

Motor Systems Tool (MST)

Les cinq principaux points d'optimisation du système

1. Dimensionner l'installation correctement, en fonction du besoin
2. Optimiser les heures de service
3. Utiliser des composants efficaces et contemporains
4. Exploiter l'installation avec une régulation de la charge - aucun étrangleur, ni aucune dérivation
5. Monitoring énergétique - surveiller et interpréter la consommation

Téléchargement gratuit: www.topmotors.ch/tools

Objectif et public cible

La fiche technique Topmotors N° 28 traite de l'analyse systématique de systèmes d'entraînement industriels efficaces à l'aide de la nouvelle version de l'outil Motor Systems Tool (MST). Le MST offre aux intéressés (utilisateurs, planificateurs, installateurs, conseillers en énergie, etc.) la possibilité d'adapter différents systèmes d'entraînement les uns aux autres, y compris leurs puissances et rendements, et de représenter graphiquement le résultat. Il contient une base de données complète de moteurs normalisés, d'applications (ventilateurs, pompes etc.) ainsi que de transmissions sous forme d'engrenages et de courroies. Les données contenues dans la base de données permettent de représenter de manière fiable et détaillée des systèmes d'entraînement complexes ne disposant que de peu de données. Les modifications sur le système d'entraînement sont immédiatement visibles et leurs effets sur l'efficacité de différents composants, le rendement global ainsi que la consommation d'énergie sont calculés, tout comme les coûts de l'énergie qui en résultent. Le MST permet de définir jusqu'à 12 points de fonctionnement différents, afin de simuler une courbe annuelle la plus réaliste possible avec différents états de service.

Bases

La moitié de la consommation électrique mondiale incombe aux systèmes d'entraînement électriques. Ce n'est que si tous les composants d'un système d'entraînement sont adaptés de façon optimale les uns aux autres qu'un rendement global idéal peut être atteint. En d'autres termes, les composants d'une installation sont dimensionnés en fonction du point d'exploitation et du besoin du processus.

Les principaux composants d'une unité d'entraînement sont les suivants (voir l'illustration 2: Unité d'entraînement):

- Le moteur électrique
- Le convertisseur de fréquence
- Les éléments mécaniques (engrenages, courroies, freins, embrayages, étrangleurs etc.)
- La machine de travail entraînée (pompe, ventilateur, compresseur, convoyeur, ascenseur, machine de processus etc.)

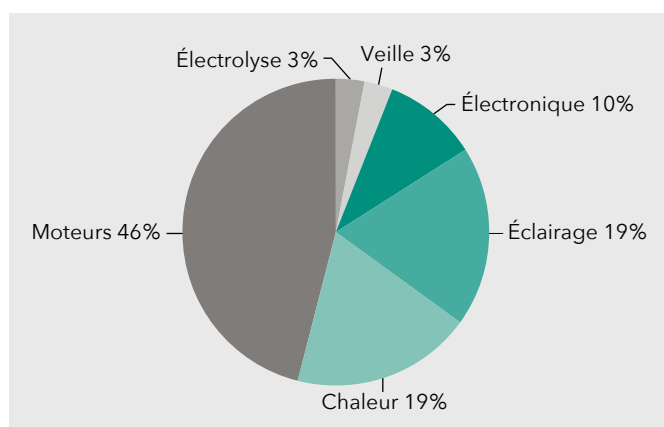


Illustration 1: Part des principales applications sur la consommation d'électricité mondiale totale. Source: Paul Waide & Conrad U. Brunner, et al., IEA Energy Efficiency Series, Working Paper, 2011

Pour le dimensionnement correct de tous les éléments et la prise en compte de tous les états de service pertinents, le MST est un outil important qui, par une analyse systématique, calcule les déperditions des différents composants et indique automatiquement le rendement total du système. Cela permet de déterminer facilement la consommation d'énergie annuelle au moyen de points de fonctionnement sélectionnés.

Rendements des différents composants

Moteurs

Les rendements des moteurs électriques à la puissance nominale sont répartis dans quatre classes de rendement conformément à la nouvelle norme CEI 60034-30-1 (2014):

- IE4 Rendement super-premium
- IE3 Rendement premium
- IE2 Rendement élevé (auparavant Eff1)
- IE1 Rendement standard (auparavant Eff2)

Le rendement total est la somme de tous les rendements individuels. C'est pourquoi il est important que chaque composant présente un bon rendement et soit exploité au point de fonctionnement adéquat.

