

Mesure de la tension de sortie des variateurs de vitesse au moyen d'un ScopeMeter® Fluke Série 190

Les variateurs de vitesse, également appelés « onduleurs », sont de plus en plus répandus dans les applications industrielles. Lors des opérations d'installation et d'entretien, les mesures des tensions de sortie donnent souvent des résultats inattendus. Comment est-ce possible et que pouvons-nous faire pour surmonter ces problèmes ?

Variateurs de vitesse

Les machines électriques traditionnelles qui sont directement raccordées à un système d'alimentation monophasé ou triphasé ne permettent généralement qu'un contrôle limité de la vitesse, voire aucun. Un réducteur externe pourrait constituer une solution, mais ces instruments sont encombrants, bruyants, coûteux et sujets à l'usure.

La mise sur le marché de nouveaux dispositifs semi-conducteurs prenant en charge les hautes tensions et les courants forts a permis de concevoir des variateurs de vitesse ou « onduleurs ». Ces dispositifs offrent une plus grande souplesse en matière de contrôle de la vitesse tout en réduisant les pertes électriques et en autorisant un couple constant qui peut être indépendant de la vitesse de rotation réelle de la machine.

Les variateurs de vitesse sont donc de plus en plus utilisés dans les applications industrielles, où ils offrent de nombreux avantages tels que :

- L'élimination de l'usure grâce à l'utilisation de machines asynchrones ;
- Un contrôle efficace ;
- Un rendement énergétique élevé.



Cependant, des mesures effectuées en cours d'installation ou lors de l'entretien fournissent des résultats surprenants. Cette note d'application a pour but d'en expliquer les raisons et de démontrer qu'il est possible d'éviter ce problème grâce aux ScopeMeters Fluke de la Série 190.

Générer une fréquence variable

Plusieurs méthodes sont utilisées pour générer une fréquence variable. Les premiers essais consistent en des convertisseurs de courant à thyristors autonomes ou synchronisés par machine. On les trouve encore aujourd'hui dans les onduleurs haute énergie, mais il existe désormais de meilleures solutions pour les applications à plus faible énergie.

Les thyristors (redresseurs commandés au silicium ou SCR) ne peuvent être mis hors tension qu'au point d'intersection zéro du courant secteur. C'est pourquoi la tension de sortie de ces convertisseurs ne consiste pas en une onde sinusoïdale continue mais présente toujours des discontinuités (comme illustré à la figure 1).

La modification de l'angle de phase de la discontinuité permet de contrôler efficacement la puissance de sortie, qui peut être utilisée pour faire varier la vitesse de la machine tout en réduisant l'énergie mécanique disponible. Malheureusement, ces convertisseurs n'autorisent pas une modulation aléatoire de la forme d'onde de sortie. Les tentatives de résolution de ce problème à l'aide de circuits supplémentaires se sont avérées coûteuses avec un taux de réussite peu élevé.

Les thyristors interruptibles ont donc fait leur apparition, instaurant une approche totalement différente en matière de contrôle des variateurs de vitesse. Ces semi-conducteurs peuvent être mis aussi bien hors tension que sous tension. Ils sont donc parfaits pour le « découpage » d'un système à courant continu. La figure 2 illustre la structure de base de tels variateurs de vitesse.

L'entrée monophasée ou triphasée est connectée à un ensemble de redresseurs qui alimentent un bus DC interne. La tension DC est mise en mémoire dans une grande capacité de stockage, chargée à la tension U_b :

$$U_b = \sqrt{2} * U_{\text{tension principale}} \approx 1.41 * U_{\text{tension principale}}$$

La tension DC est ensuite appliquée à une série de commutateurs doubles qui relient alternativement chacune des trois connexions de la machine à la ligne positive ou négative du bus. En outre, chaque dérivation peut être en mode inactif (à savoir non conducteur), isolant de manière efficace la connexion à laquelle elle est reliée.

