Propriété du site http://www.chimix.com

machine frigorifique (9 points)

Dans une machine frigorifique, une masse m de fluide frigorigène subit le cycle suivant :

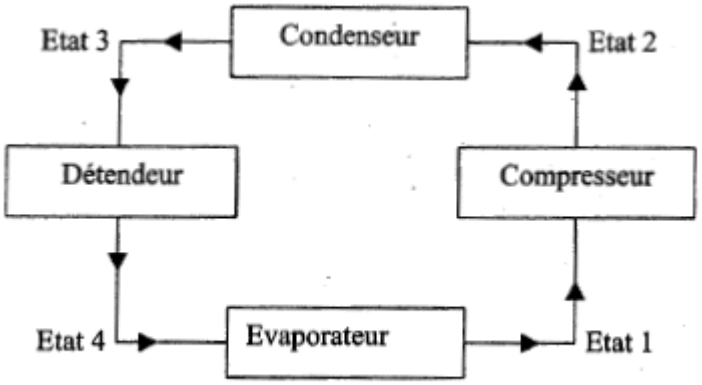

Figure 1

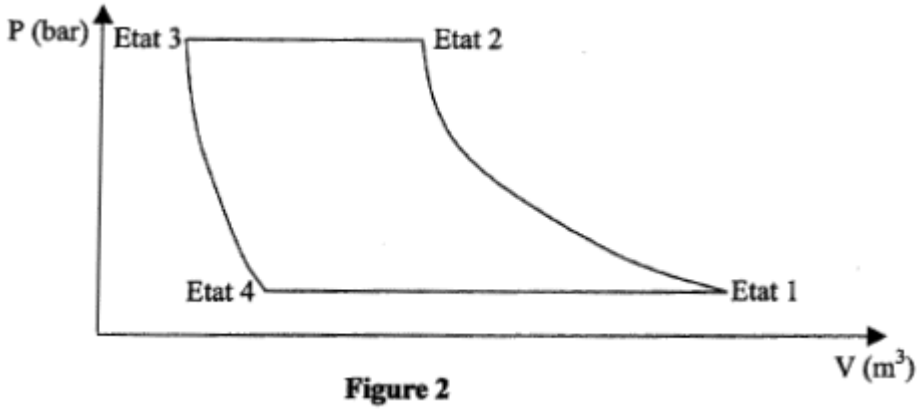

Figure 2

- Le compresseur amène la vapeur saturée sèche de l'état 1 (θ_1 = -10°C; P_1= 3,5 bar) à l'état 2 (θ_2 = 40°C; P_1= 9,1 bar) suivant une compression isentropique.

- Le condenseur permet à la vapeur d'atteintre la température de changement d'état puis de se liquéfier totalement (état 3) selon un refroidissement isobare.

- Le détendeur permet au fluide d'atteindre l'état 4 (θ_4 = -10°C; P_4= 3,5 bar). Au cours de cette transformation on considère que le fluide n'échange ni travail ni chaleur avec le milieu extérieur, et on admet que son enthalpie reste constante.

- Le vaporisateur (évaporateur) permet au fluide de revenir à l'état 1.

Données : enthalpie massique dans les différents états :

h_1 = 401 kJ/ kg ; h_2 = 428 kJ/kg ; $h_3 = h_4$ = 224 kJ/kg.

Chaleur latente de vaporisation du fluide dans le condenseur : L_v = 188 kJ/kg.

Chaleur massique de la vapeur à pression constante : C_p= 0,8 kJ(kg K)$^{-1}$.

Corrigé proposé par Claude Raclot du Lycée des Haberges

On rappelle que pour une transformation isobare $\Delta h = Q$.

1. Calculer la quantité de chaleur Q_E échangée par 1 kg de fluide au niveau de l'évaporateur.
   - Calculer la quantité de chaleur Q_c échangée par 1 kg de fluide au niveau du condenseur.
   - La température de changement d'état dans le condenseur est notée θ. Détailler les échanges thermique entre les états 2 et 3. En déduire l'expression littérale de Q_c en fonction de c_p, θ, θ_2 et L_v.
   - Calculer la valeur de θ.
2. En utilisant le premier principe de la thermodynamique, montrer que le travail reçu par 1 kg de fluide au cours du cycle est $W = h_2 - h_1$.
   - Déterminer le coefficient d'efficacité frigorifique e du cycle.
   - Le travail reçu par le cycle est fourni par le compresseur. déterminer la puissance du compresseur sachant que le débit massique du fluide est $q_m = 0{,}10$ kg/s.

corrigé

Q_E échangée par 1 kg de fluide au niveau de l'évaporateur (transformation isobare) = $h_1 - h_4$ = 401-224= 177 kJ.

