

## PARTIE ÉLECTRICITÉ (durée conseillée 1 h 15)

### ÉTUDE D'UN PHASEMÈTRE

Cette partie est constituée de quatre petites études indépendantes.

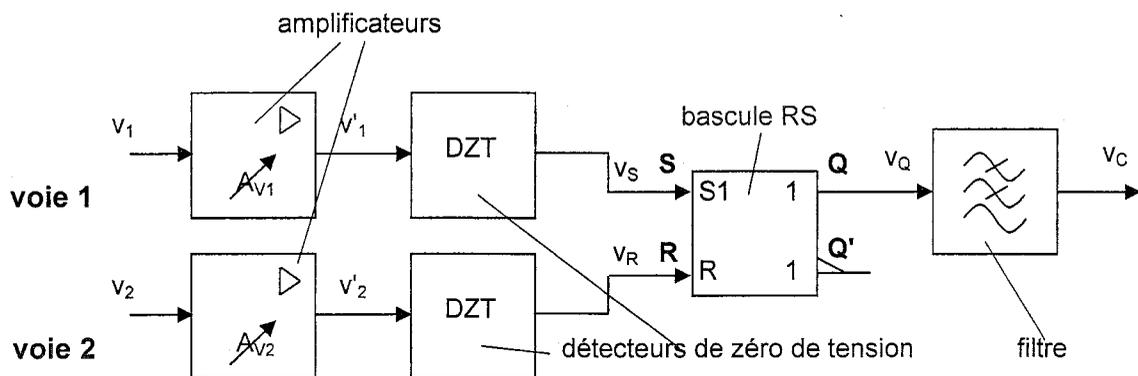
Le document-réponse doit impérativement (même vierge) être joint à la copie d'électricité.

La numérotation des réponses aux questions doit être scrupuleusement respectée.

**LES RÉSULTATS DES APPLICATIONS NUMÉRIQUES SERONT DONNÉS AVEC DEUX OU TROIS CHIFFRES SIGNIFICATIFS.**

#### PRÉSENTATION :

La **figure 1** représente les différentes parties d'un dispositif destiné à fournir une tension  $V_C$  continue proportionnelle au déphasage existant entre deux tensions sinusoïdales  $v_1$  et  $v_2$ , de même fréquence  $f$ , appliquées sur chacune de ses entrées. La tension de sortie  $v_C$  est quasiment nulle lorsque les tensions  $v_1$  et  $v_2$  sont en phase et vaut + 5 V lorsque le déphasage atteint  $360^\circ$ .



**Figure 1**

Remarque : La notation S1 indique que la sortie Q de la bascule vaut "1" lorsque les deux entrées sont toutes deux à "1". La table de vérité d'une telle bascule RS est donc :

S	R	Q	Q'
0	0	*	*
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	1	0

le symbole \* signifiant la conservation de l'état précédent (états des sorties inchangés).

À l'état logique haut ("1"), les tensions  $v_S$ ,  $v_R$  et  $v_Q$  valent + 5 V ; elles sont nulles à l'état bas "0".

Le déphasage  $\varphi$  de  $v_2$  par rapport à  $v_1$  s'écrit :  $\varphi = 2\pi f \cdot \tau$ ,  $\tau$  désignant le retard du passage par 0 (dans le même sens) de  $v_2$  par rapport à  $v_1$ .

En milieu industriel, les tensions d'entrées peuvent atteindre plusieurs centaines de volts ou seulement quelques fractions de volt (lorsqu'elles sont issues d'un capteur de courant par exemple) : les voies d'entrées sont dotées d'amplificateurs à gain variable.

Les amplificateurs opérationnels sont alimentés par une double alimentation symétrique dont le point milieu est relié à la masse M.

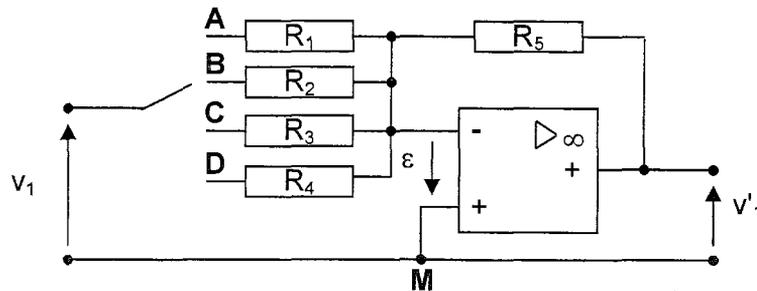
**Leurs tensions de saturation hautes et basses valent respectivement + 14 V et - 14 V.**

Ils seront par ailleurs considérés comme étant idéaux (intensités des courants d'entrée nulles, résistances de sortie nulles, etc.).

