

COMMANDE D'UNE PORTE DE GARAGE COLLECTIF

Les questions traitées devront être soigneusement numérotées et le document-réponse fourni devra être complété selon les indications de l'énoncé.

Il est vivement conseillé de lire l'ensemble du sujet avant de commencer l'épreuve. Le sujet se compose de quatre parties qui peuvent être traitées de manière indépendante.

Le thème du sujet est l'étude d'une porte automatique de garage collectif dans un immeuble, Le synoptique concernant la partie électrique est représenté sur la **figure 1** et une vue d'ensemble du dispositif est donnée sur la **figure 2**.

Un usager peut déclencher l'ouverture de la porte depuis son véhicule par une action sur la télécommande qui lui a été fournie, la première partie du sujet étudie l'émission et la réception associées à cette télécommande. La deuxième partie étudie les éléments nécessaires à l'alimentation du moteur qui actionne la porte. Puis la troisième partie porte sur l'électronique de commande du moteur et enfin la quatrième partie s'intéresse aux paramètres de sécurité qui permettent la réouverture de la porte en cas de problème.

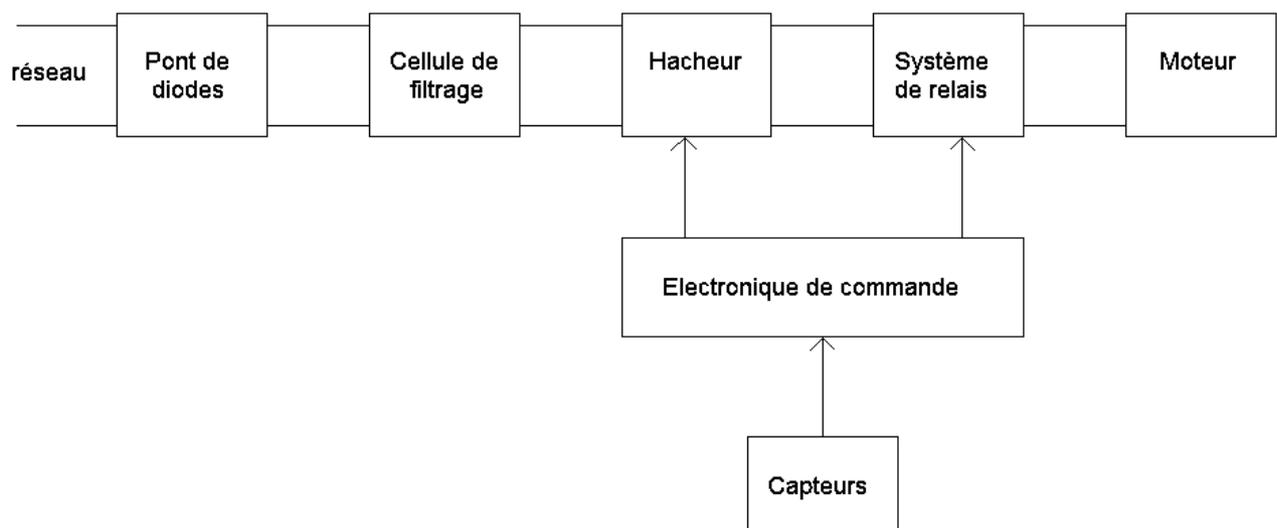
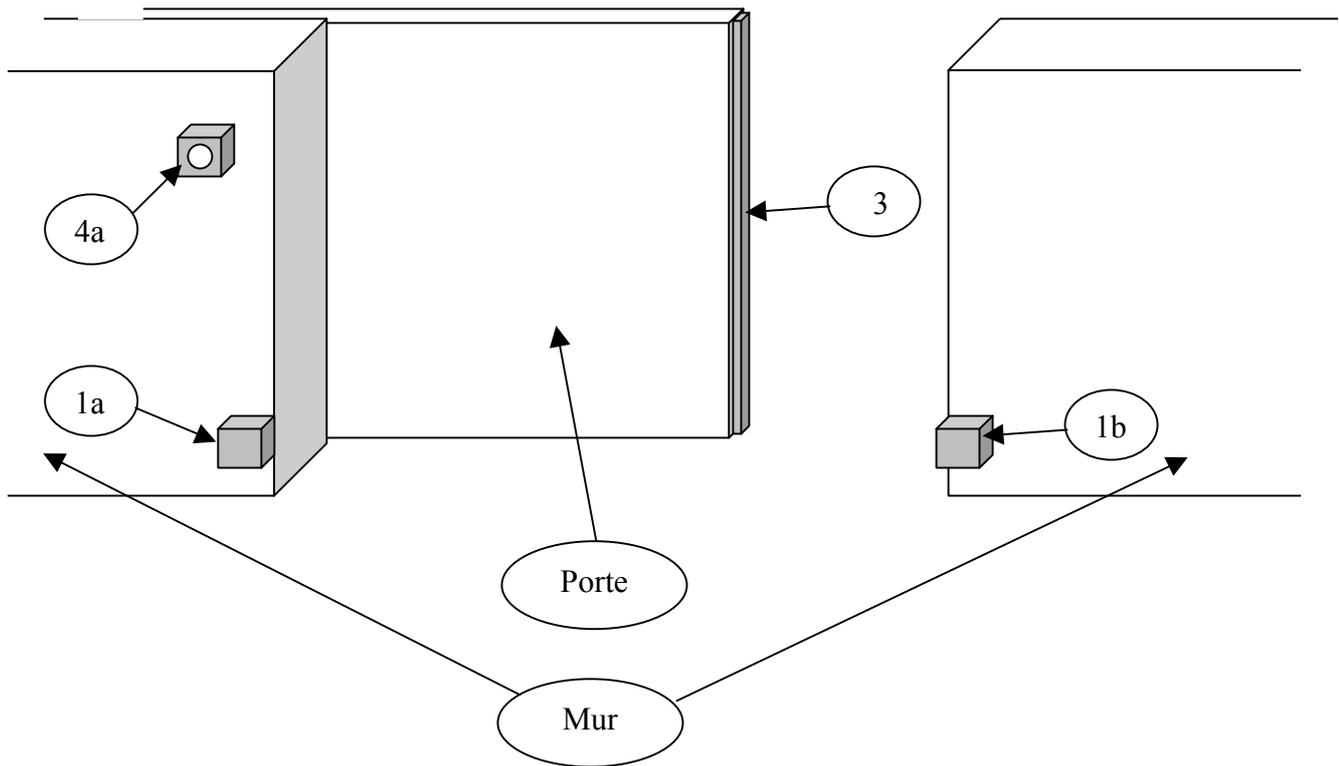
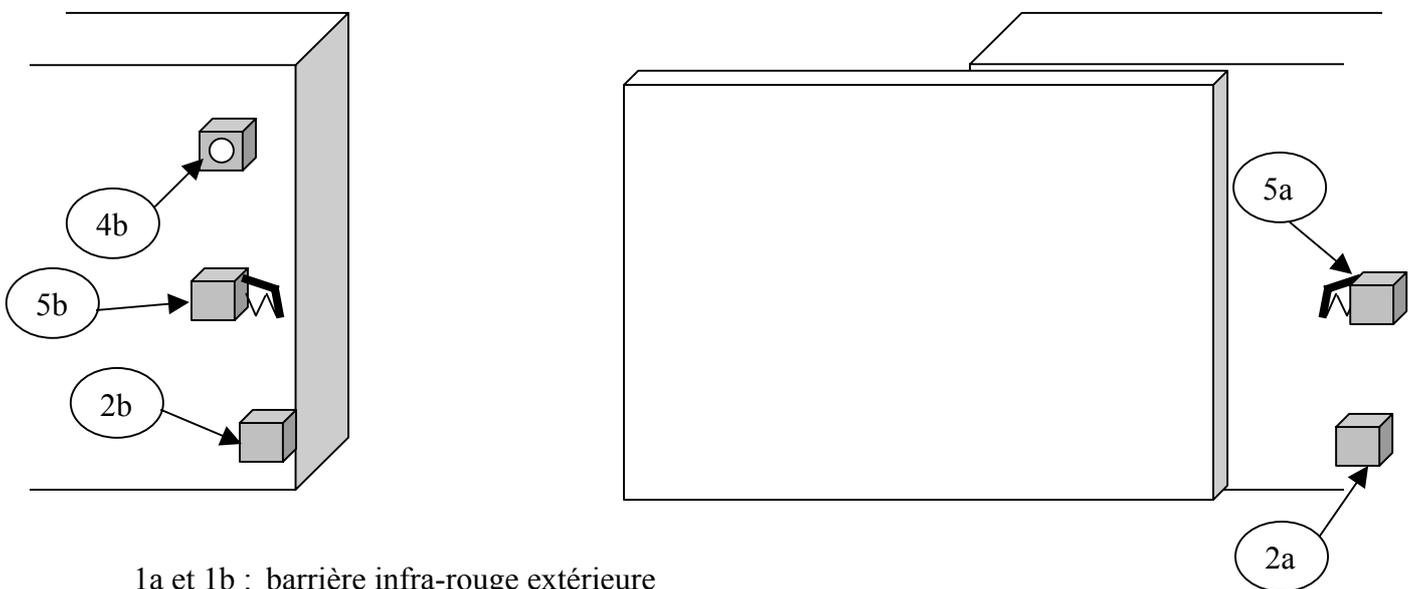


