

## Étude d'un véhicule électrique

### Partie A : capteur d'inclinaison et mise en marche de la trottinette.

#### A1 Mise en forme du signal issu du capteur

A1.1 L'équation de cette droite passant par zéro est de la forme  $v = k.\theta$   
De plus on connaît le point  $(-10,300) \Rightarrow 0,3 = k(-10) \Rightarrow k = -0,03 \text{ V/}^\circ$  et  $v = -0,03 \theta$

A1.2

##### A1.2.1 Étude du montage n°1

Le régime linéaire (existence d'une réaction négative) fait que  $v = e^+ = e^- = v_1$   
d'où  $v_1 = v$ . Le montage est un **suiveur** de tension. L'impédance d'entrée est infinie, il est aussi qualifié **d'adaptateur d'impédance**.

##### A1.2.2 Étude du montage n°2

- ce montage fonctionne bien en **régime linéaire** (réaction négative présente)
- $e^+ = e^- = 0$  dans ce cas,  $\varepsilon = 0$ ,  $i^- = 0$ .

Maille d'entrée :  $v_1 = R_1 \cdot i$

Maille de sortie :  $v_2 = -R_2 \cdot i \Rightarrow v_2 = -v_1(R_2/R_1)$

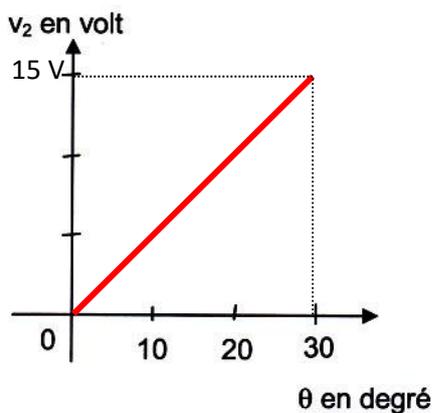
- la fonction réalisée est celle d'un **amplificateur inverseur**

##### A1.2.3 Étude de l'ensemble

$v_2 = -k.\theta.(R_2/R_1) \Rightarrow R_2 = -v_2.R_1/k\theta = -1,0.3/(-0,03.2) = 50 \text{ k}\Omega$

##### A1.2.4 Caractéristique

$v_2 = -0,03.\theta (50/3) = -0,5.\theta$



#### A2 Gestion de la fonction Marche/Arrêt de la trottinette

##### A2.1 Comparateur

A2.1.1 l'amplificateur AO3 ne fonctionne pas en régime linéaire (absence de réaction négative), la tension de sortie est saturée et ne peut prendre que deux valeurs  $v_3 = +V_{sat} = +15 \text{ V}$  ou  $v_3 = -V_{sat} = -15 \text{ V}$ .

A2.1.2 expression de  $v^+$  :

□ Le théorème de superposition et le diviseur de tension constitué par  $R_3$  et  $R_4$  permettent d'écrire :  $v^+ = v_3 \cdot (R_3 / (R_3 + R_4)) + E \cdot (R_4 / (R_3 + R_4))$

□ valeurs possibles de  $v^+$  :

$$\text{si } v_3 = +V_{sat} \Rightarrow v^+ = 15(1/17) + 2,25(16/17) = 3,0 \text{ V}$$

$$\text{si } v_3 = -V_{sat} \Rightarrow v^+ = -15(1/17) + 2,25(16/17) = 1,24 \text{ V}$$

A2.1.3  $u_d$  est la tension différentielle à l'entrée, elle vaut  $u_d = v^+ - v_2$