Convertisseur de fréquence (CF)

En fonctionnement nominal, à un couple de 100% et un régime de 100%, le rendement des convertisseurs de fréquence est relativement élevé. Les valeurs précises du rendement d'un CF dépendent de la façon dont est conçu le CF. En outre, des facteurs tels que la cadence et le point de fonctionnement ont une influence sur le rendement. En tant que grandeur estimative, on peut supposer que le convertisseur de fréquence possède des pertes

aussi élevées que le moteur. Vous trouverez d'autres informations sur les convertisseurs de fréquence dans la fiche technique Topmotors n° 25: Convertisseurs de fréquence (www.topmotors.ch/merkblaetter).

Engrenages

Les rendements des engrenages varient selon leur structure mécanique. C'est pourquoi il n'est que difficilement possible de faire des affirmations universelles sur le rendement. Le Motor Systems Tool est ici un outil précieux, qui détermine, à l'aide de données de l'engrenage telles que la forme, le couple et le régime, le rendement associé, et ce pour les engrenages à vis sans fin, à pignon conique et à pignon droit, et calcule de manière fiable toutes les forces et déperditions en jeu.

Courroies

Dans le cas des courroies de transmission également, il existe des différences importantes de structure, de forme et de matériaux. On a donc une multitude de différents types de courroies avec différents rendements. Le Motor Systems Tool est également un outil précieux dans ce domaine car il met à disposition, dans sa base de données, une pluralité de types et de variantes de courroies. Cela permet d'accéder à toutes les puissances, rendements et pertes souhaités dans la base de données, avec seulement quelques informations.

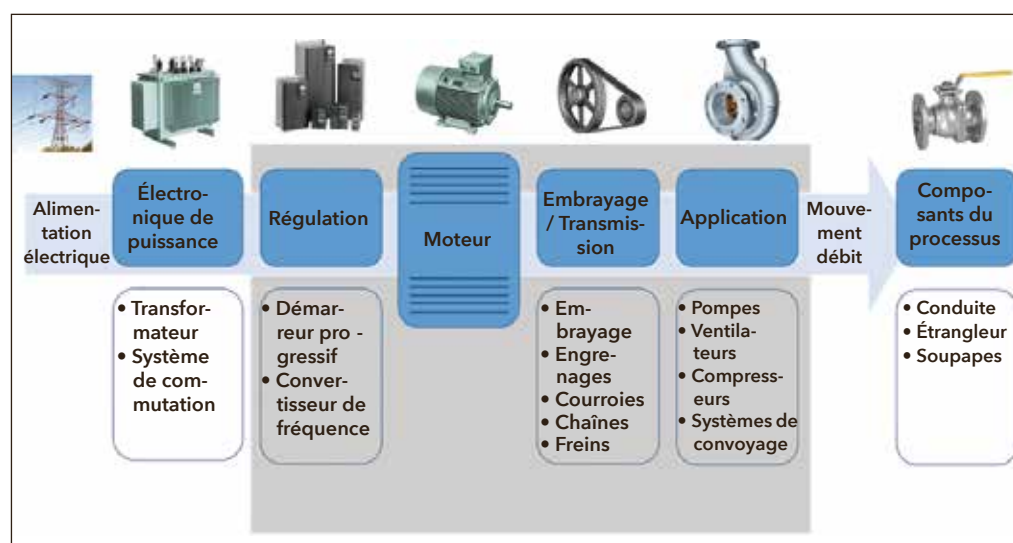


Illustration 2: Unité d'entraînement

Motor Systems Tool

Le Danish Technological Institute (www.dti.dk) a publié le Motor Systems Tool en 2011. Il s'agit du seul outil logiciel gratuit et libre destiné à l'enregistrement systématique et à l'évaluation des systèmes d'entraînement électriques du marché. Depuis sa publication, l'outil et la base de données associée n'ont cessé de croître. Depuis 2017, une version en langue française est disponible, en plus des versions en langue anglaise et danoise.

Le choix de versions linguistiques est ainsi bien plus important, et les bases de données de produit associées ont en outre été adaptées aux normes CEI (CEI 60034-30-1 et CEI 61800-9-2) et ont été une fois encore énormément élargies. La version actuelle du MST contient aujourd'hui les composants suivants, y c. les données associées:

Moteur

- Moteur standard
- Moteur à aimants permanents
- Moteur à réluctance synchrone
- Moteur CEI-61800-9-2
- Méthode de raccordement
 - Directement sur le réseau
 - Démarreur progressif
 - Convertisseur de fréquence

Transmission

- Courroies
 - Courroie trapézoïdale
 - Courroie trapézoïdale dentée
 - Courroie à nervures cunéiformes
 - Courroie dentée
 - Courroie plate
- Engrenages
 - Engrenage à vis sans fin
 - Engrenage à pignon conique
 - Engrenage à pignon droit

Application (machine de travail)

- Ventilateur
- Pompe à eau
- Pompe hydraulique
- Air comprimé
- Compresseur frigorifique
- Autres applications

Le Motor Systems Tool peut calculer les grandeurs importantes telles que la puissance, le régime et le couple sur 4 points sélectionnés du système d'entraînement:

- P1 - Puissance absorbée par le moteur
- P2 - Puissance à l'arbre du moteur
- P3 - Puissance absorbée par la charge
- P4 - Puissance de sortie de la charge

Le MST est approprié à tous les cas d'application des unités d'entraînement. Dans ce qui suit, le chemin de l'entrée vers la sortie est illustré à titre d'exemple à l'aide d'une installation de ventilation. Vous trouverez un mode d'emploi détaillé du MST sous:

www.motorsystems.org/motor-systems-tool

Exemple d'application 1: Installation de ventilation

Cet exemple d'application décrit l'optimisation d'une installation de ventilation existante, qui fournit la même pression et la même quantité d'air avant et après l'optimisation. Dans cet exemple, l'installation est à débit volumique variable. Cet exemple montre toutefois uniquement l'optimisation du système dans un point de fonctionnement: le point de fonctionnement maximal.

Outre le ventilateur, le système d'entraînement contient également une transmission, un moteur et un convertisseur de fréquence pour la régulation de charge.

État réel

Ventilateur

On a mesuré que le ventilateur (avec des aubes courbées vers l'arrière) fournit, pour une augmentation de pression totale de Δp_t : 2200 Pa une quantité de refoulement q_v de 4.0 m³/s. Ces informations permettent de calculer la puissance pneumatique (P4):

$$P_4 = q_v \cdot \Delta p_t = 8,8 \text{ kW.}$$

Le diagramme permet de voir que le ventilateur présente, dans ce point de fonctionnement, un rendement de 84%. On peut en outre lire que le ventilateur tourne à environ 1840 tr/min pour fournir la quantité d'air mesurée à la pression définie.

Ces informations seront ensuite saisies dans MST et prises en compte dans les calculs.

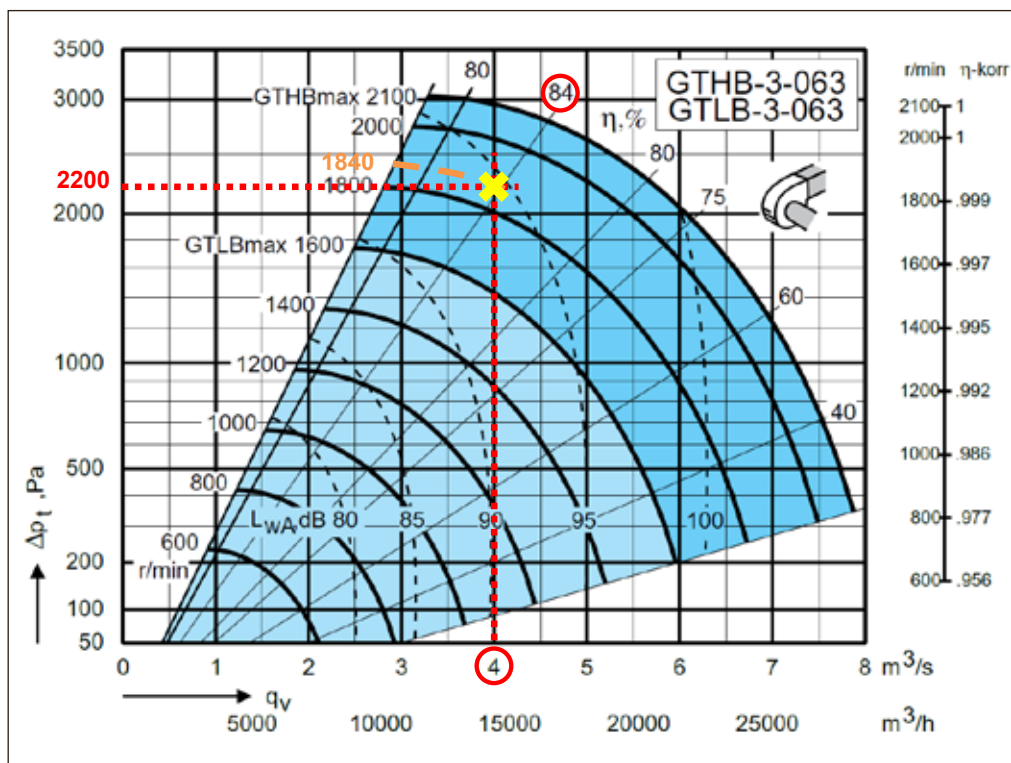


Illustration 3: Courbes de fonctionnement du ventilateur «Centrimaster GT3»