Fig 1. Synoptique

VUE DE L'EXTERIEUR



VUE DE L'INTERIEUR



- 1a et 1b : barrière infra-rouge extérieure
- 2a et 2b : barrière infra-rouge intérieure
- 3 : palpeur
- 4a et 4b : capteurs de télécommande
- 5a et 5b : capteurs de fin de course

Le moteur et l'armoire électrique de commande ne sont pas représentés.

Fig 2. Vue d'ensemble

1 TELECOMMANDE DE LA PORTE

Aucune connaissance préalable sur les transistors, diodes électroluminescentes et phototransistors n'est nécessaire pour traiter cette partie.

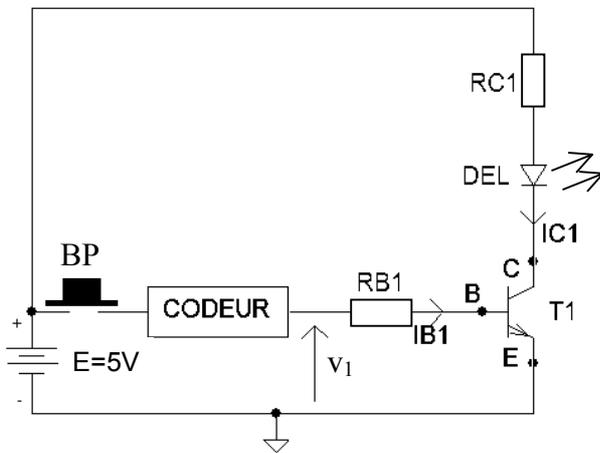


Fig 3. Télécommande

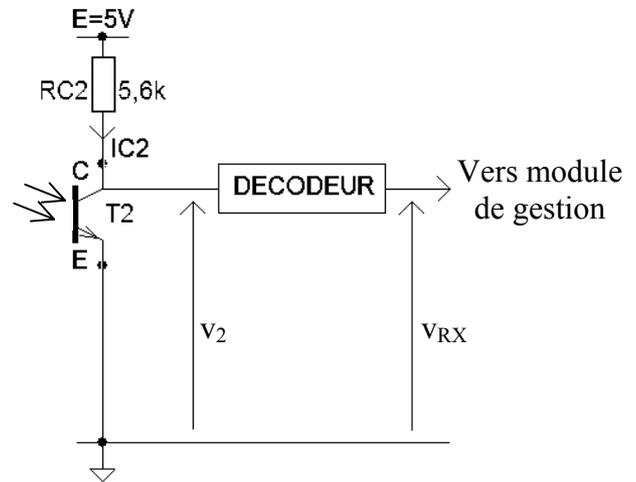


Fig 4. Capteur

Une action sur le bouton-poussoir (BP) de la télécommande déclenche l'émission d'un signal codé v_1 qui est un **signal logique compris entre 0 et 5 V**. Ce signal composé d'un train d'impulsions sera reconnu par le décodeur.