A2.1.4 les résultats précédents amènent à :

$$u_d = v_3 \cdot (R_3 / (R_3 + R_4)) + E \cdot (R_4 / (R_3 + R_4)) - v_2$$

A2.1.5

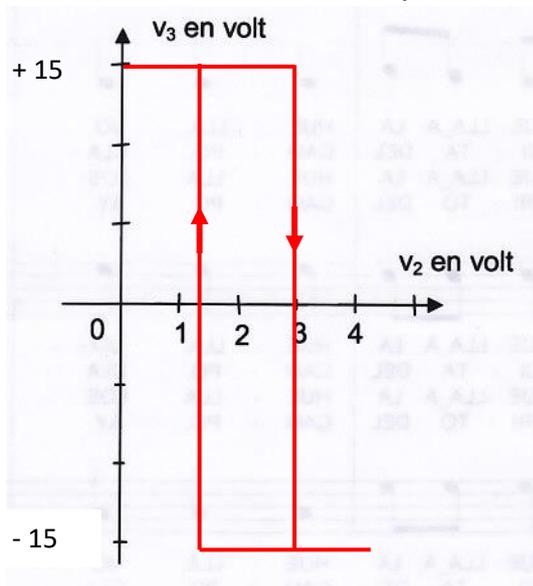
□ si  $u_d > 0$  alors  $v_3 \cdot (R_3 / (R_3 + R_4)) + E \cdot (R_4 / (R_3 + R_4)) - v_2 > 0$

le seuil de basculement est  $V_{2H} = v_3 \cdot (R_3 / (R_3 + R_4)) + E \cdot (R_4 / (R_3 + R_4)) = 3,0 \text{ V}$  ( $v_3 = 15 \text{ V}$ )

□ si  $u_d < 0$  alors  $v_3 \cdot (R_3 / (R_3 + R_4)) + E \cdot (R_4 / (R_3 + R_4)) - v_2 < 0$

le seuil de basculement est  $V_{2B} = v_3 \cdot (R_3 / (R_3 + R_4)) + E \cdot (R_4 / (R_3 + R_4)) = 1,24 \text{ V}$  ( $v_3 = -15 \text{ V}$ )

A2.1.6 caractéristique de transfert :



L'écart entre les deux seuils est de 1,76 V

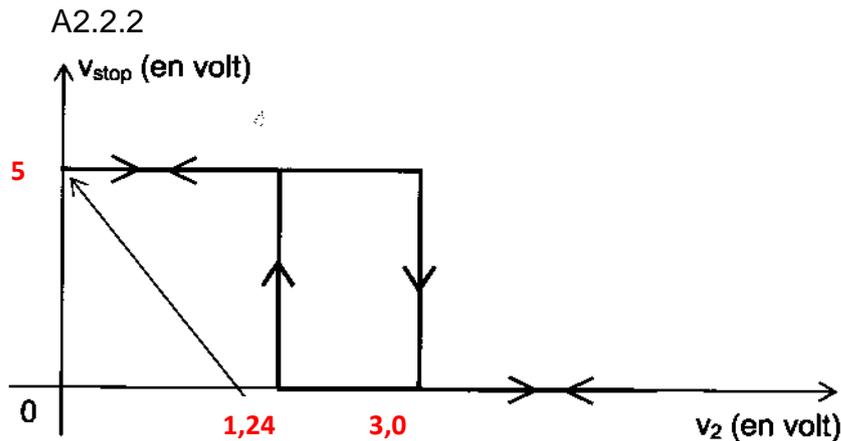
A2.1.7 on a là un comparateur à 2 seuils (hystérésis) inverseur.

## A2.2 Adaptation en tension

A2.2.1

□ pour  $v_3 = 15 \text{ V}$  la diode zéner est polarisée en inverse à ses bornes la tension est  $V_{stop} = 5 \text{ V}$

□ pour  $v_3 = -15\text{ V}$  la diode zéner est en polarisée en direct  $V_{\text{stop}} = 0\text{ V}$



### A 2.3 Synthèse de la fonction Marche/Arrêt

#### A2.3.1

	angle	v en volt	$v_2$ en volt	$v_3$ en volt	$V_{\text{stop}}$ en volt	Mise en mouvement OUI /NON
Guidon poussé en avant	$\theta = +10^\circ$	-0,3	5,0	-15	0	oui
Guidon poussé en avant	$\theta = +2^\circ$	-0,06	1,0	+15	5,0	non
Guidon relâché	$\theta = +0^\circ$	0	0	+15	5,0	non

