

**Zeitschrift:** bulletin.ch / Electrosuisse  
**Herausgeber:** Electrosuisse  
**Band:** 107 (2016)  
**Heft:** 7

**Artikel:** Disjoncteurs magnétothermiques pour moteurs  
**Autor:** Weichert, Hans / Benz, Pascal / Liberto, Sandro  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-857163>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 04.12.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Disjoncteurs magnétothermiques pour moteurs

## Utilisation en aval de variateurs de vitesse

Les disjoncteurs magnétothermiques sont parfois utilisés dans des applications multimoteurs contrôlés par un unique variateur de vitesse. Or les disjoncteurs connectés en aval (côté moteur) du variateur tombent en panne après quelques mois seulement pour cause de dégradation thermique. Des recherches ont montré que les disjoncteurs d'un calibre de moins de 10 A étaient les plus sensibles. Les impulsions de tension continue génèrent en effet dans le dispositif une chaleur excessive qui, à terme, détruit la fonction de protection contre les courts-circuits.

**Hans Weichert, Pascal Benz, Sandro Liberto**

Les variateurs de vitesse (aussi appelés VFD ou ASD) sont utilisés de plus en plus communément dans des applications requérant de fréquents changements de vitesse et/ou des rampes de départs et arrêts progressifs, comme par exemple dans les systèmes de convoyeurs. Bien que les variateurs offrent une protection électronique de moteur intégrée ainsi que des fonctions de limitation de courant, ces fonctions de protection trouvent leurs limites dans les applications multimoteurs où un groupe de moteurs est géré par un seul variateur de plus gros calibre. Celui-ci ne peut en effet pas assurer la protection sélective des circuits individuels, ni permettre le débranchement de moteurs isolés pour la maintenance.

Les disjoncteurs magnétothermiques avec caractéristique de protection pour moteurs (Motor Protection Circuit Breakers ou MPCB) sont des dispositifs multifonctionnels qui offrent la protection contre les surcharges, la fonction d'interrupteur isolateur et la protection

contre les courts-circuits. C'est la raison pour laquelle ils sont utilisés pour le type d'installation décrit plus haut (figure 1). Il est cependant nécessaire de connaître les effets de ce genre de circuit et de suivre quelques règles pour éviter d'endommager le disjoncteur, d'être confronté à des situations dangereuses et pour garantir la durée de vie requise pour l'installation.

Les disjoncteurs magnétothermiques classiques utilisent un bilame pour la fonction de surcharge et un système à déclenchement magnétique pour les courts-circuits. D'un point de vue électrique, ces deux circuits sont principalement des inductances conçues pour des fréquences de 50 à 60 Hz. De ce fait, des applications impliquant des fréquences très supérieures auront des effets indésirables comme décrit plus bas.

La littérature existante sur les variateurs mentionne principalement les effets des harmoniques de courant qui peuvent être limités par des filtres variés ainsi que les problèmes classiques liés à la compatibilité électromagnétique contre lesquels

l'on recommande l'utilisation de fils blindés entre le variateur et le moteur [1-3]. Comme les configurations les plus usuelles n'impliquent pas de disjoncteurs additionnels, peu d'études ont été faites dans ce domaine. Il existe pourtant de nombreuses situations où l'utilisation de disjoncteurs en aval du variateur est requise.

### Variateurs de vitesse : principes et problématique

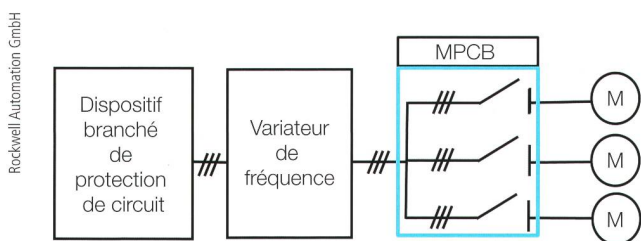
Un variateur se compose d'un pont redresseur à semi-conducteurs, d'un bus à courant continu opérant à la valeur de crête de la tension sinusoïdale d'entrée et d'un circuit de sortie à modulation de largeur d'impulsion (PWM). Une fréquence porteuse  $f_p$  de plusieurs kilohertz est utilisée pour produire les impulsions de tension continue qui vont générer le courant moteur.

Des formes d'ondes typiques sont représentées à la figure 2 [4]. Le signal supérieur est mesuré à la sortie du variateur et le signal inférieur à l'entrée du moteur. Chacune des impulsions est caractérisée par des paramètres de temps comme indiqué dans la figure 3.

La fréquence porteuse  $f_p$  peut atteindre 16 kHz et est parfois sélectionnable. Le temps de montée  $t_{montée}$  est une mesure de la pente des flancs d'impulsions de tension ( $dv/dt$ ) entre 10% et 90% de la tension du bus à courant continu [5].

Une autre définition bien connue du temps de montée selon IEC 60034-25 [6] conduit à des valeurs environ deux fois plus élevées du temps de montée. Les résultats exposés ci-dessous démontrent que la définition selon la Nema (National Electrical Manufacturers Association) est plus appropriée pour le problème traité ici [7]. Les temps de montée et la pente des flancs d'impulsions dépendent, entre autres, de la technologie des semi-conducteurs utilisée dans le variateur (tableau 1).

