

المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي- سكيكدة-
الاختبار الأول في الديناميكا الحرارية التطبيقية
 سنة رابعة PEST
 المدة: ساعتان

التمرين: 01

I- إستخرج علاقة كفاءة الثلجة والمضخة الحرارية وأحسبهما إذا كان $T_f = -5^\circ\text{C}$ et $T_C = 18^\circ\text{C}$.

-II-

غاز مثالي يمر بالتحويلات التالية

إنضغاط إيزوثرم من C إلى A

تمدد أديابتيكي من A إلى B

تحول إيزوكور (حجم ثابت) من B إلى C

$R = 8,32 \text{ J.K}^{-1}$, $C_v = (3/2)R$, $T_C = 373\text{K}$ et

$T_B = 293 \text{ K}$, $V_A = 3,27 \text{ litres}$ et $V_C = 24,4 \text{ litres}$.

1/ أرسم الحلقة وبيّن هل تمثل محرك أو لا

2/ أحسب كمية الحرارة لكل تحول ثم المردود

التمرين: 02

I- إستخرج علاقة كفاءة دورة الديزل بدلالة معامل الإنضغاط ومعامل الإحتراق r_c حيث $r_c = \frac{T_3}{T_2} = \frac{V_3}{V_2}$

-II-

ليكن محرك يعمل بحلقة ديزل حيث

$$\frac{V_A}{V_B} = r$$

$$, \frac{V_C}{V_B} = r'$$

$$Q_{BC} = 8.10^4 \text{ Joul}, P_A = 10^5 \text{ Pa}, T_A = 20^\circ\text{C}, T_B = 500^\circ\text{C}$$

$$\gamma = 1,4, C_p = 30 \text{ J.mol}^{-1}\text{K}^{-1}$$

$$R = 8,31 \text{ mol}^{-1}\text{K}^{-1}$$

1- أحسب r ثم P_B و T_C

2 - إستخرج العلاقة

$$TD = TC \left(\frac{r'}{r} \right)^{\gamma-1}$$

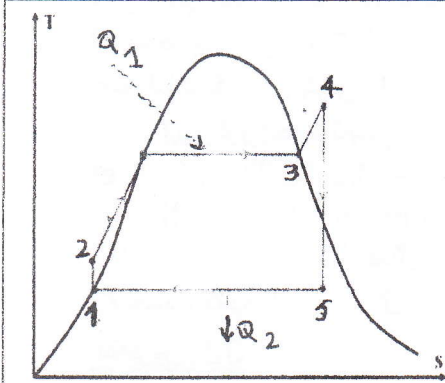
3 - أحسب T_D و المردود

المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي - سكيكدة -
الاختبار الأول في الديناميكا الحرارية التطبيقية
 سنة رابعة PEST المدة: ساعتان

التمرين: 03

I/ إستخرج علاقة كفاءة حلقة إعادة التسخين

/II



محطة بخارية تعمل بالحلقة المقابلة حيث درجة الحرارة وضغط الدخول للتوربين C 500 و BAR 80 على التوالي

Point 1 (liquide saturé à $T_1 = 30^\circ\text{C}$):

$$h_1 = 125,79 \text{ kJ/kg}; v_1 = 1,0043 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}; P_1 = 0,04246 \text{ bar}$$

Point 4 $P_4 = 80 \text{ BAR}$ et $T_4 = 500^\circ\text{C}$

$$h_4 = 3398,05 \text{ KJ/KG}$$

$$s_4 = 6,7228 \text{ KJ/KG.K}$$

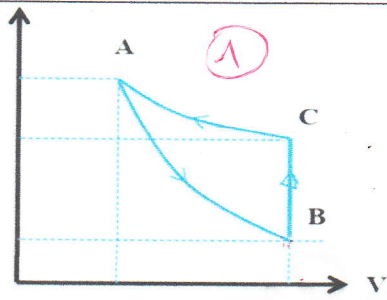
$$s_{sf} = 0,4369 \text{ kJ/kg.K}; s_{sg} = 8,4533 \text{ kJ/kg.K}; h_{sf} = 125,79 \text{ kJ/kg}; h_{sg} = 2556,3 \text{ kJ/kg}$$

1/ أحسب مردود الحلقة ثم أحسبه في حالة إهمال عمل المضخة

2/ أحسب العمل الفعلي للتوربين إذا كان المردود الفعلي الإيزوثيرمي للتوربين $\eta = 0,9$

