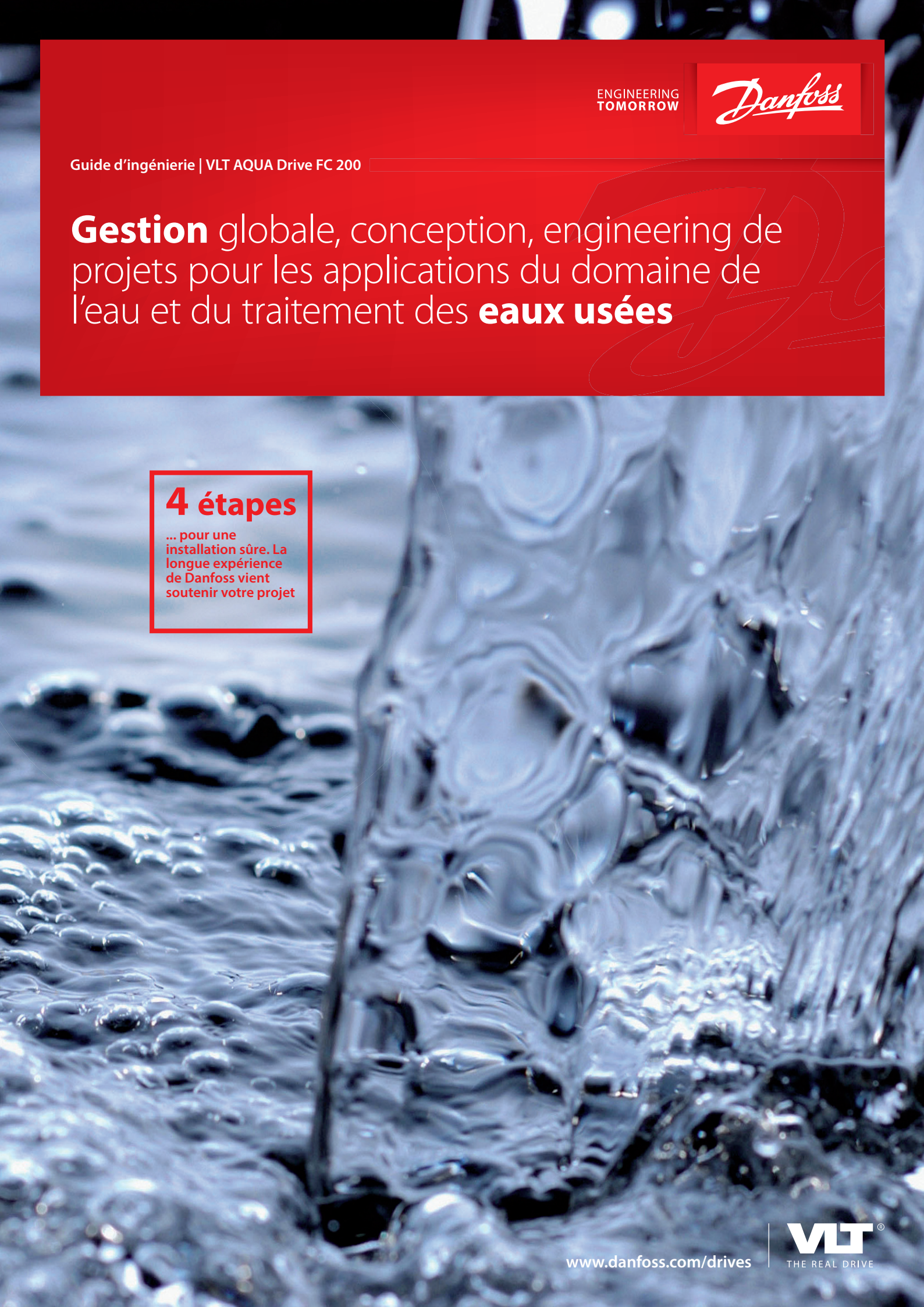
ENGINEERING TOMORROW

Guide d'ingénierie | VLT AQUA Drive FC 200

Gestion globale, conception, engineering de projets pour les applications du domaine de l'eau et du traitement des **eaux usées**



4 étapes

... pour une installation sûre. La longue expérience de Danfoss vient soutenir votre projet

www.danfoss.com/drives

VLT® THE REAL DRIVE

La liste de contrôle amovible au dos de ce manuel vous aide à obtenir des résultats de conception optimaux au cours des quatre étapes.



Table des matières

Aides à la conception **6**

1ère partie : notions de bases **8**
Réduction des frais et renforcement de l'aspect pratique 8
Économies d'énergie grâce à la commande de vitesse 9
Augmentation de la rentabilité 10
Concrétisation des économies potentielles 11

2è partie : quatre étapes pour un système optimal **12**

Étape 1 : aspects pratiques des systèmes de secteur CA **12**
Identification de la configuration de secteur réelle

Aspects pratiques de la compatibilité électromagnétique (CEM) **13**
Les effets électromagnétiques dans les deux sens
La responsabilité de l'opérateur
Deux moyens de réduction possibles
Distinction entre interférence transmise et rayonnée 14
Mécanismes de couplage entre des circuits électriques

Aspects pratiques de la qualité de la puissance du secteur **15**
Perturbation secteur basse fréquence
Réseaux d'alimentation à risque
Qualité garantie par des dispositions
Survenue d'une perturbation secteur

Aspects pratiques d'une perturbation secteur basse fréquence **16**
Effets d'une perturbation secteur
Avertissements de sous-tension
Pertes plus importantes
Disponibilité de variateurs de fréquence sans interférence
Analyse des perturbations secteur

Aspects pratiques de la réduction des perturbations secteur **17**
Options pour réduire les perturbations secteur
Bobines d'arrêt en entrée ou sur le circuit intermédiaire
Redresseur avec 12, 18 ou 24 impulsions par cycle
Filtres passifs
Avantages des filtres passifs
Inconvénients des filtres passifs
Filtres actifs 18
Avantages des filtres actifs
Inconvénients des filtres actifs
Spectre de courant et de distorsion à pleine charge
Circuit intermédiaire fin 19
Application frontale active (AFA)
Avantages de l'AFA 20
Inconvénients de l'AFA

Aspects pratiques des interférences haute fréquence (RFI) **21**
Interférence de radio fréquence
Limites posées par les normes et les directives

Aspects pratiques du 1er et du 2è environnement **22**
Le site d'exploitation en tant que facteur décisif : les environnements 1 et 2
Environnement 1 (classe B) : environnement résidentiel
Environnement 2 (classe A) : environnement industriel
Environnements spéciaux
Pas de compromis

Aspects pratiques des mesures de protection du secteur **23**
Correction du facteur de puissance
Transitoires réseau

Aspects pratiques de l'exploitation avec un transformateur ou un générateur en veille **24**
Utilisation maximale du transformateur
Charge de transformateur
Qualité de puissance
Exploitation avec un générateur en veille

Table des matières

Étape 2 : aspects pratiques des conditions ambiantes et environnementales **25**
Emplacement d'installation correct :
Montage dans une armoire/montage mural

Aspects pratiques des niveaux IP **26**
Programme de niveaux IP selon CEI 60529

Aspects pratiques de la conception du refroidissement **27**
Compatibilité avec les spécifications de température ambiante
Refroidissement
Humidité relative

Aspects pratiques des exigences spéciales **28**
Atmosphère ou gaz agressifs
Exposition à la poussière 29
Refroidissement réduit
Ventilateurs de refroidissement
Tapis de filtre

Aspects pratiques des atmosphères potentiellement explosives **30**
Atmosphères potentiellement explosives

Étape 3 : aspects pratiques des moteurs et du câblage **31**
Classes d'efficacité minimales des moteurs
Efficacités minimales obligatoires
Classes IE et Eff : détail des principales différences
Moteurs triphasés concernés

Classification EI des moteurs **32**
Programme d'implémentation MEPS
Compatibilité avec les spécifications des dimensions de montage EN 50347
Rentabilité

Aspects pratiques des moteurs EC et PM **33**
Beaucoup de noms pour une même technologie
Technologie
Haute efficacité
Le concept Danfoss EC+
Exploitation hypersynchrone 34
Protection CEI standard

Aspects pratiques de la compatibilité du moteur à l'exploitation du variateur de fréquence **35**
Critères de sélection
Contrainte d'isolation
Contrainte de paliers
Contrainte thermique

Aspects pratiques des filtres de sortie **36**
Filtres sinusoïdaux et dU/dt
Fonctions et tâches des filtres sinusoïdaux
Utilisation des filtres sinusoïdaux
Mise à niveau

Aspects pratiques des câbles du moteur **37**
Tension nominale
Dimensionnement de câble
Longueur de câble du moteur
Économies d'énergie
Câble avec blindage adapté

Aspects pratiques de la mise à la terre **38**
Importance de la mise à la terre
Matériaux conducteurs du point de vue électrique
Système de mise à la terre configuré en étoile
Points de contact
Surface active du conducteur

Aspects pratiques du blindage **39**
Importance du blindage
Câbles blindés et câblage
Connexion du blindage
Écarts de blindage
Mise à la terre 40
Câble d'alimentation du moteur
Câble d'interface
Types de blindage
Étape 4 : aspects pratiques de la sélection du variateur de fréquence **41**
Conception de base
Couple constant ou variable
Aspects pratiques des courbes de charge pour diverses applications **42**
Courbes caractéristiques et applications
Aspects pratiques de l'exploitation multi-moteur (cas spécial) **43**
Conception
Passage des câbles
Aspects pratique des mesures CEM **44**
Application de la théorie
Interférences de radio fréquence
Recommandations pratiques
Deux approches relatives aux filtres RFI
Perturbation secteur 45
Rôle du circuit intermédiaire sur la perturbation secteur
Mesures de réduction
Bobines d'arrêt du secteur
Redresseurs avec 12, 18 ou 24 impulsions par cycle 46
Filtres passifs
Filtres actifs, applications frontales actives et variateurs à charge harmonique faible
Aspects pratiques des relais de protection différentielle **47**
Relais de protection différentielle CA/CC
Niveau de courant de fuite
Aspects pratiques de la mise à la terre et de la protection de surcharge moteur **48**
Mesures de mise à la terre en pratique
Protection de surcharge moteur et thermistance PTC de moteur
Aspects pratiques de la commande de l'opérateur et de l'affichage des données **49**
Concept d'exploitation simple
Exploitation sous commande locale 50
Écran de visualisation clair
Concept uniforme
Intégration dans la porte de l'armoire
Aspects pratiques de configuration du contrôle et des paramètres avec un PC **51**
Options étendues
Aspects pratiques de l'échange de données **52**
Systèmes de bus
Meilleure gestion des alarmes
Meilleure gestion de site
Frais d'installation réduits
Mise en service simplifiée
Aspects pratiques des facteurs de sélection supplémentaires **53**
Contrôleur de process
Maintenance
Stockage
Variateur VLT® AQUA Drive **54**
Directives relatives aux variateurs de fréquence **55**
Index.. ..... **56**
Abréviations **59**
Remarques.. ..... **60**
Liste de contrôle de conception **62**

Aides à la conception générale et détaillée
Manuel de configuration destiné aux applications dédiées à l'eau et aux eaux usées

Le manuel de configuration Danfoss destiné aux applications dédiées à l'eau et aux eaux usées s'adresse aux sociétés d'ingénierie, aux organismes publics, aux associations, aux ingénieurs d'usine et aux ingénieurs électriciens activement impliqués activement dans la technologie de l'eau et des eaux usées. Il est conçu comme un outil complet pour les concepteurs de services de site (ICA et électriques) et les ingénieurs de projet, dont le domaine de responsabilité comprend l'étude de projet de systèmes à vitesse variable utilisant des variateur de fréquence.

À cette fin, nos experts ont coordonné le contenu de ce manuel de configuration avec des concepteurs de services de site de l'industrie afin de répondre aux questions importantes et obtenir les meilleurs avantages possibles pour les propriétaires/développeurs de biens et/ou les administrations contractantes. Les descriptions des différentes sections sont intentionnellement concises. Elles ne visent pas à expliquer dans le détail des sujets techniques, mais plutôt à souligner les questions pertinentes et les exigences spécifiques pour l'étude de projet. Le manuel de configuration destiné aux applications dédiées à l'eau et aux eaux usées constitue ainsi une aide lors de l'étude de projet de variateurs de fréquence et lors de l'évaluation des produits des différents fabricants concernés.

L'étude de projet de variateurs de vitesse donne souvent lieu à des questions qui ne sont pas directement rattachées aux tâches réelles d'un variateur de fréquence. Elles se rapportent généralement à l'intégration de ces dispositifs dans le système de variateur et le site global. Pour cette raison, il est essentiel de prendre en compte le variateur de fréquence, mais également l'ensemble du système. Ce système comprend un moteur, variateur de fréquence, du câblage et les conditions générales de la situation ambiante, qui inclut l'alimentation secteur de courant alternatif et les conditions environnementales.

L'étude de projet et la disposition des systèmes de variateur de vitesse sont cruciales. Les décisions prises à ce stade par le concepteur de services de site ou l'ingénieur de projet sont essentielles quant à la qualité du système de variateur, aux coûts d'exploitation et de maintenance, ainsi qu'au fonctionnement fiable et irréprochable. Une étude de projet

Toute personne impliquée dans l'étude de projet de variateurs de fréquence doit être particulièrement vigilante aux conditions techniques générales de ces dispositifs.





bien pensée au préalable aide à éviter des effets secondaires indésirables pendant l'exploitation subséquente du système de variateur.
Ce manuel de configuration et la liste de contrôle incluse sont des instruments parfaits pour arriver à la meilleure fiabilité de conception possible et pour contribuer de ce fait à la fiabilité opérationnelle du système global.

Le manuel de configuration destiné aux applications dédiées à l'eau et aux eaux usées est divisé en deux parties. La première partie fournit des informations de base sur l'usage général de variateurs de fréquence. Elle porte sur l'efficacité énergétique, les frais réduits liés au cycle de vie et sur la longévité accrue.
La seconde partie de ce manuel de configuration vous guide à travers les quatre étapes essentielles de l'étude de projet et de la configuration d'un système et fournit des conseils sur la mise à niveau de la commande de vitesse de systèmes existants. Elle aborde les facteurs auxquels vous devez faire attention pour obtenir un fonctionnement fiable du système, tels que la sélection et le dimensionnement de l'alimentation secteur, les conditions ambiantes et environnementales, le moteur et son câblage, ainsi que la sélection et le dimensionnement du variateur de fréquence. Elle fournit également toutes les informations connexes nécessaires. Le manuel inclut également au dos une liste de contrôle que vous pouvez utiliser pour cocher les différentes étapes. Si vous prenez tous ces facteurs en compte, vous pouvez concevoir de manière optimale un système fiable en permanence.



1ère partie : notions de bases Réduction des frais et renforcement de l'aspect pratique

Comparé aux systèmes de commande de vitesse mécaniques, la commande de vitesse électronique peut économiser beaucoup d'énergie et réduire substantiellement l'usure. Ces deux facteurs réduisent significativement les frais d'exploitation. Plus les systèmes de variateur fonctionnent (ou doivent faire fonctionner) sous charge partielle, plus les économies potentielles sont importantes en termes d'énergie et de frais d'entretien. En raison du fort potentiel d'économies d'énergie, le coût supplémentaire d'une commande de vitesse électronique peut être récupéré en quelques mois. De plus, les systèmes modernes ont un effet extrêmement positif sur un grand nombre d'aspects des process de système et sur la disponibilité globale du système.

Fort potentiel d'économies d'énergie

Avec un système de commande de vitesse électronique, le flux, la pression ou la pression différentielle peuvent être mis en correspondance avec la demande réelle. En pratique, les systèmes fonctionnent principalement sous charge partielle plutôt que sous pleine charge. En cas de ventilateurs, pompes ou compresseurs avec caractéristiques de couple variable, l'importance des économies d'énergie dépend de la différence entre l'exploitation sous charge partielle et pleine charge. Plus l'écart est grand, plus l'investissement est récupéré rapidement. Il faut compter en général 12 mois.

Limitation du courant de démarrage

La commutation sur l'équipement relié directement au secteur CA génère des courants de crête qui peuvent être jusqu'à six à huit fois supérieurs au courant nominal. Les variateurs de fréquence limitent le courant de démarrage au courant nominal du moteur. Ainsi, ils éliminent les crêtes de courant à la commutation et évitent les fléchissements de tension suite à la charge lourde et transitoire du réseau d'alimentation. Le fait d'éliminer ces crêtes de courant réduit la charge connectée du système de pompe, comme prévu par le fournisseur d'électricité, ce qui réduit les frais de fourniture et élimine la nécessité d'installer des contrôleurs E_{max} supplémentaires.

Réduction de l'usure du système

Les variateurs de fréquence démarrent et arrêtent les moteurs doucement et sans heurt. Contrairement aux moteurs actionnés directement à partir du secteur CA, les moteurs entraînés par des variateurs de fréquence ne provoquent pas de chocs de couple, ni de charge. Ceci réduit la contrainte sur la transmission (moteur, boîte de vitesses, embrayage, pompe/variateur/compresseur) et le système de tuyauterie complets, y compris les joints. Ainsi, la commande de vitesse réduit significativement l'usure et prolonge la durée de vie du système. Les frais d'entretien et de réparation sont inférieurs grâce aux périodes plus longues d'exploitation et à la réduction de l'usure des matériaux.

Ajustement du point d'exploitation optimal

L'efficacité des systèmes de traitement de l'eau et des eaux usées dépend du point d'exploitation optimal. Ce point change selon l'utilisation de la capacité du système. Le système est exploité plus efficacement quand il fonctionne au plus près du point d'exploitation optimal. Grâce à leur vitesse variable en continu, les variateurs de fréquence peuvent entraîner le système exactement au point d'exploitation optimal.

Gamme de commande étendue

Les variateurs de fréquence permettent d'exploiter les moteurs dans la gamme « hypersynchrone » (fréquence de sortie au-dessus de 50 Hz). Ceci permet de renforcer la puissance de sortie sur une courte période. Les possibilités d'utilisation de l'exploitation hypersynchrone dépendent du courant de sortie maximale et de la capacité de surcharge du variateur de fréquence. En pratique, les pompes sont souvent exploitées à une fréquence de 87 Hz Le fabricant du moteur doit toujours être consulté au sujet de la compatibilité du moteur avec l'exploitation hypersynchrone.

Génération de bruit inférieure

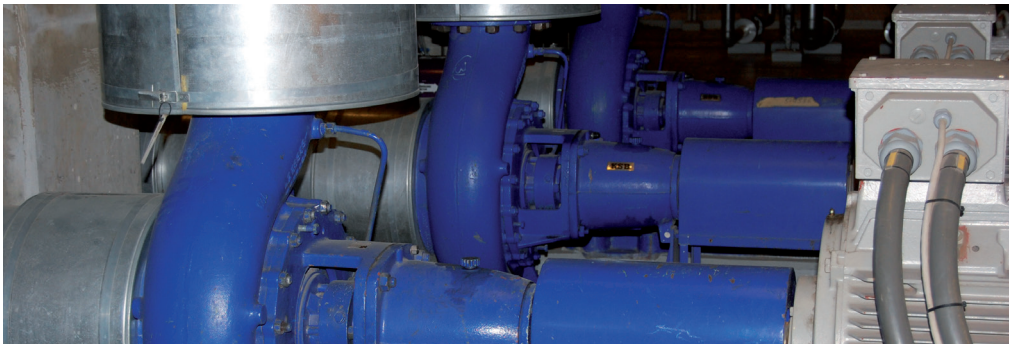
Les systèmes fonctionnant sous charge partielle sont plus silencieux. L'exploitation à vitesse variable réduit significativement la génération de bruit acoustique.

Durée de vie accrue

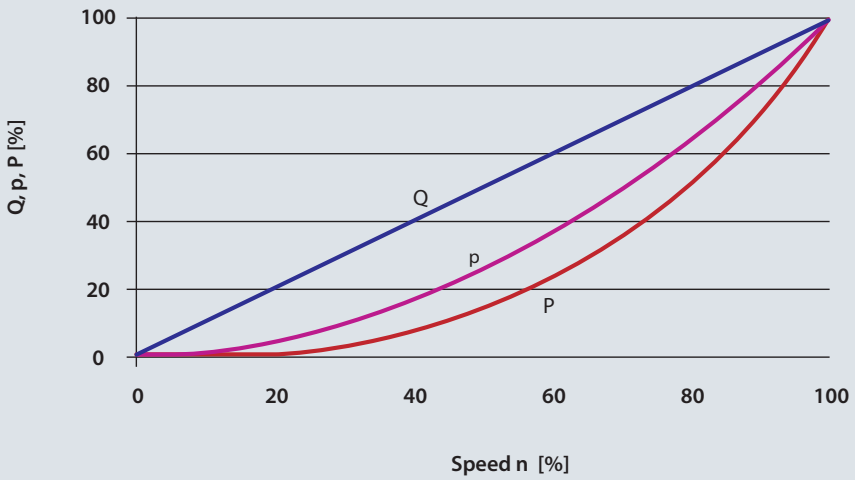
Les systèmes de variateur fonctionnant sous charge partielle souffrent moins d'usure, ce qui se traduit par une durée de vie plus longue. La pression réduite, optimisée, a aussi un effet salutaire sur la tuyauterie.

Mise à niveau

Les variateurs de fréquence peuvent généralement être mis à niveau sur les systèmes de variateur existants avec peu d'effort.



Commande de vitesse et économies d'énergie



Règles de proportionnalité des machines à fluide Sur les machines à fluide, en raison des rapports physiques, le débit Q, la pression p et la puissance P dépendent directement de la vitesse de la machine.

Le potentiel d'économies d'énergie lié à l'utilisation d'un variateur de fréquence dépend du type de charge entraînée et de l'optimisation de l'efficacité de la pompe ou du variateur par le variateur de fréquence, ainsi que de la fréquence à laquelle le système fonctionne sous charge partielle. Les systèmes d'eau et d'eaux usées domestiques sont conçus pour de rares charges de pointe et fonctionnent par conséquent généralement sous charge partielle.

Les pompes centrifuges et les ventilateurs offrent les potentiels plus grands en termes d'économies d'énergie. Ils tombent dans la catégorie des machines à fluide avec courbes de couple variable, qui sont sujettes aux règles de proportionnalité suivantes.
Le débit augmente linéairement avec une vitesse croissante (tr/min), alors que la pression augmente quadratiquement et que la puissance consommée augmente de façon cubique.

Le facteur décisif pour des économies d'énergie est le rapport cubique entre tr/min et puissance consommée. Une pompe fonctionnant à la moitié de sa vitesse nominale, par exemple, nécessite seulement un huitième de la puissance requise pour une exploitation à sa vitesse nominale. Même de petites réductions de vitesse génèrent alors des économies d'énergie significatives. Par exemple, une réduction de vitesse de 20 % produit 50 % d'économies d'énergie. L'avantage principal de l'utilisation d'un variateur de fréquence est que la commande de vitesse ne gaspille pas la puissance (contrairement à la régulation avec un robinet d'étranglement ou un registre, par exemple), mais ajuste la puissance du moteur à la demande réelle.

Il est possible de réaliser des économies d'énergie additionnelles en optimisant l'efficacité de la pompe ou du variateur avec l'exploitation du variateur de fréquence. La caractéristique de commande de la tension (courbe V/f) fournit la tension adéquate au moteur pour chaque fréquence (et par conséquent la vitesse du moteur). Le contrôleur évite ainsi des pertes moteur résultant d'un courant réactif excessif.

Remarque : les variateurs de fréquence VLT® AQUA Drive de Danfoss optimisent encore davantage la demande d'énergie. La fonction d'optimisation automatique de l'énergie (AEO) règle constamment la tension du moteur actuelle de sorte que le moteur fonctionne avec la plus grande efficacité possible. De cette manière, le variateur VLT® AQUA Drive adapte toujours la tension aux conditions de charge réelles qu'il mesure. Le potentiel d'économies d'énergie additionnel s'élève à 3 à 5 %.



Augmentation de la rentabilité

Analyse LCC (Life cycle cost, coût du cycle de vie)

Il y a encore quelques années, les ingénieurs d'usine et les opérateurs envisageaient seulement les frais d'acquisition et d'installation lors de la sélection d'un système de pompe. Aujourd'hui, une analyse complète de tous les frais est de plus en plus fréquemment effectuée. Sous le nom « coût du cycle de vie » (LCC), cette forme d'analyse comprend tous les frais engagés par des systèmes de pompe pendant leur durée de vie.

Une analyse du coût du cycle de vie inclut non seulement les frais d'acquisition et d'installation, mais également les coûts de l'énergie, de l'exploitation, de l'entretien, des temps d'immobilisation, de l'environnement et de la mise au rebut. Deux facteurs, à savoir les coûts de l'énergie et de l'entretien, ont un effet décisif sur le coût du cycle de vie. Les opérateurs recherchent des variateurs de pompe contrôlés innovants pour réduire ces coûts.

LCC = Cic + Cin + Ce + société + cm + Cs + Cenv + CD

C_{ic} = coût du capital initial (coût d'acquisition)

C_{in} = frais d'installation et de mise en service

C_e = coût de l'énergie

C_s = coûts des temps d'immobilisation et de perte de production

C_o = coût d'exploitation

C_{env} = coût environnemental

C_m = frais de maintenance

C_d = coûts de mise hors service et au rebut

Calcul du coût du cycle de vie

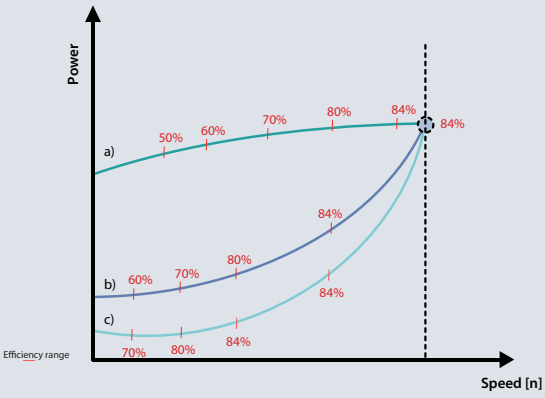
Réduction des coûts énergétiques

L'un des facteurs les plus importants dans la formule du coût du cycle de vie est le coût de l'énergie. Ceci est particulièrement vrai quand les systèmes de pompe fonctionnent plus de 2 000 heures par an.

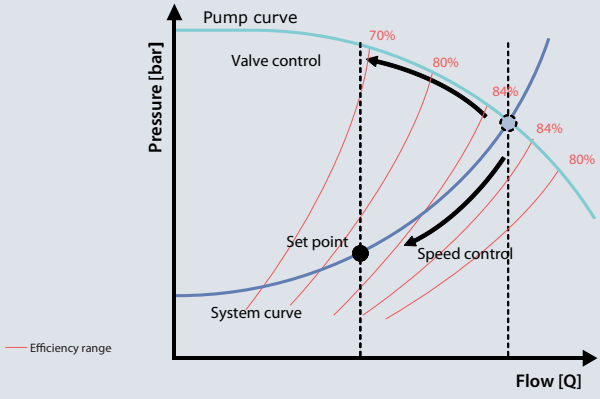
La plupart des systèmes de pompe existants disposent d'un potentiel d'économies d'énergie substantiel, mais en sommeil. Ceci provient du fait que la plupart des variateurs de pompe sont surdimensionné, car ils sont conçus pour les pires conditions. Le débit volumétrique est souvent régulé par un robinet d'étranglement. Avec cette forme de régulation, la pompe fonctionne toujours à pleine capacité et consomme alors inutilement de l'énergie.

On peut comparer cette situation à la conduite d'une voiture avec le moteur constamment à plein régime et où les freins servent à ajuster la vitesse.

Les variateurs de fréquence modernes, intelligents offrent des moyens parfaits pour réduire la consommation d'énergie et les frais d'entretien.



a) Commande de robinet : diminution de η
b) Commande de vitesse réelle : la courbe η n'est pas alignée sur la courbe du système
c) Commande de vitesse optimale : la courbe η correspond quasiment à la courbe du système



Parallèlement aux courbes caractéristiques de la pompe et du système, ce graphique montre plusieurs niveaux de rendement. La commande de robinet et la commande de vitesse entraînent le déplacement du point de fonctionnement en dehors de la plage de rendement optimale.

Concrétisation des économies potentielles

Les descriptions de la première partie de ce manuel de configuration se concentrent essentiellement sur les fondamentaux et sur les économies potentielles dans le cadre de la technologie de l'eau et des eaux usées.

Entre autres choses, elles abordent les coûts du cycle de vie, la réduction de la consommation d'énergie et des frais énergétiques, ainsi que celle du service après-vente et des frais d'entretien. Votre tâche consiste désormais à configurer intelligemment le système pour concrétiser ces bénéfices potentiels.

À cette fin, la deuxième partie de ce manuel vous guide au cours des quatre étapes du processus de conception.