Les impulsions de tension se propagent le long du câble. Au-delà d'une certaine longueur, la longueur critique  $l_{crit}$ , les câbles se comportent comme une ligne de transmission et, dans ce cas, pour



**Figure 1** Groupe de moteurs gérés par un variateur unique.



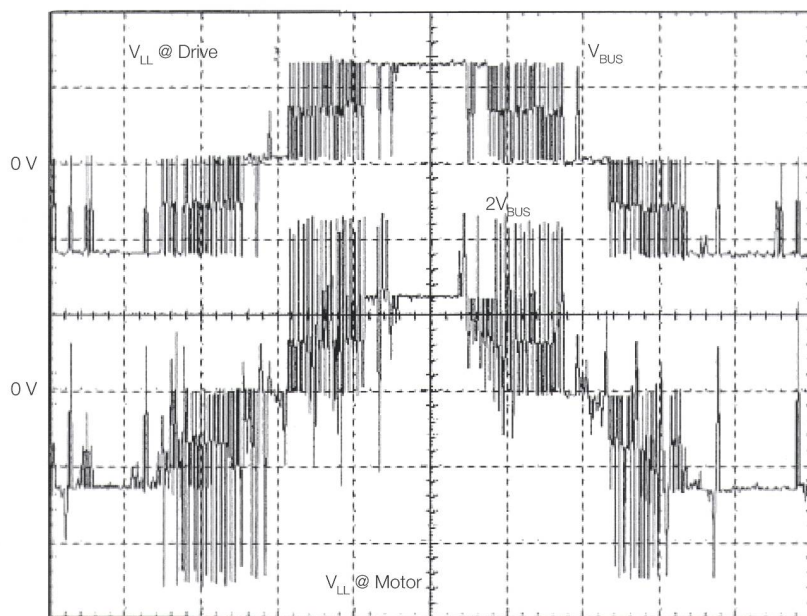


Figure 2 Tensions PWM aux bornes du variateur et du moteur [4].

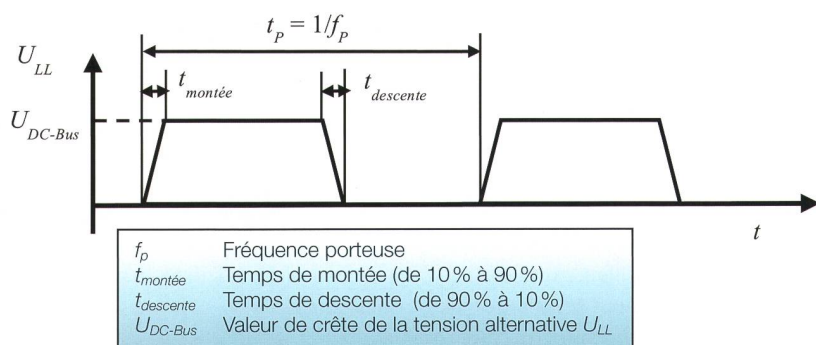


Figure 3 Caractéristiques temporelles d'une séquence d'impulsions à tension continue générées par un variateur de vitesse.

Technologie des semi-conducteurs	Temps de montée / $\mu s$		Longueur critique / m	
	$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{min}$	$t_{max}$
<b>BJT (bipolar junction transistor)</b>	0,2	2	15	150
<b>GTO (gate turn-off thyristor)</b>	2	4	150	300
<b>IGBT (insulated-gate bipolar transistor)</b>	0,005	0,4	3,73	30

Tableau 1 Temps de montée des impulsions de tension  $t_{montee}$  et longueur de câble critique  $l_{crit}$  en fonction de la technologie des semi-conducteurs utilisée dans les variateurs.

des impulsions digitales de relativement haute tension. Cela signifie que des effets de réflexion et de réfraction ont lieu lorsque l'impédance caractéristique  $Z_C$  du système change. Ceci, finalement, augmente encore le stress causé par le champ électrique, aussi appelé « effet couronne » (reflected wave phenomena) dans la littérature [8,9]. La valeur  $Z_C$  d'une impédance composée d'une inductance  $L$  et d'une capacité  $C$  est définie par :

$$Z_C = \sqrt{L/C} \quad (1)$$

En principe, les réflexions peuvent être décrites par leur coefficient de réflexion  $r$  selon l'équation 2 [9] :

$$r = (Z_2 - Z_1) / (Z_2 + Z_1) \quad (2)$$

avec  $Z_1$  étant l'impédance caractéristique du domaine 1 et  $Z_2$  celle du domaine 2.

La relation entre le temps de montée  $t_{montee}$  et la longueur de câble critique  $l_{crit}$  est :

$$l_{crit} \approx (v_{cable} \cdot t_{montee}) / 2 \quad (3)$$

où  $v_{cable}$  est la vitesse de propagation des impulsions. Pour la plupart des câbles avec isolation en matériau plastique (constante diélectrique  $\epsilon_r \approx 4$ ),  $v_{cable}$  est d'environ 150 m/ $\mu s$ , c'est-à-dire la moitié de la vitesse de la lumière. Selon les paramètres du tableau 1, les longueurs de câble critiques varient depuis des valeurs aussi basses que 4 m et s'étendent jusqu'à 300 m. En d'autres termes, il n'est pas possible d'en déduire une règle de dimensionnement générale et chaque cas doit être analysé individuellement.

