

MOTEUR À COURANT CONTINU ALIMENTÉ PAR UN HACHEUR : PARTIE A : Etude du moteur

Un moteur à courant continu à excitation indépendante fonctionne à flux constant ; son courant inducteur a une intensité  $i_e = 0,35$  A. Dans ces conditions, la force électromotrice E peut s'exprimer sous la forme  $E = k.n$ , relation dans laquelle n désigne la fréquence de rotation exprimée en tr/min; on donne  $k = 0,11$  V/tr.min'. La résistance de l'induit, mesurée à chaud est  $R = 6,3 \Omega$ .

1 - Fonctionnement à vide

Sous tension d'induit nominale  $U = 250$  V, l'induit absorbe un courant d'intensité  $i_o = 0,28$  A.

- a) Calculer la force électromotrice  $E_o$  de l'induit dans ces conditions.

$$E = U - R.i_o \text{ soit } E = 250 - 6,3 \cdot 0,28 \text{ donc } \underline{E = 248 \text{ V}}$$

- b) En déduire la fréquence de rotation  $n_o$  du moteur.

$$n = E / k \text{ donc } n = 248 / 0,11 \text{ et } \underline{n = 2257 \text{ tr/min}}$$

- c) Evaluer les pertes par effet Joule dans l'induit, notées  $P_{jo}$ .

$$P_{jo} = r.i_o^2 \text{ donc } p_{jo} = 6,3 \cdot 0,28^2 \quad \underline{p_{jo} = 0,5 \text{ W}}$$

- d) Déterminer le moment  $T_p$  du couple de pertes que l'on considérera constant dans la suite du problème.

$$p_c = E.i_o = T_p.\Omega \text{ donc } T_p = E.i_o/\Omega = 248 \cdot 0,28 / (2 \cdot \pi \cdot 2257 / 60) \quad \underline{T_p = 0,29 \text{ Nm}}$$

2 - Fonctionnement en charge

Le moteur, toujours alimenté sous tension nominale  $U = 250$  V, développe un couple électromagnétique de moment  $T_e = 2,1$  N.m.

- a) Montrer que l'induit absorbe alors un courant d'intensité  $I = 2,0$  A.

Nous savons que  $T_e = K\phi I$  et que  $E = K\phi \Omega$ . or, le flux étant constant on peut écrire :  
 $E/\Omega = 248 / (2 \cdot \pi \cdot 2257 / 60) = 1,05$  SI  
 Donc  $I = T_e / K\phi = 2,1 / 1,05 = 2$  A.

$$\underline{I = 2,0 \text{ A}}$$

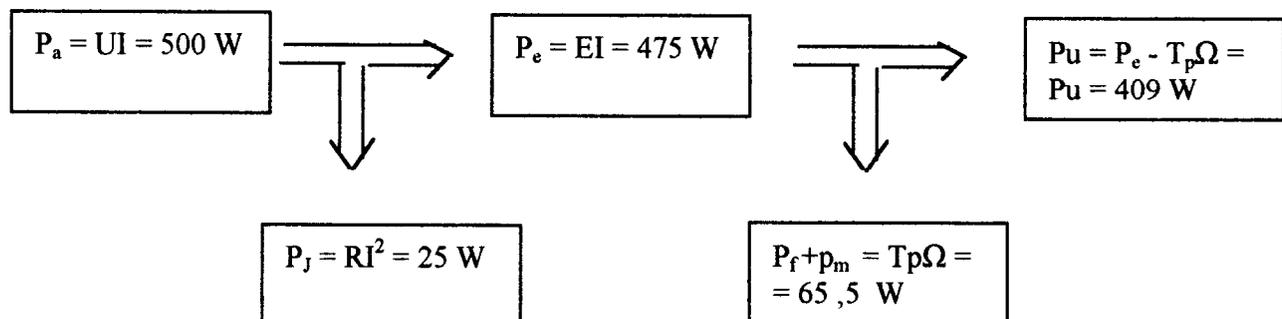
- b) Calculer la force électromotrice E du moteur.

$$E = U - R.I \text{ donc } E = 250 - 6,3 \cdot 2 \quad \underline{E = 237,4 \text{ V}}$$

- c) En déduire sa fréquence de rotation, n.

$$n = E/k \text{ donc } n = 237,4 / 0,11 \quad \underline{n = 2158 \text{ tr/min}}$$

- d) Le schéma du document-réponse 1, page 8 représente le bilan des puissances de l'induit en charge ; en justifiant les calculs effectués, compléter ce schéma en donnant la valeur des différentes puissances mises en jeu.