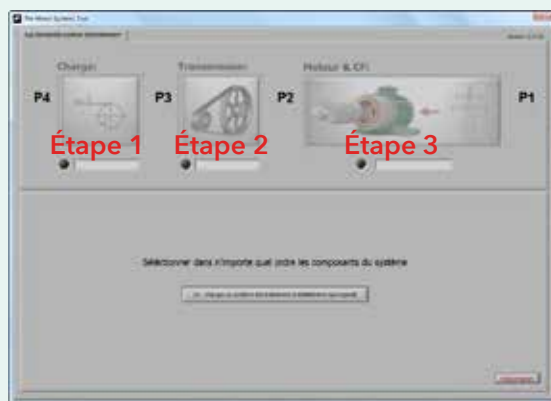
https://oelandonline.dk/docs/Arkiv/GTLB_3_630_teknData_EN.pdf

Après le lancement du Motor Systems Tool, l'écran de démarrage apparaît avec les 3 composants du système d'entraînement. Dans cet exemple, vous serez guidé pas à pas dans la réalisation d'un système d'entraînement.

Étape 1: Charge

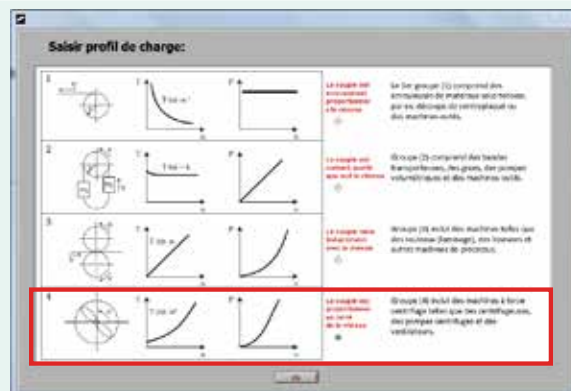
Étape 2: Transmission

Étape 3: Moteur & CF



Étape 1: Sélectionner le profil de charge

En premier lieu, on sélectionne le type de charge. Dans cet exemple d'installation de ventilation, il s'agit d'une application avec une caractéristique quadratique selon le «Profil de charge 4: le couple est proportionnel au carré du régime».



Étape 2: Transmission

Dans cet exemple, on utilise une transmission sous forme de courroies. Réglez la transmission conformément à l'illustration et confirmez votre saisie via le bouton OK en bas.

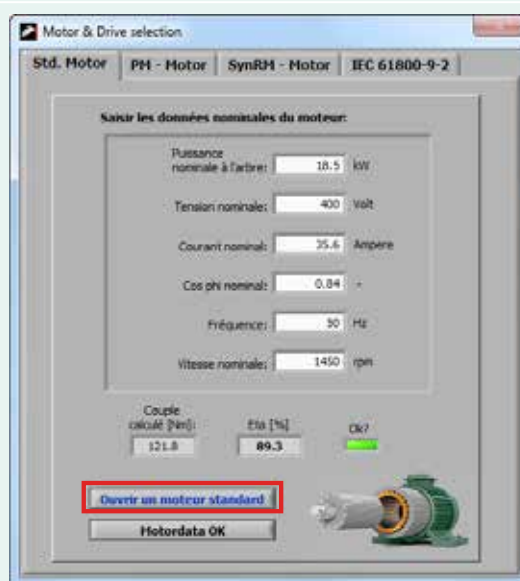
P.S.: L'intitulé «Vitesse de courroie [tr/min]: 1840» désigne le régime (selon diagramme) du ventilateur.



Étape 3: Moteur & CF

Dans l'exemple actuel, on utilise un moteur dont la plaque signalétique n'est plus lisible. On sait seulement qu'il s'agit d'un moteur asynchrone de 18,5 kW à 4 pôles. Étant donné que toutes les autres informations sont manquantes, on suppose qu'il s'agit d'un moteur IE1.

Cliquez sur le bouton «Ouvrir un moteur std» pour sélectionner un moteur adéquat dans la base de données.

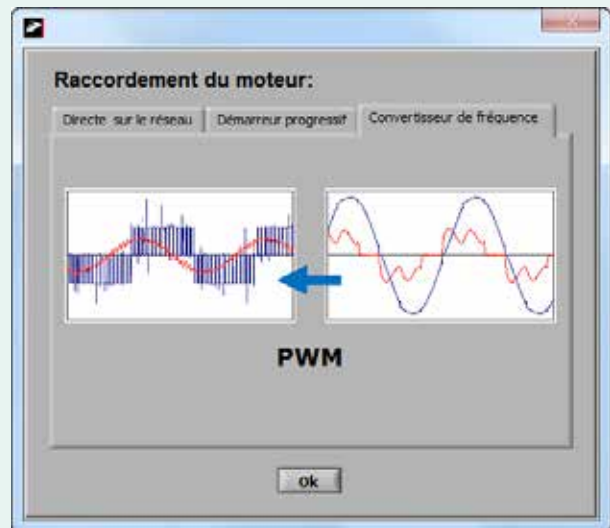


Étape 3.1: Méthode de raccordement du moteur

Après avoir confirmé la sélection du moteur par «Données moteur OK», la sélection de la méthode de raccordement du moteur apparaît. Vous pouvez ici choisir entre les 3 méthodes de raccordement suivantes:

1. Directement au réseau (Direct On Line (DOL))
2. Démarreur progressif (Softstarter)
3. Convertisseur de fréquence (CF)

Dans cet exemple, il s'agit d'une installation avec débit volumique variable au moyen d'un convertisseur de fréquence.



