

# Courants de palier

## Les cinq points principaux

1. Les courants de palier sont dus à l'utilisation de convertisseurs de fréquence (CF) dans les systèmes d'entraînement électriques et peuvent entraîner une défaillance précoce des paliers.
2. Les courants de palier et des mesures préventives doivent être pris en compte dès la planification des systèmes d'entraînement équipés d'un CF.
3. Il existe trois types de courants de palier:
  - Les courants de décharge
  - Les courants de circulation
  - Les courants à la terre du rotor
4. Mesures possibles pour éviter les courants de palier:
  - De manière générale: assurer une bonne mise à la terre, à haute fréquence
  - Les câbles moteurs blindés symétriques (triphases) empêchent les courants à la terre du rotor
  - Utilisation de paliers spéciaux (paliers hybrides, céramiques et isolés)
  - Utilisation de balais de mise à la terre de l'arbre, de bobines de mode commun ou de filtres
5. Les courants de palier peuvent être déterminés de manière indirecte, mais il est impossible de les mesurer directement.

## Contexte

L'utilisation de convertisseurs de fréquence (CF) permet, dans bien des cas, de réduire la consommation d'énergie des systèmes d'entraînement électriques. Ils sont donc de plus en plus fréquents de nos jours dans les systèmes d'entraînement à charge variable. Leur utilisation peut néanmoins provoquer des courants de palier indésirables dans les moteurs électriques, pouvant endommager les paliers et conduire à des défaillances précoces.

## Introduction

Les défaillances précoces provoquées par les courants de palier dans les moteurs électriques sont connues depuis bien longtemps déjà. En principe, il existe trois catégories différentes de courants de palier:

1. Les courants de palier créés par les champs magnétiques asymétriques du moteur.
2. Les courants de palier créés par la charge entraînée par le moteur (p.ex. par la charge électrostatique de la machine entraînée).
3. Les courants de palier créés par l'utilisation de convertisseurs de fréquence.

Les deux premières catégories ont déjà fait l'objet d'études très approfondies et différentes mesures peuvent être mises en place pour éviter ces courants de palier. La présente fiche technique ne traitera donc que des courants de palier engendrés par l'utilisation de convertisseurs de fréquence à circuit intermédiaire à tension continue.

## Domages dus aux courants de palier

Dans un moteur électrique, les courants de palier trouvent toujours leur origine dans une tension électrique créée sur le palier du rotor. D'un point de vue électrique, le palier se comporte comme une capacité lors du fonctionnement

# Bases

normal du moteur; le film lubrifiant forme alors le diélectrique. Lorsque la tension de palier franchit un certain seuil, un claquage se produit dans le palier et des courants localement très élevés peuvent alors circuler à travers le palier. Si la densité de courant est suffisamment grande (intensité de courant par unité de surface), le métal présent dans la bague de roulement peut fondre, voire même s'évaporer. Ce phénomène engendre une multitude de micro-cratères. Au bout d'un certain temps, un trace grise caractéristique ou des stries apparaissent sur la bague de roulement. Le lubrifiant peut également être altéré par les courants de palier. Ces deux dégradations peuvent engendrer une défaillance précoce des paliers.



Illustration 1: Les deux dommages caractéristiques des courants de palier; à gauche: trace grise, à droite: formation de stries.

## Tension de mode commun

L'apparition de courants de palier dus au convertisseur de fréquence est toujours imputable à la tension de mode commun.

En fonctionnement sur secteur, la somme des trois tensions de phase sur le moteur est toujours nulle. Avec un convertisseur de fréquence traditionnel, ce n'est toutefois pas le cas, étant donné qu'on ne dispose que de tensions et d'états de commutation distincts dans un convertisseur de fréquence à circuit intermédiaire à tension continue. L'illustration 3 montre, par exemple, l'évolution dans le temps de la tension de mode commun d'un convertisseur de fréquence à deux étages pendant une période de réseau.

Cette tension de mode commun existe via les capacités parasites du moteur et est la source des courants de palier. Le niveau de la tension de mode commun tout comme la pente de la variation de tension ont ainsi une influence sur les courants de palier.