Les sections
- systèmes secteur,
- conditions ambiantes et environnementales,
- moteurs et câbles,
- variateurs de fréquence, vous donnent toutes les informations sur les caractéristiques et les données dont vous avez besoin pour le choix des composants et le dimensionnement afin de garantir un fonctionnement fiable du système.

Pour les points où des connaissances plus précises sont recommandées, des références à des documents additionnels sont fournies en plus des informations de base de ce manuel.

La liste de contrôle située à la fin de ce manuel, que vous pouvez déplier ou détacher, constitue aussi une aide pratique, dans laquelle vous pouvez cocher les différentes étapes réalisées. Elle vous donne ainsi une vue d'ensemble rapide et simple de tous les facteurs de conception pertinents.

En tenant compte de tous ces facteurs, vous partez du bon pied pour concevoir un système fiable et éconénergétique.



2è partie : quatre étapes pour un système optimal
Étape 1: aspects pratiques des systèmes de secteur CA

Identification de la configuration de secteur réelle

Divers types de systèmes secteur CA sont utilisés pour alimenter des variateurs électriques. Ils ont tous un effet sur les caractéristiques CEM du système, mais à différents degrés. Le système à 5 fils TN-S est le meilleur à cet égard, alors que le système IT isolé est le moins souhaitable.

Systèmes secteur TN
Il existe deux versions de cette forme de système de distribution secteur : TN-S et TN-C.

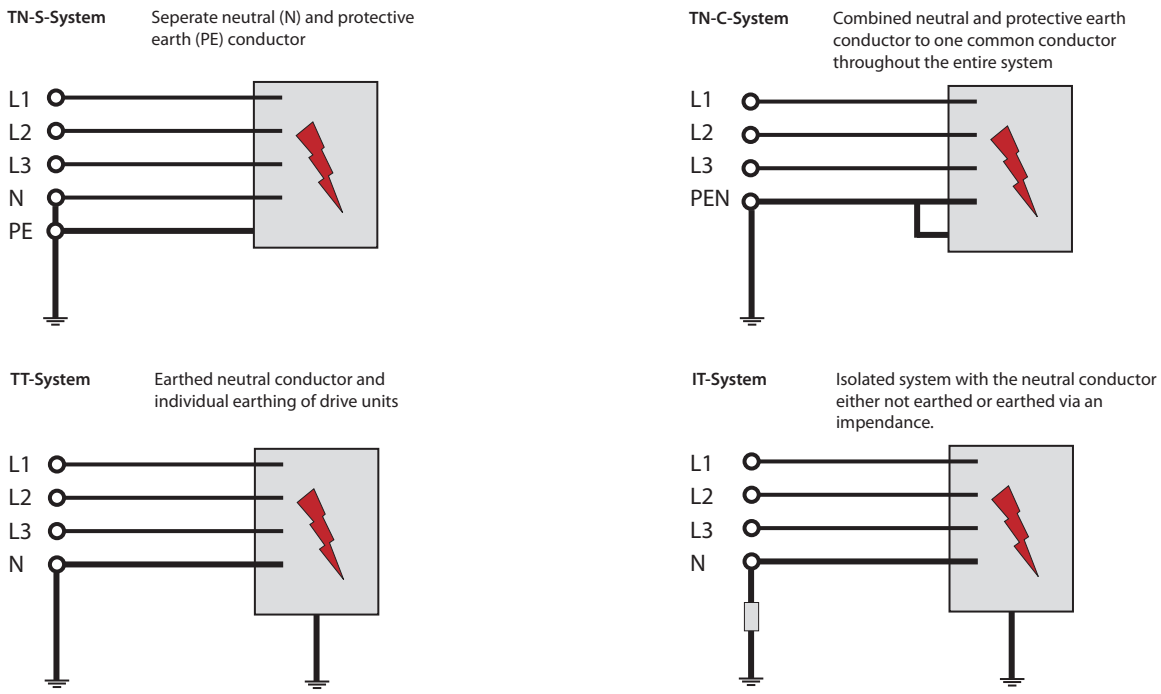
TN-S
Il s'agit d'un système à 5 fils avec des conducteurs neutre (N) et de terre (PE) séparés.
Il fournit ainsi les meilleures propriétés CEM et évite la transmission d'interférences.

TN-C
Il s'agit d'un système à 4 fils avec un conducteur neutre et de protection par mise à la terre commun au système entier.
Du fait que le conducteur neutre et de protection par mise à la terre soit combiné, un système TN-C ne présente pas de bonnes caractéristiques CEM.

Systèmes secteur TT
Il s'agit d'un système à 4 fils avec un conducteur neutre mis à la terre et une mise à la terre individuelle des variateurs.
Ce système a de bonnes caractéristiques CEM si la mise à la terre est correctement mise en œuvre.

Système secteur IT
Il s'agit d'un système à 4 fils isolé où le conducteur neutre est mis à la terre ou non via une impédance.

Remarque : *toutes les fonctions CEM du variateur de fréquence (filtres, etc.) doivent être désactivées quand il est utilisé dans un système secteur IT.*



Formes de systèmes secteur électriques selon EN 50310/HD 384.3

Aspects pratiques de la compatibilité électromagnétique (CEM)

Tout dispositif électrique génère des champs électriques et magnétiques qui ont dans une certaine mesure un effet sur son environnement direct.

L'ampleur et les conséquences de ces effets dépendent de la puissance et de la conception du dispositif. Dans les machineries et systèmes électriques, les interactions entre les assemblages électriques ou électroniques peuvent nuire ou empêcher un fonctionnement fiable et irréprochable. Pour les opérateurs, concepteurs et ingénieurs d'usine, il est donc important de comprendre les mécanismes de ces interactions. Ce n'est qu'à cette condition qu'ils seront capables de prendre des contre-mesures appropriées et rentables au stade de la conception.

Le coût de mesures adaptées augmente en effet à chaque étape du processus.

Les effets électromagnétiques dans les deux sens

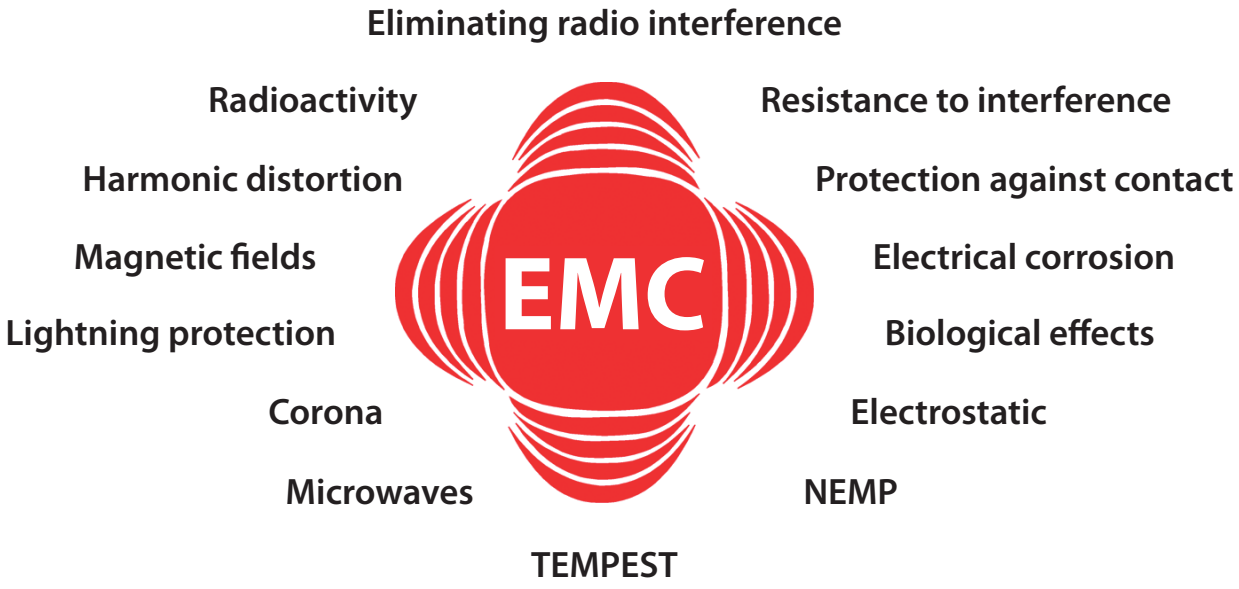
Les composants du système sont en interaction : chaque dispositif génère des interférences et fait l'objet d'interférences. Outre le type et la quantité d'interférences qu'un assemblage engendre, il est caractérisé par son immunité aux interférences produites par les assemblages à proximité.

La responsabilité de l'opérateur

Précédemment, le fabricant d'un composant ou d'un assemblage pour variateurs électriques devait prendre des contre-mesures pour se soumettre à des normes statutaires. Avec l'introduction de la norme EN 61800-3 pour les systèmes de variateur à vitesse variable, cette responsabilité a été transférée à l'utilisateur final ou à l'opérateur du système. Maintenant, les fabricants doivent seulement offrir des solutions d'exploitation conformes à la norme. Il incombe à l'opérateur de remédier aux éventuelles interférences (en d'autres termes, en utilisant ces solutions) et d'en assumer les frais.

Deux moyens de réduction possibles

Les utilisateurs et les ingénieurs d'usine ont deux options pour assurer la compatibilité électromagnétique. Une option consiste à stopper les interférences à la source en réduisant au minimum ou en éliminant les interférences émises. L'autre option est d'augmenter l'immunité aux interférences du dispositif ou du système concerné en empêchant ou en réduisant substantiellement la réception des interférences.



La compatibilité électromagnétique (CEM) englobe une large diversité de facteurs. Les facteurs les plus significatifs dans l'ingénierie des variateurs sont les perturbations secteur, la suppression RFI et l'immunité aux interférences.

Aspects pratiques de la compatibilité électromagnétique (CEM)

Distinction entre interférence transmise et rayonnée

Il existe toujours des interactions quand plusieurs systèmes sont présents. Les spécialistes font la distinction entre la source des interférences et la réception des interférences, ce qui en pratique engage le dispositif à l'origine des interférences et le dispositif impacté. Toutes sortes de quantités électriques et magnétiques peuvent potentiellement causer des interférences. Par exemple, les interférences peuvent prendre la forme d'harmoniques du secteur, de décharges électrostatiques, de fluctuations de tension rapides, d'interférences haute fréquence ou de champs d'interférence. Dans la pratique, on utilise souvent les termes perturbation secteur, harmoniques supérieurs ou simplement harmoniques pour parler des harmoniques du secteur.

Mécanismes de couplage entre des circuits électriques

Maintenant, vous vous demandez probablement comment les interférences sont transmises. En tant qu'émissions électromagnétiques, elles peuvent essentiellement être transmises par des conducteurs, des champs électriques ou des ondes électromagnétiques. En termes techniques, on parle de couplage conducteur, capacitif et/ou inductif et de couplage de rayonnement, ce qui signifie une interaction entre différents circuits dans lesquels l'énergie électromagnétique circule d'un circuit à un autre.

Couplage conducteur

Le couplage conducteur se produit quand au moins deux circuits électriques sont reliés à un autre circuit par un conducteur commun, tel qu'un câble d'équipotentialité.

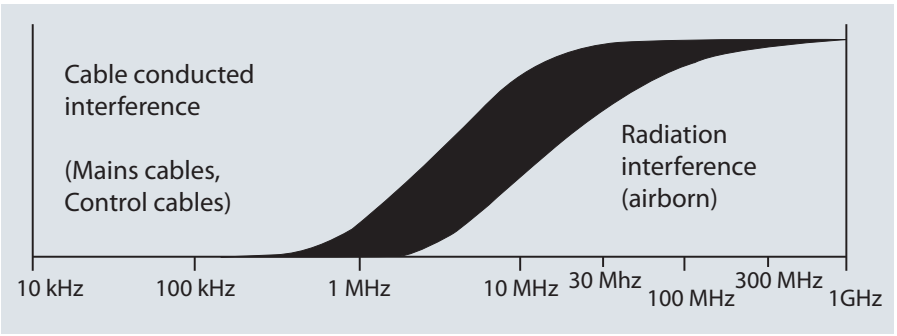
Couplage capacitif

Le couplage capacitif résulte des différences de tension entre les circuits. Le couplage inductif survient entre deux conducteurs porteurs de courant.

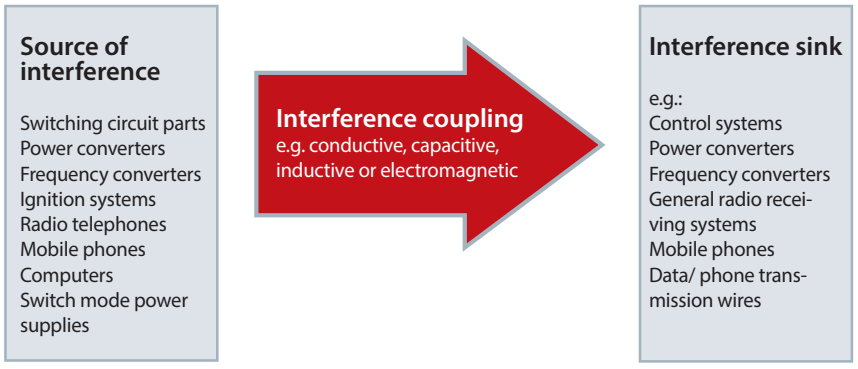
Couplage de rayonnement

Le couplage de rayonnement a lieu quand une réception d'interférences se situe dans la zone éloignée d'un champ d'électromagnétique généré par une source d'interférences. Dans le cadre d'une analyse électromagnétique, la norme spécifie 30 MHz comme limite entre couplage conducteur et couplage de rayonnement. Ceci correspond à une longueur d'onde de 10 mètres. Au-dessous de cette fréquence, la perturbation électromagnétique est principalement propagée à travers les conducteurs ou couplée par des champs électriques ou magnétiques. Au-dessus de 30 MHz, les fils et les câbles servent d'antennes et émettent des ondes électromagnétiques.

Chemins de diffusion des interférences



La perturbation électromagnétique a lieu sur toute la plage de fréquences, mais les chemins de propagation et la forme de diffusion changent.



Vue d'ensemble des chemins de couplage des perturbations électromagnétiques et exemples types

Variateurs de fréquence et CEM

Effets basse fréquence (conducteurs) → Perturbations secteur/harmoniques

Effets haute fréquence (rayonnement) → Interférences de radio fréquence (émission de champs électromagnétiques)

Aspects pratiques de la qualité de la puissance du secteur

Perturbation secteur basse fréquence

Réseaux d'alimentation à risque

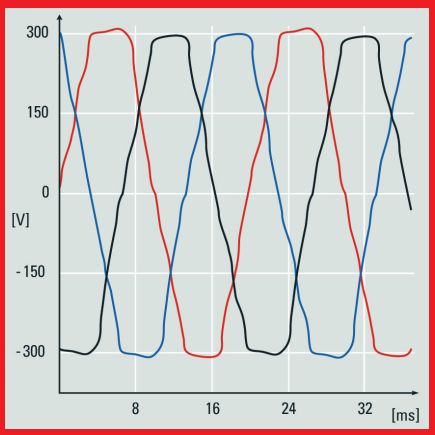
La tension secteur fournie à des maisons, des commerces et à l'industrie par des compagnies d'électricité devrait être une tension sinusoïdale uniforme avec une amplitude et une fréquence constantes. Cette situation idéale ne se trouve plus sur les réseaux publics. Ceci est dû en partie à des charges qui prélèvent des courants non sinusoïdaux sur le secteur ou qui ont des caractéristiques non-linéaires, telles que les PC, les téléviseurs, les alimentations à découpage, les lampes à économie d'énergie et les variateurs de fréquence. La qualité de la puissance du secteur déclinera même encore davantage à l'avenir en raison du réseau d'énergie européen, de l'utilisation accrue du réseau et d'investissements réduits. Les écarts par rapport à la forme d'onde sinusoïdale idéale sont par conséquent inévitables et acceptables dans certaines limites.

Les concepteurs de services de site et les opérateurs ont l'obligation de maintenir les perturbations secteur à un niveau minimum. Mais quels sont les limites et qui les spécifie ?

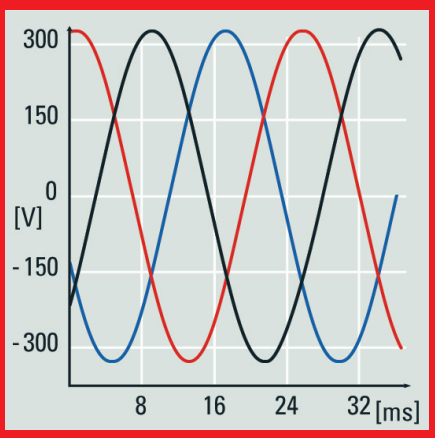
Qualité garantie par des dispositions

Les normes, les directives et les réglementations sont utiles dans toute discussion concernant une alimentation secteur propre, de haute qualité. Dans la plupart des pays européens, la base de l'estimation objective de la qualité du secteur est la loi sur la compatibilité électromagnétique des dispositifs. Les normes européennes EN 61000-2-2, EN 61000-2-4 et EN 50160 définissent les limites de la tension secteur qui doivent être observées sur les réseaux publics et industriels.

Les normes EN 61000-3-2 et 61000-3-12 sont les réglementations relatives aux perturbations secteur générées par les dispositifs reliés. Les opérateurs de site doivent aussi prendre en compte les normes EN 50178 et les conditions de connexion de la compagnie d'électricité dans l'analyse globale. La supposition de base est que la conformité à ces niveaux garantit que tous les dispositifs et systèmes connectés aux systèmes de distribution électrique accompliront leur mission sans problème.



Les mesures montrent la déformation distincte de la forme d'onde de la tension secteur suite à des interférences à partir de charges non linéaires.



La situation idéale d'une tension secteur sinusoïdale est rarement identifiée de nos jours sur nos réseaux de secteur.

Survenue d'une perturbation secteur

Des experts se réfèrent à la déformation de la forme d'onde sinusoïdale dans les systèmes secteur par les courants d'entrée à impulsion des charges connectées sous le terme « perturbation secteur » ou « harmoniques ». Ils appellent aussi cela le résidu harmonique du secteur, qui est dérivé de la méthode Fourier, et ils l'évaluent jusqu'à 2,5 kHz, ce qui correspond au 50è harmonique de la fréquence secteur.

Les redresseurs d'entrée des variateurs de fréquence génèrent cette forme typique d'interférence harmonique sur le secteur. Si les variateurs de fréquence sont reliés à des systèmes de secteur 50 Hz, le troisième harmonique (150 Hz), le cinquième harmonique (250 Hz) ou le septième harmonique (350 Hz) sont examinés. Ce sont les points où les effets sont les plus forts. Le contenu d'harmonique total est aussi appelé taux d'harmoniques (THD).

Aspects pratiques d'une perturbation secteur basse fréquence

Analyse des perturbations secteur

Pour éviter la diminution excessive de la qualité de la puissance du secteur, diverses méthodes de réduction, d'évitement et de compensation peuvent être utilisées avec des systèmes ou des dispositifs qui engendrent des harmoniques de courant. Des programmes d'analyse du secteur, tels que le logiciel de calcul des harmoniques VLT® MCT 31, peuvent être utilisés pour analyser le système dès la phase de conception. Les opérateurs peuvent ainsi envisager et tester des contre-mesures spécifiques au préalable et garantir une disponibilité postérieure du système.

Remarque : la société Danfoss est très compétente en termes de CEM et dispose d'un grand nombre d'années d'expérience dans ce domaine. Nous transmettons cette expérience à nos clients à l'aide de cours de formation, de séminaires, d'ateliers et, au quotidien, grâce à des analyses CEM avec une évaluation détaillée ou des calculs sur le secteur.

Remarque : un résidu harmonique excessif place une charge sur l'équipement de correction du facteur de puissance et peut même entraîner sa destruction. Pour cette raison, des bobines d'arrêt doivent être installées.



VLT® MCT 31 évalue les harmoniques de courant et la distorsion de tension de votre application, puis détermine si un filtre harmonique est nécessaire. De plus, le logiciel peut déterminer les conséquences liées à l'ajout d'un équipement d'atténuation et si votre système est conforme à diverses normes.

Effets d'une perturbation secteur

Les harmoniques et les fluctuations de tension sont deux formes de perturbation secteur transmises par basse fréquence. Leur apparence est différente à leur origine par rapport à tout autre point du système secteur où une charge est reliée.

En conséquence, l'alimentation, la structure du secteur et les charges doivent être prises en compte ensemble lors de l'évaluation de la perturbation secteur.
Les effets d'un niveau d'harmoniques élevé sont décrits ci-dessous.

Avertissements de sous-tension

- Mesures de tension incorrectes suite à la distorsion de la tension secteur sinusoïdale
- Capacité réduite du secteur

Pertes plus importantes

- Les harmoniques prennent une part supplémentaire de la puissance active, de la puissance apparente et de la puissance réactive
- Durée de vie plus courte des dispositifs et des composants, par exemple comme conséquence des effets de chauffe additionnels suite aux résonnances
- Dysfonctionnement ou dommages à des charges électriques ou électroniques (comme un ronflement dans d'autres dispositifs). Dans le pire des cas, une destruction peut même se produire.
- Mesures incorrectes, car seuls les instruments et systèmes de mesure de courant efficace réel (RMS) tiennent compte du résidu harmonique.

Disponibilité de variateurs de fréquence sans interférence

Chaque variateur de fréquence génère une perturbation secteur. Cependant, la norme actuelle considère uniquement la plage de fréquence jusqu'à 2 kHz. Pour cette raison, certains fabricants décalent la perturbation secteur dans la zone supérieure à 2 kHz, qui n'est pas concernée par la norme, et commercialisent les dispositifs comme des dispositifs « sans interférence ». Les limites de cette zone sont actuellement étudiées.

Aspects pratiques de la réduction des perturbations secteur

Options pour réduire les perturbations secteur

Généralement, la perturbation secteur issue de contrôleurs de puissance électroniques peut être réduite en limitant l'amplitude des courants d'impulsions. Cela améliore le facteur de puissance λ (lambda). Pour éviter une diminution excessive de la qualité de la puissance du secteur, diverses méthodes de réduction, d'évitement ou de compensation peuvent être utilisées avec des systèmes et des dispositifs qui génèrent des harmoniques.

- Bobines d'arrêt à l'entrée ou sur le circuit intermédiaire des variateurs de fréquence
- Circuits intermédiaires minces
- Redresseurs avec 12, 18 ou 24 impulsions par cycle
- Filtres passifs
- Filtres actifs
- Application frontale active et Variateurs VLT® à charge harmonique faible

Bobines d'arrêt à l'entrée ou sur le circuit intermédiaire

Même de simples bobines d'arrêt peuvent réduire efficacement le niveau d'harmoniques retournés sous forme de perturbation secteur dans le système par des circuits de redresseur. Les fabricants de variateurs de fréquence les proposent généralement comme des options supplémentaires ou des mises à niveau.

Les bobines d'arrêt peuvent être reliées en avant du variateur de fréquence (du côté alimentation) ou sur le circuit intermédiaire après le redresseur. Comme l'inductance a le même effet quel que soit l'emplacement, l'atténuation de la perturbation secteur est indépendante de l'implantation de la bobine d'arrêt.

Chaque option a des avantages et des inconvénients. Les bobines d'arrêt en entrée sont plus chères, plus grandes et engendrent des pertes plus importantes que les bobines sur le circuit intermédiaire. Leur avantage réside dans le fait qu'elles protègent aussi le redresseur des transitoires réseau. Les bobines CC sont situées sur le circuit intermédiaire. Elles sont plus efficaces, mais ne peuvent généralement pas être mises à niveau. Avec ces bobines d'arrêt, le taux d'harmoniques d'un redresseur B6 peut être réduit à partir d'un THD_I de 80 % sans bobine d'arrêt à environ 40 %. Les bobines d'arrêt avec une U_k de 4 % ont prouvé leur efficacité avec des variateurs de fréquence. Seuls des filtres spécialement adaptés permettent d'accroître encore la réduction.

Redresseur avec 12, 18 ou 24 impulsions par cycle

Les circuits de redresseur avec un nombre élevé d'impulsions par cycle (12, 18 ou 24) engendrent des niveaux d'harmoniques inférieurs. Ils ont souvent été utilisés dans des applications haute puissance dans le passé.

Cependant, ils doivent être alimentés par des transformateurs spéciaux à enroulement secondaire et décalage de phase multiple, qui fournissent toute la puissance nécessaire au niveau du redresseur. En plus de la complexité et de la dimension du transformateur spécial, on compte parmi les inconvénients de cette technologie les frais d'investissement élevés pour le transformateur et le variateur de fréquence.

Filtres passifs

Où il existe des exigences particulièrement strictes en termes de limite du taux d'harmoniques, des filtres passifs de perturbation secteur sont disponibles en option. Il s'agit de composants passifs, tels que des bobines et des condensateurs.
Les circuits de série LC spécifiquement réglés pour les fréquences d'harmoniques individuelles et reliés en parallèle à la charge réduisent le taux d'harmoniques (THD) à 10 % ou 5 % au niveau de l'entrée du secteur. Les modules de filtre peuvent être utilisés avec des variateurs de fréquence individuels ou des groupes de variateurs de fréquence. Pour obtenir les meilleurs résultats possibles avec un filtre harmonique, il doit être mis en correspondance avec le courant d'entrée réellement prélevé par le variateur de fréquence.

En ce qui concerne la conception de circuit, les filtres harmoniques passifs sont installés en avant d'un variateur de fréquence ou d'un groupe de variateurs de fréquence.

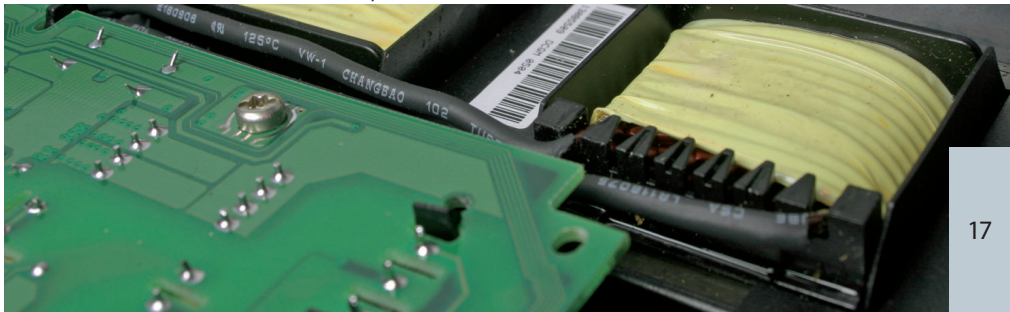
Avantages des filtres passifs

Ce type de filtre offre un bon rapport qualité/prix. A un coût relativement bas, l'opérateur peut obtenir une réduction des niveaux d'harmoniques comparable à celle obtenue avec des redresseurs à 12 ou 18 impulsions/cycle. Le taux d'harmoniques (THD) peut être réduit à 5 %.
Les filtres passifs ne génèrent pas d'interférences dans la plage de fréquences supérieure à 2 kHz.
Comme ils se composent entièrement de composants passifs, il n'existe aucune usure et ils sont insensibles aux interférences électriques et à la contrainte mécanique.

Inconvénients des filtres passifs

En raison de leur conception, les filtres passifs sont relativement grands et lourds. Les filtres de ce type sont très efficaces dans la gamme de charges comprise entre 80 et 100 %. Cependant, la puissance réactive capacitive augmente avec une charge en baisse et il est recommandé de déconnecter les condensateurs de filtre en marche à vide.

Remarque : les variateurs de fréquence VLT de Danfoss sont équipés de série avec des bobines d'arrêt sur le circuit intermédiaire. Ils réduisent la perturbation secteur à un THDi de 40 %.



Aspects pratiques de la réduction des perturbations secteur

Filtres actifs

Quand des exigences relatives à la perturbation secteur sont encore plus drastiques, des filtres actifs électroniques sont utilisés. Les filtres actifs sont des circuits d'absorption électroniques que l'utilisateur relie en parallèle aux générateurs d'harmoniques. Ils analysent les harmoniques de courant générés par la charge non-linéaire et fournissent un courant de compensation. Ce courant neutralise complètement les harmoniques de courant correspondants au point de connexion.

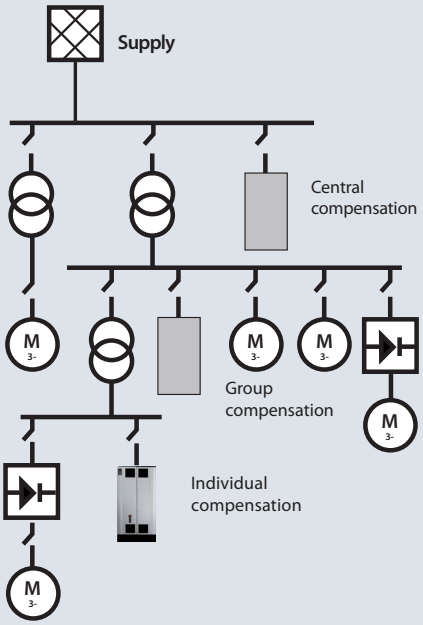
Le degré de compensation est réglable. Ainsi, les harmoniques peuvent être presque complètement compensés, si souhaité, ou (peut-être pour des raisons économiques) seulement au niveau nécessaire pour permettre la mise en conformité du système avec les limites légales. Là encore, il faut garder à l'esprit que ces filtres fonctionnent avec des fréquences d'horloge et produisent une perturbation secteur dans la plage comprise entre 4 et 18 kHz.

