

Les parties IV A et IV B sont obligatoires ; la partie IV C est facultative

Les amplificateurs opérationnels utilisés sont idéaux ; dans les parties IV.A et IV.B. on travaille en régime sinusoïdal forcé.

IV.A - Filtrage

On rappelle que les signaux issus des deux capteurs de vitesse étudiés dans la partie III sont théoriquement des sinusoïdes déphasées d'un angle φ proportionnel au débit massique que l'on cherche à mesurer. On constate en fait expérimentalement que le signal est brouillé par des signaux de fréquences différentes.

IV.A.1) Donner une origine possible pour des signaux de fréquence inférieure à f et une autre pour des signaux de fréquence supérieure à f ($f = 80$ Hz).

IV.A.2) Quel type de filtrage peut-on envisager pour réduire l'amplitude de ces signaux parasites ?

On s'intéresse à un filtre de Sallen Key (figure 12) composé de 4 dipôles (1), (2), (3) et (4) d'admittances complexes respectives $\underline{Y}_1, \underline{Y}_2, \underline{Y}_3$ et \underline{Y}_4 et de deux résistors de résistances r et $(k-1)r$ où k est un réel positif tel que $1 < k < 5$. L'amplificateur opérationnel est en fonctionnement linéaire.

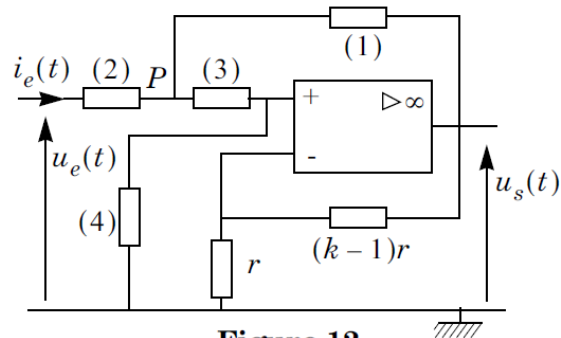


Figure 12

La fonction de transfert s'écrit alors sous la forme (calcul non demandé) :

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{k(\underline{Y}_2 \underline{Y}_3)}{\underline{Y}_4(\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3) + \underline{Y}_3(\underline{Y}_2 + (1-k)\underline{Y}_1)} \cdot \text{Ecrire les différentes équations permettant d'obtenir ce résultat}$$

Pour toute la suite, les composants (1) et (2) sont des résistors identiques de résistance R , (3) est un condensateur de capacité C et (4) est constitué d'un résistor de résistance R en parallèle avec un condensateur de capacité C .

IV.A.3) Déterminer la nature du filtre en prévoyant, sans calculs, les comportements asymptotiques à haute fréquence et à basse fréquence.

IV.A.4) La fonction de transfert peut se mettre sous la forme :

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{G_0}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)}$$

Établir les expressions de ω_0 , G_0 et Q en fonction de k , R et C . À quelles caractéristiques du filtre correspondent ces grandeurs ?

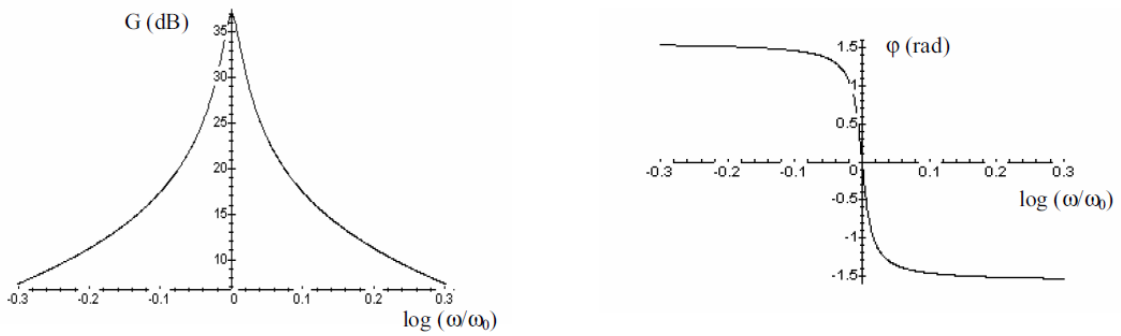
IV.A.5) Dédurre de l'expression de $\underline{H}(j\omega)$ l'équation différentielle qui relie $u_e(t)$ à $u_s(t)$. À quelle condition sur k ce filtre est-il stable ?