3/ إستنتج الإستطاعة والإستطاعة الفعلية للتوربين إذا كان تدفق البخار 60 Kg/S

01: التمرين (62)



$$\eta_r = \frac{T_f}{T_c - T_f} \quad \eta_r = \frac{268}{291 - 268} = 11.7$$

Et :

$$\eta_p = \frac{T_c}{T_c - T_f} \quad \eta_p = \frac{291}{291 - 268} = 12.7$$

$$\Rightarrow Q_{BC} = U_{BC} = \int_{T_B}^{T_C} C_p dT = C_p(T_C - T_B)$$

$$C_p - C_v = R \Rightarrow C_p = R + C_v = R + \frac{3}{2}R = 8,32 + \frac{3}{2,8,32}$$

$$Q_{BC} = \frac{3R}{2} (373 - 293) = 990 \text{ J} \Rightarrow \text{BC } 680 \text{ J}$$

$$\delta Q_{CA} = W_{CA} = \int_{V_C}^{V_A} P dV = \int_{V_C}^{V_A} nRT \frac{dV}{V} = nR \int_{V_C}^{V_A} \frac{dV}{V}$$

$$Q_{CA} = 8,32 \cdot 373 \ln\left(\frac{3,27}{24,4}\right) \Rightarrow Q_{CA} = 6237,11 \text{ J}$$

Pomp à chaleur

$$e = -\frac{Q_c}{W_{\text{cycle}}} = -\frac{Q_{CA}}{W_{\text{cycle}}} \quad \text{1er principe} \Rightarrow \Delta U = 0$$

$$\Delta U = W_{\text{cycle}} + Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA} = W_{\text{cycle}} + Q_{BC} + Q_{CA} = 0$$

$$\text{Donc } W_{\text{cycle}} = -(Q_{BC} + Q_{CA}) = -(Q_f + Q_c)$$

$$\Rightarrow e_c = \frac{Q_c}{Q_c + Q_f} \quad \text{AN} \quad e = -\frac{6237,11}{-6237 + 680} = 1,122$$

02: التمرين

▪ Rendement théorique

La transformation 2-3

$$\Delta U = u_3 - u_2 = q_{in,23} - w_{b,out}$$

$$q_{in,23} = \Delta U + P\Delta V = \Delta h = C_p(T_3 - T_2)$$

La transformation 4-1

$$q_{41} - w_{41} = \Delta U$$

$$q_{41} = -q_{out} = \Delta u = C_v(T_1 - T_4)$$

$$q_{out} = C_v(T_4 - T_1)$$

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} = \frac{Q_{net}}{Q_{in}} = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$$

$$q_{out} = C_v(T_4 - T_1)$$

ET

$$q_{in} = C_p(T_3 - T_2)$$

$$\eta_{th,diesel} = 1 - \frac{C_v(T_4 - T_1)}{C_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{k(T_3 - T_2)}$$

$$\eta_{th,diesel} = 1 - \frac{T_1(T_4/T_1 - 1)}{kT_2(T_3/T_2 - 1)}$$

- Le rendement en fonction du le taux de compression et le taux de combustion :

La transformation 2-3

$$\frac{P_3 V_3}{T_3} = \frac{P_2 V_2}{T_2}; P_2 = P_3$$

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{V_3}{V_2} = r_c$$

r_c : Le taux de combustion (le rapport du volume après et avant la combustion)

$$\eta_{th,diesel} = 1 - \frac{T_1(T_4/T_1 - 1)}{kT_2(r_c - 1)}$$

La transformation 4-1

$$\frac{P_4 V_4}{T_4} = \frac{P_1 V_1}{T_1}; V_4 = V_1$$

$$\frac{T_4}{T_1} = \frac{P_4}{P_1}$$

$$\eta_{th,diesel} = 1 - \frac{T_1(P_4/P_1 - 1)}{kT_2(r_c - 1)}$$

La transformation 3-4

$$P_1(V_1)^k = P_2(V_2)^k \text{ et } P_4(V_4)^k = P_3(V_3)^k$$

$$\frac{P_4(V_4)^k}{P_1(V_1)^k} = \frac{P_3(V_3)^k}{P_2(V_2)^k} = \left(\frac{V_3}{V_2}\right)^k = r_c^k$$

$$\eta_{th,diesel} = 1 - \frac{T_1(r_c^k - 1)}{kT_2(r_c - 1)}$$

La transformation 1-2

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{k-1}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{1}{r}\right)^{k-1}$$

$$\eta_{th,diesel} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \left[\frac{r_c^k - 1}{k(r_c - 1)} \right]$$