On suppose que le transistor T1, commandé par la tension v_1 , fonctionne selon le régime suivant :

- si $v_1 > 0,6 \text{ V}$ T1 est saturé : $V_{BE1} = 0,6 \text{ V}$ et $V_{CE1} = V_{CEsat} = 0,5 \text{ V}$
 I_{C1} dépend alors du circuit extérieur au transistor
- si $v_1 < 0,6 \text{ V}$ T1 est bloqué : $I_{B1} = 0$ et $I_{C1} = 0$
 V_{CE1} dépend alors du circuit extérieur au transistor

Lorsqu'elle est passante, la diode électroluminescente (DEL) émet un signal lumineux de longueur d'onde $\lambda = 880 \text{ nm}$. Sa tension de seuil est $V_D = 1,5 \text{ V}$ et sa résistance dynamique est supposée nulle. La puissance maximale qu'elle peut dissiper est $P_{max} = 200 \text{ mW}$.

Le phototransistor T2 utilisé en réception est un transistor photosensible qui permet de bénéficier d'une amplification du signal lumineux reçu. Dans les conditions d'utilisation du montage, son fonctionnement est le suivant : à la lumière du jour ou dans l'obscurité T2 est bloqué c'est à dire que $I_{C2} = 0$, par contre s'il est éclairé par un signal lumineux de longueur d'onde $\lambda = 880 \text{ nm}$ T2 est saturé c'est à dire que $V_{CE2} = V_{CEsat} = 0,5 \text{ V}$.

- 1.1 Quelle est la nature du signal émis par la diode électroluminescente ?
- 1.2 On désire fixer le courant dans cette diode à $I_{C1} = 30 \text{ mA}$, déterminer la valeur de R_{C1} .
- 1.3 Calculer la puissance maximale dissipée par la diode. La diode est-elle bien dimensionnée ?
- 1.4 On désire fixer le courant de base du transistor T1 à $I_{B1} = 1 \text{ mA}$, déterminer la valeur de R_{B1} .
- 1.5 Dans les conditions d'utilisation du montage, quelles seront les valeurs possibles pour I_{C2} ?
- 1.6 Quelles seront donc les valeurs possibles pour v_2 ?

2 ALIMENTATION DU MOTEUR

2.1 Pont de diodes

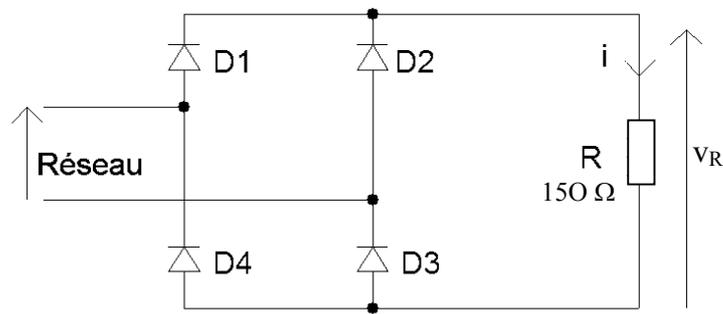


Fig 5. Pont de diodes

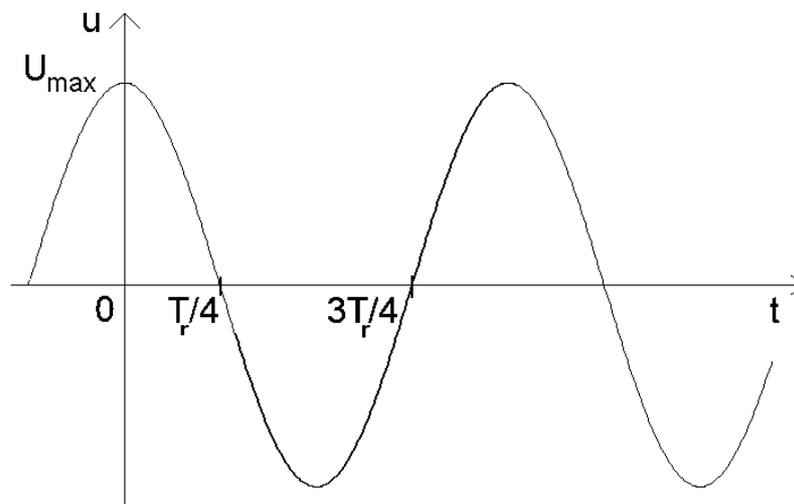


Fig 6. Chronogramme de $u(t)$

La pulsation et la valeur efficace de la tension de réseau $u(t)$ seront prises égales à $\omega_r = 100\pi \text{ rad.s}^{-1}$ et $U = 230 \text{ V}$.

Les diodes seront considérées comme des diodes idéales sans seuil.

2.1.1 Donner l'état des diodes pour $t \in [-T_r/4, T_r/4]$ puis pour $t \in [T_r/4, 3T_r/4]$.

2.1.2 Représenter l'allure de $v_R(t)$ sur le document réponse n°1.

2.1.3 Définir la valeur moyenne et la valeur efficace d'une grandeur $x(t)$ de période T .

2.1.4 Etablir l'expression de la valeur moyenne de $v_R(t)$ en fonction de U . Calculer sa valeur.

2.1.5 En déduire l'intensité moyenne du courant i en fonction de U et R . Calculer sa valeur.

2.1.6 Exprimer l'intensité efficace du courant i en fonction de U et R . Calculer sa valeur.

2.1.7 Quelle est la tension inverse maximale v_D aux bornes d'une diode ?

2.1.8 Quelle est l'intensité maximale du courant i_D dans une diode ?

2.1.9 Exprimer l'intensité moyenne du courant dans une diode en fonction de U et R . Calculer sa valeur.

2.1.10 Exprimer l'intensité efficace du courant dans une diode en fonction de U et R . Calculer sa valeur.

2.2 Cellule de filtrage

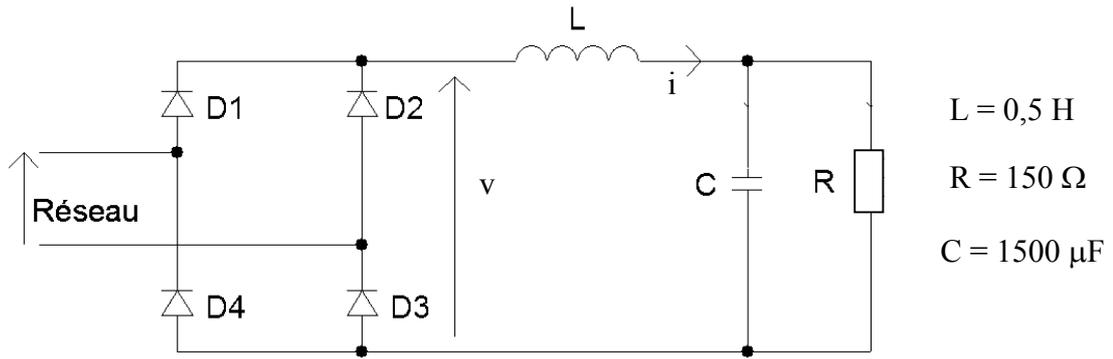


Fig 7. Cellule de filtrage avec bobine

On suppose que la conduction du pont est continue c'est à dire que l'intensité du courant i ne s'annule jamais et que $v(t)$ est identique à la tension $v_R(t)$ représentée à la question 2.1.2.

