

# Onze idées fausses sur les capteurs de position inductifs

Dans la fonction de calcul de la position d'un système, très importante dans les applications embarquées automobiles, il existe un certain nombre d'idées fausses et de mythes sur les capteurs de position inductifs. Pour comprendre cette situation, il faut comparer ces capteurs avec d'autres technologies, comme les capteurs à effet Hall et les capteurs magnéto-résistifs, comme le détaille ici Microchip.

**D**ans les usines, les voitures et camions à conduite autonome, les robots chauffeurs, on découvre aujourd'hui comment l'intelligence artificielle va rendre des systèmes automatiques plus efficaces, plus rentables. Dans ce cadre, l'une des fonctions clés de ces machines et de ces voitures est leur capacité à connaître leur position et à mesurer leurs déplacements avec précision. Or il y a de nombreuses façons de mesurer la position, mais une technologie en plein essor est celle du capteur de position inductif. La précision, l'immunité au bruit et le rapport performances/prix sont quelques-uns des avantages de cette technologie. Reste que nombre d'idées fausses et de mythes tenaces circulent dans la communauté des ingénieurs, qu'il est temps aujourd'hui de dissiper.

● **Idée fausse n°1 :** les capteurs inductifs utilisent l'inductance pour mesurer la position

Le nom même du capteur inductif peut prêter à confusion. Car dans la réalité, les capteurs inductifs ne mesurent pas d'inductance. En fait, ils s'appuient sur l'induction électromagnétique d'un champ magnétique dans une cible métallique (conductrice et dont on veut connaître la position), sur les propriétés bien connues d'un transformateur à noyau d'air et sur la loi de Faraday, et ce pour localiser une cible avec précision grâce aux perturbations qu'elle fait subir au champ magnétique. Cela peut sembler compliqué à première vue, mais pour dire les choses simplement, les capteurs inductifs

## AUTEUR



Mark Smith, responsable marketing produits, division Signaux mixtes et Linéaires, Microchip Technology.

mesurent les perturbations d'un champ magnétique provoquées par une cible conductrice (figure 1).

En outre, le champ magnétique n'est pas produit par un aimant permanent – comme dans le cas des capteurs à effet Hall et des capteurs magnéto-résistifs - mais par un enroulement primaire de transformateur. Deux bobines secondaires détectent le champ magnétique, et comme pour un transformateur, la loi de Faraday fournit les valeurs des tensions induites dans ces bobines secondaires par les variations du champ. Des courants de Foucault sont induits dans la cible métallique présente dans le champ magnétique. Ces courants induisent eux-mêmes un champ magnétique s'opposant au champ principal et réduisent l'intensité du champ résultant au niveau de la cible. Les deux bobines étant installées à deux endroits différents,

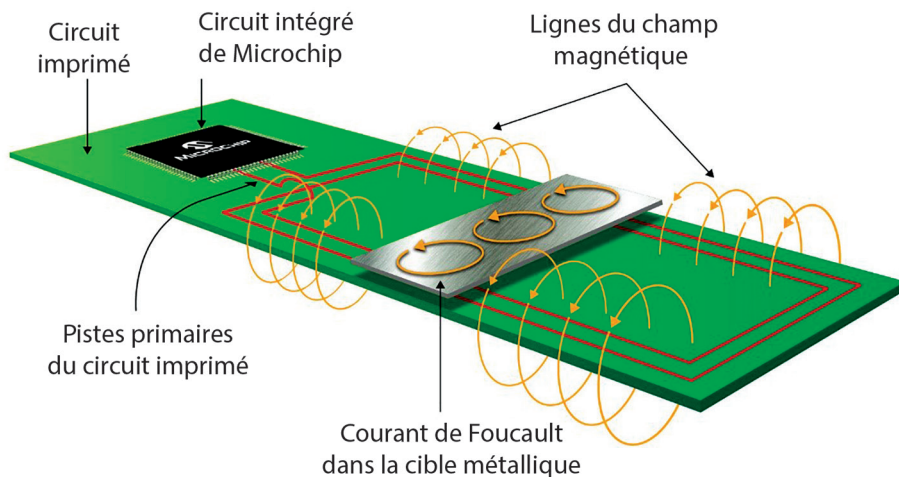
elles génèrent donc des tensions différentes. La position de la cible peut être déterminée précisément grâce au rapport entre les tensions aux bornes des deux bobines réceptrices.

