

Doubles capteurs AMR de position de moteur pour les applications à sécurité critique

Enda Nicholl, directeur marketing stratégique

Cet article explore les tendances en matière de d'électrification des véhicules dans une évolution vers la conduite semi- ou intégralement autonome. Il aborde en particulier les changements requis pour conformer les directions assistées électriques (EPS) et les systèmes de freinage électriques aux normes de sécurité et garantir la fiabilité et la sécurité des véhicules sans conducteur.

Analog Devices Inc. (ADI) propose des capteurs de position magnéto-résistifs (MR) et des amplificateurs de mesure de courant par shunt qui permettent des commutations hautement performantes et un fonctionnement sûr des moteurs sans balais utilisés dans les directions assistées et les systèmes de freinage électriques.

Au cours des dernières années, l'importance accrue accordée à l'amélioration de la sécurité des véhicules s'est traduite par le développement et l'introduction appropriée de systèmes actifs d'aide à la conduite automobile (ADAS). Ces nouveaux dispositifs viennent compléter les systèmes passifs traditionnels avec déploiement d'airbags pour protéger le conducteur et les passagers. Ils ont pour objectif initial de simplifier, mais à terme de se substituer aux décisions d'un conducteur qui manœuvre son véhicule dans des situations à sécurité critique ; leurs technologies facilitent en outre la conduite semi- ou totalement autonome. En remplaçant les prises de décision du conducteur par des unités de commande électronique (ECU), et les manœuvres de direction et de freinage par des actionneurs, on transfère la responsabilité du conducteur à ces derniers. Cette tendance a entraîné le développement d'actionneurs électriques plus fiables, intelligents, performants et redondants, conformes à la norme de sécurité fonctionnelle ISO 26262. Cette norme de sécurité prévoit l'évaluation qualitative des risques opérationnels lors de situation dangereuses, avec des mesures de sécurité dans les composants et le système pour éviter ou maîtriser les défaillances système et détecter ou contrôler les défaillances matérielles aléatoires ou limiter leurs effets. Ces systèmes d'actionneurs utilisent en général des moteurs à courant continu sans balais (BLDC). Leur fonctionnement étant critique en termes de sécurité, les concepteurs doivent créer un matériel et des logiciels garantissant un niveau maximal de conformité (D) dans le schéma de classification des risques ASIL (Automotive Safety Integrity Level).

Commutation et commande des moteurs à courant continu sans balais

Les moteurs à courant continu sans balais, comme l'indique leur nom, n'ont aucun contact de balai. Ils nécessitent donc des capteurs de position de moteur (MPS) pour mesurer la position relative entre le stator et le rotor et piloter une séquence d'activation correcte de la bobine de stator. Cet aspect est particulièrement important au démarrage lorsqu'il n'y a pas de force contre-électromotrice disponible et qu'il est impossible pour le microcontrôleur de déterminer les positions relatives du rotor et du stator.

La commutation par bloc (voir figure 1a), qui utilise trois commutateurs à effet Hall, permet traditionnellement d'indiquer la position du rotor des moteurs à courant continu sans balais. Les demandes d'amélioration des performances - réduction du bruit, des vibrations et des secousses et meilleur rendement des moteurs à courant continu sans balais (y compris pour les systèmes de direction assistée électriques) – se traduisent par un abandon de la commutation par bloc au profit d'un contrôle à commutation sinusoïdale. Les commutateurs à effet Hall sont remplacés par un capteur angulaire MR, positionné face à un aimant bipolaire monté à l'extrémité de l'arbre moteur (voir figure 1b). Il est également courant que les capteurs de position de moteur soient montés sur l'unité de commande électronique et que celle-ci soit intégrée au boîtier moteur et positionnée à l'extrémité de l'arbre moteur.

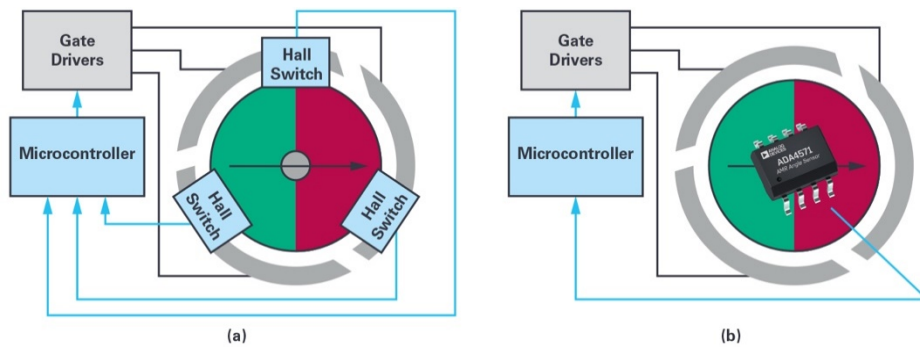


Figure 1. (a) Commande de commutation par bloc d'un moteur à courant continu sans balais et (b) commande à commutation sinusoïdale d'un moteur à courant continu sans balais.