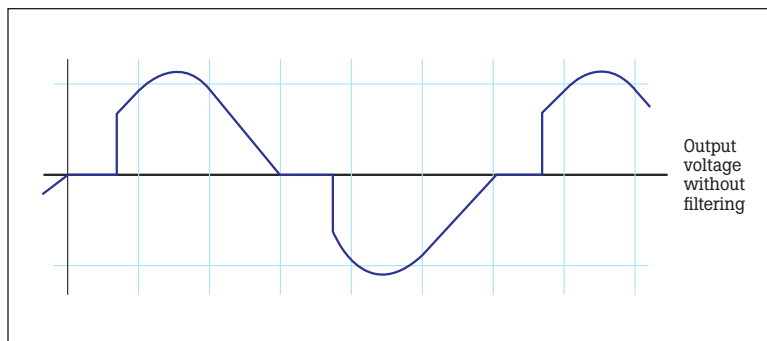


Figure 1 : Tension de sortie d'un convertisseur de courant SCR. La tension de sortie non filtrée indique clairement des discontinuités.

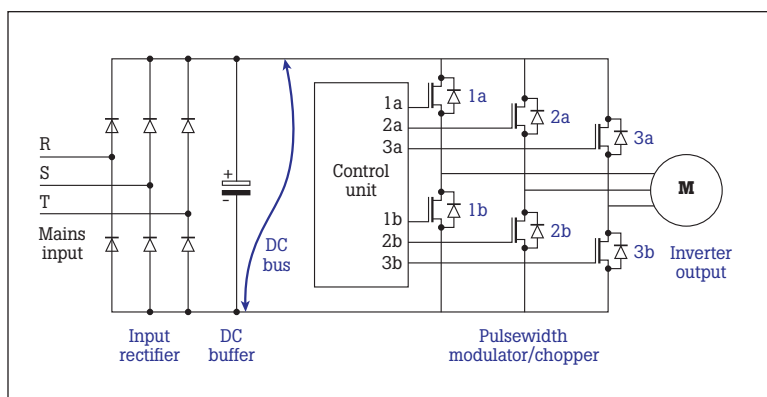


Figure 2 : Structure de base d'un variateur de vitesse.

Tous les commutateurs sont commandés par une unité centrale de contrôle qui génère des impulsions de commande pour activer chacun des 6 commutateurs au moment opportun. La vitesse de commutation peut être modifiée, ce qui détermine la fréquence de sortie. L'ordre de commande des trois sorties dicte le sens de rotation de la machine.

L'unité de contrôle est configurée de sorte que la fréquence de sortie puisse être modifiée sur une large gamme. Étant donné que la vitesse de rotation de la machine dépend directement de la fréquence de l'alimentation, il est possible de la contrôler efficacement.

La figure 3 indique les tensions de sortie résultantes pour chaque ligne de sortie. Pour chaque connexion de la machine, vous voyez une impulsion positive, une période durant laquelle la connexion est hors tension, puis une impulsion négative suivie d'une autre période où aucune tension de commande n'est appliquée.

Dans ce cas simple, la tension de sortie ouverte de chaque sortie est soit $+1/2 U_b$ ou zéro (flottante), soit $-1/2 U_b$, où U_b représente la tension du bus. Notez que les trois sorties sont connectées de la même manière. La valeur moyenne des lignes de sortie équivaut donc à la moitié de la tension DC_{bus} .

Si l'on applique la forme d'onde ci-dessus à un filtre passe-bas, le résultat ressemblerait à une onde sinusoïdale avec la même fréquence fondamentale que celle de l'onde carrée imposée par les circuits de contrôle (voir figure 4). Toutefois, les filtres passe-bas susceptibles de résister aux niveaux d'énergie des variateurs de vitesse auraient été trop encombrants et coûteux. Il fallait donc chercher d'autres solutions.

Solution de remplacement au filtre passe-bas

Cette solution est le résultat d'une autre avancée dans le domaine de l'électronique de puissance. Dans les systèmes réels, les impulsions positives et négatives ne sont généralement pas créées par la génération d'une simple impulsion de la polarité souhaitée. Au lieu de cela, toutes les impulsions sont générées par la mise sous et hors tension répétée du même commutateur à semi-conducteurs, à une vitesse d'impulsion bien supérieure, et ce, selon un rapport cyclique variable (voir figure 5).

La difficulté consiste à faire varier le rapport cyclique pour que le courant (mais pas la tension) passant par l'enroulement de la machine ait une forme d'onde sinusoïdale. En effet, l'induction des enroulements de la machine fait office de filtre passe-bas dans lequel passe un courant à forme d'onde sinusoïdale issu d'une tension à modulation de largeur d'impulsions.

