

Recommandations de l'ASERCOM pour la conception de centrales à compresseurs multiples utilisant des variateurs de fréquence

Table des matières

- 1 CHAMP D'APPLICATION ET OBJECTIF
- 2 SÉLECTION DES COMPRESSEURS
- 3 CARACTÉRISTIQUES DE CONCEPTION
- 4 FONCTIONNALITÉS DE RÉGULATION
- 5 STABILITÉ DES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT ET ÉCONOMIES D'ÉNERGIE
- 6 PROLONGATION DE LA DURÉE DE VIE ET FIABILITÉ
- 7 RESPECT DES NORMES DE SÉCURITÉ

1 CHAMP D'APPLICATION ET OBJECTIF

Ce document constitue un guide pour la conception de centrales de compresseurs contenant des compresseurs pilotés par « inverter » et des compresseurs à vitesse constante.

Le champ d'application est limité aux applications de réfrigération utilisant des compresseurs semi-hermétiques ou hermétiques, basés sur une technologie de compression scroll, à piston et à vis.

Pour obtenir des recommandations sur l'application de la technologie « inverter » à un seul compresseur, reportez-vous au document de l'ASERCOM :

« RECOMMANDATIONS RELATIVES À L'UTILISATION DE VARIATEURS DE FRÉQUENCE AVEC COMPRESSEURS DE FLUIDE FRIGORIGÈNE À DÉPLACEMENT POSITIF »

Les configurations de centrales de compresseurs les plus répandues sont les suivantes :

- **Deux compresseurs ou plus : l'un des deux est muni d'un variateur**
 - Le compresseur à vitesse variable est en fonctionnement continu.
 - Les compresseurs à vitesse constante sont commandés en séquence.

Dernière mise à jour : janvier 2016

- **Deux compresseurs : tous deux sont munis d'un variateur**
 - La cylindrée des deux compresseurs est identique.
 - La plage de fréquences complète du premier compresseur à vitesse variable est contrôlée par la moitié inférieure du signal de commande (p. ex. de 0 à 5 V).
 - La plage de fréquences complète du second compresseur à vitesse variable est contrôlée par la moitié supérieure du signal de commande (p. ex. de 5 à 10 V).

2 SÉLECTION DES COMPRESSEURS

La conception de la centrale de compresseurs doit inclure une évaluation exacte de la plage de puissance frigorifique requise. Les informations d'entrée nécessaires sont les suivantes :

- Puissance frigorifique à la charge la plus faible (maintenance, fonctionnement nocturne, température de condensation plus faible, etc.)
- Puissance frigorifique à la charge la plus élevée (selon l'application, p. ex. pendant le chargement d'une chambre froide ou après un dégivrage)
- Quantité d'utilisateurs actifs et algorithme d'activation, le cas échéant.

Si un algorithme d'activation n'est pas disponible, il peut être important d'inclure un facteur de correction de la charge maximale pour des charges de réfrigération en fonctionnement simultané, comme dans l'exemple ci-dessous :

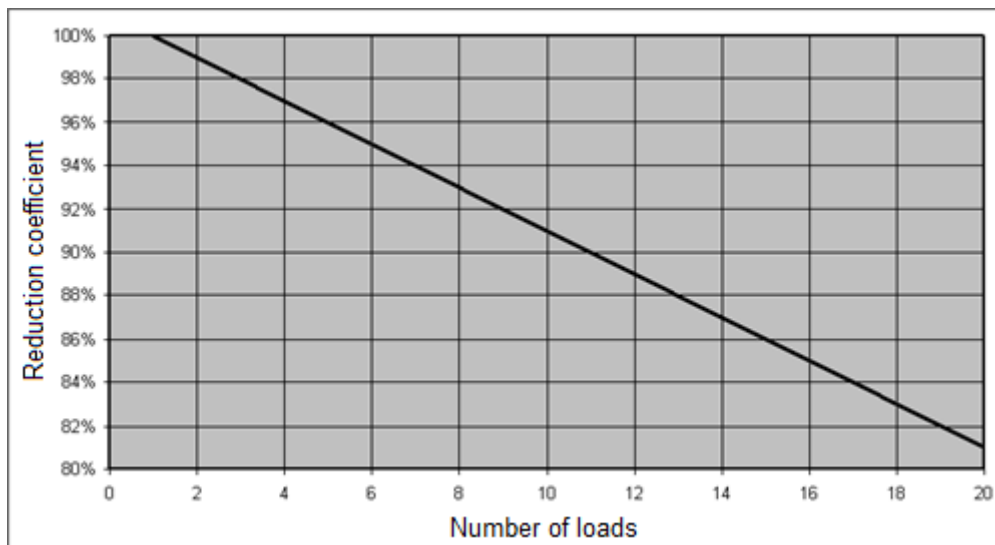


Fig. 1 : coefficient de réduction basé sur le nombre de charges

Dernière mise à jour : janvier 2016

Comme chaque utilitaire (ou utilisateur ou évaporateur) peut contribuer de façon différente à la charge totale, il peut être nécessaire de pondérer chaque sortie pour sa contribution sur la durée.

Le meilleur résultat de dimensionnement est obtenu lorsque la centrale de compresseurs peut fournir la charge requise en faisant varier la puissance frigorifique de la valeur minimale à la valeur maximale, avec amortissement des discontinuités inévitables qui surviennent lors du changement d'état (marche/arrêt) des charges ou de la source.

Les discontinuités surviennent normalement dans les systèmes à compresseurs/utilisateurs multiples, lorsque :

- les compresseurs sont démarrés ou arrêtés ;
- les électrovannes sur une conduite de liquide s'ouvrent ou se ferment ;
- les cycles de dégivrage sont activés ou désactivés ;
- des charges thermiques importantes sont connectées ou déconnectées du système.

Les discontinuités ont un effet négatif sur la stabilité de la pression du gaz d'aspiration et sur l'efficacité du système.

REMARQUE : l'utilisation de compresseurs à vitesse variable dans une conception en centrale constitue une solution valable pour une régulation de processus stable, à condition que les variations de vitesse et de production frigorifique couvrent les discontinuités créées par les autres compresseurs de la centrale, lorsque ceux-ci sont démarrés/arrêtés.

Le processus de dimensionnement des compresseurs pour une application de centrales de compresseurs avec un seul compresseur à vitesse variable doit inclure au moins les étapes suivantes :

I. Sélectionnez la taille des compresseurs, en utilisant les outils de sélection du fabricant, et en tenant compte des informations suivantes :

- Nombre total de compresseurs dans la centrale
- Contraintes de l'environnement (réseau électrique, dimensions, niveau sonore, etc.)
- Marge de sécurité
- Conditions de fonctionnement définies et plages autorisées (températures d'évaporation et de condensation)
- Taille du variateur et câblage du moteur des compresseurs (étoile/triangle, etc.)

