

Fiche calcul

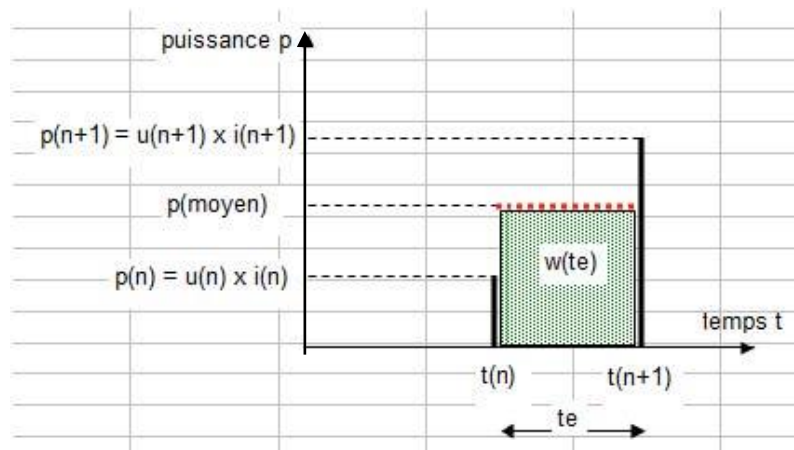
Energie électrique

Pour réaliser les mesures des énergies consommées et récupérées par les véhicules à motorisation électrique et les mesures des énergies fournies par les panneaux solaires, l'AD3E a décidé d'utiliser des joulemètres qui intègrent comme composant principal le « eLogger » de la marque « Eagle Tree ». La fréquence d'échantillonnage est réglée à 20 Hz. Les données issues des joulemètres (courants et tensions aux différents points d'échantillonnage) sont téléchargées via une prise USB. Elles sont ensuite traitées pour établir la valeur de la consommation d'énergie.

Il s'agit de définir les différentes méthodes possibles de traitement de ces données et de choisir la plus appropriée.

Calcul de l'énergie consommée ou fournie - méthode de la puissance moyenne

Modèle de calcul de la puissance



Données

Réglée :

- Fréquence d'échantillonnage

Mesurées :

- $u(n)$: tension mesurée au temps $t(n)$
- $i(n)$: courant mesuré au temps $t(n)$
- $u(n+1)$: tension mesurée au temps $t(n+1)$
- $i(n+1)$: courant mesuré au temps $t(n+1)$

Conséquentes :

- temps élémentaire d'échantillonnage : t_e
- $p(n)$: puissance au temps $t(n)$
- $p(n+1)$: puissance au temps $t(n+1)$
- $p(\text{moyen})$
- $W(t_e)$: énergie élémentaire pendant le temps d'échantillonnage t_e

Calculs :

Hypothèse :

- Pendant un temps élémentaire d'échantillonnage on considère que la puissance est constante de valeur $p(\text{moyen})$.

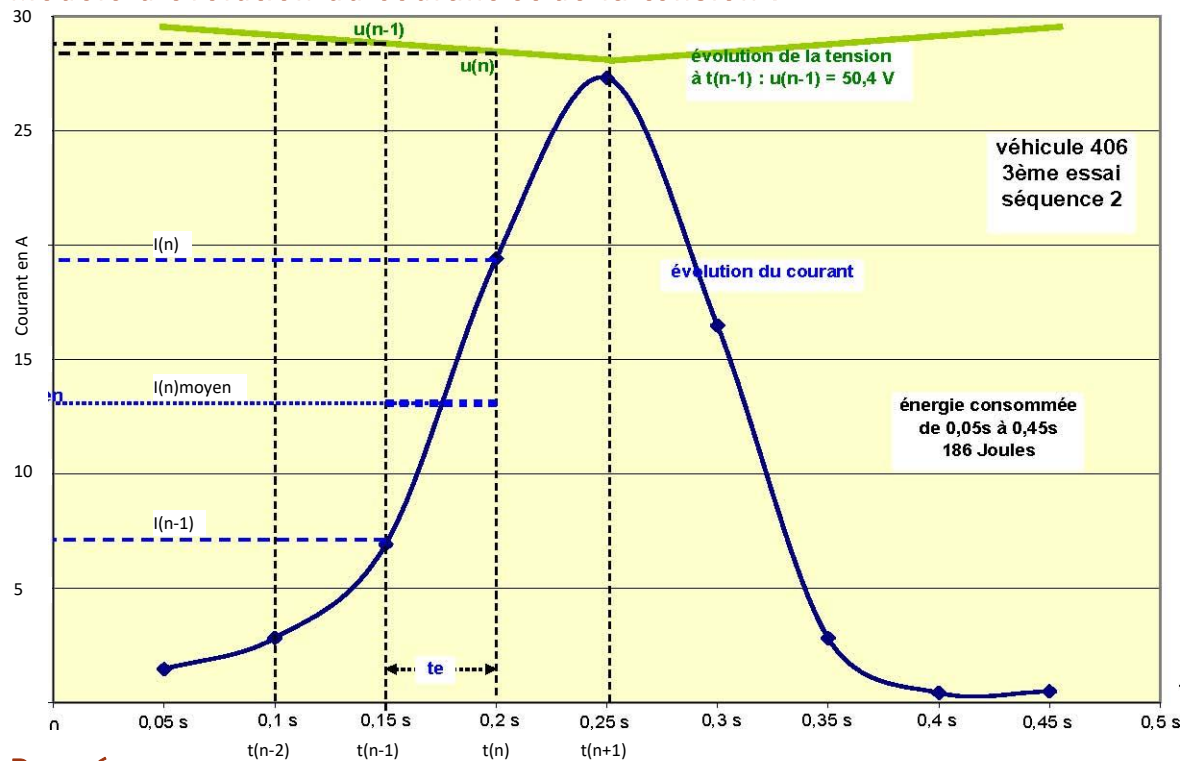
Calcul de l'énergie pendant le temps élémentaire d'échantillonnage t_e :