À la figure 5, la courbe supérieure représente la tension de sortie d'une ligne de sortie pour laquelle l'effet de variation du rapport cyclique est clairement visible. La courbe inférieure donne la tension de sortie effective par cycle d'horloge interne (T) sur une échelle relative.

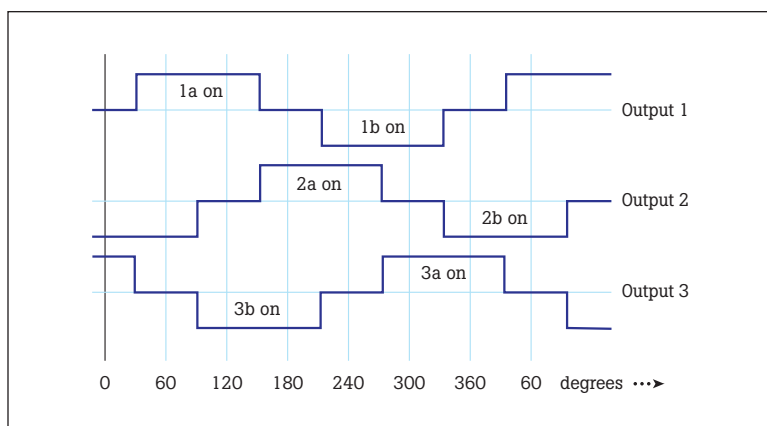


Figure 3 : Tension de sortie pour chacune des lignes de sortie.

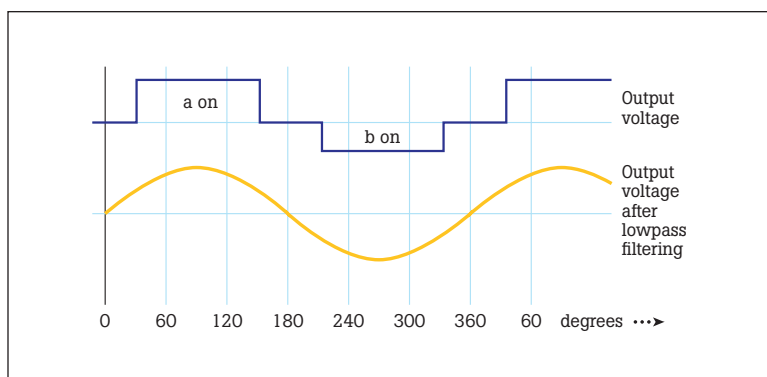


Figure 4 : Tension de sortie directe et via un filtre passe-bas.

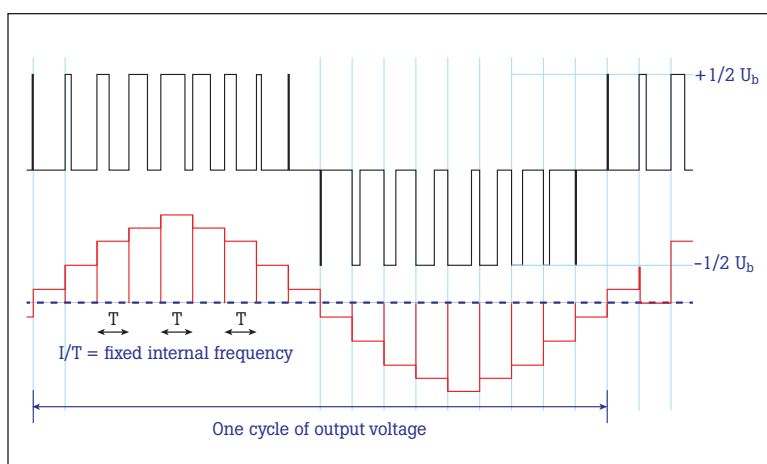


Figure 5 : Tensions de sortie pour variateurs de vitesse à modulation de largeur d'impulsions (simplifié).

