

Physique – Chimie MP (2006)

Partie I – Alternateur de bicyclette

I.A-Schéma de principe

$$I.A1) a-\mathbf{B} = \frac{\mu_0 Ni}{2a} \sin^3 \alpha \mathbf{u}_y$$

b- ici $\alpha = \pi/2$, $\Phi_{\text{bobine} \rightarrow \text{spire}} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S} = (\mu_0 Ni/2a) S \cos \theta$ ($\mathbf{S} = S \mathbf{n}$, \mathbf{n} direction de \mathbf{M} tournant)

c- $\Phi_M = M_{21} i = (\mu_0 Ni/2a) S \cos \omega t = (\mu_0 NM/2a) \cos \omega t$

$$A.2) \Phi = Li + \Phi_M \text{ et } e = -d\Phi/dt = -L \frac{di}{dt} + \frac{\mu_0 NM \omega}{2a} \sin \omega t$$

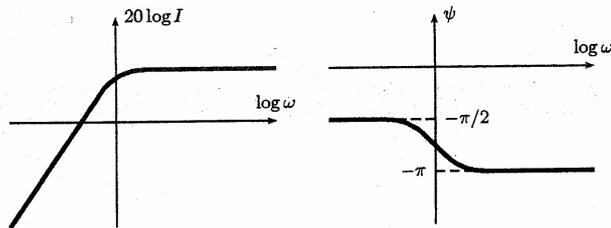
$$A.3) e = (r+R)i, \frac{\mu_0 NM \omega}{2a} \sin \omega t = (r+R)i + L \frac{di}{dt}$$

$$A.4) \text{ en notation complexe : } -j \frac{\mu_0 NM \omega}{2a} = I \exp(j\psi) [R+r+jL\omega],$$

$$I = \frac{\mu_0 NM \omega}{2a} \frac{1}{\sqrt{(r+R)^2 + L^2 \omega^2}},$$

$$\cos \psi = -\frac{L\omega}{\sqrt{(r+R)^2 + L^2 \omega^2}} \text{ et } \sin \psi = -\frac{r+R}{\sqrt{(r+R)^2 + L^2 \omega^2}}, \tan \psi = \frac{r+R}{L\omega}$$

A.5) en BF, $I \approx \mu_0 NM \omega / 2a(r+R)$ et $\psi \rightarrow -\pi/2$, en HF, $I \rightarrow \mu_0 NM / 2aL$ et $\psi \rightarrow -\pi$, filtre passe-haut (du premier ordre)



$$A.6) \text{ pour } \omega \rightarrow \infty U_M = \frac{\mu_0 NM}{2aL} R$$

A.7) puissance instantanée $p = RI^2 \cos^2(\omega t + \psi)$,

$$\langle P_{\text{électrique}} \rangle = \frac{1}{2} RI^2 = \frac{U_M^2}{2R} \frac{L^2 \omega^2}{(r+R)^2 + L^2 \omega^2}$$

A.8) $\Gamma = \mathbf{M} \wedge \mathbf{B}$; (d'où couple de forces magnétiques exercées sur l'aimant)

$\Gamma_{\text{magnét}} = -N \frac{\mu_0 i M}{2a} \sin \theta \mathbf{u}_x$, il faut appliquer $\Gamma = N \frac{\mu_0 MI}{2a} \cos(\omega t + \psi) \sin \omega t \mathbf{u}_x$,

$$P_{\text{méca}} = \Gamma \cdot \omega \mathbf{u}_x = U_M I \frac{L\omega}{R} \cos(\omega t + \psi) \sin \omega t$$

$$A.9) \langle P_{\text{méca}} \rangle = -(1/2) U_M I \frac{L\omega}{R} \sin \psi = \frac{U_M^2}{2R} \frac{r+R}{R} \frac{L^2 \omega^2}{(r+R)^2 + L^2 \omega^2} = \langle P_{\text{élec}} \rangle \frac{r+R}{R},$$

d'où $\eta = R/(r+R)$

A.10) A.N.: $V = \omega d_{m/2}$, $\omega = 15 \cdot 10^3 \cdot 2 / (3600 \cdot 25 \cdot 10^{-3}) = 333.33 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$; $P_{\text{maxi}} = U_M^2 / 2R$, $R = 6 \Omega$

