

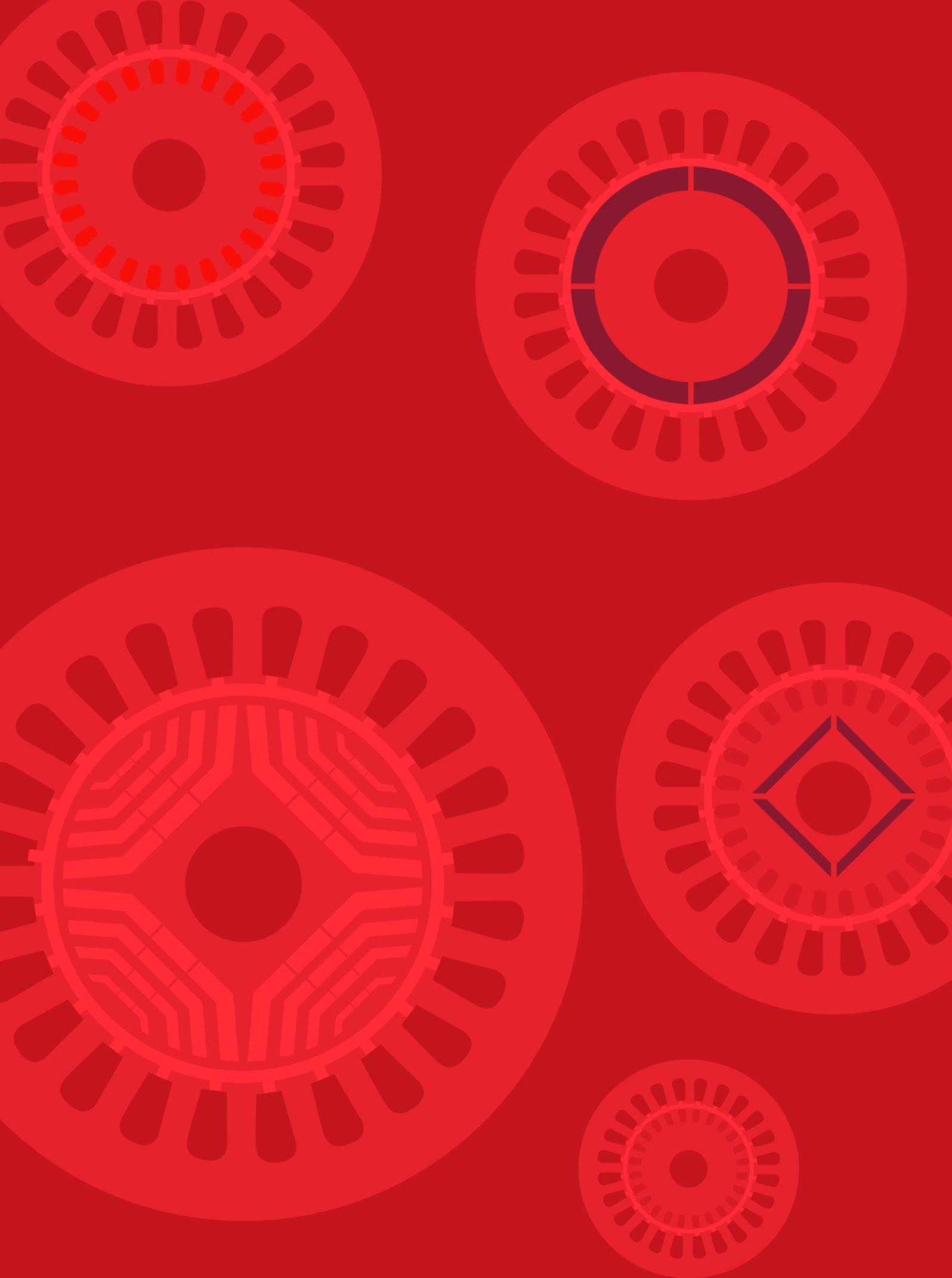
Technologies de moteur pour un **rendement supérieur** dans les applications

Vue d'ensemble des tendances et applications.



Liberté de choix

– Contrôlez un
large éventail de
types de moteur
avec un seul VLT®



Un variateur VLT® pour tous

Un flux constant de technologies innovantes pour les moteurs triphasés prétend atteindre un rendement supérieur en matière d'énergie dans les applications commerciales et industrielles. Cette brochure fournit une vue d'ensemble des technologies et de leurs applications, ainsi que les avantages et les inconvénients des solutions individuelles.

Les algorithmes adaptés maximisent le rendement du système

Les fabricants de moteurs ont recours à un large éventail de concepts pour doter les moteurs électriques d'un rendement supérieur dans les applications industrielles et commerciales. Bien que, dans une même classe, toutes les technologies de moteur offrent un rendement comparable au point de fonctionnement nominal, elles varient par bien des aspects comme le comportement au démarrage ou les caractéristiques à charge partielle. Pour les utilisateurs, l'impact principal du large éventail de technologies de moteur est le fait qu'ils doivent trouver la bonne technologie pour leur application en vue de réaliser un rendement maximal en matière d'énergie et les économies conséquentes.

En principe, presque tous les moteurs peuvent être commandés par des courbes de programme spécifiant la tension requise pour chaque vitesse ou fréquence (caractéristiques de tension contre caractéristiques de fréquence). Néanmoins, le rendement théorique de chaque technologie de moteur ne peut être obtenu en pratique que par des algorithmes de commande adaptés spécifiquement aux technologies en question sans quoi il ne serait pas possible d'optimiser le fonctionnement de chaque point de fonctionnement avec charge variable.

Faible diversité des systèmes dans l'installation

Presque toutes les technologies de moteur courantes décrites dans cette brochure requièrent un contrôleur électronique ou peuvent être entraînées par un contrôleur électronique. Cela soulève toutefois un problème : tous les moteurs peuvent-ils être exploités avec un seul type de contrôleur ? Faut de quoi, les utilisateurs et opérateurs risquent d'être obligés d'utiliser un système au paysage très hétérogène. En pratique, ceci représente des frais de formation supérieurs pour les concepteurs du système, les opérateurs et le personnel de maintenance. Les pièces détachées pour différents types d'équipements font également augmenter les coûts.

Pour les utilisateurs, il est par conséquent avantageux de pouvoir opérer tous types de moteurs avec un seul convertisseur de fréquence car il réduit considérablement les efforts et dépenses supplémentaires décrits précédemment. En tant que fabricant indépendant de variateurs de fréquence, Danfoss fournit une solution unique capable d'entraîner tous les moteurs standard utilisés couramment dans les applications automatiques industrielles et de construction.