Ceci indique que la tension de sortie effective a une forme d'onde sinusoïdale. Toutefois, la tension de sortie réelle du variateur de vitesse ressemble davantage à la courbe supérieure ! Contrairement aux circuits de SCR mentionnés précédemment, les circuits du variateur de vitesse peuvent être utilisés en mode sous tension à tout moment. Les pertes d'énergie dans les commutateurs à semi-conducteurs sont donc minimales, garantissant un rendement énergétique élevé et un faible dégagement de chaleur dans le module du variateur.

Mesures de tension

Bien que les améliorations apportées par ces variateurs en termes d'efficacité et de liberté du contrôle de la vitesse soient évidentes, un problème subsiste pour l'ingénieur responsable de l'installation et de l'entretien de ces variateurs de vitesse.

La tension de sortie d'un variateur de vitesse est générée dans le but de produire un courant dont la forme d'onde est sinusoïdale via une charge inductive. En réalité, la tension appliquée affiche une forme d'onde complètement différente. Les mesures directes de la tension de sortie peuvent donc donner des résultats inattendus car, contrairement aux machines électriques, le voltmètre répond à la tension de sortie non filtrée.

Ce problème est dû à la forme d'onde de la tension ainsi qu'aux caractéristiques de conception des multimètres numériques. Ces derniers sont généralement conçus pour mesurer l'amplitude d'une onde sinusoïdale à la fréquence du secteur, c'est-à-dire 50 ou 60 Hz. La tension de sortie du variateur de vitesse, quant à elle, consiste en une onde carrée de haute fréquence, dont le rapport cyclique varie continuellement. Par contre, l'amplitude de crête de l'onde carrée est fixe. Enfin il faut en outre pouvoir prendre en charge deux polarités.

La plupart des multimètres sont conçus pour répondre à la tension de crête, à la tension de crête à crête ou à la tension moyenne appliquée, et sont étalonnés pour lire l'amplitude effective de l'onde sinusoïdale. De plus, lorsqu'ils sont utilisés pour les mesures de tension AC, la plupart des multimètres sont dotés d'un redresseur à double phase en entrée pour garantir que les tensions de polarité positive ou négative contribuent de la même manière à la mesure.

Si l'on observe la tension de sortie illustrée à la figure 5, la tension moyenne par cycle T (après rectification) est directement proportionnelle au rapport cyclique de la forme d'onde et à la tension du bus DC. Elle varie dès lors continuellement en raison des variations du rapport cyclique. Pour un demi-cycle du courant résultant, la tension moyenne sera :

$$U_{\text{principal}} = d * U_{\text{crête}} = d * (1/2 U_b)$$

où d = rapport cyclique, qui varie de 0 à 100 %, et inversement.

Le résultat donne un relevé en volts qui peut s'écarter considérablement de la valeur attendue sur les bornes de la machine (par exemple, telle qu'indiquée sur l'afficheur intégré au variateur de vitesse qui permet de lire la tension de sortie effective calculée par l'intermédiaire de l'électronique de contrôle interne).

Pour illustrer ce qui précède, nous avons testé différents modèles de multimètres en prenant soin de les soumettre à des conditions identiques, et ce, à l'aide du même variateur de vitesse doté des mêmes réglages. Les résultats mesurés, repris dans le tableau 1, varient de 143 V à 1 000 V.

Modèle de multimètre numérique	Relevé (V AC)
1	1 001 V
2	154,2 V
3	157,6 V
4	170,1 V
5	187,1 V
6	193,6 V
7	204,3 V
8	215,3 V
9	237,93 V
10	254 V
Fluke 41B	143V
Fluke 43B	143,3 V
Fluke Série 190	144 V

Tableau 1 : Relevé de la tension alternative effectué à l'aide de différents multimètres numériques

Des mesures exactes

La meilleure façon de calculer la tension de sortie dans ce cas précis est de prendre en compte l'application particulière du variateur de vitesse.

L'alimentation des machines électriques est dérivée du courant via les enroulements, tandis que la tension appliquée est avant tout nécessaire pour faire circuler le courant. Les variateurs de vitesse utilisent ce principe en appliquant une tension haute fréquence non continue qui résulte en un courant de forme d'onde sinusoïdale via les enroulements de la machine, dont la fréquence est réglée par l'unité de contrôle et la polarité de la tension commutée.

