

PARTIE 1 : ÉTUDE DES ÉQUIPEMENTS DE PARE-BRISE POUR AÉRONEF (13 points)

Pour s'assurer d'une bonne visibilité, on équipe les pare-brises d'un aéronef des trois dispositifs suivants :

- Un élément chauffant utilisé pour le dégivrage du pare-brise.
- Un système de chauffage en continu contrôlé par un calculateur W.H.C. (Window Heat Computer) empêchant le givrage.
- Des essuie-glaces entraînés par un motoréducteur à courant continu permettant d'évacuer l'eau de pluie ainsi que le givre fondu.

EXERCICE 1 : ÉTUDE DU SYSTÈME DE DÉGIVRAGE

Il est constitué de deux bandes résistives (Heating elements) disposées en haut et en bas du pare-brise comme le montre la **figure 1** ci-dessous.

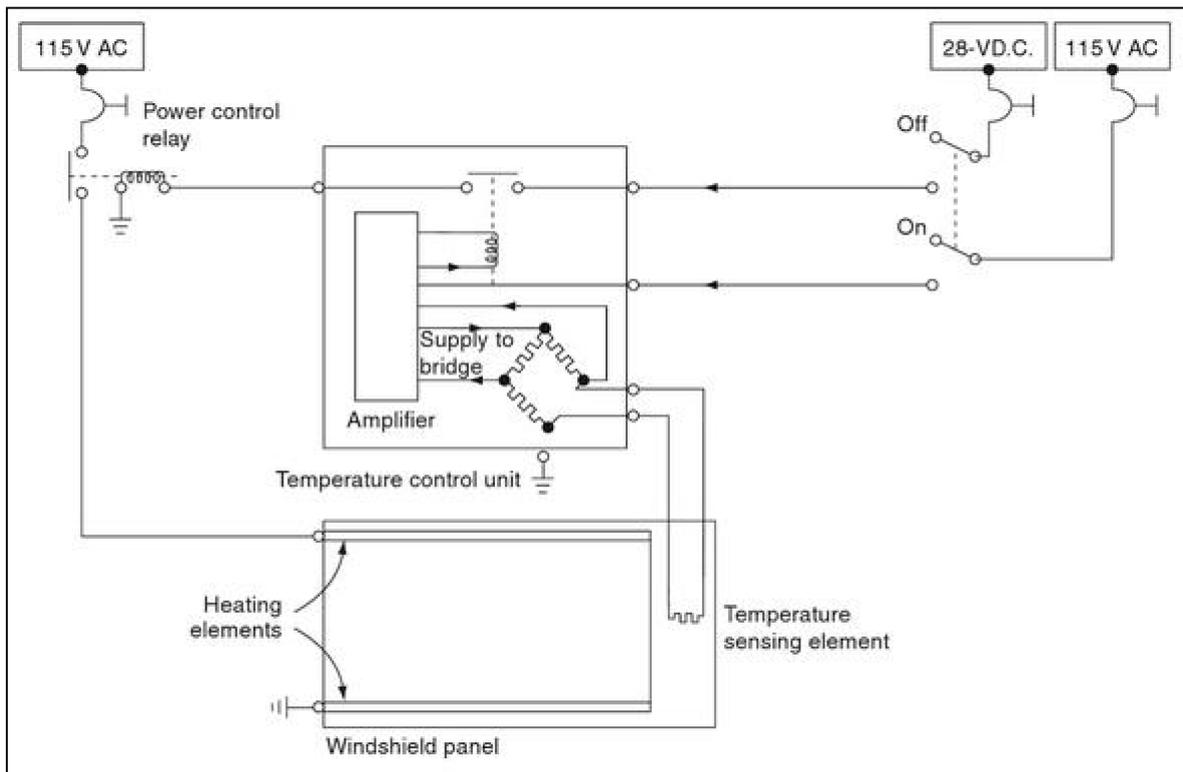


Figure 1 : schéma du dispositif de dégivrage

Afin de s'assurer de l'efficacité de ce système, le test suivant a été effectué : on mesure la durée $\Delta t = 50 \text{ s}$ nécessaire pour faire fondre une épaisseur $e = 0,20 \text{ mm}$ de givre uniformément déposé sur la surface du pare-brise à la température initiale de -10°C .