- d) Calculer le rendement de l'induit du moteur en charge.

e)  $\eta = P_u / P_a = 409 / 500 = 0,818 \quad \underline{\eta = 81,8 \%}$

- f) Calculer le moment  $T_u$  du couple utile développé par le moteur.  $T_u = P_u / \omega = 1,81$  Nm

## PARTIE B : Etude du hacheur

L'induit du moteur **étudié** dans la partie A est alimenté par un **hacheur** série dont le schéma est représenté sur la figure 1, page 5. Les interrupteurs **électroniques** utilisés sont supposés parfaits. Une bobine de lissage, B, de résistance négligeable, est **placée en série** avec l'induit ; la résistance de celui-ci est  $R = 6,3 \Omega$  ; il est caractérisé par

la relation  $E = k.n$  dans laquelle E est **exprimée** en V et n en **tr/min**. On donne  $k = 0,11 \text{ V/tr.min}^{-1}$ .

Commande de l'interrupteur K ; T désigne la période de fonctionnement :

$0 < t < \alpha T$  : K fermé.

$\alpha T < t < T$  : K ouvert.

En charge, pour un certain **régime** de fonctionnement, on a relevé à l'**oscilloscope** les variations de u et i **conformément** au **schéma** de la figure 1, page 5. Les oscillogrammes obtenus sont **représentés** sur la figure 2, page 5. Pour relever ces oscillogrammes on a utilisé une sonde de tension de rapport **1/50** et une sonde de courant de sensibilité **100 mV/A**.

**1** - Déterminer la **fréquence** de fonctionnement f du hacheur.

**2** Nous voyons sur l'**oscillogramme** que la **période correspond à 5 divisions**, donc  $T = 0,2 \times 5 = 1 \text{ ms}$

**donc**

$$\underline{f = 1/T = 1 \text{ kHz}}$$

**3** - Quelle est la valeur du rapport cyclique a pour le régime **étudié** ?

**d'après l'oscillogramme de u**  $a = 3/5$

**soit**  $\underline{a = 0,6}$

**3-**  $\langle u \rangle$  désigne la valeur moyenne de la tension aux bornes de l'ensemble moteur + bobine de lissage ; montrer que  $\langle u \rangle = 150 \text{ V}$ .

quand K est **fermé** la tension u est **représentée** par 5 **carreaux** sur l'**oscillogramme** soit une mesure de 5 V. comme la **sensibilité** de la sonde est **de 1/50**, la tension u est alors de  $50 \times 5 = 250 \text{ V}$ .

**donc**  $\langle u \rangle = 250 \times a = 250 \times 0,6 = 150 \text{ V}$

$$\underline{\langle u \rangle = 150 \text{ V}}$$

**4-** Déterminer la valeur maximale  $I_M$  et la valeur minimale,  $I_m$ , de l'intensité du courant **absorbé** par l'induit du moteur.

Valeur  $I_M$  : **sur l'oscillogramme** : 3,2 divisions soit 160 mV soit **encore** 1,6 A

$$\underline{I_M = 1,6 \text{ A}}$$

Valeur  $I_m$  : **sur l'oscillogramme** : 2 divisions soit 100 mV soit **encore** 1 A

$$\underline{I_m = 1 \text{ A}}$$

**5-** En déduire l'ondulation  $\Delta I = I_M - I_m$  du courant et sa valeur moyenne  $\langle i \rangle$ .

$$\underline{\Delta I = 0,6 \text{ A}}$$

**6** - Ecrire la relation entre  $\langle u \rangle$ ,  $\langle i \rangle$ , n, R et k.

$$\langle u \rangle = E + R \cdot \langle i \rangle \text{ soit}$$

$$\underline{\langle u \rangle = k \cdot n + R \cdot \langle i \rangle}$$

**7-** Calculer la fréquence de rotation n du moteur.  $n = (\langle u \rangle - R \langle i \rangle) / k$  soit

$$\underline{n = 1290 \text{ tr/min}}$$

## Problème 2

### TRANSFORMATEUR MONOPHASÉ

Le primaire du transformateur étudié est alimenté par le réseau EDF sous une tension de valeur efficace  $V_{IN} = 225 \text{ V}$  et de fréquence  $f = 50 \text{ Hz}$ .