Pour connaître la tension de sortie effective du variateur de vitesse, nous devons donc prendre en compte uniquement la fréquence fondamentale de la tension appliquée.

Pour ce faire, il faut prendre un grand nombre d'échantillons de la tension appliquée et créer une image détaillée de la forme d'onde de la tension dans la mémoire numérique de l'instrument, à partir de laquelle l'amplitude de la fréquence fondamentale peut être calculée et affichée.

Il s'agit de la méthode utilisée lors du test des trois derniers instruments du tableau 1. Parmi ceux-ci, citons les outils de test ScopeMeters des Séries 190B et 190C de Fluke. Ils permettent de numériser les tensions d'entrée à une fréquence élevée d'échantillonnage et de mettre l'image numérique de la forme d'onde en mémoire pour une analyse ultérieure.

Les outils de test ScopeMeters Série 190 intègrent une fonction spécifique de mesure de la tension, « Vpwm », destinée à ces applications. Grâce à cette fonction, les modèles de la série 190 peuvent analyser le signal numérisé et calculer la fréquence fondamentale, ce qui permet d'obtenir la même forme d'onde que le courant de sortie du variateur de vitesse. À partir de cette forme d'onde, la valeur effective est calculée et affichée en tant que mesure Vpwm.

Consultez l'écran illustré à la figure 6, où l'amplitude crête à crête et la tension de sortie effective d'un variateur de vitesse sont indiquées dans les petites cases situées en haut de l'écran.

La fréquence de sortie effective de la forme d'onde affichée peut être facilement déterminée : sachant qu'un cycle prend environ 6,3 divisions et que la base de temps est de 5 ms, un cycle prend environ 31,5 ms et la fréquence de sortie est de $1 / 31,5 \text{ ms} = 32 \text{ Hz}$.

Il est également possible d'utiliser les curseurs pour marquer un cycle de cette forme d'onde de sortie.

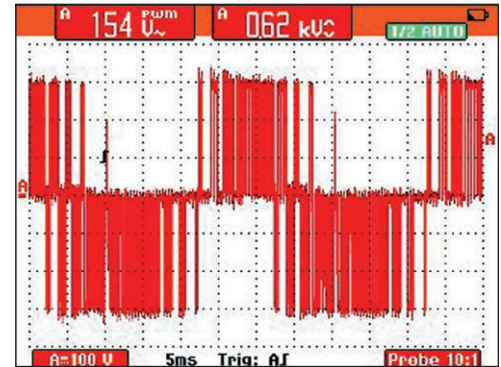


Figure 6 : Mesure de la sortie d'un entraînement moteur à l'aide du modèle Fluke 199C.

Conclusion

Les variateurs de vitesse apportent une foule d'avantages aux constructeurs et utilisateurs de machines. Un problème subsiste cependant pour les ingénieurs responsables de l'entretien et pour les installateurs des variateurs de vitesse : la mesure des tensions de sortie des variateurs. Seuls les instruments de test spécialement conçus pour mesurer ces tensions de sortie pourront fournir un relevé fiable, concordant avec le relevé (calculé) sur le variateur de vitesse lui-même.

Le ScopeMeter Fluke de la Série 190 convient parfaitement aux opérations d'installation et d'entretien des variateurs de vitesse et intègre toutes les fonctions de test nécessaires.

*Soyez à la pointe du progrès avec **Fluke**.*

Fluke France SAS
20 Allée des érables
93420 Villepinte
France
Téléphone: 01 70 80 00 00
Télécopie: 01 70 80 00 01
E-mail: info@fr.fluke.nl
Web: www.fluke.fr

Fluke Belgium N.V.
Kortrijksesteenweg 1095
B9051 Gent
Belgium
Tel: +32 2402 2100
Fax: +32 2402 2101
E-mail: info@fluke.be
Web: www.fluke.be

Fluke (Switzerland) GmbH
Industrial Division
Hardstrasse 20
CH-8303 Bassersdorf
Tel: 044 580 75 00
Fax: 044 580 75 01
E-mail: info@ch.fluke.nl
Web: www.fluke.ch

La modification de ce document est interdite sans l'autorisation écrite de Fluke Corporation.

©2016 Fluke Corporation. Tous droits réservés. Informations modifiables sans préavis. 10/2016 2543358b-fr