BTS AVA 2013 *Corrigé*

Partie A : La batterie de traction LMP (**L**ithium **M**étal **P**olymère)

1° question : L'énergie chimique E_{CH} stockée dans la batterie LMP s'écrit : $\boxed{E_{CH} = U_N \times Q}$

a) Pour obtenir cette énergie en wattheure (Wh), il faut exprimer Q en Ah et U_N en V : $\boxed{E_{CH} \cong 3 \times 10^4 \text{ Wh}}$

b) On a aussi : $\boxed{E_{CH} \cong 30 \text{ kWh}}$

2° question : L'énergie massique de la batterie type LMP est égale à : $\boxed{\dfrac{E_{CH}}{m_B} \cong 100 \text{ W.h.kg}^{-1}}$

Pour une même énergie disponible, la batterie de type LMP est plus compacte qu'une batterie classique au plomb.

3° question : Réaction à l'anode

a) Demi-équation électronique de la réaction se produisant à l'anode : $\boxed{Li \longrightarrow Li^+ + 1\,e^-}$.

b) C'est une réaction d'oxydation puisque cette réaction se traduit par une libération d'électrons.

4° question : La puissance crête est fournie sous la tension nominale ; on écrit donc : $\boxed{P_C = I_C \times U_N}$.

On en déduit : $\boxed{I_C = \dfrac{P_C}{U_N}}$ $\boxed{I_C \cong 112{,}5 \text{ A}}$

5° question : La durée de la décharge dans ces conditions est Δt : $\boxed{\Delta t = \dfrac{Q}{I}}$ $\boxed{\Delta t \cong 5 \text{ h}}$

6° question : La batterie est complètement chargée.

a) La capacité de stockage de la batterie s'écrit : $\boxed{Q = 75 \text{ Ah} = 75 \text{ A} \times 3600 \text{ s}}$ soit : $\boxed{Q \cong 2{,}7 \times 10^5 \text{ C}}$.

b) La quantité de matière d'électrons, exprimée en moles, est désignée par n : $\boxed{n = \dfrac{Q}{F}}$ (Q en coulombs)

On obtient : $\boxed{n \cong 2{,}8 \text{ mol}}$

c) La quantité de lithium qui réagit est égale à la quantité d'électrons libérés (voir le bilan à l'anode) ; la masse de lithium m_{Li} consommé au cours de cette décharge s'écrit : $\boxed{m_{Li} = M(Li) \times n}$ $\boxed{m_{Li} \cong 19 \text{ g}}$

Partie B : L'onduleur autonome de tension

1° question : Un onduleur de tension permet d'alimenter une charge en courant alternatif à partir dune source de tension continue.

2° question : Un interrupteur électronique peut être constitué par un transistor monté en parallèle avec une diode de conduction.

3° question : La période et la fréquence sont identiques pour les deux signaux.

On a : $\boxed{T = 5 \text{ ms} = 5 \times 10^{-3} \text{ s}}$ et : $\boxed{f = \dfrac{1}{T} = 200 \text{ Hz}}$

Fig.1 : commande symétrique $u(t)$

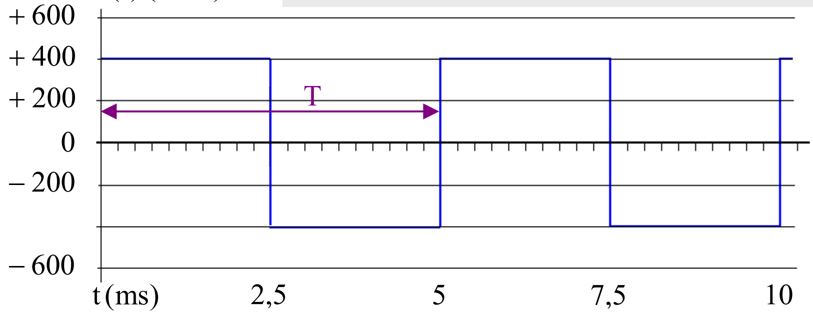
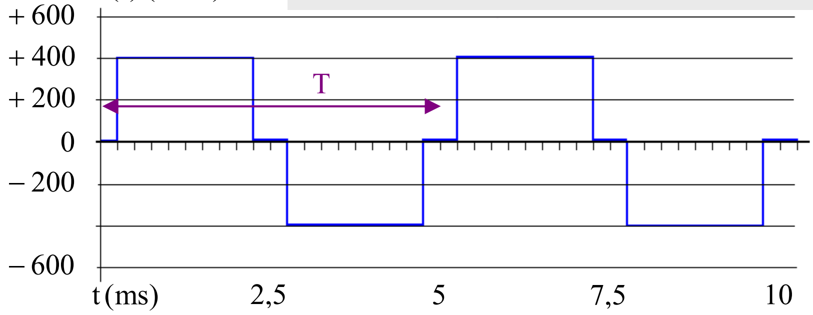


Fig.2 : commande décalée $v(t)$



4° question : Les deux signaux sont périodiques et symétriques ; ils correspondent à une somme de plusieurs composantes sinusoïdales :

La composante sinusoïdale de fréquence f_0 est le signal « fondamental » ; la fréquence f_0 est aussi la fréquence du signal résultant (soit $u(t)$ ou $v(t)$); on a donc : $\boxed{f_0 = 200\text{ Hz}}$

Les autres composantes sinusoïdales ont des fréquences multiples de celle du fondamental $(2f_0, 3f_0, ...)$ pour les harmoniques de rang 2, 3,….