Étape 3.2: Puissance absorbée au point de fonctionnement connu

Après avoir cliqué sur le bouton OK, la fenêtre représentée s'ouvre: l'outil a besoin d'un point connu pour le calcul de tous les autres points. Dans ce cas, nous connaissons le point P4 avec la valeur calculée de 8,8kW («État réel»). En outre, nous connaissons le régime requis du ventilateur de 1840 tr/min. Toutes les entrées requises ont ainsi été effectuées et le calcul s'effectue en cliquant sur le bouton OK.



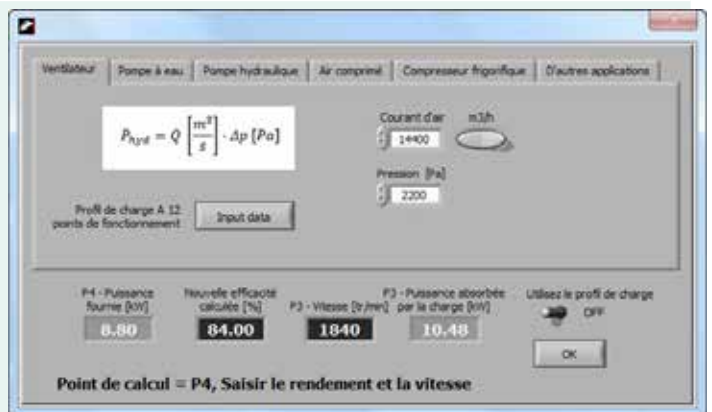
Sans autres indications, le MST calcule un rendement du ventilateur de 65%. Cette information peut être précisée en cliquant sur «Saisie d'un point de fonctionnement connu».

Étape 4: Saisie d'un point de fonctionnement connu

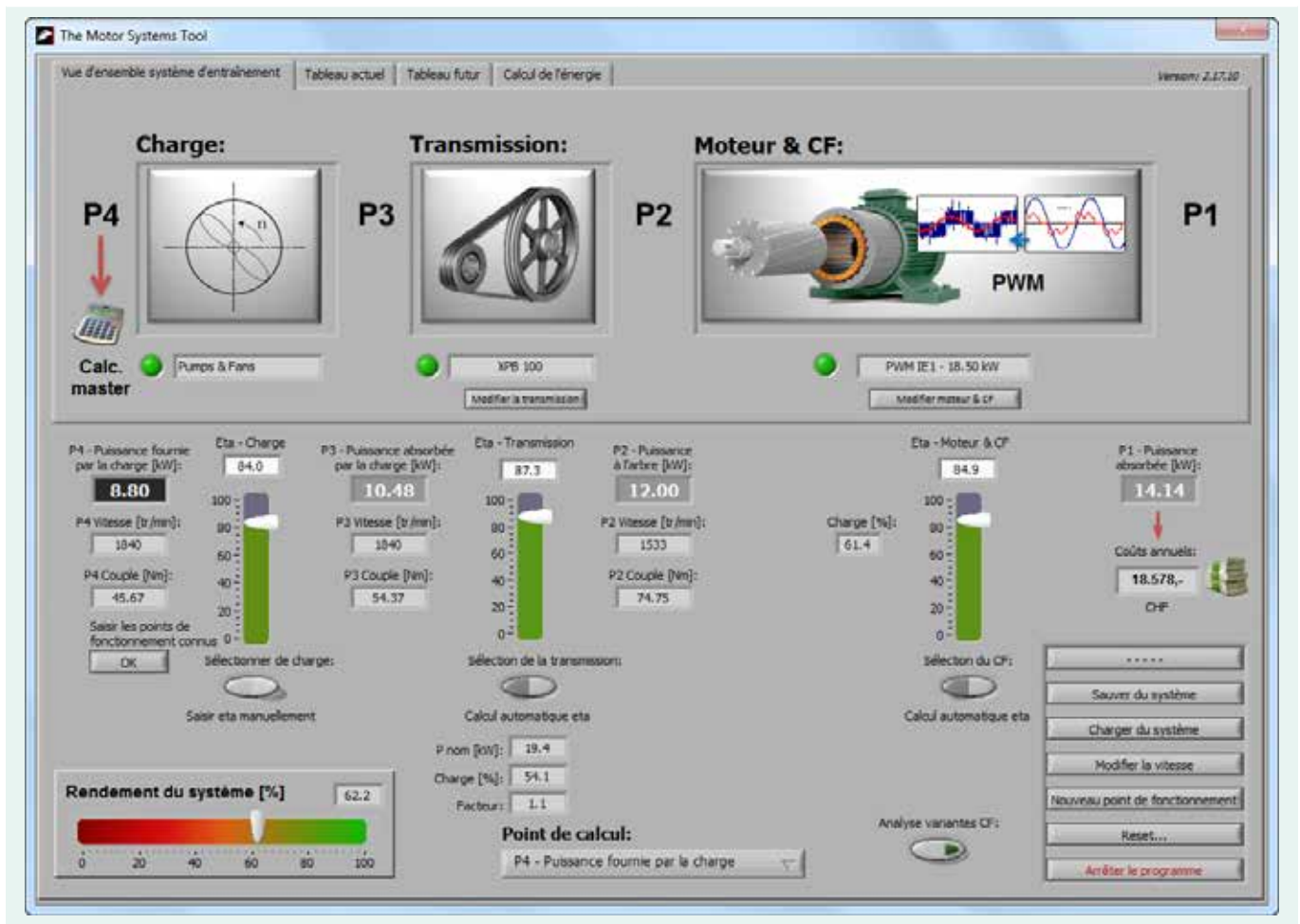
Dans cette étape, on saisit dans l'outil les informations disponibles au début sur l'installation de ventilation.