II. Calculez la discontinuité de production frigorifique lorsque les compresseurs sont démarrés/arrêtés. Il est possible d'appliquer un coefficient de réduction à la production du compresseur unique, pour la perte de pression dans la conduite d'aspiration de la centrale.

III. Sur l'outil de sélection du fabricant, vérifiez la limite de fréquence du compresseur à vitesse variable aux conditions de fonctionnement définies et les plages autorisées :

Dernière mise à jour : janvier 2016

- Limites de fréquences supérieure et inférieure aux conditions de fonctionnement définies et selon le réfrigérant sélectionné

IV. Le cas échéant, changez la taille du compresseur à vitesse variable ou sélectionnez un câblage de moteur différent, afin de repousser la limite de fréquence maximale.

V. Tenez compte des influences réciproques avec d'autres dispositifs de modulation et sélectionnez des dispositifs de régulation appropriés :

- Condenseur avec régulation de vitesse du ventilateur
- Détendeur électronique
- Régulateur de production mécanique (tête CC, etc.)
- Caractéristique du dispositif de régulation

REMARQUE IMPORTANTE

Pour obtenir une modulation de production frigorifique continue, sans discontinuités, il est important de sélectionner des compresseurs dont la taille respecte l'équation suivante :

$$Q_{vsmax} - Q_{vsmin} \geq Q_{fs}$$

Où

- Q_{vsMAX} = production frigorifique du compresseur à vitesse variable à la fréquence maximale
- Q_{vsMIN} = production frigorifique du compresseur à vitesse variable à la fréquence minimale
- Q_{fs} = production frigorifique du compresseur à vitesse constante

La relation et le coefficient de facteur de contrôle (CF) définis ci-dessous peuvent faciliter la sélection de la taille des compresseurs :

$$CF = \frac{(Q_{VsCmax} - Q_{VsCmin})}{Q_{FsC}} 100 \%$$

Où

- Q_{VsCmax} Puissance frigorifique du VsC à la vitesse maximale
- Q_{VsCmin} Puissance frigorifique du VsC à la vitesse minimale
- Q_{FsC} Puissance frigorifique minimale du FsC (en tenant compte du régulateur de capacité, si présent)

Dernière mise à jour : janvier 2016

VsC Compresseur à vitesse variable
FsC Compresseur à vitesse constante

Les performances de régulation peuvent être évaluées pour les valeurs suivantes du CF :

- ≥ 100 % Excellent, peu de fluctuations de la pression d'aspiration
- ≥ 80 % Bon, quelques fluctuations de la pression d'aspiration
- ≥ 70 % Acceptable, mais plusieurs fluctuations de la pression d'aspiration
- ≤ 69 % Inacceptable, plusieurs fluctuations de la pression d'aspiration avec instabilité de la régulation

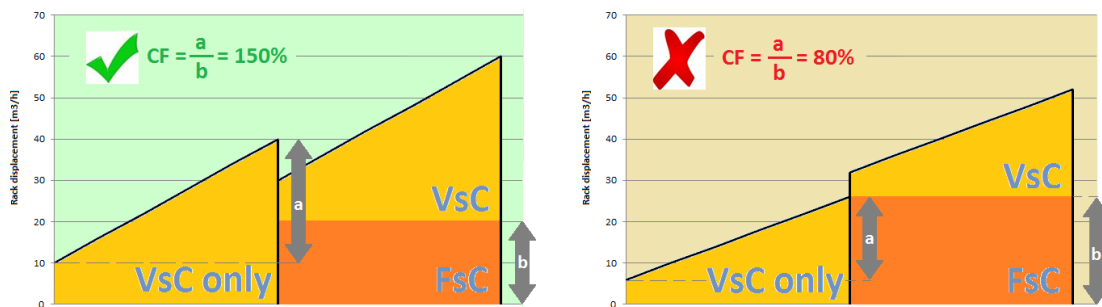
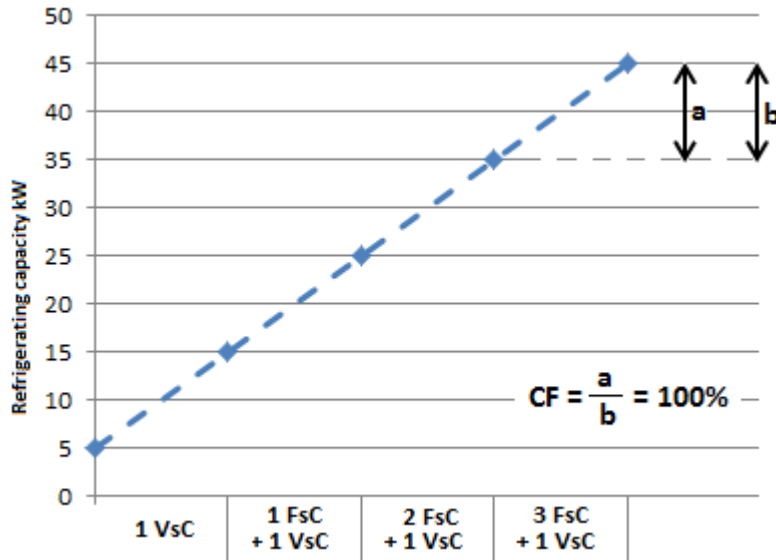


Fig. 2 : différence de déplacement entre une conception optimale et non optimale

REMARQUE :

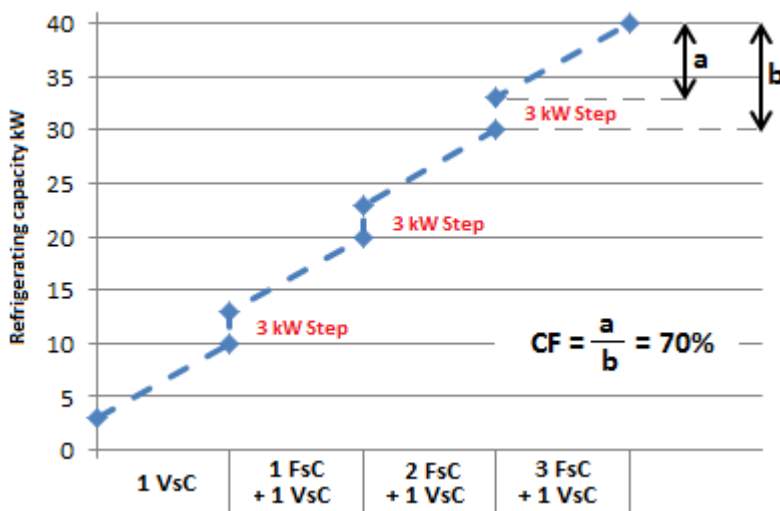
Les limites de fréquences doivent être fournies par le fabricant du compresseur. En l'absence d'informations, le document de l'ASERCOM « **RECOMMANDATIONS RELATIVES À L'UTILISATION DE VARIATEURS DE FRÉQUENCE AVEC COMPRESSEURS DE FLUIDE FRIGORIGÈNE À DÉPLACEMENT POSITIF** » peut être utilisé comme référence.