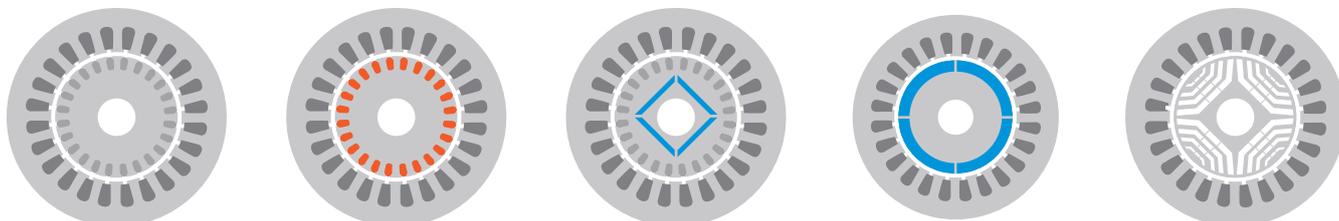
Les exploitants d'usine peuvent de cette manière utiliser la même interface de commande, les mêmes interfaces système, les mêmes extensions et une

technologie fiable éprouvée sur toute la plage de puissance. La gestion des pièces détachées et la maintenance sont simplifiées alors que les frais de formation sont réduits.

Une mise en service et des algorithmes faciles pour un rendement optimal

En tant que fabricant indépendant de solutions de variateurs, Danfoss s'est engagé à prendre en charge tous les types de moteurs généralement utilisés et d'encourager le développement continu.

Les variateurs de fréquence Danfoss offrent traditionnellement des algorithmes de contrôle pour un haut rendement avec des moteurs à induction standard et des moteurs à aimant permanent (PM). Ils prennent désormais en charge les moteurs à réductance synchrones en commençant par le VLT® AutomationDrive FC 302. Par ailleurs, le convertisseur de fréquence VLT® rend la mise en service aussi facile que pour les moteurs à induction standard en associant des fonctions supplémentaires utiles telles que l'adaptation automatique au moteur, laquelle mesure les caractéristiques du moteur et optimise les paramètres correspondants en conséquence. De cette façon, le moteur fonctionne toujours au rendement le plus élevé possible, permettant ainsi aux utilisateurs de réduire la consommation d'énergie et les coûts.



Les raisons qui justifient l'amélioration du rendement énergétique

L'appauvrissement des combustibles fossiles, le changement climatique et le réchauffement climatique ne sont que quelques-unes des raisons qui devraient pousser à réduire considérablement la consommation énergétique et qui ont des conséquences politiques. Par exemple, de nombreux pays dans le monde – et pas seulement dans l'UE – ont établi des classes de rendement obligatoires pour les moteurs électriques car ces derniers sont le lien entre l'approvisionnement en électricité et les processus mécaniques dans les secteurs industriel et commercial, ce qui représente une grande partie de la consommation d'énergie.

Deux tiers de la consommation industrielle totale provient des machines entraînées par moteurs

électriques. Une économie de 38 milliards de kilowattheures par an peut être réalisée rien qu'en Allemagne dans les secteurs industriel et commercial et les institutions publiques en remplaçant les entraînements existants depuis plus de dix ans par des technologies d'entraînement modernes. En étendant ceci au niveau européen, la consommation serait ainsi réduite jusqu'à 135 milliards de kilowattheures, soit un équivalent de 69 millions de tonnes en moins d'émission de CO₂ (source pour tous les chiffres : ZVEI, « Moteurs et variateurs »).

Les niveaux de rendement minimum des moteurs électriques sont indiqués dans l'UE par le règlement CE n° 640/2009. Le règlement (UE) n° 4/2014 élargit la portée des moteurs électriques concernés.

Technologies de moteur pour la conformité avec des nouvelles classes de rendement

Les règlements susmentionnés définissent les nouvelles classes de rendement dont les limites de courant pour les classes IE1 (classe la plus basse) à IE3 sont reprises dans la norme EN 60034-30. La norme EN 60034-30-1 détermine les limites pour IE4 n'étant pas encore ancrées dans la loi. Des modifications des technologies de moteur existantes ainsi que des technologies de moteur nouvelles ou redécouvertes, ont été nécessaires en vue d'obtenir les niveaux de rendement minimum de plusieurs de ces classes. De ce fait, les utilisateurs

sont maintenant confrontés à une multitude de tendances sur le marché. Ils doivent également connaître la signification des différents termes et savoir ce que les différentes technologies ont à leur offrir. Tous les types de moteurs s'adaptent-ils à toutes les applications ?

Classe de rendement IE5

La norme EN 60034-30-1 mentionne également la classe IE5 et met en avant des possibles valeurs limites pour cette dernière. Cependant, elle souligne que la mise en œuvre technique est très complexe.

Pour cette raison, la classe IE5 n'est pas incluse dans la présentation des technologies de moteur individuelles de cette brochure.

Classes IES pour systèmes moteur-convertisseur de fréquence

Correspondant aux classes de rendement du moteur, les classes IE des convertisseurs de fréquence et les classes IES pour les systèmes moteur-convertisseur de fréquence sont définies. Des informations détaillées sur les classes de rendement sont disponibles sur le site Internet

www.danfoss.com/vltenergyefficiency et sur la brochure Danfoss « L'écoconception. Nous répondons aux exigences les plus strictes : les vôtres ».

En bref

L'objectif de cette brochure est de fournir un aperçu des technologies de moteur individuelles. Elle décrit les technologies et leurs caractéristiques, les champs d'utilisation et les avantages et inconvénients, de façon claire et compréhensible. Ainsi, elle aide les utilisateurs à évaluer les technologies de moteur adéquates et pose des questions essentielles aux fabricants quant à leurs applications. Les types de moteur suivants sont traités dans la brochure :

- Moteur à induction standard
- Moteur à rotor en cuivre
- Moteur à aimant permanent (PM)
- Moteur EC (cas particulier)
- Moteur PM à démarrage direct
- Moteur à réluctance synchrone

De nombreux moteurs électriques et variateurs gaspillent de l'énergie du fait qu'ils ne tournent pas dans la plage de fonctionnement optimale. Par conséquent, les développeurs de moteurs électriques accordent plus d'attention





Cette sélection d'exigences minimales actuellement applicables et à venir montre que le rendement des moteurs électriques est un problème au niveau mondial.

à l'optimisation de la compatibilité environnementale des systèmes, et notamment à leur rendement énergétique.

L'institut Fraunhofer pour le traitement des données et de l'information signale que les moteurs électriques et les systèmes correspondant représentent 40 % de la consommation mondiale d'électricité et sont responsables des 6 millions de tonnes d'émissions mondiales de CO₂, ce qui représente 20 % du total des émissions de dioxyde de carbone.

Le dimensionnement représente un autre aspect de la compatibilité environnementale des moteurs électriques. La conception de moteurs plus compacts réduit la quantité de matériaux utilisés lors de la fabrication ainsi que le coût de mise au rebut. Actuellement, de nombreux moteurs sont surdimensionnés du fait de la « crainte des marges » dans la conception et la préparation et fonctionnent donc avec une charge nominale moindre dans la plupart des cas. Ils fonctionnent en outre à vitesse et couple réduits.