## Partie B Etude du moteur et de sa commande

### *B1 Etude du signal gérant la variation de vitesse du moteur*

#### B1.1 Étude qualitative du montage n°5

##### B1.1.1

- Module de l'impédance complexe de  $C_1 \Rightarrow Z_c = 1/C_1\omega$
- quand  $f \rightarrow 0 \Rightarrow \omega \rightarrow 0$  alors  $Z_c \rightarrow \infty$  équivalent à un interrupteur ouvert
- quand  $f \rightarrow \infty \Rightarrow \omega \rightarrow \infty$  alors  $Z_c \rightarrow 0$  équivalent à un interrupteur fermé

##### B1.1.2 nature du filtre

- quand  $f \rightarrow 0$  le montage devient un amplificateur inverseur ( $C_1$  n'intervient pas) ; les fréquences basses sont transmises
- quand  $f \rightarrow \infty$   $R_2$  est court-circuitée,  $v_4 = e^- = e^+ = 0$  le signal d'entrée n'est pas transmis
- le filtre est un filtre (actif) passe bas

##### B1.2 Fonction de transfert du filtre

B1.2.1 Admittance complexe du condensateur :  $Y_c = jC_1\omega$

### B1.2.2

Admittance équivalente :  $Y_e = Y_{C1} + Y_{R7} = jC_1\omega + 1/R_7$

régime linéaire (réaction négative présente)  $\Rightarrow \varepsilon = 0$

Entrée  $V_2 = R_6 \cdot I - \varepsilon = R_6 \cdot I$

Sortie  $V_4 = -I/Y_e + \varepsilon = -I/Y_e$

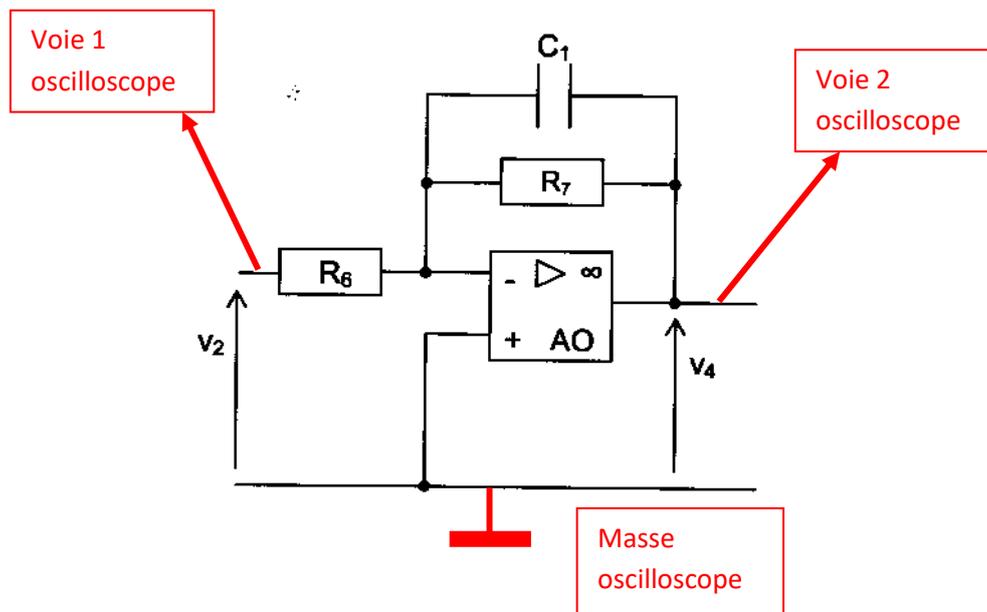
fonction de transfert :  $T = V_4/V_2 = -1 / (R_6 \cdot Y_e) = -1 / [R_6(jC_1\omega + 1/R_7)]$

$$T = - (R_7/R_6) / (1 + jR_7C_1\omega)$$

B1.2.3 en régime continu ( $f=0$  et  $\omega=0$ ) pour avoir  $T = -1 = - (R_7/R_6)$  il faut que  $R_7 = R_6$

### B1.3 Protocole expérimental

Réglages de l'oscilloscope adaptés : « zéros » correctement positionnés, mêmes calibres verticaux.



