

## Projet électrique (Temps conseillé 3h)

Pour assurer la fonction de découpe à la volée dans une ligne de fabrication de panneaux de particules de bois, il est nécessaire d'asservir la vitesse d'avance du moteur de la scie circulaire à celle du bois à découper. Cette scie est montée sur une unité verticale actionnée par un vérin pneumatique, elle-même montée sur unité horizontale mue par une courroie crantée entraînée par un moteur électrique.

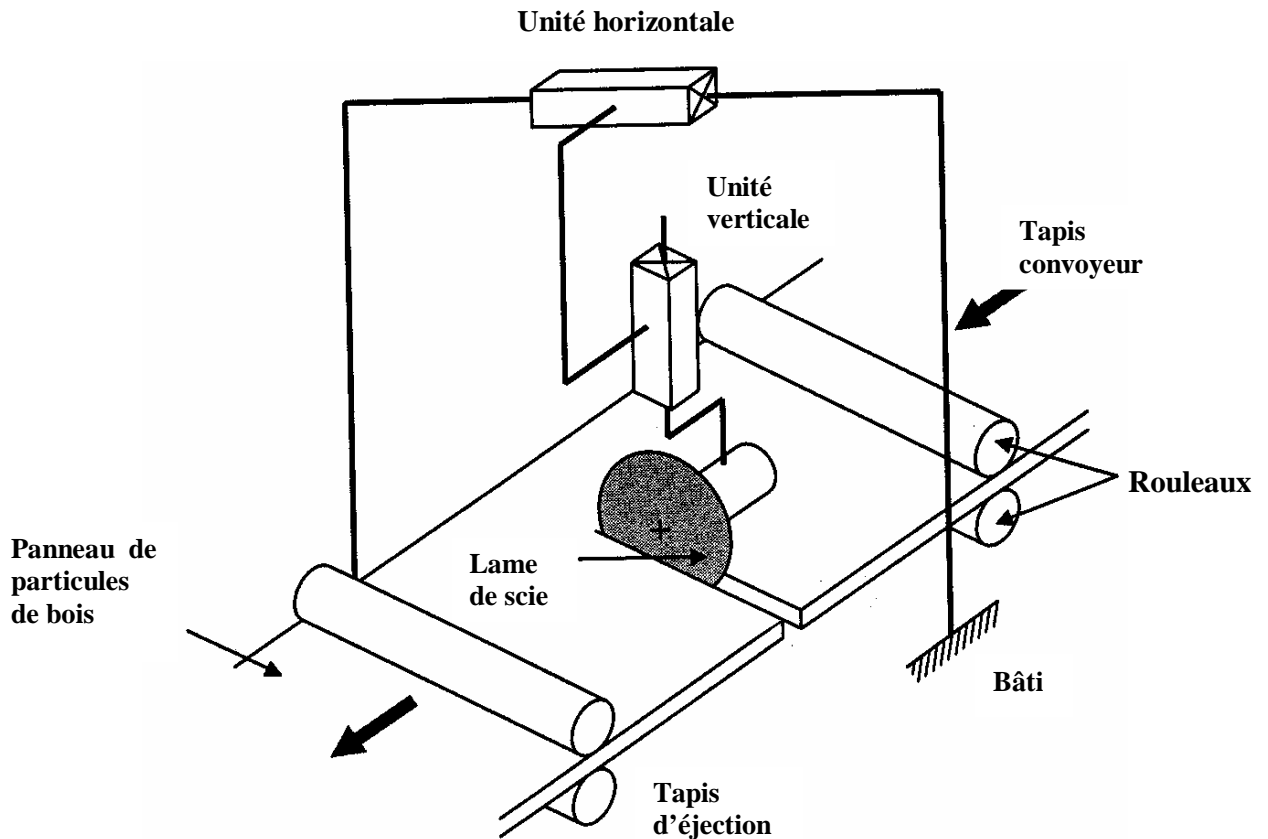


Figure 1

Ce moteur à courant continu est alimenté par un redresseur commandé et placé dans une boucle d'asservissement.

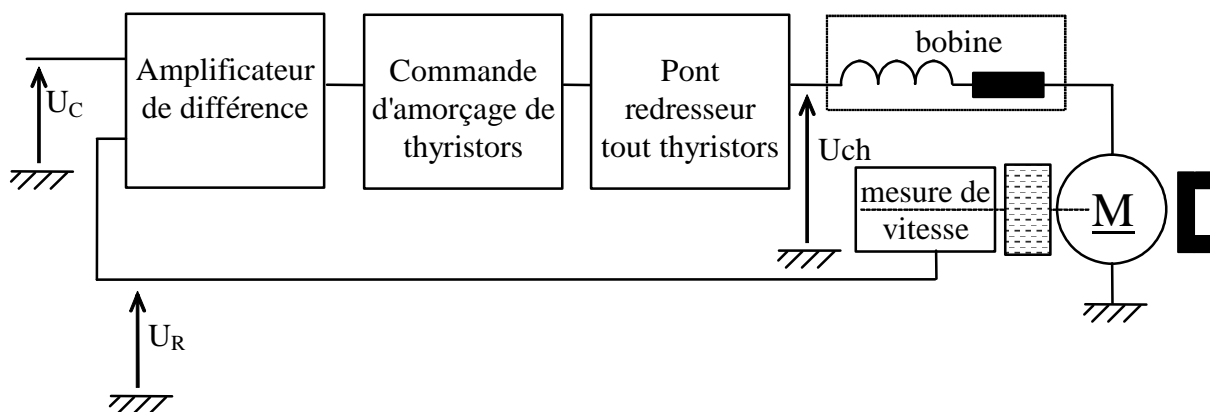


Figure 2

Le redresseur commandé est un PD2 tout thyristor, la variation de la vitesse se fera en modifiant l'angle  $\psi$  de retard à l'amorçage des thyristors.