La tension la plus proche d'une tension sinusoïdale est donc celle qui se rapproche le plus du fondamental avec une amplitude faible des harmoniques de rang supérieur ; ici, c'est la tension $v(t)$ qui est plus proche d'une tension sinusoïde.

Remarque : On utilise l'analyse spectrale pour justifier la réponse mais on constate, sur les chronogrammes fournis, que la tension $v(t)$ est plus proche d'une sinusoïde que $u(t)$.

5° question : Analyse spectrale.

a) La fréquence f_0 du fondamental est : $\boxed{f_0 = 200\text{ Hz}}$

b) Le signal résultant (soit $u(t)$ ou $v(t)$) a bien cette fréquence.

c) L'axe des fréquences est à l'échelle sur les analyses spectrales.

Tension $u(t)$:

On a une harmonique à la fréquence 600 Hz ce qui correspond à une harmonique de rang 3 (rang impair)

On a une harmonique à la fréquence 1 kHz ce qui correspond à une harmonique de rang 5 (rang impair)

etc

Toutes les harmoniques sont de rang impair.

Pour la tension $u(t)$, c'est la même chose !

d) La fréquence de l'harmonique de rang 5 de la tension $u(t)$ est : $\boxed{5\,f_0 = 1000\text{ Hz}}$

Son amplitude est de l'ordre de $\boxed{100\text{ V}}$.

6° question :

a) Il faut utiliser un filtre passe-bas pour supprimer les harmoniques indésirables.

b) La fréquence de coupure de ce quadripôle doit être supérieure à celle du fondamental ; on peut, par exemple, fixer la fréquence de coupure à 400 Hz puisque l'harmonique de rang 2 n'existe pas.

7° question : Mesures des tensions.

a) La valeur moyenne de ces deux tensions est nulle car ces deux tensions sont symétriques.

b) c) Pour mesurer la valeur moyenne de ces tensions, on peut utiliser un voltmètre TRMS en position « DC ». ?

d) La valeur efficace U de la tension $u(t)$ s'écrit : $\boxed{U^2 = \frac{1}{T}\int_0^T u(t)\,dt}$ avec, ici : $u(t) = \pm U_{max}$

On a donc : $\boxed{U = U_{max} \cong 400\text{ V}}$

Partie C : Motorisation du véhicule

1° question : Le moteur développe une puissance utile $P_u = 30\text{ kW}$. Le moment du couple moteur est $C = 120\text{ N.m}$.

a) La vitesse angulaire de rotation Ω (en rad.s^{-1}) est telle que l'on a : $\boxed{P_u = C \times \Omega}$

On en déduit : $\boxed{\Omega = \frac{P_u}{C}}$ $\boxed{\Omega \cong 250\text{ rad.s}^{-1}}$

b) La fréquence de rotation, exprimée en tr.s^{-1}, est : $\boxed{n(\text{en tr.s}^{-1}) = \frac{\Omega(\text{en rad.s}^{-1})}{2\,\pi}}$ $\boxed{n \cong 40\text{ tr.s}^{-1}}$

c) Cette fréquence de rotation est aussi : $\boxed{n(\text{en tr.min}^{-1}) = \frac{\Omega}{2\,\pi} \times 60}$ en $\boxed{n \cong 2387\text{ tr.min}^{-1}}$.

2° question : Le rendement η du moteur est tel que l'on a : $\boxed{\eta = \frac{P_u}{P_A}}$

On en déduit : $\boxed{P_A = \frac{P_u}{\eta}}$ $\boxed{P_A \cong 31{,}6\text{ kW}}$

3° question : L'énergie cinétique $E_{c\,max}$ du véhicule s'écrit :

$\boxed{E_{c\,max} = \frac{1}{2} M\,(v_{max})^2}$ $\boxed{E_{c\,max} = \frac{1}{2} M\,(v_{max})^2}$ avec $\boxed{v_{max} = \frac{130 \times 10^3\text{ m}}{3600\text{ s}} \cong 36{,}1\text{ m.s}^{-1}}$

On obtient : $\boxed{E_{c\,max} \cong 7{,}17 \times 10^5\text{ J}}$

4° question : L'énergie cinétique initiale est convertie en énergie thermique au niveau des freins :

$$\boxed{Q = E_{c\,max} \cong 7{,}17 \times 10^5\text{ J}}$$

5° question : Si on admet aussi que le freinage est suffisamment rapide pour que l'on puisse admettre qu'il n'y a pas d'échange thermique avec le milieu extérieur, on écrit : $\boxed{Q = m_F\, c_P\, (\theta_f - \theta_i)}$

On en déduit : $\boxed{\theta_f = \dfrac{Q}{m_F\, c_P} + \theta_i}$ $\boxed{\theta_f \cong 187\,°C}$

6° question : La puissance utile P_u est telle que l'on a : $\boxed{P_u = v \times F}$.