Avantages des filtres actifs

Les opérateurs peuvent incorporer les filtres actifsà tout emplacement du système de secteur à titre de mesures centrales, selon qu'ils souhaitent compenser des variateurs individuels, des groupes entiers ou même un système de distribution complet. Il n'est pas nécessaire de prévoir un filtre distinct pour chaque variateur de fréquence. Le taux d'harmoniques chute à un niveau THDi ≤ 4 %.

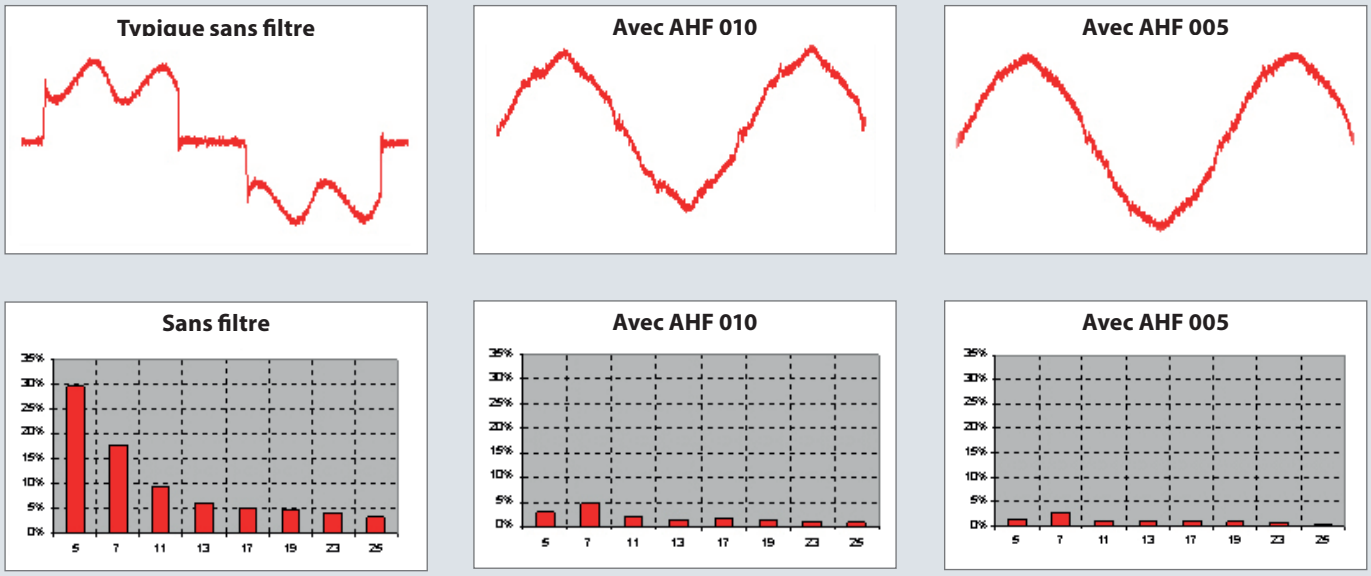
Inconvénients des filtres actifs

Un inconvénient est le coût d'investissement relativement élevé. En plus, ces filtres ne sont pas efficaces au-dessus du 25è niveau d'harmonique. Les effets au-dessus de 2 kHz engendrés par les filtres eux-mêmes doivent également être pris en compte avec la technologie des filtres actifs. Des mesures additionnelles peuvent être nécessaires pour garder sain le système de secteur.



Les filtres actifs peuvent être installés à n'importe quel endroit du système de secteur, selon qu'ils doivent fournir une compensation pour des variateurs individuels, des groupes entiers ou des systèmes de secteur complets.

Spectre de courant et de distorsion à pleine charge



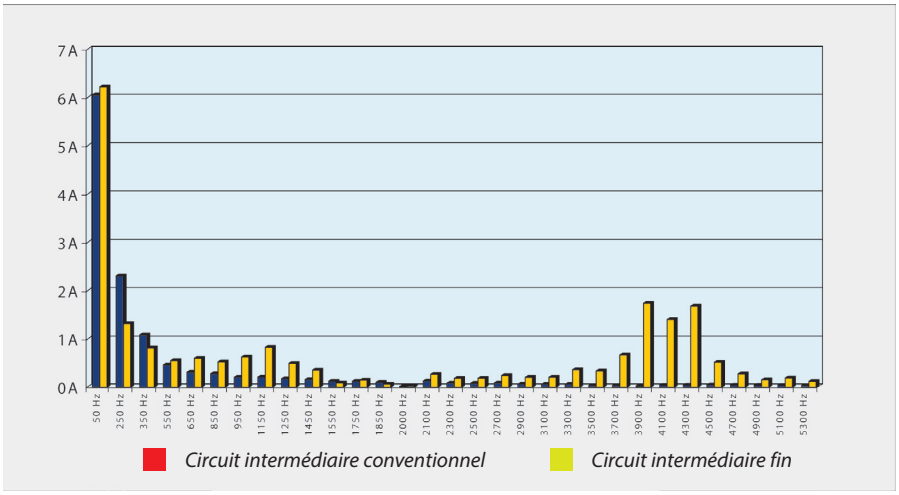
Les AHF (filtres harmoniques avancés) réduisent la distorsion totale des harmoniques de courant à 5 % ou 10 % à pleine charge.

Circuit intermédiaire fin

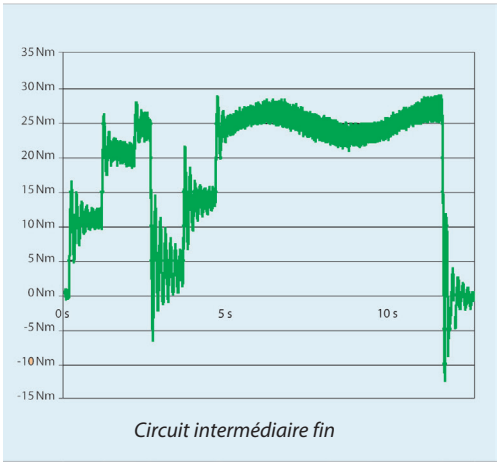
Ces dernières années ont vu la disponibilité des variateurs de fréquence augmenter avec le circuit intermédiaire « fin ». Avec cette approche, les fabricants réduisent largement la capacitance des condensateurs de circuit intermédiaire. Même sans bobine d'arrêt, cela réduit le cinquième harmonique du courant à un niveau de THDi inférieur à 40 %.

Cependant, c'est également à l'origine de perturbations secteur dans la plage haute fréquence qui n'auraient pas lieu habituellement. Le large spectre de fréquence des dispositifs dotés de circuits intermédiaires présente un risque accru de résonance avec les autres composants raccordés au secteur comme les ampoules fluorescentes ou les transformateurs. L'étude de mesures appropriées s'avère par conséquent chronophage et très complexe. Par ailleurs, les variateurs dotés de circuits intermédiaires fins présentent des faiblesses côté charge. Avec ce type de variateurs, les variations de charge entraînent des variations de tension sensiblement supérieures. En conséquence, ils ont davantage tendance à osciller en fonction des variations de charge subies par l'arbre moteur. Le délestage de charge s'avère également difficile. Pendant le délestage de charge, le moteur agit comme un générateur avec pics de tension élevés.

Pour pallier cette difficulté, les dispositifs dotés de circuits intermédiaires se ferment plus rapidement que les dispositifs conventionnels afin de les protéger de tout risque de destruction en cas de surcharge ou de surtension. Compte tenu de leur capacitance faible ou nulle, les variateurs dotés de circuits intermédiaires fins ne conviennent pas à un système exposé à des pannes de secteur. En règle générale, un circuit intermédiaire fin possède une capacitance d'environ 10% d'un circuit intermédiaire conventionnel. Outre la perturbation secteur due au courant d'entrée, les variateurs dotés de circuits intermédiaires fins perturbent le secteur avec la fréquence de commutation de l'onduleur côté moteur. Cela transparaît clairement côté secteur, du fait de la capacitance faible ou nulle du circuit intermédiaire.



Omformere med slim DC-links genererer højere harmoniske niveauer, især i de højere frekvensområder.



Circuit intermédiaire fin

Application frontale active

Les variateurs « Low Harmonic Drive » (LHD) sont souvent associés à la description de variateurs pour application frontale active (AFE). Argument malgré tout un peu trompeur en ce sens que l'appellation « Low Harmonic Drive » est susceptible de couvrir de nombreuses technologies distinctes et d'inclure une atténuation à la fois passive et active. Les variateurs pour application frontale active sont dotés de commutateurs IGBT au niveau des circuits d'entrée du variateur en remplacement des redresseurs conventionnels. Ces circuits utilisent des dispositifs à semi-conducteur avec des caractéristiques de commutation rapide pour forcer le courant d'entrée à être plus ou moins sinusoïdal et sont très efficaces pour atténuer les perturbations secteur basse fréquence. Comme les variateurs de fréquence avec circuits intermédiaires fins, ils génèrent des perturbations secteur dans la plage haute fréquence.

Une application frontale active correspond à l'approche la plus chère pour réduire les perturbations secteur, car elle équivaut à un variateur de fréquence supplémentaire qualifié capable de retourner l'alimentation vers le système de secteur.
L'option de variateur à charge harmonique faible n'offre pas cette capacité et est donc un peu moins coûteuse.

Aspects pratiques de la réduction des perturbations secteur

Avantages de l'AFA

Le taux d'harmoniques chute à un niveau de THDi d'environ <4 % dans la plage du 3è au 50è harmonique. Le fonctionnement à quatre quadrants est possible avec des dispositifs AFA, ce qui veut dire que la puissance de freinage du moteur peut être renvoyée dans le système de secteur.

Inconvénients de l'AFA

La complexité technique des dispositifs est très forte, ce qui conduit à des frais d'investissement très élevés. En principe, les dispositifs AFA se composent de deux variateurs de fréquence, l'un alimentant le moteur et l'autre le système de secteur. En raison de la complexité accrue du circuit, l'efficacité du variateur de fréquence est inférieure lors de l'exploitation du moteur.

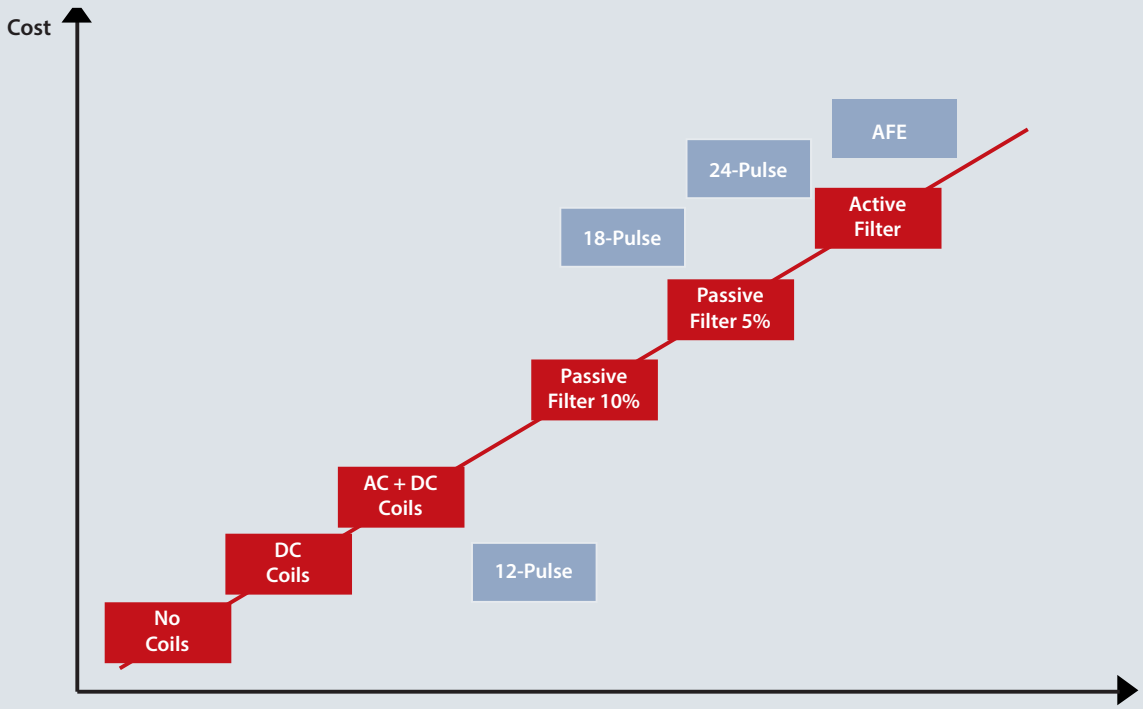
Pour garantir une exploitation correcte, l'application frontale active a toujours besoin d'une tension continue de circuit intermédiaire supérieure. Dans de nombreux cas, cette tension élevée est transmise au moteur, ce qui provoque des contraintes supérieures sur l'isolation du moteur. La non séparation des circuits intermédiaires des dispositifs d'application frontale active risque d'entraîner une panne du filtre et de provoquer une panne de l'ensemble du dispositif.

La perte de puissance peut être 40 à 50 % plus importante que celle d'un variateur de fréquence avec des redresseurs non contrôlés. Un autre inconvénient est la fréquence d'horloge utilisée par les dispositifs pour la correction du courant d'entrée. Elle se trouve dans la plage de 3 à 6 kHz.

Les bons (et relativement complexes) dispositifs filtrent cette fréquence d'horloge avant d'alimenter le système de secteur. Les normes et les statuts actuellement applicables ne couvrent pas cette plage de fréquences. Les analyseurs de secteur actuellement disponibles ne font généralement pas l'acquisition des données de cette plage de fréquences et ne permettent donc pas de mesurer les effets.

Cependant, ces derniers peuvent être vus sur tous les dispositifs en fonctionnement sur le système de secteur concerné, sous la forme de courant d'entrée renforcé avec des alimentations électriques, par exemple. Les effets deviennent visibles seulement des années plus tard. En conséquence, les opérateurs devraient interroger spécifiquement les fabricants au sujet des niveaux d'émission et des contre-mesures dans l'intérêt de la fiabilité opérationnelle de leurs propres systèmes.

Remarque : il n'existe aucune spécification quant à la nécessité pour les dispositifs produits en série de se conformer aux limites définies dans la norme EN 61000-3-12. Il est tout à fait possible pour un variateur de se conformer à ces limites uniquement en l'associant à un filtre supplémentaire.



Vue d'ensemble de mesures de réduction des harmoniques

Aspects pratiques des interférences haute fréquence (RFI)

Interférences de radio fréquence

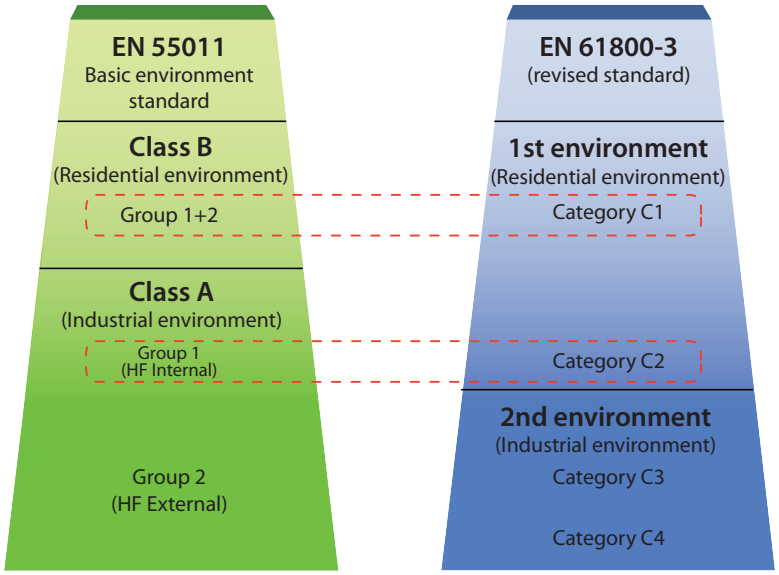
Les variateurs de fréquence engendrent des fréquences de champ tournant variables aux tensions de moteur correspondantes suite à des impulsions de courant rectangulaires à largeur variable. Les forts fronts d'impulsions contiennent des composants haute fréquence. Les câbles de moteur et les variateurs de fréquence émettent des radiations de ces composants et les conduisent dans le système de secteur par le câble.

Les fabricants utilisent les filtres RFI (interférences de radio fréquence) (appelés aussi filtres secteur ou CEM) pour réduire le niveau de ce type d'interférences sur l'alimentation secteur.

Ils servent à protéger les dispositifs contre les interférences transmises par la haute fréquence (immunité au bruit) et à réduire la quantité de ces interférences émises par un dispositif sur le câble secteur ou par rayonnement du câble secteur.

Les filtres sont destinés à limiter ces interférences à un niveau légal spécifié, ce qui signifie qu'ils doivent être installés autant que faire se peut en standard dans l'équipement. Comme avec les bobines d'arrêt secteur, la qualité du filtre RFI à utiliser doit être clairement définie.
Les limites spécifiques des niveaux d'interférence sont définies dans la norme produit EN 61800-3 et dans la norme générique EN 55011.

Comparaison des niveaux d'interférence



Comparaison des nouvelles catégories C1 à C4 définies par la norme produit EN 61800-3 et les classes A et B de la norme environnementale EN 55011.

Limites posées par les normes et les directives

Deux normes doivent être observées pour l'évaluation complète des interférences de radio fréquence. La première est la norme environnementale EN 55011, qui définit les limites selon l'environnement de base : industriel (classes A1 et A2) ou résidentiel (classe B). De plus, la norme produit EN-61800-3 pour les systèmes de variateurs électriques, entrée en vigueur en juin 2007, définit de nouvelles catégories (C1 à C4) pour les domaines d'application des dispositifs.

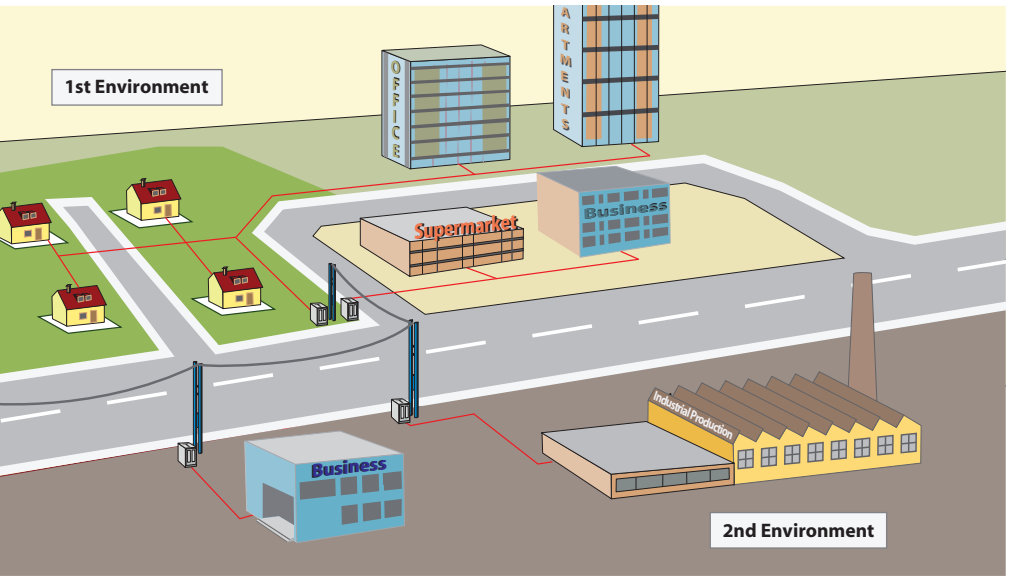
Bien qu'elles soient comparables aux classes précédentes en ce qui concerne les limites, elles autorisent une gamme plus large d'applications à l'intérieur de la portée de la norme produit.

Remarque :
Les opérateurs de site doivent se conformer à la norme EN 55011 en cas de problème. Les fabricants de variateurs doivent se conformer à la norme EN 61800-3.

Norme produit EN 61800-3 (07-2005) pour les systèmes de variateurs électriques				
Classement par catégorie	C1	C2	C3	C4
Environnement	1er environnement	1er ou 2è environnement (choix de l'opérateur)	2è environnement	2è environnement
Tension/courant	< 1 000 V			> 1 000 V > 400 A Connexion au réseau IT
Compétence CEM	Aucune exigence	Installation et mise en service par un spécialiste CEM		Plan CEM requis
Limites selon EN 55011	Classe B	Classe A1 (plus notice d'avertissement)	Classe A2 (plus notice d'avertissement)	Dépassement de valeurs Classe A2

Classement des nouvelles catégories C1 à C4 de la norme produit EN 61800-3

Aspects pratiques du 1er et du 2è environnement



Classement des environnements d'exploitation en 1er, 2è environnements et environnements spéciaux, parmi lesquels l'opérateur est autorisé à faire un choix.

Le site d'exploitation en tant que facteur décisif

Les limites de chaque environnement sont spécifiées par les normes correspondantes, mais comment les dispositifs sont-ils assignés aux différents types d'environnement ? Là encore, les normes EN 55011 et EN 61800-3 fournissent des informations sur les systèmes de variateurs électriques et les composants.

1er environnement/classe B : environnement résidentiel

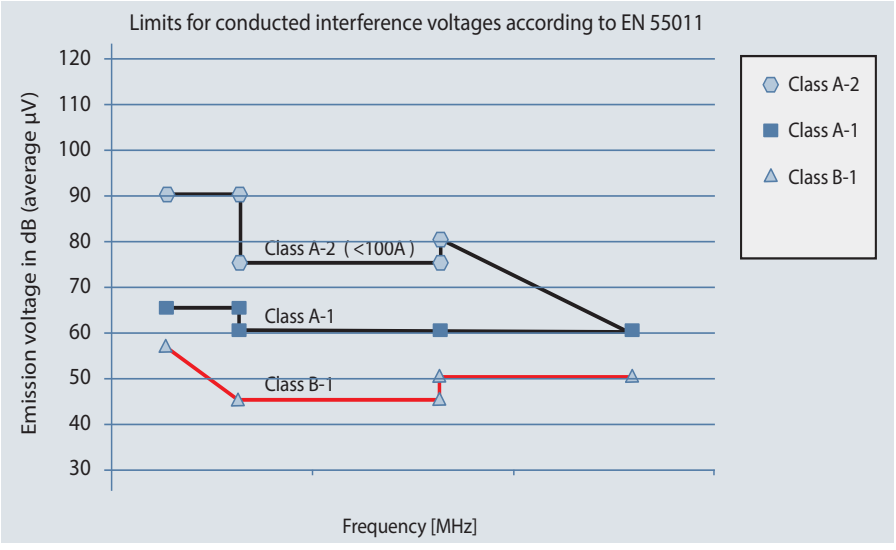
Tous les sites d'exploitation reliés directement au réseau public basse tension, y compris les zones légèrement industrialisées, sont classés environnement résidentiel ou commercial. Ils ne disposent pas de leurs propres transformateurs de distribution haute ou moyenne tension pour un système de secteur distinct.
Les classements d'environnement s'appliquent aux bâtiments, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur. Quelques exemples : zones commerciales, zones et bâtiments résidentiels, restaurants et sociétés de loisirs, parkings, installations de divertissement et sportives.

2è environnement/classe A : environnement industriel

Les environnements industriels sont des sites d'exploitation qui ne sont pas reliés directement au réseau public basse tension, mais qui ont leurs propres transformateurs de distribution haute ou moyenne tension. Ils sont définis ainsi dans le cadastre et sont caractérisés par des conditions électromagnétiques spécifiques :

- présence de dispositifs scientifiques, médicaux ou industriels ;
- commutation de grandes charges inductives et capacitives ;
- survenue de champs magnétiques forts (par exemple, suite à des courants élevés).

Les classements d'environnement s'appliquent aux bâtiments, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur.



Environnements spéciaux

Ici les utilisateurs peuvent décider du classement de l'environnement de leur site. Cela suppose que la zone dispose de son propre transformateur moyenne tension et qu'elle est clairement démarquée des autres zones. À l'intérieur de cette zone, l'utilisateur est personnellement responsable de la compatibilité électromagnétique nécessaire pour permettre une exploitation sans difficulté de tous les dispositifs dans certaines conditions. Quelques exemples d'environnements spéciaux : centres commerciaux, supermarchés, stations-service, immeubles de bureaux et entrepôts.

Pas de compromis

Si un variateur de fréquence non conforme à la catégorie C1 est utilisé, le dispositif doit être pourvu d'une notice d'avertissement. Ce point est de la responsabilité de l'utilisateur ou de l'opérateur.
En cas d'interférences, les spécialistes basent toujours l'élimination des interférences sur les limites définies pour les classes A1/A2 et B de la norme générique EN 55011 selon l'environnement d'exploitation. Le coût pour remédier aux problèmes de CEM est supporté par l'opérateur. L'utilisateur est le responsable final du classement approprié des dispositifs par rapport à ces deux normes.

Aspects pratiques des mesures de protection du secteur

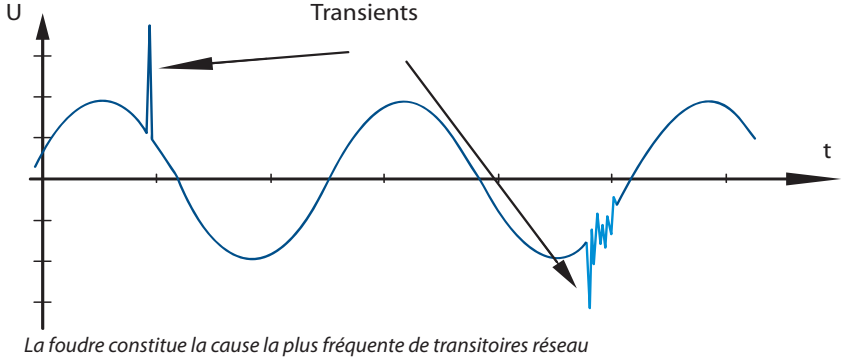
Correction du facteur de puissance

L'équipement de correction du facteur de puissance sert à réduire le déphasage (φ) entre la tension et le courant, et il rapproche le facteur de puissance de l'unité (cos φ). Ceci est nécessaire quand un nombre élevé de charges inductives, telles que des moteurs ou des régulateurs de puissance, sont utilisées dans un système de distribution électrique. Selon la conception du circuit intermédiaire, les variateurs de fréquence ne prélèvent pas de puissance réactive du système de secteur et ne génèrent pas non plus de déphasage. Ils ont un cos φ d'environ 1. Pour cette raison, les utilisateurs de moteurs à vitesse variable ne doivent pas en tenir compte lors du dimensionnement d'un équipement de correction du facteur de puissance éventuellement nécessaire. Cependant, le courant prélevé par l'équipement de correction de phase augmente parce que les variateurs de fréquence engendrent des harmoniques. La charge sur les condensateurs augmente proportionnellement au nombre de générateurs d'harmoniques et ils chauffent plus. Pour ces raisons, l'opérateur doit installer des bobines d'arrêt dans l'équipement de correction du facteur de puissance. Ces bobines empêchent aussi les résonances entre les inductances de charge et la capacitance de l'équipement de correction du facteur de puissance.
Les variateurs avec cos j < 1 requièrent aussi des bobines d'arrêt dans l'équipement de correction du facteur de puissance. L'utilisateur doit tenir compte du niveau de puissance réactive plus important lors du dimensionnement des câbles.

Transitoires réseau

Les transitoires sont de brefs pics de tension dans une plage de quelques milliers de volts. Ils peuvent avoir lieu dans tous les types de systèmes de distribution de puissance, dans des environnements aussi bien industriels que résidentiels.
La foudre est une cause courante de transitoires. Cependant, ils sont aussi causés par la commutation en ligne/hors ligne de grandes charges ou la commutation d'un autre équipement, comme un équipement de correction du facteur de puissance. Les courts-circuits, le déclenchement de disjoncteurs dans des systèmes de distribution électrique et le couplage inductif entre des câbles parallèles peuvent aussi causer des transitoires.

La norme EN 61000-4-1 décrit les formes de ces transitoires et la quantité d'énergie qu'ils contiennent. Leurs effets nocifs peuvent être limités par diverses méthodes. Les parafoudres ioniques et les éclateurs sont utilisés pour fournir une protection de premier niveau contre les transitoires à haute énergie. Pour une protection de deuxièmes niveau, la plupart des dispositifs électroniques utilisent des varistances pour atténuer les transitoires. Les variateurs de fréquence utilisent aussi cette méthode.



La foudre constitue la cause la plus fréquente de transitoires réseau dans les stations de production d'eau potable et les stations d'épuration des eaux usées.



