

Machine à courant continu et Hacheur
Application au funiculaire
Chlore et eau de javel
(Corrigé proposé par Hervé DAFFIX)

Partie 1

Q1.

$$\vec{j} = \gamma \vec{E} \quad \vec{j} = -\gamma \overrightarrow{\text{grad}}(V)$$

γ de l'ordre de 10^7 S.m^{-1} ou $\Omega^{-1}.\text{m}^{-1}$.

Q2.

Proposition 1 :

$$\vec{j}_{\text{th}} = -\lambda \overrightarrow{\text{grad}}(T) \quad \vec{j}_{\text{th}} \text{ en } \text{W.m}^{-2}; \lambda \text{ en } \text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}; T \text{ en } \text{K}.$$

Proposition 2 :

$$\vec{j}_{\text{D}} = -D \overrightarrow{\text{grad}}(n) \quad \vec{j}_{\text{D}} \text{ en } (\text{particules}).\text{s}^{-1}.\text{m}^{-2}; D \text{ en } \text{m}^2.\text{s}^{-1}; n \text{ en } (\text{particules}).\text{m}^{-3}.$$

Q3.

$I = \iint_S \vec{j} \cdot d\vec{S} = jS$ car \vec{j} est uniforme.

$$U = V(0) - V(h) = \int_h^0 dV = \int_h^0 \overrightarrow{\text{grad}}V \cdot d\vec{l} = \int_0^h -\overrightarrow{\text{grad}}V \cdot d\vec{l} = \int_0^h \vec{E} \cdot d\vec{l} = Eh = \frac{jh}{\gamma}.$$

Q4.

$$R_{\Omega} = \frac{U}{I} = \frac{jh/\gamma}{jS} = \frac{h}{\gamma S}.$$

Q5.

C'est une équation de diffusion (à ne pas confondre avec une équation de propagation !)

D en $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$.

Q6.

$i(t) = \iint_S \vec{j}(x, t) \cdot d\vec{S}$. L'intégration est ici nécessaire car \vec{j} n'est pas uniforme sur une section du conducteur.

$$i(t) = \iint_S j_0 e^{-x/\delta} \cos(\omega t - x/\delta) dx dz = pj_0 \int_0^{+\infty} e^{-x/\delta} \cos(\omega t - x/\delta) dx = \frac{pj_0 \delta}{\sqrt{2}} \cos(\omega t - \frac{\pi}{4}) \text{ En sinusoïdal,}$$

$$I_{\text{eff}} = \frac{I_{\text{max}}}{\sqrt{2}} = \frac{pj_0 \delta}{2}.$$

Q7.

$$\frac{dP}{dt} = \vec{j} \cdot \vec{E} = \gamma E^2 = \frac{j^2}{\gamma}.$$

$$P_{\text{Joule}} = RI_{\text{eff}}^2 \text{ à identifier avec } P_{\text{Joule}} = \frac{j_0^2 p h \delta}{4\gamma} \text{ et } I_{\text{eff}} = \frac{p j_0 \delta}{2}, \text{ d'où } R = \frac{h}{\gamma p \delta}.$$

Tout se passe comme si I_{eff} est uniformément réparti sur une épaisseur δ .

Q8.

Conductivité infinie : $P_{\text{Joule}} = 0$.

Conductivité nulle $P_{\text{Joule}} = \infty$.

Q9.

L'énoncé laisse planer un doute. Dans la vraie vie, c'est généralement le courant qui est fixé et non la densité de courant. D'où $j_0(\text{HF}) > j_0(\text{BF})$ et la vraie réponse est la réponse 1 :

Réponse 1 : $P_{\text{Joule}}(\text{HF}) > P_{\text{Joule}}(\text{BF})$.

Ou

Compte tenu de la formulation de l'énoncé, on peut comprendre que c'est j qui est fixé, dans ce cas, c'est la réponse 2 qui est la bonne.

Réponse 2 : $P_{\text{Joule}}(\text{HF}) < P_{\text{Joule}}(\text{BF})$ si on considère que j_0 est fixé.