On en déduit : $\boxed{F = \dfrac{P_u}{v}}$ avec : $\boxed{v = \dfrac{60 \times 10^3\ m}{3600\ s} \cong 16{,}7\ m.s^{-1}}$ $\boxed{F \cong 1800\ N}$

Partie D : Conditionnement du signal

1° question : Le capteur inductif décrit ci-dessus est un capteur actif car une partie de la puissance mise en jeu ne correspond pas à de l'effet Joule.

2° question :

a) On applique le théorème de Millman au nœud A : $V_A \left(\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2} \right) = \dfrac{v_S}{R_2}$ ($V_M = 0\ V$ et $i^- = 0\ A$)

L'amplificateur opérationnel idéal fonctionne en régime linéaire ; on a donc : $\varepsilon = V^+ - V^- = 0\ V$ ce qui entraîne : $V_A = v_E$.

On écrit, alors : $v_E \left(\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2} \right) = \dfrac{v_S}{R_2}$ puis : $\boxed{\dfrac{v_S}{v_E} = R_2 \left(\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2} \right)}$ et, enfin : $\boxed{A_V = \dfrac{v_S}{v_E} = \left(1 + \dfrac{R_2}{R_1} \right)}$

b) La résistance R_1 a pour valeur $1\ k\Omega$ et $\dfrac{R_2}{R_1} = 9$; on a donc : $\boxed{R_2 = 9\ k\Omega}$

3° question : La tension v_S est appliquée à l'entrée d'un CAN qui code sur 11 bits.

a) Ces lettres constituent le sigle d'un <u>C</u>onvertisseur <u>A</u>nalogique <u>N</u>umérique.

b) Le nombre N de codages différents que peut effectuer ce CAN est donné par : $\boxed{N = 2^{11} = 2048}$

c) Le pas de quantification (ou quantum) q de ce convertisseur est donc : $\boxed{q = \dfrac{\Delta U}{N}}$ $\boxed{q \cong 5{,}86\ mV}$

d) Le codage binaire correspond à :

- Codage binaire 00000000000 :

$0 \times 2^{10} + 0 \times 2^9 + 0 \times 2^8 + 0 \times 2^7 + 0 \times 2^6 + 0 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^0$ soit 0

- Codage binaire 11111111111 :

$$\underbrace{1 \times 2^{10}}_{1024} + \underbrace{1 \times 2^9}_{512} + \underbrace{1 \times 2^8}_{256} + \underbrace{1 \times 2^7}_{128} + \underbrace{1 \times 2^6}_{64} + \underbrace{1 \times 2^5}_{32} + \underbrace{1 \times 2^4}_{16} + \underbrace{1 \times 2^3}_{8} + \underbrace{1 \times 2^2}_{4} + \underbrace{1 \times 2^1}_{2} + \underbrace{1 \times 2^0}_{1}$$

$$1024 + 512 + 256 + 128 + 64 + 32 + 16 + 8 + 4 + 2 + 1 = 2047$$

- Codage binaire 00000011111 :

$$\underbrace{0 \times 2^{10}}_{0} + \underbrace{0 \times 2^9}_{0} + \underbrace{0 \times 2^8}_{0} + \underbrace{0 \times 2^7}_{0} + \underbrace{0 \times 2^6}_{0} + \underbrace{0 \times 2^5}_{0} + \underbrace{1 \times 2^4}_{16} + \underbrace{1 \times 2^3}_{8} + \underbrace{1 \times 2^2}_{4} + \underbrace{1 \times 2^1}_{2} + \underbrace{1 \times 2^0}_{1}$$

$$16+8+4+2+1=31$$

Codage binaire	Nombre décimal	Tensions v_S
00000000000	0	0
11111111111	2047	$2047\times q\cong 12\text{ V}$
00000011111	31	$31\times q\cong 182\text{ mV}$

e) Le nombre n_1 de quantum correspondant à une tension $v_S=53\text{ mV}$ est : $n_1=\dfrac{53\text{ mV}}{q}$ soit : $\boxed{n_1=9}$

Ce nombre de quantum correspond au nombre binaire : $n_1=9=1\times 2^0+0\times 2^1+0\times 2^2+1\times 2^3$ soit : $\boxed{1001}$