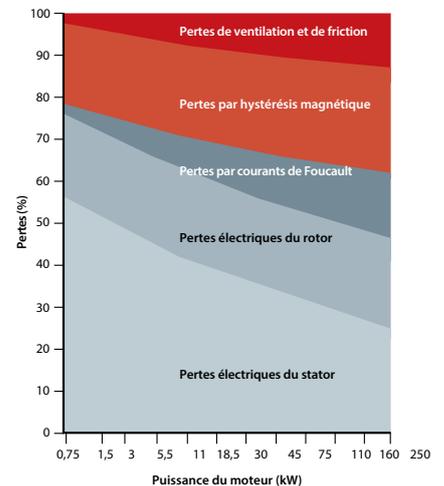
Meilleur rendement du moteur

Le règlement UE 640/2009 contraint les fabricants de moteurs à respecter

les classes de rendement requises à des dates précises et à fournir les moteurs correspondant (voir tableau 1).

Ceci soulève la question suivante : comment le rendement peut-il être amélioré en vue d'atteindre et de maintenir des classes de rendement supérieures ? Les fabricants se concentrent sur une chose : la tentative de minimiser les pertes dans le rotor et/ou le stator. Pour ce faire, il y a deux manières, la première : utiliser de meilleurs stratifiés pour les assemblages. La deuxième : utiliser de meilleurs conducteurs électriques, tels que le cuivre dans les rotors à cage au lieu d'un aluminium à moindre coût. Néanmoins, ceci modifie la consommation de courant sauf si le fabricant adopte les contre-mesures adéquates. Les utilisateurs doivent

donc vérifier, au cas par cas, si les autres options sont réalisables lorsqu'ils envisagent le remplacement d'un moteur.



Source : normes pour l'analyse du rendement des moteurs électriques - technologie des moteurs synchrones excités en permanence, 2011. De Almeida, Ferreira and Fong.

Renforcement progressif des exigences

En vigueur	MEPS en Europe	S'applique aux	Plage de puissance
16.06.2011	IE2	Moteurs	0,75-375 kW
	IE2	Moteurs	0,75-7,5 kW
01.01.2015	IE3 ou IE2 + convertisseur de fréquence	Moteurs	7,5-375 kW
	IE3 ou IE2 + convertisseur de fréquence	Moteurs	0,75-7,5 kW
2018	IE1 (prévu)	Variateurs de fréquence	

Les exigences minimales de rendement (MEPS) des moteurs sont définies par la loi.

Les moteurs à induction triphasés standard - produit phare de l'industrie

Les moteurs à induction triphasés, élaborés en 1889 par AEG, restent le produit phare du secteur industriel et s'adaptent à des nombreuses applications. La popularité des moteurs à induction triphasés a été renforcée par la mise au point de démarreurs progressifs et de convertisseurs de fréquence. Les démarreurs progressifs ont considérablement réduit le courant de démarrage et relient normalement le moteur au réseau de manière directe après le processus de démarrage. De plus, les convertisseurs de fréquence permettent une commande de vitesse précise et écoénergétique. Les moteurs sont ainsi adaptés au processus d'optimisation.

Technologie

Le moteur fonctionne sur la base de la force de Lorentz, laquelle génère des particules électriquement chargées pour déplacer un champ magnétique. L'interaction magnétique, entraînant un mouvement rotatif, provient des champs magnétiques générés par le stator (la partie fixe du moteur) et le rotor (la partie mobile).

L'enroulement du stator est fabriqué en cuivre alors que le rotor est implanté en tant que rotor à enroulement raccourci avec une cage fabriquée à partir de barres en aluminium.

Classes IE atteignables

La norme EN 60034-30-1 pour les moteurs considère que la classe de rendement IE4 peut être atteinte avec des moteurs à induction triphasés alimentés par le réseau.

Châssis CEI

Pour augmenter le rendement, les fabricants utilisent souvent de meilleurs matériaux ou davantage de feuilles pour fabriquer les stators et les rotors. Dans la pratique, ceci se traduit parfois par une augmentation de la taille du moteur. Cependant, tous les fabricants s'efforcent de maintenir les dimensions de montage CEI en vue d'assurer une compatibilité avec les moteurs largement utilisés dans les systèmes plus anciens. Par conséquent, les dimensions de montage (distance de base, hauteur de l'arbre et diamètre de l'arbre) sont généralement identiques, avec un diamètre de stator différent dans certains cas.

Fonctionnement du convertisseur de fréquence

Les convertisseurs de fréquence offrent un fonctionnement fluide et une commande de vitesse optimale. Les problèmes dans la pratique sont généralement soulevés lorsque l'isolation du moteur n'est pas adaptée à la tension de sortie pulsée du convertisseur de fréquence.

Aspects particuliers

Avant de remplacer un moteur pour améliorer le rendement énergétique, les utilisateurs devraient vérifier si ceci est vraiment nécessaire. Un moteur à induction vieux de dix ans n'est pas forcément improductif. Par exemple, le VLT® DriveMotor FCM 300 de Danfoss, disponible dans une large gamme de dimensionnement puissance, a déjà obtenu le niveau de rendement de l'actuelle classe IE2 lorsqu'il fut présenté, il y a plus de dix ans, et continuera à répondre aux exigences légales au-delà de 2017. Si toutefois le remplacement du moteur est nécessaire, ou si un moteur différent doit être utilisé sur les machines de production standard, l'utilisateur devrait vérifier si le moteur le plus efficace respecte les dimensions de montage CEI ou si des modifications conceptuelles sont nécessaires.



Moteur à induction triphasé

Moteurs à rotor en cuivre : un meilleur rendement des moteurs à induction standard

Technologie

Les moteurs à rotor en cuivre sont principalement des moteurs à induction standard. Ils ont la même structure et le même principe de fonctionnement, toutefois, le type de matériau du rotor est différent : au lieu d'utiliser une cage en aluminium habituel, le rotor est doté d'une cage en cuivre. Le cuivre présente une résistance plus faible que l'aluminium, ce qui diminue les pertes du rotor. Cet avantage vient au prix des coûts de production plus élevés. Ce point de fusion élevé du cuivre (environ 1 100 °C) comparé à l'aluminium (environ 660 °C) entraîne une usure plus rapide des outils. Le cuivre est également plus onéreux que l'aluminium.

Classes IE atteignables

Ces moteurs obtiennent généralement le rendement IE3 ou IE4.

Châssis CEI

Les tailles de châssis peuvent se conformer à la norme CEI jusqu'à la classe IE4. Dans bien des cas, des versions présentant une taille de châssis inférieure sont disponibles.

Fonctionnement du convertisseur de fréquence

Tout comme les moteurs à induction standard, les moteurs à rotor en cuivre peuvent être exécutés à partir d'un convertisseur de fréquence. Comme les moteurs à induction standard également, les problèmes surgissent seulement lorsque l'isolation du moteur n'est pas adaptée à la tension de sortie impulsions du convertisseur de fréquence.