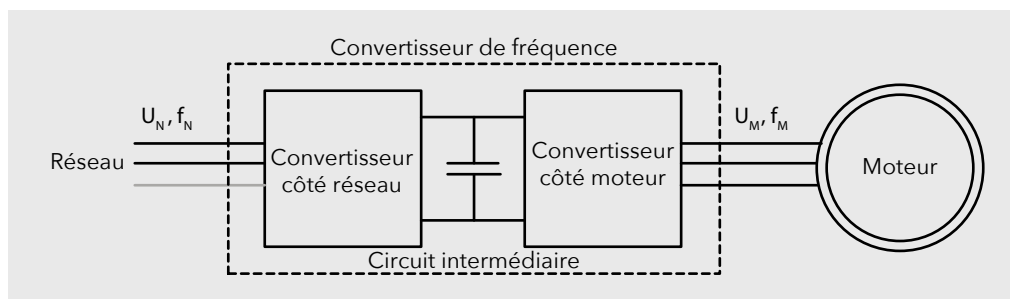


Illustration 2: Convertisseur de fréquence à circuit intermédiaire à tension continue et moteur (fiche technique 25) avec les tensions de phase.

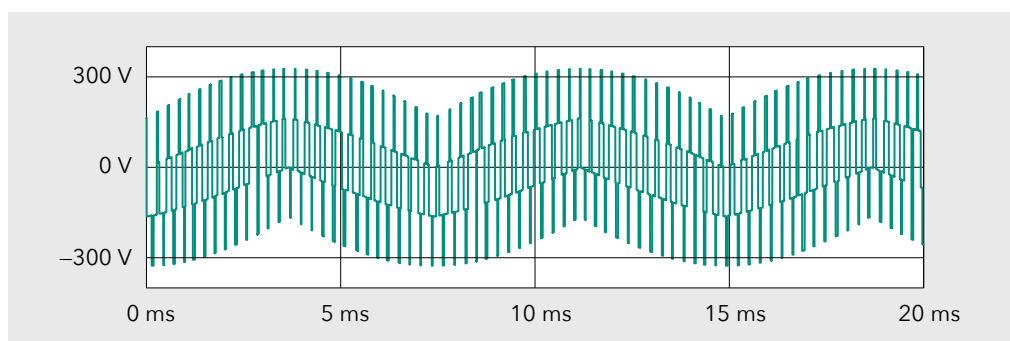


Illustration 3: Évolution dans le temps de la tension de mode commun pendant une période de réseau.

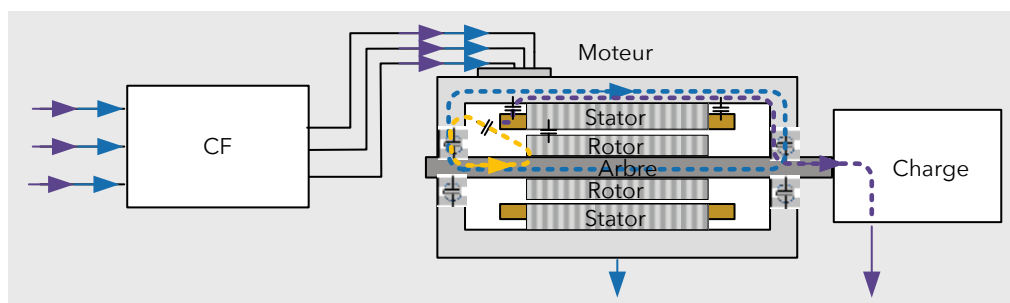


Illustration 4: Parcours des courants de palier. Jaune: courants de décharge. Bleu: courants de circulation. Violet: courants à la terre du rotor.