- Débit d'air: 14 400 m³/h
- Pression: 2200 Pa
- Nouveau rendement calculé: 84%

À présent, l'état réel du système d'entraînement est entièrement enregistré.



L'illustration 4 montre le résultat de l'état réel du système d'entraînement.



On voit clairement que les rendements individuels de la charge, de la transmission et du moteur avec CF se situent dans la plage de 84,0 à 87,3%, mais que le rendement du système, de 62,2%, est nettement inférieur.

Le rendement du système est la somme des rendements individuels:

$$\eta_{\text{Système}} = \eta_{\text{Charge}} \cdot \eta_{\text{Transmission}} \cdot \eta_{\text{Moteur \& CF}}$$

$$\eta_{\text{Système}} = 84.0\% \cdot 87.3\% \cdot 84.9\% = 62.2\%$$

Le Motor Systems Tool permet désormais de modifier des composants ou des états de fonctionnement. Les effets des modifications sur les puissances, les rendements et les régimes sont immédiatement visibles.

Les «Coûts annuels» de l'électricité sont également calculés et l'on obtient ainsi des possibilités de comparaison simples pour différentes variantes et optimisations. Cliquez sur le symbole de la monnaie pour régler à votre convenance les heures de service par an, le prix au kWh ainsi que la devise.

État de consigne

Si l'on considère de plus près la représentation de l'actuel système d'entraînement, on remarque que la transmission (courroies) présente un rendement relativement mauvais, de 87,3%. Cela provient du faible diamètre des poulies, de 100 mm et 120 mm, qui provoque une forte courbure des courroies (petit rayon), et ainsi des pertes relativement importantes.

Le rendement du moteur avec CF, de 84,9%, est, dans sa configuration actuelle, également relativement faible. Cela est dû au fait que d'une part, on utilise un vieux moteur IE1 avec un rendement relativement mauvais, et d'autre part, le facteur de charge de 61,4% n'est pas optimal. En effet, le rendement effectif des moteurs électriques baisse lorsque la charge diminue. D'après la définition de Topmotors, les moteurs dotés d'un facteur de charge permanent inférieur à 60% sont surdimensionnés et engendrent des coûts inutiles.

Pour améliorer le rendement total, on propose ainsi deux optimisations du système.

Adaptation de la transmission

Les anciennes poulies sont remplacées par des poulies plus grandes (plus grand diamètre) avec le même rapport de transmission (1:1.2). Cela réduit les pertes dues à la courbure et permet en outre de transmettre des forces plus importantes. En choisissant pour la transmission une poulie de 180 mm à la place des 100 mm précédents, on observe que cela permet de transmettre quasiment la même force avec une seule courroie contre 3 auparavant. La réduction du nombre de courroies présente également d'autres avantages. En effet, outre les pertes dues à la courbure dans la courroie, d'autres pertes sont générées lors de l'entrée et de la sortie de la courroie au niveau de la poulie. Moins de courroies réduisent nettement ces pertes.