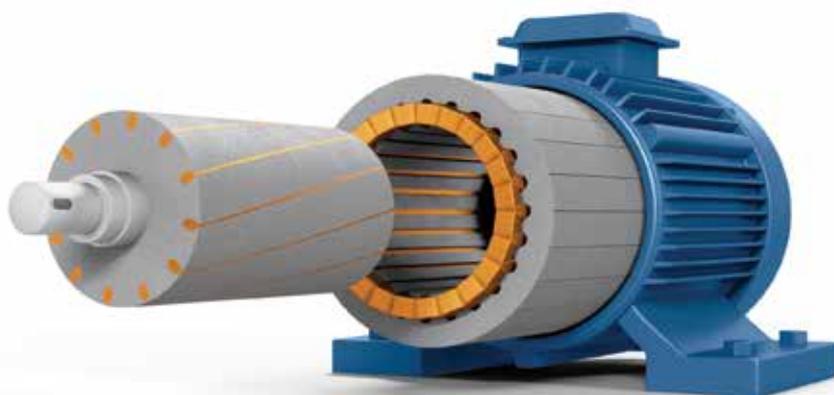
Aspects particuliers

En ce qui concerne le fonctionnement, les utilisateurs doivent prendre en

compte le fait que les moteurs à rotor en cuivre présentent souvent un courant de démarrage supérieur en raison de leur résistance inférieure. Ceci doit être considéré dans la conception et lors du remplacement des moteurs à induction triphasés existants.

En pratique, il y a même eu des cas où pendant le démarrage, différents couples de démarrage ou des à-coups, ont entraîné des dommages.

Le glissement du moteur est également moins important étant donné que les pertes sont inférieures. Ceci signifie que la vitesse nominale est supérieure et il en va de même pour la vitesse de la machine entraînée. Selon l'application spécifique, la machine entraînée peut fonctionner avec un rendement sous-optimal.



Moteur à induction triphasé avec rotor en cuivre



Moteurs à aimant permanent (PM)

Les moteurs à aimant permanent (PM) deviennent de plus en plus populaires. La technologie est connue et utilisée depuis longtemps, pour les servo-moteurs, par exemple. La nouveauté réside dans le fait que les moteurs PM avec leur rendement relativement supérieur sont maintenant disponibles dans des dimensions de montage CEI standardisées.

Technologie

À la différence des moteurs à induction triphasés, les moteurs PM (comme leur nom l'indique) ne disposent pas d'enroulements de rotor mais d'aimants permanents, lesquels sont également montés sur la surface du rotor ou cachés dans le rotor. Dans le cas le plus simple, le stator a la même forme qu'un moteur à induction, toutefois, les fabricants de moteur travaillent également sur des conceptions optimisées.

Les moteurs PM sont des moteurs synchrones, ce qui signifie qu'il n'y a pas de glissement entre les champs tournants du rotor et le stator, comme dans les moteurs à induction triphasés. La magnétisation nécessaire du rotor est fournie par les aimants permanents sans perte associée. Ceci réduit les pertes du rotor et augmente le rendement du moteur. Les moteurs PM offrent un rendement bien meilleur que les moteurs à induction en fonctionnement à vitesse réduite.

Classes IE atteignables

En pratique, les moteurs PM actuels atteignent des niveaux de rendement entre IE3 et IE4.

Châssis CEI

Comparés aux moteurs à induction offrant un rendement similaire (p. ex. IE3), les moteurs PM peuvent être beaucoup plus petits.

Fonctionnement du convertisseur de fréquence

Les moteurs peuvent fonctionner avec des convertisseurs de fréquence sans aucun problème. En fait, en règle générale, ils ont besoin d'un contrôleur électronique pour fonctionner.

Aspects particuliers

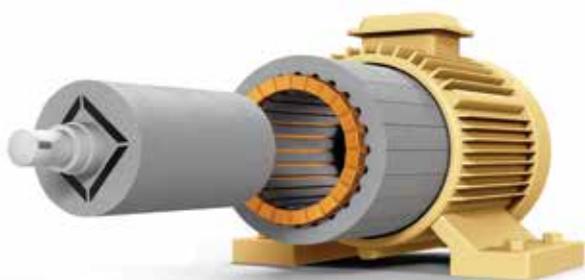
Le besoin d'un convertisseur de fréquence ou d'un contrôleur pour fonctionner représente un grand inconvénient pour les moteurs PM. Le contrôleur doit également recevoir un signal de retour de position du rotor en vue d'adapter de façon optimale le champ magnétique à la position des aimants permanents et de générer la rotation. C'est pourquoi de tels systèmes disposent souvent d'un codeur.

Toutefois, certains fabricants (Danfoss y compris) peuvent faire fonctionner des moteurs PM sans codeur.

Le risque de démagnétisation à haut courant et haute température, se produisant rarement en pratique, et l'entretien des moteurs représentent deux autres inconvénients. En raison des aimants puissants du rotor, le retrait du rotor situé dans le stator est difficile et requiert des outils spéciaux.

L'évolution des prix des moteurs PM

Des éléments « terres rares » sont nécessaires pour fabriquer des aimants et leur prix a considérablement augmenté au cours de la dernière décennie en raison de la forte croissance de la demande et d'une pénurie de disponibilité. Toutefois, les prix ont grandement chuté ces deux dernières années, en partie en raison de l'exploitation de nouvelles mines pour ces matières premières.



Moteur PM à pôles non saillants



Moteur PM à pôles saillants

Moteurs PM à démarrage direct

Technologie

Un moteur PM à démarrage direct est un hybride entre un moteur à induction triphasé et un moteur PM. Il dispose d'un rotor à cage, mais aussi d'aimants cachés sous la cage. Il est résulte une structure de rotor complexe, ce qui rend le moteur plus cher. Néanmoins, il offre un avantage significatif par rapport aux moteurs PM : il peut fonctionner directement sur le réseau sans contrôleur. L'enroulement à cage est actif dans la phase de démarrage. Après que le moteur accélère à la vitesse déterminée par la fréquence réseau, il se synchronise et atteint le même rendement supérieur qu'un moteur PM.

Classes IE atteignables

Lorsqu'ils fonctionnent depuis le réseau, les moteurs PM à démarrage direct atteignent des niveaux de rendement entre IE3 et IE4.

Châssis CEI

Les tailles de châssis disponibles sont conformes à la norme CEI. Des tailles de châssis inférieures sont également disponibles.