#### 1 - Essai n°1

On a réalisé un essai en continu ; le schéma du montage est représenté sur la figure 3, page 6. S, désigne une source de tension continue réglable.

On a mesuré :  $V_{1c} = 12 \text{ V}$  ;  $I_{1c} = 3,64 \text{ A}$ .

Calculer la valeur de la résistance  $R_1$  du primaire

$$R_1 = \frac{V_{1c}}{I_{1c}} = \frac{12}{3,64} = 3,3\Omega$$

#### 2 - Essai n°2

Il s'agit d'un essai à vide réalisé sous tension primaire nominale,  $V_{10} = V_{IN}$ .

On a mesuré les grandeurs suivantes :

$I_{10} = 0,24 \text{ A}$  : valeur efficace de l'intensité du courant absorbé par le primaire.

$V_{20B} = 48,2 \text{ V}$  : valeur efficace de la tension secondaire à vide.

$P_{10} = 10,2 \text{ W}$  : puissance absorbée par le primaire.

a) Calculer le rapport de transformation ou rapport du nombre de spires  $m = N_2/N_1$ .

$$m = \frac{N_2}{N_1} = \frac{V_{20}}{V_{10}} = \frac{48,2}{225} = 0,214$$

b) Évaluer les pertes par effet Joule dans ce fonctionnement.

$$p_{j0} = R_1 \cdot I_{10}^2 = 3,3 * 0,24^2 = 0,19 \text{ W}$$

c) En déduire la valeur des pertes dans le fer à vide et justifier l'emploi de cette même valeur en charge sous tension primaire nominale.

*A vide  $p_0 = p_{10} + p_{j0}$  donc  $p_{10} = 10,2 - 0,19 = 10 \text{ W}$   
Or nous savons que les pertes fer sont les mêmes à vide et en charge, le transformateur étant sous tension nominale.*

#### 3 - Essai n°3

Le secondaire est court-circuité et le primaire alimenté sous tension réduite. Le courant secondaire de court-circuit,  $I_{2cc}$  est égal au courant secondaire nominal,  $I_{2n}$  pour  $V_{1cc} = 8,3 \text{ V}$ . Le courant absorbé par le primaire est alors  $I_{1cc} = 0,86 \text{ A}$ .

a) Sachant que, dans cet essai, le transformateur peut être considéré comme parfait pour les courants, calculer la valeur du courant secondaire de court-circuit,  $I_{2cc}$ .

$$I_{2cc} = \frac{I_{1cc}}{m} = \frac{0,86}{0,214} = 4,0 \text{ A}$$

b) Calculer la valeur de l'impédance totale ramenée au secondaire,  $Z_s$ .

$$Z_s = \frac{mV_{1cc}}{I_{2cc}} = \frac{0,214 * 8,3}{0,214} = 0,44\Omega$$

#### 4 - Essai en charge nominale

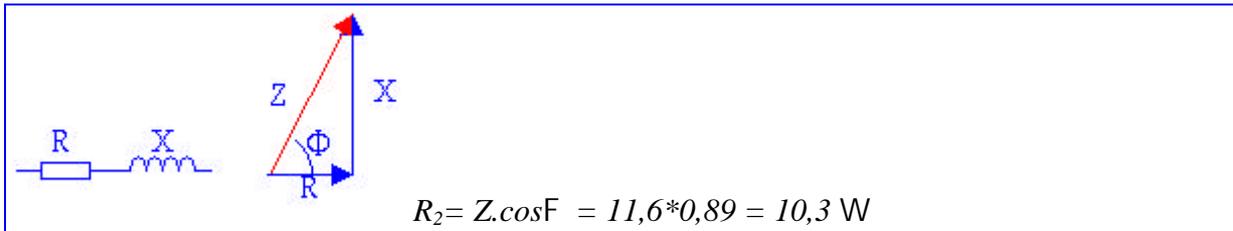
Le schéma du montage est représenté sur la figure 4, page 6 ; le transformateur est alimenté sous tension primaire nominale. Pour simuler la charge, on utilise une bobine sans noyau de fer, équivalente à un circuit RL série. Son impédance est  $Z = 11,6\Omega$  et son facteur de puissance  $\cos\Phi = 0,89$ .