/II

$$\Rightarrow \frac{T_A}{T_B} = \left(\frac{V_A}{V_B}\right)^{\gamma-1} \Rightarrow r = \frac{V_A}{V_B} = \left(\frac{T_B}{T_A}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}} \text{ avec } T_A = t_A = 293K, T_B = t_B = 773K, \gamma = 1,4$$

A.N : $r = 11,3$

On a $P_A V_A^\gamma = P_B V_B^\gamma \Rightarrow P_B = P_A \left(\frac{V_A}{V_B}\right)^\gamma = P_A \cdot r^\gamma$

$P_B = P_A r^\gamma$ avec $P_A = 10^5 \text{ Pa} \Rightarrow \text{A.N : } P_B = 29,80 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

2) T_C ?

$B \rightarrow C$ isobare $\Rightarrow P = \text{Cte} \Rightarrow dP = 0$

On a $\delta Q_{BC} = c_p dT + h dP = c_p dT$ ($h=v$ pour un gaz parfait)

$\Rightarrow Q_{BC} = \int_{T_B}^{T_C} c_p dT = c_p (T_C - T_B)$ donc $T_C = \frac{Q_{BC}}{c_p} + T_B$

A.N : $T_C = 3473K$ ($Q_{BC} = 8 \cdot 10^4 \text{ J}$, $T_B = 773 \text{ K}$, $c_p = 30 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$)

$B \rightarrow C$ isobare $\Rightarrow P = \text{Cte}$

On a : $P_B V_B = nRT_B$, et $P_C V_C = nRT_C$

$\Rightarrow \frac{P_B V_B}{P_C V_C} = \frac{nRT_B}{nRT_C} \Rightarrow \frac{V_B}{V_C} = \frac{T_B}{T_C}$ (car $P_B = P_C = \text{Cte}$)

Donc $r' = \frac{V_C}{V_B} = \frac{T_C}{T_B}$

A.N : $r' = \frac{V_C}{V_B} = \frac{T_C}{T_B} = 4,49$ ($T_C = 3473 \text{ K}$ et $T_B = 773 \text{ K}$)

On a $r' = \frac{V_C}{V_B}$ et $r = \frac{V_A}{V_B} \Rightarrow \frac{r'}{r} = \frac{V_C}{V_A}$

$T_D V_D^{\gamma-1} = T_C V_C^{\gamma-1} = T_D V_A^{\gamma-1} \Rightarrow T_D = T_C \left(\frac{V_C}{V_A}\right)^{\gamma-1} = T_C \left(\frac{r'}{r}\right)^{\gamma-1}$

c) A.N : $\gamma = 1,4$, $T_A = 293 \text{ K}$, $T_D = 2370 \text{ K}$, $T_C = 3440 \text{ K}$, $T_B = 773 \text{ K}$

$\rho = 1 + \frac{Q_{DA}}{Q_{BC}} = 1 + \frac{c_v}{c_p} \cdot \frac{T_A - T_D}{T_C - T_B}$ (avec $\frac{c_p}{c_v} = \gamma$) Donc $\rho = 1 + \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{T_A - T_D}{T_C - T_B}$

$\rho = 44,37 \%$

The Ideal Reheat Rankine Cycle

Ideal Reheat Cycle Analysis

$$w_{P,in} = h_{2s} - h_1$$

$$w_{T,out} = w_{HP,T} + w_{LP,T}$$

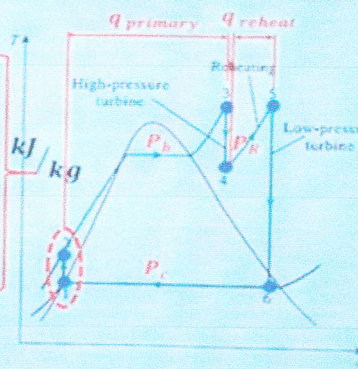
$$(h_3 - h_{4s}) + (h_5 - h_{6s})$$

$$q_{in} = q_{add} = (h_3 - h_{2s}) + (h_5 - h_{4s})$$

$$q_{out} = q_{rej} = h_{6s} - h_1$$

$$w_{net} = q_{in} - q_{out} = w_{T,out} - w_{P,in}$$

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_{in}} = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}}$$



Point 1 (liquide saturé à $T_1 = 30^\circ\text{C}$):

$$h_1 = 125,79 \text{ kJ/kg}; v_1 = 1,0043 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}; P_1 = 0,04246 \text{ bar}$$