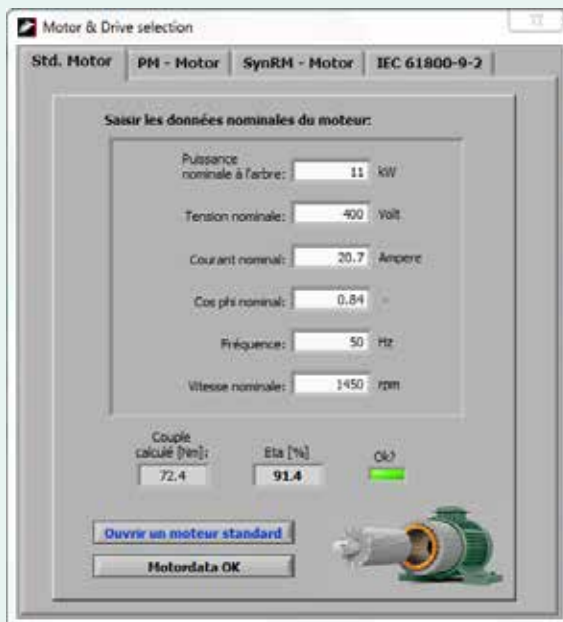


Adaptation du moteur avec CF

Le précédent moteur IE1 est remplacé par un moteur IE3 plus efficace. Le nouveau moteur IE3 fonctionne avec un rendement globalement plus élevé, de désormais 91,4% (contre 84,9% auparavant); le moteur affiche également des rendements constamment supérieurs en plage de charge partielle et améliore ainsi l'efficacité du système à chaque point de fonctionnement.

Pour améliorer le facteur de charge du nouveau moteur, la taille du moteur doit être parfaitement adaptée aux nouveaux besoins.

Grâce à la nouvelle transmission, le besoin requis au point «P2-Puissance à l'arbre du moteur», initialement de 12 kW, baisse à 10,84 kW. Ainsi, un moteur de 11 kW (c'est-à-dire avec 11 kW de puissance de sortie mécanique au niveau de l'arbre) est désormais suffisant pour faire fonctionner le système d'entraînement de façon sûre à tout moment.