IV.A.6) La figure 13 ci-après (page suivante) correspond au diagramme de Bode pour une valeur de Q donnée. En exploitant graphiquement ce diagramme, donner l'expression du signal de sortie pour chacun des trois signaux suivants : $u_{e1}(t) = E \cos(100\pi t)$, $u_{e2}(t) = E \cos(160\pi t)$ et $u_{e3}(t) = E \cos(200\pi t)$.

La pulsation centrale du filtre ci-dessous, ω_0 , vaut 160π rad.s⁻¹.

Commenter les résultats obtenus.

Figure 13



Dans la suite on s'intéresse successivement à deux méthodes de mesure du déphasage entre les signaux sinusoidaux $u(t) = U \cos(2\pi ft)$ et $u'(t) = U' \cos(2\pi ft + \varphi)$ avec $f = 80 \text{ Hz}$.

IV.B - Mesure du déphasage à l'oscilloscope

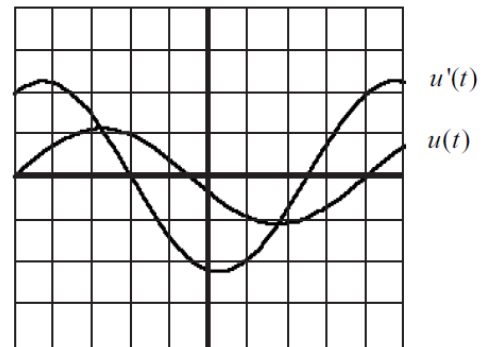
On utilise un oscilloscope pour visualiser les signaux $u(t)$ et $u'(t)$.

IV.B.1) Quel couplage d'entrée (AC ou DC) de l'oscilloscope doit-on choisir ? Pourquoi ?

IV.B.2) On obtient l'oscillogramme ci-après (figure 14). On suppose que les déclenchements des deux signaux sont synchrones. Déduire de l'oscillogramme le déphasage φ entre les deux signaux. Lequel des deux signaux est en avance de phase sur l'autre ?

IV.B.3) Préciser, en justifiant la réponse comment choisir les sensibilités verticales pour améliorer la précision de la mesure du déphasage entre les deux courbes ?

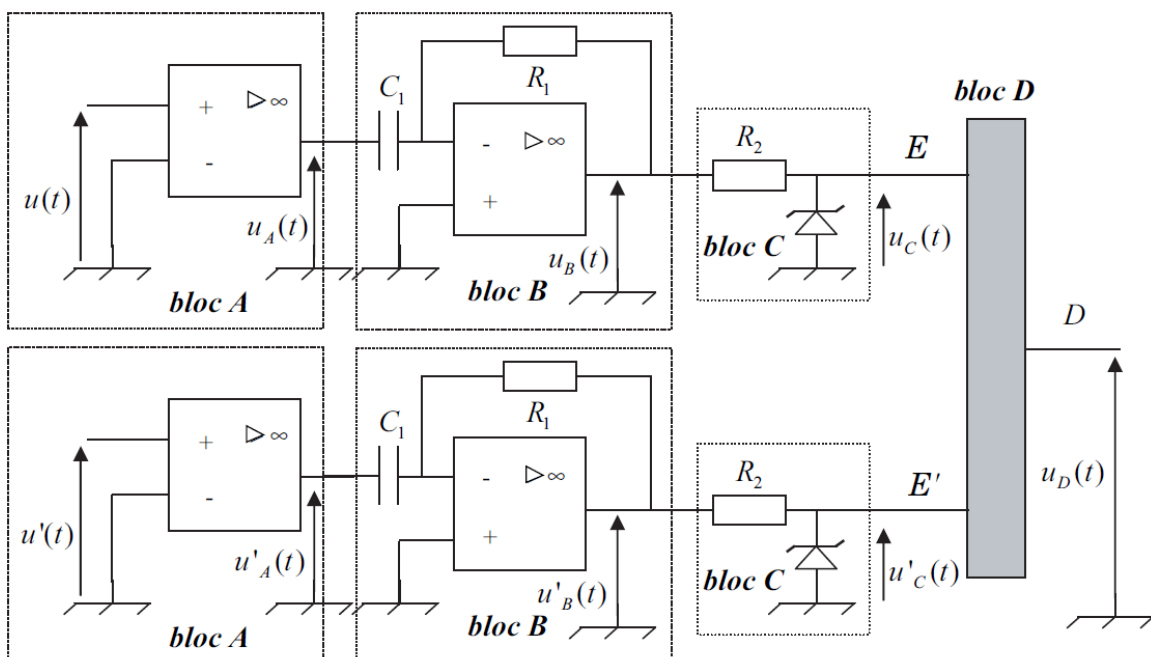
Figure 14



IV.C - Phasemètre à bascule

Pour de nombreux débitmètres conçus dans les années 1980 le déphasage est en fait mesuré selon le principe développé dans cette partie.