En régime sinusoïdal permanent, on note \underline{V} et \underline{I} les grandeurs complexes associées à v et i .

2.2.1 Déterminer l'expression de la fonction de transfert $\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{I}(j\omega)}{\underline{V}(j\omega)}$.

2.2.2 Déterminer les valeurs de H_0 , ω_0 et $2m$ qui permettent de normaliser la fonction de transfert

précédente sous la forme
$$\underline{H}(j\omega) = H_0 \frac{1 + \frac{1}{2m} \left(\frac{j\omega}{\omega_0} \right)}{1 + 2m \left(\frac{j\omega}{\omega_0} \right) + \left(\frac{j\omega}{\omega_0} \right)^2}$$
.

2.2.3 Déterminer en fonction de l'amplitude de la tension de réseau U_{\max} les expressions de V_0 et de V_1 qui permettent d'écrire $v(t)$ sous la forme approchée $v(t) = V_0 + V_1 \cos(\omega_1 t)$ avec $\omega_1 = 2\omega_r$.

2.2.4 On souhaite déterminer une expression approchée du courant $i(t)$ sous la forme $i(t) = I_0 + I_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_1)$. Exprimer I_0 en fonction de U_{\max} et R .

2.2.5 En considérant que $\omega_1 \gg \omega_0$ montrer que $\underline{H}(j\omega_1) \approx \frac{1}{jL\omega_1}$. En déduire que $I_1 \approx \frac{4U_{\max}}{3\pi L\omega_1}$ et que $\varphi_1 = -\frac{\pi}{2}$.

2.2.6 En déduire l'expression de l'ondulation du courant $\Delta i = i_{\max} - i_{\min}$. Calculer sa valeur.

2.3 Hacheur série

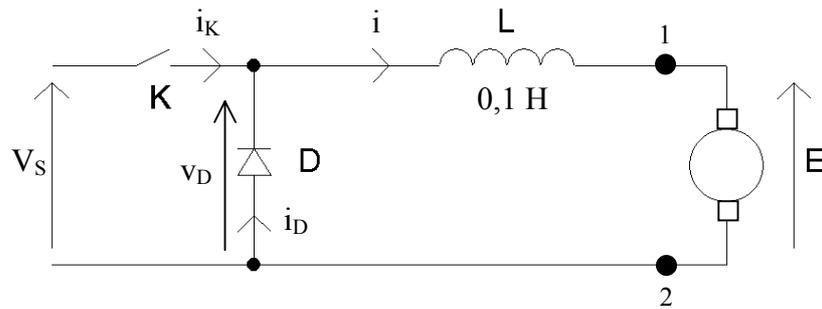


Fig 8. Hacheur série

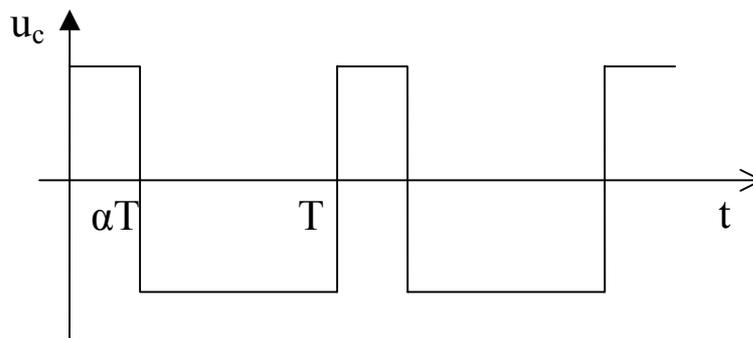


Fig 9. Chronogramme de $u_c(t)$

La tension d'alimentation du hacheur est constante et vaut $V_S = 210 \text{ V}$. D est une diode idéale sans seuil.

K est un interrupteur commandé par la tension u_c dont le chronogramme est donné en figure 9.

Pour $t \in [0, \alpha T]$ K est fermé et pour $t \in [\alpha T, T]$ K est ouvert.

Dans tout le paragraphe 2.3, T représente la période de u_c et vaut $T = 0,1 \text{ ms}$.

On considère que la tension aux bornes du moteur à courant continu est égale à sa f.e.m. E proportionnelle à la vitesse de rotation du moteur : $E = k\Omega$ avec $k = 5,25 \cdot 10^{-2} \text{ V}/(\text{tr} \cdot \text{min}^{-1})$.

On suppose que l'intensité i du courant ne s'annule jamais et varie entre les valeurs minimales et maximales I_m et I_M .

- 2.3.1 Déterminer l'expression de $i(t)$ pour $t \in [0, \alpha T]$ puis pour $t \in [\alpha T, T]$.
- 2.3.2 Représenter l'allure de $i(t)$ sur le document réponse n°2.
- 2.3.3 Exprimer la valeur moyenne de la tension v_D en fonction de α et V_S puis en déduire la relation entre E, α et V_S .
- 2.3.4 Exprimer l'ondulation de courant $\Delta i = I_M - I_m$ en fonction de α, V_S, L et T.
- 2.3.5 Représenter l'allure de Δi en fonction de α .
- 2.3.6 Pour quelle valeur de α l'ondulation de courant est-elle maximale ? Calculer $(\Delta i)_{\max}$.
- 2.3.7 Déterminer la valeur du rapport cyclique α qui permet de régler la vitesse de rotation du moteur à $\Omega = 1000 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$.
- 2.3.8 Représenter l'allure de i_K sur le document réponse n°2 et exprimer sa valeur moyenne en fonction de α, I_m et I_M .
- 2.3.9 Représenter l'allure de i_D sur le document réponse n°2 et exprimer sa valeur moyenne en fonction de α, I_m et I_M .

