



## Mesures de puissance sur un convertisseur de fréquence avec notre logiciel Perception

Des mesures de puissance précises et très dynamiques sont requises pour la caractérisation et l'évaluation des transmissions électriques que ce soit pour les applications industrielles ou pour les véhicules hybrides ou électriques. Afin d'évaluer les résultats des mesures, le mode de fonctionnement des composants de la transmission doit être pris en considération. La conception et le fonctionnement d'un convertisseur de fréquence sont, ainsi, décrits en premier. Cela est suivi par une explication sur la façon dont les mesures sont faites sur le convertisseur et comment les différentes valeurs de puissance sont calculées à partir du logiciel .

### 1. Introduction

Les transmissions électriques offrent une grande variété de possibilités pour l'utilisation de véhicules avec des énergies renouvelables [1]. Le véhicule à batteries en est une variante simple et transparente. La Fig. 1.1 présente une chaîne de transmission pour véhicule électrique. La tension DC issue de la batterie véhicule est convertie, via le convertisseur triphasé à modulation de largeur d'impulsion, en un signal triphasé qui est ensuite commuté au moteur électrique triphasé. Différents modules de puissance semiconducteurs sont utilisés suivant l'amplitude de la tension de batterie. Les modules MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor) sont utilisés pour les tensions de batterie inférieures à 100 V, tandis que les modules IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) sont utilisés pour les tensions supérieures. Les machines synchrones et asynchrones sont typiquement utilisées comme moteurs électriques.

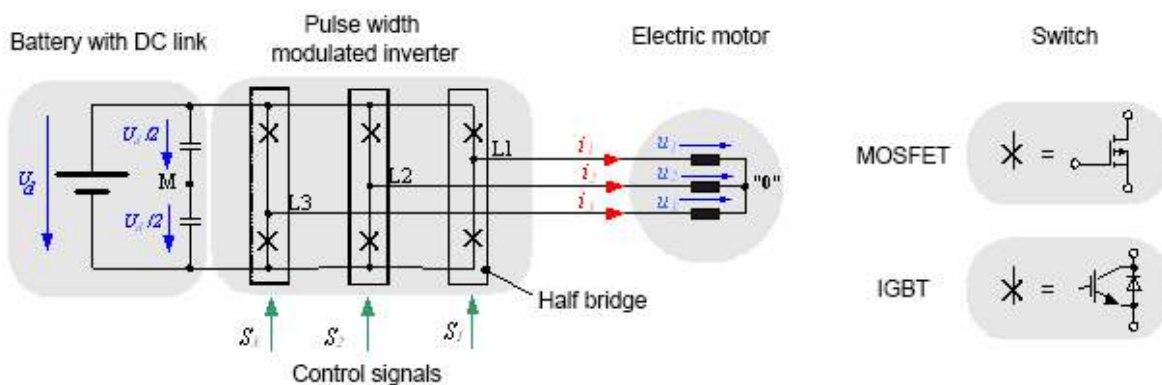


Fig. 1.1: Schéma électrique de la chaîne de transmission d'un véhicule à batteries.

## 2. Convertisseur à modulation de largeur d'impulsion

Le convertisseur à modulation de largeur d'impulsion transforme un signal tension DC en une tension à fréquence variable. Le convertisseur 2 points est souvent utilisé pour sa simplicité. La Fig. 1.1 présente le schéma électrique d'un convertisseur 2 points à 3 lignes. Chaque ligne consiste en un demi-pont avec deux IGBT et les diodes de puissance MOSFET associées. Les MOSFET seront utilisés pour les tensions de batterie inférieures à 100V. Les convertisseurs à modulation de largeur d'impulsion avec MOSFET ne nécessitent pas de diodes supplémentaires, car les MOSFET sont réversibles.

Un demi-pont raccorde un point de connexion de la machine (suivant la vitesse de commutation des transistors) avec le pôle positif ou négatif de la liaison DC. Dans le fonctionnement idéal considéré ici, relais et diodes n'ont pas de pertes de conductivité en mode actif ( $u = 0$ ) et sont inhibées en mode inactif ( $i = 0$ ). La commutation n'induit pas de retard non plus.