Le wattmètre mesure  $P_1 = 180 \text{ W}$  et la pince ampèremétrique  $I_2 = 4,0 \text{ A}$ .

a) Calculer la tension secondaire en charge,  $V_2$ .

$$V_2 = Z * I_2 = 11,6 * 4 = 46,4 \text{ V}$$

b) Montrer que la résistance  $R$  de la bobine est  $R = 10,3 \Omega$ . En déduire la puissance active  $P_2$  consommée par cette charge.



- c) Déterminer le rendement du transformateur au cours de cet essai.  
 d) La puissance absorbée est  $P_1 = 180 \text{ W}$ , la puissance fournie au secondaire est consommée uniquement dans la résistance  $R_2$  (théorème de Boucherot) donc :

$$P_2 = R_2 \cdot I_2^2 = 10,3 \cdot 4^2 = 165 \text{ W} \text{ et } \eta = \frac{P_2}{P_1} = 92\%$$

- d) En déduire la valeur des pertes par effet Joule du transformateur.  
 $P_1 - P_2 =$  somme des pertes = Pertes fer + pertes joules ; donc :

$$\text{pertes joules } p_j = 180 - 165 - 10 = 5 \text{ W}$$

- e) Le modèle équivalent du transformateur, ramené au secondaire, est donné sur le document-réponse 2, page 8 ; compléter ce document en précisant la valeur de  $R_s$  et de  $X_s$ . Les calculs seront justifiés.

$$R_s I_s^2 = p_j = 5 \text{ W} \text{ donc } R_s = 5/16 = 0,313 \text{ W}$$

$$X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2} = 0,31 \text{ W}$$

### Problème 3 CONTRÔLE DE DÉBIT D'AIR

Pour contrôler le débit d'air dans un appareillage médical, on utilise un capteur dont la caractéristique est représentée sur la figure 5, page 7 : cette courbe représente les variations de la tension de sortie VE du capteur en fonction du débit d'air F exprimé en  $\text{cm}^3/\text{min}$ . Le fonctionnement normal de l'installation nécessite un débit d'air compris entre 150 et  $550 \text{ cm}^3/\text{min}$  ; pour détecter une insuffisance ou un excès d'air, on utilise le montage représenté sur la figure 6, page 7. Les amplificateurs opérationnels utilisés sont supposés parfaits : les tensions de saturation sont égales à

+15 V et -15 V. On donne  $V = 15 \text{ volts}$  et  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ .  $R_2$  et  $R_3$  représentent deux résistances réglables.  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D'_1$  et  $D'_2$  sont des diodes électroluminescentes.

1-Exprimer  $V_i$  en fonction de  $R_1, R_2$  et V.

$$V_i = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} \cdot V \text{ (règle du pont diviseur)}$$

2-Quelle est la valeur de la tension de sortie  $V_F$  du capteur quand le débit d'air est  $F = 550 \text{ cm}^3/\text{min}$  ?

$$\text{On lit sur la courbe (5) } V_F = 4,5 \text{ V.}$$

**3-**La sortie de AO change d'état quand le débit d'air devient supérieur à 550 cm<sup>3</sup>/min. Calculer la valeur de la résistance R<sub>2</sub>.

La sortie de l'AOP change d'état lorsque :

$$V_1^+ = V_1^- \text{ soit } \frac{R_2}{R_1 + R_2} V = V_F \text{ donc } \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{V_F}{V} = \frac{4,5}{15} = 0,3$$

$$R_2 = 0,3R_1 + 0,3R_2$$

$$R_2 = \frac{0,3}{0,7} R_1 \text{ avec } R_1 = 1000 \text{ donc } R_2 = 4300 \text{ ohms}$$

**4-**Exprimer V<sub>2</sub><sup>+</sup> en fonction de R<sub>1</sub>, R<sub>3</sub> et V.

$$V_2^+ = R_3 / (R_1 + R_3) * V \text{ (règle du pont diviseur)}$$

**5-**La sortie de AO<sub>2</sub> change d'état si F devient inférieur à 150 cm<sup>3</sup>/min. Calculer la valeur de la résistance R<sub>3</sub>.