Données :

- Aire de la surface d'un pare-brise : $S = 0,40 \text{ m}^2$.
- Capacité calorifique de la glace : $C_g = 2060 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- Chaleur latente de fusion de la glace : $L_f = 333 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
- Masse volumique de la glace : $\mu_g = 917 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- Indication : on considère que la glace fond à 0°C

Q.1

-

Q.1.1 - Calculer l'énergie nécessaire pour amener la couche de givre depuis la température de -10°C à celle de 0°C .

$$Q_{\text{glace}} = m_{\text{glace}} \times C_g \times (\theta_f - \theta_i)$$

$$= (S \times e) \times \mu_g \times C_g \times (\theta_f - \theta_i)$$

A.N : $Q_{\text{glace}} = (0,40 \times 2,0 \cdot 10^{-4}) \times 917 \times 2060 \times (0 - (-10))$
 $Q_{\text{glace}} = 1,5 \cdot 10^3 \text{ J}$

Q.1.2 - Calculer l'énergie nécessaire pour faire fondre la couche de givre à la température de 0°C.

$$Q_f = m \times L_f$$

$$Q_f = (S \times e) \times \mu_g \times L_f$$

$$\text{A.N : } Q_f = (0,40 \times 2,0 \cdot 10^{-4}) \times 917 \times 333 \cdot 10^3$$

$$Q_f = 2,4 \cdot 10^4 \text{ J}$$

Q.1.3 - En déduire que l'énergie totale nécessaire pour faire fondre la couche de givre initialement à la température de - 10°C est voisine de 26 kJ.

Au minimum: $Q = Q_{\text{glace}} + Q_f$

$$Q = 1,5 \cdot 10^3 + 2,4 \cdot 10^4 = 2,6 \cdot 10^4 \text{ J}$$

(si on considère le système isolé)

Q.2 - En déduire la puissance P_u utile au dégivrage du pare-brise.

$$P_u = \frac{Q}{\Delta t}$$

$$\text{A.N : } P_u = 2,6 \cdot 10^4 / 50$$

$$P_u = 5,2 \cdot 10^2 \text{ W}$$

Ce dispositif est alimenté par le réseau 115 V de l'aéronef.

Q.3 - Calculer la résistance R_{cal} de l'élément chauffant devant fournir la puissance P_u .

Pour une charge resistive $\varphi=0$ donc $P=UI$

Et d'après la loi d'ohm $U=RI$ d'où $P_u = U^2 / R_{cal}$

$$\text{A.N : } R_{cal} = 115^2 / 520$$

$$R_{cal} = 25 \Omega$$

On mesure la résistance de l'élément chauffant et on trouve $R_{mes} = 20 \Omega$.

Q.4 - Calculer alors la puissance réelle P_{re} fournie par le dispositif.

$$P_{re} = U^2 / R_{mes}$$

$$\text{A.N : } P_{re} = 115^2 / 20 = 6,6 \cdot 10^2 \text{ W}$$

Q.5 - Justifier l'écart observé entre R_{cal} et R_{mes} .

La puissance réelle est supérieure à la puissance calculée à la question 3 en supposant que la glace fondue est à 0°C, en réalité, on réchauffe aussi le pare brise si il n'est pas à 0°C on réchauffe cette eau à quelques degrés.

$$Q = Q_{\text{glace}} + Q_f + Q_{\text{eau}}$$

Q.6 - Calculer le rendement de l'opération.

$$R = P_u / P_{re} \times 100$$

$$R = 520 / 660 \times 100$$

$$R = 79 \%$$

EXERCICE 2 : CONTRÔLE DE LA TEMPÉRATURE DES PARE-BRISE.

Le système de chauffage en continu maintient la température des pare-brises et des fenêtres latérales dans l'intervalle entre 35 et 42°C interdisant ainsi le givrage dans certaines conditions de vol.

Le contrôle de la température est assuré par un calculateur (W.H.C. : Window Heat Controller).

À la sortie du potentiomètre de la figure (2) comportant une thermistance, une tension U_{th} dépendant de la température du pare-brise est envoyée vers le calculateur via un C.A.N. 10 bits.