Dans le condenseur : transformation isobare donc $Q_c = h_3 - h_2$ = 224-428= -204 kJ

la vapeur doit passer de la température θ_2 à θ puis se condenser à température constante θ.

chaleur latente de liquéfaction du fluide = -chaleur latente de vaporisation du fluide dans le condenseur

$$Q_c = c_p(\theta - \theta_2) - L_v = 0{,}8(\theta - 40) - 188$$

$0{,}8(\theta - 40) - 188 = -204$ soit $\theta = 20$°C.

au cours du cycle $\Sigma Q + \Sigma W = 0$

état 1 --> état 2 : compression isentropique : travail W et $Q_{12} = 0$

état 2 --> état 3 : isobare $Q_E = h_3 - h_2$;

état 3 --> état 4 : travail et chaleur échangés sont nuls

état 4--> état 1 : $Q_{41} = h_1 - h_4$.

$\Sigma Q = Q_E + Q_{41} = h_3 - h_2 + h_1 - h_4$; or $h_3 = h_4$ soit $\Sigma Q = h_1 - h_2$;

$\Sigma Q + \Sigma W = 0$; $\Sigma W = -\Sigma Q = h_2 - h_1$ = 428-401=27 kJ.

efficacité = énergie thermique enlevée à la source froide divisée par le travail investi.

Propriété du site http://www.chimix.com

$e = |Q_c|/W = 204/27 = 7,5$.

puissance (watt) du compresseur = travail (J) / durée (s) = travail pour 1kg de fluide * débit massique

$P = 27 * 0,1 = 2,7$ kW.

électricité (6 points)

La température de la machine frigorifique est contrôlée par une régulation fonctionnant en tout ou rien. Le relais commande le compresseur.

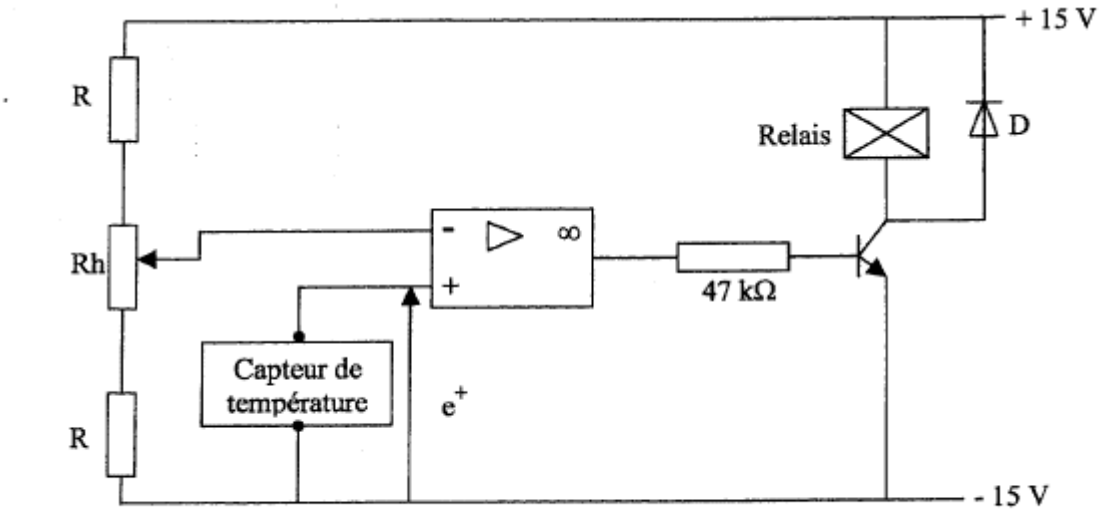

figure 3

Le capteur de température impose une tension e^+ à l'entrée non inverseuse telle que dans l'intervalle -30 °C et +30 °C, $e^+ = 0,1\ \theta$ (θ représente la température exprimée en °C et e^+ le potentiel de l'entrée non iverseuse, exprimé en V).