### B1.4 Nature du filtre et fréquence de coupure

$$B1.4.1 \quad T = \text{module } \underline{N} / \text{module } \underline{D} = \frac{\| -R_7/R_6 \|}{\| 1 + jR_7C_1\omega \|} = \frac{R_7}{R_6} * \frac{1}{\sqrt{1 + (R_7C_1\omega)^2}}$$

#### B1.4.2

aux très basses fréquences  $\omega \rightarrow 0 \Rightarrow T \rightarrow R_7/R_6$  puisque ( $R_7C_1\omega \rightarrow 0$ )

aux hautes fréquences  $\omega \rightarrow \infty \Rightarrow T \rightarrow 0$  puisque (le dénominateur  $R_7C_1\omega \rightarrow \infty$ )

les signaux de fréquence élevée sont éliminés ( $T \rightarrow 0$ ) et les signaux de très basse fréquence sont transmis. Nous retrouvons le résultat caractérisant un **filtre passe-bas**

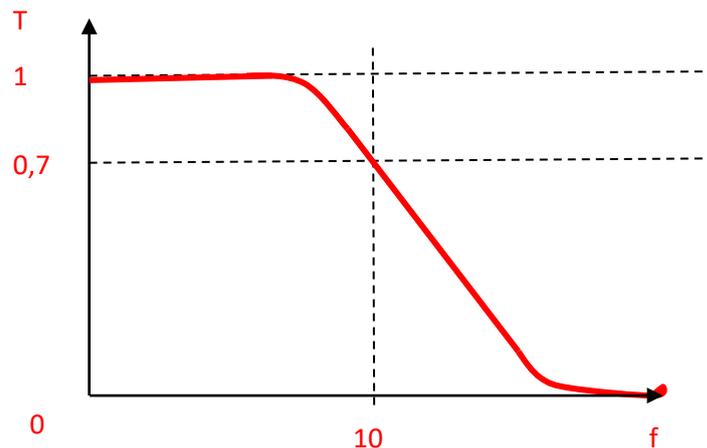
B1.4.3 Par identification il vient  $T_0 = -R_7/R_6$  et  $R_7C_1\omega = \omega/\omega_c \Rightarrow \omega_c = 1/R_7C_1$

B1.4.4 pour avoir une fréquence de coupure de 10 Hz sachant que  
 $f_c = \omega_c / 2\pi = 1 / 2\pi R_7 C_1 \Rightarrow R_7 = 1 / 2\pi C_1 f_c = 1 / 2\pi 100 \cdot 10^{-9} \cdot 10 = 159 \text{ k}\Omega$

B1.4.5 à la fréquence de coupure  $T = T_{\max} / \sqrt{2} = (R_7 / R_6) \sqrt{2} = 1 / \sqrt{2} = 0,70$

### B1.5 Synthèse du filtre

B1.5.1 allure de la variation de avec la fréquence



B1.5.2 si la tension d'entrée est continue ( $f=0$ ) et de 8V comme  $\underline{I}=-1 \Rightarrow v_4 = -8V$