Fonctionnement du convertisseur de fréquence

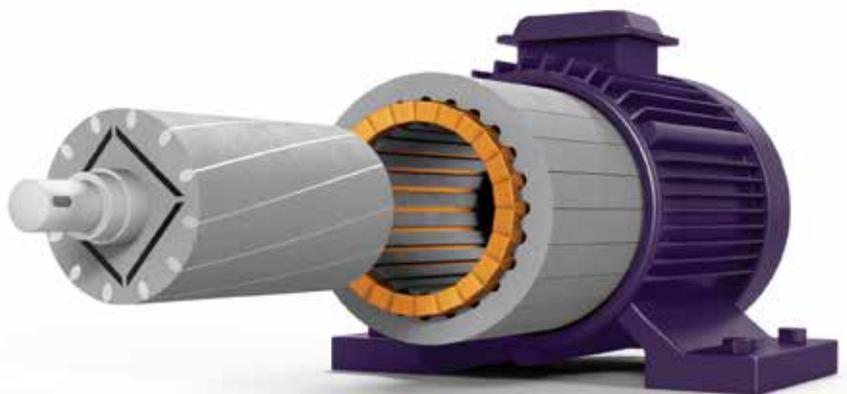
Tous les moteurs PM à démarrage direct peuvent également fonctionner avec des convertisseurs de fréquence. Cependant, il est à noter que le rendement est généralement inférieur avec le convertisseur de fréquence – 5 à 10 % de moins avec le secteur. Ceci est dû à l'effet d'amortissement de l'enroulement à cage.

Aspects particuliers

Le premier inconvénient est observé au cours du démarrage : le moteur est susceptible de brièvement tourner en arrière. Ce couple de démarrage alternatif est également présent sur les moteurs à induction fonctionnant sur le réseau, mais sont bien plus solides que les moteurs PM à démarrage direct. Le couple alternatif entraîne des pics de couple atteignant entre 7 et 17 fois le couple nominal. Néanmoins, le moteur ne peut pas démarrer avec une charge lourde et ne présente pas de fortes caractéristiques dynamiques. Les fléchissements de tension et les à-coups de charge peuvent provoquer une chute de synchronisation du moteur et, par conséquent, entraîner un rendement inférieur de ce dernier.

Le moteur tourne à une vitesse synchrone lorsqu'il fonctionne sur le réseau, ce qui entraîne un changement de la vitesse de travail de la charge.

Les considérations relatives aux éléments terrestres rares s'appliquent également à ce moteur car il utilise aussi des aimants permanents.



Moteur PM à démarrage direct avec aimants cachés et cage de rotor

Moteurs à réluctance synchrones

Les moteurs à réluctance synchrones sont issus d'une technologie connue depuis longtemps. Dans le passé, ils ont été optimisés au niveau du couple et de la taille du châssis, mais aujourd'hui l'accent est mis sur une conception économe en énergie.

Technologie

Ces moteurs emploient une force à réluctance découlant du changement de la réluctance magnétique. De nouvelles découpes de rotor sont spécialement conçues pour guider les lignes des champs magnétiques à l'intérieur du rotor en vue de produire un couple de réluctance au rendement énergétique élevé.

Des versions de moteurs à réluctance synchrones avec une capacité de démarrage direct sont également disponibles maintenant. Comme les moteurs PM à démarrage direct, ils disposent d'un enroulement supplémentaire dans le rotor. Ces moteurs ont un très bon rendement. Toutefois, le rendement baisse de 5 à 10 % avec le convertisseur de fréquence (comme pour les moteurs PM à démarrage direct), en raison de l'effet d'amortissement sur l'enroulement du rotor raccourci.

Classes IE atteignables

Le rendement va, en pratique, d'IE2 à IE4, même avec les nouvelles conceptions, toutefois, il est plus proche d'IE2 à des niveaux de puissance relativement faibles. Ces moteurs n'atteignent le rendement IE4 qu'à des niveaux de puissance allant de 11 à 15 kW environ. Ils présentent également de très bonnes caractéristiques à basse vitesse à ce niveau de puissance et au niveau supérieur.

Châssis CEI

Les tailles de châssis disponibles sont conformes à la norme CEI. Des tailles de châssis inférieures sont également disponibles.

Fonctionnement du convertisseur de fréquence

Les moteurs à réluctance synchrones ont également besoin d'un convertisseur de fréquence pour fonctionner, hormis la version à démarrage direct (DOL) pouvant fonctionner directement à partir du réseau.

Variante pour un démarrage direct en puissance

Comme pour le moteur PM à démarrage direct, le fabricant combine le principe du moteur à réluctance synchrone avec le rotor à cage de machines asynchrones. Pour ce faire, il remplit les espaces vides dans le rotor à l'aide de barres en aluminium et réalise un court-circuit sur les deux extrémités. De cette façon, le moteur démarre directement sur le réseau et fournit en plus un meilleur facteur de puissance lorsqu'il atteint la vitesse nominale.

L'amortissement supplémentaire de l'enroulement à cage produit à nouveau des pertes plus élevées dans le moteur, ce qui représente ici un inconvénient.

Aspects particuliers

Les trous dans les feuilles du rotor rendus nécessaires par la conception altèrent le facteur de puissance, ce qui entraîne un surdimensionnement par un ou deux dimensionnements puissance en fonction du type de convertisseur de fréquence. Aucune instabilité due à la conception du rotor n'est enregistrée jusqu'à présent.

Ces limitations relatives au rendement, susmentionnées et dépendant de la puissance et, dans des conditions de charge partielle doivent être prises en compte.



Moteur à réluctance synchrone

Moteurs EC

Les types de moteurs EC différents sont nombreux dans la pratique : petits servomoteurs avec des dimensionnements puissance de quelques watts ou moteurs de systèmes d'automatisation de bâtiments. Ils ont bonne réputation pour leur rendement très élevé. Cette réputation est amplement méritée, en particulier pour les très petits entraînements (le domaine d'application d'origine de ces moteurs) sur lesquels ils sont nettement meilleurs que les moteurs universels ou à pôles fendus (avec un rendement d'environ 30 %).

Technologie

Comme pour les moteurs PM, le rotor est placé au moyen d'aimants et l'enroulement se trouve dans le stator. Les moteurs EC construits en fonction du concept d'origine fonctionnent avec une tension CC de commutation. C'est pourquoi ils sont également appelés moteurs CC « brushless » (BLDC) ou à commutation électronique (ECM).

En matière de technologie, les moteurs BLDC sont des moteurs CA, si bien que

la désignation BLCD peut quelque peu prêter à confusion.

Pour pallier les inconvénients du concept BLDC, tels que les phases de courant relativement élevées et l'ondulation du couple, les fabricants ont développé de meilleurs algorithmes de contrôle. Par exemple, les algorithmes sans capteur sont maintenant disponibles. Dans les applications d'automatisation des bâtiments, les moteurs EC se distinguent des moteurs PM mentionnés plus haut dans leur construction en tant que moteurs à rotor externe, comme les moteurs de ventilateur.

Classes IE atteignables

Le rendement des moteurs EC actuels se trouve entre IE2 et IE4, en fonction du modèle.

Châssis CEI

Les moteurs EC conformes à la norme CEI sont plutôt rares. Les moteurs EC avec une puissance relativement élevée (plusieurs centaines de watts) sont principalement utilisés dans les ventilateurs et les soufflantes.