Si v qqe, U varie entre 0 et 6 $\geq U_M = \frac{\mu_0 NM}{2aL} R$ soit $L \geq 12,56 \cdot 10^{-3} \text{ H}$;

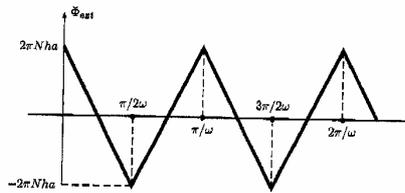
$$\frac{r+R}{L} = 555.56 \text{ rad.s}^{-1} \text{ Pulsation de coupure à } -3\text{dB}, \text{ à } 15 \text{ km/h tension maxi presque atteinte}$$

I.B – Une réalisation pratique

I.B1) spire 1 correspond à $\theta \in (0, \pi/2)$ donc à $\theta - \theta_0$ compris entre $-\theta_0$ et $\pi/2 - \theta_0$, si $\theta_0 \in [0, \pi/2]$, la fraction de la spire 1 entre $-\theta_0$ et 0 est face à un pôle Sud ($B = -B_0$) et la

fraction entre 0 et $\pi/2 - \theta_0$ est face à un pôle nord ($B = B_0$) :
$$\Phi_1 = \frac{Nha\pi}{2} \left[\frac{\pi/2 - \theta_0}{\pi/2} - \frac{\theta_0}{\pi/2} \right] B_0$$

cf énoncé... si $\theta_0 \in [\pi/2, \pi]$, ... $\Phi_1 = \dots$
entre $2\pi NhaB_0$ et $-2\pi NhaB_0$



I.B.2) $\Phi_{\text{ext}} = 4\Phi_1$,

I.B.3) $e = -d\Phi_{\text{ext}}/dt$, $E_0 = 8Nha\omega B_0$ et $T = \pi/\omega$

I.B.4) * circuit $r+R$, L série alimenté par un générateur créneaux,

* $e(t) = (r+R) i + L di/dt$ avec $e(t) = +E_0$ si $T/2 > t \geq 0$ et $e(t) = -E_0$ si $T > t \geq T/2$

I.B.5) pour $[0, T/2]$ $i(t) = A_1 \exp(-t/\tau) + E_0/(r+R)$ et pour $[T/2, T]$ $i(t) = A_2 \exp(-t/\tau) - E_0/(r+R)$ avec $\tau = L/r+R$

I.B.6) présence d'une bobine dans le circuit, continuité du courant,

en $t = T/2$, $A_1 \delta + E_0/r+R = A_2 \delta - E_0/r+R$

en $t = 0$ ou T : $A_1 + E_0/r+R = A_2 \delta^2 - E_0/r+R$, d'où $A_1 = -2 E_0/(r+R)(\delta+1)$ et

$$A_2 = -A_1/\delta = 2 E_0/\delta(\delta+1)(r+R)$$

I.B.7) d'où $i(t) = E_0/(r+R) [1 - \alpha \exp(-t/\tau)]$ avec $\alpha = 2/(1+\delta)$ pour $[0, T/2]$

et $i(t) = -E_0/(r+R) [1 - \alpha \exp(-(t-T/2)/\tau)]$ pour $[T/2, T]$

I.B.8) A.N. $\tau = 1,43 \text{ ms}$; $T/2 = \pi/2\omega = 4,7 \text{ ms}$ et $\delta = 3,7 \cdot 10^{-2}$

Valeurs extrêmes du courant sont atteintes pour $t = 0$ et $t = T/2$, $i_{\text{min}} \approx -E_0/(r+R)$ et $i_{\text{max}} = i_{\text{min}}$
 $B_0 = E_0/8Nha\omega = 0,11 \text{ T}$, dispositif réalisable

Partie II – Thermorégulation d'un cycliste

II.A 1) a-Loi de Stefan : la puissance rayonnée par unité de surface est σT^4

b- la puissance reçue par le cycliste par unité de surface est : $p_r = \sigma (T_a^4 - T_s^4)$

$$p_r = \sigma T_a^4 \left[1 - \left(1 + \frac{T_s - T_a}{T_a} \right)^4 \right] \approx \sigma T_a^3 [4(T_a - T_s)] = 4\sigma T_a^3 (T_a - T_s), k = 4\sigma T_a^3 = 6,00 \text{ Wm}^{-2} \text{K}^{-1}$$

c- coefficient apparent de la loi de Newton : $K_{\text{cr}} = K_c + k (= 11 + 5 \text{ W})$

