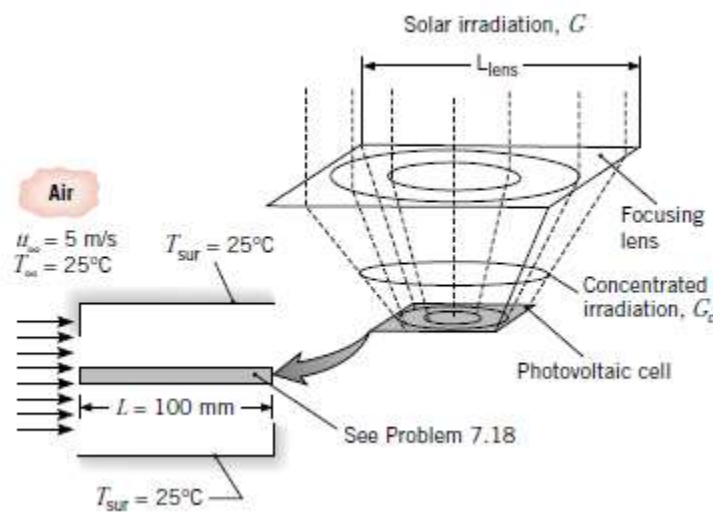


11.0 EXERCICES ÉNERGIE SOLAIRE

Exercice n° 11.4.f : Concentration cellule solaire

La concentration de la lumière du soleil sur les cellules photovoltaïques est souhaitée car les miroirs et les lentilles de concentration sont moins chers que le matériau photovoltaïque. Considérons la cellule solaire photovoltaïque du problème 11.4.b. Une cellule photovoltaïque de 100 mm* 100 mm est irradiée avec de l'énergie solaire concentrée. Comme la lentille de concentration est en verre, elle absorbe 10 % de l'irradiation au lieu de la surface supérieure de la cellule solaire, comme dans le problème 7.18. Le reste de l'irradiation est réfléchi par le système (7 %) ou est absorbé dans le matériau semi-conducteur en silicium de la cellule photovoltaïque (83 %). La cellule photovoltaïque est refroidie par de l'air dirigé parallèlement à ses surfaces supérieure et inférieure. La température et la vitesse de l'air sont respectivement de 25°C et 5 m/s, et la surface inférieure est recouverte d'une peinture à haute émissivité, $\epsilon_b = 0,95$.

Pour calculer le nombre de Nusselt la corrélation à utiliser sera : $Nu_L = 0,037 * Re^{4/5} * Pr^{1/3}$. Les propriétés de l'air seront : $k = 0,0269$ W/m.K; $\nu = 1.669e-5$ m²/s; $Pr = 0,706$.



On suppose ici que la température de la lentille de concentration soit de 25°C et qu'elle n'interfère pas avec le développement de la couche limite sur la surface supérieure de la cellule photovoltaïque. Les couches limites supérieure et inférieure sont toutes deux soumises à des conditions de turbulence à la pointe du matériau photovoltaïque.

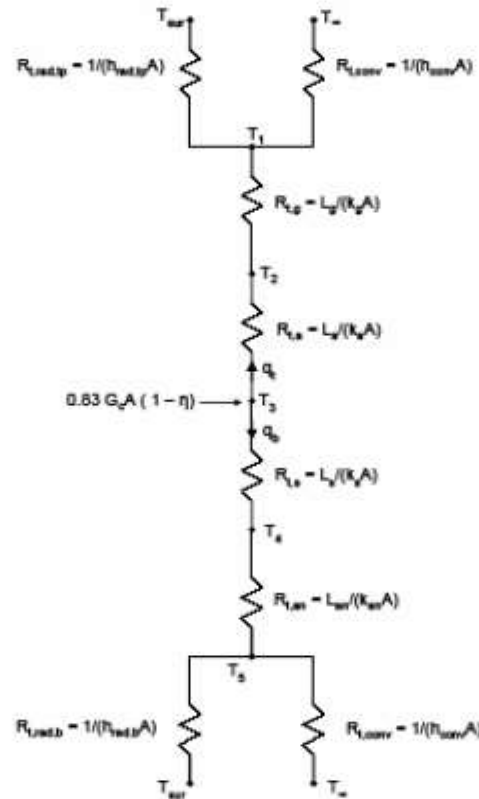
QUESTIONS

Question 1 : Déterminez la puissance électrique produite par la cellule photovoltaïque et la température du silicium pour une lentille de concentration carrée avec $L_{\text{lens}} = 400$ mm, qui concentre l'irradiation tombant sur la lentille sur la plus petite surface de la cellule photovoltaïque.

REPONSES

Question 1 : Déterminez la puissance électrique produite par la cellule photovoltaïque et la température du silicium pour une lentille de concentration carrée avec $L_{\text{lens}} = 400 \text{ mm}$, qui concentre l'irradiation tombant sur la lentille sur la plus petite surface de la cellule photovoltaïque.

PROBLEM 7.19 (Cont.)