Cf Q7, R est en $\frac{1}{\delta}$ donc proportionnelle à $\sqrt{\omega}$ et donc à \sqrt{f} . On a : $\alpha = \frac{1}{2}$.

Partie 2

Q10.

Pour l'inducteur (le stator) on a un grand nombre de spires en série donc R et L sont grandes.

A contrario pour l'induit (le rotor), les spires sont en parallèle donc R et L sont plus faibles.

Couple A : l'induit et Couple B : l'inducteur.

Q11.

$R(f)$ est une fonction croissante de f , cf effet de peau et Q7.

$$\overrightarrow{\text{rot}}(\vec{E}) = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}.$$

Les phénomènes d'induction s'opposent à la cause qui leur a donné naissance.

Il se développe des courants de Foucault qui s'opposent à la variation de flux et qui font alors baisser l'inductance.

Q12. Equation de la MCC : $U = Ri + L \frac{di}{dt} + E$. E est proportionnelle à la vitesse de rotation de

la machine. On bloque le rotor pour imposer $E = 0$. On a alors un circuit R, L du 1^{er} ordre.

Par la réponse à 63%, $\tau'_e = 0,5 \text{ ms}$.

Valeur finale (lecture graphique 2,05 A) en régime permanent : $R = U/I = 4,9 \Omega$.

$$\tau'_e = \frac{L}{R} \text{ d'où } L = 2,45 \text{ mH}.$$

Ces valeurs sont compatibles avec les données, compte tenu que R dépend de f et L aussi.

Partie 3

Q13.

Pont diviseur de tension résistif : $V_{MCC} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_0$.

Q14.

Pont diviseur de tension capacitif : $V_{MCC} = \frac{\frac{1}{jC_2\omega}}{\frac{1}{jC_1\omega} + \frac{1}{jC_2\omega}} U_0 = \frac{\frac{1}{C_2}}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}} U_0 = \frac{C_1}{C_1 + C_2} U_0$.

Q15.

$$V_{\text{moy}} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} V_{\text{sat}} dt + \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T -V_{\text{sat}} dt = (2\alpha - 1) V_{\text{sat}}$$

Q16.

- Pont diviseur de tension résistif : fonctionne mais trop de dissipation d'énergie par effet Joule, donc mauvais rendement.
- Pont diviseur de tension capacitif : ne fonctionne pas en continu (C équivalant à un interrupteur ouvert), la MCC ne sera traversée par aucun courant donc aucun couple moteur.
- A. Li. : c'est un composant de l'électronique fine, très peu de courant de sortie donc très peu de couple et de puissance développés par la MCC.

Q17.

Régime linéaire \Rightarrow rétroaction sur la borne - de l'A.Li.

A.Li.1 : linéaire; A.Li.2 : non linéaire.

Q18.

Régime linéaire donc $V^+ = V^-$; par la loi des nœuds exprimée en terme de potentiels, il vient :

$$V^+ = 0 = V^- = \frac{\frac{V_B}{R_3} + jC\omega V_A}{\frac{1}{R_3} + jC\omega} ; \text{ soit : } H(j\omega) = \frac{-1}{jR_3 C\omega} \text{ C'est un montage intégrateur inverseur.}$$

Q19.

Comparateur à hystérésis non inverseur.

Q20.

Aux basculements du comparateur, ε passe par 0. D'où : $\frac{V_{A_{\text{basc}}}}{R_4} + \frac{V_B}{R_5} = 0$, avec $V_B = \pm V_{\text{sat}}$.