Fonctionnement du convertisseur de fréquence

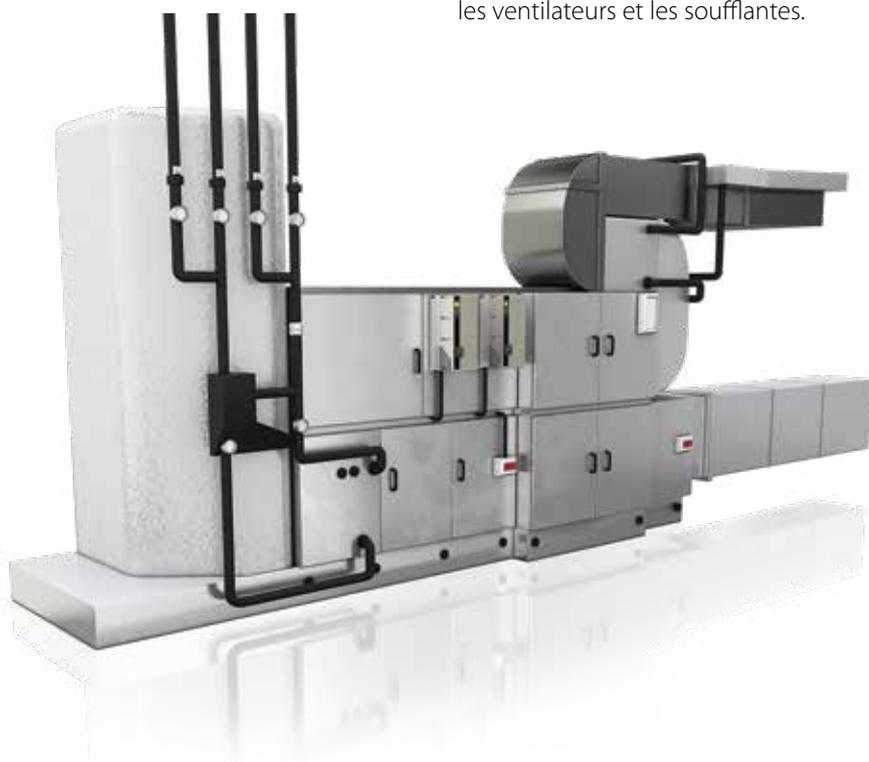
Les moteurs EC requièrent toujours des contrôleurs électroniques, qu'ils fonctionnent selon le concept d'origine ou un concept optimisé.

Applications courantes

Les moteurs EC sont souvent utilisés dans les ventilateurs et les soufflantes des bâtiments, généralement sous forme de moteurs à rotor externe, et comme servomoteurs avec des dimensionnements puissance relativement faibles.

Aspects particuliers

Le terme « moteur EC » est souvent utilisé pour une variété de concepts différents. Pour les utilisateurs, ceci complique la distinction entre les moteurs BLDC classiques et les moteurs améliorés avec un rendement supérieur, semblables aux moteurs PM. En raison de l'utilisation d'aimants permanents, les moteurs EC sous soumis aux mêmes considérations relatives aux terres rares, comme les moteurs PM.



Optimisation de système : Analyse des systèmes et potentiel

Conformément à l'Association allemande des fabricants de composants électriques et électroniques (ZVEI), environ 10 % des potentielles économies dans les systèmes d'entraînement peuvent être réalisées au moyen de moteurs présentant un rendement supérieur. Un fonctionnement à vitesse variable entraîne des économies potentielles de 30 % environ. Cependant, la source des économies potentielles la plus importante (60 % environ) est l'optimisation de l'ensemble du système. Par conséquent, l'opérateur devrait toujours prendre en compte l'impact sur l'ensemble du système pour toutes les mesures et vérifier si plusieurs approches visant à réduire la consommation énergétique peuvent être combinées. Ceci inclut l'achemi-

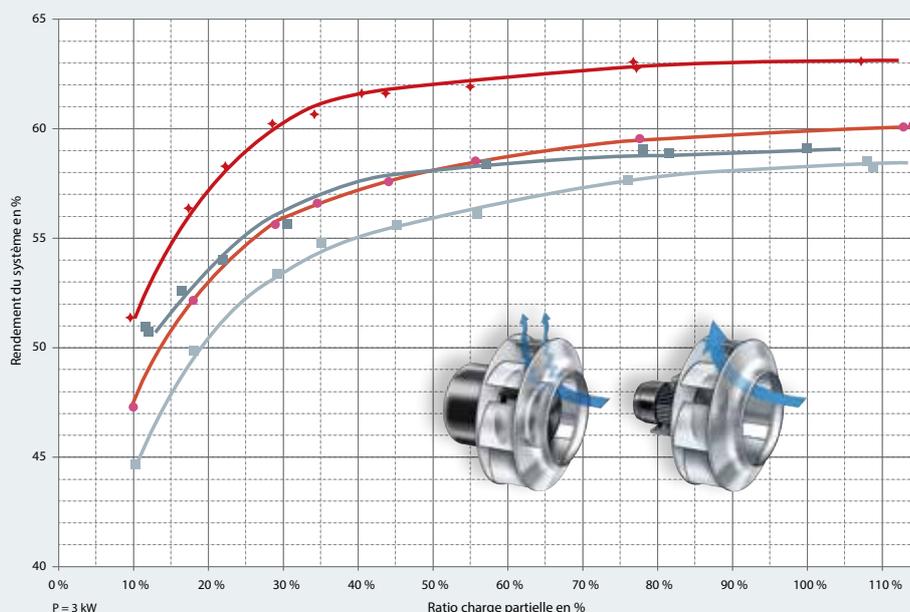
nement optimisé des tuyaux au cours du remodelage, ainsi que la possibilité d'utiliser les fonctions logicielles des convertisseurs de fréquence modernes.

Les économies potentielles avec différentes formes d'énergie diffèrent sensiblement d'un secteur à un autre. Par exemple, le secteur industriel présente une demande bien plus importante en chaleur de procédé que le secteur commercial. En règle générale, les économies potentielles les plus importantes sont réalisées dans la zone présentant la plus forte consommation. Par exemple, le secteur industriel représente environ 43 % de la consommation électrique, alors que les secteurs du commerce et des services ne représentent que 23 %.

Une connaissance exacte du système et de la technologie est essentielle pour identifier les économies potentielles dans de nombreux secteurs. Ce n'est qu'alors qu'il est possible de déterminer si les mesures spécifiques sont rentables ou pas.

Que les questions impliquent des installations ou machines existantes ou neuves, les opérateurs devraient d'abord analyser l'état réel de l'ensemble du système avant de prendre des mesures pour réduire la consommation énergétique. Cela leur permet de mieux identifier des approches de solutions et de facilement vérifier ultérieurement si les mesures implantées sont efficaces et obtiennent les économies souhaitées.