● **Idée fausse n°2 :** les capteurs de position inductifs ne sont pas précis

Cette idée fausse est facile à dissiper parce que les capteurs de position inductifs sont très précis et excellent même aux températures élevées, alors que d'autres systèmes à base d'aimants sont mis à l'épreuve. La raison principale de la précision des capteurs de position inductifs est qu'ils ne dépendent pas de la nature non linéaire de l'aimant permanent. Au lieu de cela, ils cherchent simplement à perturber un champ magnétique auto-généré. Conséquence, ils présentent des erreurs relatives qui peuvent être inférieures à +/-0,1% sur l'ensemble de la plage de mesure

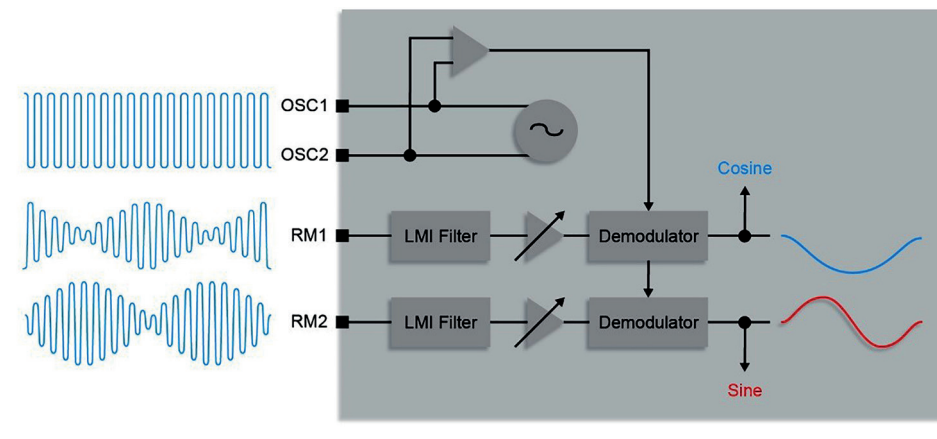
## 1 SCHÉMA DE PRINCIPE D'UN CAPTEUR INDUCTIF

Les capteurs inductifs mesurent les perturbations d'un champ magnétique provoquées par une cible conductrice.



## 2 EXEMPLE DE DÉMODULATEUR SYNCHRONE

Le démodulateur synchrone filtre les fréquences qui sont en-deçà ou en dessous de la fréquence d'excitation primaire.



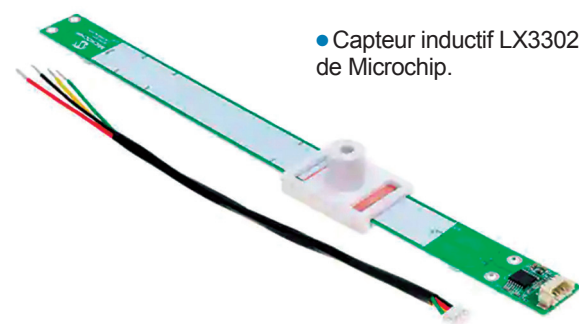
à température ambiante. On peut même obtenir des erreurs inférieures à  $\pm 0,3\%$  sur toute la plage de température avec des variations de l'espace entre cible et capteur.