II.A.2) $S = 71,84 (80)^{0,425} (180)^{0,725} = 19964 \text{ cm}^2 = 1,99 \text{ m}^2 = 4\pi R^2$, $R = 0,398 \text{ m} \approx 40 \text{ cm}$

II.B 1) a- $P_M = K_{\text{cr}} S (T_i - T_a)$

b- comme $T_{\text{imax}} \geq T_i \geq T_{\text{imin}}$, d'où $T_{\text{imax}} - P_M/K_{\text{cr}} S \geq T_a \geq T_{\text{imin}} - P_M/K_{\text{cr}} S$

c -organisme au repos : $P_M = 109,67 \text{ W}$, $P_M/SK_{\text{cr}} = 5 \text{ K}$, $33 \text{ }^\circ\text{C} \geq T_a \geq 31 \text{ }^\circ\text{C}$, plage étroite

II.B2) a- loi de Fourier $\mathbf{j}_{\text{th}} = -\lambda \mathbf{grad} T$, la densité de courant thermique est dirigée dans le sens des températures décroissantes, vecteur radial

$$dU = dm C dT = \delta Q_e - \delta Q_s = [j_{th}(r,t) 4\pi r^2 - j_{th}(r+dr, t) 4\pi (r+dr)^2] dt = -\frac{\partial}{\partial r} [r^2 j(r,t)] 4\pi dr dt$$

avec $j_{th} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial r}$, on a $\rho 4\pi r^2 dr C \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial}{\partial r} [r^2 \frac{\partial T}{\partial r}] dr$, (C : capacité thermique massique,

ρ masse volumique, $\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho C} \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} [r^2 \frac{\partial T}{\partial r}]$

b- en régime permanent : $\frac{dT}{dt} (r^2 \frac{dT}{dr}) = 0$, $r^2 \frac{dT}{dr} = cste$, (d'où $T = \frac{A}{r} + B$)

avec $T(r=R-e) = T_i$ et $T(r=R) = T_s$

d'où $A = (T_i - T_s) \frac{R(R-e)}{e}$ et $B = T_s + \frac{(T_s - T_i)(R-e)}{e} = \frac{1}{e} [RT_s - (R-e)T_i]$

c- $\frac{1}{r} = \frac{1}{R(1-\varepsilon/R)} = \frac{1}{R} [1 + \frac{\varepsilon}{R}]$, $T(r) = \frac{A}{R} + B + \frac{A}{R^2} \varepsilon = a + b\varepsilon$ pour $\varepsilon = 0$, $a = T_s$ et $b \approx \frac{T_i - T_s}{e}$

d- flux thermique : $-\lambda S dT/dr = +\lambda S dT/de$, $P_M = 4\pi R^2 \lambda (T_i - T_s)/e$

e- $P_M = 4\pi R^2 K_{cr} (T_s - T_a)$

f- $T_i - T_a = \frac{P_M}{4\pi R^2} [\frac{e}{\lambda} + \frac{1}{K_{cr}}] = (\frac{P_M}{4\pi R^2}) \frac{1}{K'}$

g- $x = [R^3 - (R-e)^3]/R^3$, $e = R(1 - \sqrt[3]{1-x})$, $x = 0,2$, $e = 0,03m$ et $x = 0,5$, $e = 0,08m$ (ou 6.7cm)

h- *organisme au repos : $1/K' = 0,187$, $T_i - T_a = 10,3K \rightarrow$ régulation entre $T_a = 26^\circ C$ et $28^\circ C$
 $1/K' = 0,36$, $T_i - T_a = 20K \rightarrow$ régulation entre $16^\circ C$ et $18^\circ C$, d'où entre **$16^\circ C$ et $28^\circ C$**

* effort modéré : P_M double, $T_i - T_a = 20,6K$, T_a entre $15,4^\circ C$ et $17,4^\circ C$;

$T_i - T_a = 40K$, T_a entre $-4^\circ C$ et $-2^\circ C$, d'où régulation entre **$-4^\circ C$ et $+17,4^\circ C$**

i- $K_{cr} = 11 + 5 \times 18.10^3/3600 = 36 Wm^{-2}K^{-1}$, $1/K' = 0,12$ et $0,3$, $T_i - T_a = 13,6K$ et $33K$, soit une régulation possible entre **$3^\circ C$ et $24,4^\circ C$** , donc régulation impossible si $T_a = 30^\circ C$