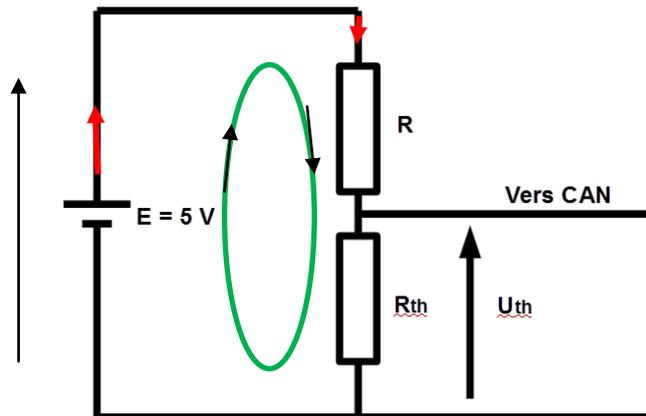


Figure 2 : schéma du montage potentiométrique

La caractéristique de la thermistance de résistance R_{th} figure sur l'annexe 1 (page 8/10).

Q.7 - La tension U_{th} est donnée par l'expression : $U_{th} = R_{th} / (R_{th} + R) \times E$

Avec : $R = 10 \text{ k}\Omega$ et $E = 5 \text{ V}$

Justifier l'expression ci-dessus.

Loi des mailles: $E - RI - R_{th} I = 0$

$$E = I \times (R + R_{th})$$

$$I = E / (R + R_{th})$$

D'après la loi d'ohm: $U_{th} = R_{th} \times I$

$$\text{Finalement } U_{th} = R_{th} \times E / (R + R_{th})$$

Dans les conditions normales de fonctionnement du dispositif, la température T du pare-brise doit être maintenue entre 35 et 42°C.

La caractéristique de la thermistance donnée en annexe 1 a pour équation : $R_{th} = 38 \times e^{-0,05 \times T}$ avec T en °C et R_{th} en kΩ.

Q.8 - Déterminer les valeurs extrêmes de R_{th} dans les conditions normales de fonctionnement.

$$R_{th(35)} = 38 \times e^{-0,05 \times 35}$$

$$R_{th(35)} = 6,6 \text{ k}\Omega$$

$$R_{th(42)} = 38 \times e^{-0,05 \times 42}$$

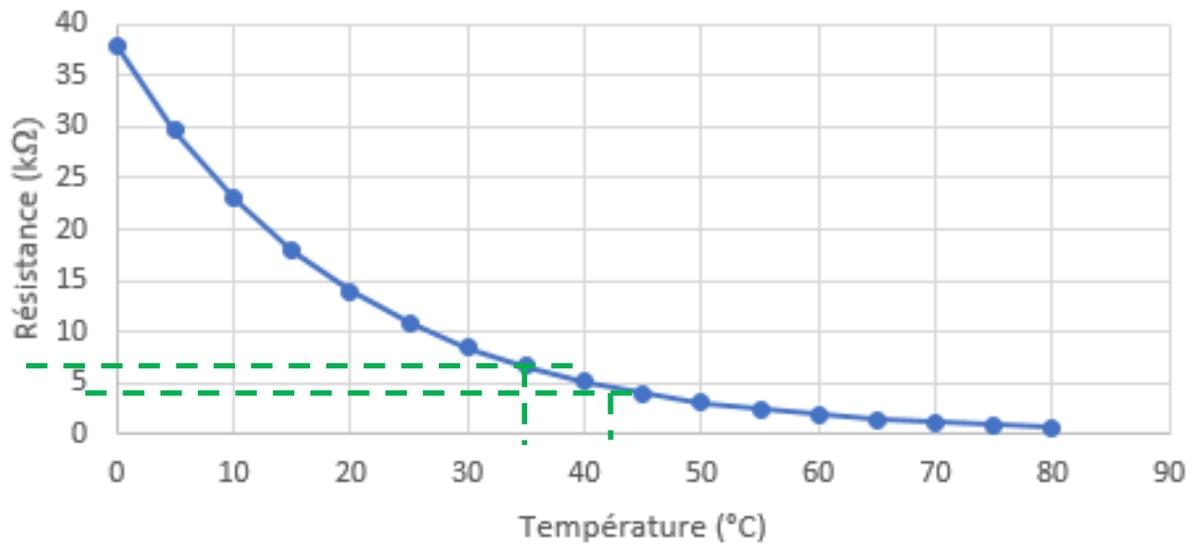
$$R_{th(42)} = 4,6 \text{ k}\Omega$$

Ou par lecture graphique: Echelle 40 kΩ 5,2 cm

$$0,85 \text{ cm} \rightarrow 0,85 \times 40 / 5,2 = 6,5 \text{ k}\Omega$$

$$0,6 \text{ cm} \rightarrow 0,6 \times 40 / 5,2 = 4,6 \text{ k}\Omega$$

Caractéristique résistance-température de la thermistance



Q.9 - En déduire les valeurs extrêmes $U_{th\ min}$ et $U_{th\ max}$ prises par la tension U_{th} dans ces conditions.