Le mode de fonctionnement d'un convertisseur 2 points est particulièrement clair lorsque la courbe temporelle de la tension de sortie d'un demi-pont est comparée à la tension moyenne "virtuelle"  $M$  de la liaison DC. Les tensions du convertisseur  $e_{vM}$ , avec ( $v = 1, 2, 3$ ) en fonction des signaux de contrôle correspondants, peuvent prendre la valeur  $+U_d / 2$  avec  $S_v = 1$  ou  $-U_d / 2$  avec  $S_v = 0$ .

$$e_{vM} = \frac{U_d}{2} (2 \cdot S_v - 1) \quad (2.01)$$

Afin de calculer les tensions de ligne dans la machine, les équations de trame sont tout d'abord posées:

$$e_{1M} = u_1 + u_{0M} \quad (2.02)$$

$$e_{2M} = u_2 + u_{0M}$$

$$e_{3M} = u_3 + u_{0M}$$

Si la corrélation  $u_1 + u_2 + u_3 = 0$  est prise en compte, l'état zéro des tensions du convertisseur peut être calculé :

$$u_{0M} = \frac{1}{3} (e_{1M} + e_{2M} + e_{3M}) \quad (2.03)$$

Un convertisseur 2 points présente seulement  $2^3 = 8$  états de tension différents. Pour générer les tensions sinusoïdales souhaitées, le convertisseur triphasé à modulation de largeur d'impulsion met en œuvre la méthode des valeurs moyennes courte durée.

La Fig 2.1 présente comment les signaux de contrôle sont générés en sinusoïdale simple modulée. Une tension triangle est comparée à la tension sinus souhaitée. Si la tension sinus est supérieure au delta de tension, une tension positive est générée. Le convertisseur commute à une tension négative si la tension sinus est inférieure au delta de tension. La fréquence du delta de tension est équivalente à la fréquence de commutation admise par le semi-conducteur de puissance.