- $W(t_e) = p(\text{moyen}) \times t_e$
- W pendant t_e en Joules
 $J = [[u(n) \text{ en V}] \times [i(n) \text{ en A}] + [u(n+1) \text{ en V}] \times [i(n+1) \text{ en A}]] / 2 \times t_e \text{ en s}$
- Énergie cumulée à $t(n+1) = W$ cumulée à $t(n) + W$ pendant t_e

Nota : à $t = 0$: $W = 0$

Calcul de l'énergie consommée ou fournie - méthode de la puissance moyenne

Modèle d'évolution du courant et de la tension :



Données :

Réglée :

- Fréquence d'échantillonnage

Mesurées :

- $u(n)$: tension mesurée au temps $t(n)$
- $i(n)$: courant mesuré au temps $t(n)$
- $u(n-1)$: tension mesurée au temps $t(n-1)$
- $i(n-1)$: courant mesuré au temps $t(n-1)$

Conséquentes :

- Temps élémentaire d'échantillonnage : t_e

- $i_{moy}(t_e)$: courant moyen pendant t_e
- $W(t_e)$: énergie élémentaire pendant le temps d'échantillonnage t_e

Calculs :

Hypothèses

Les constituants d'alimentation (batteries, panneaux solaires) sont considérés comme des sources de tension.

Les groupes moto-variateur sont considérés comme des sources de courant.

La structure modélisée est donc constituée d'une source de tension qui débite dans une source de courant.

Sur un temps $[t_e]$ la tension u est considérée comme constante et la commutation se fait sur fronts raides.

Pour $[t(n-1) < t_e < t(n)]$, la référence tension est prise à $t(n-1)$ soit $[u = u(n-1)]$.

Le courant est linéarisé sur un temps élémentaire d'échantillonnage $[t_e]$, la valeur calculée est $[i_{moy}(t_e)]$.

Calcul de l'énergie pendant le temps élémentaire d'échantillonnage t_e :

- $W(t_e) = u(n-1) \times i_{moy}(t_e) \times t_e$
- W pendant t_e en Joules
 $J = [u(n-1) \text{ en V}] \times [[i(n-1) \text{ en A}] + [i(n) \text{ en A}]] / 2 \times t_e \text{ en s}$
- Énergie cumulée à $t(n+1) = W \text{ cumulée à } t(n) + w \text{ pendant } t_e$

Nota : à $t = 0$: $W = 0$

Calculs réalisés en utilisant les 2 méthodes

L'extrait des valeurs correspond à un pic de courant sur le véhicule 406, 3^{ème} essai au Solar Race 2011.

extrait du calcul de l'énergie cumulée sur le véhicule 406, 3ème essai			
données joulemètres		méthode courant moyen	méthode puissance moyenne
Volt*100	Amps*100	calcul W cumulée	calcul W cumulée
5135	36	0.0	0.0
5135	36	0.9	0.9
5135	36	1.8	1.8
5133	55	3.0	3.0
5123	140	5.5	5.5
5101	281	10.9	10.9
5121	153	16.4	16.4
5121	146	20.3	20.3
5101	281	25.7	25.7
5043	691	38.1	38.0
4864	1940	71.3	70.3
4745	2730	128.1	126.3
4896	1647	180.0	178.8
5094	281	203.6	202.6
5133	42	207.7	206.7
5133	48	208.9	207.8
5123	122	211.1	210.0
5077	434	218.2	217.1
5073	465	229.6	228.5
5114	171	237.7	236.6
5135	30	240.2	239.2
5135	30	241.0	239.9
5133	42	241.9	240.8

L'énergie est exprimée en Joules

Choix de la méthode :

Les calculs appliqués à plusieurs tentatives réalisées au Solar Race en Espagne montrent que le pourcentage d'écart entre les deux méthodes est inférieur à 1/100 donc non significatif.

À partir des données échantillonnées du courant et de la tension issues des joulemètres, l'AD3E choisit la méthode du courant moyen qui est la plus rigoureuse pour le calcul de l'énergie consommée et récupérée par la chaîne de motorisation et fournie par les panneaux solaires.

Remarque : pour une heure de course avec un « eLogger » paramétré à 20 Hz, le tableur choisi pour automatiser le calcul d'énergie doit pouvoir contenir $3600 \times 20 = 72\,000$ lignes.