1. Quel est le rôle du potentiomètre R_h ? En l'absence des résistances R, les valeurs limites de potentiel du curseur sont-elles compatibles avec le capteur de température utilisé ? Justifier et conclure.
2. Pourquoi utiliser une diode D en parallèle aux bornes du relais ?
3. Quel est le mode de fonctionnement de l'amplificateur opérationnel ?
4. On part d'une situation dans laquelle l'intérieur de la machine frigorifique est à une température initiale de 20 °C. R_h permet de faire varier e^- entre -3,5 V et + 3,5 V. On règle la position R_h afin d'évoluer vers un état de régime dans lequel la température moyenne est -10 ° C.

   - A quelle valeur de tension e^- correspond cette consigne.
   - Sachant que le compresseur fonctionne quand le relais est alimenté, montrer que le montage proposé fonctionne correctement.

corrigé

Corrigé proposé par Claude Raclot du Lycée des Haberges

Le potentiomètre R_h permet de modifier la tension à l'entrée inverseuse.

En l'absence des résistances R, les valeurs limites de potentiel du curseur sont -15 V et + 15 V, donc e^- est comprise entre -15 V et + 15 V

Le capteur de température impose une tension e^+ comprise entre -3 Vet + 3 V.

Il est nécessair de mettre les résistance R afin que e- varie dans un intervalle proche de [-3 V ; + 3 V]. Dans ces conditions le capteur de température est compatible.

Le montage fonctionne en comparateur

Diode dite " de roue libre " : lorsque le relais n'est pas traversé par un courant (relis non alimenté) , la diode est passante.

valeur de tension e^- correspond cette consigne : 0,1*(-10) = -1 V

Si la température de la machine frigorifique s'élève e^+ devient supérieure à -1 V : la tension de sortie de l'A O est telle que le relais est alimenté, le compresseur démarre et ramène la température vers -10 °C.

Dès que la température est inférieure à -10 °C, la tension de sortie de l'AO prend la valeur opposée à la valeur précédente et le relais n'étant plus alimenté, le compresseur s'arrête.

---

dureté d'une eau (5 points)

La dureté totale d'une eau dépend de la concentration en ion Ca^{2+} et Mg^{2+}. Cette concentration, notée C est exprimé e en millimole/L (mmol/L). Le titre hydrotimétrique français TH est alors donné par TH= 10 C ; TH s'exprime en ° Français.

Les eaux courantes ont un titre hydrotimètrique inférieur à 50. Quand une eau a un degré supérieur à 30, elle est qualifiée de dure.

Le dosage des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} s'effectue avec une solution d'EDTA symbolisé par Y^{4-} en milieu basique selon les équations : $Ca^{2+} + Y^{4-} = CaY^{2-}$ et $Mg^{2+} + Y^{4-} = MgY^{2-}$. La fin du dosage est repérée grâce à la présence de noir ériochrome qui donne une coloration violette en présence des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} et prend une teinte bleue lorsque les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} sont en totalité sous forme CaY^{2-} et MgY^{2-} .

On dose 50 mL d'eau du robinet par une solution d'EDTA à C_1 = 0,01 mol/L. L'équivalence est ontenue après avoir versé V_1 = 12,8 mL d'EDTA.

1. Quelle la couleur de la solution en fin de dosage ?
2. Quelle est la concentration C de la solution ?
3. Quel est le titre hydrotimétrique de cette eau ? Que peut-on en conclure ?
4. La feuille d'analyse d'eau fournie par la mairie donne les concentrations suivantes : Ca^{2+} : 72 mg/L ; Mg^{2+} : 18,6 mg/L. Ces données sont-elles compatibles avec la valeur C trouvée ?

Corrigé proposé par Claude Raclot du Lycée des Haberges

Propriété du site http://www.chimix.com

Ca : 40,1 ; Mg : 24,3 g/mol.

corrigé

en fin de dosage, les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} sont en totalité sous forme CaY^{2-} et MgY^{2-} : la solution est bleue.

A l'équivalence $C_1V_1 = CV$ soit $C= C_1V_1 / v = 0,01*12,8 / 50 = 2,56\ 10^{-3}$ mol/L = 2,56 mmol/L

TH= 10 C = 25,6°Français.

valeur inférieure à 30 : donc l'eau n'est pas dure.

Qté de matière (mmol) = masse (mg) / masse molaire (g/mol)

dans 1 L : Ca^{2+} : 72 /40,1 = 1,8 mmol/L

Mg^{2+} : 18,6 /24,3 = 0,76 mmol/L.

total : 1,8+0,76 = 2,56 mmol/L soit TH = 25,6 ° Français

tout à fait en accord avec le résultat ci-dessus.

Corrigé proposé par Claude Raclot du Lycée des Haberges