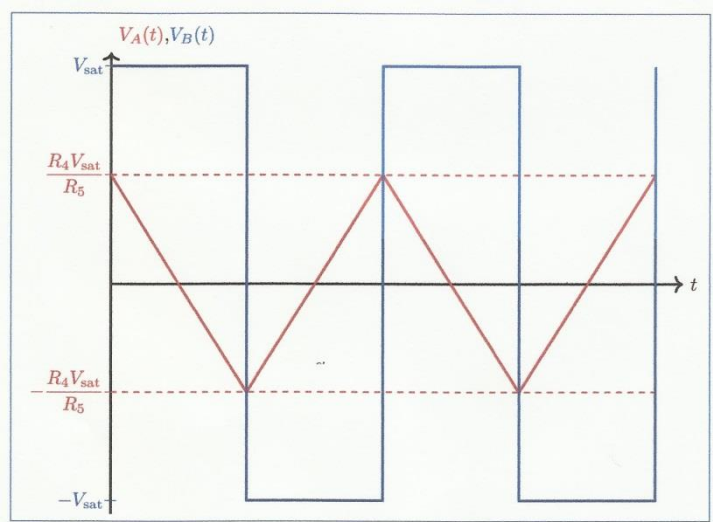
$$\text{Soit } V_{A_{\text{basc}}} = \pm \frac{R_4 V_{\text{sat}}}{R_5}.$$

Par l'A.Li 1, on intègre $V_B = \pm V_{\text{sat}}$, avec une constante de temps $R_3 C$, soit pour V_B il vient un signal triangle qui varie entre $-\frac{R_4 V_{\text{sat}}}{R_5}$ et $\frac{R_4 V_{\text{sat}}}{R_5}$ avec une pente égale à $\pm \frac{V_{\text{sat}}}{R_3 C}$.

Soit T la période du signal, on a : Amplitude crête à crête du triangle = pente $\frac{T}{2}$, d'où :

$$\frac{2R_4 V_{\text{sat}}}{R_5} = \frac{V_{\text{sat}}}{R_3 C} \frac{T}{2}. \text{ Soit } T = \frac{4R_4}{R_5} R_3 C.$$

Allure des tensions :



T est proportionnelle à R_3 , donc R_3 modifie la fréquence ou la période.

Q21.

Par l'association des deux condensateurs C_0 , qui constitue un pont diviseur de tension capacitif avec la masse au milieu, on impose de part et d'autre du potentiomètre des potentiels

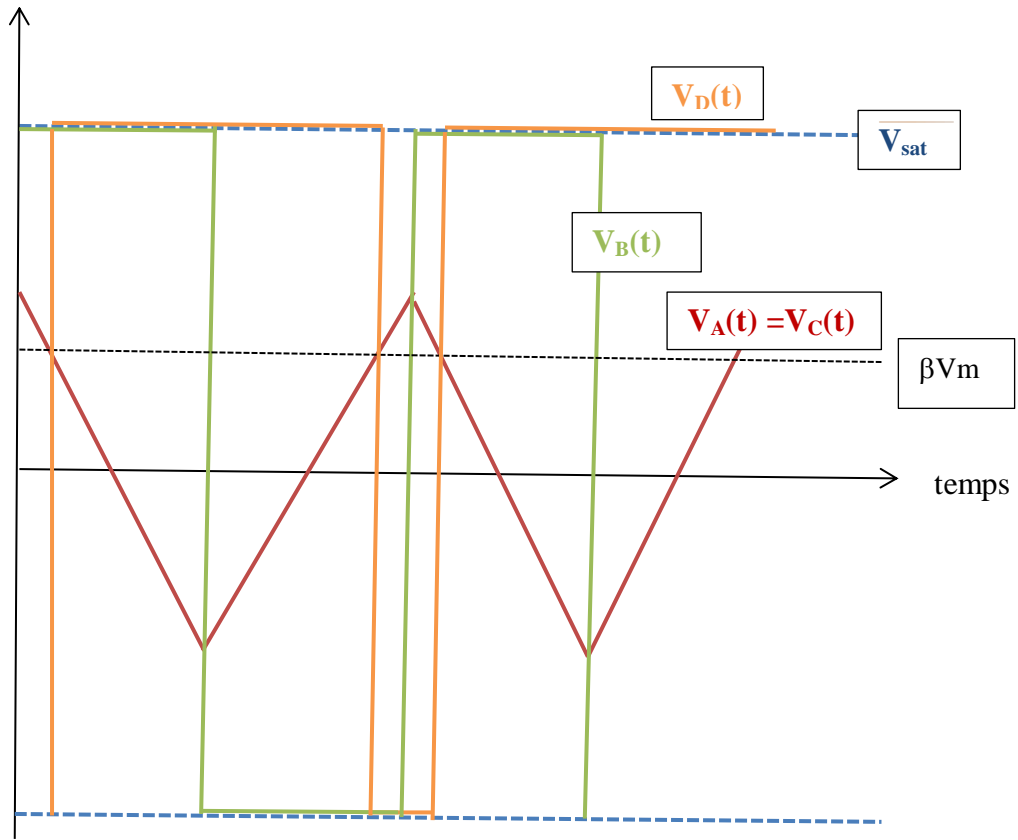
$$\frac{-V_m}{2} \text{ et } \frac{V_m}{2}. \beta \text{ varie ainsi entre } -0,5 \text{ et } +0,5.$$