Changement d'état de l'AO<sub>2</sub>

$$V_2^+ = V_2^- \text{ soit } \frac{R_3}{R_1 + R_3} V = V_F \text{ donc } \frac{R_3}{R_1 + R_3} = \frac{V_F}{V} = \frac{3}{15} = 0,2$$

$$R_3 = \frac{0,2}{0,8} R_1 \text{ avec } R_1 = 1000 \text{ donc } R_3 = 2500 \text{ ohms}$$

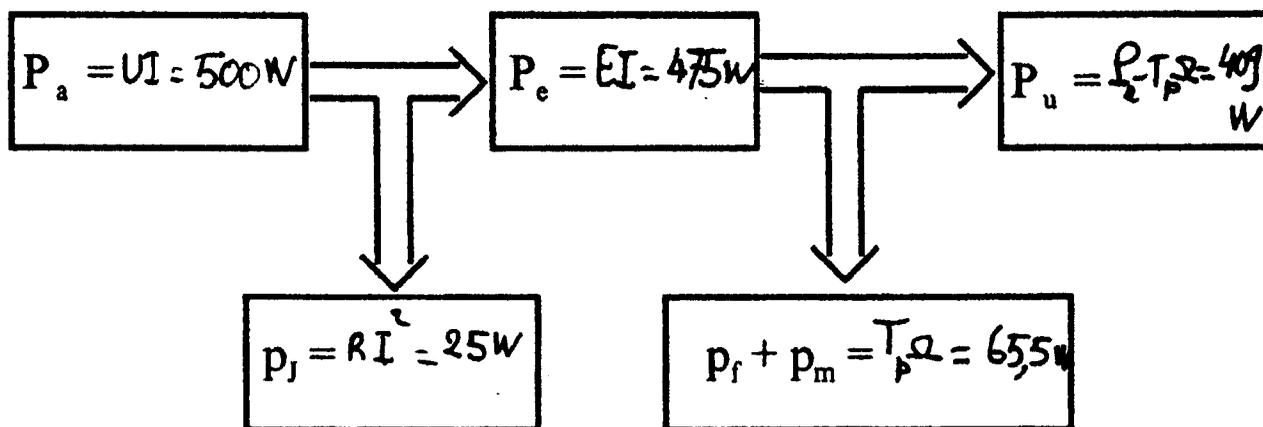
**6-** Compléter le tableau du document-réponse 3, page 8, en plaçant un 0 dans la case d'une diode bloquée et un 1 dans celle d'une diode conductrice. On justifiera seulement le raisonnement utilisé pour déterminer l'état de la diode D1.

*D<sub>1</sub> change d'état lorsque V<sub>i</sub> change d'état c'est à dire si V<sub>i</sub> change de signe.*

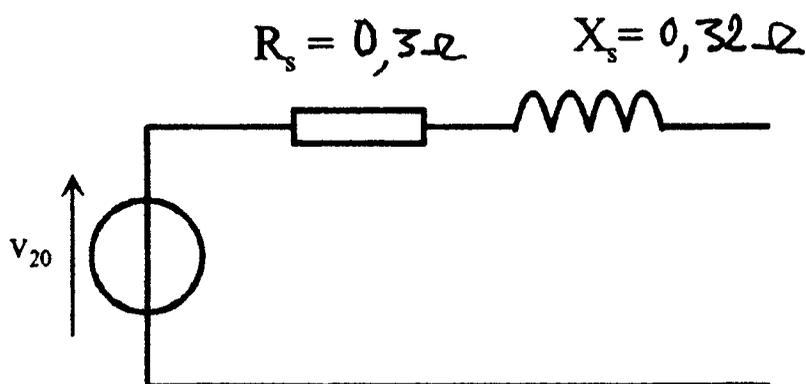
*V<sub>F</sub> > 4,5V  $\Rightarrow$  V<sub>d1</sub> > 0  $\Rightarrow$  V<sub>s1</sub> = 1,5 V : D<sub>1</sub> est alors passante*