Aspects pratiques de l'exploitation avec un transformateur ou un générateur en veille

Utilisation maximale du transformateur

Dans les systèmes basse tension (400 V, 500 V et 690 V), les opérateurs peuvent utiliser des variateurs à vitesse variable avec des valeurs nominales jusqu'à 1 MW environ. Un transformateur convertit la tension du réseau moyenne tension à la tension requise. Dans le réseau public (environnement 1 : environnement résidentiel), la responsabilité revient à la compagnie d'électricité.
Dans les systèmes de secteurs industriels (environnement 2 : environnement industriel ; généralement 500 V ou 690 V), le transformateur est situé dans les locaux de l'utilisateur final, qui est également responsable de l'alimentation électrique du site de l'utilisateur.

Charge de transformateur

En cas de transformateurs alimentant des variateurs de fréquence, il faut garder à l'esprit que l'usage de variateurs de fréquence et d'autres charges de redresseur génère des harmoniques qui mettent une charge de puissance réactive supplémentaire sur le transformateur.

Cela entraîne des pertes plus importantes et un chauffage additionnel. Dans le pire des cas, ceci peut conduire à la destruction du transformateur. Les couplages intelligents (plusieurs transformateurs connectés ensemble) peuvent aussi engendrer des harmoniques dans certaines conditions.

Qualité de puissance

Pour garantir la qualité de la puissance du secteur selon les normes applicables, vous devez savoir combien de charges de variateurs de fréquence le transformateur peut gérer.
Des programmes d'analyse de secteur, tels que le logiciel de calcul des harmoniques VLT® MCT 31, fournissent une indication exacte du nombre de charges de variateurs de fréquence qu'un transformateur peut alimenter dans un système spécifique.

Remarque : *tous les variateurs de fréquence de la série VLT® AQUA Drive sont équipés de bobines d'arrêt de perturbation secteur en standard.*

Exploitation avec un générateur en veille

Les opérateurs utilisent des systèmes d'énergie de secours quand l'exploitation continue de dispositifs alimentés par le secteur est nécessaire, même en cas de défaut secteur. Ils sont aussi utilisés quand la mise sous tension disponible ne peut pas fournir une puissance suffisante. L'exploitation en parallèle avec le réseau public est aussi possible pour obtenir une puissance secteur supérieure. Il s'agit d'une pratique courante quand de la chaleur est également nécessaire, comme dans le cas d'unités de puissance et de chaleur combinées. Ces systèmes tirent profit de la grande efficacité qui peut être obtenue avec cette forme de conversion d'énergie. Quand l'énergie de secours est fournie par un générateur, l'impédance du secteur est généralement supérieure à celle obtenue lorsque la puissance provient du réseau public. Ceci fait augmenter le taux d'harmoniques. Avec une conception adéquate, les générateurs peuvent fonctionner dans un système contenant des générateurs d'harmoniques.

Dans l'usage, cela signifie que lorsque le système est basculé du secteur à une alimentation par générateur, on peut s'attendre à ce que la charge harmonique augmente.

Les concepteurs de services de site et les opérateurs devraient calculer ou mesurer l'augmentation de la charge harmonique pour s'assurer que la qualité de la puissance est conforme aux réglementations et, de ce fait, empêcher des problèmes et une défaillance de l'équipement.

La charge asymétrique du générateur doit être évitée, car elle accentue les pertes et peut faire augmenter le taux d'harmoniques.
Un décalage 5/6 de l'enroulement du générateur atténue les cinquième et septième harmoniques, mais laisse le troisième harmonique augmenter. Un décalage 2/3 réduit le troisième harmonique.
Si possible, l'opérateur devrait déconnecter l'équipement de correction du facteur de puissance, car des résonances peuvent se produire dans le système.

Les bobines d'arrêt ou les filtres d'absorption actifs peuvent atténuer les harmoniques. Des charges résistives exploitées en parallèle ont aussi un effet atténuant, alors que des charges capacitive exploitées en parallèle créent une charge additionnelle suite à des effets de résonance imprévisibles.

Si ces phénomènes sont pris en compte, un système secteur alimenté par un générateur peut gérer une certaine proportion de variateurs de fréquence tout en maintenant la qualité de la puissance spécifiée. Une analyse plus précise est possible en utilisant un logiciel d'analyse de secteur, tel que le logiciel de calcul d'harmoniques VLT® MCT 31.

En cas d'exploitation avec des générateurs d'harmoniques, les limites sont définies comme suit :

Redresseurs B2 et B6	→	20 % max. de la charge nominale du générateur
Redresseur B6 avec bobine d'arrêt	→	20-35 % max. de la charge nominale du générateur selon la composition
Redresseur B6 contrôlé	→	10 % max. de la charge nominale du générateur

Les chiffres de charge maximum ci-dessus sont des valeurs recommandées, fondées sur l'expérience, qui garantissent un fonctionnement sans problème.

Étape 2 : aspects pratiques des conditions ambiantes et environnementales

Emplacement d'installation correct

Un temps de disponibilité maximal et une longue durée de vie des variateurs de fréquence en fonctionnement sont seulement possibles avec un refroidissement adéquat et un air propre.

En conséquence, la sélection de l'emplacement d'installation et les conditions d'installation ont un effet décisif sur la longévité du variateur de fréquence.

Montage dans une armoire/ montage mural

Il n'y a aucune réponse toute faite pour décider si un variateur de fréquence doit être monté dans une armoire ou sur un mur. Les deux options ont leurs avantages et leurs inconvénients.

Le montage dans une armoire présente l'avantage que tous les composants électriques et électroniques sont rapprochés et protégés par une protection (l'armoire).

L'armoire est livrée entièrement assemblée sous forme d'unité complète pour l'installation sur le site.

Un inconvénient est que les composants peuvent avoir un effet les uns sur les autres suite au faible espacement à l'intérieur de l'armoire, ce qui signifie qu'une attention particulière doit être accordée à la configuration de l'armoire afin qu'elle soit conforme en termes de CEM.

De plus, les frais d'investissement des câbles du moteur blindés sont supérieurs parce que l'armoire et le variateur sont généralement significativement plus éloignés l'un de l'autre qu'avec une installation locale.

Le montage mural est plus facile à gérer en ce qui concerne la CEM en raison de la proximité du variateur de moteur.

Les câbles du moteur blindés sont plus courts et sont donc moins chers. Le coût légèrement supérieur d'un variateur de fréquence avec une protection IP54 peut facilement être compensé par le câblage réduit et le coût d'installation. Dans l'usage cependant, près de 70 % des dispositifs sont montés dans des armoires.

Remarque :
Les variateurs de fréquence Danfoss sont disponibles avec trois protections nominales différentes :

- *IP00 ou IP20 pour une installation dans une armoire*
- *IP54 ou IP55 pour un montage local*
- *IP66 pour des conditions ambiantes critiques, telles que de l'humidité extrêmement élevée (air) ou de grandes concentrations de poussière ou des gaz agressifs.*



Les variateurs de fréquence peuvent être installés de manière centrale (moteur) ou locale (près du variateur). Les deux options présentent des avantages et des inconvénients.

Aspects pratiques des niveaux IP



Les convertisseurs à contacts protégés avec protection nominale IP20 ou IP21 (à droite) sont destinés à un montage en armoire. Les convertisseurs étanches aux projections avec protection nominale IP54 ou IP55 (à gauche) sont conçus pour un montage mural ou sur châssis.

Structure des niveaux IP selon CEI 60529

		Contre la pénétration de corps étrangers solides	Contre l'accès à des parties dangereuses par
Premier chiffre	0	(non protégé)	(non protégé)
	1	≥ un diamètre de 50 mm	le dos de la main
	2	diamètre de 12,5 mm	les doigts
	3	diamètre de 2,5 mm	un outil
	4	≥ un diamètre de 1,0 mm	un fil
	5	protection contre la poussière	un fil
	6	étanchéité à la poussière	un fil

		Contre la pénétration d'eau avec un effet nocif	
Deuxième chiffre	0	(non protégé)	
	1	gouttes tombant verticalement	
	2	gouttes à un angle de 15°	
	3	vaporisation d'eau	
	4	projection d'eau	
	5	jets d'eau	
	6	jets d'eau puissants	
	7	immersion temporaire	
	8	immersion à long terme	

		Informations complémentaires spécifiques pour	
Premier chiffre	A		le dos de la main
	B		les doigts
	C		un outil
	D		un fil

		Informations complémentaires spécifiques pour	
Lettre supplémentaire	H	dispositif haute tension	
	M	déplacement du dispositif pendant l'essai en eau	
	S	dispositif fixe pendant l'essai en eau	
	W	conditions météorologiques	

Les chiffres manquants sont remplacés par « x ».

Aspects pratiques de la conception du refroidissement

Les conditions climatiques externes et les conditions ambiantes ont un effet distinct sur le refroidissement de tous les composants électriques et électroniques d'une chambre de contrôle ou d'une armoire.

Compatibilité avec les spécifications de température ambiante

Les limites de température ambiante minimale et maximale sont spécifiées pour tous les variateurs de fréquence. Ces limites sont généralement déterminées par les composants électroniques utilisés. Par exemple, la température ambiante des condensateurs électrolytiques installés sur le circuit intermédiaire doit rester dans certaines limites en raison de la dépendance à la température de leur capacitance. Bien que les variateurs de fréquence puissent fonctionner à des températures jusqu'à -10 °C, les fabricants garantissent seulement un fonctionnement correct à la charge nominale avec des températures supérieures ou égales à 0 °C. Cela signifie que vous devez éviter de les utiliser dans des zones sujettes au gel, telles que des pièces non isolées.

Vous ne devez pas non plus dépasser la limite de température maximale. Les composants électroniques sont sensibles à la chaleur.

Selon l'équation d'Arrhénius, la durée de vie d'un composant électronique diminue de 50 % pour chaque plage de 10 °C de fonctionnement au-dessus de sa température de conception. Ceci ne se limite pas aux dispositifs installés dans des armoires. Même les dispositifs avec des niveaux de protection IP54, IP55 ou IP66 peuvent être utilisés uniquement dans les plages de température ambiante spécifiées dans les manuels. Ceci nécessite parfois de climatiser les pièces ou les armoires d'installation. Le fait d'éviter des températures ambiantes extrêmes prolonge la vie des variateurs de fréquence et, de ce fait, la fiabilité du système global.

Refroidissement

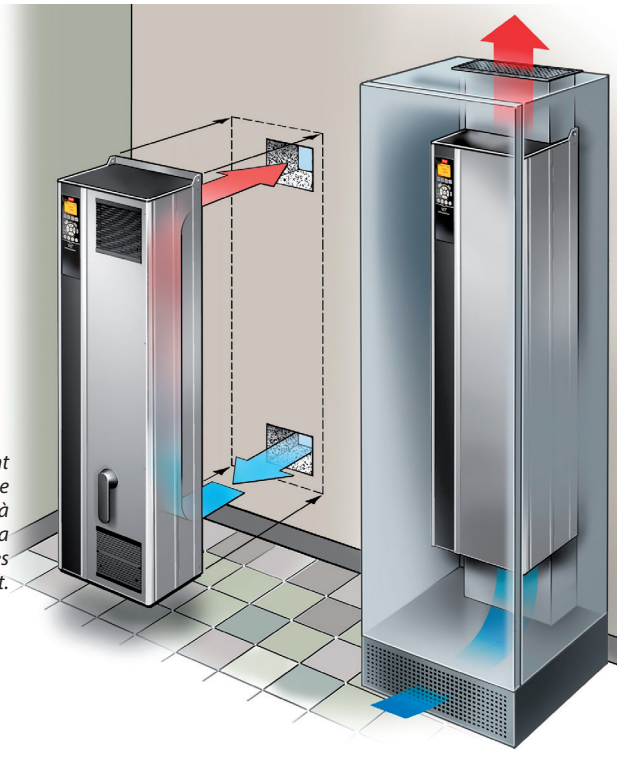
Les variateurs de fréquence dissipent la puissance sous forme de chaleur. La quantité de dissipation de puissance en watts est mentionnée dans les caractéristiques techniques du variateur de fréquence. Les opérateurs doivent prendre des mesures adéquates pour supprimer la chaleur dissipée par le variateur de fréquence de l'armoire, par exemple à l'aide de ventilateurs. Le débit d'air requis est indiqué dans la documentation du fabricant. Les variateurs de fréquence doivent être montés de façon à ce que l'air de refroidissement puisse circuler librement à travers les ailettes de refroidissement du dispositif. Ceci est particulièrement vrai avec les dispositifs IP20 montés dans des armoires, où il existe un risque de circulation d'air inadéquat lié au montage rapproché des composants de l'armoire, qui entraîne la formation de poches de chaleur. Voir les manuels pour les distances de montage correctes à respecter systématiquement.

Humidité relative

Bien que certains variateurs de fréquence puissent fonctionner convenablement à une humidité relative élevée (unités Danfoss jusqu'à une humidité relative de 95 %), la condensation doit toujours être évitée. Il existe un risque spécifique de condensation quand le variateur de fréquence ou certains de ses composants sont plus froids que de l'air ambiant humide. Dans ce cas, l'humidité dans l'air peut se condenser sur les composants électroniques.

Quand le dispositif est de nouveau allumé, les gouttelettes d'eau peuvent provoquer des courts-circuits dans le dispositif. Ceci a généralement lieu uniquement avec des variateurs de fréquence déconnectés du secteur. Pour cette raison, il est conseillé d'installer un élément thermique dans l'armoire dans les situations où il existe un risque réel de condensation lié aux conditions ambiantes. Sinon, le fait d'exploiter le variateur de fréquence en mode veille (avec le dispositif relié constamment au secteur) peut aider à réduire le risque de condensation. Cependant, vous devez vérifier si la dissipation de puissance est suffisante pour garder les circuits du variateur de fréquence secs.

Remarque : *certains fabricants spécifient des dégagements latéraux minimum ainsi que des distances minimales en haut et en bas. Observez ces spécifications.*



La conception de refroidissement intelligente des variateurs de fréquence VLT® supprime jusqu'à 85 % de la chaleur dissipée de la protection du dispositif via des conduits de refroidissement.

Aspects pratiques des exigences spéciales

Paramètres ambiants	Unité	Classe				
		3C1	3C2		3C3	
			Valeur moyenne	Valeur max.	Valeur moyenne	Valeur max.
Sel marin	mg/m3	Non	Brouillard salin		Brouillard salin	
Oxydes de soufre	mg/ m3	0,1	0,3	1,0	5,0	10
Sulfure d'hydrogène	mg/ m3	0,01	0,1	0,5	3,0	10
Chlore	mg/m3	0,01	0,1	0,03	0,3	1,0
Chlorure d'hydrogène	mg/m3	0,01	0,1	0,5	1,0	5,0
Fluorure d'hydrogène	mg/m3	0,003	0,01	0,03	0,1	3,0
Ammoniaque	mg/m3	0,3	1,0	3,0	10	35
Ozone	mg/m3	0,01	0,05	0,1	0,1	0,3
Azote	mg/m3	0,1	0,5	1,0	3,0	9,0

Classement selon CEI 60721-3-3 ; les moyennes sont des valeurs prévues à long terme.
Les valeurs maximales sont des valeurs de crête transitoires qui ne se produisent pas plus de 30 minutes par jour.

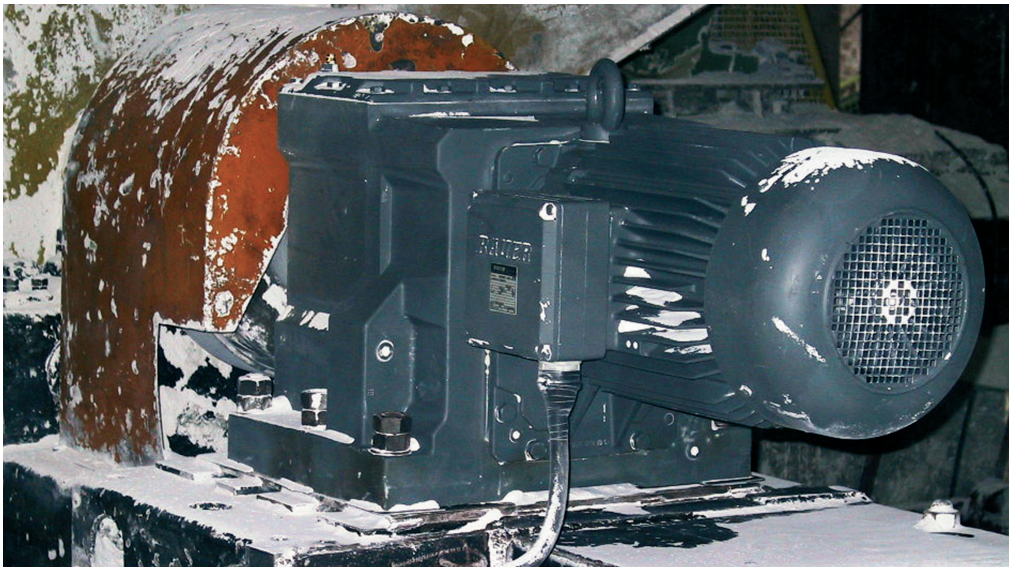
Atmosphère ou gaz agressifs

Les gaz agressifs, tels que le sulfure d'hydrogène, le chlore ou l'ammoniaque, sont souvent présents dans les stations d'épuration des eaux usées ou les piscines.
La contamination de l'air de refroidissement peut entraîner la décomposition graduelle des composants électroniques et des pistes de cartes de circuit imprimé dans les variateurs de fréquence. Les dispositifs électroniques des systèmes électriques ou des armoires sont particulièrement sensibles. Si l'air ambiant est contaminé ainsi, l'opérateur ou l'ingénieur d'usine doit installer le variateur de fréquence dans un endroit où la possibilité de contamination peut être exclue de manière fiable (un autre bâtiment, une armoire scellée avec un échangeur de chaleur, etc.) ou doit commander des dispositifs dont les cartes sont revêtues d'un vernis protecteur spécial résistant aux gaz agressifs.

Un signe clair d'atmosphère agressive est la corrosion du cuivre. S'il devient rapidement foncé, s'il forme des cloques ou s'il se décompose, des cartes de circuit imprimé ou des dispositifs avec un revêtement supplémentaire doivent être utilisés. Les milieux spécifiques et les concentrations auxquelles une tropicalisation est capable de résister sont décrits dans la norme internationale CEI 60721-3-3.

Remarque : *vous devez réfléchir lors de la phase d'étude de projet et de conception au point d'entrée de l'air de refroidissement de l'équipement électronique.*
Par exemple, dans une station d'épuration des eaux usées, vous devez éviter de prélever de l'air dans la zone d'affluence, et avec une piscine, vous devez éviter l'air de la zone de traitement de l'eau.

Remarque : *les unités VLT® AQUA Drive sont livrées en standard avec le revêtement de classe 3C2.*
Le revêtement de classe 3C3 est également disponible sur demande.



Exposition à la poussière

L'installation de variateurs de fréquence dans des environnements à forte exposition à la poussière est souvent inévitable en pratique. Cette poussière se dépose partout et pénètre même dans les plus petites anfractuosités. Cela affecte non seulement les variateurs de fréquence montés localement (mur ou châssis) avec niveau de protection IP55 ou IP66, mais également les dispositifs montés dans des armoires avec un niveau de protection IP21 ou IP20. Les trois aspects décrits ci-dessous doivent être pris en compte quand des variateurs de fréquence sont installés dans de tels environnements.

Refroidissement réduit

La poussière se dépose sur la surface du dispositif et à l'intérieur, sur les cartes de circuit imprimé et les composants électroniques. Ces dépôts agissent comme des couches isolantes et gênent le transfert de chaleur des composants dans l'air ambiant. La capacité de refroidissement s'en trouve altérée. Les composants deviennent plus chauds. Les composants électroniques vieillissent prématurément et la durée de vie opérationnelle du variateur de fréquence concerné diminue. Il arrive la même chose quand des dépôts de poussière se forment sur le radiateur au dos du variateur de fréquence.

Ventilateurs de refroidissement

Le débit d'air de refroidissement des variateurs de fréquence est produit par des ventilateurs, qui sont généralement situés au dos du dispositif. Les rotors de ventilateur disposent de petits roulements dans lesquels la poussière pénètre et agit comme un abrasif. Le ventilateur tombe alors en panne suite à l'endommagement des paliers.

Tapis de filtre

Les variateurs de fréquence haute puissance en particulier sont équipés de ventilateurs qui expulsent l'air chaud situé à l'intérieur du dispositif. Au-dessus d'une certaine dimension, ces ventilateurs sont équipés de tapis de filtre qui empêchent l'entrée de poussière dans le dispositif. Ces tapis de filtre s'obstruent rapidement quand ils sont utilisés dans des environnements très poussiéreux, les ventilateurs ne sont alors plus capables de refroidir correctement les composants situés à l'intérieur du variateur de fréquence.

Remarque : *dans les conditions décrites ci-dessus, il est recommandé de nettoyer le variateur de fréquence pendant l'entretien périodique. Soufflez la poussière qui s'est déposée sur le radiateur et les ventilateurs, puis nettoyez les tapis de filtre.*

Aspects pratiques des atmosphères potentiellement explosives

Atmosphères potentiellement explosives

Exemple d : **protection antidéflagrante**



Avec la protection contre l'inflammation de classe « d », le dispositif est conçu pour veiller à ce qu'en cas d'étincelle dans une zone protégée (comme l'intérieur d'une protection), cette dernière reste confinée.

Exemple e : **sécurité accrue**



Avec la classe de protection contre l'inflammation « e », la protection consiste à empêcher un niveau d'énergie suffisant pour causer une étincelle.

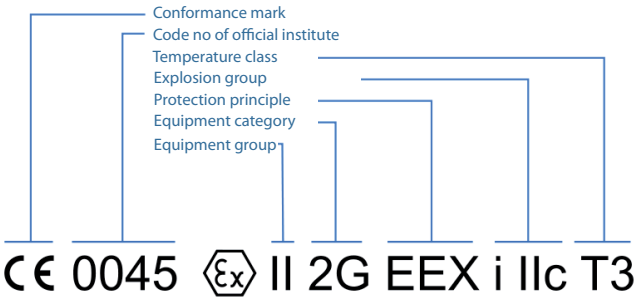
***Note :** ne jamais installer un variateur de fréquence directement dans une zone avec une atmosphère potentiellement explosive. Il doit être installé dans une armoire en dehors de cette zone. L'utilisation d'un filtre sinusoïdal au niveau de la sortie du variateur de fréquence est aussi recommandé parce qu'il atténue le taux de tension de la montée dv/dt et le pic de tension Upic. Le câble du moteur connecté doit être aussi court que possible en raison de la chute de tension dans le câble.*

***Remarque :** les variateurs de fréquence VLT® AQUA Drive de Danfoss avec l'option MCB 112 disposent de la surveillance par thermistance du moteur certifiée PTB pour les atmosphères potentiellement explosives. Des câbles de moteur blindés ne sont pas nécessaires quand les variateurs de fréquence VLT® sont exploités avec des filtres de sortie sinusoïdaux.*

Les systèmes de variateur fonctionnent souvent dans des atmosphères potentiellement explosives. Un exemple est la zone d'affluence d'une station d'épuration des eaux usées. Si des variateurs de fréquence sont utilisés pour la commande de vitesse de variateurs dans ces zones, le site doit remplir des conditions spéciales. La base de ces conditions est précisée par la directive de l'UE 94/9/CE, appelée directive ATEX. Elle décrit l'utilisation et l'exploitation d'équipement et de dispositifs de protection dans des atmosphères potentiellement explosives. Cette directive harmonise des réglementations et des exigences de toute l'UE pour l'exploitation de dispositifs électriques et électroniques dans des atmosphères potentiellement explosives, telles que peuvent en générer de la poussière ou des gaz.

Si les variateurs de fréquence sont utilisés pour contrôler des moteurs dans des atmosphères potentiellement explosives, ces moteurs doivent être équipés d'un dispositif de surveillance de la température (capteur de température PTC). Les moteurs avec protection contre l'inflammation, classe « d » ou « e », peuvent être utilisés. Ces classes de protection diffèrent sur les méthodes de prévention de l'inflammation d'un milieu explosif. En pratique, les variateurs de fréquence sont rarement utilisés avec les moteurs de classe « e ». Cette combinaison doit être homologuée comme unité, ce qui implique des tests de type complexes et onéreux. Cependant, le PTB à Brunswick (Allemagne) a développé une nouvelle procédure d'autorisation qui rendra l'utilisation de contrôleurs de vitesse avec des moteurs de classe « e » plus intéressante à l'avenir. Le nouveau concept plaide pour l'acceptation du moteur seul, tout en définissant des exigences spécifiques pour la surveillance thermique dans le processus de certification des essais de type CE. Par exemple, la limite de courant dépendant de la vitesse est requise en plus de la surveillance par thermistance PTC certifiée habituelle, et ce, afin de gérer la réduction du refroidissement des moteurs autoventilés avec la commande de vitesse variable.

Bien que ceci ne nécessite pas l'autorisation distincte des moteurs de classe « d », il est très compliqué d'acheminer des câbles dans la zone « d ». Les moteurs avec la classe de protection « de » sont les plus répandus. Dans ce cas, le moteur lui-même a une classe de protection contre l'inflammation « d », alors que l'espace de connexion est exécuté en conformité avec la classe de protection « e ». La restriction sur l'espace de connexion « e » porte sur la tension maximale qui peut être fournie dans cet espace. En raison de la modulation d'impulsions en durée de la tension de sortie, la plupart des sorties de variateur de fréquence ont des tensions de crête qui dépassent les limites admissibles de la classe « e » de la protection contre l'inflammation. Dans la pratique, l'utilisation d'un filtre sinusoïdal au niveau de la sortie du variateur de fréquence a prouvé être efficace pour atténuer les grands pics de tension.



Étiquetage des dispositifs pour exploitation dans des atmosphères potentiellement explosives selon la directive produit ATEX (94/9/CE)

Étape 3 : Aspects pratiques des moteurs et du câblage

Classes d'efficacité minimales des moteurs

Efficacités minimales obligatoires

Le classement d'efficacité a été créé en 1998 dans le cadre d'un engagement volontaire du comité européen de fabricants de machines électriques et d'électronique de puissance (CEMEP).

Application à l'été 2011 : les moteurs asynchrones triphasés sont sujets à des normes de performances minimales obligatoires en termes d'efficacité (MEPS) au sein de l'UE. Les règlements de l'UE prévoient de renforcer de manière drastique les exigences d'efficacité des moteurs selon un processus échelonné s'étendant jusqu'en 2017.

La base de ces classes d'efficacité minimales, aussi appelées normes de performances énergétiques minimales (MEPS), est constituée par les classes d'efficacité internationale (IE) définies dans la norme CEI 60034-30 et reconnues internationalement. Les limites de ces classes sont en partie comparables à celles des classes Eff utilisées couramment en Europe.

Classes IE et Eff : détail des principales différences

Bien que les limites des deux normes soient comparables, elles diffèrent au niveau des méthodes sous-jacentes de détermination de l'efficacité. L'efficacité des classes Eff est basée sur la détermination des pertes individuelles (CEI 60034-2:1996), une méthode qui date d'un siècle. Par contraste, l'efficacité des classes IE est déterminée en utilisant une méthode plus précise.

Les résultats mesurés, obtenus à l'aide de la méthode validée pour les classes IE, sont généralement 2 à 3 % moins bons qu'avec l'ancienne méthode à des niveaux de puissance maxi. de 10 kW et environ 1 % pire à des niveaux de puissance de 100 kW et plus. La norme prend ces différences en compte pour l'harmonisation des classes IE et Eff.

En plus des classes IE1 à IE3 définies par la norme CEI 60034-30, la version d'avant-projet de la norme CEI 60034-31 définit une nouvelle classe, IE4. Les classes IE1 à IE3 sont orientées en premier lieu vers les moteurs exploités sur secteur, alors que la classe IE4 tient aussi compte d'aspects pertinents pour les moteurs à vitesse variable.

CEI 60034-30	Classes Eff
IE1 (efficacité standard)	Comparable à Eff2
IE2 (haute efficacité)	Comparable à Eff1
IE3 (efficacité remarquable)	Environ 15 à 20 % meilleure qu'IE2

Les classes d'efficacité IE1-IE3 sont définies dans la norme internationale CEI 60034-30. Les classes Eff sont basées sur un accord volontaire entre l'UE et le CEMEP conclu en 1998.

Moteurs triphasés concernés

La conformité avec le MEPS est obligatoire pour les types suivants de moteurs triphasés :

- Cycle d'utilisation S1 (utilisation continue) ou S3 (utilisation périodique intermittente) avec un cycle d'utilisation supérieur à 80 %
- Compte de pôles 2 à 6, puissance nominale 0,75 à 375 kW
- Tension nominale maxi. de 1 000 V.

L'introduction du MEPS est destinée à aider à réduire la consommation d'énergie. Cependant, cette approche peut entraîner une augmentation de la consommation d'énergie dans de rares cas. Pour cette raison, l'ordonnance de l'UE 640/2009 décrit des exceptions techniquement raisonnables pour diverses zones d'application.