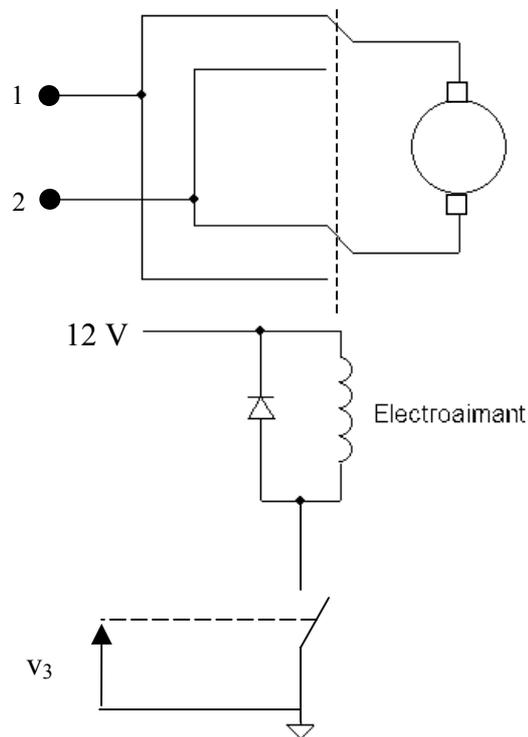


Fig 10. Système de relais

En réalité, le hacheur n'alimente pas directement le moteur : on intercale comme indiqué sur la figure 10 un système de relais piloté par un interrupteur commandé par une tension v_3 .

Au repos, lorsque la tension aux bornes de la bobine est nulle, les interrupteurs sont dans la position représentée sur la figure. Lorsque la tension aux bornes de la bobine est égale à 12 V, les interrupteurs sont dans l'autre position.

2.3.10 Quelle est l'utilité de ce système de relais ?

3 Commande du moteur

Dans tout le problème, les amplificateurs opérationnels sont considérés comme idéaux. Leurs alimentations ne sont pas représentées et leurs tensions de saturation sont $\pm V_{sat} = \pm 12 \text{ V}$.

3.1 Montage astable

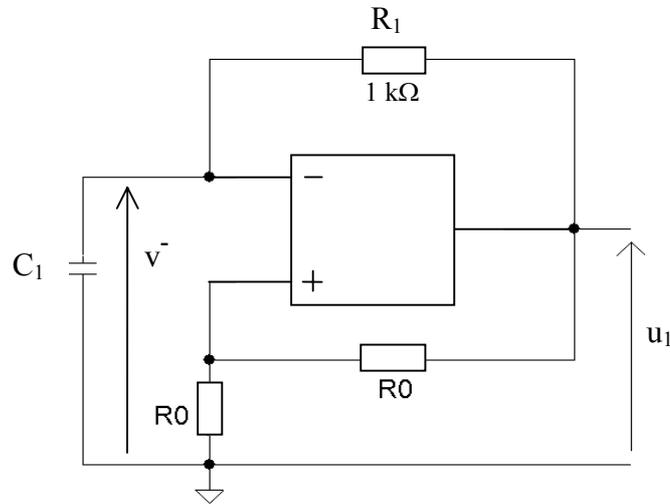


Fig 11. Montage astable

Dans ce montage, l'amplificateur opérationnel fonctionne en régime de saturation.

3.1.1 Etablir l'équation différentielle vérifiée par $v^-(t)$ et $u_1(t)$.

3.1.2 La résoudre afin de déterminer $v^-(t)$ en supposant qu'à $t = 0$ $u_1 = +V_{sat}$ et $v^-(0) = -\frac{V_{sat}}{2}$.

3.1.3 Déterminer l'instant t_1 où la tension de sortie u_1 bascule à $-V_{sat}$.

3.1.4 Représenter sur le document réponse n°3 $u_1(t)$ qui est un signal carré entre $+V_{sat}$ et $-V_{sat}$. Puis représenter $v^-(t)$ et $v^+(t)$ sur un même chronogramme du document réponse n°3.

3.1.5 Montrer que la période de ce montage astable est $T_A = 2\tau \ln 3$ avec $\tau = R_1 C_1$.

3.1.6 Déterminer la valeur à donner à C_1 pour obtenir $T_A = 0,1 \text{ ms}$.

3.2 Montage intégrateur

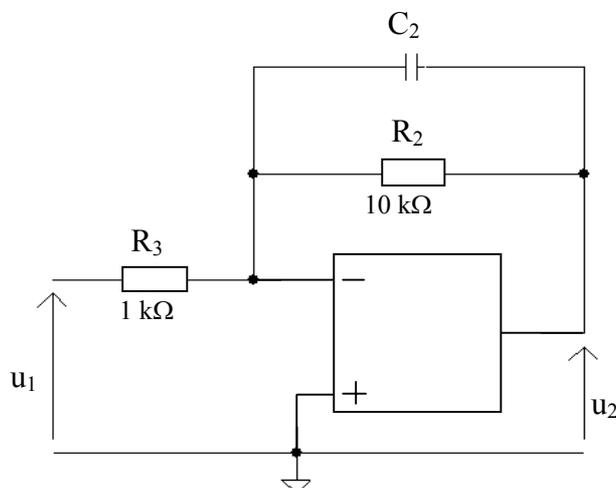


Fig 12. Montage intégrateur

Dans ce montage, l'amplificateur opérationnel fonctionne en régime linéaire.

- 3.2.1 Donner la fonction de transfert d'un intégrateur idéal et représenter son diagramme de Bode (gain et phase).
- 3.2.2 Déterminer la fonction de transfert $\underline{T}(j\omega) = \frac{U_2(j\omega)}{U_1(j\omega)}$ du montage de la figure 12 et donner les valeurs de T_0 et ω_c qui permettent de la normaliser (voir annexes).
- 3.2.3 Représenter le diagramme de Bode asymptotique de gain et de phase de $\underline{T}(j\omega)$.
- 3.2.4 Comment choisir ω_c pour obtenir, à une constante près, l'intégration du signal u_1 qui a pour période T_A ? Justifier.
- 3.2.5 Sachant que $T_A = 0,1$ ms, proposer une valeur de C_2 qui permette de satisfaire la condition précédente.
- 3.2.6 Représenter alors l'allure de $u_2(t)$ sur le document réponse n°3.