L'A.Li. 3 fonctionne en comparateur simple.

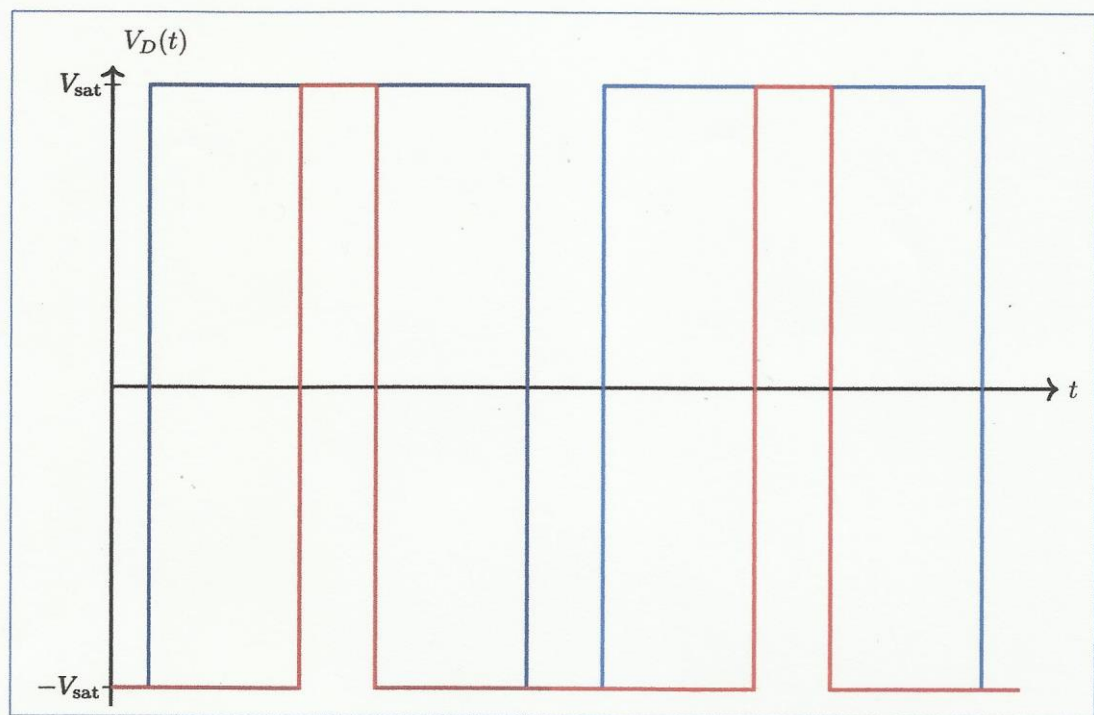
$$V_C < \beta V_m \text{ impose } V_D = +V_{\text{sat}} = 15 \text{ V.}$$

$$V_C > \beta V_m \text{ impose } V_D = -V_{\text{sat}} = -15 \text{ V.}$$

Tensions (V) pour $\beta=1/3$



$V_D(t)$: En bleu $\beta = 1/3$; en rouge $\beta = -1/3$.



Q22.

Pour toutes les tensions, $f_h = \frac{1}{T} = \frac{R_5}{4R_3R_4C}$ ou $\frac{1}{2R_3C}$.

Rapport cyclique = $\alpha' = \frac{T_{\text{haut}}}{T_{\text{haut}} + T_{\text{bas}}} = \frac{1}{2} + \frac{\beta R_5}{2R_4}$ ou $\frac{1+2\beta}{2}$.