L'analyse se complique encore pour les applications où plusieurs variateurs alimentent un jeu de barres. Dans ce cas, il apparaît des interactions complexes au niveau des impulsions propagées et des forces contre-électromotrices issues des différents moteurs connectés en parallèle lorsqu'ils fonctionnent en mode générateur. Les pointes de tension qui se produisent ne peuvent pas être expliquées par la seule théorie des ondes progressives. Une approche statistique de l'estimation du stress de tension doit être choisie pour évaluer la fiabilité des isolations de bobinages [10].

### Équipements utilisés dans les circuits d'alimentation

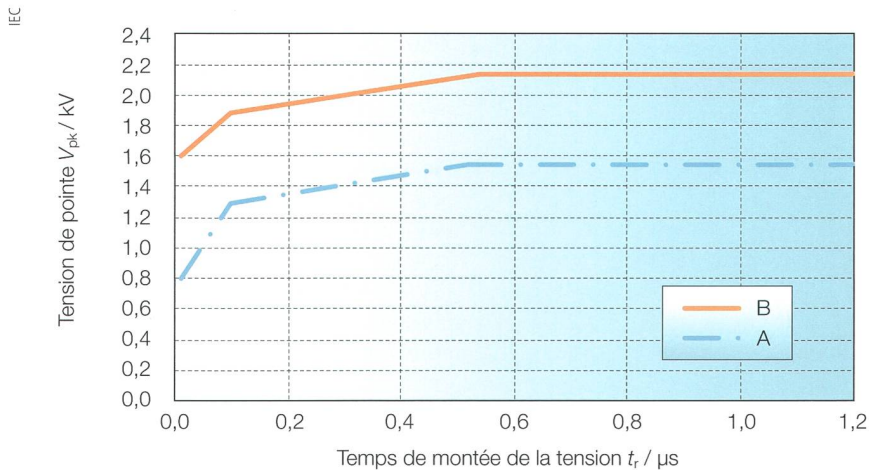
Les composants utilisés dans les applications comprenant des variateurs doivent avoir des propriétés particulières.

### Câbles, conducteurs et moteurs

Vers la fin des années 1990, il est apparu évident que les câbles et les moteurs souffraient des impulsions de tension ayant un  $dv/dt$  important ainsi que des phénomènes de réflexion d'ondes. L'une des causes réside dans le fait que l'impédance caractéristique des variateurs, des câbles et des moteurs peut différer de manière significative et en particulier le passage du câble vers le moteur génère des ondes de tension réfléchies dont l'amplitude peut atteindre jusqu'à 3 fois la tension c.a. de crête [7,8]. Ceci explique le niveau de stress électrique permanent auquel tous les composants d'un tel système sont soumis.

L'existence d'effets couronne (décharges partielles, DP) a été démontrée aussi bien entre les conducteurs des câbles qu'entre ceux des enroulements moteurs [11,12]. Ces effets détruisent l'isolation des fils soit directement par effet thermique, soit en plus par des réactions chimiques dues à l'ozone généré lors des décharges [7,13].





**Figure 4** Enveloppe des tensions d'impulsions  $V_{pk}$  autorisées aux bornes d'une machine en fonction de la durée de l'impulsion  $t_r$  jusqu'à  $500 V_{AC}$  (courbe A) et de  $500$  à  $690 V_{AC}$  (courbe B), selon IEC TS60034-25 [14].

L'intensité de ces effets est en relation directe avec le diamètre des conducteurs et l'épaisseur ou le degré de leur isolation. D'une manière générale, des conducteurs plus gros et une isolation plus épaisse contribuent à réduire ce problème. Au vu de ces constatations, de gros efforts ont été fournis pour renforcer la résistance des isolations de câbles et des enroulements moteurs contre les impulsions de tension et l'effet couronne. On a développé et utilisé des matériaux d'isolation comme le PER (polyéthylène réticulé) ou des matériaux renforcés au mica. En 1999, la norme pour les moteurs IEC TS60034-25 [14] a été modifiée. Elle inclut maintenant deux catégories de moteurs (A et B) définis par leur capacité de résistance aux pointes de tension en fonction du temps de montée des impulsions de tension (figure 4).

Les composants satisfaisant à cette norme sont commercialisés comme produits « VFD-proof » (résistant aux variateurs) ou « Inverter Spike Resistant » (résistant aux impulsions des variateurs) [15,16].

**Dispositifs électromécaniques**

Certains fabricants ne permettent pas l'utilisation d'appareillage de commutation électromécanique du côté moteur des variateurs parce que la tension de l'arc de commutation est susceptible de détruire les semi-conducteurs. D'autres recommandent de ne pas commuter sous charge. On trouve aussi des tables de corrections pour le déclenchement thermique du MPCB, mais sans relation avec la longueur des câbles, les temps de montée des tensions, ni mention d'une limitation de la fréquence de découpage.