En outre, l'algorithme dans son ensemble peut compenser les variations de température ou en minimiser l'effet. Par exemple, si le capteur de position inductif excite le champ magnétique à une fréquence comprise entre 1 MHz et 6 MHz à l'aide d'un oscillateur LC, ces deux valeurs (L et C) peuvent varier en fonction de la température, mais sans impact sur la position mesurée. Et ce parce que les canaux de réception secondaires utilisent la démodulation synchrone (figure 2), qui ne dépend que de l'oscillateur primaire. Les éventuelles variations n'ont donc pas d'impact sur l'amplitude des signaux reçus. Outre la température, les objets métalliques situés à proximité du capteur peuvent avoir un impact sur le champ magnétique. Par conséquent, un étalonnage est nécessaire, mais cet étalonnage est indépendant de la température. Exemple, le LX3302A de Microchip Technology (voir photo ci-contre) dispose de huit segments d'étalonnage. Ses convertisseurs A/N 13 bits et son processeur 32 bits permettent aussi d'éliminer toute erreur de calcul ou de quantification susceptible de se produire, et fournissent une sortie avec 12 bits de résolution sur toute la plage de mesure.

● **Idée fautive n°3 :** les capteurs de position inductifs coûtent cher

Il est rare de pouvoir accéder au meilleur de deux mondes –des performances élevées à un coût raison-

nable. Mais là encore, les capteurs inductifs sont bien placés. Alors que les capteurs à effet Hall et les capteurs magnéto-résistifs ont besoin d'un aimant permanent fabriqué selon certaines tolérances pour assurer une précision décente, les cap-



● Capteur inductif LX3302 de Microchip.

teurs inductifs ont uniquement besoin d'un morceau de métal comme cible, ce qui permet à l'utilisateur d'économiser le prix de l'aimant. Même si le circuit imprimé est un peu plus grand pour servir de support aux pistes du capteur, le surcoût correspondant est en

général inférieur au coût de l'aimant. Et si la place nécessaire est déjà disponible sur le circuit imprimé, alors il n'y a aucun surcoût. Conséquence, le capteur de position inductif est une solution plus économique que les solutions à effet Hall ou magnéto-résistives, puisqu'il permet de détecter un champ magnétique sans aimant.

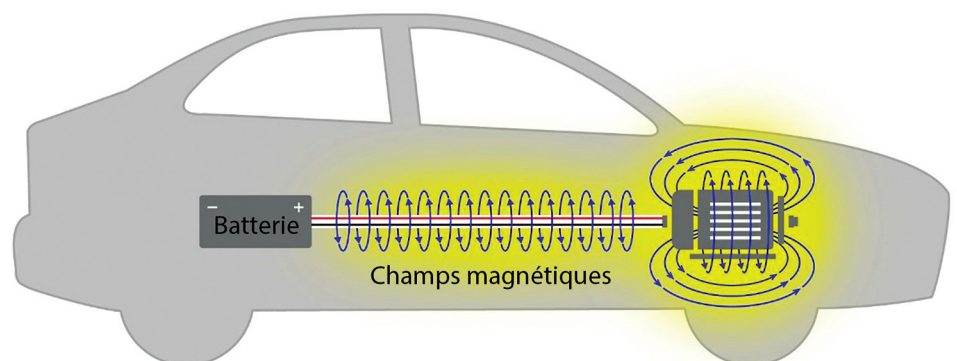
● **Idée fautive n°4 :** les capteurs de position inductifs sont sensibles aux champs magnétiques externes

Les machines d'aujourd'hui génèrent plus de champs magnétiques parasites que jamais auparavant, ce qui pose des problèmes avec les capteurs à effet Hall et les capteurs magnéto-résistifs. Les capteurs de position inductifs s'appuient de leur côté sur la démodulation active pour rejeter ces champs parasites. Par exemple, les voitures électriques de nouvelle génération peuvent mettre en œuvre des courants de plusieurs centaines d'ampères entre les batteries et le moteur principal (figure 3). En outre, la plupart de ces véhicules sont équipées d'au moins trois moteurs à courant continu sans balais (BLDC, BrushLess DC) : un pour le train roulant, un pour la direction assistée et un pour l'assistance au freinage. Tous ces systèmes génèrent des champs magnétiques parasites.

