CONCOURS INTERNE D'INGENIEUR SUBDIVISIONNAIRE
SUJET BLANC 97
PHYSIQUE APPLIQUEE

Durée : 3 heures

Barème :

RDM	7 points
Hydraulique	6 points
Electricité / Energétique	7 points

PARTIE ELECTRICITE / ENERGETIQUE

Un ballon cylindrique d'eau chaude sanitaire, non isolé thermiquement, a une contenance de 300 litres et un diamètre intérieur de 60 cm. Son épaisseur métallique est de 2 mm. Il est rempli d'eau qu'on désire chauffer avec trois résistances électriques immergées qui doivent dégager au total une puissance de 2 kW sous une tension triphasée de 220 - 380 V.

1°/ Fournir le schéma de branchement des résistances
a) si on adopte le montage étoile.
b) si on adopte le montage triangle.
Quelle valeur faut-il donner aux résistances dans ces deux cas?

2°/ Calculer le flux de chaleur perdu par le ballon au profit du milieu ambiant lorsqu'il existe une différence de 1°C entre la température de l'eau et celle de l'air du milieu ambiant.

3°/ On enveloppe complètement le ballon d'un isolant thermique de 4 cm d'épaisseur. Même question qu'au 2°/.

4°/ Quelle puissance électrique doivent fournir les résistances électriques, dans le cas du ballon non isolé et dans le cas du ballon isolé, pour maintenir, en régime permanent, une température constante de l'eau égale à 60°C lorsque la température d'air du local dans lequel se trouve le ballon est égale à 20°C? D'un point de vue pratique, comment obtenir cette puissance moyenne avec les mêmes résistances?

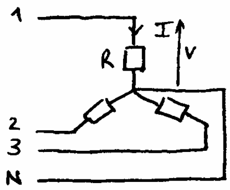
5°/ Le thermostat qui maintient la température maximale à 60 °C tombe en panne et le ballon isolé est continuellement chauffé par l'alimentation électrique des résistances qui fournit 2 000 W en permanence. Une soupape de sécurité permet le dégagement de vapeur dès que la pression intérieure est supérieure à celle du local. Calculer, en régime permanent, le débit volumique de vapeur d'eau qui s'échappe par la soupape. On suppose que la température du local reste toujours égale à 20°C et que le local reste sous pression normale.

On fournit les données suivantes :
capacité thermique massique de l'eau : 4 180 $J.kg.°C^{-1}$
conductivité thermique du métal de l'enveloppe : 18 $W.m^{-1}.°C^{-1}$
conductivité thermique de l'isolant : 0,04 $W.m^{-1}.°C^{-1}$
coefficient d'échange convectif et radiatif entre la surface extérieure du ballon et l'air du local :
$h = 9{,}09\ W.m^{-2}.°C^{-1}$.
chaleur latente massique de vaporisation de l'eau à 100°C : $2{,}25.10^{6}\ J.kg^{-1}$.
masse volumique de la vapeur d'eau saturée à 100°C : $0{,}598\ kg.m^{-3}$.
On suppose que la température de la surface intérieure du ballon est identique à celle de l'eau et que la température de l'eau est homogène dans le ballon.

CORRECTION :

PARTIE ELECTRICITE / ENERGETIQUE

1°) a)



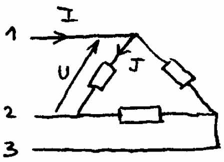
Le montage est équilibré

$\mathcal{P} = UI\sqrt{3} = 3\,V\,I = \dfrac{3V^2}{R}$

d'où $R = \dfrac{3V^2}{\mathcal{P}} \quad \left(= \dfrac{U^2}{\mathcal{P}} \Rightarrow 72{,}2\ \Omega\right)$

$R = \dfrac{3 \times 220^2}{2000} \qquad \boxed{R = 72{,}6\ \Omega}$

b)



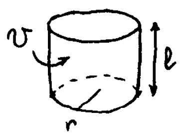
$\mathcal{P} = UI\sqrt{3} = 3\,U\,J = \dfrac{3U^2}{R}$

d'où $R = \dfrac{3U^2}{\mathcal{P}} \quad \left(= \dfrac{9V^2}{\mathcal{P}} \Rightarrow 217{,}8\ \Omega\right)$