Le rendement de l'ensemble du système est un travail d'équipe



Comme confirmé par les mesures de l'Institute of Air Handling and Refrigeration, le rendement maximum du système ne peut être atteint qu'en combinant les meilleurs composants possibles. Par exemple, le système EC+ de Danfoss réduit les pertes dans un ventilateur jusqu'à 11 % avec une combinaison optimale de convertisseur de fréquence, moteur et turbine de ventilateur. Le très bon rendement du moteur du ventilateur EC est contrebalancé par une géométrie moins favorable de la turbine, ce qui se traduit par un rendement du système réduit de 3 à 5 %.

- + Ventilateur EC+ avec moteur PM
- Ventilateur EC
- Ventilateur avec moteur standard (IE3)
- Ventilateur avec moteur standard (IE2)

Résumé

Comme l'ont montré les descriptions de plusieurs types de moteur, les exigences légales et commerciales en matière d'efficacité énergétique supérieure ont fortement stimulé le marché du moteur. De nombreux types de moteur utilisant des technologies classiques mais également nouvelles se bousculent sur le marché et sont en concurrence pour le plus grand bénéfice des utilisateurs. Il sera très intéressant de voir quelle(s) technologie(s) l'emportera(-ont) à long terme.

L'évolution du moteur n'est nullement terminée. Par exemple, les fabricants sont déjà en train de réaliser des tests avec de la ferrite au lieu des aimants classiques. Les résultats des premiers tests sont très prometteurs.

Pour les utilisateurs, il est important d'examiner attentivement chaque situation pour voir si l'utilisation de moteurs à haute efficacité est rentable. Par exemple, l'IE4 n'est pas toujours le bon choix en raison des coûts élevés associés ou, en cas d'applications avec de nombreux cycles de charge, une inertie supérieure.

Enfin, il faut garder à l'esprit le fait que certains inconvénients mentionnés pour plusieurs moteurs peuvent être palliés avec des mesures d'optimisation, telles que le comportement de démarrage des moteurs PM à démarrage direct. Toutefois, de telles mesures peuvent à leur tour entraîner d'autres inconvénients. L'objectif de cette brochure est de simplifier la tâche des utilisateurs dans la discussion des moteurs avec les fabricants en vue de trouver ensemble la meilleure solution d'entraînement pour l'application concernée.

Moteur	Atteignable rendement	Type CEI	Convertisseur de fréquence fonctionnement	Applications	Commentaires
IM	IE3/IE4	IE3 ou supérieur parfois compliqué	Aucune difficulté	Quasiment toutes les applications.	IE3/IE4 peuvent ne pas être conformes aux dimensions de montage CEI.
IM avec rotor en cuivre	IE3/IE4	Compatible. Peut aussi être plus petit.	Aucune difficulté	Quasiment toutes les applications.	Courants de démarrage supérieurs et différents couples de démarrage comparé à IM. À prendre en considération lors de la conception d'un système et la mise à niveau.
PM	IE3/IE4	Compatible. Peut aussi être plus petit.	Requiert toujours un contrôleur. Certains convertisseurs de fréquence requièrent un retour de la position. Meilleur rendement à des vitesses inférieures par rapport à DASM.	Quasiment toutes les applications.	Prix parfois élevés pour des terres rares nécessaires. Tendance actuelle des prix à la baisse.
LSPM	IE3/IE4	Compatible. Peut aussi être plus petit.	Possible. Rendement Environ 5 à 10 % de moins que les opérations sur le secteur.	Démarrage impossible en présence d'une charge lourde, performance dynamique basse, problèmes d'alimentation secteur faible et à-coups au niveau de la charge.	Très bon rendement du moteur si les limitations sont acceptables dans l'application. Problèmes de terre rares comme pour le moteur PM.
EC	IE3/IE4	Non	Requiert toujours un contrôleur	Puissance faible, ventilateurs EC, servomoteurs	Rendement supérieur par rapport aux autres technologies à une puissance relativement basse (en dessous de 750 W). Le rendement du système est souvent altéré dans les conceptions de ventilateur centrifuge dotées d'un moteur intégré dans le moyeu du ventilateur. Problèmes de terre rares comme pour le moteur PM.
SynRM	IE2-IE4	Compatible. Peut aussi être plus petit.	Requiert toujours un contrôleur. Meilleur rendement à des niveaux de puissance au-dessus de 11 à 15 kW environ ; comparable au PM à des vitesses relativement faibles. FC supérieur nécessaire en raison d'un faible facteur de puissance.	À l'heure actuelle, principalement les applications de pompe et de ventilateur démarrant à peu près de 11 à 15 kW.	Les moteurs restent relativement récents sur le marché. Avantages principalement dans la zone entre 11 et 15 kW, actuellement.

IM Moteur à induction triphasé
 PM À aimant permanent
 LSPM à démarrage direct PM
 EC Commutation électronique
 SynRM À reluctance synchrone
 FC Convertisseur de fréquence

Fonctionnement du moteur avec convertisseur de fréquence

Adaptabilité, rendement, optimisation

Pourquoi utiliser des convertisseurs de fréquence ?

L'utilisation de moteurs présentant un rendement supérieur ajoute un nouvel aspect à l'utilisation des convertisseurs de fréquence. Pour commencer, la commande de vitesse atteignable au moyen d'un convertisseur de fréquence offre des possibilités considérables pour réduire la consommation énergétique et les coûts. Ensuite, certaines des technologies de moteur ne peuvent être utilisées qu'avec cette technique.

Quels sont les moteurs qui conviennent à une utilisation avec un convertisseur de fréquence ?

La plus grande charge pour le moteur est la tension de sortie impulsions du convertisseur de fréquence qui est utilisée pour moduler la tension de sortie. La vitesse de variation de la tension de sortie place une charge sur le système d'isolation du moteur. Au cours des dernières 10 à 15 années, cette charge n'a pas vraiment causé de problème parce que l'isolation moderne résiste à ces pics de tension. Toutefois, lorsque des moteurs plus anciens sont utilisés, la charge sur la bobine peut entraîner une panne sauf si des filtres de sorties appropriés sont utilisés pour le convertisseur de fréquence. Dans ce cas, les filtres du/dt ou sinus sont recommandés afin de réduire les pics de tension et protéger l'isolation.

Contrainte thermique

Avec leur commande réglée, de nombreux convertisseurs de fréquence modernes, tels que ceux que propose Danfoss, sont également capables de fournir la tension d'alimentation à la sortie. Par conséquent, l'échauffement du moteur dans les moteurs standard (jusqu'au châssis de taille 315) se situe ensuite dans la plage de chauffage supplémentaire provoqué par des tolérances de réseau, et donc négligeable. Par exemple, pour les

convertisseurs de fréquence avec un circuit intermédiaire CC qui ne peuvent pas générer de tension réseau complète à la fréquence réseau nominale, l'isolation du moteur de la classe d'isolation F est recommandée car la température du moteur peut augmenter d'environ 10 K.