Sécurité fonctionnelle pour les applications à sécurité critique (par exemple, les directions assistées électriques)

La norme de sécurité ISO 26262 a été introduite en 2011 pour répondre aux dangers possibles résultant des défaillances de systèmes relatifs à la sécurité électrique. Elle a été ensuite remplacée par l'édition 2018.

Une analyse des risques et de la sécurité doit être appliquée au système pour déterminer son classement ASIL. Il s'établit en étudiant les dangers possibles du système en fonctionnement, en prenant en compte des critères de gravité, d'exposition et de capacité de contrôle (voir figure 2).

ASIL (Automotive Safety Integrity Level)		Controllability (C)			
Severity (S)	Exposure (E)	C0 Controllable in General	C1 Simply Controllable	C2 Normally Controllable	C3 Difficult to Control or Uncontrollable
S0 No Injuries	–	QM			
	E0 – Unusual	QM			
	E1 – Very Low Probability	QM			
	E2 – Low Probability	QM			
S1 Light and Moderate Injuries	E3 – Medium Probability	QM			ASIL A
	E0 – High Probability	QM		ASIL A	ASIL B
	E0 – Unusual	QM			
	E1 – Very Low Probability	QM			
S2 Severe Injuries, Possibly Life Threatening	E2 – Low Probability	QM			ASIL A
	E3 – Medium Probability	QM		ASIL A	ASIL B
	E0 – High Probability	QM	ASIL A	ASIL B	ASIL C
	E0 – Unusual	QM			
S3 Life Threatening or Fatal Injuries	E1 – Very Low Probability	QM			ASIL A
	E2 – Low Probability	QM			ASIL B
	E3 – Medium Probability	QM	ASIL A	ASIL B	ASIL C
	E0 – High Probability	QM	ASIL B	ASIL C	ASIL D

Figure 2. Tableau de classement ASIL ISO 26262.

À titre d'exemple, une analyse des risques et de la sécurité d'un système de direction assistée électrique pourra conclure que des événements graves, comme un blocage de direction et un déclenchement sans sollicitation de la direction, entreront dans la catégorie ASIL D du fait de la gravité, de la capacité de contrôle et de l'exposition de ces événements. De manière similaire, pour les futurs systèmes de freinage électrique, la même logique s'appliquera à la gravité d'événements incontrôlables tels que le blocage des freins ou le déclenchement sans sollicitation du freinage.

Dans le même esprit, il est possible de déterminer le classement ASIL D des systèmes de direction assistée ou de freinage électriques, en les décomposant en sous-systèmes, comme indiqué ci-après dans les figures 3a, 3b et 3c.

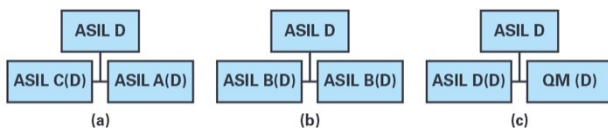


Figure 3. Schéma de décomposition ASIL d'un système ASIL D.

Il n'est pas nécessaire que le développement de chaque composant du système soit conforme aux standards et processus ASIL D pour obtenir la conformité ; cependant, le système dans son intégralité doit respecter ces exigences, en considérant le niveau système, et peut englober des sous-composants de niveau QM, ASIL A, B, C ou D.

La décomposition du système doit également assurer une indépendance suffisante et prendre en compte la possibilité de défaillances ayant des causes consécutives ou communes.

Topologie d'un système de direction assistée électrique

Une topologie type de système de direction assistée électrique est représentée par la figure 4. L'unité de commande électronique de la direction assistée électrique calcule la puissance d'assistance nécessaire en fonction du couple de direction à appliquer aux roues directrices par le conducteur, la position du volant et la vitesse du véhicule. Le moteur de la direction assistée met en rotation un engrenage de direction, auquel est appliquée une force qui réduit le couple nécessaire au

conducteur pour manœuvrer le volant.

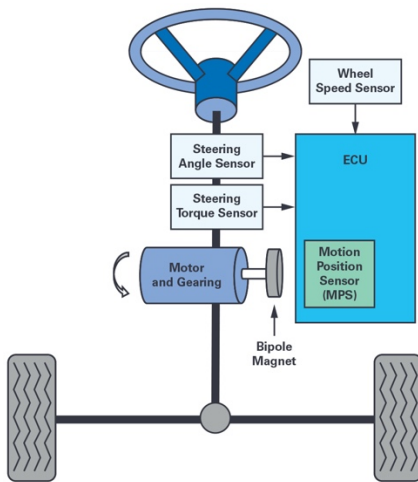


Figure 4. Topologie type d'une direction assistée électrique.