*V<sub>F</sub> < 4,5 V  $\Rightarrow$  V<sub>d2</sub> < 0  $\Rightarrow$  V<sub>s1</sub> = -15 V : D<sub>1</sub> est alors bloquée*

*D<sub>1</sub> est passante quand D<sub>2</sub> est bloquée et inversement.*



Document-réponse 1  
(Problème n°1)



Document-réponse 2  
(Problème n°2)

Valeur du débit d'air F cm <sup>3</sup> /min	Etat de D <sub>1</sub>	Etat de D' <sub>1</sub>	Etat de D <sub>2</sub>	Etat de D' <sub>2</sub>
F < 150	0	1	1	0
150 < F < 550	0	1	0	1
F > 550	1	0	0	1

Document-réponse 3  
(Problème n°3)

Problème n°3

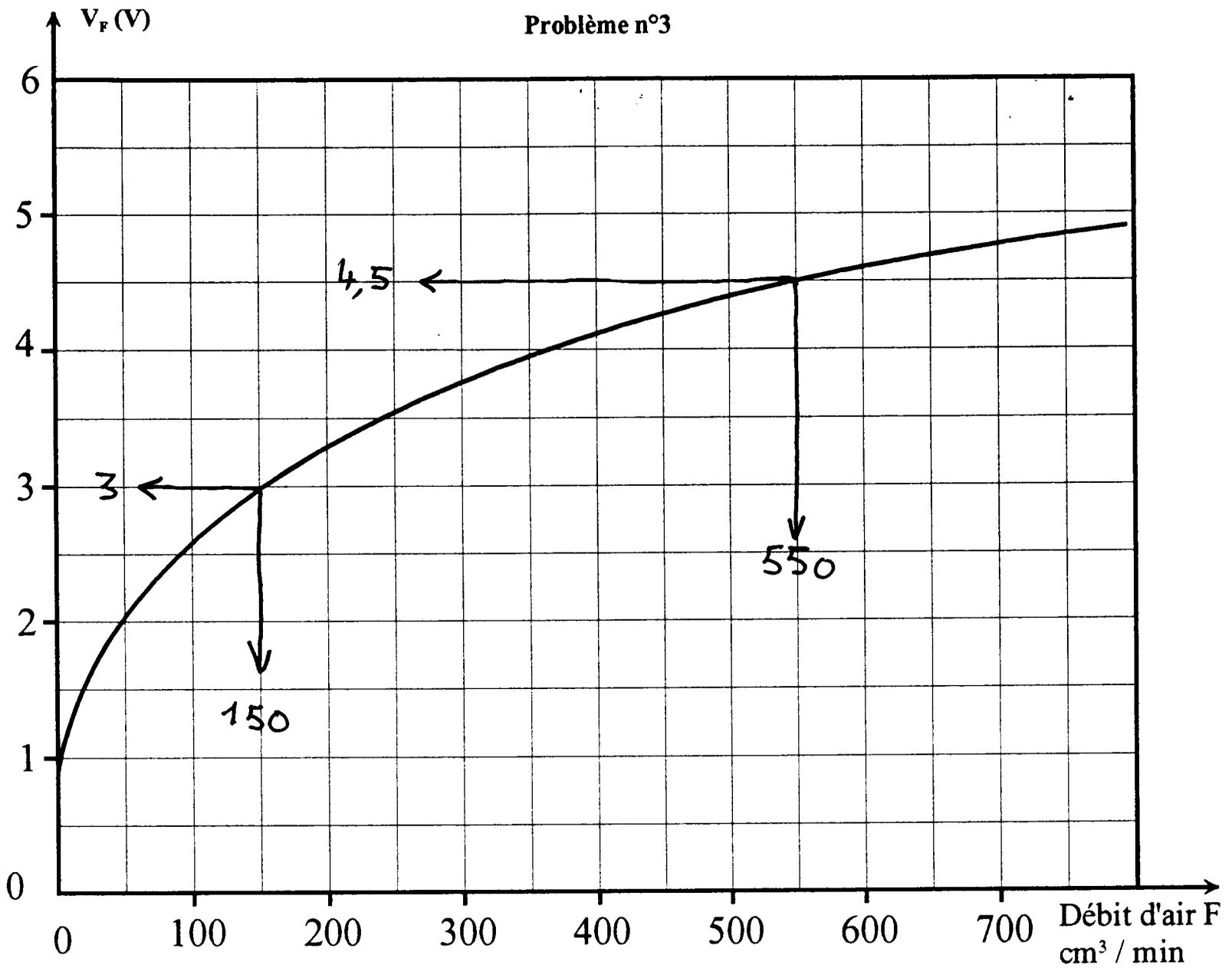


Figure 5

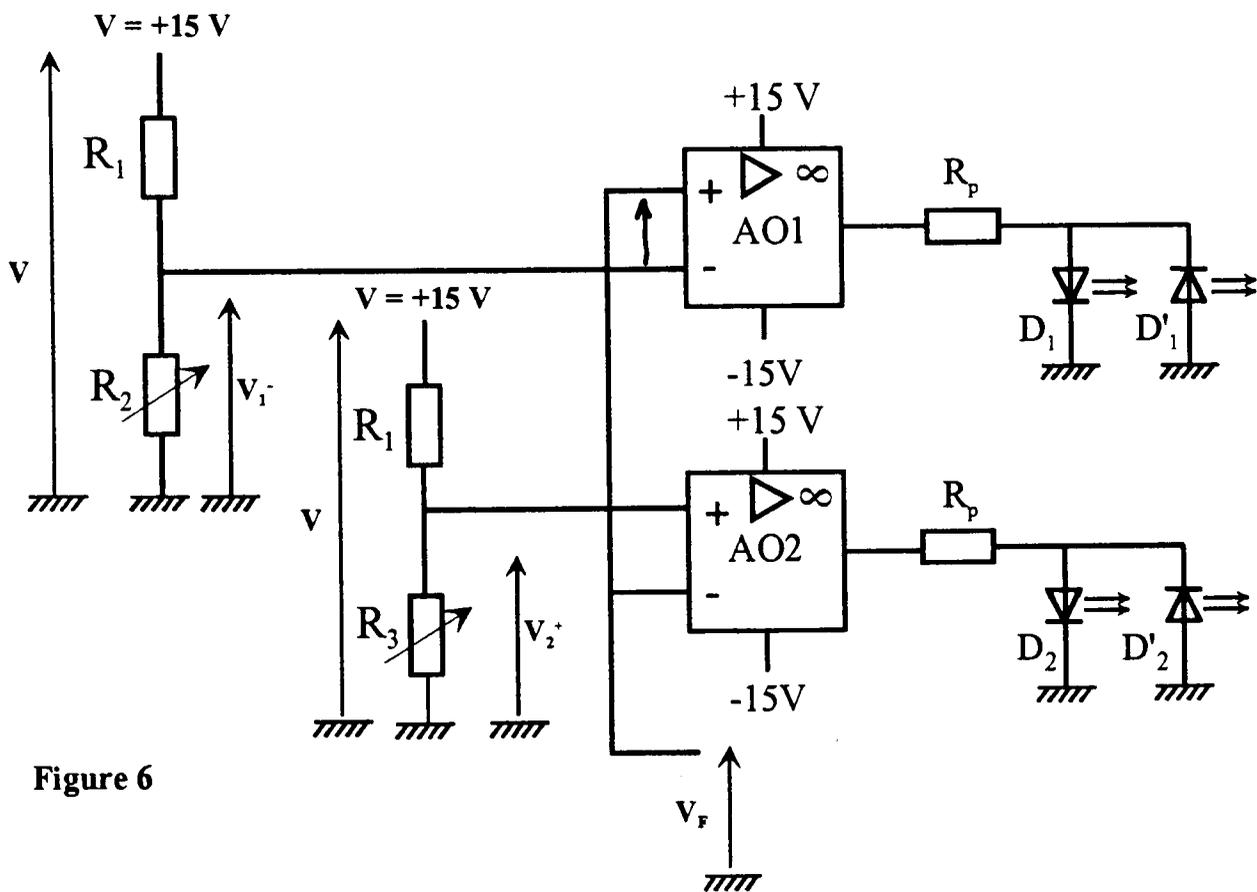


Figure 6