## Partie 1 : Étude des amplificateurs

On considère le schéma représenté **figure 2** dans lequel  $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_4 = 100 \text{ }\Omega$  et  $R_5 = 3,3 \text{ k}\Omega$ .

La tension  $v_1(t)$  est une tension sinusoïdale de valeur efficace  $V_1$  et d'amplitude  $V_{1M} = V_1 \cdot \sqrt{2}$ .



**Figure 2**

**1.1** - La valeur efficace  $V_1$  de la tension d'entrée  $v_1(t)$  vaut  $230 \text{ V} \pm 15 \%$ . On considère le sélecteur sur la position A (la tension  $v_1$  est appliquée sur  $R_1$ ).

**1.1.1** - Calculer la plus grande valeur instantanée possible que peut atteindre  $v_1$ .

**1.1.2** - Exprimer la tension de sortie de l'amplificateur  $v'_1$  en fonction de  $R_1$ ,  $R_5$  et  $v_1$  lorsque l'amplificateur opérationnel fonctionne linéairement.

**1.1.3** - En déduire l'amplification en tension et le gain correspondant sur la position A.

**1.1.4** - Calculer la puissance moyenne que doit pouvoir dissiper la résistance  $R_1$ .

**1.2** - On considère le montage lorsque le sélecteur est sur la position D : la tension  $v_1$  est alors appliquée sur  $R_4$ .

Déterminer la valeur efficace maximale de la tension  $v_1$  conduisant à la saturation de l'amplificateur opérationnel.

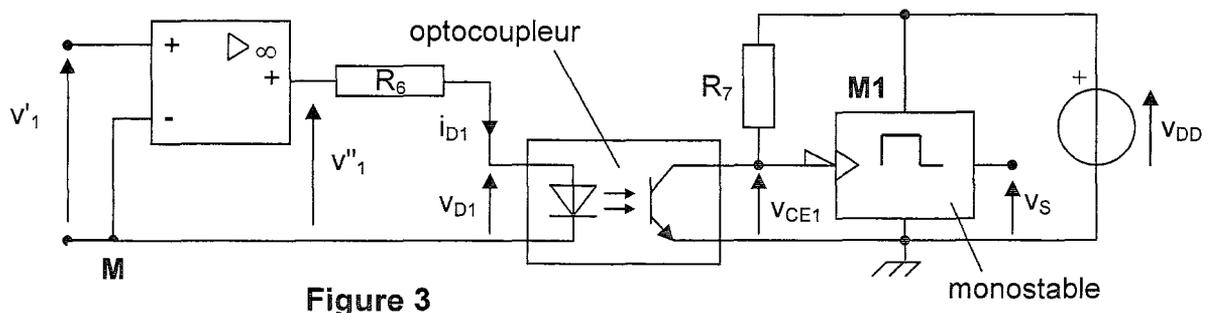
## Partie 2 : Étude des détecteurs de passage par zéro

Les tensions  $v'_1$  et  $v'_2$  issues des amplificateurs du montage de la **figure 1** présentent le même déphasage entre elles et sont donc décalées du même retard  $\tau$  que  $v_2$  par rapport à  $v_1$ .

On considère le schéma représenté **figure 3** dans lequel l'optocoupleur fonctionne en commutation. On rappelle le fonctionnement en commutation d'un optocoupleur :

- si la diode de celui-ci est passante, le transistor est saturé et  $V_{CE1} = 0$  ;
- si la diode de celui-ci est bloquée, le transistor est bloqué et  $V_{CE1} > 0$ .

Le monostable a une période propre (durée d'état instable)  $T_0 = 0,5 \text{ ms}$ . Il est déclenché par des fronts descendants de  $V_{CE1}$  et alimenté entre la masse (0 V) et  $V_{DD} = +5 \text{ V}$ .



**Figure 3**

- 2.1 - On considère un intervalle de temps au cours duquel la tension  $v_1$  est positive.
- 2.1.1 - Pourquoi l'amplificateur opérationnel ne fonctionne-t-il pas linéairement ? Quelle est la valeur de  $v_1$  ?
- 2.1.2 - On désire que l'intensité  $i_{D1}$  du courant dans la photodiode soit égale à 13 mA. La tension  $v_{D1}$  à ses bornes étant alors voisine de 1 V, calculer la valeur à donner à la résistance  $R_6$ .
- 2.1.3 - Quel est le niveau logique ("0" ou "1") de la tension  $v_{CE1}$  alors appliquée à l'entrée du monostable ?
- 2.2 - On considère un intervalle de temps au cours duquel la tension  $v_1$  est négative. Quelle est la valeur de  $v_1$  ? En déduire le niveau logique de la tension  $v_{CE1}$ .
- 2.3 - Donner au moins une des fonctions remplies par les optocoupleurs.