Dernière mise à jour : janvier 2016



Centrale avec quatre compresseurs
1 VsC, $Q_{min} = 5 \text{ kW}$
 $Q_{max} = 15 \text{ kW}$
3 FsC, $Q_{rated} = 10 \text{ kW}$

Fig. 3 : puissance frigorifique dans une centrale de compresseurs, conception optimale



Centrale avec quatre compresseurs
1 VsC, $Q_{min} = 3 \text{ kW}$
 $Q_{max} = 10 \text{ kW}$
3 FsC, $Q_{rated} = 10 \text{ kW}$

Fig. 4 : puissance frigorifique dans une centrale de compresseurs, conception non optimale

Dernière mise à jour : janvier 2016

Remarquez que la seconde sélection (Fig. 4) entraîne des discontinuités dans la régulation de la puissance frigorifique. Si ces discontinuités sont importantes, elles peuvent entraîner des températures de fonctionnement instables.

3 CARACTÉRISTIQUES DE CONCEPTION

Les critères de conception répandus applicables aux centrales de compresseurs sont largement reconnus et appliqués depuis de nombreuses années par différents fabricants de centrales.

Ce guide fait référence aux difficultés de conception susceptibles d'être influencées par la régulation de la capacité à vitesse variable, notamment les aspects suivants :

- Séparation de l'huile, régulation du niveau d'huile et répartition de l'huile entre les compresseurs
- Dimensionnement, disposition et montage des conduites d'aspiration et de refoulement
- Points de mesure pour les retours de pression et de température
- Amortissement des vibrations, atténuation du bruit
- Interaction avec le régulateur de capacité mécanique
- Dispositifs de sécurité

Les critères de conception de la régulation sont traités plus en détail au chapitre 4.

Remarque importante : ce chapitre décrit et représente des conseils généraux de conception. Les critères de conception proposés doivent être évalués pour chaque application spécifique.

3.1 Séparation, régulation du niveau et répartition de l'huile

La gestion de l'huile dans un système comportant des compresseurs à vitesse variable nécessite une attention particulière.

Dans les systèmes comportant de nombreuses branches avec une variation de charge étendue, le retour d'huile peut constituer un véritable défi : la conception du système et la sélection du ou des séparateurs d'huile doivent être effectuées avec soin.

Dans les dispositions de compresseurs en tandem, lorsque le variateur fait varier la vitesse de l'un des deux moteurs, le niveau d'huile peut être différent d'un compresseur à l'autre. Dans ce cas, il peut être nécessaire d'utiliser un dispositif d'égalisation d'huile et de gaz spécialement conçu ou un système actif de régulation du niveau d'huile (conformément aux spécifications du fabricant).

Dans un système à compresseurs multiples, le dimensionnement des tuyaux, le séparateur d'huile, le réservoir d'huile, etc. peuvent se révéler surdimensionnés lors du fonctionnement

Dernière mise à jour : janvier 2016

à faible fréquence d'un seul compresseur. Cela peut affecter le retour d'huile aux compresseurs.

La régulation du niveau d'huile à l'intérieur du compresseur à vitesse variable devient critique et de simples dispositions d'égalisation peuvent être insuffisantes. Pour gérer efficacement le retour d'huile, il est recommandé de réguler le niveau de l'huile sur chacun des compresseurs.

Une solution très répandue consiste à choisir un système avec un seul séparateur d'huile et un seul réservoir d'huile, connectés au collecteur d'aspiration par l'intermédiaire d'une vanne de pression différentielle, afin de préserver une pression plus élevée dans le réservoir, d'environ 1,4 bar. Le réservoir peut également être intégré au séparateur d'huile, qui se trouve alors sous haute pression. Ces deux solutions permettent une répartition d'huile adéquate parmi tous les compresseurs au moyen de régulateurs de niveau d'huile qui, cependant, doivent être conçus en conséquence pour un fonctionnement à basse ou haute pression.

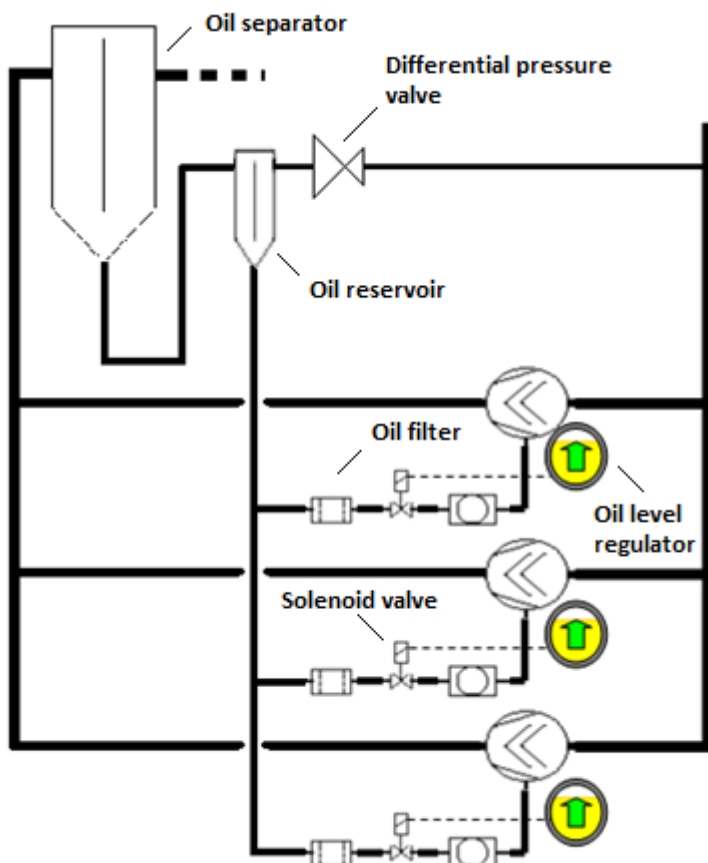


Fig. 5 : schéma de répartition de l'huile dans une centrale de compresseurs, conception optimale

Dernière mise à jour : janvier 2016

3.2 Dimensionnement des conduites d'aspiration et de refoulement

Sélectionnez des conduites de dimensions appropriées, en tenant compte de la cylindrée du compresseur à vitesse variable lors d'un fonctionnement à pleine vitesse. Un dimensionnement correct permet d'éviter des pertes de pression excessives à des fréquences élevées, tout en réduisant les vitesses de gaz et de liquide dans la conduite à des fréquences plus faibles.