Nous savons aussi que les capacités des longs câbles peuvent causer la soudure des contacts d'interrupteurs de charge ou de contacteurs en cas de commutation en charge si ces composants ne sont pas dimensionnés en conséquence [17]. Les MPCB sont moins sujets à ces problèmes puisqu'ils sont conçus pour supporter des courants de court-circuit relativement hauts à l'enclenchement.

Dans les applications multimoteurs, le besoin d'une protection individuelle des moteurs contre les surcharges se fait sentir. De plus, par exemple pour la maintenance, le déclenchement sélectif des circuits des moteurs est utile pour permettre des travaux sur un ou plusieurs moteurs pendant que les autres continuent de fonctionner. Les MPCB ayant également une fonction de sectionneurs de charge, ils sont très intéressants comme appareils multifonctionnels. Il faut cependant

considérer que le déclenchement magnétique n'a lieu qu'en dessus d'un certain niveau de courant (par exemple 13 fois le courant moteur nominal) alors que le courant de sortie maximal du variateur associé peut rester bien en dessous de cette limite.

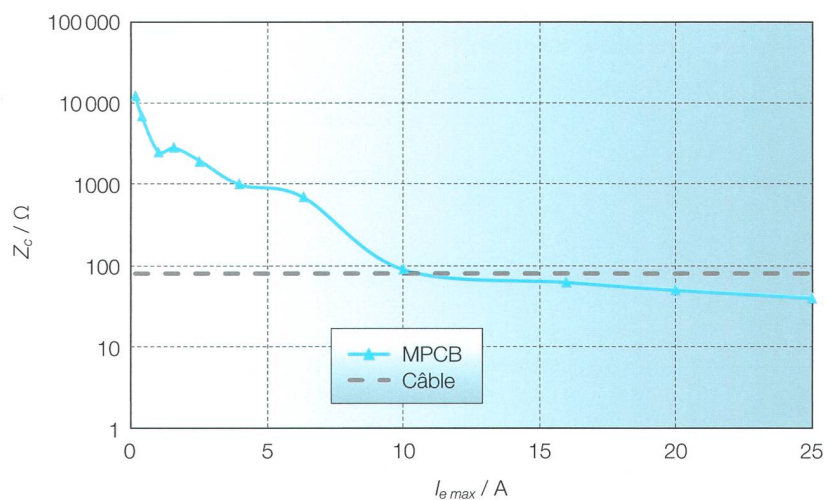
En général, les MPCB sont faits pour un fonctionnement à 50/60 Hz. De ce fait, ils réagissent en principe à des impulsions de courant continu comme un filtre. Ils ne sont cependant pas dimensionnés pour cela, ni pour évacuer le surcroît de pertes associé. De plus, la tension d'isolation est normalement inférieure au double de la tension nominale de pointe. Cela signifie que les réflexions de ces tensions impulsives doivent être évitées.

L'impédance des bobines de déclenchement varie aussi avec le courant nominal du disjoncteur. La figure 5 montre l'impédance caractéristique des bobines de déclenchement pour des MPCB typiques avec des courants allant de 0,1 A (13 kΩ) à 25 A (40 Ω). L'impédance caractéristique typique d'un câble (80 Ω) est mise en comparaison. Il apparaît qu'en dessous d'approximativement 10 A, l'impédance caractéristique élevée va causer d'importantes réflexions. Comme les exigences fonctionnelles sont les mêmes pour tous, ces effets varient très peu entre les produits de différents fabricants.

**Dispositifs électroniques**

L'impédance caractéristique  $Z_{C_{VFD}}$  d'un variateur peut être calculée selon l'équation 4 [18]:

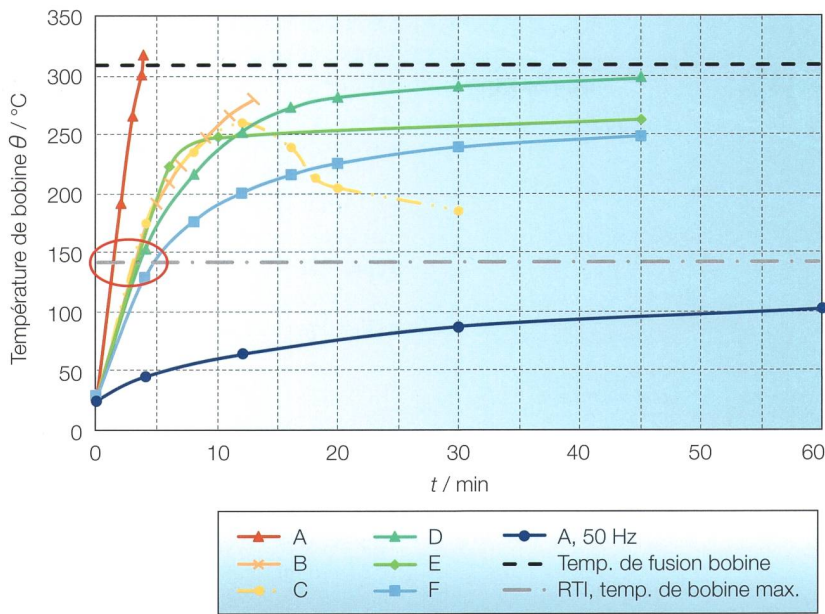
$$Z_{C_{VFD}} = U_{\text{ligne-ligne}} / (\sqrt{3} \cdot I_{\text{côté-entrée}}) \quad (4)$$



**Figure 5** Impédance caractéristique  $Z_c$  de la bobine de déclenchement magnétique d'un MPCB.

Rockwell Automation GmbH





**Figure 6** Température  $\theta$  des bobines de court-circuit en fonction du temps pour des MPCB de six fabricants différents, une longueur de câble de 40 m et une fréquence  $f_p$  de 16 kHz.