II.B.3) a-puissance par conduction thermique : (cf II.B2)d) : $T_i - T_s = P_M e / (4\pi R^2 \lambda)$

b- $P_M = P(\text{évap sueur}) + P(\text{convecto}) = \mu L_v + 4\pi R^2 K_{cr} (T_s - T_a)$, $T_s - T_a = (P_M - \mu L_v) / 4\pi R^2 K_{cr}$

c- de a et b: $T_i - T_a = \frac{P_M}{4\pi R^2} [\frac{e}{\lambda} + \frac{1}{K_{cr}}] - \frac{\mu L_v}{4\pi R^2 K_{cr}}$, $\mu = \frac{K_{cr}}{L_v} [\frac{P_M}{K'} - 4\pi R^2 (T_i - T_a)]$

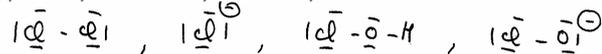
d- au repos : $K_{cr} = 11$, K' entre 2,7 et 5,3, $T_i - T_a$ entre 6 et 8, d'où μ entre **74 et 446 g/h** avec effort important $P_M = 330W$, $K_{cr} = 36$ et K' entre 8 et 3,3 : μ entre **1330 et 4950g/h** modèle en accord avec les ouvrages

e- diminution du taux d'évaporation dans une atm humide, d'où plage de T_a plus étroite

Partie III – Le chlore et ses dérivés

III.A 1) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$

III.A 2)a- les halogènes ; b- fluor, brome, iode



III.A.3) Lewis :

III.A.4) coudée (AX_2E_2)

III.B1) à l'équilibre $\mu_{Cl_2(g)} = \mu_{Cl_2(aq)}$, $\mu^\circ_{Cl_2(g)} = \mu^\circ_{Cl_2(aq)} + RT \ln C_{Cl_2}/C^\circ$, $[Cl_{2aq}] = 0,1 mol.L^{-1}$

III.B2) a- n.o. +I pour $HClO$ et ClO^- (oxydant), 0 pour Cl_2 (ox et red) et -I pour Cl^- (reducteur)

b- A: $HClO$, B: Cl_2 , C: Cl^- , D: ClO^-

c- * équation de la frontière entre A et C : $HClO + 2e^- + H^+ = Cl^- + H_2O$,

$E = E^\circ + (0,059/2) \log [HClO][H^+] / [Cl^-]$ avec $[HClO] = [Cl^-] = C_0/2$, $E = E^\circ - (0,059/2) pH$

En prolongeant la droite A/C à pH = 0 , on a $E^\circ_{\text{HClO}/\text{Cl}^-} = 1,5 \text{ V}$

* éq entre A/D : $\text{HClO} + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_3\text{O}^+ + \text{ClO}^-$, avec $[\text{HClO}] = [\text{ClO}^-] = C_0/2$, $\text{pH} = \text{p}K_a = 7,5$

d- pente A/B : $2\text{HClO} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ $-(0,059/2) \times 2 = -0,059 \text{ V/pH}$

A/C : $\text{HClO} + \text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$, $-(0,059/2) \times 1 = -0,0295 \text{ V/pH}$

D/C : $\text{ClO}^- + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$, $-(0,059/2) \times 2 = -0,059 \text{ V/pH}$

B/C : $\text{Cl}_2 + 2\text{e}^- = 2\text{Cl}^-$ 0 V/pH

III.B3) $\text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Cl}^- + \text{HClO} + \text{H}_3\text{O}^+$, $\log K^\circ = (E^\circ_{\text{Cl}_2/\text{Cl}^-} - E^\circ_{\text{HClO}/\text{Cl}_2})/0,059 = -0,2$, $K^\circ = 4 \cdot 10^{-4}$

III.C 1) nombre de litre de dichlore $n = \frac{PV}{RT} = \frac{1,013 \cdot 10^5 \cdot 48 \cdot 10^{-3}}{8,314 \cdot 273} = 2,14 \text{ moles}$

III.C 2) *on veut $10^{-3} \times 60 \cdot 10^3 = 60 \text{ g}$ d'élément chlore , soit $60/35,5 = 1,69 \text{ mol}$ de Cl , or
d'où $[\text{ClO}^-] = 1,69 / (60 \cdot 10^3) = 2,8 \cdot 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1} (=C_1)$