Des amortisseurs de vibrations sur les conduites de refoulement et d'aspiration des compresseurs peuvent être utilisés pour atténuer les vibrations les plus importantes. Celles-ci peuvent se produire lorsque le compresseur à vitesse variable fonctionne aux fréquences de résonance des conduites. Ces dispositifs atténuent le bruit et évitent les vibrations anormales.

Le montage des amortisseurs de vibrations doit respecter les instructions du fabricant. En général, la meilleure pratique consiste à les installer de façon que leur axe soit parallèle au vilebrequin du compresseur, et aussi près que possible du corps du compresseur, afin d'éviter des fissures des conduites résultant de la fatigue du métal.

Avec des compresseurs à vitesse variable, les pulsations des gaz de refoulement couvrent une plage étendue de fréquences qui peuvent entraîner des problèmes de résonance dans la conduite de refoulement. L'un des critères de disposition des conduites de refoulement consiste à éviter autant que possible les « longueurs critiques de tuyaux ». La longueur critique d'un tuyau est égale à la longueur de l'onde sinusoïdale de la pulsation (ou de ses harmoniques). Cette onde dépend à son tour de la fréquence d'oscillation (pulsations de refoulement par seconde) et de la vitesse sonique du réfrigérant dans les conditions de température et de pression du refoulement.

En raison des contraintes des canalisations et de la plage étendue des fréquences, il est souvent difficile de trouver une dimension idéale. Il peut donc être approprié d'installer un amortisseur des gaz de refoulement afin de lisser l'amplitude de la pulsation. Cela concerne particulièrement les compresseurs pouvant fonctionner à une vitesse (fréquence de pulsation) relativement réduite et à un taux de compression élevé.

Dans les cas critiques, il est également possible de sauter certaines fréquences de résonance données, au moyen d'une configuration appropriée du variateur (voir aussi la section 3.5).

3.3 Position relative des compresseurs à vitesse constante et variable

La disposition la plus simple et l'une des plus répandues consiste à utiliser le schéma de tuyauterie du gaz d'aspiration comme illustré Fig. 6.

Il existe néanmoins un risque que le changement de direction brutal du flux de gaz entraîne une séparation de l'huile par effets centrifuges si le compresseur VsC est placé en première position. L'huile de densité plus élevée est alors séparée à l'extrémité aveugle du tuyau. Cela peut produire de violents coups d'huile après le démarrage du compresseur unique. Toutefois, ce système est recommandé uniquement avec un système de régulation de l'huile sur chaque compresseur.

Dernière mise à jour : janvier 2016

Une disposition préférable consiste à concevoir la tuyauterie pour obtenir un changement de direction égal du gaz et de l'huile (voir Fig. 7). Le compresseur à vitesse variable peut être monté en toute position. Si ce système est bien conçu, il peut même parfois être utilisé sans système de régulation d'huile.

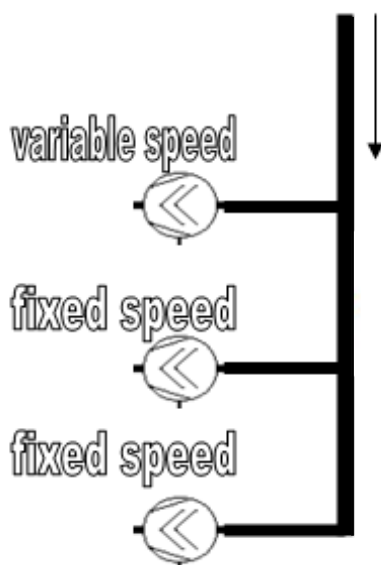
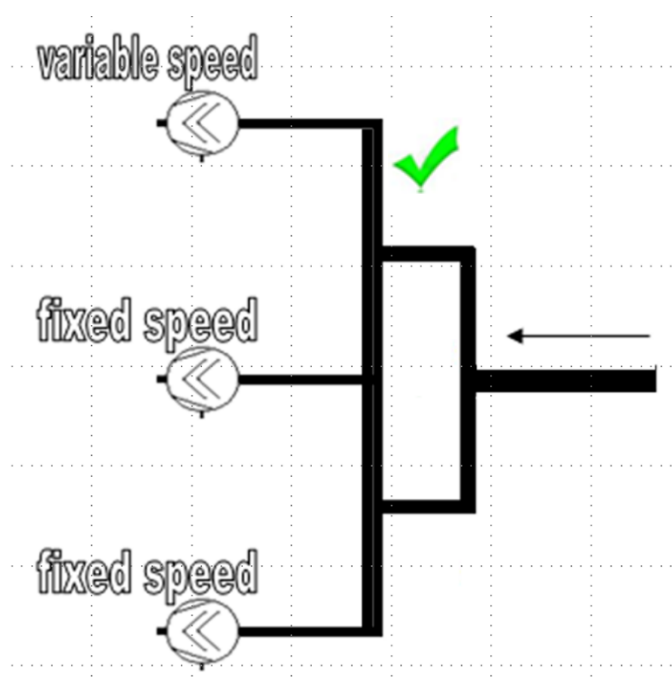


Fig. 6 répartition des tuyaux côté aspiration des compresseurs dans une centrale



Dernière mise à jour : janvier 2016

Fig. 7 : autre système de conception correcte pouvant permettre un fonctionnement sans régulation du niveau d'huile

3.4 Point de mesure de la pression d'aspiration

En cas de régulation de la pression d'aspiration, la position de la mesure de la pression dans la conduite d'aspiration est importante pour une régulation correcte. Pour réduire au mieux les pulsations de pression, il est recommandé de monter le transmetteur de pression sur le collecteur d'aspiration.

Le fait d'augmenter la distance entre le point de mesure et l'orifice d'aspiration des compresseurs à vitesse constante facilite également l'amortissement des fluctuations de pression au démarrage et à l'arrêt de ces compresseurs.