Elles incluent :

- Les moteurs dans des atmosphères potentiellement explosives (comme mentionné dans la directive 94/9/CE) et les moteurs de frein
- Les moteurs spéciaux pour une utilisation dans l'une des conditions suivantes :
  - températures ambiantes supérieures à 40 °C ;
  - températures ambiantes inférieures à 15 °C (0 °C pour les moteurs refroidis par air) ; températures de fonctionement supérieures à 400 °C ; températures d'eau de refroidissement inférieures à 5 °C ou supérieures à 25 °C ;
  - exploitation à des altitudes supérieures à 1 000 m ;
  - les moteurs complètement intégrés à un produit, comme les motoréducteurs, les pompes ou les ventilateurs, ou qui sont totalement immergés dans un fluide pendant l'exploitation (p. ex., des pompes immergées).

Au sein de l'Europe, le moteur d'un motoréducteur n'est pas considéré comme un élément intégré et est mesuré séparément. Une méthode similaire est utilisée avec les moteurs spéciaux. Le moteur de base est mesuré et la classe d'efficacité est transférée aux variantes du moteur.

Aspects pratiques des classification EI des moteurs

Programme d'implémentation MEPS

Le programme de l'ordonnance de l'UE prévoit de renforcer progressivement les exigences quant à l'efficacité des moteurs. Après les dates fixées, tous les moteurs triphasés soumis à l'ordonnance devront satisfaire aux exigences de la classe d'efficacité spécifiée s'ils doivent être commercialisés en Europe.
Les moteurs IE2 alimentés par des convertisseurs sont aussi acceptés comme alternative MEPS à la classe IE3 planifiée. La compatibilité avec la classe IE3 ou l'alternative d'IE2 avec un convertisseur doit être garantie sur le site d'exploitation.

	Puissance	MEPS	Alternative MEPS
Applicable le 16 juin 2011	0,75 – 375 kW	IE2	-
Applicable au 1er janvier 2015	0,75 – 7,5 kW	IE2	-
	7.5 – 375 kW	IE3	IE2 avec convertisseur
Applicable au 1er janvier 2017	0,75 – 375 kW	IE3	IE2 avec convertisseur

Programme d'implémentation MEPS

Compatibilité avec les spécifications des dimensions de montage EN 50347

Les moteurs synchrones triphasés conformes aux classes IE2 et IE3 sont souvent plus grands que les moteurs présentant une efficacité moindre. Ceci peut conduire à des problèmes lors du remplacement des moteurs plus anciens.
La plupart des moteurs IE2 sont conformes aux hauteurs d'arbre et aux dimensions de fixation normalisées de la norme EN 50347, mais la forme de construction est souvent plus longue. Dans beaucoup de cas, les petits moteurs de classe Premium IE3 50 Hz ne sont pas conformes aux dimensions de montage de la norme EN 50347. Les opérateurs de site doivent veiller à ce point dans leurs programmes de remplacement des moteurs. Alternative à IE3 : IE2 plus un convertisseur.

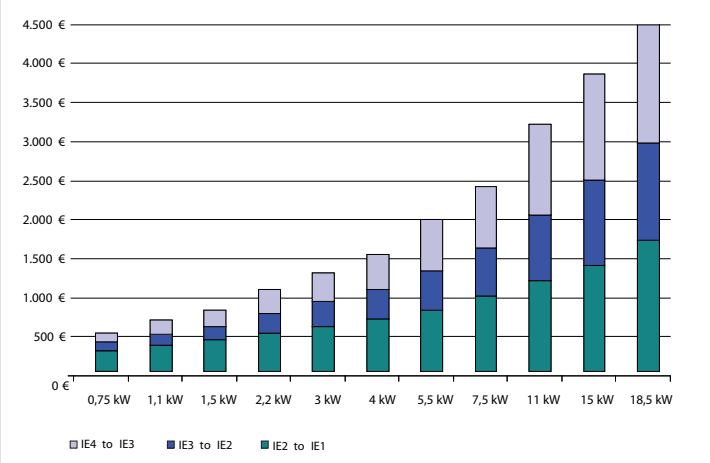
	Moteur		
	IE1	IE2	IE3
Hauteur d'arbre (EN 50347)	Oui	Oui	Plus grande
Dimensions de fixation (EN 50347)	Oui	Oui	Plus grandes
Longueur de moteur	Oui	Plus longue	Plus large

On s'attend actuellement à ce que les moteurs triphasés synchrones des classes IE2 et IE3 ne soient pas capables de se conformer aux dimensions de fixation définies dans la norme EN 50347.

Rentabilité

La question qui se justifie quant à l'introduction de moteurs IE est la suivante : quelle est leur rentabilité ? La meilleure efficacité est en partie obtenue en employant une proportion supérieure de matériaux actifs dans les moteurs. Selon la dimension du moteur, vous pouvez considérer qu'un moteur avec une meilleure classe d'efficacité coûte environ 10 à 20 % de plus.

Dans la pratique, ce coût additionnel peut souvent être récupéré rapidement. Le diagramme montre l'avantage du coût énergétique d'un moteur IE pa rapport à un moteur IE de la classe suivante. Cette analyse simplifiée se base sur une exploitation continue à la charge nominale, sur 60 000 heures de fonctionnement et un tarif d'électricité de 8 centimes d'euros par kilowattheure.



Avantage du coût énergétique d'un moteur IE par rapport à la meilleure classe IE suivante

***Remarque :** le texte complet de l'ordonnance de l'UE 640/2009 peut être téléchargé gratuitement sur le site internet www.eur-lex.europa.eu.*

Aspects pratiques des moteurs EC et PM

Beaucoup de noms pour une même technologie

Cela demande beaucoup d'efforts d'augmenter l'efficacité d'un moteur à induction triphasé (TPIM). Les moteurs synchrones à magnétisation permanente constituent donc une bonne alternative. Comparés aux moteurs à induction offrant une efficacité similaire (par ex. IE 3), ils sont beaucoup plus compacts.

Dans la pratique, en tant qu'utilisateur, vous rencontrerez diverses sous-catégories de ces moteurs avec différents noms. Les abréviations « PM » (permanent magnet, magnétisation permanente) et « PMSM » (permanent magnet synchronous motor, moteur synchrone à magnétisation permanente) sont souvent utilisées dans l'industrie, alors que les désignations « EC » (à commande électronique) et « BLDC » (brushless direct current, courant continu sans balai) sont utilisés plus communément dans l'automatisation de bâtiments.

La variété et la diversité de noms donnés aux moteurs à magnétisation permanente peuvent être illustrées en prenant les moteurs EC comme exemples. Les moteurs EC sont généralement utilisés comme servo-moteurs ou moteurs pas à pas dans les applications industrielles. Avec un châssis de taille compacte, ils couvrent une plage de puissance s'étendant jusqu'à environ 300 watts. La tension d'alimentation la plus courante est 24 V.

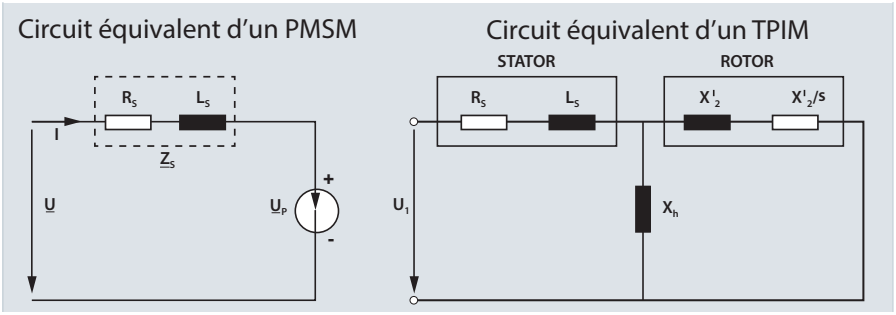
La situation est différente dans les systèmes de ventilateur pour l'automatisation de bâtiments. Dans ce cas, les moteurs EC monophasés et triphasés fonctionnent dans des unités de ventilateurs compactes pour des applications dont la puissance doit se trouver dans une plage de kilowatts à un seul chiffre.

Technologie

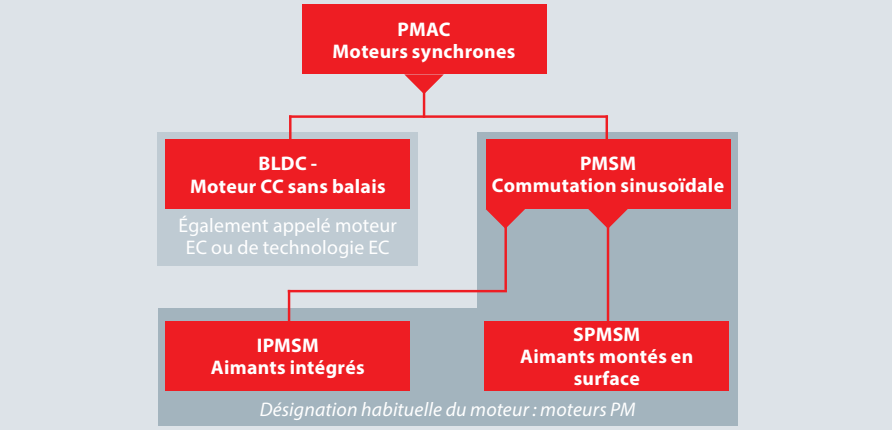
Du fait des aimants permanents incorporés, moteurs à excitation permanente n'ont pas besoin d'enroulement d'excitation distinct. Cependant, ils doivent être entraînés par un contrôleur électronique qui génère un champ magnétique tournant. L'exploitation directe à partir du secteur CA est généralement impossible. Le raccordement direct au secteur s'avère généralement impossible, ou dans de nombreux cas, uniquement avec une efficacité moindre. Pour réguler le moteur, le contrôleur (par exemple, un variateur de fréquence) doit pouvoir définir constamment la position effective du rotor. Pour ce faire, il est possible de recourir aux deux méthodes suivantes : avec ou sans signal de retour sur la position effective du rotor transmise par un capteur ou un codeur.

Haute efficacité

Grâce aux aimants permanents disposés dans le rotor, le moteur ne subit quasiment aucune perte. Cela conduite à une amélioration du rendement.



La comparaison des circuits équivalents simplifiés montre l'absence de pertes du rotor avec les moteurs PM/EC. Ils sont alors plus efficaces que des moteurs à induction triphasés.



Le concept Danfoss EC+

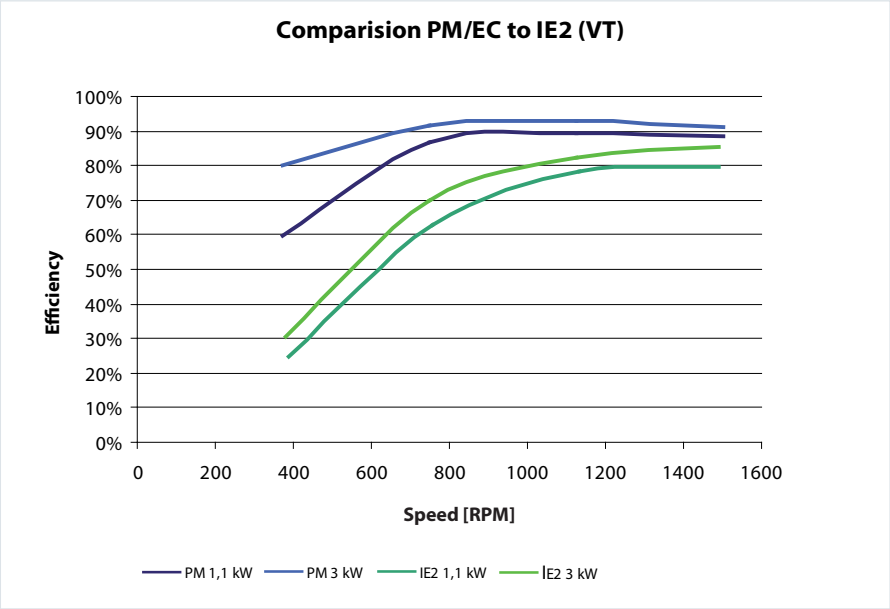
Permet d'utiliser les moteurs PM, tailles standard CEI avec les variateurs de fréquence VLTR Danfoss. Danfoss a intégré l'algorithme de contrôle requis aux variateurs série VLTR existants. Cette intégration n'implique aucun changement pour l'opérateur. Une fois effectuée la saisie des données moteur appropriées, l'utilisateur bénéficie d'un moteur haute efficacité de niveau technologie EC.

Advantages du concept EC+

- Choix libre de la technologie du moteur : PM ou asynchrone avec variateur de fréquence identique.
- L'installation et l'exploitation du dispositif demeurent inchangées.
- Choix indépendant du fabricant de tous les composants.
- Le système parvient à une efficacité supérieure grâce à la combinaison de composants individuels offrant une efficacité optimale.
- Possibilité d'adapter les systèmes existants.
- Gamme étendue de puissances nominales pour moteurs standard et PM.

PMAC = Moteur CA à magnétisation permanente ; BLDC = CC sans balais ; PMSM = Moteur synchrone à magnétisation permanente ; IPMSM = PMSM intérieur (aimants intégrés) ; SPMSM = PMSM surface (aimants montés sur le rotor)

Aspects pratiques des moteurs EC et PM



Fonctionnement hypersynchrone

En théorie, il est possible d'exploiter un moteur EC ou PM au-dessus de sa fréquence ou de vitesse nominale, dans la mesure où le fabricant l'autorise. Avec un TPIM, on parle d'exploitation hypersynchrone ou d'exploitation avec affaiblissement de champ. L'affaiblissement de champ permet d'exploiter le moteur à une vitesse supérieure, mais avec un couple d'arbre de sortie inférieur. Contrairement aux TPIM, avec les moteurs EC ou PM, l'affaiblissement de champ ne peut être obtenu qu'avec des signaux de variateur adaptés. Comme avec les TPIM, cela réduit le couple d'arbre de sortie. Le fabricant du moteur doit être consulté pour déterminer si un moteur particulier est compatible avec l'exploitation hypersynchrone.

Quant au variateur de fréquence, ce type d'exploitation ne présente pas de problème, sauf si le EMF (force électromotrice) engendré par le moteur CE ou PM en raison des aimants permanents dépasse la tension du circuit intermédiaire admissible du convertisseur.

Par exemple, un moteur avec un FCEM de 200 V à 1 000 tr/min peut être exploité à des vitesses maximales de 3 192 tr/min avec un variateur de fréquence présentant une tension du circuit intermédiaire admissible maximale de 900 V. Bien que le moteur puisse être exploité à des vitesses supérieures, cela pose un risque de panne électrique du convertisseur en cas de défaut, car la tension est supérieure à 900 V. Par exemple, ce phénomène pourrait se produire en cas de chute de tension du secteur.

Protection CEI standard

Beaucoup d'applications emploient des moteurs à induction triphasés, dont les dimensions d'installation et les tailles de châssis sont conformes aux spécifications des normes CEI EN 50487 ou CEI 72.

Cependant, jusqu'à maintenant, d'autres types de construction ont été utilisés pour la plupart des moteurs PM. Les servomoteurs sont des exemples typiques. Avec leur construction compacte et de longs rotors, ils sont optimisés pour des process très dynamiques.

Pour pouvoir utiliser la haute efficacité des moteurs à magnétisation permanente dans des applications industrielles existantes, les moteurs PM sont désormais disponibles avec des protections de moteur CEI standard. Cela permet de remplacer dans des systèmes existants les anciens moteurs à induction triphasés standard (TPIM) par des moteurs présentant une efficacité supérieure. Les entreprises d'ingénierie mécanique et de site peuvent ainsi utiliser des moteurs avec une efficacité supérieure sans avoir besoin d'apporter des modifications conceptuelles aux machines existantes.

Pour des raisons de compatibilité, les deux formes de moteurs PM sont disponibles dans le commerce.

Option 1 : même taille de châssis
Le moteur PM/EC et le TPIM ont la même taille de châssis.

Exemple : un TPIM 3 kW peut être remplacé par un moteur EC/PM de même taille.

Option 2 : même dimensionnement de puissance
Le moteur PM/EC et le TPIM ont le même dimensionnement de puissance. En théorie, un PMSM peut être plus compact qu'un TPIM à dimensionnement de puissance comparable. Selon la taille du châssis, la densité de puissance d'un moteur PM/EC correspond environ à 1,5-2 fois celle d'un TPIM.

Exemple 1 : un TPIM de 3 kW peut être remplacé par un moteur EC/PM avec la même taille de châssis qu'un moteur de 1,5 kW.

Exemple 2 : un TPIM de 3 kW peut être remplacé par un moteur EC/PM avec la même taille de châssis et un dimensionnement de puissance de 6 kW.

Cependant, un contrôleur est toujours nécessaire pour entraîner un moteur PM/EC.

Aspects pratiques de la compatibilité du moteur à l'exploitation du variateur de fréquence

Critères de sélection

Les aspects suivants doivent être pris en considération dans le cadre des moteurs contrôlés par des variateurs de fréquence :

- Contrainte d'isolation
- Contrainte de paliers
- Contrainte thermique

Contrainte d'isolation

L'exploitation d'un moteur avec le contrôle de fréquence impose une contrainte plus importante à l'enroulement de moteur que l'exploitation secteur directe. Cette contrainte est essentiellement liée aux fronts d'impulsions forts (dv/dt) et au câble du moteur, selon la longueur du câble, le type, l'acheminement, etc.

Ces fronts d'impulsion résultent de la commutation rapide des dispositifs à semi-conducteur au niveau de l'onduleur du variateur de fréquence. Ils fonctionnent à une fréquence de commutation élevée comprise entre 2 et 20 kHz, avec des temps de commutation très courts afin de reproduire une forme sinusoïdale.

En combinaison avec le câble du moteur, ces fronts d'impulsions forts sont responsables des effets suivants sur le moteur :

- De hautes tensions d'impulsion U_{LL} sur les bornes du moteur ajoutent une contrainte à l'isolation inter-enroulement
- Des tensions d'impulsion supérieures entre les enroulements et les lames $\hat{U}_{LE}$ ajoutent une contrainte au niveau de l'isolation de l'emplacement
- Des tensions supérieures entre les enroulements $\hat{U}_{wdg}$ ajoutent une contrainte beaucoup plus importante à l'isolation du fil des enroulements

Contrainte de paliers

Dans des conditions défavorables, les moteurs contrôlés par fréquence peuvent présenter des dysfonctionnements suite à un endommagement des paliers par des courants de paliers. Du courant circule dans un palier quand la tension à travers l'espace de lubrification du palier est suffisamment haute pour pénétrer la couche d'isolation formée par le lubrifiant. Si cette situation se produit, la panne imminente du palier est signalée par un bruit de palier de plus en plus fort. Les courants de palier de ce type comprennent des courants de Foucault haute fréquence, des courants de terre et des courants EMD (érosion par étincelle).

Les courants susceptibles d'endommager les paliers dépendent des facteurs suivants :

- tension secteur à l'entrée du variateur de fréquence,
- degré des fronts d'impulsion (dU/dt),
- type de câble du moteur,
- blindage électrique,
- mise à la terre du système,
- taille du moteur,
- système de mise à la terre de la protection du moteur et de l'arbre moteur.

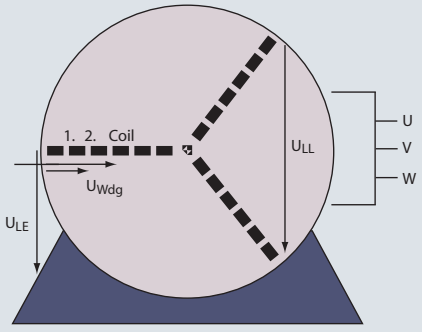
Les courants de palier peuvent être réduits par les mesures suivantes :

- pose de filtres de sortie (bobines d'arrêt de sortie, filtres dU/dt ou filtres sinusoïdaux),
- pose de paliers isolés électriquement,
- mise à la terre correcte de tous les composants système métalliques à connexions à faible impédance,
- câbles de moteur blindés,
- pose d'un filtre de suppression CC.

Contrainte thermique

L'exploitation avec un variateur de fréquence augmente la dissipation de puissance dans le moteur. Le résidu harmonique additionnel entraîne des pertes de fer et des pertes de chaleur par courant dans le stator et le rotor. L'ampleur des pertes dépend de l'amplitude et de la fréquence des harmoniques de la fréquence du variateur. Les pertes supplémentaires de chaleur par courant dans le rotor dépendent de la géométrie de l'emplacement. Les pertes de fer et les pertes de chaleur par courant dans les moteurs ne dépendent pas de la charge. Les pertes additionnelles dans le moteur entraînent une contrainte thermique supérieure sur l'isolation des enroulements. Cependant, avec les variateurs de fréquence modernes, l'échauffement additionnel des moteurs standard (jusqu'au châssis de taille 315) est comparable au réchauffement supplémentaire dû aux tolérances de tension secteur et est par conséquent négligeable. Les fabricants spécifient parfois un facteur de déclassement pour les moteurs trans-standard (châssis de taille 355 et supérieure).

Si le variateur n'est pas capable de générer la tension secteur complète à la fréquence secteur nominale, il est recommandé de sélectionner un moteur avec une isolation de catégorie F. Exploiter un moteur à une tension inférieure à celle d'une exploitation directe sur secteur augmente la température du moteur de 10 K maximum.

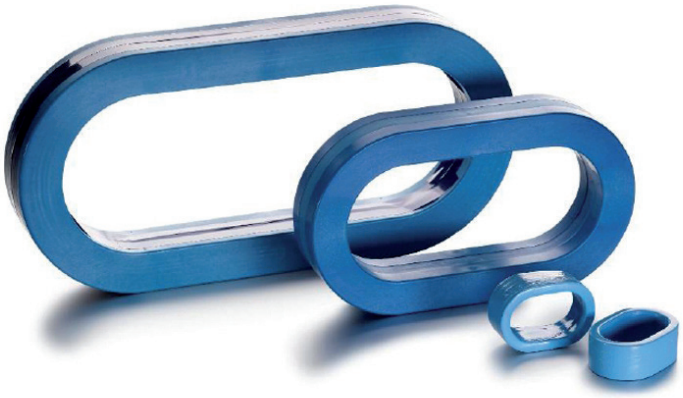


Les tensions d'impulsion apparaissent aux bornes du moteur (U_{LL}) et entre les enroulements et la pile de lames (U_{LE}). Il existe aussi une contrainte de tension entre les enroulements (U_{wdg}).

***Remarque :** demandez la confirmation auprès du fabricant du moteur que celui-ci est conçu pour une exploitation avec un variateur de fréquence et demandez-lui de préciser la gamme de vitesses d'exploitation admissible (tr/min minimum et maximum).*

***Remarque :** les courants de palier résultent de l'action du système entier, à savoir, le variateur de fréquence, le moteur, le câble et la mise à la terre. La norme CEI 60034-17 recommande de prendre des mesures préventives avec des hauteurs d'arbre de 315 mm (env. 132 kW) et plus.*

Aspects pratiques des filtres de sortie



Filtres sinusoïdaux et dU/dt

Les options de filtre de sortie comprennent les filtres sinusoïdaux et dU/dt. À la différence des filtres sinusoïdaux, la seule tâche des filtres dU/dt est de réduire le degré des fronts d'impulsions. Ils sont plus simples de conception que les filtres sinusoïdaux (inductances et capacitances plus petites) et sont donc moins chers.
Les filtres sinusoïdaux, aussi appelés filtres moteur ou filtres LC, peuvent être montés en option sur les sorties des variateurs de fréquence. Ils lissent les impulsions de tension rectangulaires à la sortie pour les convertir en tension de sortie sinusoïdale.

Fonctions et tâches des filtres sinusoïdaux

- Réduire le régime de hausse de la tension (dvdt) aux bornes du moteur
- Réduire le pic de tension $\hat{U}_{LL}$
- Réduire le bruit du moteur
- Permettre l'utilisation de câbles du moteur plus longs
- Améliorer les caractéristiques CEM
- Lorsqu'ils sont utilisés avec des variateurs de fréquence Danfoss, les filtres sinusoïdaux permettent une exploitation avec des câbles de moteur non blindés en conformité avec la norme EN 61800- 3, RFI, catégorie C2.

Utilisation des filtres sinusoïdaux

- Avec des pompes à fonctionnement humide
- Avec des câbles de moteur très longs (ycompris dans des situations où cela est nécessaire en raison d'une exploitation en parallèle)
- Avec des pompes de puits
- Avec des moteurs manquant d'une isolationinter-enroulements correcte
- À chaque fois que des moteurs standard ne sont pas utilisés (consulter le fabricant du moteur)

Mise à niveau

Si un opérateur de site convertit des anciens moteurs, qui étaient auparavant alimentés directement par le secteur, à une commande de vitesse et les met à niveau avec un variateur de fréquence, il est toujours conseillé d'utiliser un filtre sinusoïdal sauf si la fiche technique du moteur indique que les enroulements sont conçus pour une exploitation avec un variateur de fréquence.
Lors de l'exécution de mises à niveau, cela vaut souvent la peine de remplacer de vieux moteurs à faible efficacité par de nouveaux moteurs éconénergétiques. Un filtre sinusoïdal supplémentaire n'est pas nécessaire dans de tels cas. Le retour sur investissement des nouveaux moteurs est généralement très rapide du fait de la réduction des frais d'énergie.

	Filtre dv/dt	Filtre sinusoïdal	Filtre de mode commun
Contrainte d'isolation du moteur	Réduite - utilisation possible de câbles de moteur plus longs	Réduite - utilisation possible de câbles de moteur plus longs	Pas de réduction
Contrainte sur les paliers du moteur	Légèrement réduite	Courants circulants réduits, mais pas les courants synchrones	Courants synchrones réduits
Compatibilité électromagnétique	Élimine les harmoniques dans le câble du moteur. Pas de changement de classe CEM	Élimine les harmoniques dans le câble du moteur. Pas de changement de classe CEM	Émissions haute fréquence (supérieures à 1 MHz) réduites. Pas de changement de classe CEM
Longueur de câble du moteur maximale, conformité CEM	Dépend du fabricant FC 202 : 150 m max. blindé	Dépend du fabricant FC 202 : 150 m max. blindé ou 300 m max. non blindé	Dépend du fabricant FC 202 : 150 m max. blindé
Longueur max. du câble du moteur, non conforme CEM	Dépend du fabricant FC 202 : 150 m max. non blindé	Dépend du fabricant FC 202 : 500 m max. non blindé	Dépend du fabricant FC 202 : 300 m max. non blindé
Bruit de moteur à la fréquence de commutation	Pas d'effet	Réduit	Pas d'effet
Taille relative (par rapport au convertisseur)	15-50 % (dépend de la puissance)	100 %	5–15 %
Chute de tension	0,5 %	4–10 %	Aucune

Aspects pratiques des câbles du moteur

Tension nominale

Des pics de tension correspondant jusqu'à trois fois la tension du circuit intermédiaire du variateur de fréquence se produisent dans le câble du moteur. Ils infligent une contrainte importante au câble et à l'isolation du moteur. La contrainte est supérieure si la sortie du variateur de fréquence n'est pas dotée de filtre dv/dt ou de filtre sinusoïdal.
Pour cette raison, la spécification de la tension nominale des câbles du moteur devrait être au moins U0/U = 0,6/1 kV. L'isolation haute tension des câbles avec cette spécification est généralement testée avec une tension d'essai d'au moins 3 500 V CA et souvent de 4 000 V CA. En pratique, les câbles ont fait preuve d'une bonne résistance au claquage de l'isolant.

Dimensionnement de câble

La section de câble du moteur requise dépend du courant de sortie du variateur de fréquence, de la température ambiante et du type d'installation du câble. Surdimensionner la section de câble pour autoriser des harmoniques n'est pas nécessaire. Pour la sélection et le dimensionnement des câbles et des conducteurs, les normes EN 60204-1 et VDE 0113-1 précisent les données de capacité de courant pour des sections de câbles de 120 mm² maximum. Si des sections plus larges sont nécessaires, des informations utiles sont disponibles dans la norme VDE 0298-4.

Longueur de câble du moteur

Les longs câbles de moteur sont souvent utilisés dans les stations de production d'eau potable et les stations d'épuration des eaux usées. Les variateurs de fréquence et les pompes sont souvent installés à une distance de plus de 100 m. Dans ces situations, la chute de tension sur le câble doit être prise en compte lors du dimensionnement du câble. Concevez le système de sorte que la tension de sortie totale parvienne au moteur, même avec un câble de moteur long. Le câble du moteur qui peut être relié à un variateur de fréquence standard est généralement long de 50 à 100 mètres. Même avec ces longueur de câble, les produits de certains fabricants ne peuvent pas fournir au moteur la pleine tension de sortie. Si les utilisateurs ont besoin de câbles de plus de 100 m, seuls quelques fabricants sont capables de satisfaire à cette exigence avec des produits standard. Sinon, il est nécessaire de prévoir des bobines d'arrêt de moteur ou des filtres de sortie supplémentaires.