$$U_{th\ min} (42^{\circ}\text{C}) = 4,6 \times 5 / (10 + 4,6)$$

$$U_{th\ min} = 1,6\ \text{V}$$

$$U_{th\ max} (35^{\circ}\text{C}) = 6,6 / (10 + 6,6)$$

$$U_{th\ max} (35^{\circ}\text{C}) = 2,0\ \text{V}$$

La chaîne de mesure du capteur principal est équipée d'un convertisseur analogique numérique (CAN) **10 bits** dont la tension de pleine échelle est de **5,00 V**.

Q.10 - Déterminer le quantum q (résolution) de ce CAN à $10^{-5}\ \text{V}$ près.

$$q = \text{Echelle} / 2^n$$

$$q = 5,00 / 2^{10}$$

$$q = 4,88 \cdot 10^{-3}\ \text{V}$$

Q.11 - Montrer que le mot binaire 0101011101 correspond à une température normale de fonctionnement.

512	256	128	64	32	16	8	4	2	1
0	1	0	1	0	1	1	1	0	1

$$(0101011101)_2 = 1+4+8+16+64+256 = (349)_{10}$$

$$U = 349 \times 4,88 \cdot 10^{-3}$$

$$U = 1,70\ \text{V}$$

$1,6 < 1,70 < 2,0\ \text{V}$ donc la température est bien dans la plage normale de fonctionnement.

EXERCICE 3 : ÉTUDE DE L'ALIMENTATION DU MOTORÉDUCTEUR À COURANT CONTINU

Par temps de pluie ou pour évacuer le givre fondu sur les pare-brise, on peut être amené à utiliser les essuie-glaces. Les balais sont mis en mouvement par un moteur à courant continu associé à un réducteur de vitesse comme le montre la **figure 3**.

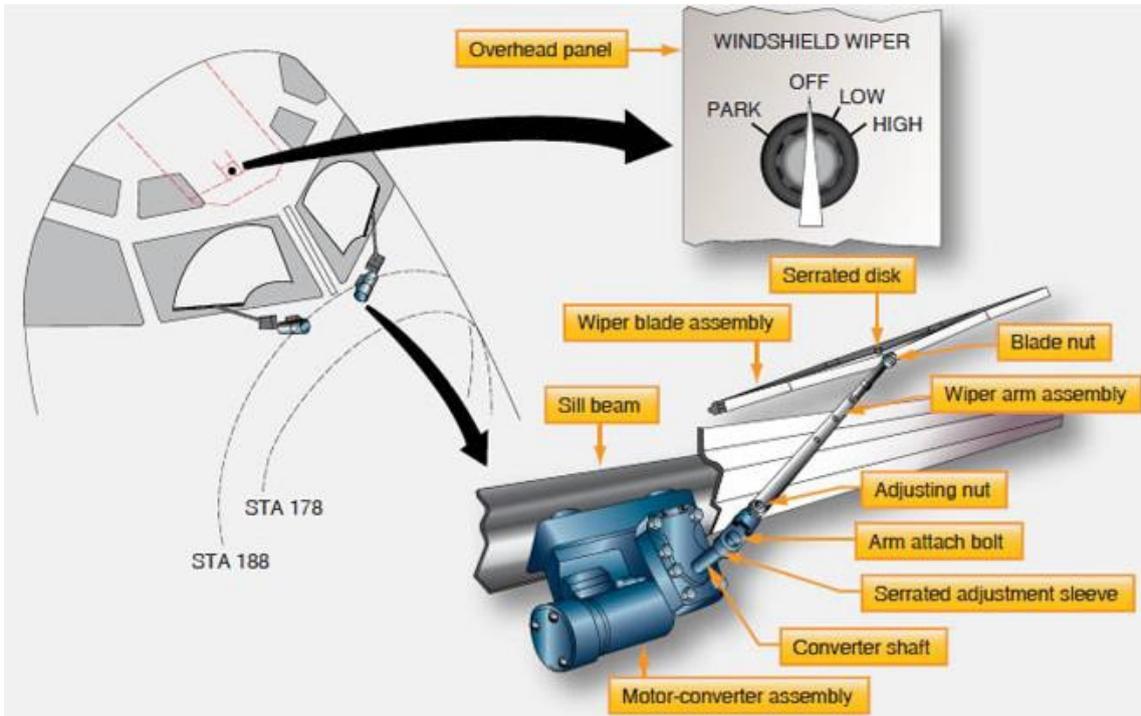
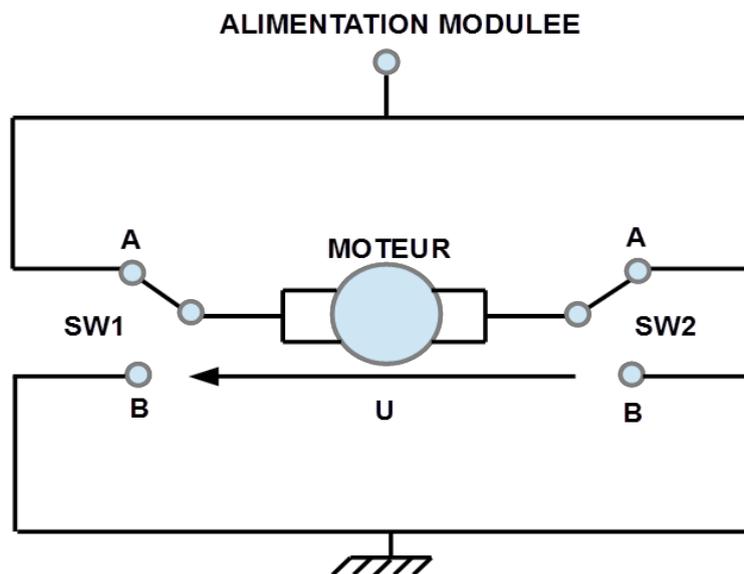