Partie 4

Q23.

$G_{\text{th}} = \frac{1}{R_{\text{th}}}$ en W.K^{-1} .

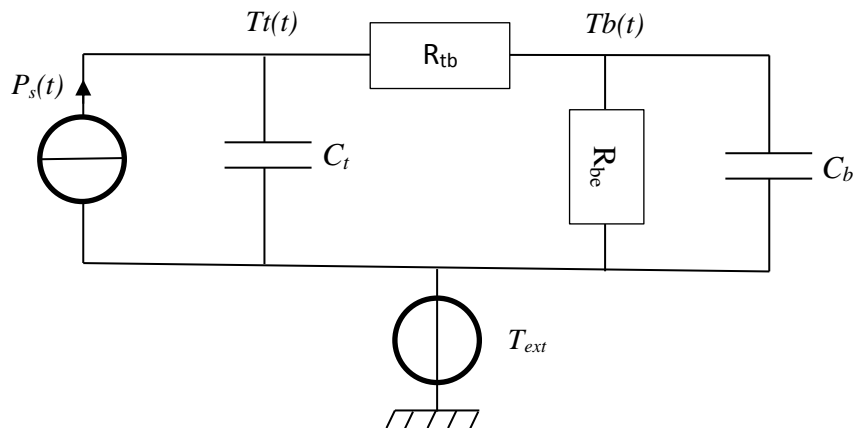
Q24.

Puissance reçue par le transistor = puissance dissipée en interne – puissance cédée au boîtier. Soit : $C_t \frac{dT_t(t)}{dt} = P_s - G_{\text{tb}}(T_t(t) - T_b(t))$.

Q25.

Puissance reçue par le boîtier = puissance provenant du transistor – puissance partant vers l'extérieur. $C_b \frac{dT_b(t)}{dt} = G_{\text{tb}}(T_t(t) - T_b(t)) - G_{\text{be}}(T_b(t) - T_{\text{ext}})$.

Q26.



$B_1 \Leftrightarrow R_{\text{tb}} \text{ ou } 1/G_{\text{tb}}$

$B_2 \Leftrightarrow R_{\text{be}} \text{ ou } 1/G_{\text{be}}$.

$B_3 \Leftrightarrow C_b$.

Evidemment qu'on peut intervertir les bulles B_2 et B_3 .

$V_1 ; V_2 ; V_3 \Leftrightarrow T_t(t) ; T_b(t) ; T_{\text{ext}}$.

Q27.

h en $W.K^{-1}.m^{-2}$.

$T(x)$ et $dP(x)$ dépendent de x .

Q28.

Bilan thermique sur la tranche d'ailette comprise entre x et $x+dx$ en régime permanent :

$$-\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{(en\ x)} be = -\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{(en\ x+dx)} be + h(T(x) - T_a)2(b+e)dx .$$

$$\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} dx be = h(T(x) - T_a)2bdx \quad \text{car } e \ll b$$

$$\lambda \frac{d^2 T}{dx^2} e = h(T(x) - T_a)2 \quad \text{car } T \text{ ne dépend en fait que de la variable } x.$$

$$\frac{d^2 T}{dx^2} = \frac{2h}{\lambda e} (T(x) - T_a).$$

$$\text{De la forme : } \frac{d^2 T}{dx^2} - \frac{1}{L^2} (T(x) - T_a) = 0 \quad \text{avec } L = \sqrt{\frac{\lambda e}{2h}} .$$

$$L = 10^{-2} \text{ m} \ll a = 0,2 \text{ m}.$$

Q29.

On considère l'ailette infinie car $L \ll a$.

$$T(x) = T_a + (T_0 - T_a)e^{-x/L} .$$

Q30.