Figure 15



Le montage étudié, représenté figure 15, est décomposé en blocs notés « A », « B », « C » et « D ». Les blocs de type « C » font intervenir une diode Zener « idéale » à propos de laquelle aucune connaissance préalable n'est nécessaire. On considère que le régime permanent est atteint.

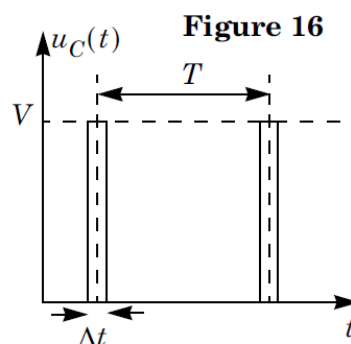
Les signaux sinusoïdaux $u(t)$ et $u'(t)$ de période T sont transformés en signaux $u_B(t)$ et $u'_B(t)$ composés d'impulsions déphasées. Les blocs « C » et « D » permettent de construire à partir de ces impulsions un signal dont on peut tirer le déphasage entre $u(t)$ et $u'(t)$. Les impédances d'entrée des entrées E et E' du bloc « D » sont considérées infinies. Les « impulsions » seront considérées ici comme des signaux rectangulaires de largeur temporelle Δt très faible devant T et de hauteur algébrique V (voir figure 16). Toutes les impulsions intervenant dans ce problème sont telles que $|V| \geq 5 \text{ V}$.

IV.C.1) Étude des blocs « A »

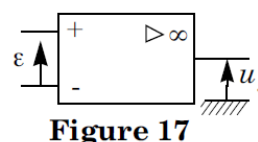
a) Représenter la caractéristique de transfert statique $u_s(\varepsilon)$ d'un amplificateur opérationnel idéal de gain infini (cf. figure 17).

b) Justifier que le montage de la figure 18 s'appelle « comparateur à zéro ». On supposera pour la suite du problème que les résultats obtenus dans cette question en régime statique restent valables pour un signal sinusoïdal.

c) On considère le bloc « A » en entrée duquel on injecte le signal sinusoïdal $u = U \cos(2\pi ft)$.



On note Δt la durée du basculement de la sortie de l'amplificateur opérationnel d'un état de saturation à l'autre. Tracer sur deux périodes la courbe représentative du signal $u_A(t)$. On indiquera soigneusement sur l'axe des temps les dates t_1, t_2, \dots, t_8 entre lesquelles la sortie de l'amplificateur opérationnel se trouve dans un état de saturation haut ou bas. On fera également figurer sur ce graphe la période T et la durée Δt .



On indique que les bascules de $+V_{\text{sat}}$ à $-V_{\text{sat}}$ et de $-V_{\text{sat}}$ à $+V_{\text{sat}}$ se font linéairement.

IV.C.2) Étude des blocs « B ». On supposera que les valeurs des composants sont choisies de telle sorte que les amplificateurs opérationnels de ces blocs soient toujours en régime linéaire.

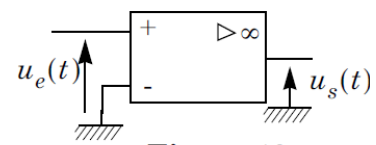


Figure 18

a) Établir l'équation différentielle qui relie $u_B(t)$ à $u_A(t)$.

b) Tracer sur deux périodes la courbe représentative du signal $u_B(t)$. On reportera soigneusement sur l'axe des temps les dates t_1, t_2, \dots, t_8 définies en IV.C.1-c) et on fera figurer la période T et la durée Δt .

IV.C.3) Étude des blocs « C »

La figure 19 représente la structure d'un bloc « C » et la figure 20 la caractéristique d'une diode Zener « idéale ».