Du fait de l'impédance relativement basse des variateurs, les réflexions seront bien absorbées. Cependant, les impulsions de tension arrivant à l'interface entre un disjoncteur et un moteur se trouveront quasiment prisonnières des hautes impédances caractéristiques en jeu, résultant en de multiples réflexions causant une élévation de tension aux bornes du disjoncteur coté moteur et au moteur [9].

**Résultats expérimentaux**

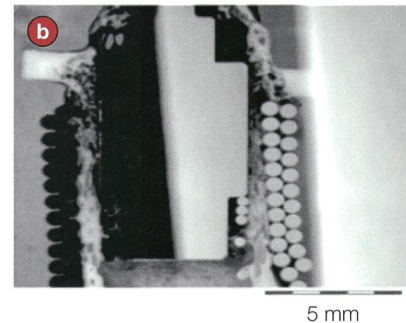
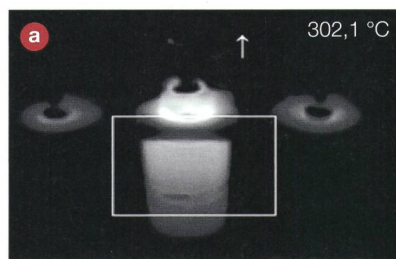
Les recherches expérimentales de ce genre sont très souvent initialisées par des problèmes concrets apparaissant chez des utilisateurs.

**Disjoncteur à proximité du variateur**

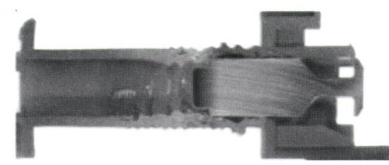
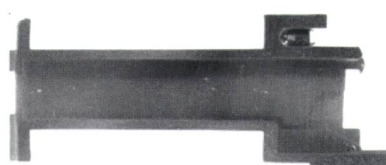
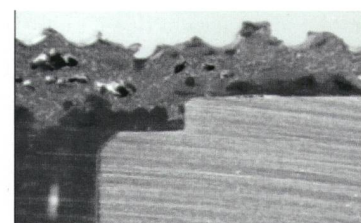
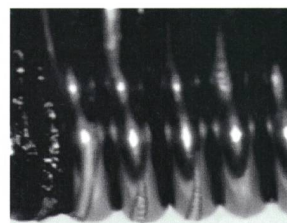
Dans une application industrielle (3 moteurs alimentés par un variateur) avec 150 m de câble entre les MPCB et les moteurs et avec une fréquence porteuse de 3 kHz, il a été observé d'importantes dégradations de la bobine de déclenchement magnétique après environ 9 mois de service continu. Et ceci, bien que le courant moteur effectif ait été bien en dessous de la valeur minimale de la gamme de réglage du MPCB à cause d'une charge de seulement 50%, comme cela arrive couramment dans les applications avec variateurs. Le MPCB était réglé à 90% de sa valeur maximale de courant pour éviter un déclenchement thermique. Une simulation en laboratoire et un monitoring de la température jusqu'à un niveau stable a

montré un comportement similaire pour des appareils de différents fabricants, des câbles de diverses longueurs et des fréquences de découpage variées.

Afin d'obtenir des résultats expérimentaux rapidement, des tests ont été conduits sur des MPCB de six fabricants différents ( $I_e = 2,5 A$ ) contrôlés par un variateur à 400 V (bus continu 566 V<sub>cc</sub>) et  $f_p = 16 kHz$ . La température a été mesurée par une caméra thermique. La **figure 6** montre la température de la bobine de déclenchement aux courts-circuits en fonction du temps. Les disjoncteurs ont été reliés à la sortie du variateur par un câble court (1 m). La connexion entre disjoncteur et moteur était de 40 m, c'est-à-dire en dessus de la longueur critique. Pour tous les modèles, une augmentation rapide de la température a été observée. La température maximale permmissible (RTI) pour un support de bobine typique en PA66/6 a été dépassée en moins de 5 minutes (ellipse dans la **figure 6**). Certains designs atteignent ou s'approchent de la température de fusion du plastique après quelques minutes ou en moins d'une heure. Le produit C représente un cas spécial, la température baissant après avoir atteint un maximum. L'examen de la bobine a montré que ceci était dû à une isolation du fil endommagée. Quelques enroulements étaient