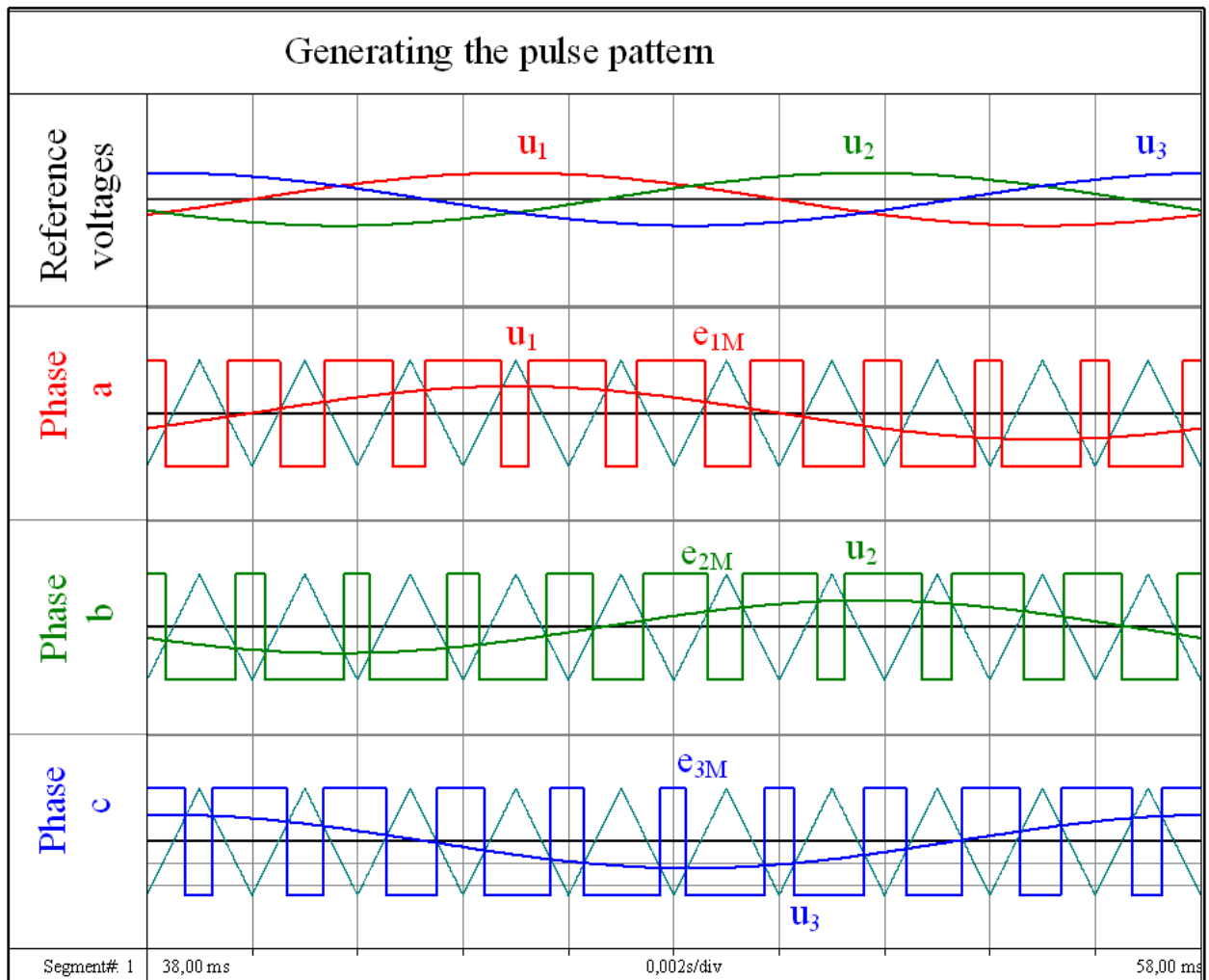


Fig. 2.1: Génération des signaux de contrôle pour un convertisseur à modulation de largeur d'impulsion (PWM). (Les fonctions sont disponibles pour les utilisateurs Perception dans le fichier config PWM\_INVERTER\_CONTROL\_1.pVWB. Ce fichier peut être téléchargé à partir du site web HBM).

### 3. Mesures de puissance sur le convertisseur à modulation de largeur d'impulsion

La puissance électrique ne peut pas être mesurée directement. En revanche, elle est calculée à partir des valeurs de tension et courant mesurées. La méthode de calcul a été décrite préalablement dans l'article [3]. Comme le point de référence du circuit étoile est rarement accessible, les tensions étoile ne peuvent pas être mesurées directement. La méthode de mesure, décrite ci-dessous, fait appel à la création d'un point de référence artificiel pour le circuit étoile et à la mesure de tensions ligne à ligne.

### 3.1 Mesures en circuit étoile avec référence artificielle

Si le point de référence du circuit étoile n'est pas accessible dans le moteur électrique, les tensions étoile ( $u_1$ ,  $u_2$ ,  $u_3$ ) ne peuvent être mesurées directement. Toutefois, la tension peut être rendue mesurable grâce à un « point de référence étoile artificiel ». Comme illustré Fig. 3.1, un point de référence étoile artificiel consiste en 3 résistances identiques de haute impédance. La puissance instantanée fournie par le convertisseur à modulation de largeur d'impulsion peut être calculée avec ces tensions et courants étoile ( $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$ ).

$$p(t) = u_1(t) \cdot i_1(t) + u_2(t) \cdot i_2(t) + u_3(t) \cdot i_3(t) \quad (3.01)$$

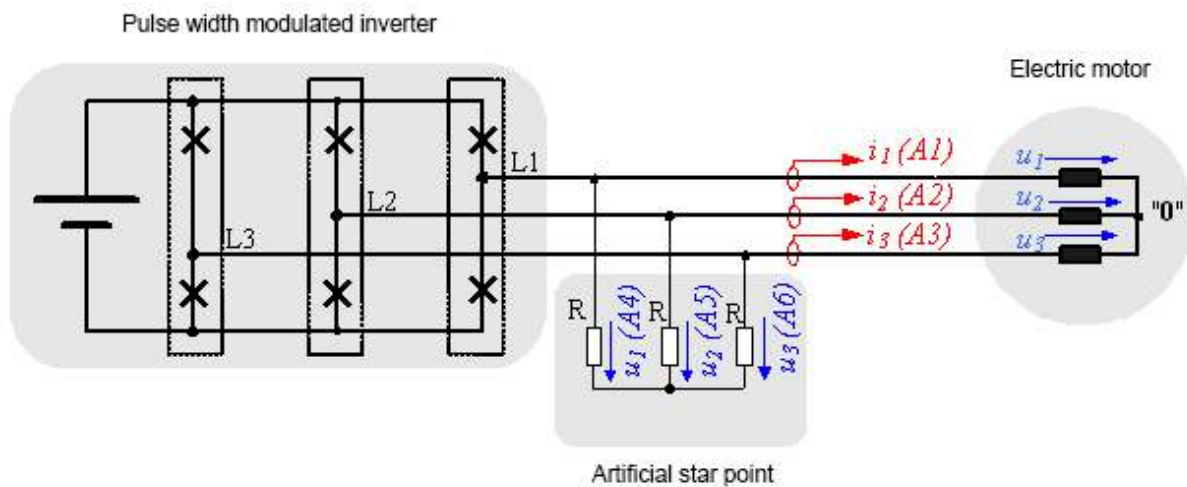


Fig. 3.2: Schéma présentant la mesure de puissance à partir d'un point de référence étoile artificiel

