Cours4:Le Cahier des Charges d'un Entraînement Électrique

Auteur : GHLAM Karima
Institution : Université Des sciences et Technologies Mohamed Boudiaf-USTO-Oran

2-ETI-CSE-2026–2027

Introduction

Le cahier des charges est le document le plus important pour un ingénieur. C'est notre point de départ. Il traduit le besoin de la machine (la charge) en spécifications techniques pour l'entraînement électrique (moteur, transmission, etc.). Un bon cahier des charges évite le **sur-dimensionnement** (coût élevé, mauvais rendement) et le **sous-dimensionnement** (risque de casse).

Exemple

Un ascenseur surdimensionné coûtera cher et consommera trop ; sous-dimensionné, il ne pourra pas monter la charge prévue ou cassera prématurément.

1 Partie 1 : Les Données de Base

Ce sont les informations minimales et indispensables pour commencer à réfléchir.

1. **Le Couple Nominal (M_N) :** C'est l'effort de "torsion" que le moteur doit fournir en fonctionnement normal et continu, sans surchauffe. C'est la base du dimensionnement.

   Exemple

   Un moteur de tapis roulant doit fournir un couple de 50 Nm pour transporter une charge de 100 kg à vitesse constante.

2. **La Vitesse Nominale (Ω_N) :** La vitesse de rotation souhaitée pour le fonctionnement normal.

   Exemple

   Le moteur du tapis roulant doit tourner à 1500 tr/min pour que le tapis avance à $1,5$ m/s.

3. **Le Couple de Démarrage (M_d) :** L'effort supplémentaire nécessaire pour vaincre l'inertie et les frottements au démarrage. Il est souvent plus élevé que le couple nominal.

Exemple

Au démarrage, le tapis roulant est chargé de 100 kg. Il faut un couple de 80 Nm pendant 2 s pour le mettre en mouvement.

4. **L'Alimentation (U_N) :** La tension et le type de source électrique disponible (réseau 400 V triphasé, batterie 24 V continu, etc.).

Exemple

Le moteur du tapis est alimenté par le réseau industriel 400 V triphasé 50 Hz.

Point clé à retenir

La puissance nominale (P_N) se déduit simplement de ces deux grandeurs :

$$P_N = M_N \cdot \Omega_N$$

avec M_N en Newton-mètre [Nm] et Ω_N en radian par seconde [rad/s].
Exemple :

$$P_N = 50\,\text{Nm} \times \left(1500 \times \frac{2\pi}{60}\right)\text{rad/s} \approx 7854\,\text{W} \approx 7,85\,\text{kW}.$$

2 Partie 2 : Les Caractéristiques de Réglage (Le Comportement Souhaité)

Cette partie décrit comment l'entraînement doit se comporter pendant son utilisation.

1. **La Plage de Vitesse :** Entre quelles vitesses minimale (Ω_{min}) et maximale (Ω_{max}) le système doit-il fonctionner ?

Exemple

Un ventilateur d'extraction doit pouvoir varier de 300 tr/min (faible débit) à 1800 tr/min (plein débit).

2. **La Précision de Vitesse :** Est-ce que la vitesse doit être très stable ou peut-elle varier légèrement ? On la définit par un pourcentage d'erreur :

$$p = \frac{\Delta\Omega}{\Omega_N}$$

Exemple

Pour une machine à imprimer du textile, la vitesse doit être maintenue à $\pm 1\%$ près pour éviter les défauts d'impression.

3. **Le Taux d'Oscillation :** La vitesse est-elle "lisse" ou a-t-elle des à-coups (oscillations) ? $\frac{\Delta\Omega}{\Omega_N}$.

Exemple

Une machine à laver en essorage ne doit pas avoir d'oscillations de vitesse supérieures à 5%, sinon le tambour vibre excessivement.

4. **La Résolution (pour le positionnement) :** Si le moteur doit s'arrêter à des positions précises, quelle est la plus petite position qu'il peut atteindre ?

Exemple

Un moteur pas à pas pour une imprimante 3D a une résolution de 200 pas/tour, soit un angle de $1,8°$ par pas. La tête d'impression peut donc se positionner avec une précision de $0,1$ mm.

5. **La Précision de Positionnement :** Lorsqu'on demande une position, à quelle distance (en % du pas) le système peut-il s'arrêter ?

Exemple

Un robot de soudure doit positionner son bras à $\pm 0,05$ mm de la position programmée.

6. **Le Couple-Vitesse :** On a souvent besoin d'un couple plus important à basse vitesse qu'à haute vitesse. Il faut donc définir la courbe $M(\Omega)$ en charge.

Exemple

Un treuil doit fournir un couple de 200 Nm à basse vitesse (0 à 50 tr/min) pour lever une charge lourde, mais seulement 50 Nm à haute vitesse (100 tr/min) pour déplacer la charge à vide.

3 Partie 3 : Les Caractéristiques de Démarrage et de Freinage (Les Moments Critiques)

C'est souvent ici que se joue le dimensionnement du moteur et de son alimentation (le convertisseur).

1. **Le Couple Résistant au Démarrage ($M_{d,\text{résistant}}$) :** Quelle est la force que la charge oppose au démarrage ?

