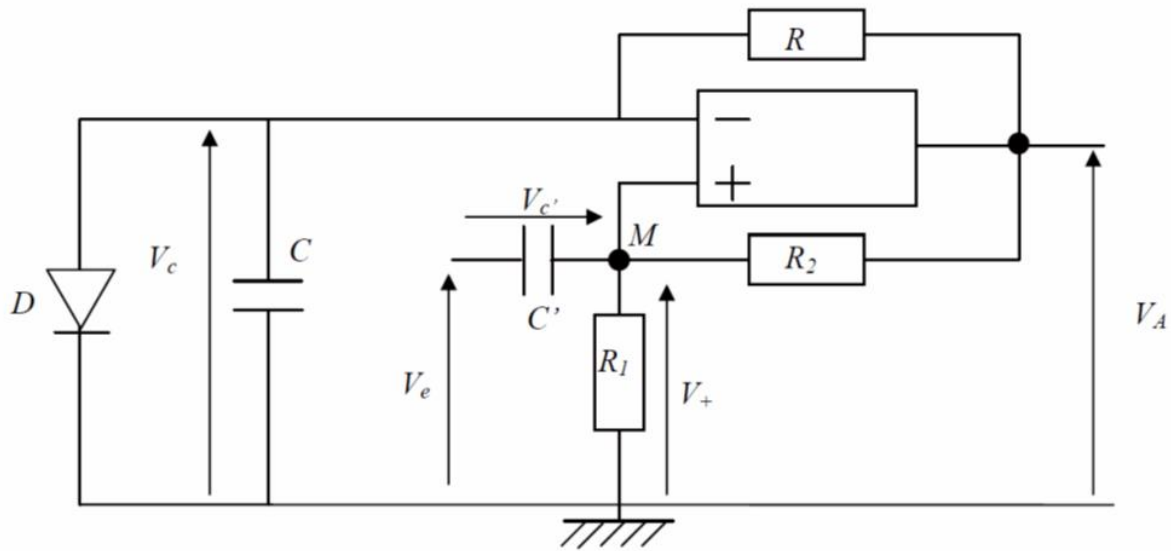


Figure 8 : multivibrateur monostable à AOP

La diode D est supposée parfaite, sa tension seuil est nulle.

B1.3.1- La tension de commande V_e est nulle depuis longtemps, la tension de sortie V_A est dans un état stable et vaut $V_A = +V_{cc}$. En vous appuyant sur un schéma équivalent du circuit de la figure 8, justifier l'état passant de la diode D .

B1.3.2- Quelles sont les valeurs des tensions aux bornes des condensateurs ?

B1.3.3- A $t = 0$ s, l'injection d'un échelon de tension de commande $V_e(t = 0^+) = E$ va permettre le changement d'état de la sortie ($V_A = -V_{cc}$) et le blocage de la diode D .

B1.3.3.1- Quelles sont les valeurs des tensions aux bornes des condensateurs immédiatement après l'injection de cet échelon de tension ?

B1.3.3.2- A quelle condition sur E , cet échelon de tension permettra le changement d'état de la sortie ?

B1.3.3.3- Montrer que la tension aux bornes du condensateur C , $V_c(t)$, est régie par une équation différentielle du premier ordre. Donner l'expression de la loi d'évolution, en fonction du temps et de la tension $V_c(t)$.

B1.3.3.4- Justifier alors l'état bloqué de la diode.

B1.3.3.5- Montrer, à partir de la loi des nœuds au point M , que la tension aux bornes du condensateur C' , $V_{C'}(t)$, est régie par une équation différentielle du premier ordre. Donner l'expression de la loi d'évolution, en fonction du temps et de la tension $V_{C'}(t)$.

Remarque : on introduira la constante de temps $\tau' = \frac{C' \cdot R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$.

B1.3.3.6- En déduire la loi d'évolution, en fonction du temps, de la tension aux bornes de la résistance R_1 : $V_+(t)$.

B1.3.3.7- En étudiant les valeurs finales $V_{C\infty}$ et $V_{+\infty}$ des tensions $V_C(t)$ et $V_+(t)$, montrer que la tension de sortie V_A va rebasculer vers son état initial $V_A = +V_{cc}$.

B1.3.3.8- On considère que la constante de temps de charge du condensateur C' est très faible comparée à celle du condensateur C .

B1.3.3.8.a- Comparer alors les vitesses de charge de ces condensateurs.

B1.3.3.8.b- Montrer alors que l'expression simplifiée de la tension $\varepsilon(t)$ est :

$$\varepsilon(t) \approx V_{cc} \cdot \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - e^{\frac{-t}{RC}} \right).$$

B1.3.3.8.c- En déduire l'instant t où la tension de sortie V_A rebasculer vers son état initial.

B2- Circuit de mise en forme

B2.1- Donner l'expression de la tension V_B du montage de la figure 9, en fonction de V_A et des résistances R_3 et R_4 . Que devient cette expression dans le cas où $R_4 = R_3$?

