

## BTS AVA 2014

(envoyé par Frédéric SCOTTI - Professeur d'Electrotechnique au Lycée Régional La Floride –Marseille)

Dans ce sujet, nous allons étudier une voiture électrique qui a les caractéristiques suivantes :

Masse du véhicule :  $m_v = 1100 \text{ kg}$

Accumulateur : technologie à base de lithium.

Tension aux bornes de l'accumulateur :  $U_{ac} = 330 \text{ V}$

Moteur : machine synchrone triphasée réversible à aimants permanents.

### Partie 1 : Dimensionnement de l'accumulateur

#### 1. Détermination de l'énergie à stocker

Le véhicule se déplace en ligne droite, sur une route horizontale et à une vitesse constante de 110 km/h .

*Données :*

✦ Intensité de la force de résistance au roulement :  $F_R = 65 \text{ N}$

✦ Intensité de la force de frottement aérodynamique :  $F_A = \frac{1}{2} \times S \times C_x \times \rho \times V^2$

Avec : Vitesse du véhicule  $V$  en m/s

Surface frontale  $\times$  Coefficient aérodynamique :  $S \times C_x = 0,675 \text{ m}^2$

Masse volumique de l'air à 20°C :  $\rho = 1,21 \text{ kg/m}^3$ .

**1.1.** La force de résistance au roulement et la force de frottement aérodynamique sont de même direction que le déplacement de la voiture. Indiquer leur sens et justifier-le d'un point de vue énergétique.

**1.2.** Sur le schéma du document réponse à rendre avec la copie, représenter, ramenées au centre de gravité  $G$  et sans souci d'échelle, toutes les forces s'exerçant sur le véhicule.

**1.3.** Calculer  $F_A$  l'intensité de la force de frottement aérodynamique.

**1.4.** Calculer  $F_F$  l'intensité de la résultante des forces de frottement exercée sur le véhicule.

**1.5.** En déduire  $F_M$  l'intensité de la force motrice de véhicule nécessaire pour maintenir la vitesse constante.

**1.6.** Montrer que la puissance motrice du véhicule est  $P_M = 13,6 \text{ kW}$ .

**1.7.** Le véhicule a une autonomie  $A_u$  de 110 km à la vitesse précédente. Déterminer la valeur de l'énergie  $E_{\min}$  minimale stockée dans l'accumulateur.

**1.8.** Dans la réalité, l'énergie stockée doit être plus grande que la valeur trouvée ci-dessus. Identifier les phénomènes qui justifient que l'énergie à stocker dans l'accumulateur est plus grande que celle déterminée à la question 1.7.

## 2. Étude de l'accumulateur

L'accumulateur est constitué de plusieurs éléments, la tension aux bornes de chaque élément est de 3,75 V .

La capacité électrique de l'accumulateur est de 50 Ah .

### 2.1 Étude électrique

**2.1.1** Comment connecter des éléments pour obtenir une tension de 330 V aux bornes de l'accumulateur ?

Combien d'éléments sont nécessaires pour obtenir cette tension ?

**2.1.2** Calculer l'énergie stockable dans l'accumulateur en kWh.

Comparer ce résultat avec celui obtenu à la partie précédente ; commenter.

### 2.2 Étude chimique

#### Accumulateur au lithium

Un accumulateur au lithium stocke de l'énergie électrochimique. Les réactions chimiques mises en jeu font intervenir le lithium comme réactif.

On distingue la technologie Lithium-Métal, où l'électrode négative est composée de lithium métallique et la technologie Lithium-Ion (Li-Ion), où le lithium reste à l'état ionique grâce à l'utilisation de composés d'insertion à l'électrode négative (généralement en graphite) et à l'électrode positive (dioxyde de cobalt, manganèse, phosphate de fer).

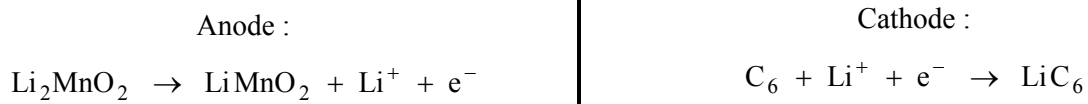
Cette technologie offre la plus forte énergie spécifique (énergie / masse) et la plus grande densité d'énergie (énergie / volume). Ces accumulateurs peuvent fonctionner jusqu'à 15 ans (aéronautique, véhicules hybrides, systèmes de secours). Les satellites Galiléo sont équipés d'accumulateurs Li-Ion SAFT d'une durée de vie de douze ans. Le planeur Antares de Lange Aviation possède également des accumulateurs SAFT VL41M.