Économies d'énergie

La chute de tension sur un câble de moteur, ainsi que la dissipation de chaleur résultante, est presque proportionnelle à sa longueur et dépend de la fréquence. En conséquence, vous devez maintenir le câble aussi court que possible et ne pas surdimensionner les sections de fil.

Câble avec blindage adapté

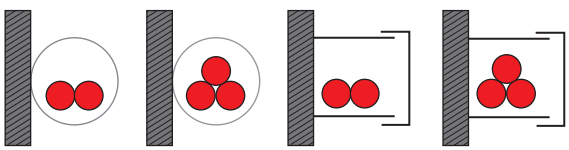
Les câbles blindés doivent avoir une couverture de protection d'au moins 80 %. Quelques exemples de types de câble adaptés :

- Lapp Ölflex 100-CY
- Helu Y-CY-JB
- Helu Topflex-EMV-UV-2YSLCYK-J

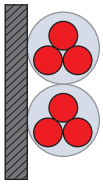
Remarque : *consultez le fabricant au sujet des longueurs de câbles qui peuvent être reliés au variateur de fréquence et à la chute de tension attendue. Avec un variateur de fréquence standard VLT® AQUA Drive, vous pouvez relier un câble blindé de 150 m de long maximum ou un câble non blindé de 300 m de long maximum et toujours obtenir la pleine tension au niveau du moteur.*
avec un variateur de fréquence standard VLT® AQUA Drive, vous pouvez relier un câble blindé de 150 m de long maximum ou un câble non blindé de 300 m de long maximum et toujours obtenir la pleine tension au niveau du moteur.

Courant nominal [A] d'un câble PVC à une température ambiante de 40 °C				
mm²	B1	B2	C	E
1	10,3	10,1	11,7	12,4
1,5	13,5	13,1	15,2	16,1
2	18,3	17,4	21,0	22,0
4	24,0	23,0	28,0	30,0
6	31	30,0	36,0	37,0
10	44,0	40,0	50,0	52,0
16	59,0	54,0	66,0	70,0
25	77,0	70,0	84,0	88,0

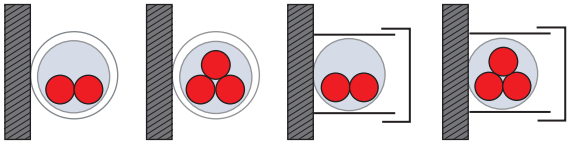
Extrait de la norme EN 60204-1 relative au courant nominal des sections de conducteur.



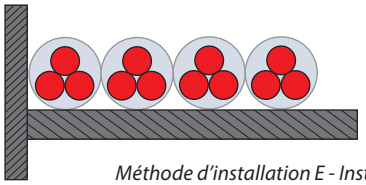
Méthode d'installation B1 : conducteurs installés dans des conduits ou des goulottes de câblage.



Méthode d'installation C : Installation directe, murale et/ou au plafond ou encore en chemins de câbles.



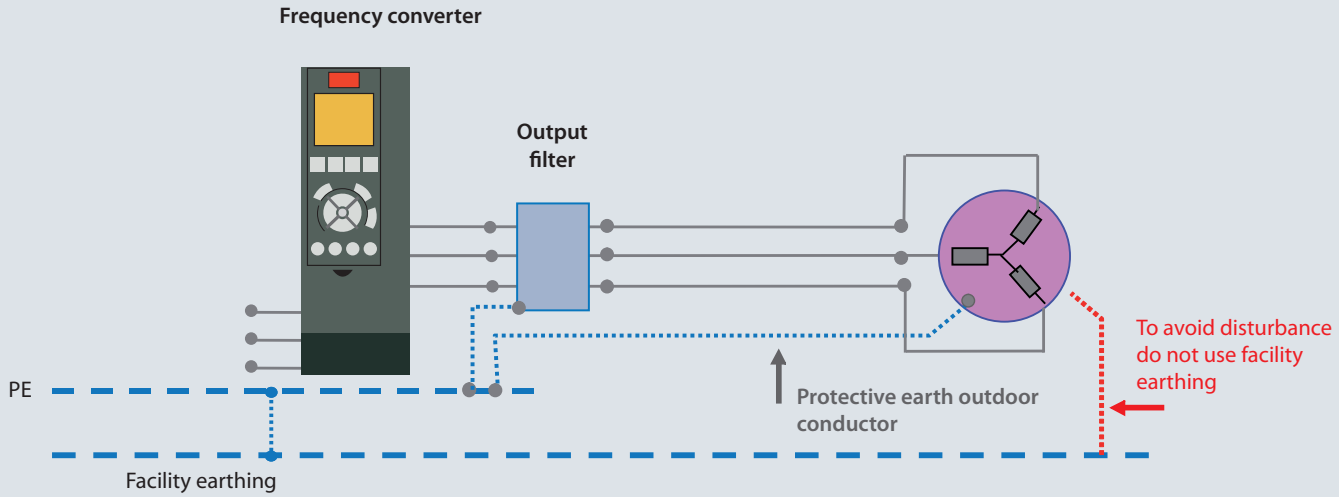
Méthode d'installation B2 : câble multiconducteur ou câble blindé multiconducteur installé dans des conduits ou des goulottes de câblage fermées.



Méthode d'installation E - Installation à l'air libre et dans des chemins de câbles

Aspects pratiques de lamise à la terre

Importance de la mise à la terre



Un plan de mise à la terre devrait toujours être produit pour chaque système ou site.

Les mesures de mise à la terre sont généralement impératives pour remplir les exigences légales des directives CEM et basse tension. Elles constituent une condition préalable à l'usage effectif d'autres mesures, telles que le blindage et les filtres. Les autres mesures ne présentent aucun avantage sans mise à la terre correcte. Pour cette raison, les mises à la terre doivent être contrôlées et leur conformité CEM doit être vérifiée avant de procéder à une mise à niveau du blindage ou des filtres. Cette vérification représente également la première étape du dépannage.

Matériaux conducteurs du point de vue électrique

Les opérateurs doivent s'assurer que les surfaces métalliques sont mises à la terre avec des connexions basse impédance. En ce qui concerne la CEM, le facteur décisif n'est pas la section du conducteur, mais plutôt sa surface, car des courants haute fréquence circulent dessus en raison de l'effet pelliculaire.
La partie avec la surface de conducteur la plus petite est ce qui limite la possibilité de décharger des courants de fuite. Les surfaces mises à la terre ont un effet de blindage et réduisent l'amplitude des champs électromagnétiques ambiants.

Système de mise à la terre configuré en étoile

Tous les points et composants mis à la terre doivent être reliés aussi directement que possible au point de mise à la terre central, au moyen d'une barre d'équipotentialité.
Ceci entraîne la mise à la terre d'un système dans lequel tout les points de connexion sont reliés de manière radiale au point de mise à la terre.
Ce point de mise à la terre doit être clairement défini.

Points de contact

Après le retrait de la peinture et de la corrosion, les connexions doivent être effectuées aux points de contact en utilisant une grande surface. Les rondelles striées sont plus appropriées que les rondelles plates. Les composants étamés, zingués ou cadmiés doivent être préférés aux composants peints. Les connecteurs doivent proposer plusieurs contacts pour la connexion du blindage.

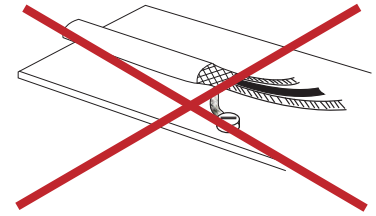
Surface active du conducteur

Il est possible d'obtenir une grande surface de conducteur pour décharger les courants haute fréquence en utilisant de fins fils toronnés, comme des fils d'appareil de mesure très flexibles, ou des barrettes ou des câbles de mise à la terre spéciaux. Les barrettes de mise à la terre tressées sont souvent utilisées de nos jours ; elles remplacent les conducteurs rigides utilisés dans le passé. Ces barrettes ont une surface significativement supérieure pour la même section.

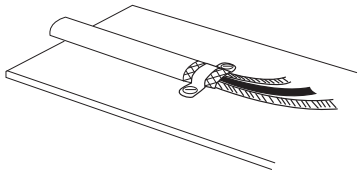
Note : *la mise à la terre d'un système a un effet considérable sur la facilité d'exploitation du site. Les boucles de terre doivent être évitées. Une équipotentialité correcte est essentielle. Etablissez un plan de mise à la terre adapté dès le début de la phase d'étude de projet et de conception.*

Aspects pratiques du blindage

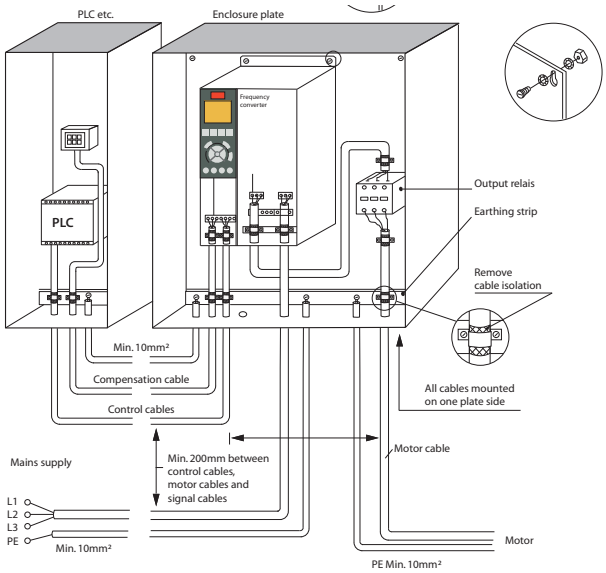
Importance du blindage



Wrong



Correct



Le but du blindage est de réduire l'ampleur des interférences rayonnées (qui peuvent avoir un effet sur les systèmes ou les composants adjacents) et d'améliorer l'immunité aux interférences des différents dispositifs (immunité aux interférences de sources externes). La mise en œuvre de mesures de blindage dans des systèmes existants (p. ex., remplacement de câbles ou protections supplémentaires) est possible uniquement en réalisant des dépenses considérables. Les fabricants de variateurs de fréquence fournissent généralement des informations adaptées sur la conformité avec des limites légales, ce qui inclut aussi des informations sur des mesures additionnelles qui peuvent être nécessaires, telles que des câbles blindés. Les variateurs de fréquence génèrent des fronts d'impulsions forts sur leurs sorties. Ces impulsions contiennent des composants haute fréquence (s'étendant jusqu'à la plage des gigahertz), qui provoquent le rayonnement indésirable du câble du moteur. C'est la raison pour laquelle des câbles de moteur blindés doivent être utilisés. La tâche du blindage consiste à « capturer » les composants haute fréquence et à les retourner à la source de l'interférence (dans ce cas, le variateur de fréquence).

Câbles blindés et câblage

Même un blindage correct, conforme aux limites, n'élimine pas complètement le rayonnement. Dans la région à proximité du champ, vous pouvez vous attendre à déceler des champs électromagnétiques auxquels les composants et les modules système, situés dans cet environnement, devront être capables de résister sans nuire à leur exploitation. Ici, la norme nécessite une conformité aux limites à une distance spécifiée (p. ex. 30 dB à une distance de 10 m pour la classe B). Quant au niveau de la limite admissible, la norme distingue l'usage dans le 1er environnement (résidentiel) et dans le 2è environnement (industriel). Pour des informations détaillées, voir la section « Le site d'exploitation en tant que facteur décisif » de ce manuel, page 21.

Connexion du blindage

Le blindage du câble doit être connecté sur toute la circonférence pour obtenir un blindage efficace. À cette fin, les presse-étoupes (mise à la terre) ou les étriers de serrage de mise à la terre CEM peuvent être utilisés. Ils entourent complètement le blindage et le relient à la terre sur une grande surface. Le blindage doit être acheminé directement au point de mise à la terre, bridé fermement sur une grande zone, et la connexion doit être aussi courte que possible à chaque extrémité de câble. Toutes les autres méthodes de connexion dégradent l'efficacité du blindage. Les utilisateurs tordent souvent la tresse blindée dans une fibre amorce et utilisent une borne de verrouillage pour la relier à la terre. Cette forme de connexion crée une forte impédance de transfert pour les composants de signal haute fréquence, ce qui entraîne le rayonnement des interférences à partir du blindage au lieu de les retourner à la source. L'effet du blindage peut alors être réduit de 90 %.

Écarts de blindage

Les écarts de blindage, tels que les bornes, les commutateurs ou les contacteurs, doivent être pontés par des connexions présentant une impédance la plus basse possible et une surface la plus grande possible.

Aspects pratiques du blindage

Mise à la terre

La mise à la terre d'un blindage est cruciale pour son efficacité. Pour cette raison, les rondelles striées ou élastiques doivent être posées sous les vis de fixation de la protection et les surfaces peintes doivent être grattées, nettoyées pour obtenir un contact à basse impédance. Les protections en aluminium anodisé, par exemple, fournissent une mise à la terre inadéquate si des rondelles plates sont utilisées sous les vis de fixation. La terre et les conducteurs doivent être réalisés à partir d'un fil de grande section, ou mieux, d'un conducteur de terre à plusieurs noyaux. Si des sections de fil de moins de 10 mm^2 sont utilisées avec des moteurs de faible puissance, une ligne PE distincte avec une section d'au moins 10 mm^2 doit relier le convertisseur au moteur.

Câble d'alimentation du moteur

Afin de se conformer aux limites d'interférences de radio fréquence, les câbles situés entre les variateurs de fréquence et les moteurs doivent être blindés et le blindage doit être connecté à l'équipement **aux deux extrémités.**

Câble d'interface

La distance entre le câble du moteur et le câble d'interface doit être supérieure à 20 cm et le câble secteur, ainsi que le câble du moteur doivent être acheminés autant que possible séparément. Les effets des interférences diminuent nettement lorsque la distance augmente. Les mesures additionnelles (telles que des barrettes de division) sont essentielles avec des séparations plus restreintes. Sans quoi, les interférences peuvent être couplées ou transférées.
Les blindages du câble de commande doivent être raccordés à chaque extrémité, comme pour les blindages de câble de moteur. En pratique, la mise à la terre à une seule extrémité peut être envisagée dans des cas exceptionnels. Cela n'est cependant pas recommandé.

Types de blindage

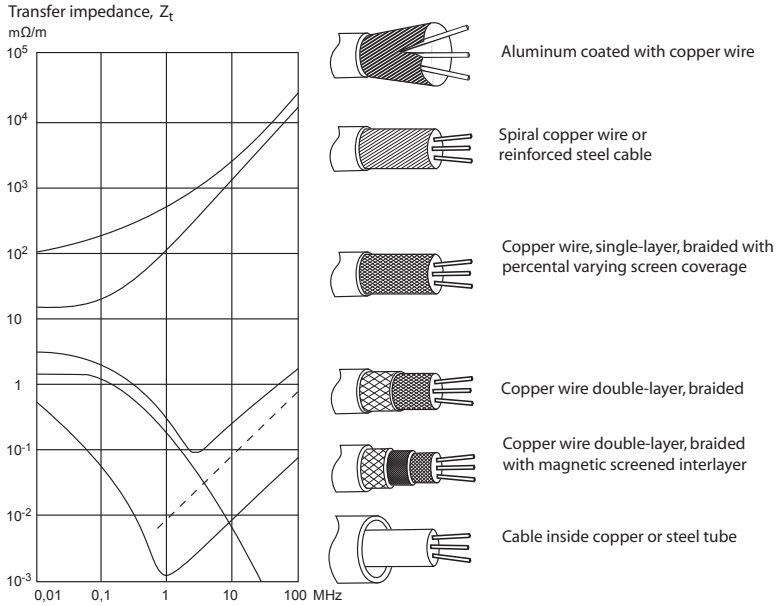
Les fabricants de variateurs de fréquence recommandent d'utiliser un câble blindé pour protéger le câblage entre le variateur de fréquence et le moteur. Deux facteurs sont importants pour la sélection : la couverture du blindage et le type de blindage.

La couverture, soit la surface de câble couverte par le blindage, doit être de 80 % au moins.

Quant au type de blindage, un blindage en cuivre tressé monocouche s'est avéré extrêmement efficace en pratique. Ici, l'essentiel est que le blindage soit tressé. En revanche, un blindage à fil de cuivre bobiné (de type NYCWY, par exemple) laisse de longues fentes non recouvertes et les composants HF peuvent facilement s'échapper à travers ces espaces. La surface pour les courants de fuite est aussi beaucoup plus petite.

Le blindage est disponible en gros pour la mise à niveau. Il peut être tiré sur le câble pour fournir l'effet de blindage désiré. Pour des connexions courtes, les tuyaux ou les fourreaux métalliques peuvent être utilisés comme alternative. Les conduits de câble peuvent remplacer le blindage uniquement dans certaines conditions (conduit radioprotégé avec un bon contact de protection et une connexion correcte entre les composants du conduit et la terre).

Les câbles avec double blindage atténuent encore mieux l'interférence rayonnée et émise. Le blindage intérieur est relié à une extrémité, alors que le blindage extérieur est relié aux deux extrémités. Les conducteurs torsadés réduisent les champs magnétiques. Les câbles blindés avec conducteurs torsadés peuvent être utilisés pour les circuits de transmission. L'atténuation du champ magnétique augmente d'environ 30 dB avec un seul blindage, à 60 dB avec un double blindage et à environ 75 0dB si les conducteurs sont également torsadés.



Il existe beaucoup de types de câble blindé. Seuls quelques-uns d'entre eux conviennent à une utilisation avec des variateurs de fréquence.

Étape 4 : aspects pratiques de la sélection de variateurs de fréquence

Conception de base

En pratique, les concepteurs et les opérateurs sélectionnent souvent des variateurs de fréquence uniquement sur la base de leur puissance nominale en kilowatts. Cependant, les variateurs de fréquence doivent toujours être sélectionnés sur la base du courant nominal du moteur I_{nom} sous la charge système maximale. Ce critère de sélection est plus fiable, parce que la puissance de sortie du moteur dépend de la charge d'arbre mécanique au lieu de la puissance d'entrée électrique.

L'efficacité du moteur n'est pas pris en compte non plus. En revanche, la capacité nominale des variateurs de fréquence (en kilowatts) est basée sur la puissance nominale P_{nom} des moteurs quadripôle.

Remarque : un variateur de fréquence VLT® AQUA Drive de 11 kW a un courant nominal de 24 A. Ce courant fournit suffisamment de puissance de réserve pour entraîner un moteur dont la valeur nominale s'élève à 11 kW.

De plus, les moteurs dans la même classe de puissance peuvent avoir des courants nominaux différents selon le constructeur du moteur et la classe d'efficacité. Par exemple, le courant nominal d'un moteur de 11 kW peut s'étendre de 19,8 A à 22,5 A. Cependant, le courant nominal seul n'est pas suffisant pour déterminer la puissance d'entrée électrique correspondante. Le variateur de fréquence doit aussi fournir une tension de moteur suffisamment élevée. Avec un système secteur de 400 V, cela signifie 400 V complets à 50 Hz sur les bornes du moteur. Il existe toujours sur le marché des variateurs de fréquence qui ne sont pas capables d'atteindre ce niveau. La tension de sortie est réduite suite aux chutes de tension dans les filtres, dans les bobines d'arrêt et dans le câble du moteur. Si la tension de sortie est réduite à 390 V, par exemple, le moteur a besoin de davantage de courant pour produire la puissance requise. Comme les pertes augmentent quadratiquement avec le courant, le moteur chauffe plus, ce qui réduit sa durée de vie opérationnelle. Bien sûr, l'utilisateur doit aussi tenir compte de la demande accrue de courant dans la conception.

Remarque : une méthode de modulation spéciale est utilisée dans les unités VLT® AQUA Drive pour fournir la tension de moteur totale. Même avec 10 % de sous-tension sur le secteur, la tension nominale du moteur et le couple nominal du moteur sont maintenus.

Couple constant ou variable

La charge entraînée par le moteur est le facteur clé pour sélectionner le variateur de fréquence adéquat. Une distinction doit être faite entre les charges dont la caractéristique de couple augmente quadratiquement avec la vitesse (telles que les pompes centrifuges et les ventilateurs) et les charges qui peuvent nécessiter un couple élevé du moteur sur toute la plage de fonctionnement, même à de faibles vitesses (telles que les soufflantes Roots).

La plupart des systèmes de variateur des stations de production d'eau potable et des stations d'épuration des eaux usées ont une courbe de charge qui augmente quadratiquement avec la vitesse jusqu'à atteindre le couple nominal. Afin de parvenir à une exploitation optimisée en termes d'efficacité dans ces conditions de charge, le variateur de fréquence fournit une tension de moteur qui augmente quadratiquement avec la fréquence du champ tournant du moteur.

Pour les applications avec un couple élevé constant, dans la plupart des cas, il est aussi nécessaire d'envisager le besoin d'accélération ou de démarrage sous charge lourde. Dans ce cas, le variateur de fréquence doit être capable de fournir une puissance d'entraînement supplémentaire au moteur sur une courte durée, en plus du couple de moteur nominal, pour permettre par exemple à une pompe dans laquelle de la boue s'est amassé et déposé de surmonter la friction statique qui en résulte. Ce couple maximal disponible brièvement est appelé couple de surcharge.

Dans des applications qui ne nécessitent pas de couple de démarrage beaucoup plus élevé que le couple nominal du moteur, une capacité de surcharge relativement basse est généralement adéquate (par exemple, les soufflantes Roots avec démarrage sans charge requièrent seulement 110 % du couple nominal du moteur).

Note : les pompes volumétriques, les soufflantes Roots et les compresseurs ne sont pas classés comme machines à fluide. Du fait de leur principe d'exploitation, les variateurs de fréquence à utiliser avec ces équipements doivent être conçus pour le couple constant.

Aspects pratiques des courbes de charge pour diverses applications

Courbes caractéristiques et applications

Applications de couple constant

Couple de démarrage normal (surcharge de 110 %)
Pompes de dosage
Soufflantes Roots
Ventilateurs de surface
Pompes de circulation
Compresseurs à canal latéral

Couple de démarrage élevé [surcharge de 150 %]
Compresseurs à pistons axiaux
Compresseurs à piston circulaire
Pompes à vis excentrique (observez le couple de démarrage)
Pompes à piston
Agitateurs et mélangeurs
Presses essoreuses de boues
Compresseurs (sauf turbocompresseurs)
Pompes volumétriques
Pompes à engrenages
Soupapes rotatives à engrenages

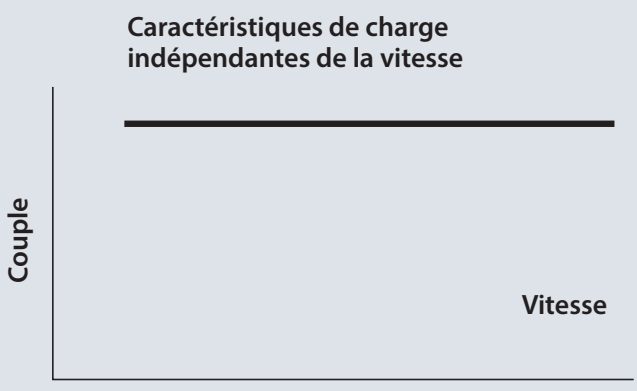
Note : *demandez au fabricant de la pompe ou du moteur la courbe caractéristique de couple.*

Applications à couple variable

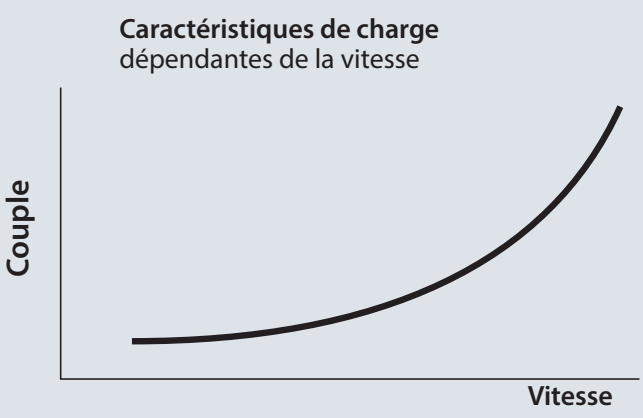
Pompes centrifuges
Pompes de puits[1]
Pompes de surpression
Pompes d'alimentation filtrantes
Pompes à eaux souterraines[1]
Pompes à eau chaude
Pompes de chauffage (circuits primaire et secondaire)
Pompes centrifuges carénées (solides)
Pompes à eau de refroidissement (circuits primaire et secondaire)
Pompes de citerne
Pompes de recirculation des boues
Pompes de vidange[1]
Turbocompresseurs
Pompes immergées[1]
Pompes à boues excédentaires
Ventilateurs

[1]Filtre sinusoïdal conseillé.

Couple constant



Couple variable



Aspects pratiques de l'exploitation multi moteur (cas spécial)

Configuration

Si l'objectif de l'opérateur est d'exécuter plusieurs moteurs en parallèle à partir du même variateur de fréquence, la configuration doit prendre en compte les facteurs suivants :

Les courants nominaux et les puissances des moteurs doivent être additionnés.

La sélection d'un variateur de fréquence adapté repose sur les deux sommes puissance et courant.
Pour la protection de surcharge du moteur, l'opérateur doit connecter les thermistances PTC des moteurs en série, et le variateur de fréquence surveillera alors ce signal relié en série.

Les moteurs connectés fonctionnent de la même manière en ce qui concerne leur vitesse nominale. Cela signifie que le variateur de fréquence les entraîne tous à la même fréquence et avec la même tension.

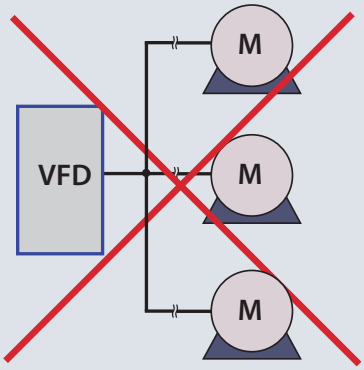
Note : *du fait que les résistances des thermistances PTC reliées en série s'additionnent, il n'existe aucun point d'utilisation de la surveillance par thermistance du variateur de fréquence pour protéger le moteur si plus de deux moteurs sont exploités en parallèle.*



Passage des câbles

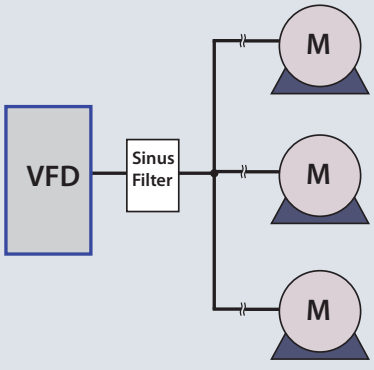
À éviter avec l'exploitation multi moteur : les conducteurs parallèles génèrent une capacitance additionnelle. Pour cette raison, les utilisateurs doivent toujours éviter ce type de connexion.

À éviter



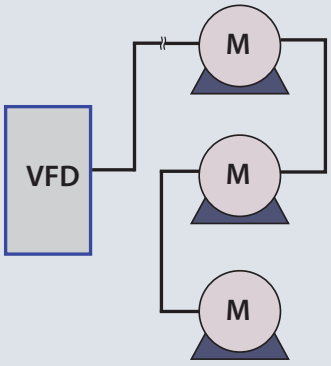
Les courants de commande chutent, car le filtre LC neutralise la fréquence d'horloge. Ceci permet de connecter les moteurs en parallèle. Si nécessaire, les câbles du moteur peuvent aussi être acheminés ensemble sur des distances plus longues.

Recommandé



Recommandé pour l'exploitation multi-moteur : relier en guirlande le câble du moteur d'un moteur à l'autre.

Recommandé



Aspects pratiques des mesures CEM

Application de la théorie

Tous les variateurs de fréquence sont des sources d'interférences à large bande, c'est-à-dire qu'ils émettent des interférences sur une large plages de fréquences. Les opérateurs de site peuvent réduire la quantité d'interférences émises par les variateurs de fréquence en prenant des mesures adaptées. Par exemple, ils peuvent garantir une exploitation irréprochable du site en utilisant des filtres RFI et des bobines d'arrêt secteur.

Avec certaines marques, ces composants sont déjà installés dans le variateur de fréquence. Avec d'autres marques, l'ingénieur d'usine doit prévoir de l'espace supplémentaire (qui est toujours essentiel) à cet effet dans l'armoire.
À titre d'information générale sur la CEM, la perturbation secteur basse fréquence et les interférences de radiofréquence, voir les pages 13 et suivantes de ce manuel.