**Figure 7** Photo thermique (a) et support de bobine fondu (b).

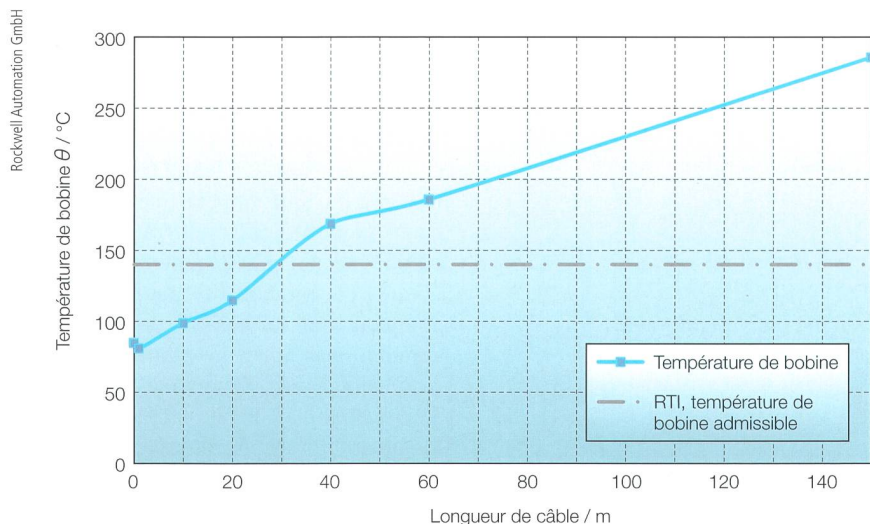


Neuf

Usagé avec variateur de vitesse VFD (15 min)

**Figure 8** Isolation de bobine endommagée et support de bobine fondu.





**Figure 9** Température  $\theta$  de la bobine de déclenchement en fonction de la longueur de câble pour une fréquence  $f_p = 4$  kHz.

court-circuités, ce qui en réduisait l'impédance et par conséquent la dissipation de chaleur. La situation du produit A à 50 Hz a été incluse pour référence et présente la température la plus basse.

Durant une utilisation continue, les supports de bobine ont fondu et les armatures ont été bloquées (figures 7 et 8). Par conséquent, les dispositifs de déclenchement ont été détruits et rendus inopérants, ce qui représente un risque pour la sécurité. La distorsion n'est parfois pas détectable par une simple inspection visuelle. De plus, une vérification à l'aide du bouton de test peut ne pas détecter ce défaut puisqu'il s'agit là d'une simulation de la fonction de déclenchement du relais pour cause de surcharge et non de celui induit par une situation de court-circuit.

La figure 9 résume les résultats obtenus avec un MPCB de 2,5 A utilisant des fils de sections AWG14 et de longueurs allant jusqu'à 150 m ( $f_p = 4$  kHz). On remarque une élévation de température marquée à la longueur critique prédite. La température maximale permmissible pour le matériau du support de bobine serait atteinte dès une longueur d'environ 28 m. Ceci correspond aux observations décrites dans [19]. Pour des longueurs de câbles excédant la longueur critique, même des fréquences porteuses de 2 kHz conduisent à un développement de chaleur excessif.

En dessous de la longueur de câble critique, et avec une fréquence porteuse de 4 kHz, la température de la bobine de déclenchement de tous les disjoncteurs examinés n'a pas excédé 120°C et est restée dans les limites acceptables. Ceci

concorde avec les recommandations données par les fabricants qui offrent aussi des solutions avec filtres. Ceux-ci limitent la fréquence porteuse à 4 kHz, parfois même à 2 kHz, en fonction des longueurs de câbles et de la tension d'isolation du moteur [20]. Dans la pratique, on inclut généralement une marge de sécurité pour tenir compte des conditions ambiantes pouvant atteindre jusqu'à 60°C dans les armoires et les MCC (Motor control centers), par exemple lorsque les composants sont installés côte à côte.

**Disjoncteur à proximité du moteur**

C'est la condition d'utilisation préférée. Les ondes de tension sont supprimées puisque la connexion au moteur est bien en dessous de la longueur critique et

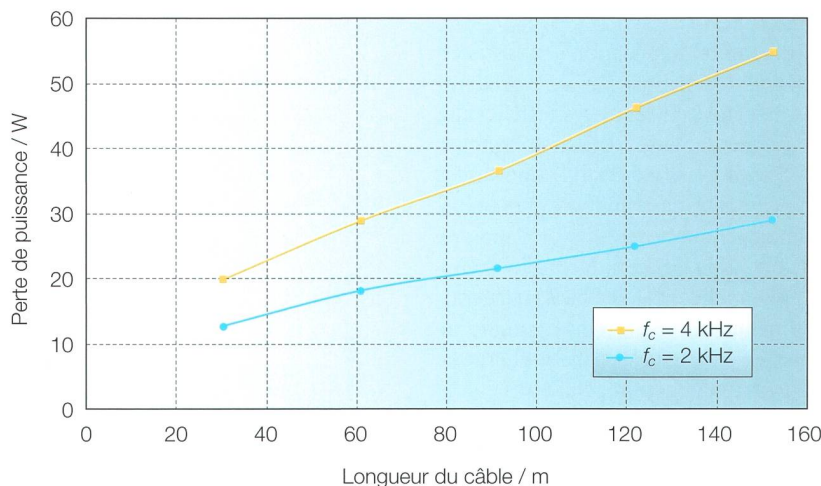
que les impédances respectives relativement hautes du moteur et du disjoncteur sont similaires et forment donc un diviseur de tension.