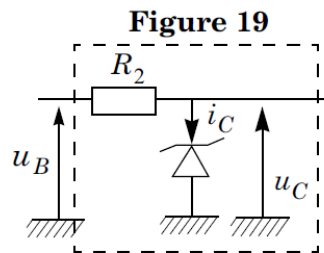
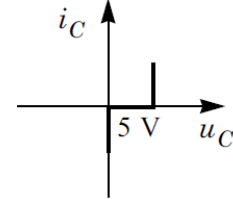


Figure 19

Figure 20



a) Établir, en tenant compte des impédances d'entrée infinies du bloc « D », la relation entre u_B, u_C et i_C .

b) Par un raisonnement utilisant la caractéristique de la diode Zener montrer qu'un bloc « C » permet de transformer les impulsions positives d'amplitude supérieure à 5 V en impulsions d'amplitude 5 V et de ramener à la valeur nulle une impulsion d'amplitude négative.

c) Tracer sur deux périodes la courbe représentative du signal $u_C(t)$. On reportera soigneusement sur l'axe des temps parmi les dates t_1, t_2, \dots, t_8 indiquées sur le graphe du IV.C.1-c) celles qui sont pertinentes pour ce graphe.

IV.C.4) Étude du bloc « D » (bascule)

Les tensions appliquées en E et E' sont nulles (état « 0 ») sauf lors de brèves impulsions où elles valent +5 V (état « 1 »). La tension $u_D(t)$ au niveau de la sortie D vaut : soit 0 V (état « 0 ») soit +5 V (état « 1 »). Le fonctionnement de ce bloc « D », dépend de la valeur de la sortie D tel qu'indiqué ci-dessous :

- si la sortie D est dans l'état « 1 », alors le passage de E de « 0 » à « 1 » fait passer D à « 0 » mais aucun changement d'état de E' ne peut modifier D .
- si la sortie D est dans l'état « 0 », alors le passage de E' de « 0 » à « 1 » fait passer D à « 1 » mais aucun changement d'état de E ne peut modifier D .

a) La figure 21 représente les signaux $u(t)$ et $u'(t)$ sur deux périodes. Ils sont décalés de l'intervalle de temps τ .

Exprimer φ en fonction de f et τ .

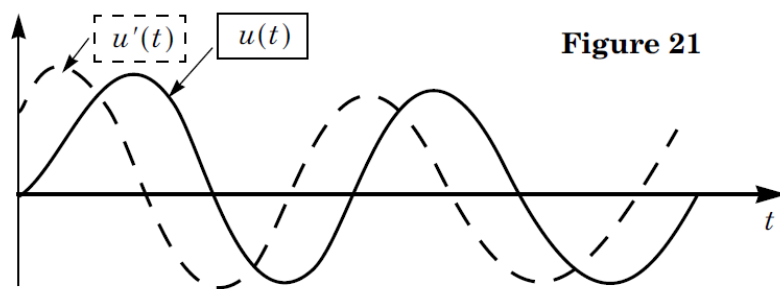


Figure 21

b) Reporter sur votre copie la figure 21. Sur ce même graphe tracer les courbes représentatives des signaux $u_C(t)$ et $u'_C(t)$. On supposera $\Delta t < \tau < T$ et on fera apparaître ces trois intervalles de temps sur l'axe des temps.

c) On considérera qu'à l'instant $t = 0$, la sortie D est dans l'état « 0 ». En dessous du graphe précédent, en respectant la même échelle des temps, reporter à nouveau $u_C(t)$ et $u'_C(t)$ et tracer la courbe représentative de $u_D(t)$. On fera apparaître les trois intervalles de temps $\Delta t, \tau$ et T sur l'axe des temps.

IV.C.5) On place à la sortie D le montage de la figure 22. L'amplificateur opérationnel fonctionne en régime linéaire. Montrer qu'en choisissant judicieusement le produit $r_0 C_0$ on peut obtenir pour $u_s(t)$ un signal proportionnel au déphasage φ .

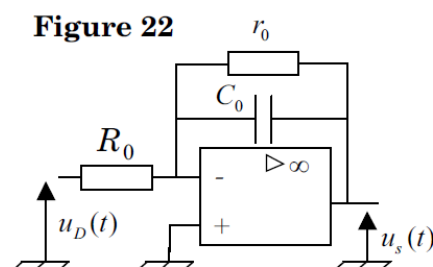


Figure 22