La Fig. 3.3 présente le résultat de mesures avec un point de référence étoile artificiel. Dans notre cas, le convertisseur alimente une machine asynchrone. Les tensions et courants sont mesurés sur les 3 lignes. Malgré la tension pulsée du convertisseur à modulation de largeur d'impulsion, le courant est pratiquement de forme sinusoïdale. Le signal de courant est, dès lors, utilisé pour le calcul de la valeur moyenne de puissance par dérivée du cycle temporel. Il est facile de vérifier si le cycle a été correctement détecté en comparant la durée de la période du signal de courant avec le cycle de la courbe  $i_1$

Le déphasage de  $120^\circ$  entre les 3 courants de ligne peut être visualisé graphiquement. Comme de coutume avec les machines asynchrones, le courant est en retard par rapport à la tension.

La puissance active totale délivrée par le convertisseur est déterminée à partir du calcul de la valeur moyenne de la puissance instantanée. L'équation 3.02 illustre la procédure dans Perception.

62		Note // Active power P = Mean ( voltage x current ) // in [W] // Mean is calculated per cycle	
63		As a first intermediate step the instantaneous power per phase is computed below	
64	p_1	Formula.u_1 * Formula.i_1	
65	p_2	Formula.u_2 * Formula.i_2	
66	p_3	Formula.u_3 * Formula.i_3	
67		Then then mean over a cycle of this instantaneous power gives the active power below	
68	P_1	@CycleMean ( Formula.p_1; 1;Formula.CycleMaster )	(3.02)
69	P_2	@CycleMean ( Formula.p_2; 1;Formula.CycleMaster )	
70	P_3	@CycleMean ( Formula.p_3; 1;Formula.CycleMaster )	
71		The sum of the active power per phase gives the total active power	
72	P	Formula.P_1 + Formula.P_2 + Formula.P_3	
73		xxxxx END Active power / Wirkleistung xxxxx	

La puissance apparente S est le produit de la valeur RMS courant avec la valeur RMS tension. Les valeurs RMS sont calculées pour chaque période. La durée de la période peut être déduite de la courbe i1 via la fonction dédiée cycleDetect.

La puissance apparente peut être calculée dans Perception à partir des fonctions suivantes:

74		xxxxx - START Apparent power / Scheinleistung xxxxxx	
75		Note // Apparent power S = TrueRMS current x TrueRMS voltage // in [VA]	
76	S_1	Formula.U_1 * Formula.I_1	(3.03)
77	S_2	Formula.U_2 * Formula.I_2	
78	S_3	Formula.U_3 * Formula.I_3	
79		The sum of the apparent power per phase gives the total apparent power	
80	S	Formula.S_1 + Formula.S_2 + Formula.S_3	
81		xxxxx END Apparent power / Scheinleistung xxxxxx	

La puissance réactive Q est calculée, pour chaque ligne, à partir de

$$Q_v = \sqrt{S_v^2 - P_v^2} \quad \text{where } v = 1,2,3 \quad (3.04)$$

La puissance réactive totale est la somme de toutes les puissances réactives. Elle peut être calculée dans Perception à partir des fonctions suivantes:

82		xxxxx - START Reactive power / Blindleistung xxxxxx	
83		Note // Reactive power Q = SQRT ( S <sup>2</sup> - P <sup>2</sup> ) // in [var]	
84	Q_1	@Sqrt ( Formula.S_1 * Formula.S_1 - Formula.P_1 * Formula.P_1 )	(3.05)
85	Q_2	@Sqrt ( Formula.S_2 * Formula.S_2 - Formula.P_2 * Formula.P_2 )	
86	Q_3	@Sqrt ( Formula.S_3 * Formula.S_3 - Formula.P_3 * Formula.P_3 )	
87		The sum of the reactive power per phase gives the total reactive power	
88	Q	Formula.Q_1 + Formula.Q_2 + Formula.Q_3	
89		xxxxx END Reactive power / Blindleistung xxxxxx	