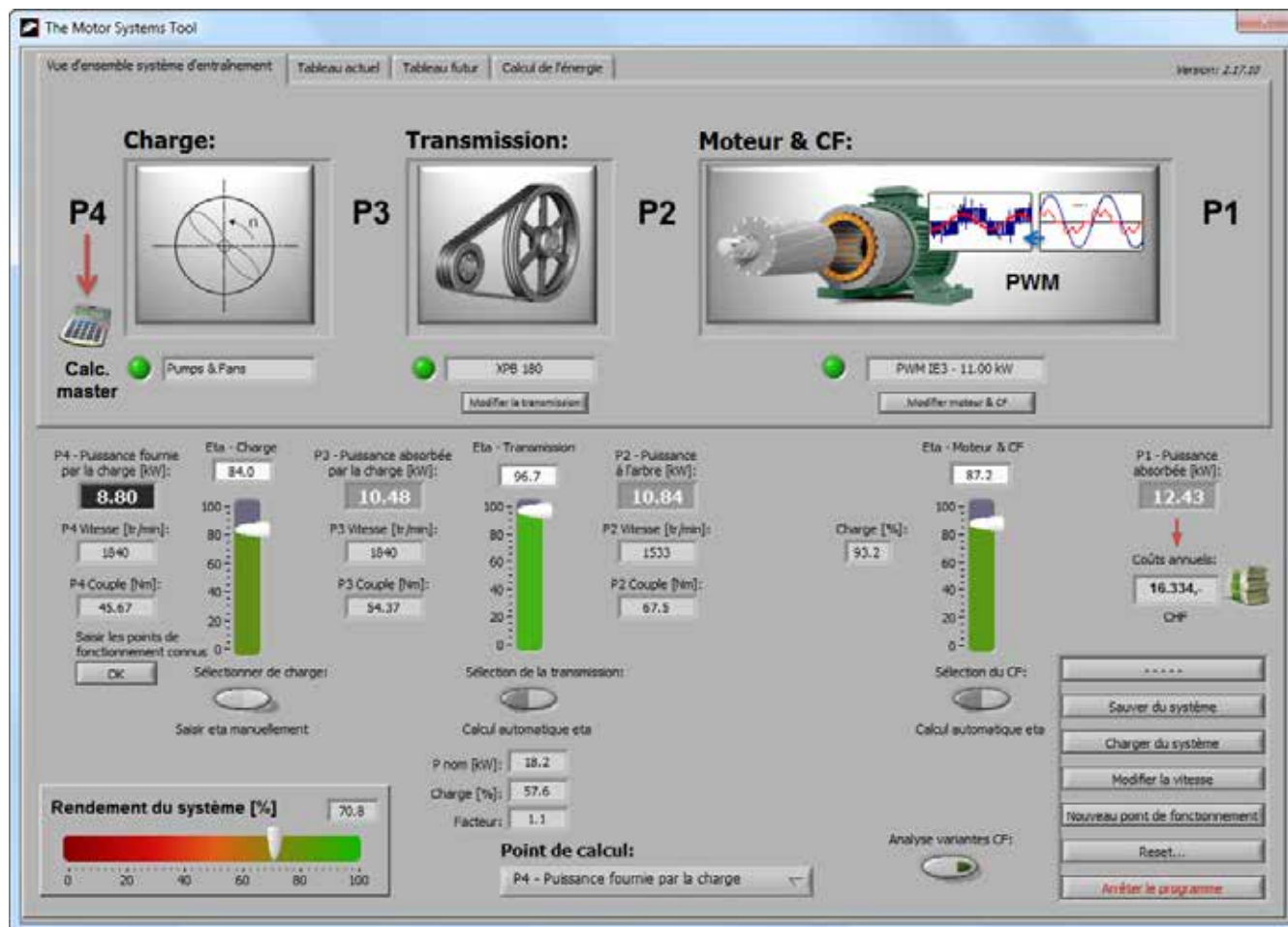


Illustration 5: État de consigne du système d'entraînement

Comparaison réel-consigne

		RÉEL	CONSIGNE	Différence
Point P4	Puissance	8.80 kW	8.80 kW	-
	Régime	1840 1/min	1840 1/min	-
	Couple	45.67 Nm	45.67 Nm	-
Point P3	Puissance	10.48 kW	10.48 kW	-
	Régime	1840 1/min	1840 1/min	-
	Couple	54.37 Nm	54.37 Nm	-
Point P2	Puissance	12.00 kW	10.84 kW	-1.16 kW
	Régime	1533 1/min	1533 1/min	-
	Couple	74.75 Nm	67.50 Nm	-7.25 Nm
Point P1	Puissance	14.14 kW	12.43 kW	-1.71 kW
	Coûts annuels	18578 CHF	16334 CHF	-2244 CHF (-12%)
		RÉEL	CONSIGNE	Différence
Rendements	Charge	84.0%	84%	-
	Transmission	87.3%	96.7%	+9.4%
	Moteur avec CF	84.9%	93.2%	+8.3%
Facteur de charge	Moteur avec CF	61.4%	70.8%	+9.4%

Bilan

L'analyse systématique est la meilleure approche pour obtenir des améliorations d'efficacité dans les systèmes d'entraînement électriques. Seuls des composants efficaces et une coopération bien coordonnée permettent d'atteindre de bons rendements du système. Comme illustré dans cet exemple, une simple adaptation de la transmission et un moteur plus efficace permettent aisément d'économiser 12 % des coûts de l'énergie annuels.

Un système d'entraînement efficace est plus fiable qu'un système inefficace. En outre, des déperditions sous forme de frottement ou de chaleur ont toujours des conséquences négatives sur la durée de vie.

Les résultats du calcul le montrent:

- Une courroie fortement courbée est structurellement davantage sollicitée qu'une courroie ayant un rayon de courbure plus important, d'où une usure plus rapide.
- De la même manière, des déperditions sous forme de chaleur ont des répercussions négatives sur la durée de vie, p. ex. des paliers.
- En outre, une chaleur excessive peut avoir un impact financier important si, par exemple dans l'industrie agro-alimentaire, des pièces doivent être refroidies en permanence, exigeant pour cela beaucoup d'énergie.

Ces gains d'efficacité secondaires sont difficiles à estimer. Souvent, ce type d'économies est toutefois plus élevé que l'économie de l'énergie électrique dans le système d'entraînement lui-même.

Remarque de l'éditeur

La fiche Motor System Tool a été élaborée par Impact Energy dans le cadre du Programme de mise en œuvre pour des systèmes d'entraînement efficaces Topmotors. Elle a été réalisée par Conrad U. Brunner (iE), Petar Klingel (iE) et Rolf Tieben (iE). Relecture et conception graphique: Faktor Journalisten AG.

Les droits d'auteur du Motor Systems Tool et de tous les graphiques illustrés sont la propriété du Danish Technological Institute (www.dki.dk).

Normes et standards

- IEC 60034-30-1:2014 Machines électriques tournantes – Partie 30-1: classes de rendement pour les moteurs à courant alternatif alimentés par le réseau (code IE).
- IEC 61800-9-2:2017 Entraînements électriques de puissance à vitesse variable – Partie 9–2: Écoconception des entraînements électriques de puissance, des démarreurs de moteurs, de l'électronique de puissance et de leurs applications entraînées – Indicateurs d'efficacité énergétique pour les entraînements électriques de puissance et les démarreurs de moteurs.

Informations supplémentaires

Vous trouverez un mode d'emploi détaillé ainsi que la vidéo d'un webinaire sur le Motor Systems Tool sur: www.motorsystems.org/motor-systems-tool