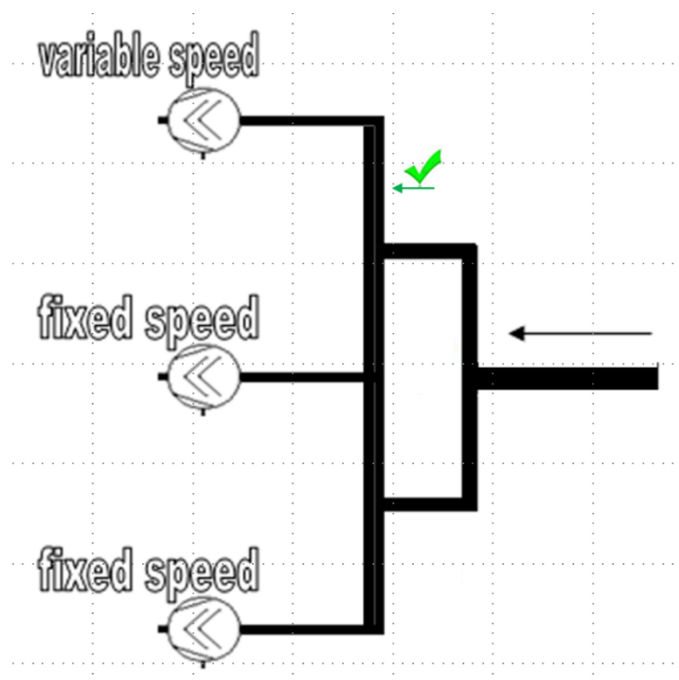


Fig. 8 : position recommandée du point de mesure de la pression d'aspiration

3.5 Amortissement des vibrations

Les amortisseurs de vibrations en caoutchouc fournis avec la plupart des compresseurs sont conçus pour un fonctionnement à 50 ou 60 Hz. Pendant un fonctionnement à basse fréquence, les compresseurs peuvent vibrer fortement. Cela nécessite généralement d'autres solutions, telles que des supports rigides entre les compresseurs et le cadre.

En particulier, il peut être avantageux de respecter les recommandations ci-dessous :

Dernière mise à jour : janvier 2016

1. Utilisez des montants rigides en plastique ou en métal sous les montages du compresseur.
2. Utilisez des montants flexibles sous le compresseur ou le sous-cadre de la centrale, avec des amortisseurs de vibrations séparés d'au moins 2 fois la distance entre les montages du compresseur.

Les figures ci-dessous présentent certaines possibilités de montage :

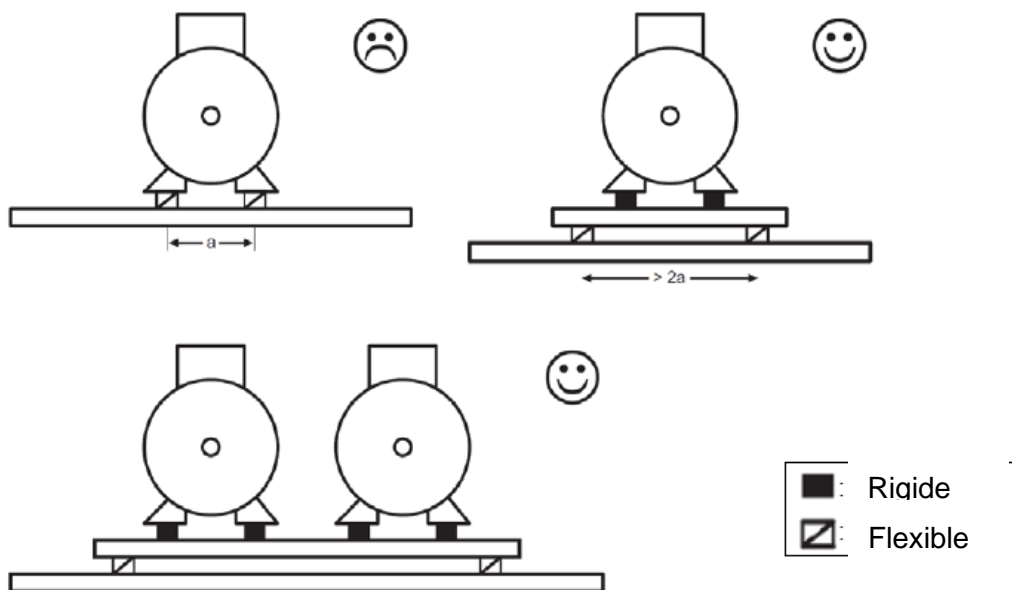


Fig. 9 : exemple de montage d'amortisseurs de vibrations

Si des vibrations plus fortes surviennent à certaines fréquences seulement, il est possible de réduire ce problème en utilisant les fonctionnalités de régulation du variateur (si elles sont disponibles). Dans de nombreux cas, il est possible d'éviter des fréquences de résonance définies, sans créer de problèmes de discontinuité importants dans la régulation de la puissance frigorifique.

Il est recommandé de vérifier soigneusement l'ensemble de l'installation, et de prendre des mesures pour atténuer et empêcher des vibrations anormales ou des résonances dans la plage des fréquences de fonctionnement, afin d'éviter des ruptures de tuyaux et d'autres problèmes associés (bruit, etc.).

Dernière mise à jour : janvier 2016

Dans une centrale de compresseurs de réfrigération, il est toujours recommandé de connecter électriquement les compresseurs de façon à ce qu'ils tournent dans le même sens.

3.6 Interaction avec le régulateur de capacité mécanique, le détendeur électronique et le régulateur de vitesse du ventilateur

Comme expliqué au chapitre 2, dans les applications de centrales, il est conseillé de réduire au mieux l'étendue des discontinuités produites lorsque les compresseurs à vitesse constante sont démarrés ou arrêtés. Cela permet d'améliorer la stabilité de fonctionnement du système.

Ce but pourrait être atteint en incorporant des régulateurs de capacité mécanique pour les compresseurs à vitesse constante, qui augmentent le nombre de pas et réduisent l'amplitude, ce qui améliore la stabilité du processus et réduit la taille du compresseur à vitesse variable.

Cependant, l'utilisation d'un régulateur de capacité mécanique sur un compresseur à vitesse variable dépend de la technologie employée et n'est généralement pas recommandée (voir également le document « ASERCOM Inverter Guideline Book » (Recommandations de l'ASERCOM relatives à la technologie inverter)).

Pour les centrales de compresseurs standard, il est recommandé d'utiliser des détendeurs électroniques (EEV, Electronic Expansion Valves) et un régulateur de vitesse du ventilateur (sur le condenseur), afin d'obtenir une régulation stable et efficace, en particulier en cas de plage de puissances frigorifiques très étendue et de températures ambiantes très variées selon les saisons.

3.7 Interaction avec d'autres dispositifs

Les compresseurs fournis par un fabricant pour un entraînement à vitesse variable sont généralement munis d'une protection adéquate du moteur qui inclut également une surveillance thermique. Lorsque le compresseur est muni d'un dispositif de protection surveillant le sens de rotation (p. ex. pour les compresseurs à vis, scroll ou rotatifs) des mesures spécifiques peuvent être requises : il est recommandé de consulter le fabricant. Si des compresseurs à un seul sens de rotation sont appliqués sans modules de protection pour le contrôle de l'ordre des phases, le variateur doit être configuré pour assurer un ordre de phases correct. Il faut également vérifier, avant le démarrage, que les bornes du variateur et du moteur sont raccordées correctement.

