

FINAL ER63 – PRINTEMPS 2015

NOM :

PRENOM :

Documents de cours autorisés - Calculatrice autorisée - Dictionnaires numériques interdits

1. Exercice (4 points)

Un volant d'inertie pèse 1960 kg. On peut considérer sa masse comme uniformément répartie sur un cylindre de 120 cm de diamètre.

1.1 Calculer son moment d'inertie par rapport à l'axe du cylindre

1.2 A partir d'une vitesse nulle, on souhaite accélérer le volant à une vitesse de 300 tr/min. Calculer l'énergie en Wh qu'il faudra fournir.

1.3 La vitesse diminue ensuite à 297 tr/min. Quelle est l'énergie qui a été restituée par le volant ?

1.4 Le ralentissement a duré 4 secondes. Calculer la puissance moyenne développée par le volant pendant cet intervalle de temps.

1.5 Quelles sont les contraintes de mise en œuvre d'un système de stockage d'énergie à base d'un volant d'inertie afin d'obtenir le meilleur rendement possible ?

2. Problème (12 points)

Un véhicule parcourt un cycle de conduite caractérisé par les éléments suivants :

- Distance : 21,5 km.
- Puissance maximale : 32 kW
- Puissance moyenne sur le cycle : 9,56 kW
- Energie de traction aux roues sur le cycle : 2,95 kWh
- Energie de freinage aux roues sur le cycle : - 0,26 kWh

2.1 Véhicule équipé d'un moteur à combustion interne

2.1.1. Le moteur à combustion interne a un rendement global (moteur + transmission) de 18%. Le carburant utilisé est de l'essence sans plomb 95. Quelle est la consommation en litres pour 100 km de carburant ?

Pour le reste du problème, on remplace le moteur thermique et sa transmission par un moteur électrique associé à un réducteur : rendement global en traction 80 % et rendement global au freinage 30%.

2.2 Véhicule électrique à batteries

On utilise des cellules au lithium avec les caractéristiques suivantes :

- tension nominale : 3,5 V
- énergie spécifique: 170 Wh/kg
- densité d'énergie : 280 Wh/litre
- puissance spécifique : 300 W/kg
- coût : 1900 €/kWh

2.2.1. Calculer l'énergie électrique fournie ou absorbée par la batterie lors des phases de freinage et de traction sur un cycle.

2.2.2. Déterminer l'énergie totale fournie pour 100 km.

2.2.3. Déterminer le poids, le volume et le coût de la batterie pour satisfaire une autonomie de 100 km.

2.2.4. La batterie remplit-elle les contraintes de puissances ? Refaire le dimensionnement si nécessaire.

2.3 Véhicule à pile à combustible (PàC) hybridée avec une source de puissance.

Dans ce système, la PàC fournit la puissance moyenne sur le cycle. La source de puissance (réversible) fournira (ou absorbera) la puissance complémentaire. Voici les données caractéristiques de la PàC utilisée

- densité de puissance : 0,5 W/cm²
- densité de courant j : 940 mA/cm²
- tension maximale de la PàC : 100V
- calcul de la tension d'une cellule : (j en mA)

$$V_c(j) = 1,031 - 2,45 \cdot 10^{-4} \cdot j - 0,03 \ln(j) - 2,11 \cdot 10^{-5} e^{(8 \cdot 10^{-3} \cdot j)}$$

- Les auxiliaires de la PàC consomment 25% de la puissance produite.
- Epaisseur d'une cellule (anode, cathode et membrane) : 0,4 mm
- Rendement électrique de la PàC : 50%
- La pression maximale du réservoir d'hydrogène associé est de 300 bars.

2.3.1. Combien de cellules composent la PàC ?

2.3.2. En partant du calcul de la puissance de la PàC, déterminer le volume de la PàC ?

2.3.3. Quelle sera le volume du réservoir d'hydrogène pour un parcours de 400 km ? Comparer votre résultat avec la consommation de carburant obtenue en 2.1.1

2.4 Source auxiliaire de puissance associée à la pile à combustible

La Figure 1 présente l'énergie transitant dans la source auxiliaire de puissance.