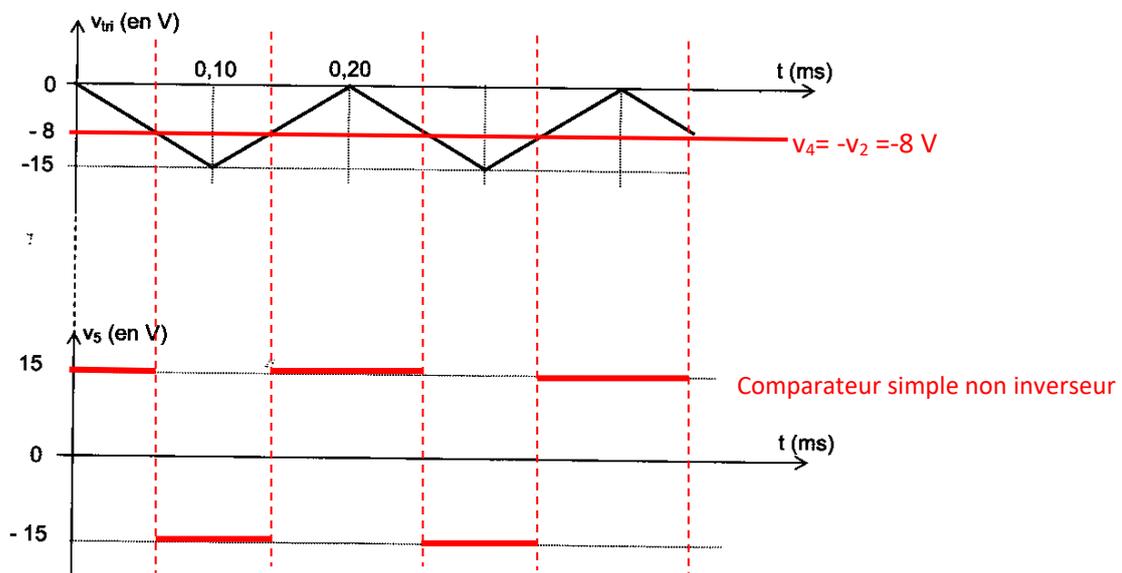
B1.5.3 si le guidon vibre induisant des signaux de fréquence plus grande que 10 Hz, ils seront éliminés et ne viendront pas perturber la commande du moteur.

### B1.6 Étude du montage n°6

B1.6.1 L'amplificateur AO5 ne fonctionne pas en régime linéaire (pas de présence de réaction négative)

En sortie les seules valeurs possibles sont les tensions de saturation +15V et -15V

B1.6.2



### B1.6.3

- lorsque l'angle  $\theta$  augmente,  $v_4 = -0,5.\theta$  diminue, le temps haut du signal  $v_5$  augmente et le rapport cyclique aussi ( $\alpha = t_h/t$ )
- si le rapport cyclique  $\alpha$  augmente, la valeur moyenne de  $v_5$  augmente aussi et inversement.

## B2 Commande du moteur

### B2.1

- L'inductance L est une inductance lissage dont le rôle est d'atténuer les variations du courant dans le circuit donc dans le moteur. L'idéal étant de retrouver un courant constant.
- la diode D permet au courant de continuer à traverser la maille électrique lorsque l'interrupteur K est ouvert (diode de roue libre), la bobine restituant alors l'énergie électromagnétique accumulée dans la phase précédente (K fermé).