Le sujet est composé de quatre parties qui peuvent être traitées de façon indépendante.

**Partie 1 : Etude du pont redresseur PD2 :**

Afin de régler la tension aux bornes de l'induit du moteur à courant continu, on utilise un pont PD2 tout thyristors (Figure 3). Le moteur travaille à flux constant. La commutation des thyristors est supposée instantanée. Le courant de sortie est supposé constant et les thyristors parfaits.

Les impulsions d'amorçage sont appliquées respectivement aux angles :

- $\theta = \psi + 2k\pi$  pour Th1 et Th3.
- $\theta = \psi + \pi + 2k\pi$  pour Th2 et Th4.

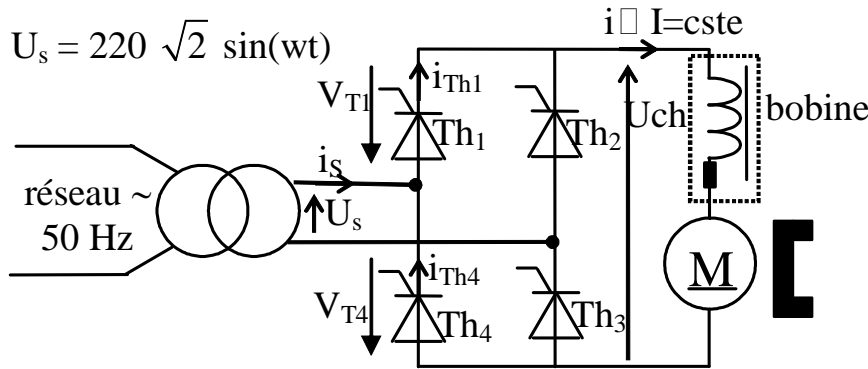


Figure 3

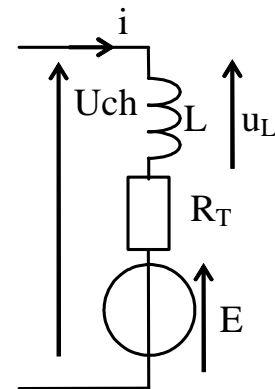


Figure 4

**1.1.** Pour un angle de retard à l'amorçage  $\psi < 90^\circ$  et  $\psi > 90^\circ$ , donner l'allure de la tension redressée  $U_{ch}(t)$ , de la tension  $V_{T4}(t)$  (tension aux bornes du thyristor Th4), du courant  $i_{Th1}(t)$  et du courant  $i_s(t)$  (courant du secondaire du transformateur).

**1.2.** Calculer en fonction de I les valeurs efficace et moyenne du :

- Courant traversant Th1, ( $i_{Th1}$ ).
- Courant secondaire du transformateur  $i_s$ .

**1.3.** Calculer  $U_{ch_{moy}}$  la valeur moyenne de la tension redressée en fonction de l'angle de retard à l'amorçage  $\psi$ .

**1.4.** Indiquer le type de fonctionnement du pont redresseur et de la machine à courant continu pour  $0 < \psi < 180^\circ$ . Justifier la réponse.

**1.5.** Pour  $\psi < 90^\circ$ , déterminer l'expression du facteur de puissance noté  $\lambda$  au secondaire du transformateur en fonction  $\psi$ .

**1.6.** On note E la fém du moteur,  $R_T$  la résistance totale du circuit de charge du pont redresseur et L l'inductance totale de l'ensemble moteur et bobine (Figure 4).

On donne  $R_T = 2,1 \Omega$ . Pour  $i_{moy} = 20,6 \text{ A}$  et  $E = 125,9 \text{ V}$ , calculer la valeur de l'angle d'amorçage  $\psi$ .

**1.7.** Quelle solution peut-on proposer pour avoir le fonctionnement de la machine à courant continu dans les quatre quadrants? Puis donner la condition du bon fonctionnement du montage proposé.

**Partie 2 : Etude de la MCC :**

Caractéristiques nominales données par le constructeur :

Puissance nominale	8,5 kw
Vitesse nominale	1500 tr/min
Tension nominale	270 v
Courant nominale	35 A
Résistance de l'induit	0,52 $\Omega$

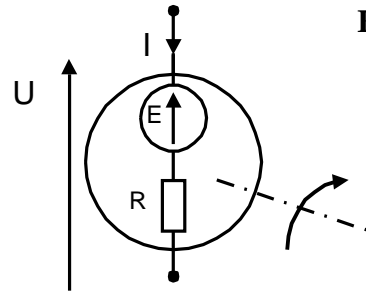


Figure 5

Le moteur est à excitation séparée à aimant permanent.

2.1. Pour le fonctionnement nominal, Déterminer :

- 2.1.1. La puissance  $P_a$  absorbée par l'induit.
- 2.1.2. Le couple électromagnétique  $T_{em}$ .
- 2.1.3. Le couple de pertes (magnétique et mécanique) de moment  $T_p$ .

Par la suite le couple de pertes sera supposé constant, de valeur 2 N.m.

2.2. Calculer le courant absorbé par l'induit à vide.

2.3. Déterminer l'intensité  $I$  du courant dans l'induit puis la tension  $U$  à ses bornes pour obtenir en marche Moteur à la fréquence de rotation  $n = 750$  tr/min, un couple sur l'arbre  $T_u = 31$  N.m.