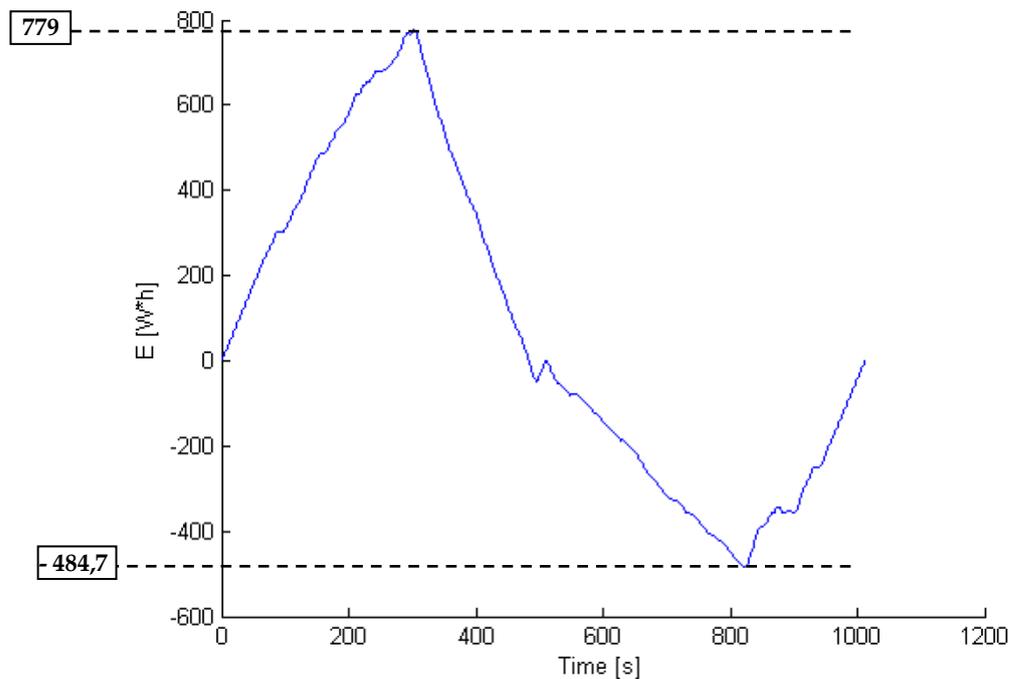


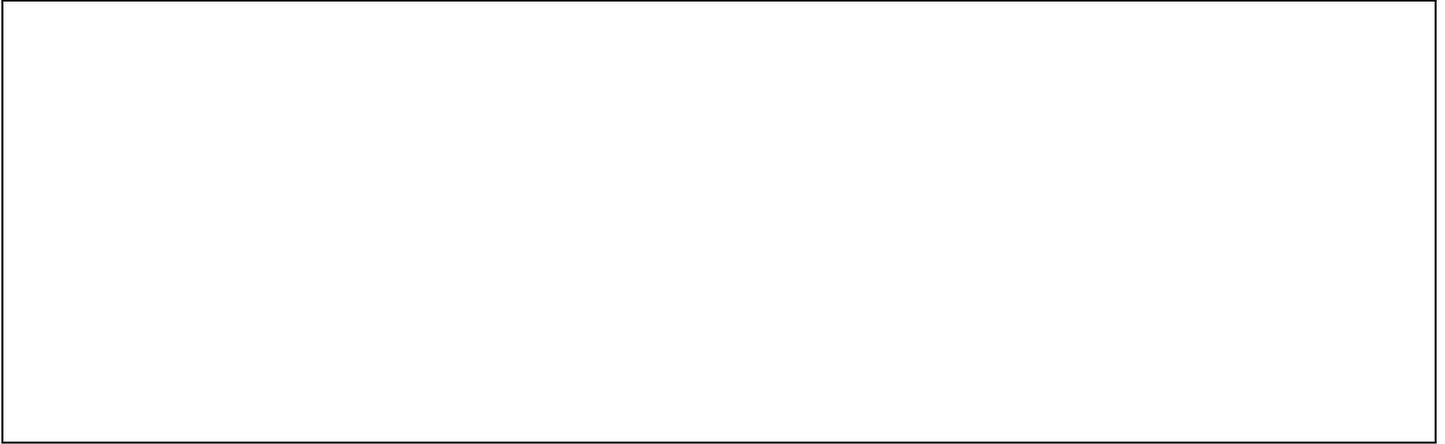
Figure 1 : énergie de la source auxiliaire de puissance