Compte tenu du nombre croissant de champs magnétiques parasites, les récentes normes exigent davantage de tests d'immunité à des champs magnétiques plus élevés. Dans l'industrie automobile, l'électronique est désormais soumise à un champ permanent de 4 mT pendant la qualification CEM, et aucune fautive lecture

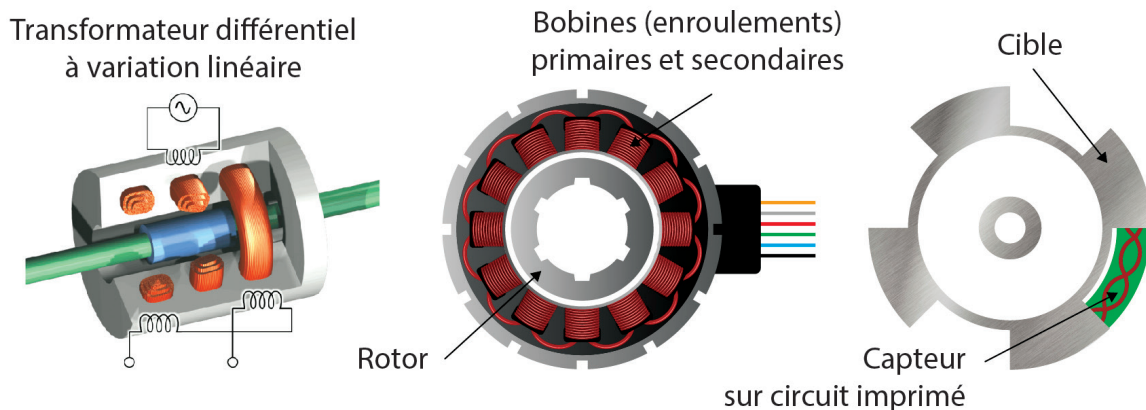
## 3 MOTEUR À COURANT ÉLEVÉ GÉNÉRANT DES CHAMPS MAGNÉTIQUES PARASITES IMPORTANTS

Les voitures électriques de nouvelle génération peuvent mettre en œuvre des courants de plusieurs centaines d'ampères entre les batteries et le moteur principal.



**4 LVDT, RÉOLVEURS ET CAPTEURS**

Pour détecter la position, les capteurs LVDT, les résolveurs et les capteurs inductifs s'appuient sur le rapport entre deux tensions induites par un champ magnétique perturbé par un élément mobile conducteur dont on veut déterminer la position.



ne doit se produire sur aucun des capteurs critiques au point de vue sécurité comme les capteurs de direction assistée, de pédale d'accélérateur et de position rotor du moteur de traction. La beauté de la détection de position inductive est qu'elle est immunisée contre ces parasites puisqu'elle filtre de manière active la fréquence précise dont elle a besoin pour la détection. Etant donné que les capteurs de position inductifs n'utilisent aucun matériau magnétique, ils ne captent aucun champ magnétique permanent. En effet, l'équation de Faraday fournit une tension nulle en présence d'un champ magnétique statique. En outre, le démodulateur synchrone (figure 2) filtre les fréquences qui sont en-deçà ou en dessous de la fréquence d'excitation primaire, comme quand vous sélectionnez une certaine station de radio alors que votre antenne capte toute la bande de fréquence. Ce type de réjection n'est pas possible avec les capteurs à effet Hall, ni avec les capteurs magnéto-résistifs.