**Partie 3 : Etude du générateur d'angle de retard à l'amorçage :**

Le schéma synoptique est donné à la figure 6. Pour que les thyristors du pont PD2 conduisent, il faut que le potentiel d'anode A soit supérieur à celui de la cathode K et qu'une tension  $V_{Gk}$  soit appliquée entre l'entrée de gâchette G et la cathode, sous forme d'un train d'impulsions positives.

Cette partie est consacrée à l'obtention de ce train d'impulsions et sa synchronisation sur la tension du réseau.

- Tous les amplificateurs intégrés du générateur d'impulsions de l'annexe 1, seront considérés comme parfaits et alimentés sous des tensions symétriques  $+V_{cc}$  et  $-V_{cc}$  avec  $V_{cc} = 15$  V. On suppose de plus que leurs tensions de saturation sont égales à  $+V_{cc}$  et  $-V_{cc}$ .
- Les diodes sont considérées parfaites.
- Le schéma interne du circuit intégré 555 est donné en annexe 2.
- La commande des thyristors est synchronisée sur la tension sinusoïdale  $V_1(t)$ , de fréquence 50 Hz.

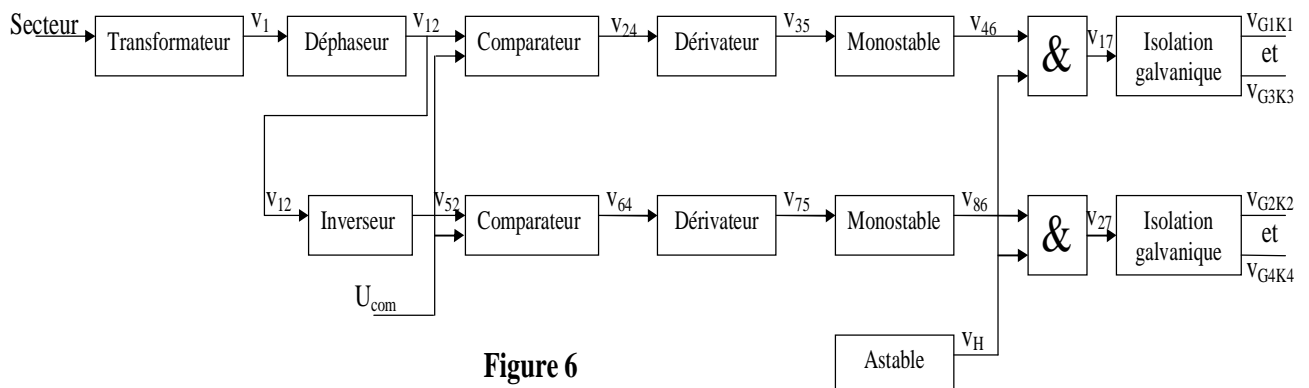


Figure 6

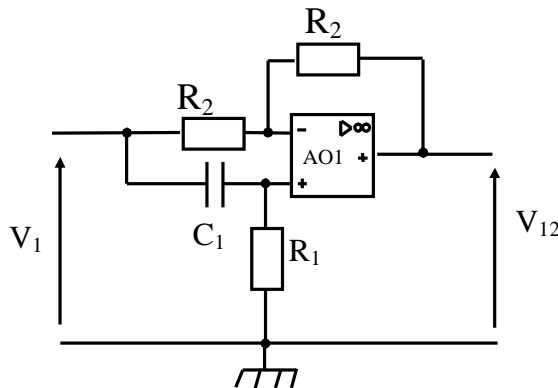
## I. Etude du sous ensemble SE1

Le circuit est représenté sur la figure 7.  $\underline{V}_1$ ,  $\underline{V}_{12}$  sont les nombres complexes associés respectivement aux tensions sinusoïdales  $V_1(t)$  et  $V_{12}(t)$ .

$$v_1(t) = V_{1\max} \sin \omega t$$

avec  $V_{1\max} = 13 \text{ V}$

Figure 7



3.1. Déterminer l'expression de l'amplification en tension  $\underline{A}_v = \frac{\underline{V}_{12}}{\underline{V}_1}$  et la mettre sous la

forme de:  $\underline{A}_v = + \frac{-1 + j \frac{f}{f_0}}{1 + j \frac{f}{f_0}}$  où l'on exprimera  $f_0$  en fonction de  $R_1$  et  $C_1$ .

3.2. Tracer le diagramme de Bode de  $\underline{A}_v$  (Module et Argument).

3.3. On donne  $R_1 = 47 \text{ k}\Omega$ , quelle valeur faut-il donner à  $C_1$  pour que, à la fréquence de la tension de synchronisation  $V_1(t)$ , le rapport  $\frac{f}{f_0}$  soit égal à 1 ?

3.4. Tracer sur le document réponse N° :1,  $V_{12}(t)$ , si  $\frac{f}{f_0} = 1$ .

3.5. Quelle fonction réalise ce sous ensemble SE1.

## II. Etude des sous ensembles : SE2 et SE6

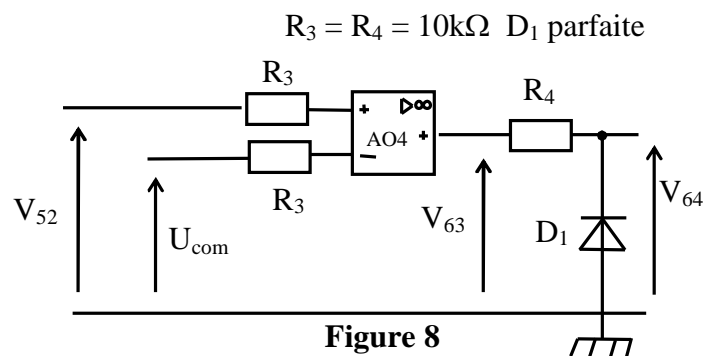


Figure 8

$U_{\text{com}}$  est une tension continue constante, avec :  $-13 < U_{\text{com}} < 13 \text{ V}$ .