2.4.1. Quelle est la capacité énergétique que doit avoir la source auxiliaire de puissance ?

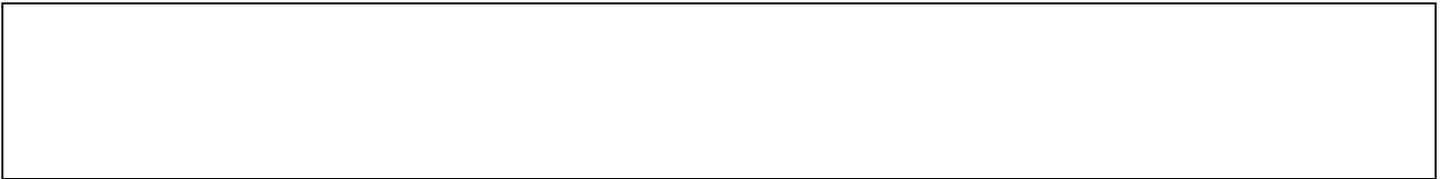
Nous utilisons des supercondensateurs avec les caractéristiques suivantes :

- Capacité : 5000 F
- Tension maximale du supercondensateur : 2,5 V
- Tension minimale du supercondensateur : 0 V
- Tension maximale du pack de supercondensateurs : 180 V
- Courant maximal : 130 A
- Poids d'une cellule : 510 g
- Le convertisseur de puissance associé au pack de supercondensateur a un rendement de 100%.

2.4.2. Proposer un schéma de principe détaillé de l'architecture complète de la chaîne de traction du véhicule (PàC, Scap, convertisseurs de puissance, moteur ...).



2.4.3. Quelle quantité d'énergie peut être stockée dans une cellule de supercondensateur ?



2.4.4. Déterminer le nombre de supercondensateurs en série et le nombre de branches de parallèle



2.4.5. Quel est le courant maximal délivré par chaque supercondensateur ? Comparez par rapport au courant maximal admissible.



2.4.6. Quelle est la masse totale du pack ? Conclure par rapport à la faisabilité de la solution retenue. Proposer une autre solution plus intéressante.



3. Questionnaire à choix multiple (4 points)

Cocher la (ou les) réponses correctes. Plusieurs réponses sont donc possibles. La moitié des points par réponse fausse sera ôtée.

3.1 L'hydrogène peut être stocké dans une automobile à pile à combustible :

- Sous forme liquide à température ambiante
- Sous forme gazeuse à pression atmosphérique
- Par combinaison avec des hydrures métalliques

3.2 Un système de stockage inductif a :

- Une densité d'énergie stockée supérieure aux accumulateurs Lithium
- Une durée de vie faible
- Besoin d'un système cryogénique pour fonctionner

3.3 Les supercondensateurs :

- Disposent d'une tension de cellule maxi supérieure aux accumulateurs Ni-Cd
- Ont des capacités de stockage d'énergie supérieures aux batteries
- Sont destinés à des fournitures d'énergie transitoire

3.4 Le système d'équilibrage sur les batteries Li-ion permet :

- D'assurer une recharge optimale de la batterie
- De diminuer le poids de la batterie
- D'uniformiser les tensions de toutes les cellules de la batterie

3.5 Il est possible de recharger « rapidement » les batteries

- Au plomb
- Ni-Mh
- Sodium-chlorure de nickel

3.6 Un biocarburant

- Est un carburant qui ne rejette aucun polluant
- Est toujours associé à un carburant fossile
- A un meilleur pouvoir calorifique que les carburants fossiles

3.7 Une STEP (PHS en anglais) avec un réservoir supérieur de 18 millions de m³, d'une hauteur de 280 m, avec un rendement de 80 % a une capacité théorique de production d'énergie électrique d'environ :

- 5 000 MWh
- 11 000 MWh
- 23 000 MWh

3.8 Le développement à grande échelle de systèmes de stockage d'énergie électrique sur le réseau de distribution d'électricité permettrait de :

- D'éviter l'installation de nouvelles centrales de production d'électricité
- D'améliorer l'intégration des sources d'énergies renouvelables intermittentes sur le réseau
- De réduire le coût de l'électricité