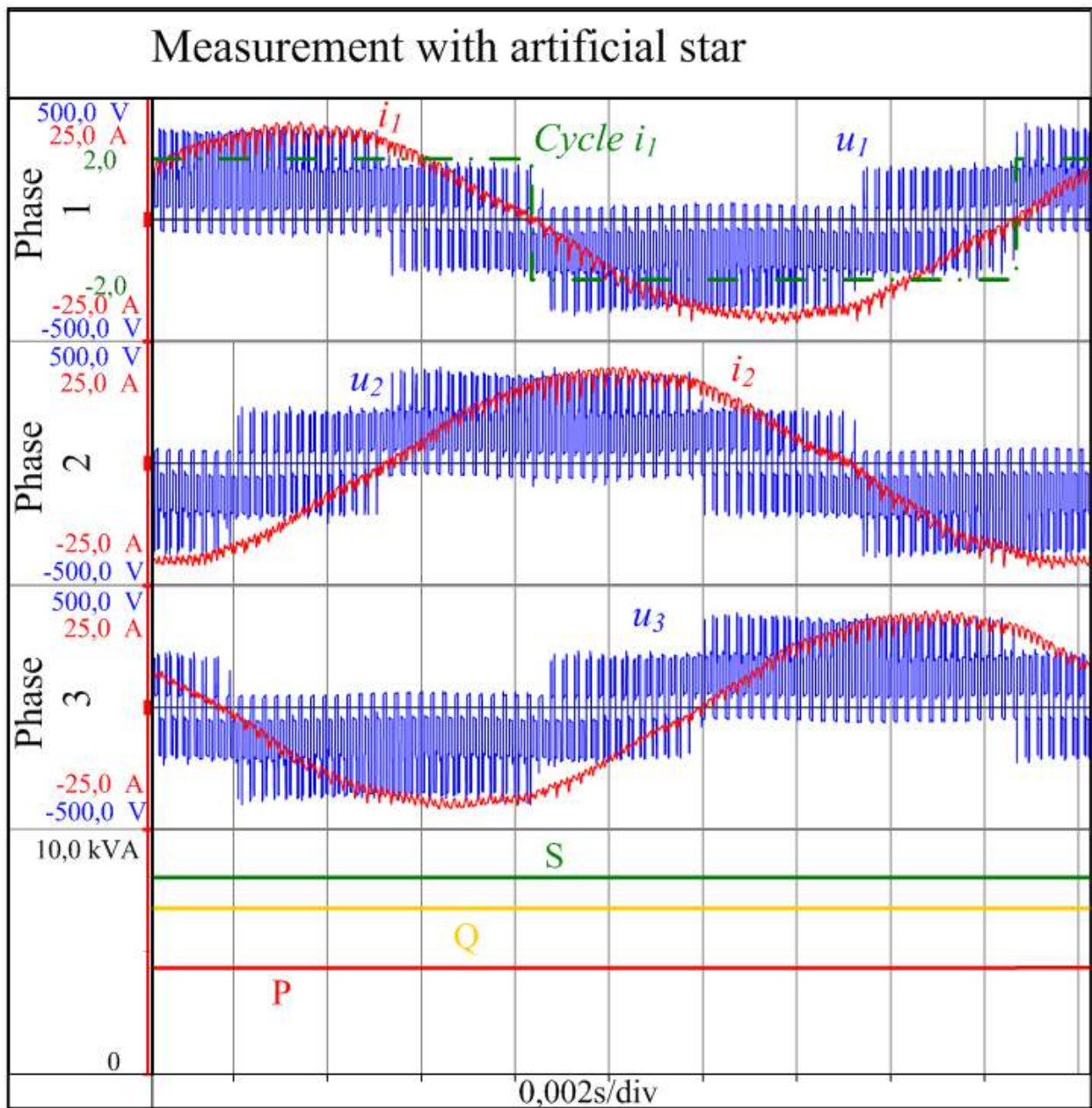


Fig. 3.3: Valeurs mesurées ( $i_1, i_2, i_3, u_1, u_2, u_3$ ) et valeurs de puissance calculées (P, Q, S) en fonction du temps. (ces mesures sont disponibles pour les utilisateurs Perception à partir du fichier: Artificial Star Measurement\_V1.pNRF)