3.6. Pour  $U_{\text{com}} = 10 \text{ V}$ , représenter sur le document réponse N° :2 l'allure de  $V_{64}(t)$ , en concordance des temps avec  $V_{52}(t)$ . (On néglige la chute de tension aux bornes de la résistance  $R_4$ )

**3.7.** On note  $t_1$  l'instant positif où, pour la première fois,  $V_{52}(t)$  devient supérieur à  $U_{com}$  et  $t_2$  l'instant où pour la première fois après  $t_1$ ,  $V_{52}(t)$  devient inférieur à  $U_{com}$  ;  
On pose  $\psi = \omega t_1$  ;  $\psi$  sera l'angle de retard à l'ouverture des thyristors commandés.

Donner une relation entre  $\cos \psi$ ,  $U_{com}$  et  $V_{max}$ .

**3.8.** Avec  $U_{com} = 10\text{ V}$ ,  $V_{max} = 13\text{ V}$  et  $f = 50\text{ Hz}$ , calculer  $\psi$  (en degrés) puis  $t_1$  en secondes.

**3.9.** Sur le document réponse N° : 1, représenter l'allure de  $V_{24}(t)$  pour  $U_{com} = 10\text{ V}$ .

### III. Etude des sous ensembles :SE3 et SE7 :

Entre l'instant  $t = 0$  et l'instant  $t_3$  (instant où  $v_{24}(t)$  bascule à 0V) le condensateur de capacité  $C_2$  n'est pas chargé.

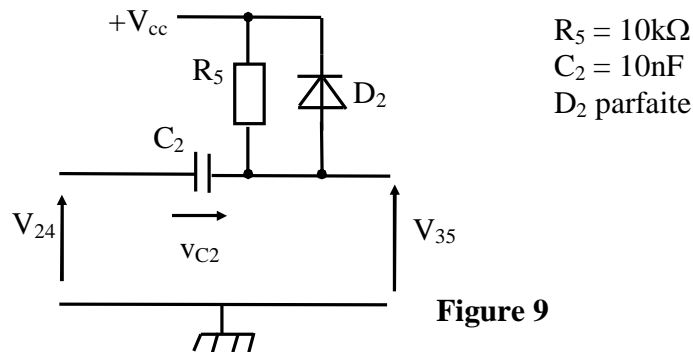


Figure 9

**3.10.** Pour  $t = t_3^-$  préciser la valeur de la tension  $V_{24}(t_3^-)$ , et celle de la tension  $V_{35}(t_3^-)$ .

**3.11.** À  $t = t_3^+$  quelle est la valeur que prend  $V_{24}$  ? Que devient alors la valeur de  $V_{35}(t_3^+)$  ?

**3.12.** La diode  $D_2$  intervient-elle dans la phase de charge du condensateur ? Que peut-on dire de  $V_{35}(t)$  par rapport à  $v_{C_2}$  ?

**3.13.** Quelle solution peut-on proposer d'une part pour isoler le SE2 du SE3 et isoler le SE6 du SE7 d'autre part.

**3.14.** Etant donné la solution de la question précédente, calculer la constante de temps  $\tau_{ch}$  de ce circuit de charge du condensateur  $C_2$ . On estime qu'à  $3\tau_{ch}$  le condensateur est presque totalement chargé.

**3.15.** Soit  $t_4$  l'instant où  $V_{12}$  devient supérieure à  $U_{com}$ . À  $t = t_4^-$  que valent les tensions  $V_{24}(t_4^-)$ ,  $V_{35}(t_4^-)$  et  $V_{C_2}(t_4^-)$  ?

**3.16.** À  $t = t_4$ ,  $V_{24}(t)$  bascule de 0V à  $V_{cc}$ . Quelle serait, s'il n'y avait pas la diode  $D_2$ , la tension  $v_{35}(t_4^+)$  ?

**3.17.** Quel est alors l'état de la diode  $D_2$ , quel rôle joue-t-elle ? Quelle est la valeur de la tension  $V_{35}(t)$  à partir de l'instant  $t_4^+$  ?

**3.18.** Tracer sur le document réponse N° :1, l'allure de la tension  $V_{35}(t)$  en concordance de phase avec  $V_{24}(t)$ .

**3.19.** Tracer sur le document réponse N° :2, l'allure de la tension  $V_{75}(t)$  en concordance de phase avec  $V_{64}(t)$ .

### IV. Etude des sous ensembles : SE4 et SE8

Quand le transistor **T**'est saturé on néglige sa tension collecteur - émetteur de saturation (voir annexe 2).  $C_3$  est initialement déchargé.