## Courants de palier dus aux convertisseurs de fréquence

Les courants de palier engendrés par la tension de mode commun se divisent en plusieurs catégories (Illustration 4). Cette classification est importante, car les contre-mesures à prendre varient en fonction de chaque catégorie. Les trois types de courants de palier suivants posent problème:

- Les courants de décharge (en jaune)
- Les courants de circulation (en bleu)
- Les courants à la terre du rotor (en violet)

### Les courants de décharge

La tension de mode commun est conduite à la terre via différentes capacités. Selon le potentiomètre, une partie de la tension de mode commun disparaît également via le palier. La tension de palier représente pour les moteurs courants environ 5% de la tension de mode commun et est donc déterminée par le niveau de la tension différentielle. Lors d'un claquage dans le palier, l'énergie stockée dans les capacités parasites se décharge dans le palier. Souvent, l'intensité des courants de décharge ne dépend pas de la taille du moteur. Les petits moteurs disposant de plus petits paliers, la densité de courant et la nocivité des courants de décharge associée sont généralement nettement accrues.

### Les courants de circulation

L'alimentation du convertisseur de fréquence induit un flux magnétique circulaire autour de l'arbre qui varie à haute fréquence. Cela crée une tension entre les extrémités de l'arbre et des tensions diamétralement opposées se forment sur les deux roulements. Avec un entraînement donné, l'intensité des courants de palier est donc déterminée par la pente de la variation de tension. Dans des petits moteurs, les arbres sont normalement si courts que ces tensions de palier sont suffisamment faibles et qu'aucun courant de palier nocif n'est engendré.

### Les courants à la terre du rotor

Une mauvaise mise à la terre du boîtier du moteur peut représenter un risque supplémentaire. Lorsque l'impédance de mise à la terre sur l'arbre et la machine entraînée est nettement inférieure à celle sur la mise à la terre du boîtier, une partie du courant de mode commun circule en tant que courant à la terre du rotor en empruntant l'itinéraire «palier de moteur – accouplement – palier de la charge» et détériore ainsi le palier. Ce type de courant de palier peut survenir dans les moteurs de toute taille. Avec un entraînement donné, l'intensité des courants de palier est déterminée par la pente de la variation de tension.

Si on généralise, les affirmations précédentes peuvent être résumées ainsi:

- Les courants de décharge peuvent certes survenir dans les moteurs de toute taille, mais ils sont essentiellement nocifs dans les moteurs de petite à moyenne taille (jusqu'à env. 75 kW).
- Les courants de circulation surviennent essentiellement dans les moteurs de moyenne à grande taille (à partir de 10 kW env.).
- Les courants à la terre du rotor peuvent survenir lorsque le rotor est mis à la terre via la charge et que, dans le même temps, le boîtier du moteur est mal mis à la terre. Aucun courant à la terre du rotor n'est engendré si l'on utilise des câbles blindés correctement raccordés côté convertisseur de fréquence et côté moteur.

# Mesure

De très nombreux facteurs influent sur la survenue des courants de palier, sur leur type et sur leur nocivité. Il est donc parfois indispensable de procéder à des mesures sur place pour savoir si des courants de palier sont présents. Les courants ne peuvent pas être mesurés directement. Ils peuvent néanmoins être déterminés indirectement de différentes manières.

## Mesure vibratoire

Les vibrations et les bruits sont souvent les premiers indices de la présence de courants de palier nocifs. Des capteurs de vibration et des analyses approfondies permettent de détecter relativement tôt les dommages subis par les paliers. Avec cette méthode, les courants de palier ne sont toutefois décelés qu'une fois les dommages commis.

## Mesure de la tension entre l'arbre et le boîtier

La tension entre l'arbre et le boîtier correspond à la tension sur le palier. Effectuée à l'aide de balais, cette mesure est une bonne méthode pour détecter les courants de palier. L'évolution de la tension sur le palier correspond, en l'absence de courants de palier, à l'évolution de la tension de mode commun, la tension de palier pour les

moteurs courants étant environ 20 fois inférieure à celle de la tension de mode commun.

En cas de courants de décharge, la tension de palier baisse quelques temps après la variation de tension. Une chute soudaine de la tension de palier indique donc la présence de courants de décharge (Illustration 5).

En cas de courants de circulation et de courants à la terre du rotor, le claquage dans le palier survient directement lors de la commutation. La tension de palier ne revient toutefois pas à zéro, étant donné qu'un courant continue de circuler à travers le palier, plus précisément dans le moteur, après le claquage. La tension élevée avant le claquage ne dure que relativement peu de temps. Il se peut donc que, suivant le paramétrage de l'oscilloscope, la tension de palier n'atteigne que de faibles valeurs malgré les courants de palier. La forme de la tension de palier indique toutefois clairement la présence de courants de palier.