Si le variateur est utilisé pour interrompre l'alimentation du compresseur (absence sûre du couple), afin d'empêcher un démarrage intempestif ou en cas d'alarme provenant d'un dispositif de sécurité électrique, il doit respecter les exigences de la nouvelle directive européenne relative aux machines. Dans ce cas, l'arrêt doit être sûr et rapide, et il ne doit pas être assuré par un circuit de commande électronique intermédiaire. Les dispositifs de

Dernière mise à jour : janvier 2016

sécurité peuvent également être connectés à un contacteur placé entre le variateur et le moteur du compresseur. Pour plus d'informations, voir le chapitre 7.

Si le compresseur piloté par « inverter » dispose d'une pompe à huile, vérifiez la vitesse minimale de sécurité dans le manuel du fabricant, afin d'éviter le déclenchement du dispositif de protection de pression différentielle. Vérifiez également que les limiteurs de pression ne se déclenchent pas, sur toute la plage de variation de fréquence ou lorsque les compresseurs à vitesse constante sont démarrés/arrêtés.

Si possible, raccordez une alarme de niveau d'huile pour le compresseur à vitesse variable dans le circuit de sécurité.

REMARQUE : chaque dispositif de sécurité (principalement les dispositifs basse tension) doit disposer du niveau approprié d'immunité contre les interférences électromagnétiques, afin d'assurer une protection complète.

4 FONCTIONNALITÉS DE RÉGULATION

Différentes méthodes de régulation d'un compresseur à vitesse variable (VsC) sont possibles :

- Utilisation d'un régulateur externe avec sortie analogique (en général de 0 à 10 V), afin de varier la fréquence inverter du compresseur
- Utilisation de fonctions de régulation intégrées au variateur, pour réguler la pression d'aspiration ou la température d'évaporation. Celles-ci sont généralement basées sur une régulation PI (Proportionnelle+ Intégrale)

Un régulateur avancé peut également réguler la pression d'aspiration (ou la température d'évaporation) en mode flottant, afin de fonctionner à la valeur la plus élevée autorisée pour réduire la consommation d'énergie.

D'autres fonctionnalités peuvent également être présentes pour optimiser le retour d'huile et pour assurer que le compresseur est utilisé dans les limites de fonctionnement autorisées et en respectant les limites électriques.

Il existe plusieurs limitations importantes pour assurer le fonctionnement fiable d'un VsC sur une longue durée d'utilisation, notamment :

- le nombre maximum de démarrages par heure (avec variateur ?) ;
- la durée minimale de fonctionnement ;
- la durée minimale entre les démarrages.

La régulation du compresseur à vitesse variable (VsC) dans une centrale de compresseurs multiples est généralement associée à la régulation des compresseurs à vitesse constante (FsC), pour lesquels les limitations ci-dessus s'appliquent également. Voici deux méthodes de régulation principalement utilisées :

- La méthode de régulation « à zone neutre » de la production frigorifique de la centrale de compresseurs permet au VsC de monter/descendre en production selon les variations de charge, à mesure que la pression d'aspiration passe au-dessus/au-dessous de la zone neutre définie. Lorsque le VsC atteint sa vitesse maximale/minimale et que la pression

Dernière mise à jour : janvier 2016

d'aspiration augmente/diminue encore, le FsC s'enclenche/se déclenche après un délai défini.

- L'activation d'un FsC supplémentaire lorsque le VsC fonctionne à la fréquence maximale pendant plus longtemps qu'une durée définie (temporisation). De même, un FsC est désactivé lorsque le VsC fonctionne à la fréquence minimale pendant plus longtemps qu'une durée définie.

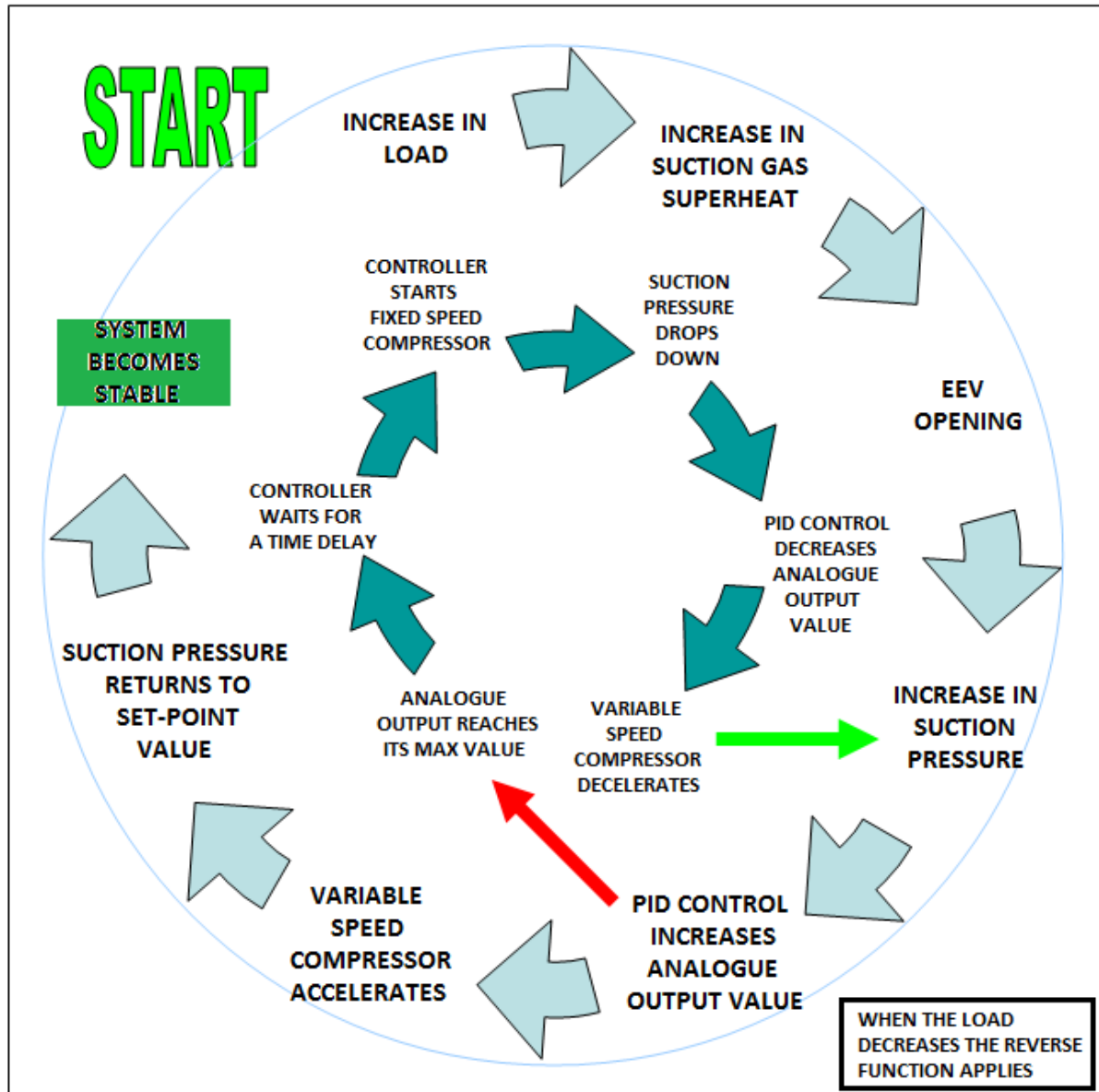
Le facteur de contrôle (CF) décrit au chapitre 2 est très important pour obtenir un fonctionnement stable et économe en énergie.