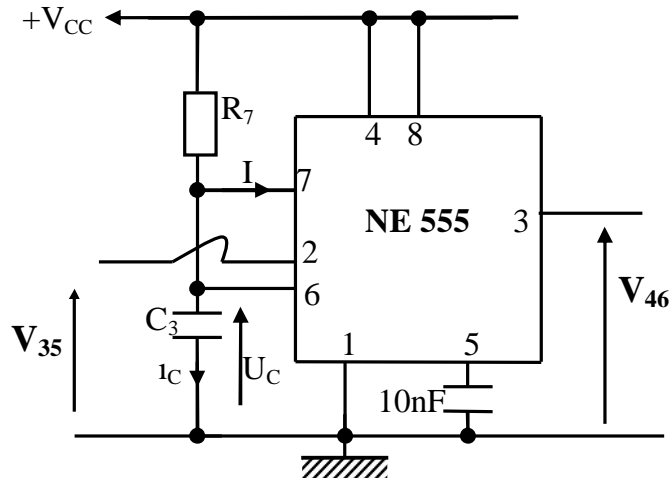


Figure 10

3.20 Dans l'intervalle de temps  $[0, t_3]$  la tension  $V_{46}$  est nulle et le transistor T'est saturé.

3.20.1. Quels sont les valeurs des tensions  $v'$  (voir figure c, page 10) et  $U_C$ ?

3.20.2. Quels sont les états logiques des sorties R et S des comparateurs AO5 et AO6.

3.21. Á  $t = t_3$ : Quelle est la valeur logique de S ? Quelle est celle de la sortie Q ? Quel est l'état de T' ? Que vaut  $V_{46}$ ? Quelle est l'expression de la constante de temps  $\tau$  avec laquelle évolue  $U_C$ ?

3.22. A l'instant  $t = t_5$ ,  $U_C$  prend la valeur  $\frac{2}{3}V_{cc}$  ; pour  $t > t_5$ , quel est l'état de T' ? Quelle est la valeur de  $V_{46}$ ?

On définit  $\theta = t_5 - t_3$ . Exprimer  $\theta$  en fonction de  $R_7$  et  $C_3$ . Faire l'application numérique.

3.23. Tracer, en concordance de temps avec  $V_{35}(t)$ , le graphe de  $V_{46}(t)$  sur le document réponse N° :1.

3.24. Tracer, en concordance de temps avec  $V_{75}(t)$ , le graphe de  $V_{86}(t)$  sur le document réponse N° :2.

## V. Elaboration du train d'impulsions

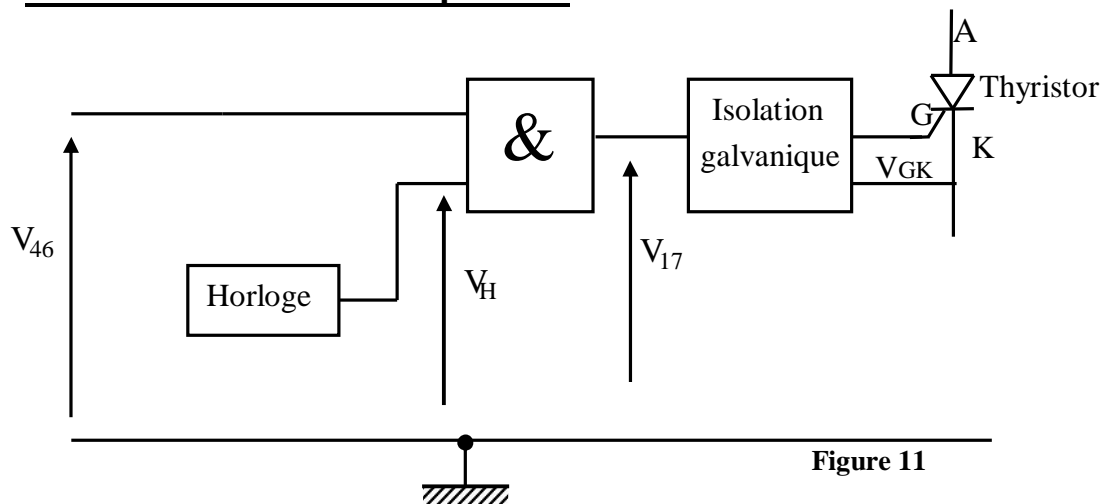


Figure 11

La porte logique reçoit sur une entrée le signal  $V_{46}(t)$  et sur l'autre un signal d'horloge à la fréquence 4,6 kHz.

3.25. Donner sur le document réponse N° :1, l'allure du signal de sortie  $V_{17}(t)$  de cette porte en concordance de phase avec  $V_{46}(t)$ .

**3.26.** Donner sur le document réponse N° :2, l'allure du signal de sortie  $V_{27}(t)$  en concordance de phase avec  $V_{86}(t)$ .

**3.27.** Quel est le nombre d'impulsions généré.

**3.28.** Citer deux éléments pouvant réaliser l'isolation galvanique.

**Partie 4 : Etude de l'asservissement de la vitesse de la MCC :**

Cette partie se rapporte à l'élaboration de l'asservissement de vitesse de la MCC.

**I. Modélisation dynamique de la machine à courant continu :**

Le schéma électrique de l'induit et de la bobine est représenté sur la figure 4 page 2 où  $\Omega$  est la vitesse angulaire de rotation en  $\text{rad.s}^{-1}$ ,  $E$  la f.é.m,  $R_T = 2,1\Omega$  et  $L = 2,6\text{mH}$  respectivement la résistance totale du circuit de charge du pont redresseur et l'inductance totale de l'ensemble moteur et bobine.

**4.1.** Exprimer  $U_{ch}(t)$  en fonction de  $i(t)$  et  $\Omega(t)$ . En déduire  $U_{ch}(p)$  en fonction de  $I(p)$  et  $\Omega(p)$ . ( $U_{ch}(p)$ ,  $I(p)$  et  $\Omega(p)$  sont les transformées de Laplace de  $U_{ch}(t)$ ,  $i(t)$  et  $\Omega(t)$ ).  
On donne  $i(0) = 0$  et  $\Omega(0) = 0$ .

**4.2.** Le moteur à courant continu caractérisé par :

$J = 0,5 \text{ kg.m}^2$  : est le moment d'inertie équivalent ramené à l'arbre moteur

$C_r$  est le couple résistant.

$K = 1,6 \text{ Nm/A}$  : constante de fem et de couple.