Les accumulateurs Lithium-Ion possèdent une grande énergie spécifique ; ils sont donc très utilisés dans le domaine des systèmes embarqués. Ils ont aussi une faible autodécharge (moins de 10 % par mois), ne nécessitent pas de maintenance et ne présentent aucun effet mémoire.

*D'après : <http://www.e-motor.fr/batteries.php>*

Une mole d'électrons a une charge de 96500 C .

Réactions aux électrodes pour la charge de l'accumulateur :



*Données* : Masses molaires atomiques :  $M_{\text{Li}} = 6,9 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ;  $M_{\text{O}} = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ;  $M_{\text{Mn}} = 55 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

**2.2.1.** A l'aide du document précédent :

- Nommer le type d'accumulateur au lithium utilisé par ce véhicule.
- Citer le principal avantage de ce type d'accumulateur dans le domaine de l'automobile.

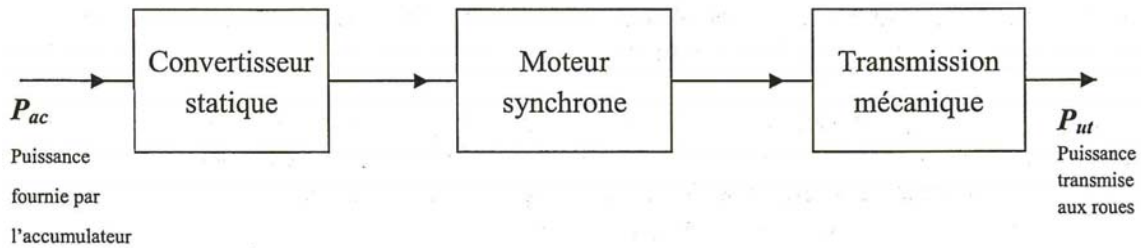
**2.2.2.** Pour une charge complète de l'accumulateur, calculer :

- la quantité d'électricité stockée en coulomb ;
- la quantité de matière (en mole) d'électrons échangés ;
- la quantité de matière (en mole) de  $\text{Li}_2\text{MnO}_2$  consommé à l'anode.

**2.2.3.** Montrer que la masse de  $\text{Li}_2\text{MnO}_2$  consommé est  $m = 188 \text{ g}$ .

## Partie 2 : De l'accumulateur aux roues

### 3. Étude de la chaîne de conversion



3.1. Identifier la fonction de chaque élément de la chaîne de conversion.

3.2. L'accumulateur se recharge lors d'une phase de décélération.

3.2.1. Nommer la propriété vérifiée par la chaîne de conversion.

3.2.2. Lors de la décélération, sous quelle forme l'énergie cinétique est-elle convertie dans le cas :

D'un véhicule électrique ;

D'un véhicule thermique.

Quel avantage présente le véhicule électrique ?

### 4. Étude des grandeurs électriques en sortie du convertisseur statique.

4.1. Nommer le type de ce convertisseur statique utilisé.

4.2. On veut mesurer à l'entrée du convertisseur statique les valeurs moyennes de l'intensité du courant et de la tension.

Représenter les appareils de mesures sur la figure du document réponse à rendre avec la copie (page 7 sur 7).

Indiquer le réglage des appareils utilisés.

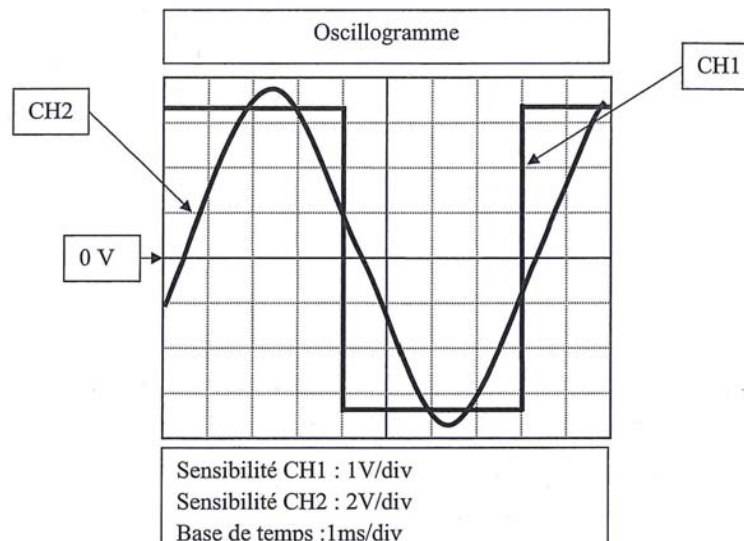
L'oscillogramme représente une tension entre deux phases et une intensité du courant en ligne à la sortie du convertisseur statique.