The thermal resistances are

$$R_{t,g} = L_g / (k_g A) = 3 \times 10^{-3} \text{ m} / (1.4 \text{ W/m} \cdot \text{K} \times 0.1 \text{ m} \times 0.1 \text{ m}) = 0.2143 \text{ K/W}$$

$$R_{t,a} = L_a / (k_a A) = 0.1 \times 10^{-3} \text{ m} / (145 \text{ W/m} \cdot \text{K} \times 0.1 \text{ m} \times 0.1 \text{ m}) = 6.897 \times 10^{-5} \text{ K/W}$$

$$R_{t,s} = L_s / (k_s A) = 0.1 \times 10^{-3} \text{ m} / (50 \text{ W/m} \cdot \text{K} \times 0.1 \text{ m} \times 0.1 \text{ m}) = 200 \times 10^{-6} \text{ K/W}$$

$$R_{t,an} = L_{an} / (k_{an} A) = 2 \times 10^{-3} \text{ m} / (120 \text{ W/m} \cdot \text{K} \times 0.1 \text{ m} \times 0.1 \text{ m}) = 1.67 \times 10^{-3} \text{ K/W}$$

$$h_{\text{rad,tp}} = \varepsilon_g \sigma (T_1 + T_{\text{sur}})(T_1^2 + T_{\text{sur}}^2)$$

$$R_{t,\text{rad,tp}} = \frac{1}{0.9 \times 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \times (T_1 + 298 \text{ K}) \times (T_1^2 + (298 \text{ K})^2)} \quad (1)$$

$$h_{\text{rad,b}} = \varepsilon_b \sigma (T_5 + T_{\text{sur}})(T_5^2 + T_{\text{sur}}^2)$$



$$R_{t,rad,b} = \frac{1}{0.95 \times 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \times (T_5 + 298 \text{ K}) \times (T_5^2 + (298 \text{ K})^2)} \quad (2)$$

For the top and bottom tripped boundary layers,

$$Re_L = \frac{u_\infty L}{\nu} = \frac{5 \text{ m/s} \times 0.1 \text{ m}}{2.022 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}} = 24.73 \times 10^3$$

From Equation 7.38

$$\overline{Nu}_L = 0.037 Re_L^{4/5} Pr^{1/3} = 0.037 \times [24.73 \times 10^3]^{0.8} \times 0.701^{1/3} = 107.5$$

$$\bar{h} = \overline{Nu}_L k/L = \frac{107.5 \times 0.02948 \text{ W/m} \cdot \text{K}}{0.1 \text{ m}} = 31.69 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$R_{t,conv} = 1/\bar{h}A = \frac{1}{(31.69 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \times 0.1 \text{ m} \times 0.1 \text{ m})} = 3.155 \text{ K/W}$$

From the thermal circuit,

$$\begin{aligned} 0.83 G_c A (1 - \eta) &= 0.83 G (L_{lens}/L)^2 A (1 - \eta) = q_t + q_b \\ 0.83 \times 700 \text{ W/m}^2 \times 4^2 \times 0.1 \text{ m} \times 0.1 \text{ m} \times (1 - \eta) &= q_t + q_b \\ 9296 \text{ W} &= (q_t + q_b)/(1 - \eta) \end{aligned} \quad (3)$$

where

$$q_t = (T_3 - T_1)/(R_{t,a} + R_{t,g}) = (T_3 - T_1)/0.2144 \text{ K/W} \quad (4)$$

and

$$\begin{aligned} q_b &= \frac{(T_1 - T_{sur})}{R_{t,rad,tp}} + \frac{(T_1 - T_\infty)}{R_{t,conv}} \\ &= \frac{(T_1 - 298 \text{ K})}{R_{t,rad,tp}} + \frac{(T_1 - 298 \text{ K})}{3.155 \text{ K/W}} \end{aligned} \quad (5)$$

Likewise

$$q_b = (T_3 - T_5)/(R_{t,s} + R_{t,an}) = (T_3 - T_5)/1.87 \times 10^{-3} \text{ K/W} \quad (6)$$

and

$$\begin{aligned} q_b &= \frac{(T_5 - T_{sur})}{R_{t,rad,b}} + \frac{(T_5 - T_\infty)}{R_{t,conv}} \\ &= \frac{(T_5 - 298 \text{ K})}{R_{t,rad,b}} + \frac{(T_5 - 298 \text{ K})}{3.155 \text{ K/W}} \end{aligned} \quad (7)$$

The solar-to-electrical conversion efficiency is

$$\eta = 0.28 - 0.001^\circ\text{C}^{-1} \times (T_3 - 273)^\circ\text{C} \quad (8)$$

Equations (1) through (8) may be solved simultaneously to yield

$$\begin{aligned} T_{ci} = T_3 - 273 &= 125.9^\circ\text{C}, \eta = 0.1541, T_1 = 390.9 \text{ K}, T_5 = 398.8 \text{ K}, \\ R_{t,rad,tp} &= 11.78 \text{ K/W}, R_{t,rad,b} = 10.75 \text{ K/W}, q_t = 37.32 \text{ W}, q_b = 41.32 \text{ W}. \end{aligned}$$

The electric power produced is

$$\begin{aligned} P &= 0.83 G (L_{lens}/L)^2 A \eta \\ &= 0.83 \times 700 \text{ W/m}^2 \times 4^2 \times 0.1 \text{ m} \times 0.1 \text{ m} \times 0.1541 = 14.33 \text{ W} \end{aligned}$$

<