Le moteur obéit au modèle du schéma - bloc de la figure suivante :

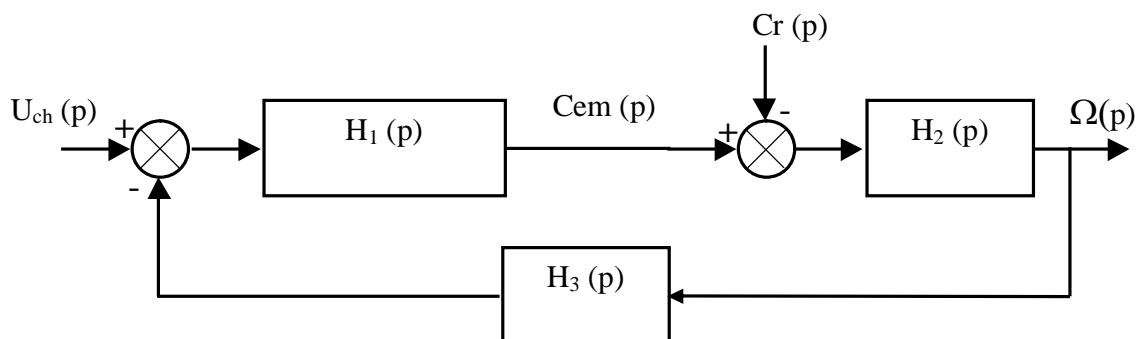


Figure 12

**4.2.1.** Exprimer le moment du couple électromagnétique  $C_{em}(t)$  du moteur en fonction de l'intensité  $i(t)$  du courant d'induit. Puis utiliser ce résultat et le résultat de la question **4.1** pour expliciter  $H_1(p)$ , par la suite  $H_3(p)$ .

**4.2.2.** Écrire la relation fondamentale de la dynamique appliquée au rotor de la machine. En déduire  $H_2(p)$ .

**4.2.3.** Si  $C_r(p) = 0$ , Exprimer la fonction de transfert symbolique  $H_m(p) = \frac{\Omega(p)}{U_{ch}(p)}$  en

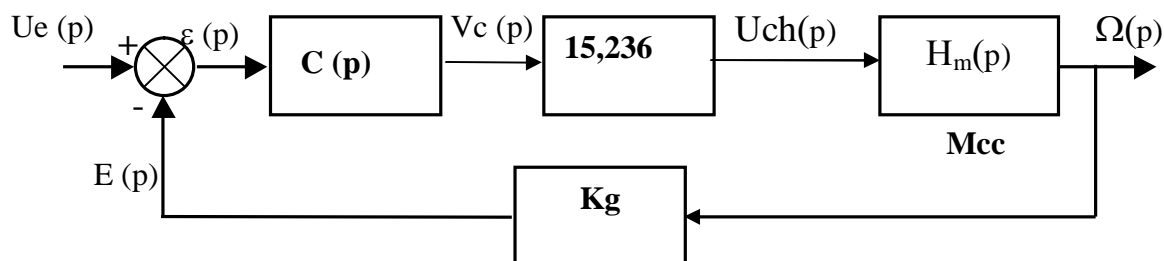
fonction de  $H_1(p)$ ,  $H_2(p)$  et  $H_3(p)$ . Puis en fonction de  $J$ ,  $L$ ,  $R$  et  $k$ .

**Faire l'application numérique.**

**4.3.** Montrer que  $H_m(p)$  peut s'écrire :  $H_m(p) = \frac{H_0}{(1+\tau_m p)(1+\tau_e p)}$  où  $H_0$ ,  $\tau_e$  et  $\tau_m$  sont des constantes positives qu'on calculera numériquement avec  $\tau_e \ll \tau_m$ .

**II. Introduction du correcteur PI :**

Par suite, Le moteur est incorporé dans la boucle de vitesse simple, représentée par la figure 13. Où  $K_g$  représente le gain de la génératrice tachymétrique (TB 203) qui pour une vitesse de 3000 tr/min donne une tension de **15v**.



**Figure 13**

Le correcteur de fonction de transfert  $C(p) = A \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot p}\right)$ , est de type Proportionnel Intégral.

**4.4.** Proposer un montage réalisant  $C(p)$ .

**4.5.** Exprimer la fonction de transfert en boucle ouverte  $H_{BO}(p) = \frac{E(p)}{Ue(p)}$ .

**4.6.** On souhaite obtenir une compensation du plus petit pôle de la fonction de transfert  $H_{BO}(p)$  (sa plus grande « constante de temps ») par le terme introduit au numérateur de  $C(p)$ .