$R = \dfrac{3 \times 380^2}{2000} \qquad \boxed{R = 216{,}6\ \Omega}$

2°) $\Phi = K\,S\,\Delta T$

* $\Delta T = 1°C$
* S ? L'épaisseur du cylindre est $e = 2$ mm, son rayon intérieur est $r = 30$ cm donc $e \ll r$, on peut considérer que le cylindre se comporte comme une surface plane d'aire S. Evaluons S :



$S = 2(\pi r^2) + 2\pi r l = 2\pi r (r + l)$

avec $l = \dfrac{\mathcal{V}}{\pi r^2} = 1{,}061$ m

Selon que l'on prenne $r = 0{,}3$ ou $0{,}302$ (en ajoutant l'épaisseur) on trouve $S = 2{,}5654\ m^2$ ou $S = 2{,}5863\ m^2$

Prenons $\underline{S = 2{,}576\ m^2}$

* K ? $K = \left(\dfrac{1}{h} + \dfrac{1}{h_c}\right)^{-1}$ avec $h_c = \dfrac{\lambda}{e}$

d'où $K = \left(\dfrac{1}{9{,}09} + \dfrac{0{,}002}{18}\right)^{-1} = 9{,}08083 \qquad \underline{K \approx 9{,}08\ W.m^{-2}.K^{-1}}$

Finalement, $\Phi = 23{,}392$ W $\qquad \boxed{\Phi = 23{,}4\ W}$

3°) On peut encore considérer que le cylindre se comporte comme une surface plane bien que l'approximation soit moins bonne. On suppose d'autre part que l'échange convectif reste sensiblement le même donc que h ne change pas de valeur. D'où

$\Phi' = K'\,S\,\Delta T$

avec $K' = \left(\dfrac{1}{h} + \dfrac{e}{\lambda} + \dfrac{e'}{\lambda'}\right)^{-1} = \left(\dfrac{1}{9{,}09} + \dfrac{0{,}002}{18} + \dfrac{0{,}04}{0{,}04}\right)^{-1}$

$\underline{K' = 0{,}9008\ W.m^{-2}.K^{-1}}$

Finalement, $\Phi' = 2{,}320465$ W $\qquad \boxed{\Phi' = 2{,}32\ W}$

4°) Les puissances électriques moyennes sont égales aux flux thermiques s'échappant du ballon. $\Delta T = 60 - 20 = 40°C$

Sans isolation $\Phi = 935,68 \simeq 936$ W

Avec isolation $\Phi' = 92,819 \approx 93$ W

$\boxed{\begin{array}{l} P = 936 \text{ W} \\ P' = 93 \text{ W} \end{array}}$

Pour fournir ces puissances (< 2 kW) avec les mêmes résistances qu'au 1°), on pourrait agir sur la tension, mais le plus simple est de commander la mise en route et l'arrêt de l'alimentation électrique 220/380 V par un thermostat (cf 5°)) qui contrôle la température de l'eau chaude.

5°) La température monte dans le ballon jusqu'à ce que l'eau commence à se vaporiser. La soupape s'ouvre alors, maintenant la pression intérieure à la pression normale. La température de l'eau est alors de 100°C. Le flux thermique vaut alors :

$\Phi = K' S (100 - 20) = 185,6372$ $\qquad \Phi \approx 186$ W

Le bilan de puissance indique que la puissance disponible pour vaporiser l'eau est $P_v = 2000 - \Phi = 1814,36$

$\underline{P_v \simeq 1814 \text{ W}}$

Or $P_v \times t = L_v = m\, l_v$ chaleur latente de vaporisation de l'eau

m ↳ masse d'eau vaporisée = masse de vapeur d'eau

$\Rightarrow P_v = \dfrac{\rho V}{t} l_v = \rho\, q_v\, l_v$ avec ρ = masse volumique de la vapeur d'eau

V = volume ——

q_v = débit volumique ——

d'où $q_v = \dfrac{P_v}{\rho\, l_v} = \dfrac{1814,36}{0,598 \times 2,25.10^6} = 1,3485.10^{-3}$

$$\boxed{\begin{array}{l} q_v = 1,35.10^{-3} \text{ m}^3.\text{s}^{-1} = 1,35 \text{ l.s}^{-1} = 80,9 \text{ l.min}^{-1} \quad (80,908) \\ \quad = 8,09.10^{-2} \text{ m}^3.\text{min}^{-1} = 4,85 \text{ m}^3.\text{h}^{-1} \quad (4,8545) \end{array}}$$