### B2.2

#### B2.2.1

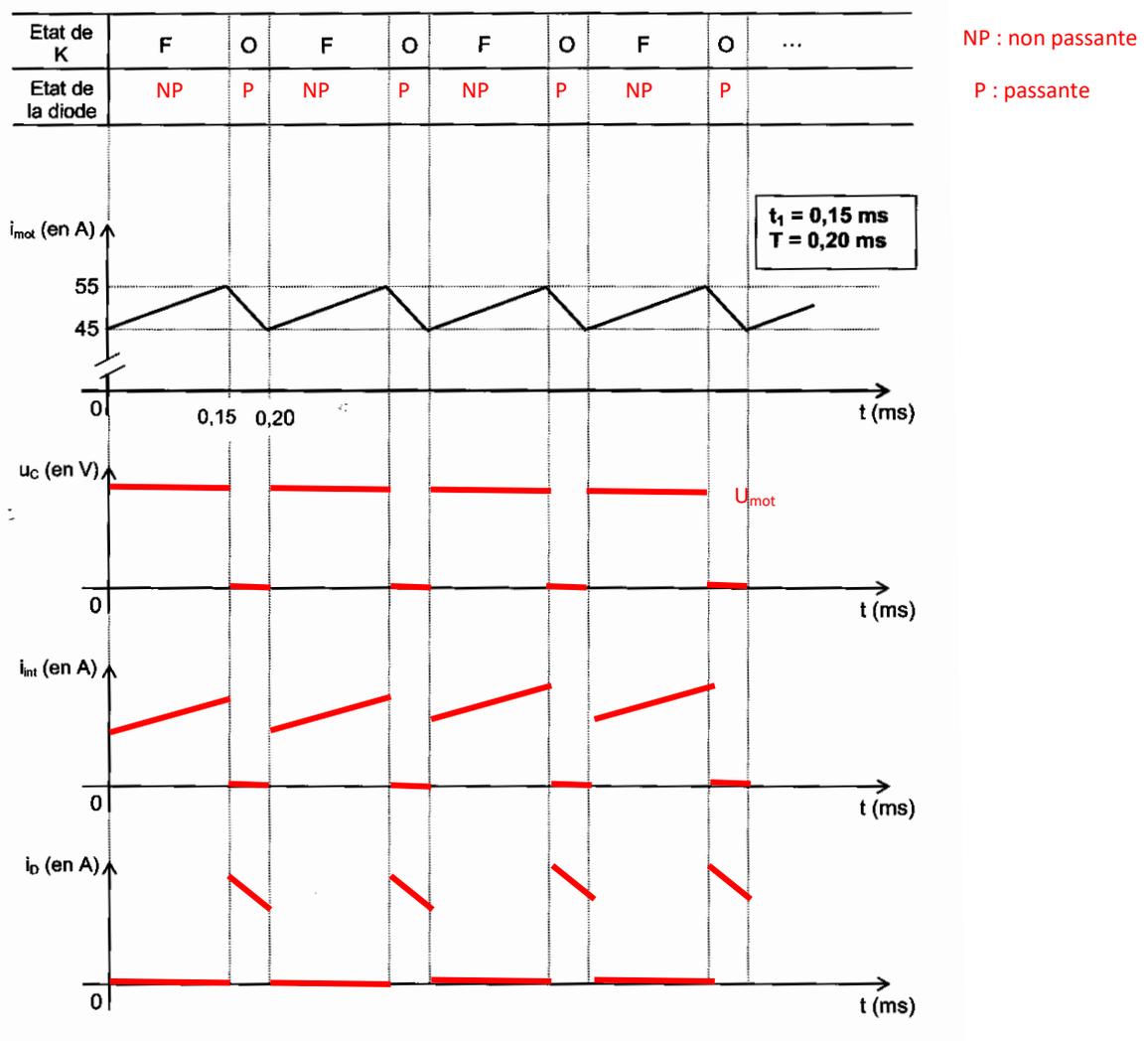
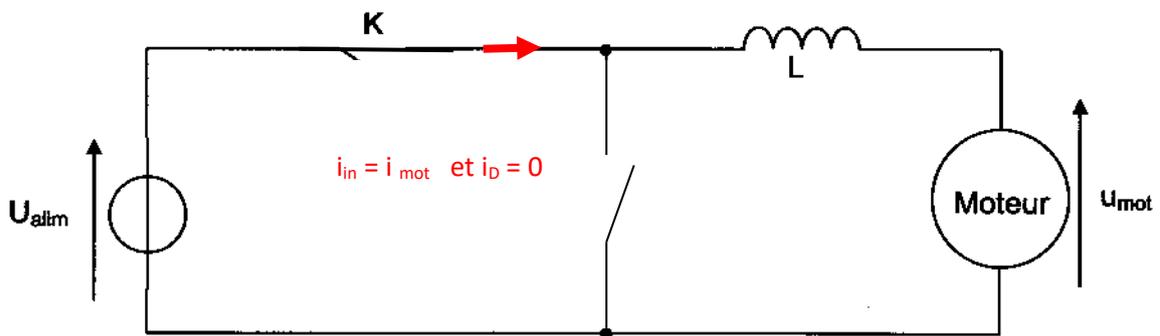
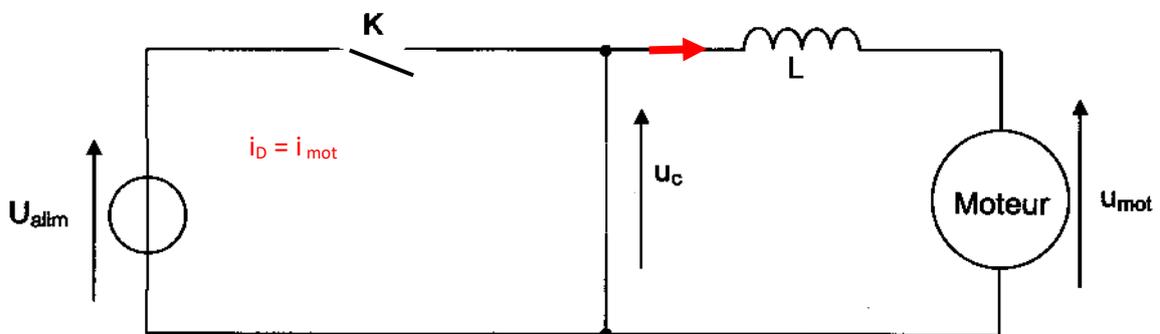