3.3 Montage comparateur

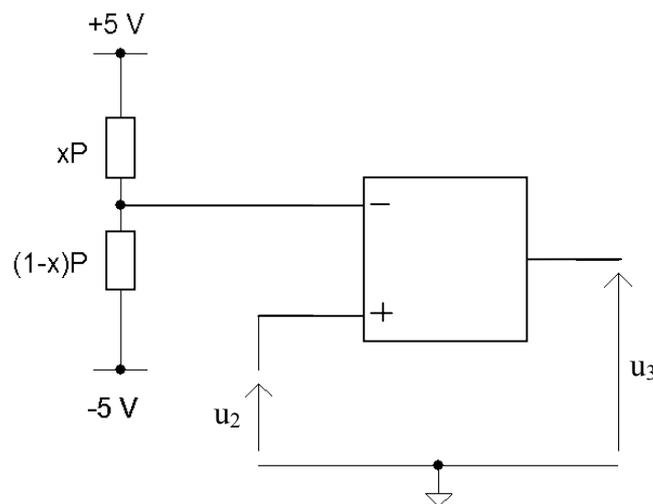


Fig 13. Montage comparateur

Dans ce montage, l'amplificateur opérationnel fonctionne en régime de saturation.

On suppose que $u_2(t)$ est un signal triangulaire compris entre -5 V et $+5$ V. Le montage comporte un potentiomètre de valeur $P = 10$ k Ω (x représente donc un nombre compris entre 0 et 1).

- 3.3.1 Déterminer la valeur à donner à x pour obtenir un signal u_3 de rapport cyclique $\alpha = 0,25$.
- 3.3.2 Représenter dans ce cas $u_3(t)$ sur le document réponse n°3.

4 Paramètres de sécurité de la porte de garage

4.1 Réglage de la durée d'ouverture

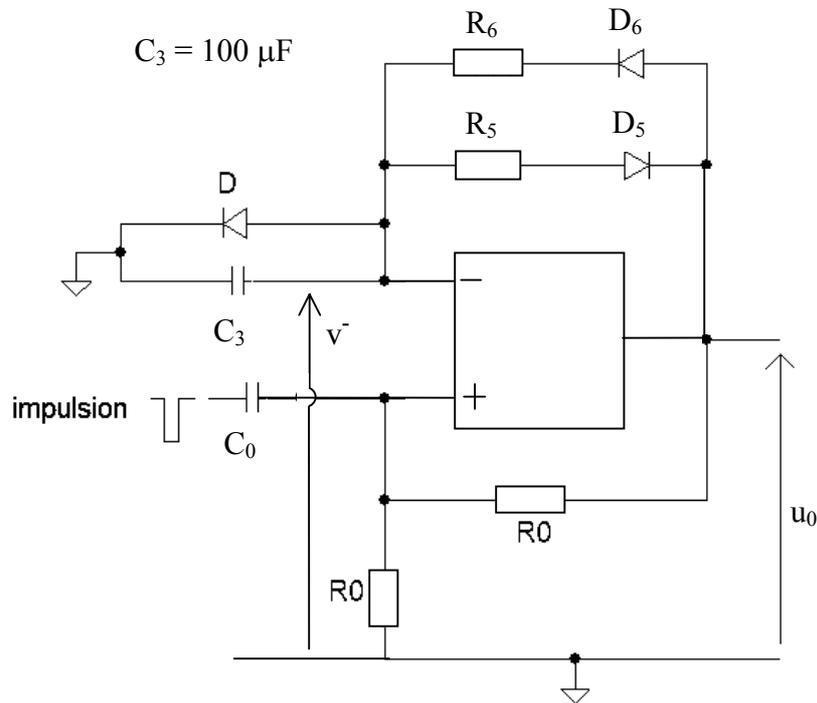


Fig 14. Montage monostable

Dans ce montage, l'amplificateur opérationnel fonctionne en régime de saturation.

C'est un montage qui possède un seul état stable pour la tension de sortie u_0 . Une impulsion négative en entrée fait changer d'état u_0 puis, au bout d'une durée appelée durée du monostable, u_0 revient dans son état stable.

D, D₅ et D₆ sont des diodes idéales sans seuil.

4.1.1 Quel est l'état stable du montage ? Justifier.

4.1.2 Lorsqu'on applique une impulsion négative en entrée, on observe le basculement à $u_0 = -V_{\text{sat}}$ la diode D est alors bloquée. Etablir dans ce cas de figure l'équation différentielle vérifiée par $\bar{v}(t)$ et $u_0(t)$.

4.1.3 La résoudre afin de déterminer $\bar{v}(t)$ en considérant qu'à $t = 0$ $u_0 = -V_{\text{sat}}$ et $\bar{v}(0) = 0$.

4.1.4 Déterminer en fonction de R_5 et C_3 l'instant T_{mono} où la tension de sortie u_0 bascule à $+V_{\text{sat}}$.

4.1.5 En déduire la valeur de R_5 qui permet d'obtenir $T_{\text{mono}} = 30$ s.

4.1.6 Déterminer en fonction de R_6 et C_3 la durée de réarmement T_{ra} mise par \bar{v} pour revenir à 0.

4.1.7 En déduire la valeur de R_6 qui permet d'obtenir $T_{\text{ra}} = 0,1 T_{\text{mono}}$.

4.1.8 La durée du monostable, qui sera la durée pendant laquelle la porte de garage restera ouverte, doit pouvoir se régler facilement à l'aide d'un potentiomètre. Quel composant du montage doit-on remplacer par un potentiomètre ?

4.2 Protections contre la fermeture

Pour la sécurité des personnes, le système comporte deux barrières infra-rouges : l'une à l'intérieur du garage et l'autre à l'extérieur, ainsi qu'un palpeur qui est un capteur de contact localisé sur toute la tranche de la porte.

Les signaux logiques issus de ces dispositifs de sécurité sont notés I1, I2 et PP. Ils valent 1 lorsque le système est au repos et 0 en cas d'activation de la sécurité.

L'activation d'une sécurité doit être sans effet sur le système si la porte est en train de s'ouvrir, par contre si la porte est en train de se refermer elle doit bien sûr se rouvrir.

Les variables logiques qui commandent la porte sont notées MO, MF et A pour « marche ouverture », « marche fermeture » et « arrêt ».