● **Idée fausse n°5 :** la détection de position inductive est une technologie trop récente

Les capteurs de position inductifs utilisent un circuit imprimé comme capteur et un morceau de métal comme cible. Même si c'est une méthode de détection nouvelle, il s'appuie sur des technologies bien établies. Les transducteurs LVDT (Linear Variable Differential Transformer, ou transformateur différentiel à variation linéaire) sont, dans leur principe,

très proches d'un détecteur de position inductif. Un LVDT utilise une bobine primaire et deux bobines secondaires pour détecter la position – plus ou moins enfoncée – d'un arbre métallique, pour des applications robotiques. Les capteurs de position inductifs font globalement appel au même principe en réduisant les enroulements à un simple circuit imprimé. Les résolveurs magnétiques – versions rotatives des LVDT – font appel à des techniques similaires. Une fois de plus, au lieu d'une structure métallique de type transformateur, les capteurs de position inductifs utilisent les pistes d'un circuit imprimé pour remplir la même fonction. Pour détecter la position, les capteurs LVDT, les résolveurs et les capteurs inductifs s'appuient sur le rapport entre deux tensions induites par un champ magnétique

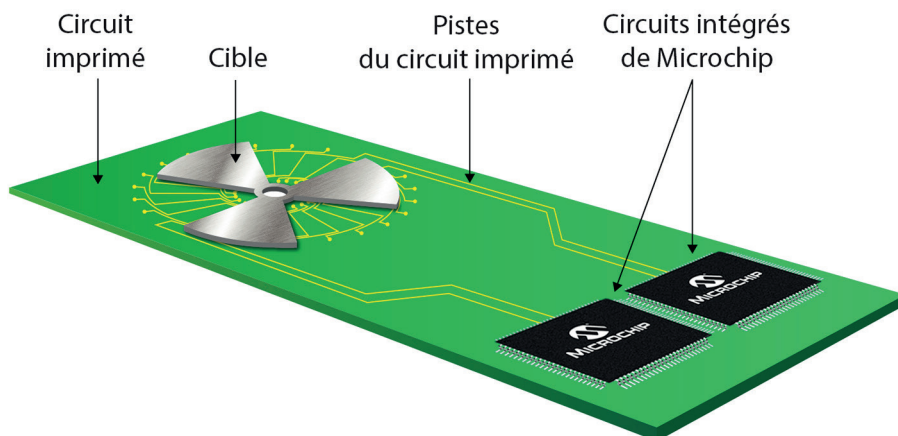
lui-même perturbé par un élément mobile conducteur dont on veut déterminer la position (figure 4).

● **Idée fausse n°6 :** les capteurs inductifs redondants prennent deux fois plus de place

Certaines applications automobiles et industrielles critiques peuvent nécessiter une redondance pour garantir un plus haut niveau de sécurité. En optimisant les couches du circuit imprimé et en utilisant certaines techniques de bobinage primaire, un double capteur ne nécessite pas deux fois plus de place sur le circuit imprimé. Au contraire, les deux capteurs peuvent tenir sur la même surface de circuit imprimé. Dans ce cas, ils partagent le même champ magnétique, font effectivement l'objet d'un léger couplage magnétique, mais restent toujours isolés d'un point de vue galvanique. Les étages secon-

**5 CAPTEURS REDONDANTS SUR UN CIRCUIT IMPRIMÉ**

Deux capteurs partagent le même champ magnétique, et les étages secondaires sont dirigés vers deux circuits intégrés qui génèrent deux valeurs de position indépendantes et redondantes.





dares sont alors dirigés vers deux circuits intégrés qui génèrent deux valeurs de position indépendantes et redondantes, améliorant ainsi la sécurité de l'application (figure 5)

● **Idée fausse n°7 :** les capteurs de position inductifs ne conviennent qu'aux petits déplacements linéaires