Schéma équivalent :

□ entre 0 et  $t_1$  :



□ entre  $t_1$  et  $T$  :



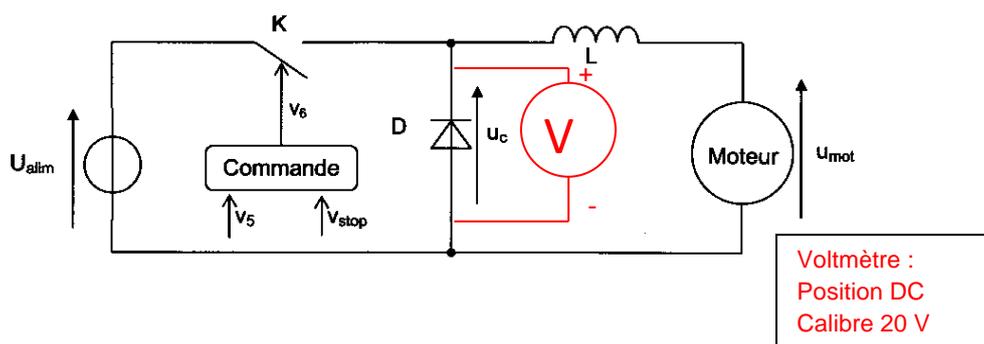
### B2.2.2

- rapport cyclique  $\alpha = t_H/T = 0,15/0,20 = 0,75$
- fréquence de hachage :  $f_H = 1/T_H = 1/(0,2 \cdot 10^{-3}) = 5\,000 = 5\text{ kHz}$
- valeur maximale courant moteur :  $I_{\text{mot MAX}} = 55\text{ A}$
- valeur minimale courant moteur :  $I_{\text{mot MIN}} = 45\text{ A}$
- valeur moyenne du courant moteur : (les variations étant linéaires)  $I_{\text{moy}} = A(i_c)/T = 50\text{ A}$

### B 2.2.3

Tension moyenne de  $u_c$  :  $U_{c\text{moy}} = A(u_c)/T = \alpha \cdot U_{\text{alim}} = (24 \times 0,15)/0,20 = 18\text{ V}$

