

# MOTEUR SYNCHRONE À AIMANTS PERMANENTS - 2

v1

eBike

## 1 Donnée

Soit un moteur synchrone à aimants permanents utilisé dans le pédalier d'un VTAE (Vélo Tout Terrain à Assistance Electrique).

Nous prendrons l'exemple du moteur Bosch Performance Line CX (BDU374Y), dont certaines informations sont disponibles avec le lien ci-dessous, et équipé d'une batterie Powerpack 500.

<https://www.bosch-ebike.com/ch-fr/produits/performance-line-cx-bdu374y>

| Caractéristique                               | Bosch Performance Line CX |
|---|---------------------------|
| Niveau d'assistance max. (%)                  | 340 %                     |
| Couple maximal                                | 85 Nm                     |
| Poids du moteur                               | 2.9 kg                    |
| Puissance nominale                            | 250 W                     |
| Puissance maximale                            | 600 W                     |
| Puissance maximale à une cadence de 70 tr/min | 600W                      |
| Rapport de réduction (estimé)                 | 50 : 1                    |
| Résistance de phase (estimée)                 | 200 mΩ                    |
| Coefficient kt (estimé)                       | 4.5 Nm/A <sub>RMS</sub>   |

1. Que vaut le couple nominal (100% d'assistance) de ce moteur ?
2. Quel est le couple à la puissance maximale à la cadence de 70 tr/min ?
  - (a) quelle est donc la cadence minimale à la puissance maximale ?
3. En supposant une montée de 45 minutes à puissance et vitesse constantes, quel pourcentage de batterie est perdu en pertes Joules à différentes cadences comprises entre 50 et 100 tr/min.
  - (a) à une puissance de 250 W
  - (b) à une puissance de 500 W

## 2 Corrigé

### 1. Couple nominal (100% d'assistance) de ce moteur

Le niveau d'assistance max donné dans le tableau sous entend que c'est en pourcentage du couple max.

$$T_{max} = 85 \text{ Nm} \quad (1)$$

$$T_n = \frac{T_{max}}{3.4} = 25 \text{ Nm} \quad (2)$$

Les couples ci-dessus sont donnés côté pédalier. Sachant que le rapport de réduction est de 50, le couple nominal délivré par ce moteur vaut :

$$T_{nMoteur} = \frac{T_n}{\text{Rapport de reduction}} = 0.5 \text{ Nm} \quad (3)$$

### 2. Couple à la puissance maximale à la cadence de 70 tr/min

Les informations données sur le moteur précisent que la puissance maximale de 600 W est atteignable à la cadence limite de 70 tr/min. Ceci sous entend qu'en dessous de cette cadence le couple demandé n'est pas délivrable et que donc la puissance max de 600 W ne peut pas être délivrée.

$$T_{70 \text{ tr/min}} = \frac{P_{max}}{\text{Cadence [tr/min]} \frac{2\pi}{60}} = 81.85 \text{ Nm} \quad (4)$$

#### 2.a Cadence minimale à la puissance maximale

La valeur ci-dessus ne correspond pas aux 85 Nm donnés dans le tableau.

La cadence minimale à laquelle le moteur peut délivrer sa puissance maximale vaut :

$$\text{Cadence}_{min \text{ pour } P_{max}} = \frac{P_{max}}{T_{max}} \frac{60}{2\pi} = 67.4 \text{ tr/min} \quad (5)$$

### 3. Pourcentage de batterie perdu en pertes Joules

On suppose donc ici que le/la cycliste fait une montée de 45 minutes à puissance constante d'assistance (et à vitesse constante) et nous allons comparer les pertes Joules pour différentes cadences de pédalage.

$$\text{Durée} = 45 [\text{min}] = 0.75 [h] \quad (6)$$

Les différentes cadences prises en compte valent :

$$\text{Cadences} = \begin{bmatrix} 50 \\ 60 \\ 70 \\ 80 \\ 90 \\ 100 \end{bmatrix} \text{ tr/min} \quad (7)$$

**3.a**  $P = 250 \text{ W}$

Le couple vaut :

$$T = \frac{P}{\text{Cadences} \frac{2\pi}{60}} = \begin{bmatrix} 47.75 \\ 39.79 \\ 34.1 \\ 29.85 \\ 26.53 \\ 23.87 \end{bmatrix} \text{ Nm} \quad (8)$$

Le coefficient  $k_t$  donné dans le tableau fait le lien entre le courant de phase efficace et le couple généré, ainsi nous avons : le couple vaut :

$$I_s = \frac{T}{k_t} = \begin{bmatrix} 10.61 \\ 8.84 \\ 7.58 \\ 6.63 \\ 5.89 \\ 5.31 \end{bmatrix} \text{ A} \quad (9)$$

La résistance statorique vaut  $R_s = 200 \text{ m}\Omega$  et les pertes Joules valent :

$$P_j = 3 R_s I_s^2 = \begin{bmatrix} 67.55 \\ 46.91 \\ 34.46 \\ 26.39 \\ 20.85 \\ 16.89 \end{bmatrix} \text{ W} \quad (10)$$

L'énergie correspondante pour le temps de montée vaut :

$$E_j = P_j \cdot \text{Durée} = \begin{bmatrix} 50.66 \\ 35.18 \\ 25.85 \\ 19.79 \\ 15.64 \\ 12.67 \end{bmatrix} \text{ Wh} \quad (11)$$

La batterie a une capacité de  $500 \text{ Wh}$ , le pourcentage de batterie perdu vaut donc :

$$\text{Pourcentage} = 100 \frac{E_j}{E_{\text{batterie}}} = \begin{bmatrix} 10.1 \\ 7.04 \\ 5.17 \\ 3.96 \\ 3.13 \\ 2.53 \end{bmatrix} \% \quad (12)$$

Pour un/une cycliste pédalant à une cadence de  $50 \text{ tr/min}$  ou de  $85 \text{ tr/min}$  l'écart est de 6.2% entre les 2 cas.

**3.b**  $P = 500\text{ W}$ 

Pour le cas  $b$  avec une puissance de  $500\text{ W}$  nous obtenons :

$$Pourcentage = \begin{bmatrix} 40.53 \\ 28.14 \\ 20.68 \\ 15.83 \\ 12.51 \\ 10.13 \end{bmatrix} \% \quad (13)$$

L'écart entre une cadence de  $50\text{ tr/min}$  ou de  $85\text{ tr/min}$  vaut alors 25.7%.