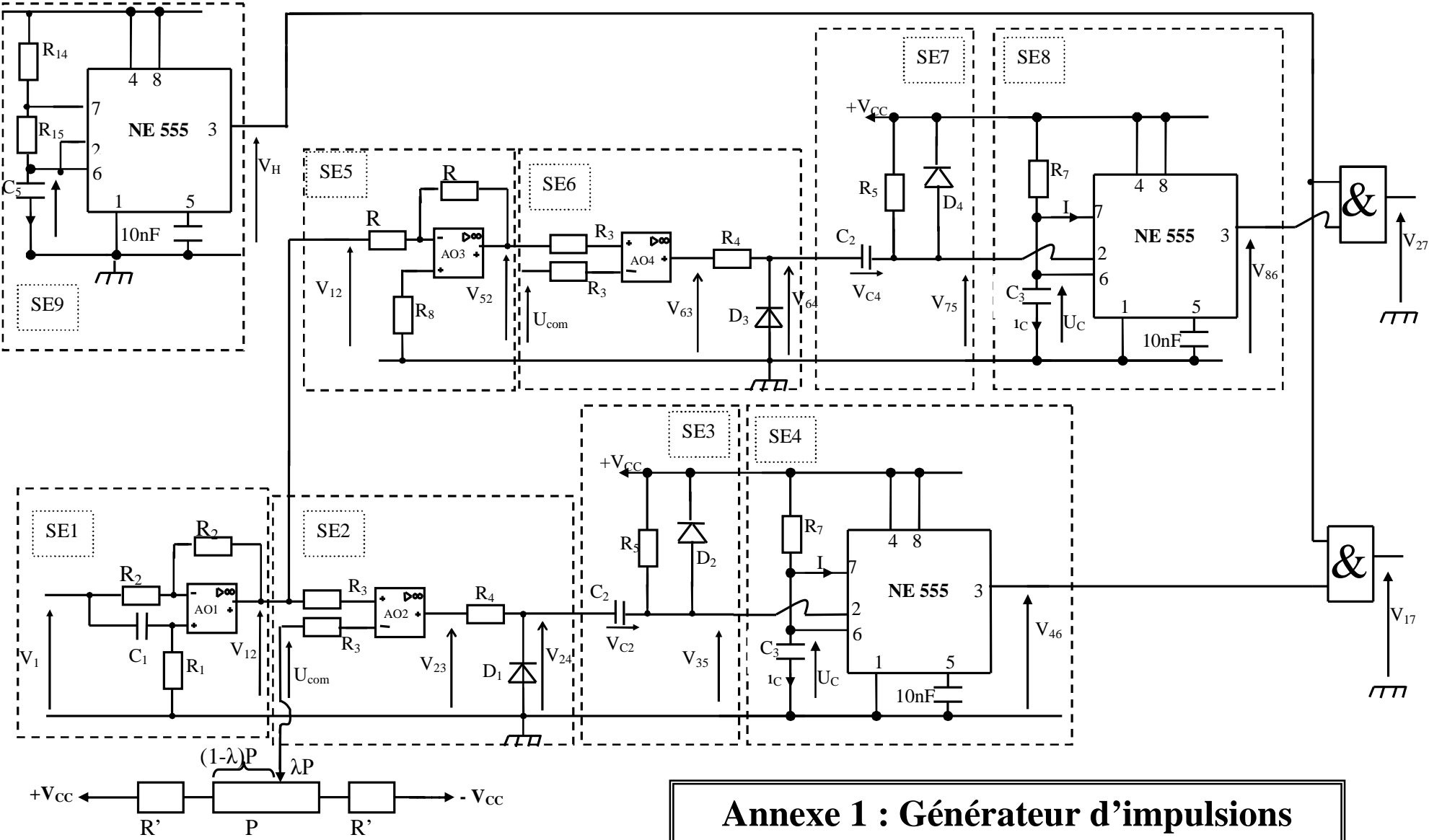
**4.6.1.** Quelle est la valeur à donner à  $T_i$  pour satisfaire cette compensation.

**4.6.2.** Donner la nouvelle fonction de transfert en boucle ouverte  $H_{BO_n}(p) = \frac{E(p)}{Ue(p)}$

**4.7.** Calculer  $A$  pour avoir une marge de phase de **45°**.

**4.8.** Sans calcul, dite pourquoi l'erreur de position  $\varepsilon(t)$  est nulle en régime permanent.





**Annexe 1 : Générateur d'impulsions**

# Annexe 2

N.B : les amplificateurs opérationnels AO5 et AO6 sont alimentés entre +15v et 0v.  
 On considère que +15v est un niveau logique haut « 1 »  
 On considère que 0v est un niveau logique bas « 0 »

Clear	R	S	Q
0	x	x	0
1	0	0	mémorisation
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	Interdit