Figure 3 : essuie-glaces, motorisation et commandes

Le changement du sens de rotation des balais est commandé par deux interrupteurs électroniques SW_1 et SW_2 comme indiqué dans le montage ci-dessous. **L'alimentation modulée délivre une tension positive.**



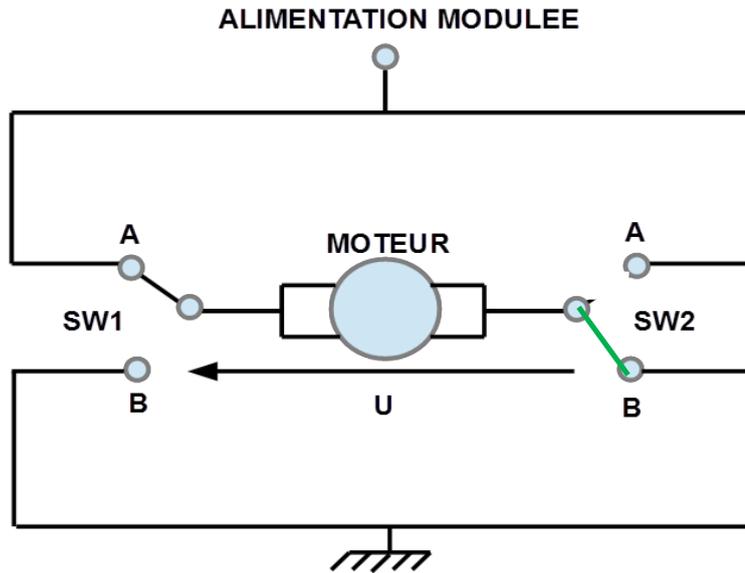
Q.12 - Déterminer sur le **document réponse DR1** de l'annexe 2 à rendre avec la copie (page 9/10), en les entourant, les bonnes positions des interrupteurs SW_1 et SW_2 permettant le fonctionnement suivant :

- $U > 0$ (aller balai essuie-glace)
- $U < 0$ (retour balai essuie-glace)