Ces variables de commande sont liées à quatre variables de contrôle notées RX, FC, SO et SC qui sont décrites ci-dessous :

- RX vaut 1 si l'ordre d'ouverture est donné par une télécommande
- SO vaut 1 si la porte est en train de s'ouvrir
- FC vaut 1 si la porte touche un capteur de fin de course
- SC vaut 0 si une sécurité est activée

RX	SO	FC	SC	MO	A
0	0	0	0	1	1
0	0	0	1	0	1
0	0	1	0	1	1
0	0	1	1	0	1
0	1	0	0	0	1
0	1	0	1	0	1
0	1	1	0	0	1
0	1	1	1	0	1
1	0	0	0	1	0
1	0	0	1	1	0
1	0	1	0	1	1
1	0	1	1	1	1
1	1	0	0	1	0
1	1	0	1	1	0
1	1	1	0	1	1
1	1	1	1	1	1

4.2.1 Pourquoi le palpeur est-il nécessaire en plus des deux barrières infra-rouges ?

4.2.2 Donner l'expression de la variable SC en fonction de I1, I2 et PP.

4.2.3 A l'aide de la table de vérité donnée ci-dessus, déterminer l'expression la plus simple de A.

4.2.4 Représenter sur le document réponse n°4 le schéma logique permettant d'obtenir A en utilisant les symboles logiques donnés en annexe.

4.2.5 A l'aide de la table de vérité, déterminer l'expression la plus simple de MO.

4.2.6 Représenter sur le document réponse n°4 le schéma logique permettant d'obtenir MO en utilisant les symboles logiques donnés en annexe.

ANNEXES

- **Série de Fourier**

Toute grandeur périodique $x(t)$ de pulsation ω peut se décomposer sous la forme :

$$x(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)]$$

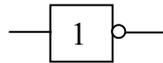
a_0 représente la valeur moyenne de $x(t)$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos(n\omega t) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin(n\omega t) dt$$

- **Symboles logiques**

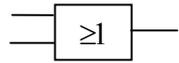
NON



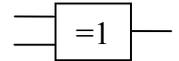
ET



OU



OU EXCLUSIF



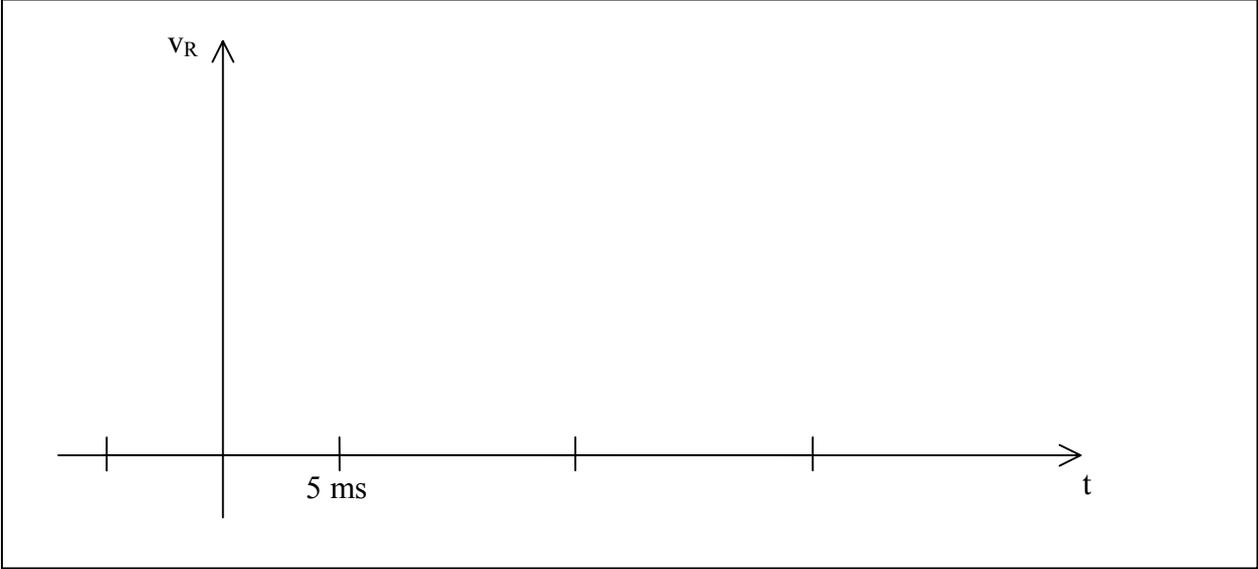
- **Fonctions de transfert normalisées du premier ordre**