Exemple

Une pompe centrifuge pleine d'eau demande un couple de 120 Nm pour démarrer, alors qu'en régime normal elle n'a besoin que de 60 Nm.

2. **L'Inertie de la Charge (J_e ou m_e) :** C'est la résistance de la charge à changer de vitesse.
   - Pour une rotation, c'est le moment d'inertie J_e (en $\text{kg} \cdot \text{m}^2$).
   - Pour une translation, c'est la masse m_e (en kg).

Exemple

Un volant d'inertie de $50\,\mathrm{kg}\cdot\mathrm{m}^2$ sur une presse mécanique. Plus l'inertie est grande, plus le moteur doit fournir d'énergie pour accélérer.

3. **La Fréquence des Démarrages :** Combien de fois par heure le moteur va-t-il démarrer ? Cela influence fortement son échauffement.

Exemple

Un monte-charge dans un entrepôt fait 30 démarrages par heure. Le moteur doit être dimensionné pour supporter cet échauffement répété.

4. **Le Temps de Démarrage Maximal ($T_{d,max}$) :** Le démarrage doit-il être rapide ou peut-il être lent ?

Exemple

Une centrifugeuse industrielle doit atteindre sa vitesse nominale de $3000\,\mathrm{tr/min}$ en moins de $60\,\mathrm{s}$ pour respecter le cycle de production.

5. **Le Freinage :** Faut-il un freinage actif (rapide) ou un simple arrêt en roue libre (lent) ? Peut-on récupérer l'énergie lors du freinage ?

Exemple

Un ascenseur doit freiner activement et récupérer l'énergie potentielle de la cabine pour la renvoyer au réseau. Un convoyeur peut s'arrêter en roue libre.

4 Partie 4 : Les Caractéristiques Transitoires (Le Cycle de Travail)

Pour les systèmes qui fonctionnent par cycles (ex : un robot qui fait toujours la même séquence).

- **Définition :** On décrit le cycle type par un graphique.
  - Vitesse en fonction du temps : $\Omega(t)$
  - Couple résistant en fonction du temps : $M_r(t)$
- **Paramètres clés :**
  - Durée du cycle (T_c)
  - Durée des temps morts (T_m)
  - **Taux d'utilisation :**

$$\tau_{ut} = \frac{\text{Temps de travail}}{\text{Durée totale du cycle}} \times 100$$

Exemple

Un robot de soudure fait un cycle de $30\,\mathrm{s}$: $20\,\mathrm{s}$ de soudure (travail) et $10\,\mathrm{s}$ d'attente (temps mort). Son taux d'utilisation est de $20/30 \times 100 = 67\%$.

5 Partie 5 : L'Aspect Thermique (La Contrainte Physique)

Le moteur chauffe à cause des pertes (effet Joule). S'il chauffe trop, il casse. Il faut donc définir comment il est refroidi.

— **Type de refroidissement :** Convection naturelle (l'air autour), forcée (un ventilateur), échangeur air-eau, etc.

Exemple

Un petit moteur de $0,5\,\text{kW}$ dans un appareil ménager est refroidi par convection naturelle. Un moteur de $100\,\text{kW}$ dans une usine est refroidi par un ventilateur externe ou un échangeur air-eau.

— **Température ambiante maximale (T_{amb}) :** En général, on prend 40°C comme référence. Si la machine est dans un four, cela change tout !

Exemple

Un moteur dans une cimenterie peut être exposé à 60°C ambiant. Il faut alors choisir une isolation de classe H (180°C) au lieu de la classe F (155°C).

— **Classe d'isolation :** C'est la température maximale que l'isolant des fils du moteur peut supporter.

Exemple

Classe F = 155°C, classe H = 180°C. Un moteur de classe F dans un environnement à 60°C verra sa durée de vie réduite de moitié par rapport à un environnement à 40°C.

6 Partie 6 : Les Contraintes et l'Économie

Ce sont les limites "non-techniques" mais cruciales pour le projet.

— **Contraintes géométriques :** Le moteur doit-il tenir dans un espace de $20 \times 20 \times 30\,\text{cm}$? Avoir une masse inférieure à $10\,\text{kg}$?

Exemple

Un moteur pour une prothèse de main doit tenir dans un volume de $5 \times 5 \times 10\,\text{cm}$ et peser moins de $300\,\text{g}$.

— **Contraintes d'environnement :** Atmosphère explosive (ATEX), corrosion, humidité, bruit.

Exemple

Un moteur dans une raffinerie de pétrole doit être certifié ATEX (anti-explosion) car des vapeurs inflammables sont présentes.

— **Aspects économiques :** Quel est le budget ? Quelles sont les quantités à produire ? Quels sont les délais ?

Exemple

Pour un appareil électroménager produit à 100 000 exemplaires par an, chaque euro économisé sur le moteur représente 100 000 € d'économie annuelle.

Point clé à retenir

Un cahier des charges complet est la garantie d'un projet réussi. Il nous force à bien comprendre le processus de la machine avant de choisir le moindre composant. C'est la feuille de route pour le dimensionnement optimal et économe en énergie.
Exemple concret : Un cahier des charges bien rédigé pour une pompe de circulation de chauffage a permis de remplacer une pompe de 130 W par une pompe de 60 W, économisant 360 kWh/an par installation !