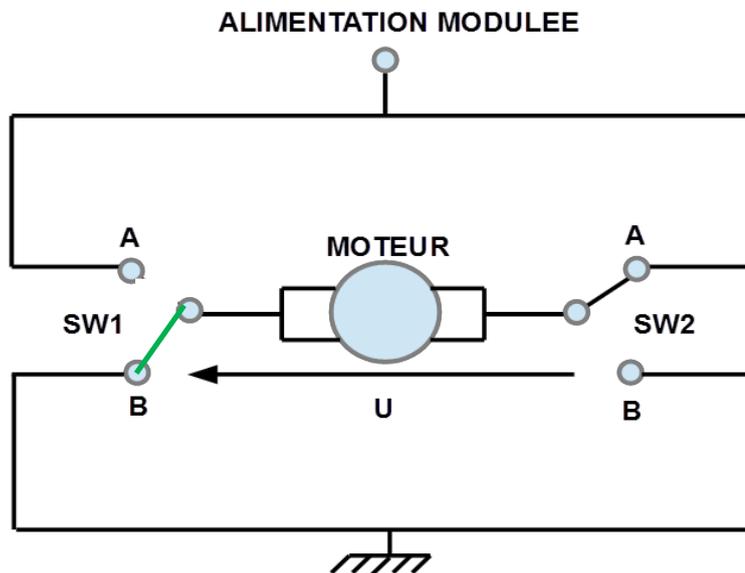
Document réponse DR1 (question Q12)

	SW1		SW2	
$U > 0$	A	B	A	B
$U < 0$	A	B	A	B

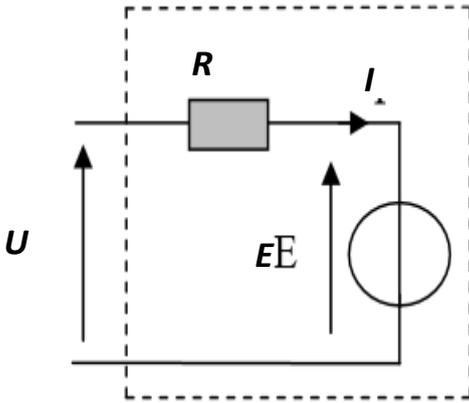
$U > 0$



$U < 0$



Les caractéristiques électromécaniques du motoréducteur sont données ci-dessous :



Couple nominal $C_n = 0,642 \text{ N}\cdot\text{m}$.

Résistance de l'induit $R = 0,375$

Ω .

Coefficient de fem et de couple $k = 0,08$

$\text{V}\cdot\text{s}\cdot\text{rad}^{-1}$. Rapport de réduction $m = 1/60$

On rappelle que m désigne le rapport de fréquence de rotation des essuie-glaces à celle du moteur.

Formules utiles : $U = E + R \times I$

$C_n = k \times I$

$E = k \times \Omega$

avec Ω est la vitesse de rotation angulaire du moteur.

Q.13 - Déterminer la tension U permettant d'avoir une vitesse de balayage de **30 cycles par minute**.

Rapport de réduction $m = n_{\text{essuie-glace}} / n_{\text{moteur}}$

$n_{\text{moteur}} = n_{\text{essuie-glace}} / m$

$n_{\text{moteur}} = 30 / (1/60) = 1800 \text{ trs}\cdot\text{min}^{-1}$

$\Omega = 1800 \times 2 \pi / 60 = 188 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$

$E = k \times \Omega$

$E = 0,08 \times 188$

$E = 15 \text{ V}$

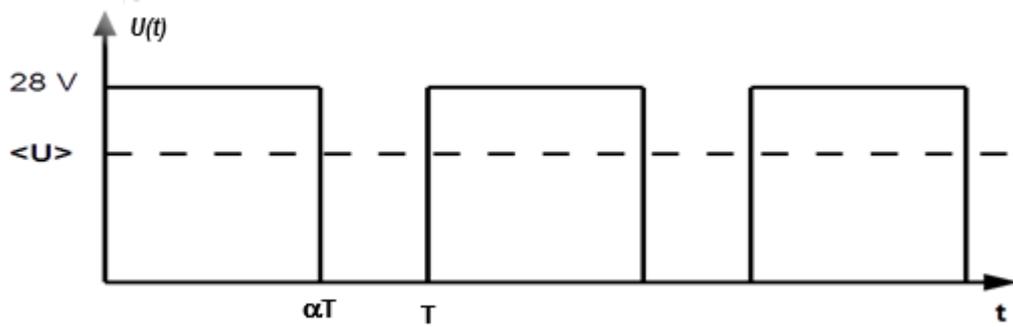
$I = C_n/k$

$I = 0,642/0,08 = 8,0 \text{ A}$

$U = E+RI$

$U = 15 + 0,375 \times 8 = 18 \text{ V}$

On se propose d'améliorer ce dispositif en offrant au pilote la possibilité de faire varier la vitesse de balayage continuellement de zéro jusqu'à sa valeur maximale. Pour cela, le motoréducteur sera alimenté par la tension moyenne $\langle U \rangle$ obtenue à la sortie d'un hacheur alimenté par le bus 28 V. La tension $U(t)$ est représentée ci-dessous.