**Sur la voie 1 :**

On visualise une tension entre deux phases à la sortie du convertisseur statique. On a utilisé une sonde atténuatrice de tension de rapport 1/100.

**Sur la voie 2 :**

On visualise l'intensité du courant en ligne. On a utilisé une sonde de courant de rapport 10 A/V.



4.3. A l'aide des signaux acquis en voie 1 et en voie 2, déterminer :

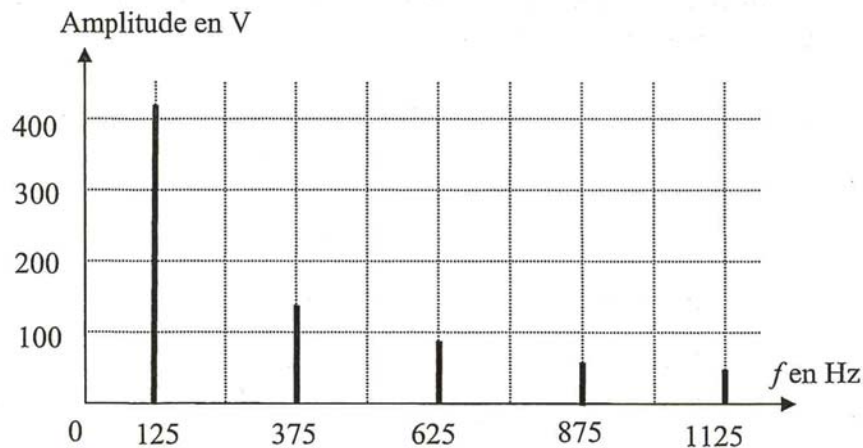
4.3.1. La fréquence de la tension en sortie du convertisseur ;

4.3.2. La valeur moyenne de la tension entre deux phases en sortie du convertisseur ;

4.3.3. La valeur efficace de l'intensité du courant en ligne à la sortie du convertisseur.

4.4. Quelle contrainte la valeur efficace de l'intensité du courant impose-t-elle lors du choix des fils électriques ?

4.4. Le spectre d'amplitude d'une tension entre deux phases à la sortie du convertisseur statique est représenté ci-dessous.



4.4.1. Déterminer la fréquence du fondamental.

4.4.2. Justifier à l'aide du spectre la réponse à la question 4.3.2.

### 5. Étude du refroidissement du convertisseur statique

Lorsque le convertisseur statique fonctionne à la puissance maximale, on mesure à l'entrée une puissance  $P_{\text{entrée}} = 63,2 \text{ kW}$  et à la sortie  $P_{\text{sortie}} = 61,3 \text{ kW}$ .

5.1. Quel est le rendement du convertisseur statique ?

5.2. La puissance perdue est dissipée sous forme thermique. Pour l'évacuer, on utilise un système de refroidissement à circulation d'eau.

Capacité thermique massique de l'eau :  $c = 4,18 \text{ J} \cdot \text{°C}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ .

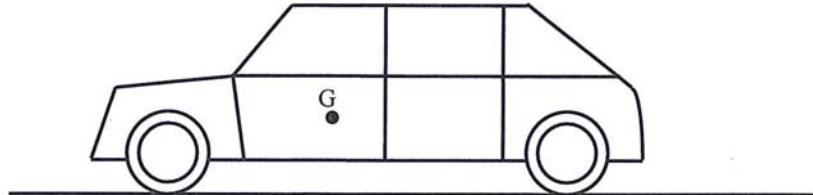
Température de l'eau à l'entrée du système de refroidissement :  $\theta_E = 40 \text{ °C}$ .

Température de l'eau en sortie du système de refroidissement :  $\theta_S = 60 \text{ °C}$ .

Calculer le débit massique d'eau  $D_m$  nécessaire pour ce refroidissement.

**Document-réponse**

Question 1.2. (G : centre de gravité de la voiture)



Question 4.2.