**Considérations concernant l'efficacité énergétique**

L'utilisation de filtres réduisant le temps de montée des flancs de tension représente une potentielle amélioration technique. Les points suivants doivent cependant être pris en considération.

Les filtres se comportent en puits d'énergie, c'est à dire que ce sont eux qui vont s'échauffer au lieu des disjoncteurs. La figure 10 présente des données tirées d'un catalogue [20]. Les pertes des filtres dépendent également de la longueur des câbles. Ces valeurs se comparent aux pertes d'un variateur de 120 W ( $I_e = 25$  A) et atteignent 100 à 500% des pertes générées par un MPCB. De plus, l'addition de filtres devant chaque MPCB cause une augmentation des coûts de l'ordre de 100%, voire plus.

Par ailleurs, l'utilisation de variateurs de vitesse est recommandée pour augmenter l'efficacité énergétique et pour satisfaire aux règlements en vigueur en Europe [21,22]. Les dernières directives [21] requièrent que, depuis 2011, les moteurs ne correspondant pas à la classe énergétique 3 soient contrôlés par des variateurs. Il a été démontré dans [22] que les variateurs ne présentent un avantage par rapport aux départs-moteurs électromécaniques qu'en dessus de 300 cycles/h. Les pertes d'un variateur sous pleine charge peuvent atteindre 3 à 25 fois celles d'un départ-moteur électromécanique [23].



**Figure 10** Pertes avec des solutions à filtres en fonction de la longueur du câble entre filtre et moteur.



Les pertes additionnelles créées par les filtres nécessaires à la survie des MPCB ne sont pas encore prises en considération dans ces chiffres.

Afin de couvrir les aspects environnementaux ainsi que pour satisfaire aux exigences techniques, une installation utilisant une combinaison de variateurs et de disjoncteurs doit être conçue avec un soin tout particulier.

### Conclusions

Comme décrit ci-dessus, le choix des composants convenant à une application multimoteurs alimentés par un seul variateur est critique et important.

Suite aux recherches entreprises, une gamme de disjoncteurs MPCB optimisés pour ces applications est maintenant disponible [24]. Durant la phase de développement, des échantillons ont fonctionné pendant plus de deux ans sans aucun signe d'usure dans une application identique aux descriptions faites plus haut.

### Recommandations générales

Le MPCB doit être choisi de telle sorte que le courant moteur soit dans la partie basse de sa plage de réglage. Ceci réduit le niveau de température de la bobine de déclenchement magnétique d'environ 25 K. La fréquence porteuse du variateur doit être aussi basse que possible et ne pas dépasser 4 kHz.

De plus, le MPCB doit être placé de préférence près du moteur. Le temps de montée des signaux du variateur doit être connu et la longueur critique de câble calculée à l'aide de l'équation 3. Cette longueur ne doit pas être dépassée dans l'installation pour éviter des surtensions.

La tension de pointe et le temps de montée doivent en outre être mesurés lors de la mise en marche initiale pour déterminer le risque potentiel de déféctuosité du MPCB. Si nécessaire, des corrections doivent être implémentées pour en garantir la durée de vie attendue.

Finalement, l'usage de filtres pour réduire le temps de montée peut représenter une amélioration technique en présence de longs câbles. Cela causera cependant aussi des pertes et des coûts additionnels.

### Références

- [1] J. T. Streicher, J. J. Olive: AC Drives, straight talk about PWM AC- Drive harmonic problems and solutions. Publication DRIVES-WP011C-EN-P, October 2006.