Combiné avec les informations de mesure du courant de phase, l'angle de position de l'arbre moteur (MSP) sert à la commutation et à la commande du moteur de la direction assistée électrique. Une boucle de commande de moteur classique de direction assistée électrique est représentée sous une forme simplifiée par la figure 5. Le niveau de couple d'assistance nécessaire varie en fonction des conditions de conduite. Il est déterminé par les capteurs de vitesse du volant et le capteur de couple qui mesure le couple appliqué au volant par le conducteur ou par l'actionneur du moteur dans les voitures autonomes. Le microcontrôleur utilise ensuite les données du capteur de position du moteur en les combinant avec les données de courant de phase pour commander les charges en courant appliquées au moteur chargé de l'assistance nécessaire.

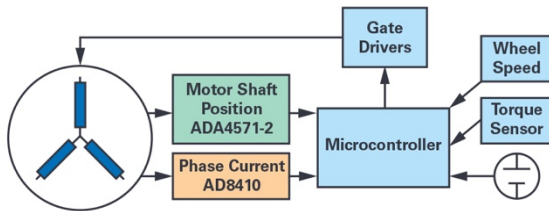


Figure 5. Boucle de commande de moteur type de direction assistée électrique.

Capteur de courant de position de moteur et de phase dans une direction assistée électrique

Un défaut ou une défaillance d'un capteur de position de moteur pourrait potentiellement provoquer ou contribuer à une grave défaillance système (verrouillage ou déclenchement autonome de la direction). D'où l'importance du capteur de position de moteur dans un système de direction assistée électrique. Il est donc essentiel que le système possède un dispositif de diagnostic complet des défaillances de capteur et qu'il prévienne leur redondance pour garantir la continuité des fonctions en cas d'erreur ou de défaut du capteur de position de moteur. Ceci permet d'écarter la possibilité d'une défaillance grave du système. Dans le cas éventuel où une erreur se produit, le dysfonctionnement du système sera sécurisé.

Les amplificateurs de mesure de courant servent généralement à la mesure de précision indirecte de la charge moteur. Ils sont normalement utilisés dans deux des trois phases du moteur, ce qui permet d'obtenir des informations de diagnostic supplémentaires exploitables pour l'évaluation globale de la sécurité du système.

En outre, les mesures de haute précision de position du moteur et de phase améliorent les performances de commande du moteur d'une direction assistée électrique. En termes de systèmes, cela se traduit par une conduite perçue comme efficace, silencieuse et fluide, et une amélioration de l'expérience globale du conducteur. Il s'agit donc de composants critiques dans le système.

Sécurité fonctionnelle de la commande de moteur dans une direction assistée électrique

Il existe différentes approches pour assurer la conformité au niveau ASIL D d'une direction assistée électrique ou d'autres applications de commande de moteurs critiques pour la sécurité. L'exemple suivant décrit un double capteur de position de moteur magnéto-résistif anisotrope (AMR) combiné avec les amplificateurs de mesure de courant proposés par ADI qui pourraient être intégrés dans un tel système. Ces composants offrent les performances et la redondance nécessaires pour assurer la conformité ASIL D ISO 26262 du système.

Dans le schéma fonctionnel représenté sur la figure 6, le double capteur AMR est complété par un capteur utilisant une autre technologie (par exemple Hall, GMR - Giant Magnetoresistance et TMR - Tunnel Magnetoresistance). Le double capteur AMR est utilisé comme voie de mesure primaire (haute précision), le second canal utilisant une autre technologie de capteur répondant à trois objectifs :

- ▶ Permettre la réalisation d'une comparaison de 2 capteurs sur 3 (2oo3) pour vérifier si l'une des voies de capteur est défaillante en les combinant avec d'autres entrées système.
- ▶ Produire un retour de position dans l'éventualité improbable où deux voies AMR sont défaillantes.

- Produire les informations de quadrant sur 360° au microcontrôleur, nécessaires pour la commutation du moteur dans le cas où il possède un nombre impair de pôles.

La mesure d'angle de précision restera produite par les deux voies du double capteur AMR. D'autres éléments de diagnostic système, tels que la charge du moteur et la position de l'arbre, peuvent être indirectement déduits dans un état dynamique (force contre-électromotrice) après avoir été renvoyés par l'amplificateur de mesure de précision du courant de phase.