Charge du palier

Des conditions défavorables (tension réseau, mise à la terre, blindage...) peuvent entraîner le dysfonctionnement des moteurs contrôlés par fréquence (normalement à partir du châssis 132 seulement) suite à un endommagement des paliers par des courants de paliers. Par exemple, ceci peut se produire par des courants de décharge dans la pellicule lubrifiante du palier pouvant survenir impulsivement et endommager le palier au fil du temps. Des mesures simples (correcte mise à la terre, câbles moteur blindés, paliers isolés, graisse spéciale pour palier...) réduisent les courants de palier et ainsi, le risque de panne.

Conception du système d'entraînement

Lorsqu'un convertisseur de fréquence et un moteur sont associés, les données de puissance en kW fournissent une orientation initiale. Néanmoins, pour un réglage fin, les courants nécessaires ou puissances apparentes doivent être compatibles (ceci s'applique particulièrement aux moteurs à réluctance synchrones !) Il est important que le convertisseur de fréquence puisse fournir la surcharge nécessaire à l'application. Ceci représente en général, 110 % pour les ventilateurs et 160 % pour les convoyeurs à bande ou dispositifs de levage.

Optimisation

Si un convertisseur de fréquence présente une taille de plus que celui qui est nécessaire pour une

application, par exemple pour permettre une surcharge supérieure, ceci n'a pas d'effet négatif sur la consommation énergétique étant donné que le niveau de rendement est élevé. Pour un moteur ce n'est pas la même chose, le surdimensionnement a une grande influence. En fonction de la conception du moteur, le rendement au point de fonctionnement de l'application peut être encore plus important à une pleine charge lorsqu'un moteur supérieur est choisi.

Les convertisseurs de fréquence employant des méthodes de contrôle adaptées à la technologie de moteur fournissent une magnétisation idéale au cours du fonctionnement, même en cas de charge partielle. C'est aussi le cas pour les charges (fortement) alternatives. Par exemple, les convertisseurs de fréquence pour les moteurs PM suivent le concept MTPA (couple maximal par ampère), ce qui permet d'obtenir le meilleur rendement énergétique possible pour chaque conception de moteur.

Plus d'informations

La plupart de ces moteurs triphasés standard présents sur le marché ne rencontrent aucun problème avec les convertisseurs de fréquence modernes. Pendant le processus de sélection et d'installation, les utilisateurs devraient prêter attention aux caractéristiques respectives des différentes technologies. Toutefois, ceci ne représentera pas un gros défi pour les professionnels. Les sections précédentes offrent un résumé sur ce sujet. Pour plus d'informations sur la conception au rendement énergétique sécuritaire des solutions d'entraînement, reportez-vous aux guides pratiques pour la programmation de Danfoss.

La vision VLT®

Leader mondial du développement et de la fabrication de convertisseurs de fréquence, Danfoss se met au service de nouveaux clients jour après jour.

Responsabilité environnementale

Produits Danfoss VLT® – respect de l'environnement et de la société

Tous les sites de production des convertisseurs de fréquence VLT® sont certifiés selon les normes ISO 14001 et ISO 9001.

Les activités de Danfoss tiennent compte des employés, des conditions de travail et de l'environnement. Les processus de production génèrent un bruit et des émissions minimums et limitent leur impact sur l'environnement. De plus, Danfoss s'évertue à protéger l'environnement lors de la mise au rebut des déchets et des produits en fin de vie.

Pacte mondial des Nations Unies

Danfoss a confirmé son engagement pour la responsabilité sociale en signant le Pacte mondial des Nations Unies. Nos filiales sont conscientes de leur responsabilité vis-à-vis des conditions et des pratiques locales.

Économies d'énergie réalisées grâce à VLT®

Les convertisseurs de fréquence VLT® produits en une année génèrent une économie d'énergie égale à la production annuelle d'une grande centrale électrique. Un meilleur contrôle de process optimise la qualité des produits et réduit le gaspillage et l'usure sur les chaînes de production.



Dédié aux convertisseurs

Danfoss VLT Drives est un leader mondial dans le secteur de la conception et de la fabrication de convertisseurs. En 1968, Danfoss a lancé la première production en masse de convertisseurs de fréquence pour des moteurs triphasés et s'est depuis spécialisé en solutions de variateur. Aujourd'hui, VLT® est synonyme de technologie fiable, d'innovation et d'expertise en solutions de variateur au sein de multiples secteurs d'activité.

Convertisseurs de fréquence innovants et intelligents

Basé à Graasten au Danemark, Danfoss VLT Drives compte 2 500 employés dédiés au développement, à la production, au conseil, à la vente et à la maintenance de solutions de variateur Danfoss dans plus de 100 pays.

Des convertisseurs de fréquence modulaires sont fabriqués en fonction des exigences des clients et fournis entièrement assemblés. Ainsi, chaque VLT® livré est un réel appareil de pointe.

Faites confiance à des experts mondiaux

Pour garantir constamment le haut niveau de qualité de nos produits, Danfoss VLT Drives contrôle et surveille chaque élément essentiel des produits. Le groupe dispose de son propre département de recherche et de développement logiciel ainsi que de sites de production modernes chargés du matériel, des modules de puissance, des circuits imprimés et des accessoires.

Les convertisseurs de fréquences VLT® sont utilisés dans le monde entier pour diverses applications. Les experts de Danfoss VLT Drives apportent aux clients leur savoir spécialisé étendu au sujet d'applications spécifiques. Des conseils complets et un service rapide contribuent à une solution optimale caractérisée par une haute fiabilité et une grande disponibilité.

Un projet n'est considéré terminé que lorsque nos clients sont complètement satisfaits de la solution de variateur.



Danfoss Drives, 2 Rue René Caudron, 78960 Voisins-le-Bretonneux France, Tél. +33 (0) 1 30 62 50 00, info.variateurs@danfoss.com, drives.danfoss.fr
Danfoss Drives, A. Gossetlaan 28, 1702 Groot-Bijgaarden, Belgique, Tél. +32 (0) 2 808 27 00, cs@danfoss.be, danfoss.be/drives/fr
Danfoss AG Antriebstechnik, Parkstrasse 6, CH-4402 Frenkendorf, Tél. +41 61 510 00 19, cs@danfoss.ch, drives.de.danfoss.ch

Danfoss n'assume aucune responsabilité quant aux erreurs qui se seraient glissées dans les catalogues, brochures ou autres documentations écrites. Dans un souci constant d'amélioration, Danfoss se réserve le droit d'apporter sans préavis toutes modifications à ses produits, y compris ceux se trouvant déjà en commande, sous réserve, toutefois, que ces modifications n'affectent pas les caractéristiques déjà arrêtées en accord avec le client. Toutes les marques de fabrication de cette documentation sont la propriété des sociétés correspondantes. Danfoss et le logotype Danfoss sont des marques de fabrication de Danfoss A/S. Tous droits réservés.