* volume d'eau de javel : $V = 1,69/2,14 = 0,79 \text{ L}$

III.C3) $\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} = \text{HClO} + \text{OH}^-$ $\text{p}K_B = 6,5$, $K_B = [\text{OH}^-]^2 / C$, $\text{pOH} = 5,67$, $\text{pH} = 8,5$

III.C4) relation d'électroneutralité : $(\text{Na}^+) + (\text{H}^+) = (\text{ClO}^-) + (\text{OH}^-) + (\text{Cl}^-)$ et $(\text{ClO}^-) = (\text{HClO}) = C_1/2$
 $V = 20 \text{ mL}$ d'acide

III.C5) solution tampon donc le pH varie peu ... désinfectant, oxydant

III.C6) on a un dégagement de chlore , gaz toxique

III.D 1)a- $\Delta_r G^\circ = \Delta_r H^\circ - T \Delta_r S^\circ = [2(-241094) - 4(-92.34)]10^3 - T [2 \times 188,82 + 2 \times 223,06 - (4 \times 186,77) - 205,1] = -114,5 \cdot 10^{+3} + 128,4 T$;

b- $\Delta_r G^\circ = -RT \ln K^\circ$, $-18200 = -8.314 \cdot 750 \cdot 2,3 \log K^\circ$, $K^\circ = 18,58$

III.D2) $K^\circ = \frac{P_{\text{H}_2\text{O}}^2 P_{\text{Cl}_2}^2 P^0}{P_{\text{HCl}}^4 P_{\text{O}_2}} = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}^2 n_{\text{Cl}_2}^2 N_t}{n_{\text{HCl}}^4 n_{\text{O}_2}} = 2x^4(5-x)/(4-4x^4)(1-x)$, d'où $x = 0,68$

$P_{\text{H}_2\text{O}} = P_{\text{Cl}_2} = (2 \times 0,68)/4,32 = 0,31 \text{ bar}$, $P_{\text{O}_2} = 0,32/4,32 = 0,074 \text{ bar}$ et $P_{\text{HCl}} = 1,28/4,32 = 0,29 \text{ bar}$

III.D3) a- si on augmente T , $\Delta_r H^\circ < 0$, (loi de Van't Hoff) déplacement vers la gauche

b- si on augmente P , évolution avec diminution du nbre de mole (Le Châtelier)

c- on ajoute de l'air $dA = -RT dN_t/N_t + RT dn_{\text{O}_2}/n_{\text{O}_2}$ et $dN_t = 5 dn_{\text{O}_2}$, $dA > 0$ si $n_{\text{O}_2} < N_t/5$
déplacement ds le sens de la formation de Cl_2 que si $x_{\text{O}_2} < 0,2$, ici $x_{\text{O}_2} = 0,074$

III.D4) le catalyseur permet d'atteindre plus rapidement l'équilibre sans le modifier

III.E 1) A : vapeur de HCl et H_2O ; B et D : mélange liq-vap de HCl et H_2O ; C : liquide HCl et H_2O

Courbe frontière D, B et A : rosée ; D, B et C : ébullition ; pt E : azéotrope (lors de l'ébullition isobare d'un mélange azéotrope le liquide et la vapeur ont la même composition.

Se comporte comme un corps pur

III.E 2) à 25°C , on lit 36% de HCl en masse , soit 64% d'eau , dans 1 kg d'eau on a $36/64 = 0,56 \text{ kg}$ de HCl , soit $0,56 / (36,5 \cdot 10^{-3}) = 15,34 \text{ mol}$ et

un volume de $V = nRT/P = 0,38 \text{ m}^3 = 380 \text{ L}$ de gaz par kg d'eau.

III.E3) a- pour 33% de Hcl , $\theta_{\text{eb}} = 40^\circ\text{C}$

b- à $\theta = 90^\circ\text{C}$, $w_L = 0,25$ et $w_v = 0,85$, règle des moments : $\frac{m_L}{m_v} = \frac{0,85 - 0,33}{0,33 - 0,25} = 6,5$

$m_v + m_L = 1$, $m_L = 866,6 \text{ g}$ de la masse totale et $m_v = 133,3 \text{ g}$

masse de Hcl dans la phase vapeur : $0,85 \times 0,1333 = 113,3 \text{ g}$ et dans la phase liquide $0,25 \times 0,866 = 216,6 \text{ g}$