Figure b : Rappel du fonctionnement de la bascule RS

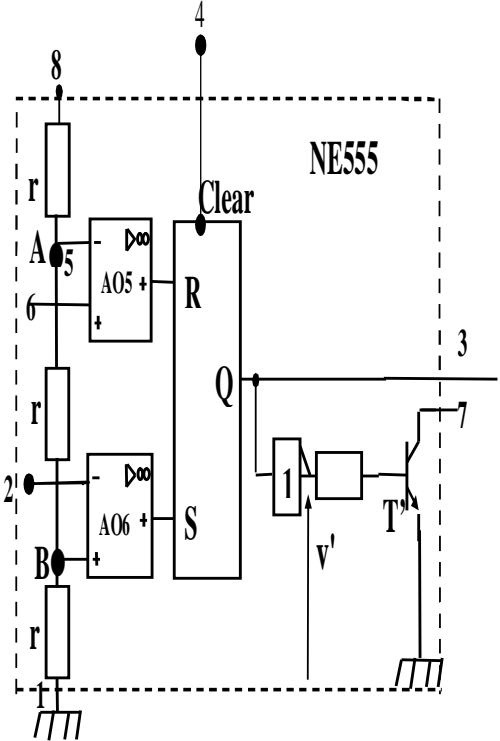


Figure a : Schéma interne du NE555

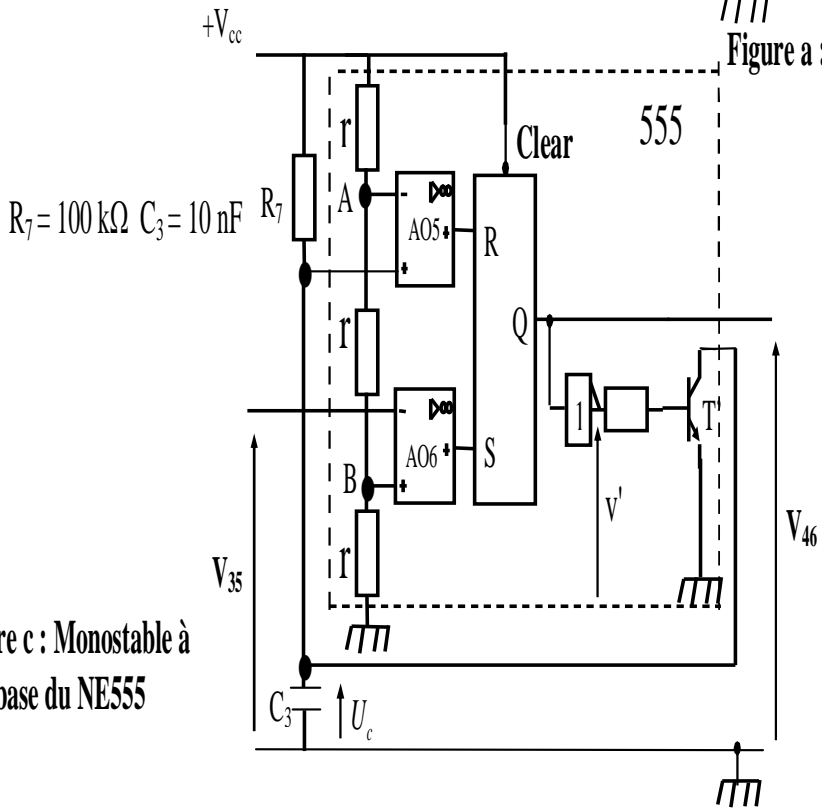
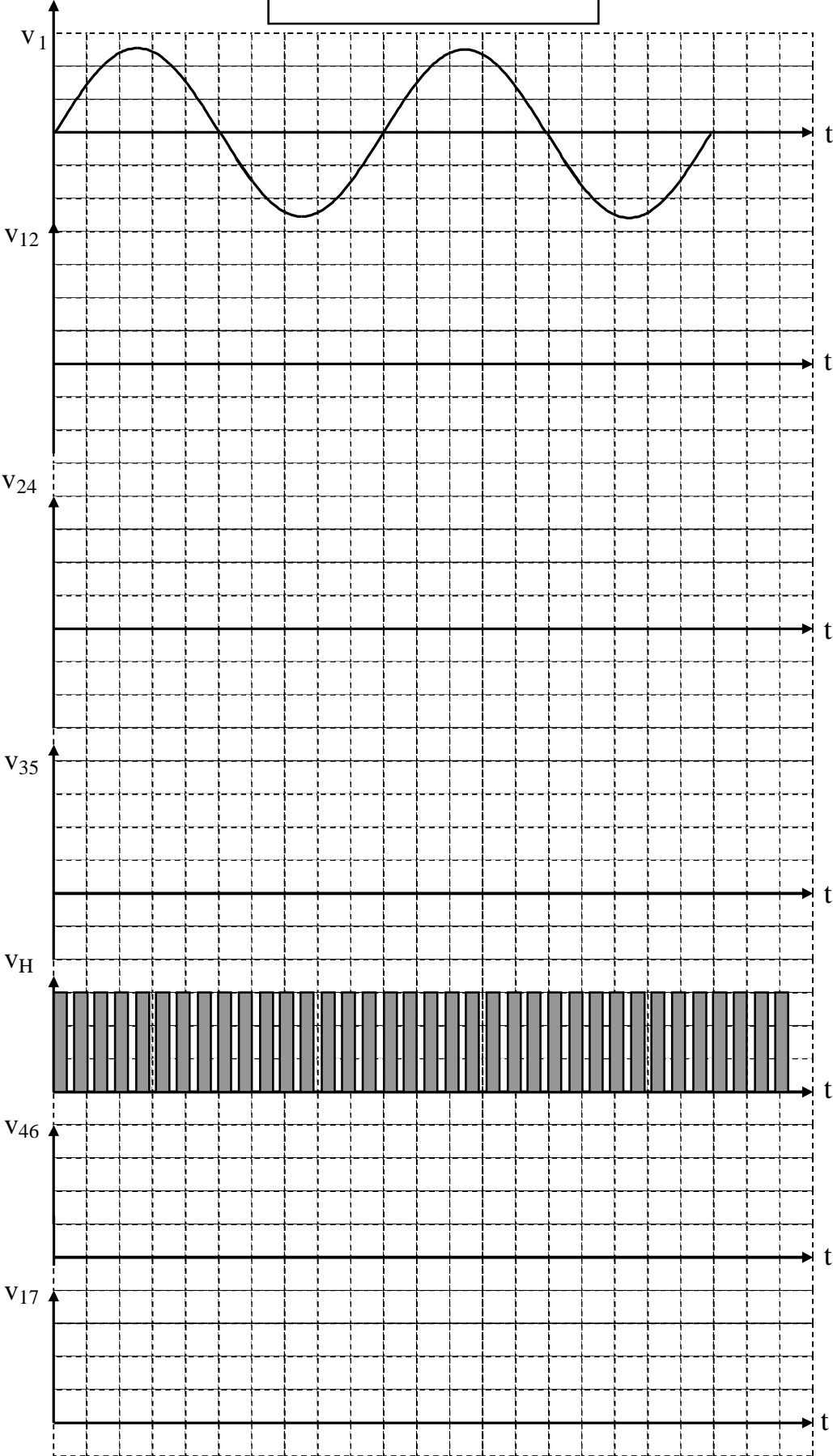


Figure c : Monostable à base du NE555

**Document réponse N° :1**



**Document réponse N° :2**