Q.14 - Calculer le rapport cyclique α correspondant à une tension moyenne de 18 V.

$$\langle U \rangle = (\alpha T \times 28 + (T - \alpha T) \times 0) / T = \alpha \times 28$$

$$18 = \alpha \times 28$$

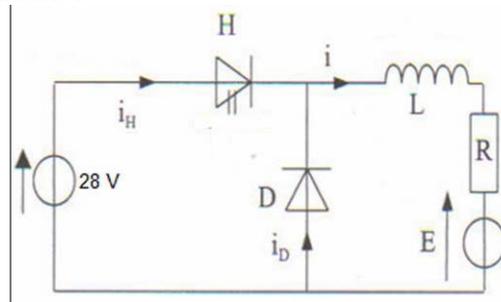
$$\alpha = 18/28$$

$$\alpha = 0,64$$

Q.15 - Donner le nom de l'appareil qui permet de mesurer la valeur moyenne de la tension. Préciser le réglage (AC, DC, ...)

L'appareil qui permet de mesurer la valeur moyenne de la tension est le voltmètre en position DC.

Le schéma du montage est le suivant :



Q.16 - Comment appelle-t-on la diode D ? Quel est son rôle ?

Diode de roue libre, elle protégé des surtensions.

Q.17 - Quel est le rôle de la bobine ?

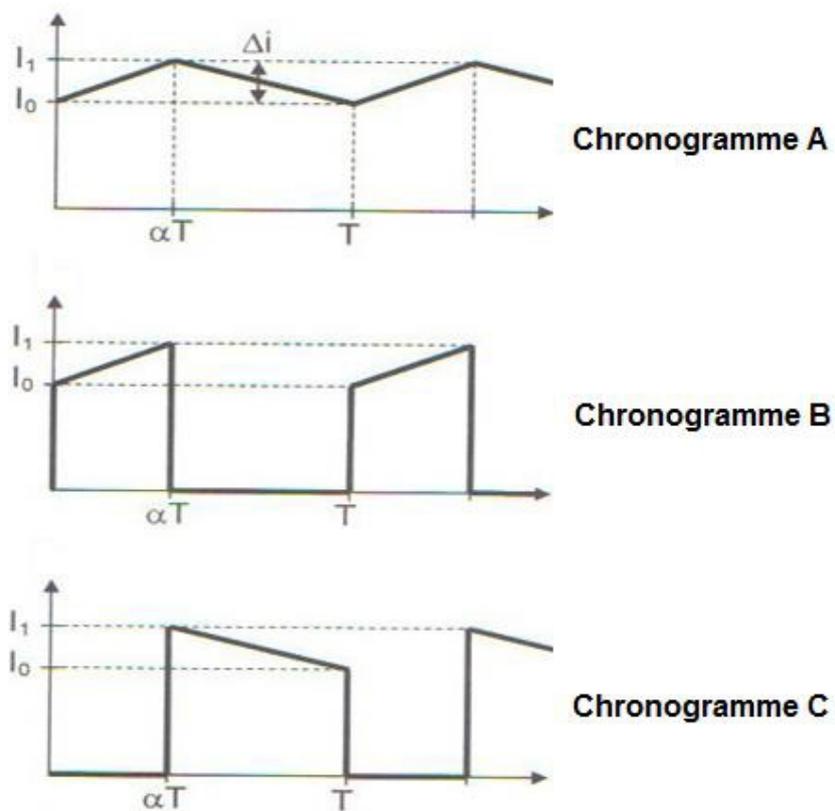
La bobine permet de lisser le courant.

Q.18 - En observant les chronogrammes de l'annexe 2 à rendre avec la copie, associer chacun d'entre eux à l'un des courants I_H , I et I_D , sur le document réponse DR2.

H laisse passer le courant entre 0 et αT donc I_H est représenté sur le chronogramme B

D laisse passer le courant entre αT et T donc I_D est représenté sur le chronogramme C

La bobine est toujours traversé par le courant donc I est représenté sur le chronogramme A.



Document réponse DR2 (question Q18)

Chronogramme	Courant attribué
A	I
B	I _H
C	I _D