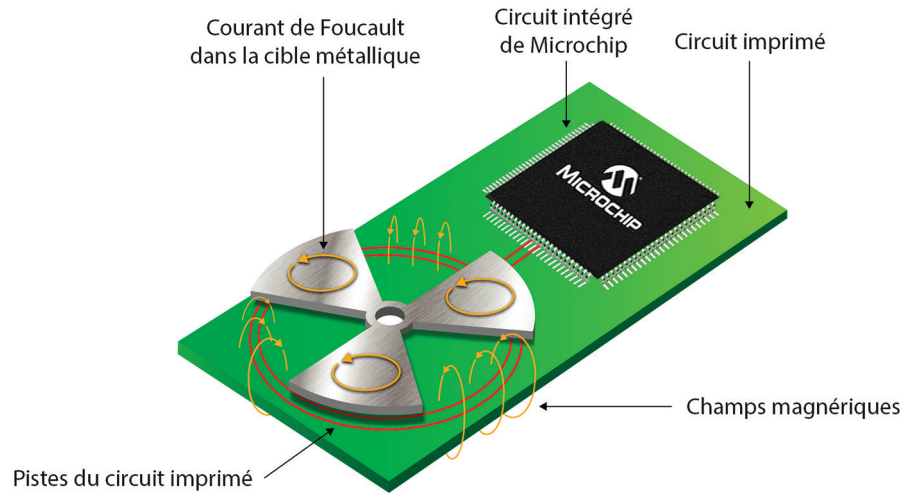
Les capteurs de position inductifs sont capables de mesurer des positions linéaires sur des longueurs importantes. La meilleure précision est obtenue lorsque la longueur du capteur est proche de la plage de mesure souhaitée, afin que la résolution de sortie puisse être ajustée sur la distance la plus courte. La longueur du capteur peut aller de 5 mm à 600 mm, voire au-delà pour certaines applications. Toute limitation de longueur est liée à la capacité de l'oscillateur à générer le signal résonant LC correct. Dans tous les cas, le principe de fonctionnement reste le même : un champ magnétique est généré et ses perturbations sont détectées. Les mesures linéaires sont le point fort de cette technologie, et la sensibilité peut être obtenue par un même principe de mesure sur de nombreuses plages de mesure différentes. À l'inverse, la technologie à effet Hall peut nécessiter le multiplexage de plusieurs capteurs à effet Hall lorsque l'aimant – celui dont on veut détecter la position – se déplace d'un bout à l'autre. La gestion des discontinuités dues au multiplexage est complexe et peut être affectée par les variations de température. Un capteur inductif ne souffre pas de ce problème et peut être dimensionné de sorte à produire une mesure linéaire correspondant aux besoins de l'application.

● **Idée fausse n°8 :** les capteurs de position inductifs ne peuvent réaliser que des mesures linéaires

Si la mesure linéaire est un point fort de cette technologie, les capteurs inductifs de position peuvent aussi mesurer les positions de cibles rotatives ou qui suivent une trajectoire en arc avec les mêmes avantages, à savoir une plus grande précision et une meilleure immunité au bruit. La détection de position d'une pédale de voiture, d'une vanne pneumatique ou hydraulique, ou d'un rotor, sont autant d'exemples qui peuvent faire appel à la technologie de détection inductive. Envisagez un capteur rota-

## 6 COURANTS DE FOUCAULT INDUITS DANS UNE PIÈCE MÉTALLIQUE

Des matériaux magnétiques comme le fer sont conducteurs et peuvent être utilisés avec un capteur inductif. Mais la cible offrira une meilleure distance de détection et nécessitera un courant d'alimentation plus faible si elle est constituée d'un bon conducteur comme le cuivre, l'aluminium ou l'acier.



tif à 360 degrés comme un capteur linéaire recourbé pour que ses extrémités se rejoignent. Il s'avère que les capteurs de position rotatifs inductifs sont les plus précis, car le champ magnétique généré est uniforme selon tous les rayons. Cette technologie permet de réaliser des mesures linéaires, d'arc et de rotation.