Les méthodes de régulation du VsC ci-dessus compensent les variations de capacité lors d'un fonctionnement normal. Il est nécessaire d'activer ou de désactiver un FsC dans une centrale de compresseurs uniquement en cas de variation de production importante. Cela prolonge la durée de vie des compresseurs, car le nombre de démarrages et d'arrêts est considérablement réduit.

Cette méthode de régulation est illustrée Fig. 10, où :

- La boucle extérieure montre le fonctionnement du VsC, qui compense les variations normales de puissance frigorifique.
- La boucle intérieure montre l'activation d'un FsC supplémentaire pour répondre à la demande de capacité.

Dernière mise à jour : janvier 2016



OUTER LOOP: CONTRIBUTE BY Vs COMPRESSORS

INNER LOOP: CONTRIBUTE BY Fs AND Vs COMPRESSORS

Fig. 10 : illustration d'une méthode de régulation dans les centrales de compresseurs à vitesse variable

5 STABILITÉ DES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT ET ÉCONOMIES D'ÉNERGIE

Dernière mise à jour : janvier 2016

Les installations de compresseurs basées sur des centrales de compresseurs comportant un ou plusieurs compresseurs à vitesse constante présentent toujours un écart inhérent de température d'évaporation (capacité trop importante ou trop faible). L'écart obtenu dépend de la conception du système.

Avec l'utilisation d'un système de compresseurs à vitesse variable (VsC) correctement conçu, cet écart peut typiquement être réduit d'un facteur de 5 (souvent plus), voir Fig. 11. Une analyse des données du compresseur indique que cela réduit fortement la consommation d'énergie.

En outre, la régulation du détendeur (avec un temps de réponse relativement lent) assure plus facilement le remplissage optimum de l'évaporateur, ce qui est important pour réduire la consommation d'énergie.

Les échangeurs de chaleur étant toujours conçus pour fonctionner à pleine charge, un fonctionnement stable à charge partielle, avec régulation par variateur, permet une exploitation à une température d'évaporation plus élevée et à une température de condensation plus faible, pour les mêmes demandes de refroidissement. Le coefficient de performance (COP) des compresseurs est plus élevé, ce qui résulte en une consommation d'énergie plus faible. Cela est particulièrement important, car la durée de fonctionnement à charge partielle est généralement prédominante.

Le fonctionnement plus stable des systèmes de compresseurs avec « inverter », avec écart réduit, apporte également les avantages suivants :

- Dans les systèmes de refroidisseurs, il est possible de réduire la capacité du réservoir d'eau associé, souvent utilisé pour réduire au mieux les variations de température.
- Une meilleure régulation de la température est assurée pour des applications critiques, telles que la transformation des aliments ou les machines de moulage par injection plastique. Le gaspillage au cours des processus et les chocs thermiques sont considérablement réduits.

Les figures 11 et 12 illustrent la réduction de la consommation d'électricité et l'amélioration du COP dans des conditions de charge partielle.

Dernière mise à jour : janvier 2016

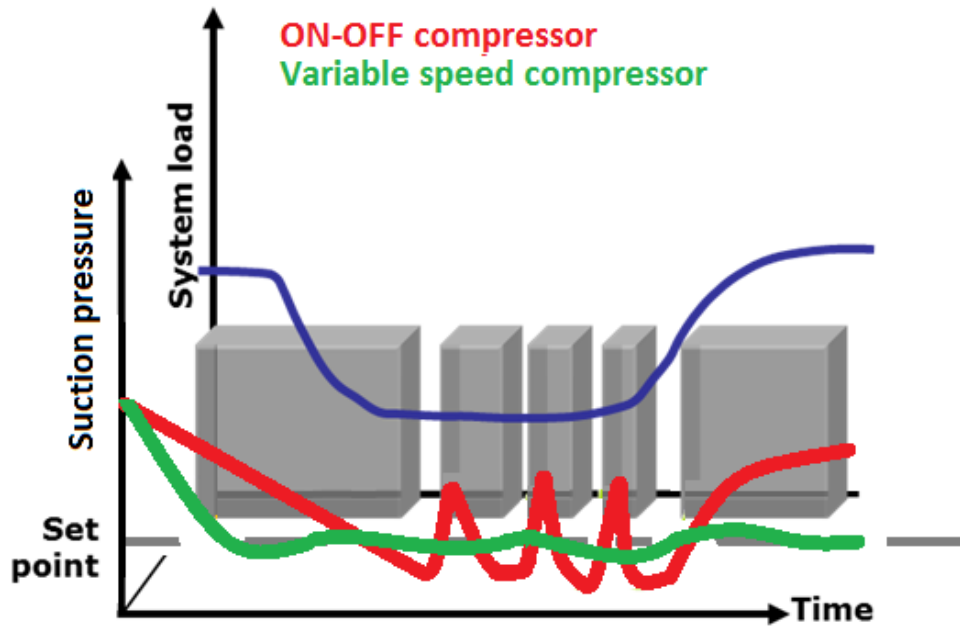


Fig. 11 : régulation de la pression d'aspiration, comparaison de la régulation à vitesse variable et marche/arrêt