L'inconvénient de cette méthode de mesure de tension est que l'arbre doit être accessible. En raison des variations de tension relativement rapides, il faut aussi veiller à utiliser un oscilloscope adapté.

L'illustration 6 montre à nouveau clairement que la valeur efficace de la tension de palier ne permet pas à elle seule de conclure à la présence de courants de palier. Les mesures à l'aide de multimètres ne sont donc pas admises, et seule l'évolution de la tension de palier dans le temps montre la survenue de courants de palier.

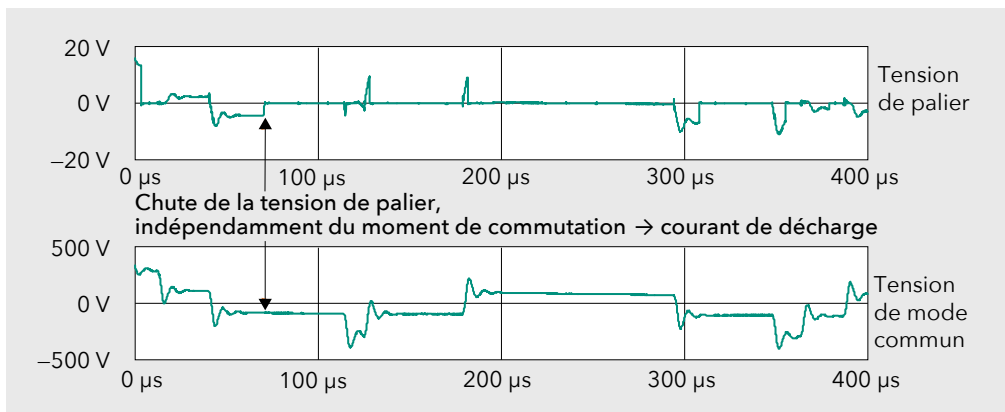


Illustration 5: Évolution de la tension de palier (en haut) et de la tension de mode commun (en bas) lors de la survenue de courants de décharge.

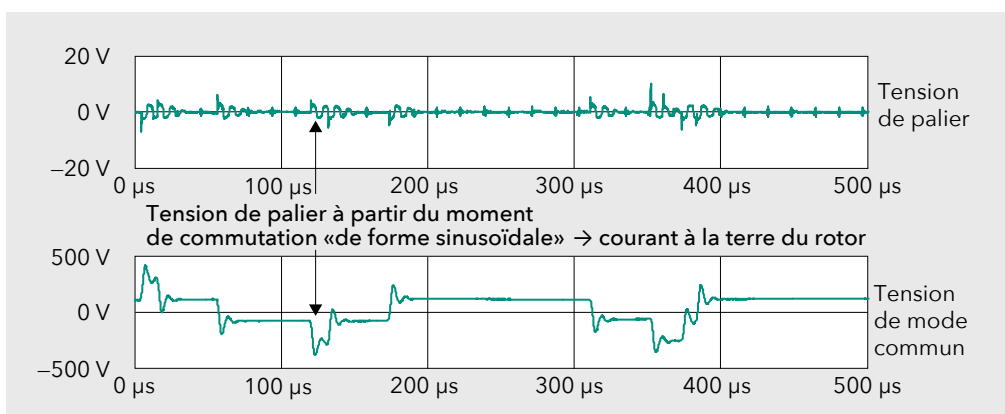


Illustration 6: Évolution de la tension de palier (en haut) et de la tension de mode commun (en bas) lors de la survenue de courants à la terre du rotor.

## Mesure du courant de mode commun

La mesure du courant de mode commun est fréquemment utilisée pour détecter les courants de palier.

Les courants de décharge constituent une décharge dans le moteur. Ce courant de décharge n'est toutefois pas perceptible en tant que courant de mode commun. La mesure du courant de mode commun ne permet donc pas de révéler la présence de courants de décharge.