Note : *les variateurs de fréquence de bonne qualité sont équipés en standard d'une bonne protection RFI et de composants de réduction de perturbation secteur. Ces composants représentent près de 15 à 20 % du prix d'un variateur de fréquence.*

Interférences de radio fréquenc

Recommandations pratiques

Voir les pages 21 et suivantes de ce manuel pour plus d'informations sur les interférences de radio fréquence. L'objectif principal en pratique est d'obtenir des systèmes qui fonctionnent de façon stable sans interférence entre leurs composants. Néanmoins, il arrive souvent qu'après le remodelage et/ou l'introduction de nouveaux composants, il ne soit plus possible de procéder à des mesures sensibles sans interférence et/ou sans corruption des signaux des instruments. Ces pièges sont exactement les points à éviter.
Pour atteindre un haut niveau d'immunité aux interférences, il est donc recommandé d'utiliser des variateurs de fréquence avec des filtres RFI de haute qualité. Ils doivent satisfaire aux exigences de la catégorie C1 spécifiées dans la norme produit EN 61800-3 et se conformer de ce fait aux limites de la classe B de la norme EN 55011.
Des notices d'avertissement supplémentaires doivent être placées sur le variateur de fréquence si des filtres RFI qui ne correspondent pas à la catégorie C1, mais seulement à la catégorie C2 ou inférieure, sont utilisés. La responsabilité finale incombe à l'opérateur.
Comme mentionné à la page 22, en cas de problèmes, l'organisme de contrôle base toujours ses recommandations relatives à l'élimination des interférences sur les limites A1/A2 et B pour les interférences définies dans la norme générique EN 55011 selon l'environnement d'exploitation. L'opérateur supporte les frais liés à la résolution des problèmes de CEM. L'utilisateur est le responsable final du classement approprié des dispositifs par rapport à ces deux normes.

L'utilisation de câbles pour transmettre les signaux et la puissance donne lieu à des interférences de conduction facilement transmissibles à d'autres parties du système ou de l'installation si des mesures appropriées ne sont pas prises. En revanche, les interférences provenant directement du dispositif ou du câble sont confinées. Leur intensité diminue à chaque éloignement d'un centimètre de la source d'interférences. Voilà pourquoi l'installation du variateur dans une armoire appropriée conforme à la réglementation CEM suffit généralement à limiter les interférences rayonnées. Il convient toutefois que l'opérateur du système installe systématiquement un filtre approprié pour limiter les interférences conduites.

Deux approches relatives aux filtres RFI

Les filtres RFI externes en option, installés en avant du variateur de fréquence, provoquent aussi une chute de tension additionnelle. En pratique, cela signifie que la tension secteur totale n'est pas présente à l'entrée du variateur de fréquence et qu'un surdimensionnement peut être nécessaire. Les frais sont réalisés pour l'assemblage, le câblage et les matériaux ; la conformité CEM n'est pas testée. Un autre facteur important est la longueur maximale du câble du moteur relié, pour lequel le variateur de fréquence est toujours conforme aux limites CEM.
Dans l'usage, la longueur peut varier de 1 mètre à 50 mètres. De meilleurs filtres RFI sont nécessaires avec des longueurs de câble supérieures.

Note : *pour vérifier le fonctionnement sans interférence du système de variateur, vous devez toujours utiliser un filtre RFI de catégorie C1. Les unités VLT® AQUA Drive sont fournies de série avec des filtres RFI intégrés conformes à la catégorie C1 (EN 61800-3) pour une utilisation avec des systèmes secteur de 400 V et des puissances nominales max. de 90 kW ou à la catégorie C2 pour des puissances nominales comprises entre 110 et 630 kW. Les unités VLT® AQUA Drive sont conformes à la catégorie C1 avec des câbles de moteur blindés jusqu'à 50 m ou à C2 avec des câbles de moteur blindés jusqu'à 150 m.*

Perturbation secteur

Rôle du circuit intermédiaire sur la perturbation secteur

Voir les pages 15 et suivantes pour une description des aspects fondamentaux de la perturbation secteur basse fréquence et les mesures de réduction correspondantes.
L'usage croissant de charges de redresseur aggrave la survenue de perturbations secteur. Les redresseurs prélèvent des courants non-sinusoïdaux du secteur. Une perturbation secteur liée à des variateurs de fréquence provient essentiellement des condensateurs du circuit intermédiaire, en raison de leurs courants de charge. Dans ce cas, le courant circule toujours sous forme d'impulsions brèves près des pics de la tension secteur. Suite au courant élevé, la tension secteur baisse un peu pendant de courts intervalles et la tension secteur n'est plus sinusoïdale. Pour garder la puissance secteur correcte, il est alors nécessaire de limiter le cinquième harmonique du courant à un niveau d'environ 40 % du THD. Les exigences sont décrites dans la norme EN 61000-3-12.
Dans des scénarios d'application dans lesquels l'opérateur doit réduire la perturbation secteur à un niveau de THD_i inférieur à 10 % ou 5 %, les filtres en option et les mesures actives peuvent être utilisés pour atténuer presque complètement la perturbation secteur de l'équipement.

Mesures de réduction

Diverses options sont à la disposition des opérateurs de site pour restreindre la perturbation secteur. Elles peuvent être classées en mesures passives et actives ; elles diffèrent en particulier en ce qui concerne l'étude de projet.

Bobines d'arrêt du secteur

La méthode habituelle et la moins chère de réduire la perturbation secteur consiste à installer des bobines d'arrêt sur le circuit intermédiaire ou à l'entrée du variateur de fréquence.
La pose d'une bobine d'arrêt dans le variateur de fréquence étend la durée du flux de courant pour charger les condensateurs du circuit intermédiaire, réduit l'amplitude de courant et diminue significativement la distorsion de la tension secteur (plus bas que la perturbation secteur). Le degré de distorsion de la tension secteur dépend de la qualité du système secteur (impédance du transformateur et impédances de ligne). Les chiffres dans le tableau suivant peuvent être considérés comme une référence pour la charge du variateur de fréquence connecté (ou une autre charge de redresseur triphasé) sous forme de pourcentage de la puissance nominale du transformateur d'alimentation.
Si la valeur maximale est dépassée, vous devez consulter le fabricant du variateur de fréquence.

Outre la réduction de la perturbation secteur, les bobines d'arrêt secteur augmentent la durée de vie des condensateurs du circuit intermédiaire, car ils sont chargés plus doucement en raison de la limitation des pics de courant. Les bobines d'arrêt améliorent aussi la capacité du variateur de fréquence à résister à la contrainte des transitoires réseau. Les valeurs nominales des sections de fil et des fusibles secteur ou du disjoncteur peuvent être inférieures en raison des courants d'entrée plus bas. Cependant, les bobines d'arrêt augmentent le coût et prennent de l'espace.



Remarque : une bobine d'arrêt sous forme de bobine de circuit intermédiaire est intégrée de série à tous les variateurs de fréquence VLT® AQUA Drive. Ceci réduit le THD_i de 80 % à 40 %, remplissant ainsi les conditions de la norme EN 61000-3-12. L'effet est alors comparable à celui d'une bobine d'arrêt de secteur triphasée (U_K 4 %). Il n'y a aucune chute de tension à compenser par le variateur de fréquence; la tension complète (400 V) est disponible pour le moteur.

Charge du variateur de fréquence de 20 % maximum sur le transformateur
→ en cas de FC sans mesure de réduction de la perturbation secteur, ce qui
signifie aucune action ou seulement légère d'une bobine d'arrêt (p. ex. avec U_K 2 %)

Charge du variateur de fréquence de 40 % maximum sur le transformateur
→ en cas de FC avec des mesures de réduction de la perturbation secteur, ce qui
signifie une action d'une bobine d'arrêt avec une U_K d'au moins 4 %

Les chiffres de charge maximale ci-dessus sont des valeurs recommandées qui, selon l'expérience, permettent une exploitation irréprochable du site.

Aspects pratiques des mesures CEM



Le variateur de fréquence à charge harmonique faible est un variateur de fréquence doté d'un filtre actif intégré qui agit sur le secteur.

Redresseurs avec 12, 18 ou 24 impulsions par cycle

Dans l'usage, les variateurs de fréquence avec des redresseurs ayant un nombre élevé d'impulsions par cycle se situent généralement dans la plage de puissance supérieure.
Ils requièrent des transformateurs spéciaux pour un bon fonctionnement.

Filtres passifs

Les filtres harmoniques passifs, qui consistent en des circuits LC, peuvent être utilisés en toutes situations. Ils ont une grande efficacité, généralement autour de 98,5 % ou plus. Les dispositifs sont très robustes et, à l'exception des ventilateurs s'ils sont présents, ils ne nécessitent généralement pas d'entretien. Il faut garder à l'esprit les éléments suivants avec les filtres passifs. S'ils sont exploités sans charge, ils agissent comme sources de puissance réactives capacitives en raison du courant circulant dans le filtre. Selon l'application spécifique, il peut être pertinent d'utiliser un groupe de filtres, éventuellement avec une connexion et une déconnexion sélectives.

Filtres actifs, applications frontales actives et variateurs à charge harmonique faible

Une approche innovante, basée sur des dispositifs à semi-conducteur améliorés et sur une technologie de microprocesseur moderne, consiste à utiliser des systèmes de filtres électroniques actifs. Ils mesurent constamment la qualité de la puissance du secteur et utilisent une source de courant active pour alimenter le système de secteur avec des formes d'ondes spécifiques. Le résultat net est un courant sinusoïdal. Comparée aux options de filtre précédemment décrites, l'architecture de cette nouvelle génération de filtres est complexe, car ils requièrent une acquisition de données rapide, haute résolution et une grande puissance de calcul.

Il n'est pas possible de dispenser une recommandation de base quant à l'une des mesures de réduction de la perturbation secteur mentionnées ici. L'important est de prendre les bonnes décisions pendant la phase d'étude de projet et de conception afin d'obtenir un système de variateur très disponible, avec peu de perturbations secteur et des interférences de radio fréquence réduites. Dans tous les cas, les facteurs suivants doivent être soigneusement analysés avant de prendre une décision quant aux mesures de réduction à utiliser :

- Analyse du secteur
- Vue d'ensemble exacte de la topologie du secteur
- Contraintes d'espace dans les salles d'équipement électrique disponibles
- Options de distribution principale ou systèmes de sous-distribution

Note : *avec les mesures actives complexes, le risque de passer totalement à côté de l'objectif existe, car ces mesures présentent le sérieux désavantage de provoquer des interférences dans la plage de fréquences au-dessus de 2 kHz (voir pages 18 et suivantes).*

Aspects pratiques des relais de protection différentielle

Relais de protection différentielle CA/CC

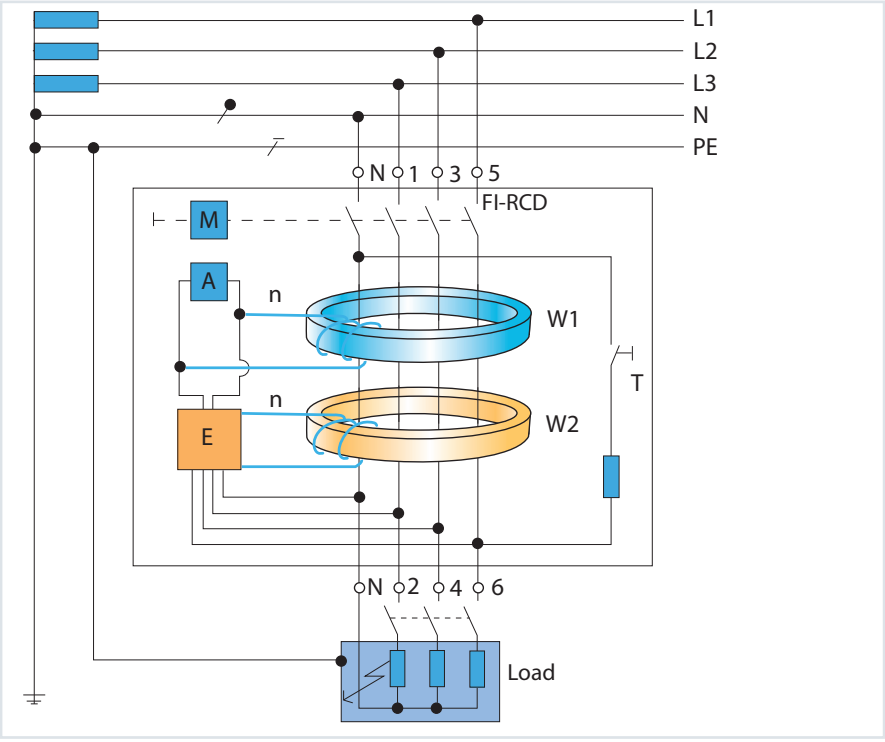
Dans les pays germanophones, différentes conditions ont été précédemment utilisées pour des relais de protection différentielle sensibles uniquement à du courant alternatif et pour des relais sensibles à du courant alternatif et du courant continu. Ces relais sont identifiés dans le monde entier comme des disjoncteurs de courant résiduel (RCCB). Le terme général est « RCD » (residual current operated device, relais de protection différentielle) tel que défini dans la norme EN 61008-1.

Si vous utilisez un équipement dans une zone protégée capable de générer un courant CC en cas de défaut, vous devez utiliser des RCD sensibles aux courants continu et alternatif. Ceci s'applique à tout équipement électrique avec un étage de redresseur B6 (comme les variateurs de fréquence) connecté à un secteur triphasé Ce type de RCD est appelé RCD de type B selon la norme CEI 60755. Du fait de leur principe d'exploitation, les variateurs de fréquence génèrent des courants de fuite à la terre que l'ingénieur d'usine et/ou l'opérateur doivent prendre en compte lors de la sélection de la valeur nominale du courant de défaut. Demandez à votre fabricant de variateur de fréquence le type de RCD recommandé pour votre application.

Le RCD doit être installé directement entre le secteur et le redresseur. L'intégration dans une structure hiérarchique avec d'autres RCD n'est pas admissible.

Niveau de courant de fuite

Le niveau de courant de fuite dépend de plusieurs facteurs. De manière générale, les courants de fuite sont supérieurs sur les variateurs de fréquence et les moteurs de niveaux de puissance supérieurs. Un variateur de fréquence correspondant à la plage de puissance 1,5 kW dépourvu de mesures de suppression d'interférences radioélectriques et doté d'un câble moteur court (environ 2 m), présente un courant de fuite d'environ 4 mA. Si une suppression d'interférences radioélectriques de Classe B est requise, le courant de fuite pour la même configuration augmente jusqu'à environ 22 mA. Un variateur de fréquence de 20 kW avec suppression d'interférences radioélectriques de Classe B et doté d'un câble moteur blindé court présente un courant de fuite d'environ 70 mA. S'agissant du câble du moteur, les utilisateurs peuvent se fonder sur un courant de 0,5 à 2 mA par mètre de câble de moteur. Le câblage par conducteurs appariés offre des valeurs inférieures à un câblage monofilaire.



Les relais de protection différentielle de type B disposent de deux circuits de surveillances distincts : l'un pour le CC pur et l'autre pour les courants de défaut avec un composant CA.

Aspects pratiques de la mise à la terre et de la protection de surcharge moteur

Mesures de mise à la terre en pratique

Les mesures de mise à la terre sont décrites en détail dans la section « Moteurs et câblage » de l'étape 3 (pages 31 et suivantes).
Si l'application nécessite des filtres externes, ils doivent être posés aussi près que possible du variateur de fréquence. Le câble entre le filtre et l'équipement doit être un câble blindé et le filtre doit être relié au conducteur de terre côté secteur et au côté équipement. Il est aussi recommandé de monter le filtre de manière à ce qu'il soit de niveau avec la surface et de fournir une connexion à basse impédance entre le corps de filtre et la terre.

Les filtres génèrent des courants de fuite qui peuvent être considérablement supérieurs à la valeur nominale en cas de défaut (perte de phase ou charge asymétrique). Pour éviter des tensions dangereuses, les filtres doivent être mis à la terre avant la mise sous tension. Avec des courants de fuite de 3,5 mA et plus, selon la norme EN 50178 ou EN 60335 :
-la section du conducteur de terre doit être de 10 mm^2 ou plus ;
-ou la continuité du conducteur de terre de protection doit être vérifiée ;
-ou un deuxième conducteur de terre de protection doit être installé en plus.

Les courants de fuite sont ici des signaux d'interférence haute fréquence. Cela nécessite une mise à la terre avec des liaisons à basse impédance reliées à une grande surface et connectées au potentiel de terre par le trajet le plus court possible.

Note : *même les meilleures mesures pour contrer la perturbation secteur et les interférences de radio fréquence sont inutiles si leur exécution dans l'installation ne se conforme pas aux bonnes pratiques CEM. Les problèmes d'interférence sont inévitables dans ces cas.*

Protection de surcharge moteur et thermistance PTC de moteur

Les variateurs de fréquence assument la tâche de protéger le moteur contre du courant excessif. Les capteurs de thermistance ou les protecteurs thermiques dans l'enroulement du moteur sont utilisés pour fournir la meilleure protection de surcharge moteur possible. Le signal est contrôlé via des bornes d'entrée adaptées sur le variateur de fréquence.
La fonction des commutateurs de protection du moteur est limitée à l'exploitation directe sur secteur. Dans des systèmes électriques avec variateurs de fréquence, ils peuvent seulement fournir une protection de surcharge moteur en cas d'urgence, lorsque le variateur de fréquence est contourné par un circuit adapté. La fonction de protection de surcharge moteur du commutateur est inefficace avec l'exploitation du variateur de fréquence. Néanmoins, avec un dimensionnement approprié, son utilisation avec des moteurs entraînés par convertisseur, comme une sorte de disjoncteur triphasé qui protège seulement le câblage, peut être pertinente.

Remarque : *beaucoup de variateurs de fréquence disposent d'une fonction supplémentaire appelée « image du moteur thermique ». La température du moteur est calculée à partir des données du moteur et la quantité de puissance transférée au moteur. Cette fonction est généralement peu mise en œuvre et tend à provoquer un déclenchement trop précoce. La température ambiante réelle au début du processus de calcul n'est généralement pas pris en compte. Cependant, cette fonction peut être utilisée pour fournir une forme simple de protection élémentaire si aucune autre forme de protection de surcharge moteur n'est disponible.*

Aspects pratiques de la commande de l'opérateur et de l'affichage des données

Concept d'exploitation simple

La technologie de base de tous les variateurs de fréquence est la même, de sorte que la facilité d'utilisation constitue un facteur décisif. Beaucoup de fonctions, ainsi que de l'intégration dans des machines ou dans des systèmes, requièrent un concept d'exploitation simple. Ce concept doit répondre à toutes les exigences en termes d'installation et de configuration simples et fiables.

Les options s'étendent des écrans numériques simples et bon marché aux panneaux de commande pratiques qui affichent les données au format texte. Les panneaux de commande simples conviennent à la tâche de base, qui consiste à observer des paramètres d'exploitation tels que du courant ou de la tension.

En revanche, les panneaux de commande avec des fonctions pratiques permettent à l'écran d'afficher des paramètres additionnels ou de les présenter tous simultanément.
Il est également possible de regrouper clairement des fonctions et de procéder à une exploitation manuelle aisée, tout comme d'utiliser des options d'accès via un logiciel, un bus de terrain, ou même de réaliser un entretien à distance à l'aide d'un modem ou d'Internet.
Un variateur de fréquence moderne doit être capable combiner tous les concepts d'exploitation mentionnés ci-dessous dans un seul dispositif ou de les rendre possibles, et il doit au moins permettre à tout moment la commutation entre la commande manuelle et la commande à distance.

design award winner

Ce panneau de commande a remporté en 2004 le prix international iF Design pour sa convivialité. Le LCP 102 a été sélectionné pour cette distinction parmi 1 000 solutions de 34 pays dans la catégorie « Interfaces homme-machine et de communication ».



Mise en service aisée
Les fonctionnalités telles que Danfoss Smart Start simplifient considérablement la mise en service des variateurs. Ce système guide l'utilisateur parmi les réglages de base du variateur.



Aspects pratiques de la commande de l'opérateur et de l'affichage des données

Exploitation sous commande locale

L'exigence de base est d'obtenir un appui pour l'exploitation locale via un panneau de commande local. Même à l'époque de la communication en réseau, beaucoup de tâches nécessitent la possibilité de contrôler directement l'équipement, telles que la mise en service, le test, l'optimisation des process et les activités d'entretien sur site.
Dans chacun de ces cas, l'opérateur ou le technicien doit pouvoir être capable de changer des valeurs locales afin d'incorporer directement les changements dans le système et d'exécuter des tâches connexes, telles que le diagnostic de défaut. À cette fin, le panneau de commande doit fournir une interface homme-machine simple et intuitive.

Écran de visualisation clair

La solution idéale est un écran de visualisation graphique, car il permet à l'utilisateur de sélectionner la langue préférée de l'interface utilisateur, et le mode affichage élémentaire peut présenter les paramètres essentiels de l'application réelle.
Pour maintenir la clarté, ces informations d'état doivent être limitées aux paramètres essentiels et il doit être possible d'adapter ou de changer à tout moment les paramètres. Être capable de neutraliser ou de cacher certaines fonctions selon le niveau de connaissance de l'opérateur peut être utile, tout comme de limiter l'affichage des paramètres et la possibilité de modifier des paramètres au strict nécessaire pour l'ajustement et le contrôle des process.

Avec le nombre élevé de fonctions prévues par les variateurs de fréquence modernes, qui disposent souvent de centaines de paramètres pour une adaptation optimale, les erreurs de l'opérateur sont réduites et, par conséquent, les temps d'immobilisation et les interruptions de service onéreux le sont également. De même, l'écran de visualisation doit être doté d'une fonction d'aide intégrée pour les fonctions individuelles, de sorte que l'assistance soit toujours disponible pour le technicien de mise en service ou de service, notamment pour les paramètres rarement utilisés, afin d'éliminer autant que possible dans ce cas aussi les erreurs d'opérateur.
Pour l'usage optimal des fonctions de diagnostic intégrées, il est très utile d'être capable d'afficher des graphiques (« fonction d'étendue ») en plus des données alphanumériques. Dans beaucoup de cas, cette forme d'affichage des données, tel que les formes de rampe et/ou les courbes de couple, facilite le dépannage.

Concept uniforme

Dans les stations de production d'eau potable et d'épuration des eaux usées, un nombre élevé de variateurs de fréquence sont utilisés dans des applications très diverses. Les variateurs, qui proviennent généralement du même fabricant, diffèrent en premier lieu au niveau de leurs dimensionnements de puissance, et donc, de leur taille et apparence. Une interface opérateur uniforme pour les variateurs de fréquence, avec le même panneau de commande pour toute la plage de puissances, offre des avantages pour les ingénieurs d'usine et les opérateurs de site.
Le principe élémentaire peut être résumé ainsi : la simplification de l'interface opérateur accélère la mise en service et le dépannage (si nécessaire) et les rend plus efficaces. En conséquence, les concepts basés sur les panneaux de commande Plug and Play ont fait leurs preuves dans la pratique.

Intégration dans la porte de l'armoire

Dans beaucoup de sites dans lesquels les variateurs de fréquence sont installés dans des armoires, les ingénieurs doivent intégrer les panneaux de commande dans les portes des armoires pour pouvoir visualiser le process. Cela est possible uniquement avec des variateurs de fréquence munis de panneaux de commande amovibles. Avec le panneau de commande intégré dans la porte de l'armoire via un cadre de fixation, le variateur de fréquence peut être contrôlé sans ouvrir la porte et son état d'exploitation, ainsi que les données de process peuvent être relevées.

Note : *assurez-vous que le variateur de fréquence que vous prévoyez de mettre en œuvre dans le système dispose du concept d'exploitation adéquat. Une conception qui prévoit la plus grande facilité d'utilisation possible pour la configuration des paramètres et la programmation est un avantage, car de nos jours, la fonctionnalité du variateur n'est pas le seul facteur important. Une exploitation rapide, simple, intuitive est également importante. C'est la seule façon de réduire l'effort, et par conséquent le coût de familiarisation et le nombre d'interactions ultérieures des employés qui utilisent les variateurs de fréquence.*



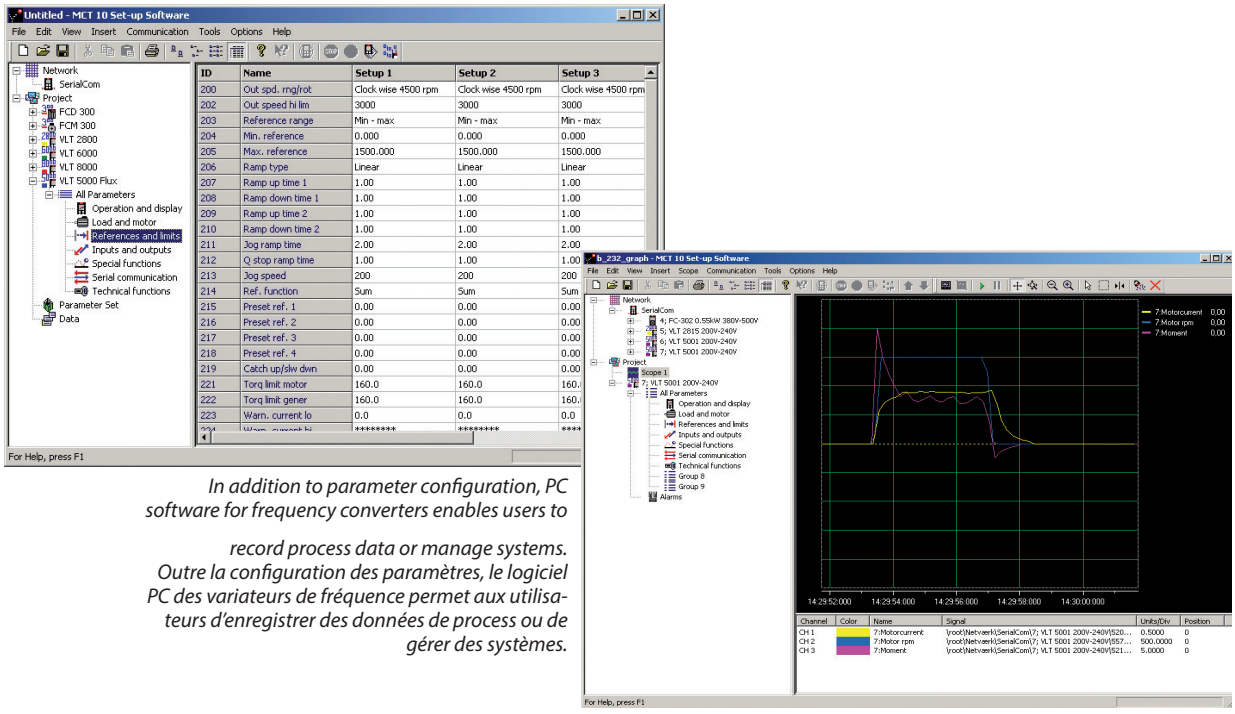
Les paramètres de variateur de fréquence peuvent aussi être configurés et relevés avec la porte de l'armoire fermée.

Aspects pratiques de la configuration du contrôle et des paramètres avec un PC

Options étendues

En plus de l'exploitation avec un panneau de commande, les variateurs de fréquence modernes prennent généralement en charge la configuration des paramètres et la lecture des données par un programme pour PC. Ce logiciel fonctionne habituellement sous Windows et supporte plusieurs interfaces de communication. Il permet d'échanger des données via une interface RS 485 classique, un bus de terrain (Profibus DPV1, Ethernet, etc.) ou une interface USB.
Une interface utilisateur clairement structurée fournit une vue d'ensemble rapide de tous les variateurs d'un système. Un bon programme permet aussi aux utilisateurs de gérer de grands systèmes comportant un grand nombre de variateurs. La configuration des paramètres est possible en ligne et hors ligne. Idéalement, le programme permet aussi d'intégrer des documents au système. Entre autres choses, cela permet d'accéder à des diagrammes électriques du système ou à des manuels d'exploitation du programme.

Remarque : *le programme MCT 10 est un instrument d'ingénierie sous Windows facilitant l'étude du système, la configuration des paramètres et la programmation d'unités VLT® AQUA Drive.*



In addition to parameter configuration, PC software for frequency converters enables users to record process data or manage systems.
Outre la configuration des paramètres, le logiciel PC des variateurs de fréquence permet aux utilisateurs d'enregistrer des données de process ou de gérer des systèmes.



Aspects pratiques de l'échange de données

Systèmes de bus

Les variateurs de fréquence modernes sont intelligents, ce qui leur permet de gérer un grand nombre de tâches dans des systèmes de variateurs. Néanmoins, aujourd'hui encore, beaucoup de dispositifs fonctionnent avec seulement quatre points de données dans un système de commande ou sous contrôle d'un PLC et agissent uniquement comme des contrôleurs de vitesse. Cela signifie que les opérateurs n'utilisent pas pleinement toutes les fonctions utiles et qu'ils n'ont pas accès aux données système mémorisées. Pour les utilisateurs, il est cependant facile d'exploiter tout le potentiel des variateurs de fréquence en utilisant une liaison de bus de terrain, telle que Profibus, pour les intégrer au système de commande. Avec un seul point de données matériel, les utilisateurs peuvent disposer d'un accès complet à tous les paramètres des variateurs de fréquence installés. Le câblage et la mise en service sont plus simples, ce qui contribue à réaliser des économies dès la phase d'installation. Un grand volume de données pour la gestion efficace du site est disponible. Le décodage des messages d'erreur collectifs permet de diagnostiquer les défauts, même à distance et de lancer les actions correctives appropriées.