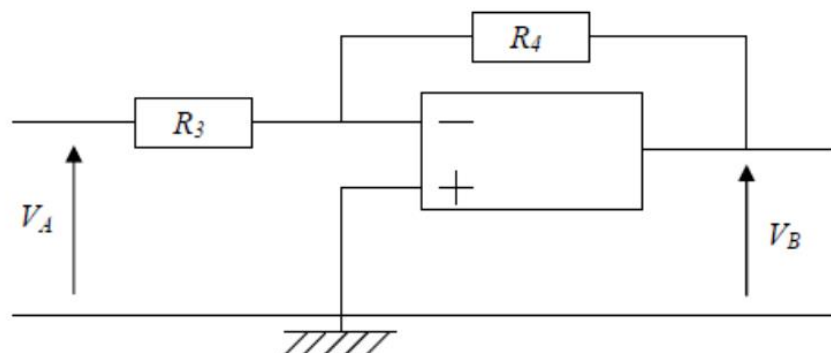


Figure 9 : circuit inverseur

B2.2- Dans le montage de la figure 10, la tension $V_A(t)$ est un signal rectangulaire compris entre $+V_{cc}$ et $-V_{cc}$, de période T , dont la durée de l'état bas est τ . La diode D' est supposée parfaite, sa tension seuil est nulle. Tracer, sur deux périodes, les chronogrammes des tension V_B et V_D .

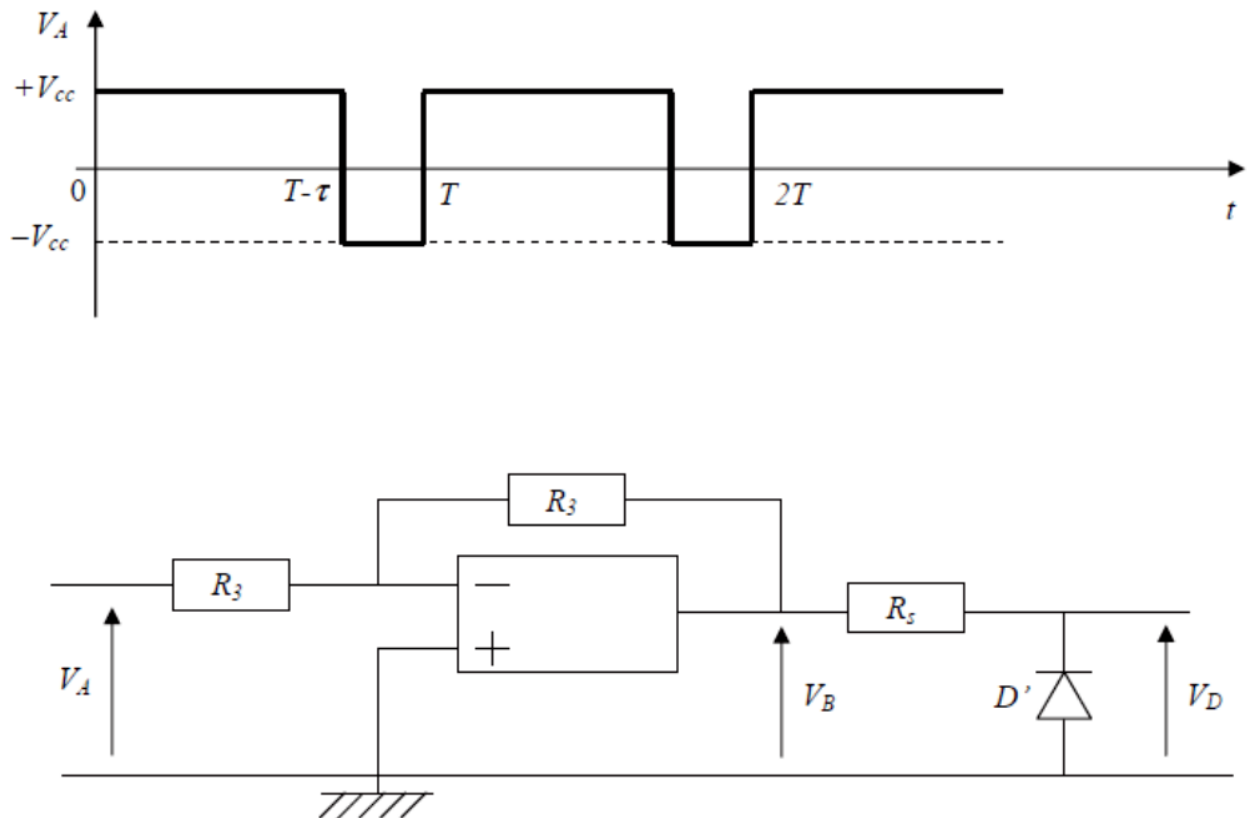


Figure 10 : circuit de mise en forme et chronogramme

B2.3- Calculer la valeur moyenne de la tension V_D en fonction de la fréquence $f = 1/T$.

B2.4- On désire obtenir, à partir de la tension V_D , une tension V_S proportionnelle à la fréquence $f = 1/T$, tel que : $V_S = k.f$. En faisant appel à la décomposition en série de Fourier de la tension V_D , définir le type de filtrage à utiliser. Préciser alors l'expression de k . Comment choisir la fréquence de coupure de ce filtre (figure 11) ?

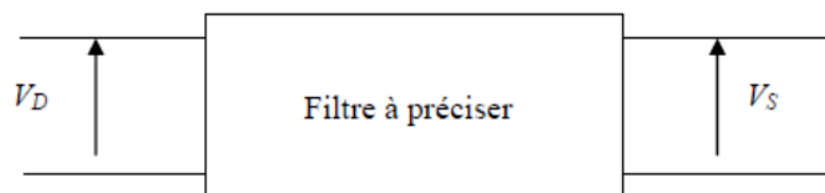


Figure 11 : utilisation d'un filtre à préciser