### Partie 3 : Filtrage de la tension de sortie

On désire obtenir une tension continue par filtrage de la tension  $v_Q$  obtenue en sortie de la bascule. Cette tension rectangulaire, comprise entre 0 V (niveau logique "0" de Q) et  $+V_{DD} = +5$  V (niveau logique "1" de Q) pour de faibles valeurs de l'intensité  $i$  du courant de sortie, possède un rapport cyclique  $\alpha$  tel que  $\alpha T = \tau$ , décalage de  $v_2$  par rapport à  $v_1$  (cf. figure 4).

Pour filtrer  $v_Q$ , on utilise une résistance  $R$  et un condensateur de capacité  $C$  selon le schéma de la figure 5 :

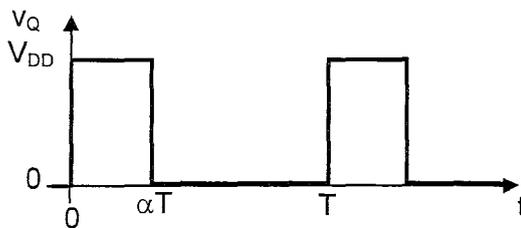


Figure 4

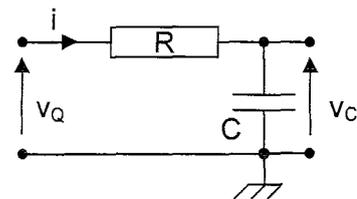
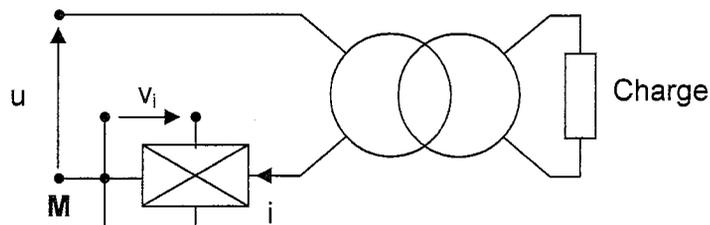


Figure 5

- 3.1 - Quelle est la nature du filtre ainsi réalisé ?
- 3.2 - Établir la relation liant  $V_{QMOY}$  à  $\alpha$  et  $V_{DD}$ .  
Calculer  $V_{QMOY}$  pour  $\tau = 4$  ms et  $f = 50$  Hz.
- 3.3 - Lorsque la constante de temps  $\tau_1 = RC$  est très supérieure à la période  $T$ , on montre que l'écart  $\Delta v_C$  entre les valeurs maximale  $V_{C_{MAX}}$  et minimale  $V_{C_{MIN}}$  atteintes par  $v_C$  s'écrit :
- $$\Delta v_C = V_{C_{MAX}} - V_{C_{MIN}} = \frac{5 \cdot \alpha \cdot (1 - \alpha)}{\tau_1 \cdot f}$$
- 3.3.1 - La fréquence  $f$  étant fixée, pour quelle valeur de  $\alpha$  cet écart est-il maximal ?
- 3.3.2 - Calculer  $\Delta v_C$  pour  $R = 100$  k $\Omega$ ,  $C = 10$   $\mu$ F,  $\tau = 4$  ms et  $f = 50$  Hz.

## Partie 4 : Application industrielle

On insère un capteur de courant en série avec le primaire du transformateur selon le montage schématisé **figure 7**.



**Figure 7**

Le capteur, de sensibilité  $K$ , délivre une tension  $v_i$  proportionnelle à l'intensité  $i$  :  $v_i(t) = K \times i(t)$ ,  $K$  étant un coefficient positif.

La tension  $u$  est appliquée sur la voie 1 du phasemètre ( $u = v_1$ ) tandis que  $v_i$  est appliquée sur la voie 2 ( $v_i = v_2$ ).

Chaque détecteur de zéro de tension (DZT) délivre une impulsion positive de durée égale à 0,5 ms à partir du passage par 0 dans le sens croissant de la tension appliquée sur la voie qui le déclenche.

4.1 - D'après l'allure de  $v_i(t)$  représentée sur le **document réponse**, déterminer, en V/A, la sensibilité  $K$  du capteur de courant employé. *Question supprimée.*

4.2 - Sur le **document réponse** et en concordance avec les tensions  $u(t)$  et  $v_i(t)$ , représenter l'allure des tensions  $v_S(t)$  et  $v_R(t)$  appliquées sur les entrées de la bascule. En déduire l'allure de la tension  $v_Q(t)$  délivrée par sa sortie.

4.3 - Quelle relation simple existe-t-il entre la valeur moyenne de  $v_Q(t)$  et le déphasage  $\varphi$  de  $v_i(t)$  par rapport à  $u(t)$  ?