Meilleure gestion des alarmes

Les messages d'alarme détaillés simplifient l'identification des causes de défaut possibles et fournissent une aide efficace pour le contrôle du site à distance. L'entretien à distance via des modems ou Internet permet d'afficher rapidement l'état et/ou les messages d'erreur, même avec des systèmes ou des composants du système distants.

Meilleure gestion de site

L'opérateur de la salle de commande est capable de contrôler et d'ajuster tous les réglages du variateur de fréquence à distance. Les données d'état, telles que la fréquence de sortie ou la puissance consommée, peuvent être lues et traitées à tout moment. Les données additionnelles pour la gestion efficace de l'énergie et des charges maximales sont disponibles sans composant supplémentaire.

Frais d'installation réduits

Il n'est pas nécessaire d'équiper chaque variateur de fréquence d'un écran de visualisation. L'utilisateur ou l'opérateur peut accéder à toutes les données pertinentes du variateur de fréquence par le système de commande.
Câblage simplifié avec des connexions à deux fils.
Les entrées et sorties inutilisées des variateurs de fréquence peuvent être exploitées comme ports d'E/S pour intégrer d'autres composants, tels que des capteurs, des filtres et des interrupteurs de fin de course, dans le système de commande.
Pas besoin de composants d'entrée et de sortie dans la mesure où un seul point de données matériel suffit pour contrôler le variateur de fréquence.
Les fonctions de surveillance, telles que le contrôle de la thermistance du moteur, la protection de la pompe à sec, etc., ainsi que les compteurs de sortie et d'heures de fonctionnement, sont disponibles sans composants additionnels.

Mise en service simplifiée

La configuration des paramètres est effectuée à partie de la salle de commande. Tous les réglages peuvent être copiés rapidement et facilement d'un variateur de fréquence à un autre. Une copie de sauvegarde persistante des réglages peut être stockée dans la mémoire de l'écran de visualisation. Les concepteurs et le personnel de mise en service peuvent documenter les réglages en appuyant sur un bouton.

Remarque : *l'option Remote Guardian Option RGO 100 définit de nouvelles normes pour la surveillance, l'entretien et le traitement des alarmes de variateurs de fréquence situés dans au moins un site. Cette option prend en charge les tâches types, telles que l'action à distance, l'entretien à distance, le traitement des alarmes et l'enregistrement de données pour la configuration et le contrôle du système.*

PROFIBUS® Modbus PROFINET® EtherNet/IP™

Aspects pratiques des facteurs de sélection supplémentaires

Contrôleur de process

Les variateurs de fréquence modernes sont des contrôleurs de variateur intelligents. Ils peuvent exécuter des tâches et des fonctions traditionnellement gérées par des PLC. Les contrôleurs de process mis en œuvre peuvent aussi être utilisés pour créer des boucles de contrôle de haute précision indépendantes. Cette fonction est particulièrement utile lors de la mise à niveau de systèmes dont la capacité PLC est insuffisante ou en l'absence totale de PLC.
Les transformateurs de paramètres de process actifs (transmetteurs de valeurs réelles de flux, de pression ou de niveau) peuvent être alimentés par la tension de commande 24 V CC du variateur de fréquence s'il dispose de la puissance suffisante.

Maintenance

La plupart des variateurs de fréquence sont quasiment sans entretien. Les variateurs de fréquence haute puissance intègrent des tapis de filtre qui doivent être nettoyés de temps en temps par l'opérateur, selon l'exposition à la poussière.

Il est à noter cependant que les fabricants de variateur de fréquence spécifient les intervalles d'entretien des ventilateurs (environ 3 ans) et des condensateurs (environ 5 ans) de leur équipement.

Remarque : *les modèles de variateur de fréquence VLT® Danfoss sont sans entretien jusqu' à 90 kW. Les modèles dont la valeur nominale s'élève à 110 kW au moins disposent de tapis de filtre intégrés dans les ventilateurs. Ils doivent être contrôlés régulièrement et nettoyés au besoin.*

Stockage

Comme tout équipement électronique, les variateurs de fréquence doivent être entreposés dans un endroit sec. Les spécifications du fabricant à cet égard doivent être observées. Certains fabricants spécifient que le dispositif doit être régulièrement activé. Pour cela, l'utilisateur doit connecter le dispositif à une tension définie pendant une certaine période. Cette activation (formation) est nécessaire en raison du vieillissement des condensateurs sur le circuit intermédiaire du dispositif. La vitesse de vieillissement dépend de la qualité des condensateurs utilisés dans le dispositif. La formation contrecarre le processus de vieillissement.

Remarque : *en raison de la qualité des condensateurs utilisés et du concept de fabrication flexible, à la demande, cette procédure n'est pas nécessaire avec des variateurs de fréquence VLT® AQUA Drive.*

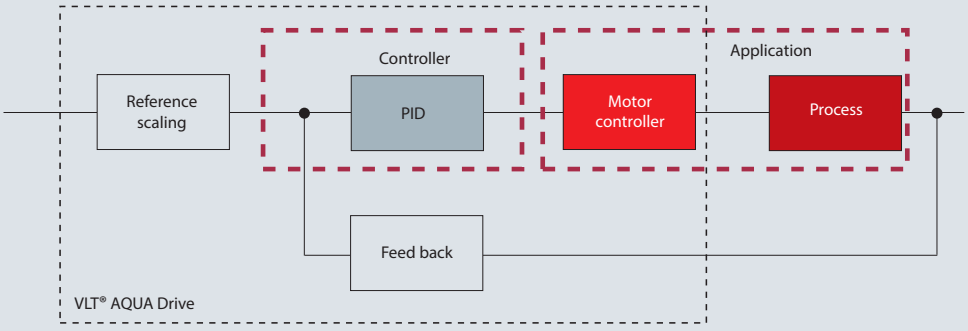


Schéma de principe du contrôleur de process PID



Variateur VLT® AQUA Drive



VLT® AQUA Drive units are
Les unités VLT® AQUA Drive sont disponibles avec des dimensionnements de puissance compris entre 0,37 kW et 1,4 MW et une tension nominale de 400 V ou 690 V.
Les versions VLT® *Low Harmonic Drive sont également disponibles pour une perturbation secteur réduite.*

Les variateurs AQUA de Danfoss® sont spécialement conçus pour une utilisation dans des applications de production d'eau potable et d'épuration des eaux usées. À la différence de beaucoup d'autres marques, tous les composants et fonctions importants sont intégrés de série.

- Tension secteur complète à la sortie
- Les longs câbles de moteur peuvent être reliés (150 m blindés ou 300 m non blindés)
- Dimensionné pour une longue durée de vie
- Filtre RFI intégré conforme à la norme EN 61800-3 catégorie C1 (limites de classe B comme défini par la norme EN 55011)
- Bobines d'arrêt de perturbation secteur intégrées (UK 4 %)
- Surveillance de thermistance PTC
- Fonction AEO pour des économies d'énergie particulièrement importantes
- Image de moteur thermique intégrée dans le variateur de fréquence comme protection moteur logicielle, qui tient également compte d'une ventilation interne du moteur basse à faibles vitesses (cela n'est pas possible avec des commutateurs de protection de surcharge moteur)
- Interface série RS 485
- Interface USB
- Horloge en temps réel
- Protection de pompe à sec
- Contrôle de flux de sortie
- Alternance de pompes contrôlée au temps de fonctionnement
- Démarrage de pompe réduisant l'usure
- Fonction de remplissage de tuyau pour éviter les effets de marteau d'eau
- Port Profibus intégré en option (également avec une alimentation 24 V CC externe)
- Contrôleur de cascade intégré pour trois pompes
- Contrôleur de cascade de base ou avancé en option
- Contrôle de pompe sans capteur en option
- Filtres secteur actifs et passifs en option pour une réduction supplémentaire des harmoniques
- Filtre sinusoïdal facultatif et filtre dv/dt pour tous les dimensionnements de puissance
- VLT® AQUA Drive en version avec charge harmonique faible

Des informations exhaustives sont disponibles auprès de votre contact Danfoss ou sur le Web. Vous pouvez télécharger une quantité d'informations considérable sur le site internet.

www.danfoss.com/vlt

Directives relatives aux variateurs de fréquence

Marquage CE

Le marquage CE (Communauté européenne) est destiné à éliminer les barrières techniques au libre-échange entre les états de la CE et EFTA (à l'intérieur de l'ECU). Ce marquage indique que le fabricant du produit se conforme à toutes les directives CE applicables, qui ont été transposées dans sa législation. Il ne fournit aucune information sur la qualité du produit. Les spécifications techniques ne peuvent pas être déduites du marquage CE. Les directives qui doivent être observées dans le domaine d'utilisation des variateurs de fréquence comprennent la directive machine, la directive CEM et la directive basse tension.

Directive machine

L'application de la directive machine 2006/42/CE est devenue obligatoire le 29 décembre 2009. La directive machine 98/37/CE a été abrogée de ce fait. Le principal message de la directive est qu'une machine, composée d'un ensemble d'organes ou de dispositifs interconnectés, dont au moins un est mobile, doit être fabriquée de façon à ce que la sécurité et la santé des personnes, et le cas échéant, des animaux ou des biens domestiques, ne soient pas mises en danger si la machine est correctement installée, entretenue de manière adéquate et utilisée conformément à l'usage prévu. Les variateurs de fréquence sont classés comme composants électroniques et ne sont donc pas soumis à la directive machine. Quand les bureaux d'études d'usine utilisent des variateurs de fréquence dans des machines, ils établissent une déclaration dans laquelle le fabricant déclare que la machine est conforme à toutes les lois et mesures de sécurité applicables.

Directive CEM

La directive CEM 2004/108/CE est en vigueur depuis le 20 juillet 2007. Son message principal est que les dispositifs susceptibles de générer des interférences électromagnétiques ou dont l'exploitation peut être affectée de manière néfaste par ces interférences doivent être fabriqués de sorte que la génération d'interférences électromagnétiques soit limitée de façon à ce que l'exploitation conforme à l'usage prévu soit possible, dans la mesure où les dispositifs radio et de télécommunication, ainsi que les autres dispositifs présentent un degré d'immunité aux interférences électromagnétiques adapté lorsqu'ils sont exploités conformément à l'usage prévu. Comme les variateurs de fréquence ne sont pas des dispositifs qui peuvent être exploités indépendamment et qui ne sont généralement pas disponibles, il n'est pas nécessaire de documenter la conformité à la directive CEM à l'aide d'un marquage CE ou d'une déclaration de conformité européenne. Néanmoins, les variateurs de fréquence Danfoss présentent le marquage CE comme indication de conformité à la directive CEM et une déclaration de conformité est disponible.

Directive basse tension

La directive basse tension 73/23/CEE est entrée en vigueur le 11 juin 1979 ; la période de transition a pris fin le 31 décembre 1996. Le message principal est que l'équipement électrique à utiliser avec une tension nominale de 50 à 1 000 V CA ou 75 à 1 600 V CC doit être fabriqué de sorte que la sécurité et la santé des personnes, ainsi que du bétail et des espèces à préserver ne soient pas mises en danger si l'équipement est correctement installé, entretenu et utilisé conformément à l'usage prévu. Comme les variateurs de fréquence sont des équipements électriques fonctionnant dans la plage de tension spécifiée, ils sont sujets à la directive basse tension et tous les dispositifs produits à compter du 1er janvier 1997 doivent porter le marquage CE.

Note : les fabricants de machines ou de systèmes doivent s'assurer que les variateurs de fréquence qu'ils utilisent portent le marquage CE. Une déclaration de conformité européenne doit être fournie à la demande.

Index

A

Filtres actifs 17, 18, 20, 46
Application frontale active 17, 19, 20, 46
Atmosphère/gaz agressifs 28
Climatisation 27
Débit d'air 27, 29
Température ambiante 27
Ammoniaque 28
Amplitude 15
Puissance apparente 16
Charge asymétrique 24
ATEX 30
Optimisation automatique de l'énergie (AEO) 9, 54
Disponibilité 8, 16

B

Systèmes d'énergie de secours 24
Courant de paliers 35
Contrainte de paliers 35
Système de bus 52

C

Chauffage d'armoire 27
Montage dans une armoire (montage central) 25
Presse-étoupes (normaux et CEM) 39
Couplage capacitif 14
Condensateur 17
Augmentation de capacité 8
Marquage CE 55
Compensation centrale 18
Courbes caractéristiques 15
Chlore 28
Bobines d'arrêt 17, 23, 24, 37, 45
Conditions climatiques 27
Filtre de mode commun 36
Cartes de circuit imprimé tropicalisées 28
Frais de mise en service 10
Courant de compensation 18
Condensation 27
Couplage conducteur 14
Conducteur 37, 38, 43
Configuration 51
Charge connectée 8
Conditions de connexion 15
Courbe caractéristique constante 41, 42
Points de contact 38
Contamination 28
Boucle de contrôle 53
Panneau de commande 49, 50
Plage de contrôle 8
Salle de commande 27
Refroidissement 27, 29
Corrosion 28
Cos φ 23
Facteur de coût 10
Mécanisme de couplage 14
Consommation de courant 15
Spectre de courant

D

Affichage de données 49, 50
Échange de données 51
Circuit intermédiaire 17, 19, 23, 27, 45
Tension du circuit intermédiaire 34, 37
Tension CC 17, 20
Coûts de mise hors service 10
Liste de contrôle de conception 6, 62
Directives 15, 55
Coûts de mise au rebut 10
Distorsion 15
Spectre de distorsion 18
Coûts des temps d'immobilisation 10
Système de variateur 8
Exposition à la poussière 29
Filtre dU/dt 20, 35, 36, 37

E

Mise à la terre 38, 48
Conducteur neutre mis à la terre 12
Moteurs EC 33, 34
Classes d'efficacité 31, 41
Ondes électromagnétiques 14
Contrôle Emax 8
Presse-étoupes CEM 37
Caractéristiques CEM 12
Directive CEM 55
CEM 12, 13, 14, 21, 25, 38, 44
Coûts de l'énergie 10
Efficacité énergétique 7
Réseau d'énergie 15
Économies d'énergie 8
Environnement (1 ou 2) 21, 22, 23, 24, 39
Conditions environnementales 7, 25
Coûts environnementaux 10
Protection contre les explosions (ATEX) 30

F

Mise à la terre de site 38
Opérateur de site 15
Concepteur de services de site 7
Tapis de filtre 29
Débit 8
Machines à fluide 9, 41
Méthode de Fourier 15
Pleine charge 8

G

Générateur 24
Norme générique 21
Mise à la terre 38
Boucle de terre 38
Compensation de groupe 18

H

Calcul d'harmoniques 16, 24
Harmoniques de courant 16, 18
Distorsion d'harmoniques 15, 17, 18
Filtre harmonique 16, 17, 42, 43
Charge d'harmoniques 24
Harmoniques 14
Dissipation/perte de la chaleur 27, 35
Radiateur 29
Fluorure d'hydrogène 28
Sulfure d'hydrogène 28

I

Classes IE 31
Protections CEI 32
Classe de protection contre l'inflammation 30
Compensation individuelle 18
Mise à la terre individuelle 12
Couplage inductif 14
Environnement industriel 22, 24
Secteur industriel 15
Coûts du capital initial 10
Redresseur d'entrée 15
Conditions d'installation 25
Coûts d'installation 10
Contrainte d'isolation 33
Émission d'Interférences 13
Champs d'Interférences 14
Immunité aux interférences 13, 2
Niveau d'interférences 21
Réception d'interférences 14
Source d'interférences 14
Transmission d'interférences 12
Niveaux IP 26
Système secteur IT 12

L

Filtre LC, circuits 34, 46
Courant de fuite 48
Coûts du cycle de vie (LCC) 7, 10
Foudre 3
Caractéristique linéaire 41, 42
Asymétrie de charge 24
Caractéristique de charge 42
Choc de charge 8
Variateur à charge harmonique faible (VHF) 17, 19, 46
Directive basse tension 55
Réseau basse tension 24

M

Directive machine 55
Champ magnétique 14
Analyse du secteur 16, 24
Calcul sur le secteur 16, 46
Bobines d'arrêt du secteur 44, 45
Filtre secteur 21
Fusibles secteur/disjoncteur 44
Impédance secteur 24
Perturbation secteur 15, 16, 17, 19, 44
Qualité de la puissance du secteur 15, 16, 17
Système secteur 8, 12, 15, 23
Transitoires réseau 17, 23, 24
Type de secteur 12
Frais d'entretien 7, 10
Maintenance 53
Usure des matériaux 8
Normes de performances minimales en termes d'efficacité (MEPS) 31, 32
Palier de moteur 33, 36
Câble du moteur 35, 36, 37, 39, 40
Efficacité du moteur 31
Isolation du moteur 36, 37
Espace de montage 27
Exploitation multi moteur 41

N

Conducteur neutre, séparé/combiné 12
Azote 28
Caractéristique non-linéaire 42
Courants non sinusoïdaux 15

O

Frais d'exploitation 8, 10
Point de fonctionnement 8
Site d'exploitation (CEM) 21, 22, 25
Filtre de sortie 36, 37, 38
Système global 8
Capacité de surcharge 41
Plage hypersynchrone 8
Ozone 28

P

Kit de montage de panneau 50
Exploitation en parallèle 41
Exploitation en charge partielle 8, 9
Filtres passifs 17, 20, 46
Délai de récupération 8
Courants de crête 8
Moteurs à magnétisation permanente (PM/PMSM) 33, 34
Déphasage 23
Système de tuyauterie 8
PLC 53
Économies d'énergie potentielles 8, 9
Puissance consommée 9

Index

Facteur de puissance 17, 19, 23
Pression 8
Contrôleur de process 53
Normes produit 21
Étude de projet 7
Règles de proportionnalité 9
Niveaux de protection nominale 25, 26
Conducteur de protection par mise à la terre 12
Frais de fourniture 8
Autorisation PTB 30
Thermistance PTC 30, 43, 48, 54
Réseau public 15
Systèmes de pompe 10

Q

Qualité 7

R

Couplage de rayonnement 14
Rayonnement 39
Interférences de radio fréquence 21, 22, 44
Courant nominal du moteur 8, 41
RCD 47
Courant réactif 9, 35
Puissance réactive 24
Redresseur 15, 17, 24, 46
Réduction/déclassement 13, 42
Humidité relative 27
Frais de réparation 8
Environnement résidentiel 22, 24
Relais de protection différentielle 47
Résonances 24
Mise à niveau 8, 36
Filtre RFI 21, 42
RFI 21, 36, 44
Valeur RMS 16
Temps de fonctionnement, pompe 10

S

Mesures de blindage 39
Protection de deuxième niveau 21
Durée de vie 8, 27, 29, 42
Blindage 39
Court-circuit 21
Distorsion sinusoïdale 15
Filtre sinusoïdal 30, 36
Tension sinusoïdale 15
Environnement spécial 22
Enroulements en échelons 24
Limite de courant de démarrage 8

T

THD (taux d'harmoniques) 15, 17, 18, 20, 45
Contrainte thermique 35
Moteurs à induction triphasés (TPIM) 33
Robinet d'étranglement 9, 10
Systèmes secteur TN 12
Caractéristique de couple 8, 41, 42
Transformateur (charge, utilisation) 24, 45
Transitoires 18, 23, 24, 41
Système secteur TT 12

U

Pertes de sous-tension 16

V

Caractéristique V/f 9
Commande de robinet 10
Varistance 23
Chute de tension 36, 37, 41
Fléchissements de tension 8
Débit volumétrique 10

W

Montage mural (local) 25
Longueur d'onde 14
Enroulement 35

Abréviations

AFA	Application frontale active
AHF	Filtres harmoniques avancés
ATEX	Atmosphère explosible
CE	Communauté européenne
CEMEP	Comité européen de fabricants de machines électriques et d'électronique de puissance
DC	Cycle d'utilisation
Eff	Classes d'efficacité (moteurs)
EMD	Décharge électromagnétique
CEM	Compatibilité électromagnétique
EN	Norme européenne
FC	Variateur de fréquence
IE	Efficacité internationale (moteurs)
CEI	Commission électro-technique internationale
Niveaux IP	Niveaux de protection nominale en termes d'entrée
LCC	Coût du cycle de vie
VHF	Variateur à charge harmonique faible
MEPS	Normes de performances minimales en termes d'efficacité
PCB	Carte à circuits imprimés
CFP	Correction du facteur de puissance
PLC	Contrôleur logique programmable
PTB	Physikalisch - Technische Bundesanstalt (organisme allemand)
PTC	Coefficient de température positive
RCCB	Disjoncteur de courant résiduel
RCD	Relais de protection différentielle
RFI	Interférences de radio fréquence
THD	Taux d'harmoniques



ENGINEERING
TOMORROW

Liste de contrôle de la conception du variateur de fréquence

Les quatre étapes de la conception de base d'un variateur de fréquence pour une station de production d'eau potable et une station d'épuration des eaux usées fiables du point de vue opérationnel



Systèmes secteur

☐	**Type de secteur : TN-C, TN-S, TT, IT**	TN-S est intéressant en termes de CEM. Des mesures spéciales sont nécessaire avec les systèmes de secteur IT.
☐	**CEM**	Observez les normes CEM et leurs limites.
☐	**Perturbation secteur (basse fréquence)**	Quel est le nombre de perturbations secteur déjà présentes ? Quel est le taux d'harmoniques maximal admissible (THD) ?
☐	**Interférences de fréquence radio (haute fréquence)**	Quelle est la classe d'environnement (1 ou 2) du site ?
☐	**Équipement de correction du facteur de puissance**	Équipez l'équipement de correction du facteur de puissance avec des bobines d'arrêt.
☐	**Transitoires réseau**	Les FC sont-ils protégés correctement contre les transitoires réseau ?
☐	**Utilisation maximale du transformateur**	Méthode empirique pour la charge du transformateur : environ 40 % de charge du FC (avec bobine d'arrêt).
☐	**Exploitation avec un générateur en veille**	D'autres conditions qu'avec l'exploitation secteur s'appliquent ici au FC.



Conditions ambiantes

☐	**Emplacement d'installation**	FC monté de manière centrale dans une armoire (IP20) ou localement sur le mur (IP54 ou IP66) ?
☐	**Concept de refroidissement**	Refroidissement de l'armoire et du FC ; des températures élevées endommagent tous les types de composants électroniques.
☐	**Atmosphère/gaz agressifs**	PCB tropicalisées pour une protection contre les gaz agressifs : sulfure d'hydrogène (H2S), chlore (Cl2) et ammoniaque (NH3).
☐	**Exposition à la poussière**	La poussière sur ou dans le FC réduit l'efficacité du refroidissement.
☐	**Atmosphères potentiellement explosives**	Dans ces atmosphères, les FC sont soumis à des restrictions.



Commencez après avoir déterminé la tâche du variateur les caractéristiques de couple
Si vous vérifiez tous les éléments de cette liste, vous pouvez être confiant quant à la fiabilité de fonctionnement du site.



Moteur et câblage

☐	Classes d'efficacité du moteur	Sélection d'un moteur efficace en termes d'énergie
☐	Compatibilité du moteur avec l'exploitation du FC	Demandez au fournisseur du moteur de confirmer la compatibilité avec l'exploitation du FC.
☐	Filtre de sortie : sinusoïdal ou dv/dt	Filtres supplémentaires pour des applications spéciales.
☐	Câble du moteur	Utilisez un câble avec le blindage adéquat. Observez la spécification de longueur maximale du câble relié du FC.
☐	Mesures de mise à la terre	Assurez une équipotentialité adéquate. Un plan de mise à la terre est-il disponible ?
☐	Mesures de blindage	Utilisez des presse-étoupes CEM et réalisez des terminaisons de blindage correctes.



Variateur de fréquence

☐	Dimensionnement et sélection	Dimension selon le courant du moteur. Chutes de tension à prendre en compte.
☐	Cas spécial Exploitation multi moteur	Les conditions spéciales s'appliquent ici.
☐	Interférences de radio fréquence (haute fréquence)	Spécifiez les filtres RFI adaptés à l'environnement CEM réel.
☐	Perturbation secteur (basse fréquence)	Utilisez les bobines d'arrêt de perturbation secteur pour réduire les harmoniques de courant.
☐	Mesures de mise à la terre	Des mesures pour contrecarrer les courants de fuite ont-elles été prises ?
☐	RCD	Utilisez des RCD de type B uniquement.
☐	Protection surcharge moteur et thermistance PTC du moteur	Le FC contrôle la thermistance PTC du moteur. (autorisation PTB zone EX)
☐	Commande de l'opérateur et affichage des données	Commande de l'opérateur et affichage des données via un écran de visualisation de texte (installé dans la porte de l'armoire).
☐	Échange de données (systèmes de bus)	Sur des systèmes de bus (p. ex. Profibus) ou sur un câblage conventionnel entre bornes.
☐	Contrôleur de process	Les FC peuvent exécuter les tâches du PLC ou établir des boucles de contrôle autonomes.
☐	Maintenance	Le variateur de fréquence est-il sans entretien ?

Remarques

ENGINEERING
TOMORROW

Tout savoir sur les VLT®

Danfoss VLT Drives, leader mondial dans le secteur des variateurs de fréquence, gagne de plus en plus de parts de marché.

Protège l'environnement

Les produits VLT® sont fabriqués avec le respect de l'environnement physique et social.

Toutes les activités sont planifiées et exécutées en tenant compte de chacun des employés, de l'environnement de travail et de l'environnement externe. La production a lieu sans bruit, fumée ou autre pollution, et le recyclage en fin de vie du produit selon les nouvelles réglementations est assuré.

Un Contrat Global

Danfoss a signé un Contrat Global avec l'ONU sur la responsabilité sociale et environnementale et nos compagnies agissent de façon responsable envers les sociétés locales.

Certification EU

Toutes les usines sont certifiées ISO 14001 et répondent aux directives EU pour la Sécurité Générale Produit (GPSD) et la directive de machines. Tous les produits de Danfoss VLT Drives appliquent la directive EU au sujet des substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques (RoHS). Tous les nouveaux produits sont conçus selon la directive EU concernant les déchets des équipements électriques et électroniques (WEEE).

Impact des produits

Grâce à la production d'un an de variateurs, les économies d'énergie engendrées par l'utilisation de ceux-ci sont équivalentes à celles réalisées par une centrale de production d'énergie.
De plus, un meilleur contrôle des procédés améliore la qualité des produits, réduit l'entretien des équipements et augmente leur durée de vie.

Dédié aux variateurs

En 1968, Danfoss a introduit le premier variateur produit en série pour la régulation des moteurs AC, il a été appelé VLT®. Depuis lors, Danfoss consacre son énergie à une tâche bien précise : le développement de solutions de transmission électrique.

Deux milles employés développent, produisent, vendent et assurent le service après-vente des variateurs de fréquence et des démarreurs progressifs dans plus de 100 pays.

Intelligent et innovateur

Danfoss VLT Drives a adopté le principe modulaire dans le développement, la conception, la production et la configuration de ses VLT®. De nouvelles technologies audacieuses ont été développées utilisant des plateformes spécialement conçues pour répondre aux besoins des utilisateurs. La mise sur le marché est plus rapide et les utilisateurs profitent toujours des avantages offerts par les dernières avancées technologiques.

S'appuyer sur des experts

Nous sommes responsables de chaque élément de nos produits. Nous pouvons vous garantir une fiabilité sans égal de nos produits car nous développons et produisons nous-mêmes nos propres composants, appareils, logiciels, modules de puissance, coffrets électriques, circuits électriques et accessoires.

Suivi local-support mondial

Les variateurs de fréquence sont utilisés dans de nombreuses applications de part le monde. Nos spécialistes présents dans plus de 100 pays sont prêts à vous apporter le support technique et les conseils en applications où que vous soyez.

Les experts de Danfoss VLT Drives poursuivent leurs recherches jusqu'au moment où une solution a été trouvée aux problèmes de l'utilisateur.

http://driveconfig.danfoss.com/



Danfoss VLT Drives, 1 bis Av. Jean d'Alembert, 78990 Elancourt, France, Tél.: +33 (0) 1 30 62 50 00, Fax.: +33 (0) 1 30 62 50 26, e-mail: variateurs.vlt@danfoss.fr, www.drives.danfoss.fr
Danfoss VLT Drives, A. Gossetlaan 28, 1702 Groot-Bijgaarden, Belgique, Tél.: +32 (0)2 525 07 11, Fax: +32 (0)2 525 07 57, e-mail: info@danfoss.be, www.danfoss.be/drives/fr
Danfoss AG, VLT® Antriebstechnik, Parkstrasse 6, CH-4402 Frenkendorf, Tél.: +41 61 906 11 11, Telefax: +41 61 906 11 21, www.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 fabrique de cette documentation sont la propriété des sociétés correspondantes.
Danfoss et le logotype Danfoss sont des marques de fabrique de Danfoss A/S. Tous droits réservés.