● **Idée fausse n°9 :** le matériau cible doit être magnétique

Un capteur de position inductif détecte les variations d'un champ magnétique quand ce champ est perturbé par une cible métallique conductrice, mais aucun matériau magnétique n'est nécessaire. Tout matériau conducteur, dans lequel un courant de Foucault peut être induit, est capable de générer les perturbations en question. Des matériaux magnétiques comme le fer sont conducteurs et peuvent donc être utilisés. Cependant, la cible offrira une meilleure distance de détection et nécessitera un courant d'alimentation plus faible si elle est constituée d'un bon conducteur comme le cuivre, l'aluminium ou l'acier (figure 6).

● **Idée fausse n°10 :** les capteurs de position inductifs doivent être programmés sur la ligne d'alimentation

Dans une automobile, de nombreux capteurs sont installés dans des modules reliés aux unités de commande par plusieurs fils. Pour un capteur, il s'agit en général d'une ligne d'alimentation, d'une ligne de masse et d'une broche de sortie. Le fait de

pouvoir étalonner le module en se servant de la broche d'alimentation évite le recours à une connexion supplémentaire sur le circuit imprimé du capteur, ce qui permet de réduire les coûts et les problèmes d'assemblage. Cependant, certaines applications nécessitent un microcontrôleur, et dans ce cas les applications embarquées peuvent vouloir programmer le capteur grâce à un autre microcontrôleur, et non à l'aide d'un système de test dédié. Le LX3302A de Microchip propose cette fonction et cette capacité, ce qui lui permet d'être programmé directement sur les broches d'entrées/sorties généralistes (GPIO).

● **Idée fausse n°11 :** vous êtes livrés à vous-même pour la conception

Il n'y a pas si longtemps, une solide connaissance des champs magnétiques ainsi que l'accès à un outil haut-de-gamme de simulation par éléments finis – ou à défaut de nombreux essais par tâtonnements – étaient nécessaires pour obtenir de bons résultats avec des techniques inductives. Aujourd'hui, les fournisseurs de circuits intégrés proposent ce service à leurs clients avec des cartes et des kits d'évaluation, qui permettent de passer du concept à la simulation des pistes de circuit imprimé réelles. Certains fabricants fournissent même des résultats de simulation indiquant la précision que vous pourrez obtenir du capteur, avant même que le circuit imprimé ne soit testé, comme Microchip le fait avec son service d'assistance. ■



# Ajoutez des capacités numériques à vos contrôleurs analogiques

Associez la rapidité d'un contrôleur analogique à la flexibilité d'un microcontrôleur numérique



Aucun système ne peut être performant sans source d'alimentation fiable. Notre famille de produits analogiques d'alimentation numériquement améliorés (DEPA, pour Digitally Enhanced Power Analog) associe les performances d'un contrôleur PWM analogique (Pulse-Width Modulation, soit Modulation en Largeur d'Impulsion) avec la configurabilité d'un microcontrôleur PIC® 8 bits. L'association de ces deux méthodes permet d'ajouter des caractéristiques numériques à une boucle de contrôle analogique fiable et facile à mettre en œuvre, y compris des réponses transitoires rapides, un taux d'efficacité élevé ainsi qu'un gain et des marges de phase fiables. En ajoutant la capacité de mesure et de réponse aux changements grâce à des algorithmes sur mesure, la robustesse du système est améliorée, tout en offrant des options de diagnostic et de communication.

Cette solution monopuce peut accepter une entrée haute tension et réguler une large plage de courant de sortie ou de tension, ce qui permet de maintenir des conditions de fonctionnement robustes dans un environnement instable. Découvrez comment la flexibilité de nos produits DEPA peut améliorer votre prochain système.

## Principales caractéristiques

- Conversion d'énergie rapide et efficace avec une boucle de contrôle du mode de courant analogique
- Contrôle flexible avec un microcontrôleur intégré
- Protections matérielles paramétrables dynamiquement qui permettent un fonctionnement robuste



[www.microchip.com/FlexiblePower](http://www.microchip.com/FlexiblePower)