Les courants de circulation et les courants à la terre du rotor sont cependant proportionnellement perceptibles dans le courant de mode commun. Cette proportion dépendant toutefois de très nombreux facteurs, il est difficile d'établir le niveau réel des courants de palier. Un courant de mode commun peut, par ailleurs, survenir en l'absence de courants de palier. La mesure d'un courant de mode commun très faible permet toutefois d'en déduire l'absence de courants de circulation et de courants à la terre du rotor nocifs. En outre, l'efficacité des contre-mesures à travers la mesure du courant de mode commun avant et après la mise en œuvre de la mesure est considérée comme très bonne.

## Mesure de l'énergie de décharge à haute fréquence

Chaque décharge dans le palier engendre également une dissipation d'énergie à haute fréquence. Cette énergie de décharge dissipée dépendant de la taille du palier et étant donc faible dans les petits moteurs, une détection est difficile à établir. L'avantage de la mesure de l'énergie de décharge à haute fréquence (mesure HF) est la mesure sans contact et, par conséquent, très pratique avec une sonde HF.

# Contre-mesures

Différentes contre-mesures existent pour les courants de palier nocifs. L'efficacité des contre-mesures et le choix de celles-ci dépend, encore une fois, du type de courant de palier. En général, il est recommandé d'établir une bonne mise à la terre à haute fréquence.

## Câbles moteur blindés symétriques

L'utilisation de câbles moteur blindés symétriques à connexion du blindage des deux côtés offre une très bonne protection contre les courants à la terre du rotor. Si l'on compare avec d'autres contre-mesures, ces câbles offrent l'avantage supplémentaire de protéger aussi la charge.

L'utilisation de câbles blindés symétriques n'a pas d'influence notable sur les courants de circulation et de décharge.

Les autres mesures permettant de prévenir les courants à la terre du rotor tout en protégeant également la charge sont l'utilisation d'accouplements isolés et l'établissement d'une bonne connexion à haute fréquence entre le boîtier et la charge entraînée. L'influence de ces mesures sur les autres types de courants de palier est également inexistante.

## Palier

L'utilisation de paliers spéciaux prévient le claquage dans le palier malgré une tension de palier accrue. Les paliers hybrides, céramiques et isolés à revêtement intérieur sont les modèles les plus utilisés.

■ **Courants de décharge:** les deux paliers doivent être des paliers hybrides ou céramiques. Les paliers isolés ne permettent pas d'éliminer les courants de décharge. Il est également possible d'utiliser des paliers dotés d'une lubrification spéciale (basse impédance). Ces paliers ne préviennent toutefois que les courants de décharge et il est déconseillé de les utiliser en raison du manque d'expérience à long terme.

■ **Courants de circulation:** l'utilisation d'un palier hybride, céramique ou isolé suffit, de préférence sur le côté opposé à l'entraînement (en anglais, non-drive end, NDE).

■ **Courants à la terre du rotor:** les deux paliers doivent être des paliers hybrides, céramiques ou isolés.

## Balais de mise à la terre de l'arbre

En cas d'utilisation de balais de mise à la terre de l'arbre, il convient d'établir un bon contact à faible impédance entre les balais et l'arbre.

■ **Courants de décharge:** un seul palier équipé d'un balai de mise à la terre de l'arbre suffit.

■ **Courants de circulation:** les deux paliers doivent être équipés d'un balai de mise à la terre de l'arbre.

■ **Courants à la terre du rotor:** un seul palier équipé d'un balai de mise à la terre de l'arbre suffit. Les courants à la terre du rotor risquent cependant de créer des dégradations dans la charge.

## Bobines de mode commun

Les bobines de mode commun réduisent ou préviennent les courants de circulation et les courants à la terre du rotor. Il faut néanmoins s'assurer du bon dimensionnement de ces bobines. Les courants de décharge ne sont pas réduits par les bobines de mode commun.

## Modèles de filtre ou de commande qui atténuent la tension de mode commun

Les filtres qui réduisent ou atténuent la tension de mode commun sont efficaces avec tous les types de courants de palier.

# Conception

La présence du courant, son niveau et, par conséquent, sa nocivité dans le palier dépendant de l'ensemble du système, il est recommandé de prendre en compte les éventuels courants de palier dès la conception et l'appel d'offres. Des problèmes pourraient notamment survenir en cas de convertisseur de fréquence et de moteur de différents constructeurs.