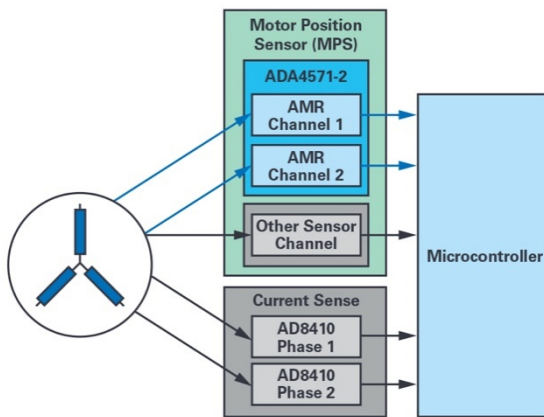


Figure 6. Exemple d'architecture de mesure de la position du moteur et du courant de phase pour les applications à sécurité critique.

Si nous examinons tous les modes possibles de dysfonctionnement de capteurs dans cet exemple d'architecture, il doit toujours y avoir deux entrées de capteur de position disponibles pour vérifier si la situation est plausible. Même dans le cas improbable et extrême de deux voies AMR simultanément défaillantes du fait d'une cause commune, il est possible d'utiliser les informations de mesure de position dégradées. Il s'agira dans ce cas d'acquérir les informations sur la voie de capteur auxiliaire et d'effectuer une vérification croisée avec les informations de force contre-électromotrice en dynamique, issues des capteurs de courant. Ainsi, la continuité des fonctions du système de base sera assurée.

Ces capacités de diagnostic au niveau système permettraient donc d'éviter le passage en mode de défaillance grave et de respecter les exigences de conformité ASIL D du système au sens de la norme ISO 26262. Le système pourrait ainsi être mis hors tension de manière sécurisée, ou placé en mode dégradé, et renvoyé au fournisseur pour réparation.

Récapitulatif

L'introduction de systèmes d'aide à la conduite (ADAS) pour améliorer la sécurité automobile, associée à l'émergence de véhicules semi- ou intégralement autonomes, nécessite des solutions d'actionneurs électriques plus fiables, intelligents, performants et redondants, conformes à la norme de sécurité fonctionnelle ISO 26262. Analog Devices propose des produits de mesure de courant de position d'arbre moteur et de courant de phase répondant non seulement aux exigences de performances accrues pour assurer une commande de moteur fluide et efficace, mais qui apportent également la redondance adaptée à des exigences ASIL de niveau élevé dans des applications à sécurité critique, notamment les directions assistées et les systèmes de freinage électriques.

Le double capteur AMR [ADA4571-2](#) proposé par ADI est conçu pour des applications de sécurité de ce type qui requièrent des voies de mesure redondantes et indépendantes. Il s'agit d'un capteur AMR à double canal possédant des amplificateurs de conditionnement de signal et des circuits de commande CAN intégrés. Le produit comporte deux capteurs AMR (Sensitac AA745) avec deux circuits ASIC de conditionnement de signal à amplificateur. Le capteur génère des signaux d'erreur angulaire très faibles, d'une résolution de l'ordre de 0,1°, avec une hystérésis négligeable, une bande passante élevée, une faible latence et une linéarité excellente. Ces caractéristiques permettent de réduire l'ondulation de couple et le bruit audible pour pouvoir commander de manière fluide et efficace des moteurs à courant continu sans balais. En outre, le capteur AMR n'a aucune limitation en termes de champ magnétique maximal puisqu'il fonctionne à un niveau de saturation supérieur à 30 mT. Le fonctionnement du capteur avec un champ magnétique intense permet d'obtenir une solution très robuste vis-à-vis des champs magnétiques parasites présents dans les environnements difficiles.

L'amplificateur de mesure de courant [AD8410](#) d'ADI effectue des mesures de courant bidirectionnelles aux bornes d'une résistance de dérivation dans les directions assistées et d'autres systèmes de commande de moteur à courant continu sans balais. Il s'agit d'un amplificateur à dérivation de courant à tension élevée, haute résolution et large bande passante, conçu pour fonctionner dans les environnements difficiles où les mesures de précision sont nécessaires pour apporter le bon diagnostic dans les applications à sécurité critique. Il permet également de réduire le taux d'ondulation du couple et le bruit audible pour commander de manière fluide et efficace des moteurs à courant continu sans balais, par exemple dans les directions assistées électriques ou les systèmes de freinage électriques, et améliorer ainsi l'expérience globale proposée au conducteur.

Références

[ISO 26262-1:2018](#). International Organization for Standardization, décembre 2018.

Isshi Koyata. « Approach About the Fail Operational to the Future of EPS-System in JARI Activities. » Japan Automobile Research Institute (JARI), 2019.