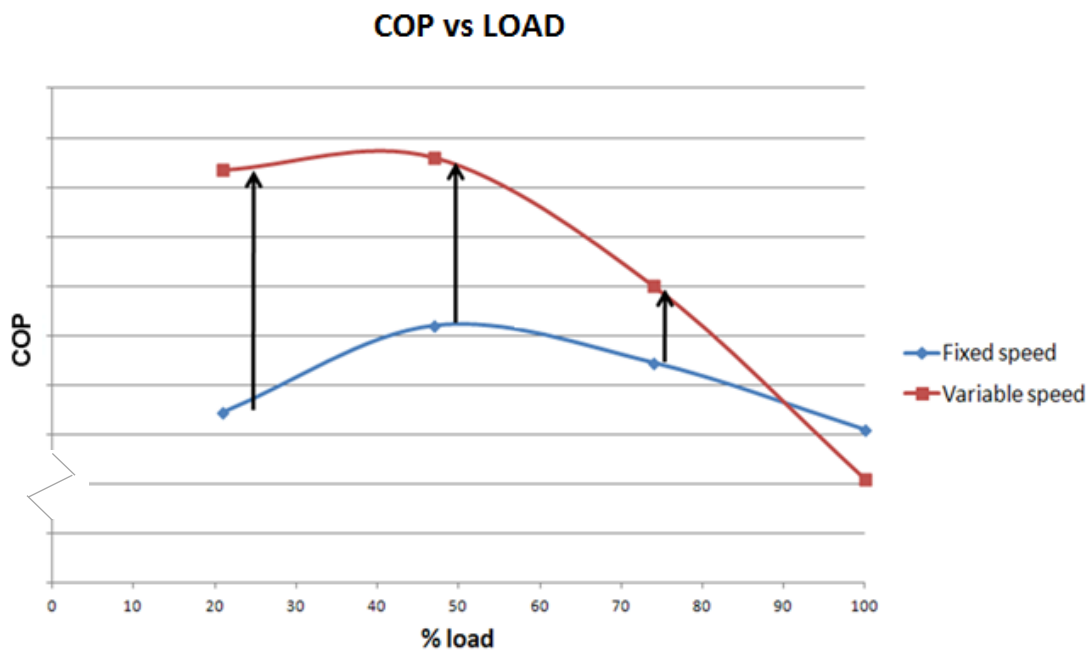


Fig. 12 : exemple de COP d'un compresseur à vitesse variable, comparé à un seul compresseur à vitesse constante avec régulation de capacité mécanique

6 PROLONGATION DE LA DURÉE DE VIE ET FIABILITÉ

6.1 Fiabilité des compresseurs

- Séquence de démarrage/d'arrêt
La plus grande partie de l'usure mécanique d'un compresseur survient pendant la phase transitoire, et particulièrement pendant la séquence de démarrage et d'arrêt.

Le compresseur à vitesse variable fonctionne la plupart du temps, et subit donc très peu de cycles marche/arrêt. Cela est également vrai pour les compresseurs à vitesse constante dans une centrale de compresseurs multiples, car ils subissent moins de cycles eux aussi. Cela signifie :

- moins de contraintes électriques sur l'enroulement du moteur ;
 - moins de contraintes mécaniques sur toutes les pièces mobiles des compresseurs.
- Démarrage en douceur (démarrage souple)
Lorsque les paramètres du variateur sont configurés correctement, l'augmentation régulée de la vitesse réduit les contraintes sur les pièces mécaniques du compresseur. Le courant d'appel est également réduit par le variateur, ce qui limite aussi les contraintes sur l'enroulement du moteur.
 - Protections du variateur
La plupart des variateurs fournissent également une surveillance du courant et réduisent la vitesse du compresseur en cas de surcharge. Des protections contre les courts-cycles, la perte de phase et la rotation inversée sont des caractéristiques répandues des variateurs.

Toutes les caractéristiques de variateurs ci-dessus prolongent la durée de vie des compresseurs.

6.2 Fiabilité d'une centrale de compresseurs multiples

- Vibrations
La contrainte principale sur une centrale de compresseurs multiples provient des vibrations produites par le compresseur à vitesse variable. La plage de vitesses étendue augmente potentiellement le risque d'un fonctionnement de la centrale à proximité de sa fréquence naturelle. Cela doit être vérifié soigneusement lors de la qualification. Certains variateurs peuvent sauter certaines plages de fréquences, afin d'éviter les fortes résonances qui entraînent des fissures de tuyaux ou d'éléments du cadre. Les fréquences à sauter sont saisies manuellement dans les paramètres du variateur.

Dernière mise à jour : janvier 2016

Cette fonctionnalité peut également être utilisée sur le terrain, lorsque la centrale est installée dans le système de réfrigération. La fréquence naturelle de la centrale peut évoluer lorsque la tuyauterie est raccordée et lorsque la centrale est fixée sur le cadre de l'unité.

- Fatigue de la tuyauterie
Le nombre réduit de démarrage/arrêt des compresseurs réduit également la fatigue de la tuyauterie de la centrale.

7 RESPECT DES NORMES DE SÉCURITÉ

La réglementation sur l'équipement de réfrigération fait référence à la norme de sécurité EN 60204-1 (Sécurité des machines – Équipement électrique des machines – Partie 1 Règles générales)

Une pratique éprouvée et reconnue exige que les circuits de sécurité (y compris les régulateurs de pression) soient traités par des dispositifs électromécaniques tels que des relais ou des contacteurs.

Il est interdit d'utiliser des dispositifs logiciels standard de commande d'automatisation (tels que des API), car ils ne comportent pas de fonction de sécurité intégrée ou une erreur logicielle peut conduire à un fonctionnement dans des conditions dangereuses.

En cas d'urgence (par exemple lorsqu'une limite de pression est atteinte) la catégorie d'arrêt 0 (coupure immédiate de l'alimentation) est appropriée.

L'interruption d'un contacteur dans l'alimentation électrique du compresseur est une technique de circuit éprouvée pour un arrêt immédiat et sûr des moteurs des compresseurs en cas d'urgence.

La fonction STO (Safe Torque-Off, absence sûre du couple) d'un variateur de fréquence peut être utilisée comme une méthode de remplacement, sous réserve qu'un contacteur bypass ne soit pas utilisé. Un SIL3 (Safety Integrity Level, niveau d'intégrité de sécurité) peut être atteint, si l'installation est correcte.

Un circuit de sécurité typique est normalement composé des éléments suivants :

- Dispositifs de sécurité pertinents essentiels, tels que des pressostats de surpression agréés
- Dispositifs facultatifs tels que des pressostats basse pression et des régulateurs de pression ou de niveau d'huile
- Dispositifs sensibles tels que des relais de surchauffe des moteurs

Les normes et recommandations décrites ci-dessus constituent des conseils généraux pour la conception de la sécurité de l'installation.

GUIDE



Dernière mise à jour : janvier 2016

Il est cependant de la responsabilité de l'installateur ou du contracteur d'évaluer le risque de chaque installation et d'assurer que toutes les mesures de sécurité sont appropriées et qu'elles fonctionnent.

Ces recommandations sont destinées aux fabricants/installateurs de systèmes de réfrigération professionnels, industriels, commerciaux et domestiques. Elles ont été rédigées en fonction de ce que *ASERCOM* considère comme étant l'état des connaissances scientifiques et techniques au moment de la rédaction. Cependant, *ASERCOM* et ses sociétés membres déclinent toute responsabilité quant aux mesures - actes ou omissions - prises sur la base de ces recommandations.