En cas de soupçon, dans les installations existantes, une des méthodes de mesure ci-dessus permet de déterminer la présence ou non de courants de palier. Lorsque l'arbre est accessible, il est recommandé d'avoir recours à la mesure de la tension entre le boîtier et l'arbre. Il existe une règle de base selon laquelle les tensions de palier inférieures à 5 V n'indiquent pas de courants de palier nocifs. L'évolution de la tension de palier dans le temps est alors déterminante et non sa valeur efficace, tel que décrit dans le paragraphe Mesure.

## De façon générale, on peut recommander les mesures suivantes pour prévenir les courants de palier nocifs:

■ Pour tous les moteurs: une bonne mise à la terre à haute fréquence du boîtier du moteur prévient les courants à la terre du rotor.

■ Pour les moteurs de puissance faible à moyenne avec tension de circuit intermédiaire à partir de 560 V: prévoir une contre-mesure pour les courants de décharge, p.ex. utilisation d'un balai de mise à la terre de l'arbre

■ Pour les moteurs à partir de 100 kW env.: prévoir une contre-mesure pour les courants de circulation, p.ex. un palier isolé/palier hybride sur le côté opposé à l'entraînement (NDE).

■ Pour les moteurs à partir de 400 kW env., en plus: prévoir des mesures supplémentaires, comme un filtre de mode commun

# Informations complémentaires

## Notions et unités

Courant alternatif	Abréviatio	Unité	Indices, explication
Fréquence	f	Hz	N: réseau M: moteur
Convertisseur de fréquence	CF		
Haute fréquence	HF		
Sonde de haute fréquence	Sonde HF		Appareil de mesure des hautes fréquences.
Commission électrotechnique internationale	CEI		
Institute of Electrical and Electronics Engineers	IEEE		
Puissance	P	W	
Côté opposé à l'entraînement	NDE		Également côté ventilateur, roulement arrière. Anglais: non-drive end (NDE)
Tension	U	V	N: réseau M: moteur
Comité technique (de la CEI)	CT		Anglais: IEC Technical Committee (IEC TC)
Spécification technique (de la CEI)	ST		Anglais: IEC Technical Specification (IEC TS)
Courant alternatif	CA	A	
Temps	t	s	

## Spécifications de la CEI

■ Conditions générales - courants de palier: IEC TS 60034-25, 2014: Machines électriques tournantes - Partie 25: machines électriques à courant alternatif utilisées dans les entraînements électriques de puissance - Guide d'application, chapitre 8.

■ Conditions générales - installation: IEC TS 60034-25, 2014: Machines électriques tournantes - Partie 25: machines électriques à courant alternatif utilisées dans les entraînements électriques de puissance - Guide d'application, chapitre 9.

■ Informations supplémentaires pour différentes technologies de moteur: IEC TS 60034-25, 2014: Machines électriques tournantes - Partie 25: Machines électriques à courant alternatif utilisées dans les entraînements électriques de puissance - Guide d'application, chapitres 10 à 19.

## Sources et bibliographie

■ Guide technique n° 5 - Les courants de palier dans les systèmes d'entraînement c.a. à vitesse variable, ABB Automation, 2001

■ Muetze, «Bearing Currents in Inverter-Fed AC Motors», Dissertation, Technische Universität Darmstadt, Deutschland, 2004

■ Muetze et A. Binder, «Practical Rules for assessment of Inverter-Induced Bearing currents in Inverter-Fed AC Motors up to 500 kW», IEEE Transaction on Industrial Electronics, Juin 2007.

■ Impact Energy, Fiche technique N° 25 - Convertisseur de fréquence

## Note de l'éditeur

La fiche technique Topmotors N° 31 «Courants de palier» a été réalisée par Impact Energy dans le cadre du programme de mise en œuvre pour les systèmes d'entraînements efficaces. Elle a été élaborée par Hanna Putzi-Plesko ZHAW, Rolf Tieben (iE) et Viktor Hangartner (iE). Lectorat et mise en page: Faktor Journalisten AG.