On peut déterminer cette puissance soit par ce qui entre par conduction en $x = 0$, soit par tout ce qui est évacuée en latéral.

$$P_{\text{tot}} = -\lambda \left(\frac{dT}{dx} \right)_{enx=0} be = \frac{\lambda}{L} (T_0 - T_a) be = b\sqrt{2\lambda eh} (T_0 - T_a)$$

$$P_{\text{tot}} = 2 \int_0^{\infty} h(T(x) - T_a) b dx = 2hbL(T_0 - T_a) = b\sqrt{2\lambda eh} (T_0 - T_a) .$$

Critère à 95% ou 99% soit $a' = 3L$ ou $5L$ soit 3 ou 5 cm. On peut donc réduire la taille de l'ailette jusqu'à environ 5 cm.

Les ailettes de faibles longueurs mais il en faut plusieurs pour évacuer toute la chaleur.

Partie 5

Q31.

Idée de cette résolution de problème :

Il faut avoir une approche énergétique et additionner la différence du travail du poids de la rame de montée et de la rame de descente + l'énergie perdue en interne. Cette idée peut se traduire par unité de temps donc par un bilan en puissance

En gros, on monte 750 personnes en 1h d'une hauteur de 250m, avec $m = 60$ à 80 kg.

$$P = \frac{M(750\text{passagers}) * g * h}{\text{temps}} + \text{Pertes} . \text{ Avec Pertes} = 4 \text{ kW}.$$

$$P = 35 \text{ à } 45 \text{ kW}.$$

Q32.

Le hacheur série n'est pas réversible en énergie, impossible de descendre en fonctionnement génératrice qui freine le système. Lorsque la rame de descente est plus chargée que la rame de montée, il faut récupérer de l'énergie, et avoir un hacheur parallèle.

Complément de réponse qui déborde du programme :

Pour assurer les deux types de fonctionnement, il faut un hacheur deux quadrants, ou 4 quadrants si on veut même pouvoir faire marche avant et arrière.

Partie 6

Q33.

Na : troisième période (ligne) ; 1^{ière} colonne.

Cl : troisième période (ligne) ; 17^{ième} colonne.

Cl : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$.

Q34.

Sodium : alcalin. Chlore : halogène. Autres halogènes : Iode ; Brome ; Fluor.

Q35.

γ dépend de la nature et de la concentration des ions.

Cellule A : conductimètre. Cellule B : pHmètre.

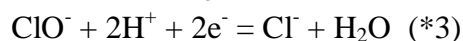
Q36.

$s = 6 \text{ mol.L}^{-1}$. Attention dilution d'un facteur 1000.

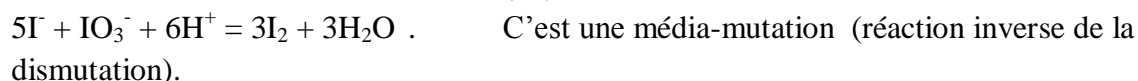
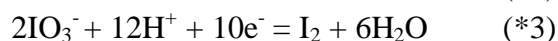
Q37.

Espèces	Cl ⁻	Cl ₂	ClO ⁻	HClO
n.o.	-I	0	I	I
Domaines	C	B	D	A

On trouve en bas du diagramme les espèces les moins oxydées. Pour le couple acido-basique HClO/ClO⁻, HClO correspond à la forme acide donc à gauche de ClO⁻.

Q38.

I⁻ en excès car on veut être sûr que tout le ClO⁻ a réagit.

Q39.**Q40.**

On aurait formé HClO, qui aurait réagi avec Cl⁻ pour former du Cl₂. Il fallait éviter cette formation de Cl₂ toxique.

Q41.

$2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + \text{I}_2 = \text{S}_4\text{O}_6^{2-} + 2\text{I}^-$. C'est classique, mais l'énoncé aurait pu préciser l'espèce oxydée, associée à $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ à savoir $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$.

Q42.

Grâce aux questions précédentes, on voit que pour une mole de ClO⁻ initialement en solution, on forme une mole de I₂. De plus, à l'équivalence, la quantité de matière de thiosulfate versée

est égale au double de celle de diiode en solution. Finalement : $C_1 V_{\text{éq}} = 2 * V_{\text{init}} \frac{C_0}{100}$ soit

$$C_0 = \frac{50 V_{\text{éq}} C_1}{V_{\text{init}}}$$

Fin