$$\underline{T(j\omega)} = T_0 \frac{1}{1 + \frac{j\omega}{\omega_c}}$$

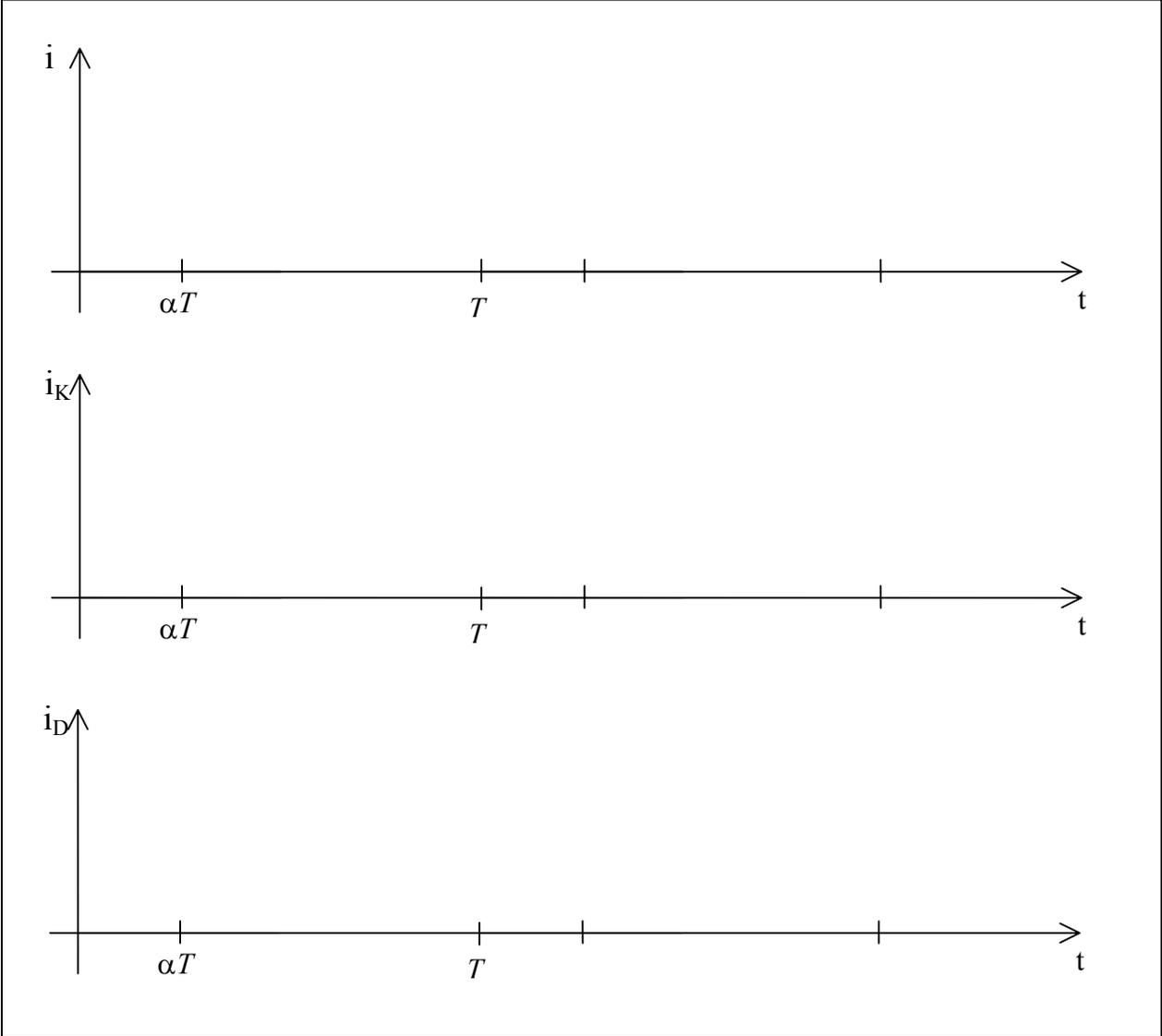
ou

$$\underline{T(j\omega)} = T_0 \frac{\frac{j\omega}{\omega_c}}{1 + \frac{j\omega}{\omega_c}}$$

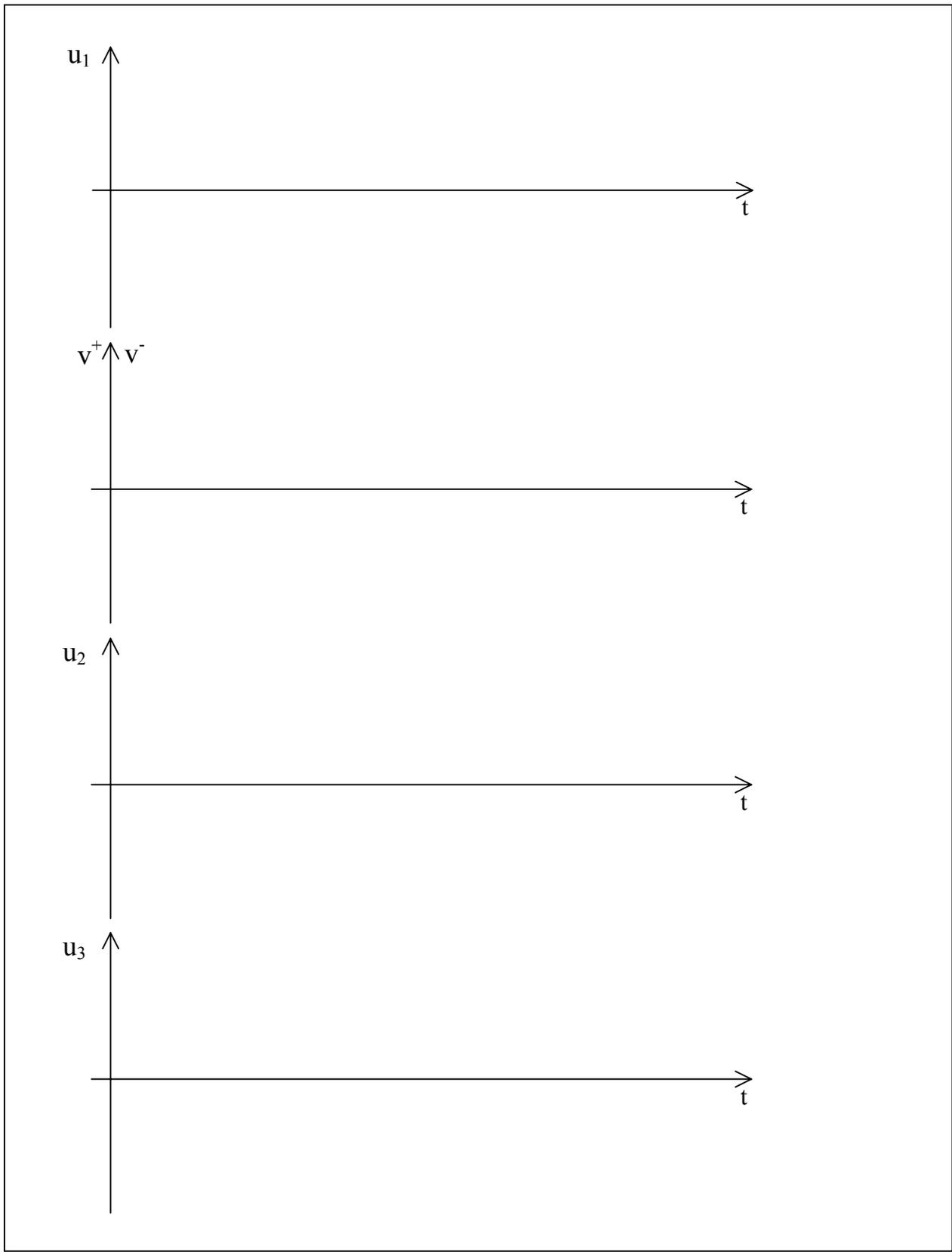
Document réponse n°1 : Pont de diodes



Document réponse n°2 : Hacheur série



Document réponse n°3 : Commande du moteur



Document réponse n°4 : Protections contre la fermeture

RX	SO	FC	SC				
					<input type="checkbox"/>		
						<input type="checkbox"/>	A
RX	SO	FC	SC				
					<input type="checkbox"/>		
						<input type="checkbox"/>	
					<input type="checkbox"/>		
						<input type="checkbox"/>	MO