Point 4 $P_4 = 80 \text{ BAR}$ et $T_4 = 500^\circ\text{C}$

$$h_4 = 3398,05 \text{ kJ/kg}$$

$$s_4 = 6,7228 \text{ kJ/kg.K}$$

$$s_{5f} = 0,4369 \text{ kJ/kg.K}; s_{5g} = 8,4533 \text{ kJ/kg.K}; h_{5f} = 125,79 \text{ kJ/kg}; h_{5g} = 2556,3 \text{ kJ/kg}$$

Le titre de vapeur sortant de la turbine

$$x_5 = \frac{h_5 - h_{5f}}{h_{5g} - h_{5f}} = \frac{s_5 - s_{5f}}{s_{5g} - s_{5f}} = \frac{s_4 - s_{5f}}{s_{5g} - s_{5f}}$$

• Point 1 (liquide saturé à $T_1 = 30^\circ\text{C}$):

$$h_1 = 125,79 \text{ kJ/kg}; v_1 = 1,0043 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}; P_1 = 0,04246 \text{ bar}$$

• Point 2 (liquide): $P_2 = P_3 = P_4 = P_5 = 80 \text{ bar}$

$$h_2 = h_1 + 100v_1(P_2 - P_1) = 125,79 + 100 \times 1,0043 \times 10^{-3}(80 - 0,04246) = 133,82 \text{ kJ/kg}$$

$$x_5 = \frac{s_4 - s_{5f}}{s_{5g} - s_{5f}} = \frac{6,7228 - 0,4369}{8,4533 - 0,4369} = 0,784$$

$$h_5 = h_{5f} + x_5(h_{5g} - h_{5f})$$

$$= 125,79 + 0,784(2556,3 - 125,79) = 2031,31 \text{ kJ/kg}$$

Rendement thermique du cycle réversible :

$$\eta_{th} = \frac{|W_{cycle}|}{Q_1} = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1}$$

- Chaleur fournie par la source chaude au fluide moteur à pression constante :

$$Q_1 = h_4 - h_2 = 3398,05 - 133,82 = 3264,23 \text{ kJ/kg}$$

- Chaleur cédée par le fluide moteur à la source froide :

$$|Q_2| = h_5 - h_1 = 2031,31 - 125,79 = 1905,52 \text{ kJ/kg}$$

- Travail de la pompe : $W_p = h_2 - h_1 = 133,82 - 125,79 = 8,03 \text{ kJ/kg}$

- Travail de détente : $W_T = h_5 - h_4 = 2031,31 - 3398,05 = -1366,74 \text{ kJ/kg}$

- Travail du cycle : $W_{cycle} = |W_T| - |W_p| = 1366,74 - 8,03 = 1358,71 \text{ kJ/kg}$

$$\eta_{th} = \frac{|W_{cycle}|}{Q_1} = \frac{1358,71}{3264,23} = 0,4162 = 41,62 \%$$

2

2. Le rendement thermique du cycle réversible (théorique) si le travail de la pompe est négligé

$$\eta_{th} = \frac{|W_T|}{Q_1} = \frac{1366,74}{3264,23} = 0,4187 = 41,87 \%$$

(0,5)

3. La puissance théorique (détente réversible) produite par la turbine si le débit de la vapeur est

$$P_{th}(turbine) = q_{mV} \times W_T = -60 \times 1366,74 = -82 \times 10^3 \text{ kW} = -82 \text{ MW}$$

(0,5)

4. La puissance effective (réelle pour la détente irréversible) produite par la turbine.

$$\eta_{isent} = \frac{W_{irr\acute{e}v}}{W_{rev}} = \frac{h_{5r} - h_4}{h_5 - h_4} \Rightarrow h_{5r} = h_4 + \eta_{isent}(h_5 - h_4) \times$$

$$h_{5r} = 3398,05 - 0,9 \times 1366,74 = 2167,98 \text{ kJ/kg} \times$$

$$W_t(irr\acute{e}v) = \eta_{isent} \times W_t(rev) = 0,9 \times (-1366,74) = -1230,07 \text{ kJ/kg}$$

(0,5)

$$P_u^{réelle}(turbine) = Q_m \times W_t(irr\acute{e}v) = P_{th}(turbine) \times \eta_{isent}$$

$$P_u^{réelle}(turbine) = -82 \times 0,9 = -73,8 \text{ MW}$$

$$-80 \cdot 1230$$

(0,5)