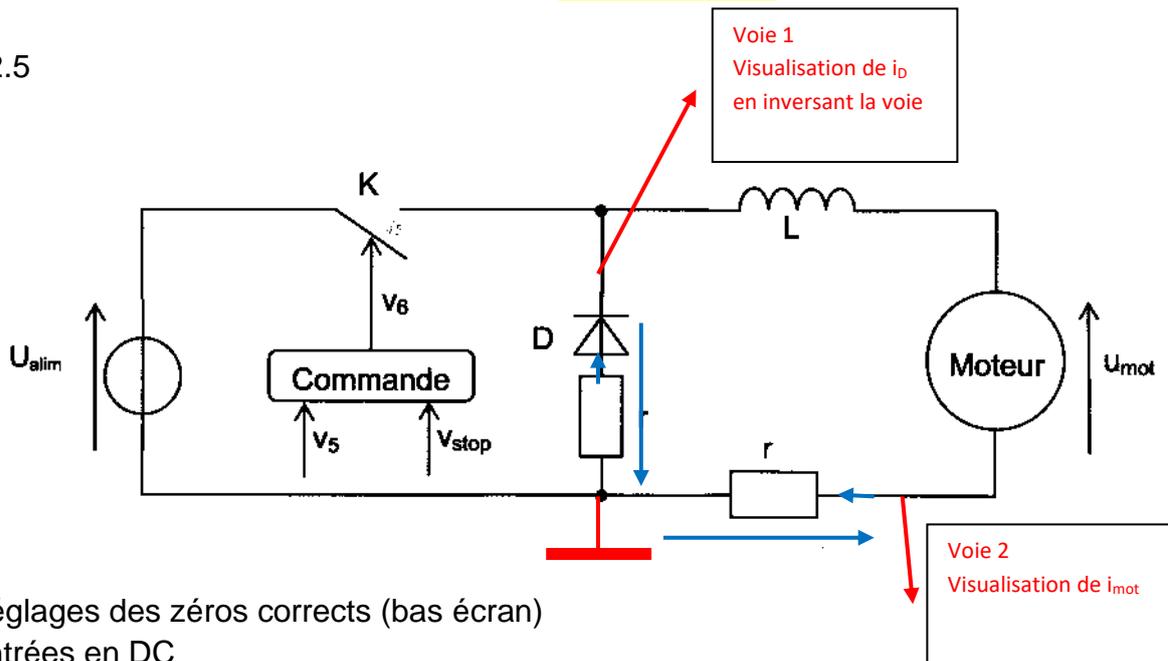
### B2.3 mesure de la valeur moyenne



B2.4

On a  $u_c = u_L + u_{mot} = u_{mot}$  avec  $u_{Lmoy} = 0 \Rightarrow U_{cmoy} = U_{mot-moy}$

B2.5



Réglages des zéros corrects (bas écran)

Entrées en DC

Calibres de 1 V puisque  $u = 0,1 \times 55 = 5,5$  V au max

B2.6 ce convertisseur est un **hacheur de tension** permettant d'agir sur la fréquence de rotation du moteur en agissant sur le rapport cyclique  $\alpha$  du signal de commande.

### B3 Moteur à courant continu de traction

#### B3.1 Constitution du moteur

- l'inducteur créé un **champ magnétique**
- ici ce sont des **aimants permanents** qui remplissent ce rôle.
- maille :  **$U = E - R \cdot I$**

#### B3.2 Bilan de puissances en régime nominal

B3.2.1  $E = k \cdot n = 13,3 \cdot 10^{-3} \cdot 1500 = 20$  V

or comme  $E = U - R \cdot I \Rightarrow R = (U - E) / I = (24 - 20) / 90 = 0,045 \Omega = 45$  m $\Omega$

#### B3.2.2

- puissance totale absorbée :  $P_{abs} = U \cdot I = 24 \cdot 90 = 2160$  W
- puissance utile  $P_u = P_{abs} \cdot \eta = 2160 \cdot 0,8 = 1728$  W
- puissance perdue  $P_p = P_{abs} - P_u = 432$  W

### B4 Choix des batteries

La capacité des batteries doit être  $Q = I \cdot t = 40 \cdot 1,5 = 60$  Ah soit 30 Ah par batterie.

Seule la **batterie 2 à une capacité supérieure à 30 Ah.**