- [2] Effects of AC Drives on Motor Insulation – Knocking Down the Standing Wave. ABB Technical Guide No. 102.
- [3] M. Collombet, B. Lacroix: LV-Circuit Breakers Confronted with harmonic, transient and cyclic currents. Technical Publication No. 182, Schneider Electric.
- [4] G. Skibinski: Installation Considerations for IGBT AC Drives. IEEE Textile, Fiber and Film Conference, Charlotte, USA, 1997.
- [5] Nema MG1, Part 30, Motors and Generators.
- [6] IEC TS60034-25, Rotating Electrical Machines, Guide for the design and performance of cage induction motors specifically designed for converter supply.
- [7] M. Melfi, J. Sung, S. Bell, G. Skibinski: Effect of Surge Voltage Risetime on the Insulation of Low-Voltage Machines Fed by PWM Converters. IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 34, No. 4, 1998.
- [8] R. Kerkman, D. Leggate, G. Skibinski: Interaction of Drive Modulation & Cable Parameters on AC Motor Transients. IEEE-IAS Ann. Meeting, San Diego, October 1996.
- [9] R. Rüdberg: Elektrische Wanderwellen auf Leitungen und in Wicklungen von Starkstromanlagen. Springer, Berlin Göttingen Heidelberg, 4. Auflage, 1962.
- [10] K. Bauer, M. Kaufhold, K. Schäfer, F. Schemmel: TE-basierte Zuverlässigkeitsprognose der Wicklungsisolierung umrichter gespeister Maschinen in komplexen Antriebssystemen. Conference «TE in elektrischen Isolierungen», Esslingen, Germany, 2011.
- [11] M. Kaufhold: Elektrisches Verhalten der Windungsisolierung von Niederspannungsmaschinen bei Speisung durch Pulsrichter. Thesis TU Dresden, VDI-Verlag, Reihe 21, Nr. 172, 1994.
- [12] M. Berth: Elektrische Belastung der Wicklungsisolierung Pulsrichter gesteuerter Niederspannungsmotoren, Thesis, TU Dresden, VDI-Verlag, Reihe 21, Nr. 247, 1998.
- [13] W. de Lima Pires: Technical Guide, Induction Motors fed by PWM Frequency Converters. WEG Equipamentos Elétricos S.A., September 2006.
- [14] IEC TS60034-25: Rotating Machines, Guidance for the design and performance of a.c. motors specifically designed for converter supply.
- [15] Baldor: Variable Speed Motor Products. BR400\_0510\_WEB\_REVOpt.pdf; www.Baldor.com
- [16] E. Bulington, S. Abney, G. Skibinski: Cable Alternatives for PWM AC Drive Applications. www.belden.com
- [17] P. F. Brosch: Sicher Projektieren!-Hätten Sie es gewusst? Special Antriebstechnik, H.2/2004
- [18] Wiring and Grounding Guidelines for Pulse Width Modulated (PWM) AC Drives, Installation Instructions. Publ. DRIVES-IN0011-EN-P, Rockwell Automation, November 2007.
- [19] B. Appel: Wenn die Spannung sich zuspitzt. Elektro Automation, H. 1/ 2006, pp. 58-59.
- [20] 1204 Reflected Wave Reduction Device, Instructions. Publication 1204-5.1, Rockwell Automation, April 1997.
- [21] Commission Regulation (EC) N° 640/2009: Ecodesign Requirements for Electric Motors.
- [22] What About Controlgear? Electric Motor System Efficiency, Capiel, 2010.
- [23] Powerflex 40, Adjustable Frequency AC Drive. Publication 20B-QS001F-MU-P, Rockwell Automation, December 2008.
- [24] literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/pp/140m-pp004\_-en-p.pdf

### Auteurs

D<sup>r</sup> Ing. **Hans Weichert** dirige la recherche et la simulation chez Rockwell Automation GmbH. **Rockwell Automation GmbH, 5000 Aarau, hweichert@ra.rockwell.com**

**Pascal Benz**, ingénieur diplômé de l'ETHZ, est ingénieur de développement et simulation chez Rockwell Automation GmbH. **pbenz@ra.rockwell.com**

**Sandro Liberto** est technicien au laboratoire de Rockwell Automation GmbH. **sliberto@ra.rockwell.com**

Les auteurs remercient Claude Joye pour la traduction française.

## Zusammenfassung

### Thermomagnetische Schutzschalter für Motoren

#### Einsatz hinter Drehzahlreglern

Thermomagnetische Schutzschalter (Motor Protection Circuit Breakers, MPCB) werden auch bei Mehrmotoren-Anwendungen eingesetzt, die durch einen einzigen Drehzahlregler (VFD) gesteuert sind. Allerdings wurde beobachtet, dass die dem Drehzahlregler nachgeschalteten Schutzschalter (motorseitig) nach nur wenigen Monaten wegen thermischer Beanspruchung ausfallen. Die Gleichspannungsimpulse mit steilen Flanken in Kombination mit der charakteristischen Impedanz des Motors und des Schutzschalters erzeugen in der Magnetspule eine übermässige Wärmeentwicklung, die früher oder später die Kurzschlusschutzfunktion zerstört. Die Wahl der für eine Drehzahlregler-Anwendung geeigneten Bauteile (Motor, Kabel, Schaltgeräte etc.) ist daher generell wesentlich und wichtig. Der MPCB ist so zu wählen, dass sich der Motorstrom im unteren Teil des Einstellbereichs befindet. Der Schalter ist vorzugsweise nah am Motor zu platzieren. Die Trägerfrequenz des Drehzahlreglers muss darüber hinaus so niedrig wie möglich sein und darf 4 kHz nicht überschreiten. Die Anstiegszeit der Signale des Drehzahlreglers muss bekannt sein und die kritische Leitungslänge darf nicht überschritten werden, um Überspannungen zu vermeiden. Die Spitzenspannung und die Anstiegszeit sollten bei der Erstinbetriebnahme gemessen werden, um das potenzielle Störfallrisiko des MPCB zu minimieren. Falls erforderlich, sind Korrekturen vorzunehmen, um die erwartete Lebensdauer zu gewährleisten. Schliesslich kann bei langen Leitungen der Einsatz von Filtern zur Verringerung der Anstiegszeit eine technische Verbesserung darstellen. Dies führt jedoch auch zu Verlusten und zusätzlichen Kosten.

CHe