### 3.2 Mesures de puissance avec tensions phase à phase

Les tensions Phase-à-phase peuvent être utilisées pour calculer les tensions étoile:

$$\begin{aligned}
 u_1 &= \frac{u_{12} - u_{31}}{3} \\
 u_2 &= \frac{u_{23} - u_{12}}{3} \\
 u_3 &= \frac{u_{31} - u_{23}}{3}
 \end{aligned}
 \tag{3.06}$$

Le sens de mesure de chaque tension phase à phase peut être repéré sur le schéma électrique 3.4. Des calculs complémentaires sont ensuite réalisés pour obtenir les différentes valeurs de puissance avec les tensions étoile comme présenté en section 3.1.

La performance d'un moteur électrique peut être plus facilement interprétée avec un point de référence étoile artificiel. Pour les mesures de puissance, la consommation asymétrique sera détectée plus facilement qu'à partir des tensions phase à phase.

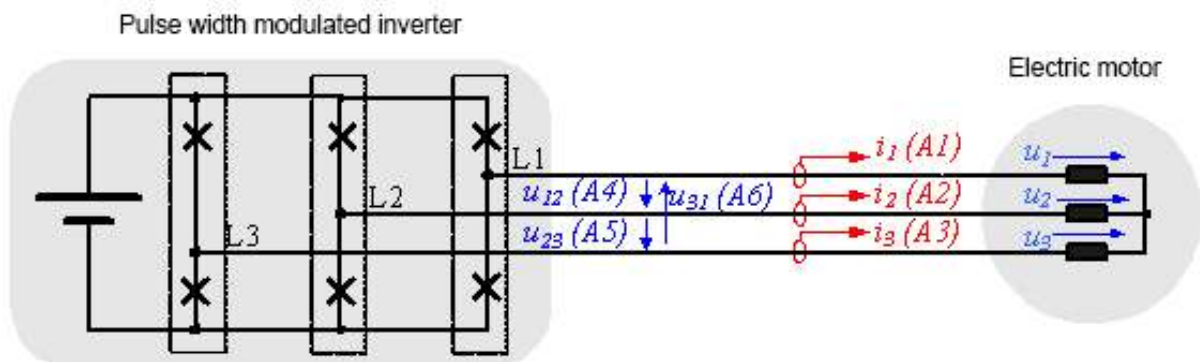


Fig. 3.4: Schéma illustrant la mesure de puissance à partir des tensions phase à phase

#### En résumé

Ce rapport présente les mesures de puissance sur un convertisseur pulsé. La conception et les fonctions d'un convertisseur pulsé ont été décrites en premier lieu. La mesure de puissance a été présentée à partir des tensions étoile (avec l'aide d'un point de référence étoile artificiel) et à partir des tensions phase à phase. Il est préférable de mener les calculs de puissance à partir du point de référence étoile artificiel car l'interprétation des mesures en est facilitée. Toutes les fonctions de calcul sont accessibles à partir du logiciel Perception. Les utilisateurs Perception peuvent télécharger les fichiers exemple et les feuilles de formules à partir du site web HBM.

## Références

- [1] D. Eberlein; K. Lang; J. Teigelkötter; K. Kowalski: Elektromobilität auf der Überholspur: Effizienzsteigerung für den Antrieb der Zukunft [Electromobility in the fast lane: increased efficiency for the drive of the future]; proceedings of the 3rd conference of Innovation Messtechnik [Innovation in Measurement Technology]; May 14, 2013
- [2] J. Teigelkötter: Energieeffiziente elektrische Antriebe [Energy-efficient electric drives], 1st edition, Springer Vieweg Verlag, 2013
- Berechnung von Leistungsgrößen mit Perception-Software [Calculating power values with Perception software] <http://www.hbm.com/de/menu/tipps-tricks/messdatenerfassung/berechnung-von-leistungsgroessen-mit-perception-software/>
- [4] [www.hbm.com](http://www.hbm.com)

### HBM Test and Measurement

www.hbm.com  
Email: [info@hbm.com](mailto:info@hbm.com)

Tel. +49 6151 803-0  
Fax +49 6151 803-9100

www.hbm.com/fr/  
Email : [info@fr.hbm.com](mailto:info@fr.hbm.com)

Tél : 01 69 90 63 70  
Fax : 01 69 90 63 80

**measure and predict with confidence**

